

# परमाणु संरचना

## Structure of Atom

इलेक्ट्रॉन, प्रोटॉन और न्यूट्रॉन की खोज, परमाणु क्रमांक, समस्थानिक और समभारिक, टॉमसन का मॉडल और इसकी सीमाएँ, रदरफोर्ड का मॉडल और इसकी सीमाएँ, बोर मॉडल और इसकी सीमाएँ, कोशों एवं उपकोशों की अवधारणा। द्रव्य एवं प्रकाश की द्वैत प्रकृति, दी-ब्रॉग्ली सम्बन्ध, हाइड्रोजन का अनिश्चितता का सिद्धान्त, कक्षकों की अवधारणा, क्वांटम संख्याएँ,  $s, p$  और  $d$  कक्षकों की आकृतियाँ। कक्षकों में इलेक्ट्रॉन भरने के नियम-आफेंगो नियम, पाउली अपवर्जन नियम तथा हुण्ड का नियम, परमाणुओं का इलेक्ट्रॉनिक विन्यास, अर्द्धभरित और पूर्ण भरित कक्षकों का स्थायित्व।

### पाठ्य के अन्तर्गत

- 2.1 परिचय एवं परमाणु के मूल कण
- 2.2 परमाणु के मूल कणों की खोज
- 2.3 परमाणु के नाभिक की खोज एवं संघटन
- 2.4 परमाणु क्रमांक एवं द्रव्यमान क्रमांक
- 2.5 समस्थानिक, समभारिक तथा समन्यूट्रॉनिक
- 2.6 कुछ महत्वपूर्ण परमाणु मॉडल (कोश अथवा कक्ष की अवधारणा)
- 2.7 तत्त्वों के उत्सर्जन स्पेक्ट्रम
- 2.8 पदार्थ तथा विकिरण की द्विक प्रकृति
- 2.9 क्वांटम यांत्रिकी मॉडल (उपकोशों अथवा कक्षकों की अवधारणा)
- 2.10 परमाणुओं के इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास

### 2.1 परिचय एवं परमाणु के मूल कण

(Introduction and Fundamental Particles of the Atom)

प्राचीन भारतीय एवं ग्रीक दार्शनिकों ने द्रव्य की संरचना की व्याख्या करने के लिये ऋषियों ने निम्न विचार प्रस्तुत किये—

महर्षि कणाद के अनुसार समस्त द्रव्य अतिसूक्ष्म कणों से मिलकर बने हैं जिन्हें परमाणु (परम अणु अर्थात् अतिसूक्ष्म कण) कहते हैं। लूक्रीटस तथा डेमोक्रेटस ने भी कुछ इसी प्रकार के मत दिये।

अरस्तु तथा प्लेटो के अनुसार द्रव्य को अनन्त तक विभाजित किया जा सकता था।

इसके बाद जॉन डाल्टन ने प्रायोगिक प्रेक्षणों, द्रव्यमान संरक्षण के नियम आदि का संज्ञान लेते हुए पहला परमाणु सिद्धान्त दिया। इसके अनुसार संक्षेप में—

“परमाणु किसी तत्त्व का वह छोटे से छोटा अविभाज्य कण है, जो रासायनिक क्रिया में भाग लेता है और उसमें, उस तत्त्व के सभी गुण विद्यमान रहते हैं।”

डाल्टन के सिद्धान्त के अनुसार—

1. परमाणु को विभाजित नहीं किया जा सकता है।
2. किसी भी रासायनिक अभिक्रिया के दौरान परमाणु को न तो उत्पन्न किया जा सकता है और न ही नष्ट किया जा सकता है।
3. एक तत्त्व के सभी परमाणु आकार, द्रव्यमान आदि गुणों में एक-दूसरे के समान होते हैं।
4. भिन्न-भिन्न तत्त्वों के परमाणु भिन्न होते हैं।
5. परमाणु आपस में मिलकर संयुक्त परमाणु (compound atom) बनाते हैं।

डाल्टन के परमाणु सिद्धान्त के आधार पर परमाणु (compound atom) बनाते हैं नियम की व्याख्या की जा सकती है तथा इससे अन्य रासायनिक संयोग के नियमों की व्याख्या भी की जा सकती है। वहीं डाल्टन का परमाणु सिद्धान्त अग्रलिखित तथ्यों की व्याख्या नहीं कर सका—

परमाणु संरचना

1. एव

उ

2. ए

3. थि

अब

लेकिन अ

तत्त्व के

न्यूट्रॉन हो

प्रकार के

न्यूट्रॉनों

पर

लेकिन

पर

लिए ग्रा

मूल क

न्यूट्रॉन

इ

प्रोटॉन

क्रमश

मू

2

[A

द

मे

लि

(

v

n

Generated by CamScanner



1. एक ही तत्व के परमाणुओं का द्रव्यमान अलग-अलग क्यों होता है?  
उदाहरणार्थ— ${}^1_1\text{H}$ ,  ${}^2_1\text{H}$ ,  ${}^3_1\text{H}$  एवं  ${}^{16}_8\text{O}$ ,  ${}^{17}_8\text{O}$ ,  ${}^{18}_8\text{O}$

2. एक ही तत्व के परमाणु आपस में संयोग क्यों करते हैं?
3. भिन्न-भिन्न तत्वों के परमाणुओं की संयोजकता और द्रव्यमान अलग-अलग क्यों होते हैं?

अब से लगभग 100 वर्षों पहले तक डाल्टन के परमाणु सिद्धान्त के अनुसार परमाणु को अविभाज्य (indivisible) माना जाता रहा था लेकिन अब यह सिद्ध हो चुका है कि परमाणु विभाज्य है तथा यह इलेक्ट्रॉनों, प्रोटॉनों तथा न्यूट्रॉनों से मिलकर बना होता है। अतः किसी तत्व के मौलिक कण (fundamental particles) उसके परमाणु नहीं होते हैं अपितु सभी पदार्थों के मौलिक कण इलेक्ट्रॉन, प्रोटॉन तथा न्यूट्रॉन होते हैं। रासायनिक अभिक्रियाओं में परमाणु लगभग अविभाज्य रूप में भाग लेता है तथा उसका स्वरूप नष्ट नहीं होता है। एक ही प्रकार के परमाणुओं में इलेक्ट्रॉनों, प्रोटॉनों तथा न्यूट्रॉनों की संख्या समान होती है तथा भिन्न प्रकार के परमाणुओं में इलेक्ट्रॉनों, प्रोटॉनों तथा न्यूट्रॉनों की संख्या में अन्तर होता है।

परमाणु के विभाजित होने पर प्रायः कुछ अन्य कण जैसे कि पाजिट्रॉन, न्यूट्रिनो, एन्टि-न्यूट्रिनो और मेसॉन आदि भी प्राप्त होते हैं। लेकिन परमाणु संरचना में इन कणों का महत्त्व बहुत कम है क्योंकि ये कण अस्थायी होते हैं।

परमाणु के मूल कणों के ग्राम में द्रव्यमान यह स्पष्ट करते हैं कि इलेक्ट्रॉन, प्रोटॉन तथा न्यूट्रॉन अति सूक्ष्म कण हैं। इतने छोटे कणों के द्रव्यमान के लिए ग्राम उपयुक्त इकाई (unit) नहीं है। इन कणों के द्रव्यमान के अनुरूप इकाई परमाणु द्रव्यमान इकाई (atomic mass unit, amu या u) है। परमाणु के मूल कणों के आपेक्षिक द्रव्यमान यह प्रदर्शित करते हैं कि प्रोटॉन व न्यूट्रॉन के द्रव्यमान लगभग बराबर होते हैं तथा इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान, प्रोटॉन व न्यूट्रॉन के द्रव्यमान की तुलना में नगण्य (negligible) होता है।

इलेक्ट्रॉन तथा प्रोटॉन के आवेश परिमाण में समान तथा प्रकृति में विपरीत होते हैं। इलेक्ट्रॉन का आवेश  $-1.603 \times 10^{-19}$  कूलॉम तथा प्रोटॉन का आवेश  $+1.603 \times 10^{-19}$  कूलॉम होता है। चूँकि इनसे कम आवेश किसी भी कण पर नहीं पाया गया है; अतः इनके आवेश की क्रमशः इकाई ऋणावेश तथा इकाई धनावेश कहते हैं।

इलेक्ट्रॉन, प्रोटॉन तथा न्यूट्रॉन के प्रमुख लक्षण (characteristics) सारणी 2.1 में दिये गये हैं—

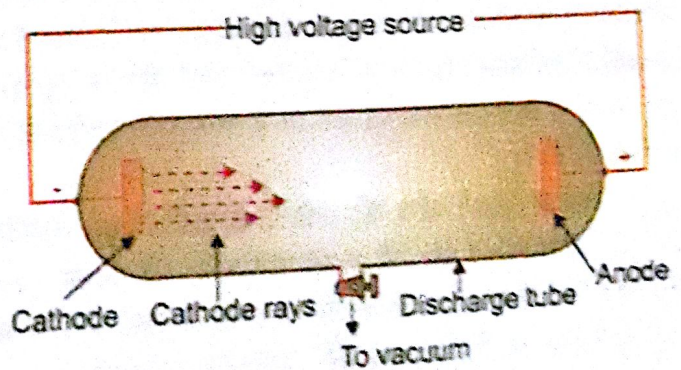
सारणी 2.1 परमाणु के मूल कणों के लक्षण

मूल कण	प्रतीक	द्रव्यमान (amu में)	द्रव्यमान (ग्राम में)	आपेक्षिक द्रव्यमान (लगभग)	आवेश	खोजकर्ता
इलेक्ट्रॉन	$e, {}_{-1}e^0$	0.00055 amu	$9.1095 \times 10^{-28}$ ग्राम	1/1837	-1 (इकाई ऋणावेश)	जे.जे. टॉमसन (1897)
प्रोटॉन	$p, {}_1\text{H}^1$	1.00728 amu	$1.6726 \times 10^{-24}$ ग्राम	1	+1 (इकाई धनावेश)	रदरफोर्ड (1919)
न्यूट्रॉन	$n, {}_0n^1$	1.00867 amu	$1.6750 \times 10^{-24}$ ग्राम	1	0 (विद्युतबल उदात्त)	चैडविक (1932)

## 2.2 परमाणु के मूल कणों की खोज

### [A] इलेक्ट्रॉन की खोज (Discovery of Electron)

सन् 1859 में जुलियस प्लुकर (Julius Plucker) ने गैसों में कम दाब पर विद्युत प्रवाहित की। लगभग 60 सेमी लम्बी काँच की नलिका में लगभग 0.001 अर्थात्  $10^{-3}$  मिमी पारे के दाब पर किसी गैस को लिया गया एवं नली के दोनों किनारों पर दो इलेक्ट्रोड लगाये गये (चित्र 2.1)। दोनों इलेक्ट्रोडों के बीच किसी उच्च विभव स्रोत (high voltage source) की सहायता से लगभग 10,000 वोल्ट से 30,000 वोल्ट तक का विभवान्तर (potential difference) प्रयुक्त करने पर



चित्र 2.1 विस्तर्न नलिका में कैथोड किरणों का प्रसरण।

प्रोटॉन की खोज में सन् 1886 तथा 1922 के मध्य कई वैज्ञानिकों का योगदान रहा है। इस कारण कुछ लेखक मोल्हस्टेन (1886) को प्रोटॉन का खोजकर्ता मानते हैं। अधिकतर लेखक रदरफोर्ड (1919) को प्रोटॉन का खोजकर्ता मानते हैं। कुछ लेखक रदरफोर्ड द्वारा इसकी खोज का वर्ष 1922 मानते हैं।



यह पाया गया कि काँच की नली में ऋणात्मक इलेक्ट्रोड (cathode) के सामने वाली दीवार पर हरे रंग के प्रकाश की चमक उत्पन्न होती है। इससे यह निष्कर्ष निकलता है कि कैथोड से कुछ किरणें निकलकर सामने वाली दीवार पर पड़ती हैं। इन किरणों को जे० जे० टॉमसन ने कैथोड किरणें (cathode rays) नाम दिया। काँच की नलिका को, जिसमें विद्युत का विसर्जन होता है, विसर्जन नलिका (discharge tube) कहते हैं।

विलियम क्रूक्स (William Crookes, 1879), हिटोर्फ (Hittorf, 1889), पेरिन (Perin, 1895), जे० जे० टॉमसन (J.J. Thomson, 1897) और कई अन्य वैज्ञानिकों ने कैथोड किरणों के गुणों का अध्ययन किया। कैथोड किरणों के मुख्य गुण निम्नलिखित हैं—

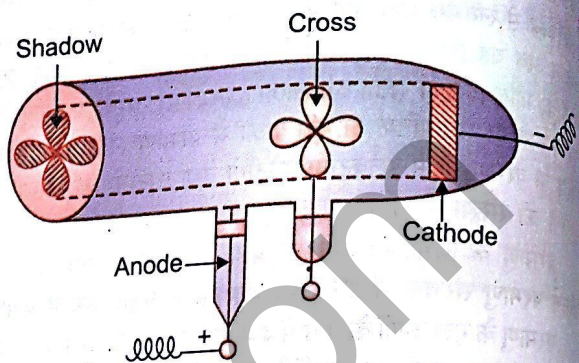
1. कैथोड किरणें सीधी रेखाओं में चलती हैं। कैथोड किरणें अपने मार्ग में रखी किसी अपारदर्शी वस्तु की छाया सामने वाली दीवार पर बनाती हैं। यदि कैथोड किरणों के पथ में किसी ठोस धातु की बनी कोई वस्तु रख दी जाये तो उसकी छाया (shadow) सामने वाली दीवार पर पड़ती है (चित्र 2.2)। इससे यह सिद्ध होता है कि ये किरणें सीधी रेखाओं में चलती हैं।

2. कैथोड किरणें सूक्ष्म द्रव्य कणों से मिलकर बनी होती हैं। कैथोड किरणें अपने मार्ग में रखे एक छोटे एवं हल्के पहिये को घुमा देती हैं (चित्र 2.3)। इससे यह सिद्ध होता है कि ये किरणें सूक्ष्म द्रव्य कणों से मिलकर बनी होती हैं तथा इनमें गतिज ऊर्जा (kinetic energy) होती है।

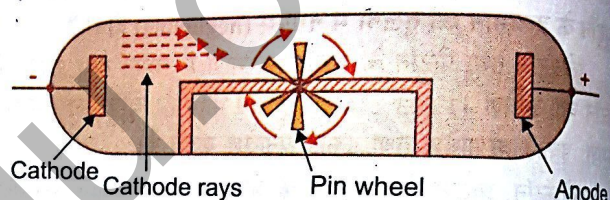
3. कैथोड किरणों के ऋणावेशित होने के कारण ये विद्युतीय एवं चुम्बकीय क्षेत्र में विक्षेपित हो जाती हैं। कैथोड किरणें विद्युतीय क्षेत्र में धन आवेशित प्लेट की ओर मुड़ जाती हैं (चित्र 2.4)। चुम्बकीय क्षेत्र में ये दक्षिणी ध्रुव की ओर विक्षेपित (deflect) हो जाती हैं। इन प्रयोगों से यह सिद्ध होता है कि कैथोड किरणें ऋण आवेशित कणों से मिलकर बनी होती हैं।

जे० जे० टॉमसन ने कैथोड किरणों के कणों पर उपस्थित ऋण आवेश एवं उनकी मात्रा का अनुपात ( $e/m$ ) ज्ञात किया। यह अनुपात विसर्जन नलिका के इलेक्ट्रोडों के पदार्थ या नली में उपस्थित गैस की प्रकृति पर निर्भर नहीं करता है परन्तु प्रत्येक दशा में नियत (constant) होता है। इससे यह निष्कर्ष निकलता है कि सभी पदार्थों से प्राप्त कैथोड किरणें एक ही प्रकार की होती हैं एवं उनमें उपस्थित ऋण आवेशित कण एक ही प्रकार के होते हैं। इन कणों का नाम स्टोनी (Stoney) ने इलेक्ट्रॉन (electron) दिया तथा इसकी खोज का मुख्य श्रेय जे० जे० टॉमसन को जाता है। सभी तत्वों के परमाणुओं में अर्थात् सभी पदार्थों में इलेक्ट्रॉन उपस्थित होते हैं। ये परमाणुओं से भी छोटे कण होते हैं। अतः इलेक्ट्रॉन सभी पदार्थों के मौलिक कण (fundamental particles) होते हैं।

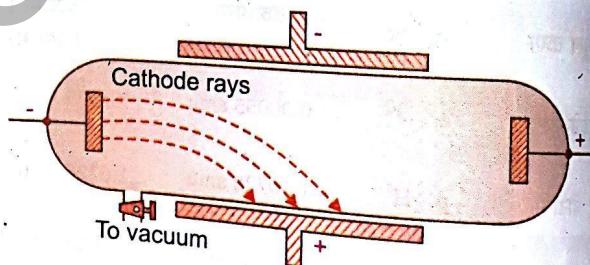
4. कैथोड किरणें काँच की नली की दीवारों पर हरी स्फुरदीप्ति (green fluorescence) उत्पन्न करती हैं।
5. कैथोड किरणें धातु की पतली पत्री (foil) को भेदकर (penetrate) पार निकल जाती हैं तथा कैथोड किरणों के मार्ग में रखी धातु की पतली पत्री कैथोड किरणों की गतिज ऊर्जा के ताप ऊर्जा में बदल जाने के कारण गर्म भी हो जाती है।
6. कैथोड किरणें गैस कणों को आयनित कर देती हैं।
7. कैथोड किरणें फोटोग्राफिक प्लेट पर प्रभाव डालती हैं।
8. उच्च गलनांक की धातुओं पर कैथोड किरणें डालने से X-किरणें (X-rays) उत्पन्न होती हैं।
9. धातु की प्लेट कैथोड किरणों के मार्ग में रखने पर ऋणावेशित हो जाती है।



चित्र 2.2 कैथोड किरणों का सीधी रेखा में चलना।



चित्र 2.3 कैथोड किरणों का गतिज ऊर्जायुक्त होना।



चित्र 2.4 कैथोड किरणों का विद्युतीय क्षेत्र में विक्षेपण।

परमाणु  
प्रकार  
इलेक्ट्रॉन  
टकरा  
हैं। इ  
रेडिय  
उदाह  
इलेक्ट्रॉन  
1.60  
इका  
दिया  
तथा  
रहता  
है। इ  
द्रव्यम

सहाय  
हाइड्र  
कम



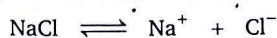
इलेक्ट्रॉन सभी पदार्थों के मौलिक कण होते हैं, यह न केवल गैसों में विद्युत विसर्जन के प्रयोगों द्वारा ज्ञात हुआ है बल्कि अन्य कई प्रकार की घटनाओं के अध्ययन द्वारा भी सिद्ध होता है। उदाहरणार्थ,

(i) तापायनिक उत्सर्जन (Thermionic Emission) — जब किसी पदार्थ को उच्च ताप तथा कम दाब पर गर्म किया जाता है तब इलेक्ट्रॉन बाहर निकलने लगते हैं। इस घटना को तापायनिक उत्सर्जन कहते हैं।

(ii) प्रकाश-वैद्युत प्रभाव (Photoelectric Effect) — जब X-किरणें,  $\gamma$ -किरणें अथवा पराबैंगनी किरणें (ultraviolet rays) धातुओं से टकराती हैं तब भी इलेक्ट्रॉन उन धातुओं से बाहर निकलने लगते हैं। इस घटना को प्रकाश-वैद्युत प्रभाव कहते हैं।

(iii) रेडियोएक्टिवता (Radioactivity) — रेडियम, यूरेनियम, थोरियम आदि तत्वों से कुछ किरणें स्वतः उत्सर्जित होती रहती हैं। इन किरणों को रेडियोएक्टिव किरणें कहते हैं तथा ये तीन प्रकार की ( $\alpha$ -किरणें,  $\beta$ -किरणें तथा  $\gamma$ -किरणें) होती हैं। इस घटना को रेडियोएक्टिवता कहते हैं। इनमें से  $\beta$ -किरणें इलेक्ट्रॉनों से मिलकर बनी होती हैं।

(iv) आयनन (Ionisation) — वैद्युत-संयोजी यौगिक पानी के सम्पर्क में आने पर आयनों में विभोजित (dissociate) हो जाते हैं। उदाहरणार्थ,



धन तथा ऋण आवेशित कणों का प्राप्त होना इलेक्ट्रॉनों की उपस्थिति का प्रमाण (evidence) है।

### इलेक्ट्रॉन का आवेश एवं द्रव्यमान

जे० जे० टॉमसन ने इलेक्ट्रॉन पर उपस्थित आवेश ( $e$ ) एवं इसके द्रव्यमान ( $m$ ) का अनुपात ज्ञात किया।

$$\frac{\text{इलेक्ट्रॉन का आवेश}}{\text{इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान}} = \frac{e}{m} = 1.759 \times 10^{11} \text{ कूलॉम प्रति किग्रा}$$

मिलिकन (Millikan, 1911) ने तेल-बूंद विधि (oil drop method) के द्वारा कैथोड किरणों के कण का आवेश ( $e$ ) ज्ञात किया जो कि  $1.603 \times 10^{-19}$  कूलॉम पाया गया। चूँकि इससे कम ऋण आवेश किसी अन्य कण पर नहीं पाया गया है, अतः इलेक्ट्रॉन के आवेश को इकाई ऋण आवेश (unit negative charge) भी कहते हैं। अतः इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान

$$(m) = \frac{e}{e/m} = \frac{1.602 \times 10^{-19} \text{ कूलॉम}}{1.759 \times 10^{11} \text{ कूलॉम प्रति किग्रा}} = 9.1095 \times 10^{-31} \text{ किग्रा} = 9.1095 \times 10^{-28} \text{ ग्राम}$$

कैथोड किरणों के आवेश एवं द्रव्यमान की गणना हो जाने के बाद स्टोनी (Stoney) ने कैथोड किरणों को इलेक्ट्रॉन पुंज का नाम दिया तथा कैथोड किरण के कण को इलेक्ट्रॉन कहा।

**टिप्पणी :**  $e/m$  का मान कूलॉम प्रति ग्राम व्यक्त नहीं करना चाहिये क्योंकि आवेश की M.K.S. में इकाई कूलॉम (Coulomb) है तथा द्रव्यमान की इकाई M.K.S. में ग्राम न होकर किलोग्राम होती है।

आइन्सटीन के आपेक्षिकता के सिद्धान्त (theory of relativity) के अनुसार किसी कण का द्रव्यमान उसके वेग के अनुसार बदलता रहता है। यदि किसी कण का वेग प्रकाश के वेग से बहुत कम है तो कण का द्रव्यमान उसके विराम द्रव्यमान के लगभग बराबर होता है। इलेक्ट्रॉन का उपरोक्त द्रव्यमान कम वेग के इलेक्ट्रॉन के लिए ज्ञात किया गया है। अतः इलेक्ट्रॉन का यह द्रव्यमान उसका विराम द्रव्यमान (rest mass) ' $m$ ' कहलाता है। गति की अवस्था में इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान

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

जहाँ  $u$  इलेक्ट्रॉन का वेग तथा  $c$  प्रकाश का वेग है।

हाइड्रोजन एवं अन्य तत्वों के परमाणुओं के वास्तविक द्रव्यमान, परमाणु भार तथा ऐवोगैद्रो संख्या (Avogadro's number) की सहायता से ज्ञात किये जा चुके हैं। हाइड्रोजन के एक परमाणु का द्रव्यमान  $1.6738 \times 10^{-24}$  ग्राम होता है। अतः इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान हाइड्रोजन के परमाणु के द्रव्यमान का  $1/1837$  होता है अर्थात् इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान हाइड्रोजन परमाणु के द्रव्यमान की तुलना में बहुत कम (नगण्य) होता है।



इलेक्ट्रॉन सभी पदार्थों के मौलिक कण होते हैं, यह न केवल गैसों में विद्युत विसर्जन के प्रयोगों द्वारा ज्ञात हुआ है बल्कि अन्य कई प्रकार की घटनाओं के अध्ययन द्वारा भी सिद्ध होता है। उदाहरणार्थ,

(i) **तापायनिक उत्सर्जन (Thermionic Emission)**—जब किसी पदार्थ को उच्च ताप तथा कम दाब पर गर्म किया जाता है तब इलेक्ट्रॉन बाहर निकलने लगते हैं। इस घटना को तापायनिक उत्सर्जन कहते हैं।

(ii) **प्रकाश-वैद्युत प्रभाव (Photoelectric Effect)**—जब X-किरणें,  $\gamma$ -किरणें अथवा पराबैंगनी किरणें (ultraviolet rays) धातुओं से टकराती हैं तब भी इलेक्ट्रॉन उन धातुओं से बाहर निकलने लगते हैं। इस घटना को प्रकाश-वैद्युत प्रभाव कहते हैं।

(iii) **रेडियोएक्टिवता (Radioactivity)**—रेडियम, यूरेनियम, थोरियम आदि तत्वों से कुछ किरणें स्वतः उत्सर्जित होती रहती हैं। इन किरणों को रेडियोएक्टिव किरणें कहते हैं तथा ये तीन प्रकार की ( $\alpha$ -किरणें,  $\beta$ -किरणें तथा  $\gamma$ -किरणें) होती हैं। इस घटना को रेडियोएक्टिवता कहते हैं। इनमें से  $\beta$ -किरणें इलेक्ट्रॉनों से मिलकर बनी होती हैं।

(iv) **आयनन (Ionisation)**—वैद्युत-संयोजी यौगिक पानी के सम्पर्क में आने पर आयनों में वियोजित (dissociate) हो जाते हैं। उदाहरणार्थ,



घन तथा ऋण आवेशित कणों का प्राप्त होना इलेक्ट्रॉनों की उपस्थिति का प्रमाण (evidence) है।

### इलेक्ट्रॉन का आवेश एवं द्रव्यमान

जे० जे० टॉमसन ने इलेक्ट्रॉन पर उपस्थित आवेश ( $e$ ) एवं इसके द्रव्यमान ( $m$ ) का अनुपात ज्ञात किया।

$$\frac{\text{इलेक्ट्रॉन का आवेश}}{\text{इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान}} = \frac{e}{m} = 1.759 \times 10^{11} \text{ कूलॉम प्रति किग्रा}$$

मिलिकन (Millikan, 1911) ने तेल-बूँद विधि (oil drop method) के द्वारा कैथोड किरणों के कण का आवेश ( $e$ ) ज्ञात किया जो कि  $1.603 \times 10^{-19}$  कूलॉम पाया गया। चूँकि इससे कम ऋण आवेश किसी अन्य कण पर नहीं पाया गया है, अतः इलेक्ट्रॉन के आवेश को इकाई ऋण आवेश (unit negative charge) भी कहते हैं। अतः इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान

$$(m) = \frac{e}{e/m} = \frac{1.602 \times 10^{-19} \text{ कूलॉम}}{1.759 \times 10^{11} \text{ कूलॉम प्रति किग्रा}} = 9.1095 \times 10^{-31} \text{ किग्रा} = 9.1095 \times 10^{-28} \text{ ग्राम}$$

कैथोड किरणों के आवेश एवं द्रव्यमान की गणना हो जाने के बाद स्टोनी (Stoney) ने कैथोड किरणों को इलेक्ट्रॉन पुंज का नाम दिया तथा कैथोड किरण के कण को इलेक्ट्रॉन कहा।



टिप्पणी : 1. एक मोल इलेक्ट्रॉन का आवेश  $= N \times e$   
 $= 6.02 \times 10^{23} \times 1.602 \times 10^{-22}$   
 $= 96500$  कूलॉम  
 $= 1$  फेरड (1F)

2. इलेक्ट्रॉन की त्रिज्या  $2.8 \times 10^{-16}$  सेमी होती है।

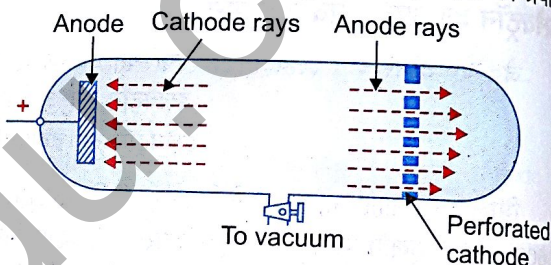
3. इलेक्ट्रॉन परमाणु का मूल अवयव (fundamental constituent) होता है।

### कैथोड किरणों का उद्गम (Origin of Cathode Rays)

कैथोड किरणों के गुणों के अध्ययन से ज्ञात होता है कि गैसों में कम दाब पर विद्युत के प्रवाह से गैसों का आयनन हो जाता है। आयनन के फलस्वरूप इलेक्ट्रॉन तथा धन आवेशित कण बनते हैं। इलेक्ट्रॉन ऐनोड की ओर आकर्षित होते हैं तथा तीव्र होती हुई गति के साथ ऐनोड की ओर कैथोड किरणों के रूप में चलते हैं। धन आवेशित कण कैथोड की ओर चलते हैं। धन आवेशित कण कैथोड से इलेक्ट्रॉन ग्रहण करके उदासीन परमाणु बनाते हैं, जो फिर से आयनित होते हैं एवं कैथोड किरणें उत्पन्न करते हैं।

### [B] प्रोटॉन की खोज (Discovery of Proton)

गोल्डस्टीन (Goldstein) ने 1886 में ज्ञात किया कि यदि विसर्जन नलिका के बीच में एक छिद्रित (perforated) कैथोड का प्रयोग किया जाये एवं कम दाब पर गैसों में विद्युत प्रवाहित की जाये तो एक प्रकार की किरणें उत्पन्न होती हैं, जो ऐनोड से कैथोड की ओर चलती हैं एवं कैथोड के छिद्रों में से निकलकर विसर्जन नली की दीवार से टकराकर चमक उत्पन्न करती हैं (चित्र 2.5)। इन किरणों को धन किरणें (positive rays), कैनाल किरणें (canal rays) या गोल्डस्टीन किरणें (Goldstein rays) कहते हैं।



चित्र 2.5 कैनाल किरणें।

टिप्पणी : धन किरणों को ऐनोड किरणें कहना गलत है क्योंकि ये ऐनोड से उत्पन्न नहीं होती।

वाइन (W. Wein, 1897), जे.जे. टॉमसन (J.J. Thomson, 1897)

आदि कई वैज्ञानिकों ने धन किरणों के गुणों का अध्ययन किया। धन किरणों के मुख्य गुण निम्नलिखित हैं—

1. धन किरणें कैथोड किरणों की भाँति सीधी रेखाओं में चलती हैं परन्तु इनकी दिशा कैथोड किरणों के विपरीत होती है एवं गति कम होती है।

2. धन किरणें सूक्ष्म द्रव्य कणों से मिलकर बनी होती हैं।

धन किरणें अपने मार्ग में रखे एक छोटे एवं हल्के पहिये को घुमा देती हैं। इससे यह सिद्ध होता है कि ये किरणें सूक्ष्म द्रव्य कणों से मिलकर बनी होती हैं तथा इनमें गतिज ऊर्जा (kinetic energy) होती है।

3. धन किरणें विद्युतीय तथा चुम्बकीय क्षेत्र में विक्षेपित हो जाती हैं तथा फोटोग्राफिक प्लेट को प्रभावित करती हैं। धन किरणें विद्युतीय क्षेत्र में ऋण आवेशित प्लेट की ओर मुड़ जाती हैं। चुम्बकीय क्षेत्र में ये उत्तरी ध्रुव की ओर विक्षेपित (deflect) हो जाती हैं। इन प्रयोगों से यह सिद्ध होता है कि धन किरणें धन आवेशित कणों से मिलकर बनी होती हैं।

4. धन किरणें धातु की पतली पत्री को भेदकर पार निकल जाती हैं, परन्तु इनकी भेदन शक्ति कैथोड किरणों से कम होती है।

5. जिंक सल्फाइड (ZnS) के पर्दे से टकराने पर प्रतिदीप्ति (fluorescence) उत्पन्न करती है।

6. धन किरणों के कण पर एक इकाई या अधिक धनावेश हो सकता है क्योंकि गैस परमाणु में से एक या अधिक इलेक्ट्रॉन निर्गत हो सकते हैं।

विसर्जन नली में भिन्न-भिन्न गैसों लेकर उनसे प्राप्त धन किरणों के धनावेशित कणों पर आवेश की मात्रा (e) एवं उनके द्रव्यमान (m) के अनुपात ज्ञात किये गये हैं। यह मान (e/m) भिन्न-भिन्न गैसों के लिये भिन्न होता है। यह मान विसर्जन नलिका के इलेक्ट्रोडों के पदार्थों की प्रकृति पर निर्भर नहीं करता है। हाइड्रोजन गैस की धन किरणों के धनावेशित कणों के लिए e/m का मान उच्चतम होता है। अरनेस्ट रदरफोर्ड (E. Rutherford, 1922) द्वारा हाइड्रोजन से प्राप्त धन किरणों के धनावेशित कणों का नाम प्रोटॉन (proton) दिया गया है।

परमाणु र

चूँ

धनावेशि

होते हैं।

होते हैं,

इनमें रे

गैस बन

प्रोटॉन

हा

ज्ञात कि

चूँ

उपस्थित

ह

की मात्रा

कण प

का द्रव्य

1

2

3

4

प्र

1

2

3

4

धन वि

कै

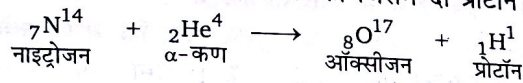
हो जात

ऐनोड

निकलव



चूँकि हाइड्रोजन से प्राप्त धन किरणों के धनावेशित कणों के लिये  $e/m$  का मान उच्चतम है अर्थात् ये कण अन्य गैसों से प्राप्त धनावेशित कणों की तुलना में सबसे हल्के हैं, अतः यह माना जा सकता है कि सभी गैसों से प्राप्त धनावेशित कणों में प्रोटॉन उपस्थित होते हैं। अतः प्रोटॉन भी इलेक्ट्रॉनों की तरह सभी पदार्थों के मूल कण (fundamental particles) होते हैं। प्रोटॉन सभी पदार्थों के मूल कण होते हैं, यह न केवल धन किरणों के गुणों के अध्ययन से ज्ञात होता है बल्कि अन्य कई प्रकार की घटनाओं के द्वारा भी सिद्ध होता है। इनमें रेडियोएक्टिवता प्रमुख है। रदरफोर्ड (E. Rutherford, 1919) ने ज्ञात किया कि नाइट्रोजन गैस पर  $\alpha$ -कणों की बमबारी से ऑक्सीजन गैस बनती है तथा प्रोटॉन उत्सर्जित होते हैं। (हीलियम के नाभिक को जिसमें दो प्रोटॉन तथा दो न्यूट्रॉन होते हैं,  $\alpha$ -कण कहते हैं।)



### प्रोटॉन का आवेश एवं द्रव्यमान

हाइड्रोजन गैस की धन किरणों के धनावेशित कणों के आवेश ( $e$ ) एवं द्रव्यमान ( $m$ ) के अनुपात ( $e/m$ ) का मान जे०जे० टॉमसन द्वारा ज्ञात किया गया।

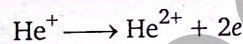
$$\frac{\text{प्रोटॉन का आवेश}}{\text{प्रोटॉन का द्रव्यमान}} = \frac{e}{m} = \frac{1.602 \times 10^{-19}}{1.672 \times 10^{-27}} = 9.58 \times 10^7 \text{ कूलॉम प्रति किग्रा}$$

चूँकि इलेक्ट्रॉन पर उपस्थित ऋण आवेश की मात्रा  $1.602 \times 10^{-19}$  कूलॉम होती है, अतः यदि यह मान लिया जाये कि प्रोटॉन पर उपस्थित धन आवेश की मात्रा भी  $1.602 \times 10^{-19}$  कूलॉम होती है, तो प्रोटॉन का द्रव्यमान ज्ञात किया जा सकता है।

$$\begin{aligned} \text{प्रोटॉन का द्रव्यमान (m)} &= \frac{e}{e/m} = \frac{1.602 \times 10^{-19} \text{ कूलॉम}}{9.58 \times 10^7 \text{ कूलॉम प्रति किग्रा}} \\ &= 1.6726 \times 10^{-27} \text{ किग्रा} = 1.6726 \times 10^{-24} \text{ ग्राम} \end{aligned}$$

हाइड्रोजन के एक परमाणु का द्रव्यमान भी लगभग  $1.6726 \times 10^{-24}$  ग्राम ही होता है, अतः यह सिद्ध होता है कि प्रोटॉन के धन आवेश की मात्रा इलेक्ट्रॉन के ऋण आवेश की मात्रा के बराबर अर्थात्  $1.602 \times 10^{-19}$  कूलॉम होती है। चूँकि इससे कम धन आवेश किसी अन्य कण पर नहीं पाया गया है, अतः प्रोटॉन पर उपस्थित आवेश को इकाई धन आवेश (unit positive charge) भी कहते हैं। प्रोटॉन का द्रव्यमान  $1.6726 \times 10^{-24}$  ग्राम होता है तथा प्रोटॉन का द्रव्यमान हाइड्रोजन के परमाणु के द्रव्यमान के लगभग बराबर होता है।

**टिप्पणी :** 1. He गैस के लिये :  $\text{He} \longrightarrow \text{He}^+ + e$



$$\begin{aligned} \text{He}^{2+} \text{ का } e/m \text{ (या एल्फा कण का } e/m) &= \frac{2 \times 1.602 \times 10^{-19} \text{ कूलॉम}}{4 \times 1.672 \times 10^{-27} \text{ किग्रा}} \\ &= 4.79 \times 10^7 \text{ कूलॉम/किग्रा} \end{aligned}$$

2. प्रोटॉन (Proton) या  $\text{H}^+$  का  $e/m$  एल्फा कण ( $\alpha$ -particle) के  $e/m$  का दोगुना होता है।

**प्रोटॉन की अन्य विशेषतायें :**

1. प्रोटॉन प्रत्येक परमाणु के नाभिक में उपस्थित होते हैं।
2. नाभिक का धनावेशित मौलिक कण ही प्रोटॉन होता है। इसे  ${}_1^1\text{p}$  से प्रदर्शित करते हैं।
3. तत्वों के भौतिक गुण उनके नाभिक में उपस्थित गुणों पर निर्भर करते हैं।
4. प्रोटॉन का द्रव्यमान, हाइड्रोजन परमाणु के लगभग बराबर होता है और इसकी त्रिज्या  $10^{-13}$  सेमी होती है।

### धन किरणों का उद्गम (Origin of Positive Rays)

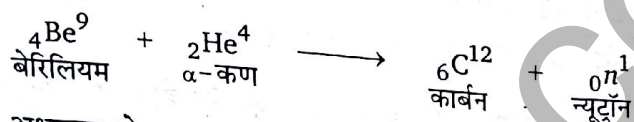
कैथोड तथा धन किरणों के गुणों के अध्ययन से मालूम होता है कि गैसों में कम दाब पर विद्युत के प्रवाह से गैसों का आयनन हो जाता है। आयनन के फलस्वरूप इलेक्ट्रॉन तथा धनावेशित कण बनते हैं। धनावेशित कण तीव्र गति से कैथोड की ओर चलते हैं तथा ऐनोड किरणें उत्पन्न करते हैं। कैथोड के छिद्रित होने की दशा में धनावेशित कण तीव्र गति एवं त्वरण के साथ कैथोड के छिद्रों में से निकलकर सामने वाली दीवार से टकराते हैं।



न्यूट्रॉन की खोज परमाणु क्रमांक की खोज के बाद हुई है। किसी तत्व का परमाणु क्रमांक ज्ञात होने पर उसके एक परमाणु में उपस्थित प्रोटॉनों तथा इलेक्ट्रॉनों की संख्याओं का ज्ञान हो जाता है। एक इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान  $9.1095 \times 10^{-28}$  ग्राम तथा एक प्रोटॉन का द्रव्यमान  $1.6726 \times 10^{-24}$  ग्राम होता है। इस आधार पर किसी तत्व के 1 परमाणु में उपस्थित प्रोटॉनों एवं इलेक्ट्रॉनों का कुल द्रव्यमान ज्ञात किया जा सकता है। सभी तत्वों के परमाणुओं के वास्तविक द्रव्यमान ज्ञात किये जा चुके हैं एवं यह पाया गया है कि सभी तत्वों के परमाणुओं के वास्तविक द्रव्यमान (हाइड्रोजन को छोड़कर) उनमें उपस्थित प्रोटॉनों एवं इलेक्ट्रॉनों के द्रव्यमानों के योग के बराबर होते हैं।

इस आधार पर अरनेस्ट रदरफोर्ड (E. Rutherford, 1920) ने यह सुझाव दिया कि सभी तत्वों के प्रोटॉनों की भाँति एक तीसरे प्रकार के कण होते हैं जिनका भार हाइड्रोजन के 1 परमाणु के भार के लगभग बराबर होता है तथा विद्युतीय उदासीन होते हैं। इन कणों का नाम न्यूट्रॉन दिया गया। चूँकि हाइड्रोजन के एक परमाणु का भार एक प्रोटॉन के भार के लगभग बराबर होता है, अतः यह भी कहा जा सकता है कि 1 न्यूट्रॉन का भार, 1 प्रोटॉन के भार के लगभग बराबर होता है। रदरफोर्ड के इस सुझाव का पुष्टिकरण सर्वप्रथम 1932 में इंगलिश वैज्ञानिक जैक्स चडविक ने किया।

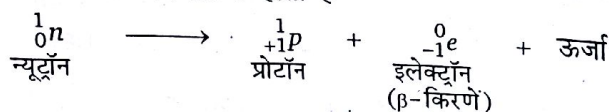
रदरफोर्ड के इस सुझाव का पुष्टिकरण सर्वप्रथम 1932 में इंगलिश वैज्ञानिक चैडविक (J. Chadwick) ने किया। चैडविक ने यह पाया कि जब कुछ हल्के तत्त्वों जैसे कि बोरॉन, बेरिलियम आदि पर एल्फा-कणों की बमबारी (bombardment) की जाती है तो उनमें से न्यूट्रॉन निकलते हैं।



अनेक नाभिकीय अभिक्रियाओं के अध्ययन से अब यह ज्ञात हो चुका है कि सभी\* तत्त्वों के परमाणुओं में न्यूट्रॉन उपस्थित होते हैं अर्थात् न्यूट्रॉन भी इलेक्ट्रॉन तथा प्रोटॉन की भाँति पदार्थों का एक मूल कण (fundamental particle) होता है। प्रयोगों द्वारा न्यूट्रॉन का द्रव्यमान भी ज्ञात किया जा चुका है। न्यूट्रॉन की खोज का मुख्य श्रेय चैडविक को जाता है।

**न्यूट्रॉन की विशेषताएँ :**

1. न्यूट्रॉन विद्युत उदासीन कण होते हैं अतः ये विद्युत अथवा चुम्बकीय क्षेत्र में विक्षेपित (deflect) नहीं होते हैं।
2. न्यूट्रॉन का द्रव्यमान  $1.6750 \times 10^{-24}$  ग्राम या  $1.00893 \text{ amu}$  होता है।
3.  $^1_0\text{H}$  हाइड्रोजन परमाणु को छोड़कर अन्य सभी परमाणुओं के नाभिक में न्यूट्रॉन उपस्थित होता है। अतः ये किसी परमाणु का मूल कण माना जाता है।
4. न्यूट्रॉन के  $e/m$  का मान शून्य होता है।
5. रदरफोर्ड ने  $\alpha$ -कणों के प्रकीर्णन से यह सिद्ध किया है कि परमाणु का लगभग समस्त भार उसके नाभिक में होता है, अतः परमाणु में न्यूट्रॉन का स्थान परमाणु के नाभिक में होता है।
6. यह माना गया है कि एक न्यूट्रॉन एक प्रोटॉन तथा एक इलेक्ट्रॉन से मिलकर बना होता है। तत्त्वों के परमाणुओं के रेडियोएक्टिव विघटन से जब  $\beta$ -किरणें प्राप्त होती हैं, तो निम्नलिखित क्रिया होती है—



**टिप्पणी :** 1. इस प्रकार इलेक्ट्रॉन, प्रोटॉन एवं न्यूट्रॉन, परमाणु के स्थायी मूल कण होते हैं—

2. परमाणु में कुछ अस्थायी मूल कण भी होते हैं। जैसे—  $\pi$ -मेसॉन,  $\mu$ -मेसॉन, न्यूट्रिनो आदि।  
3. स्वतंत्र अवस्था में न्यूट्रॉन भी एक अस्थायी कण (औसत आयु 17 मिनट) होता है।

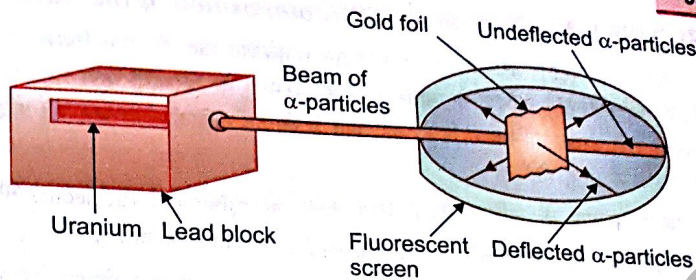
### (Discovery and Composition of the Nucleus of Atom)

**अरनेस्ट रदरफोर्ड** (E. Rutherford) ने सन् 1911 में परमाणु के नाभिक की खोज की। रदरफोर्ड के निर्देशन में कार्य कर रहे वैज्ञानिकों **गीगर** (Geiger) और **मार्सडेन** (Marsden) ने सोना, चाँदी आदि धातुओं की पतली चादर (लगभग  $4 \times 10^{-5}$  सेमी) पर  $\alpha$ -कणों की बमबारी के प्रयोग किये।

- केवल हाइड्रोजन के एक द्रव्यमान संख्या वाले परमाणुओं ( ${}_1\text{H}^1$ ) में न्यूट्रॉन नहीं होते हैं।



इन प्रयोगों में यूरेनियम से प्राप्त  $\alpha$ -कण एक किरण-पुंज के रूप में केवल एक दिशा में चलते हैं (चित्र 2.6)। लेड का टुकड़ा (lead block) अन्य दिशाओं में होने वाले विकिरणों को अवशोषित कर लेता है।  $\alpha$ -कण सीधी रेखाओं में चलते हुए धातु की पत्री से टकराते हैं। धातु की पत्री के चारों ओर एक प्रतिदीप्तिशील पर्दा (fluorescent screen) रखा जाता है। धातु की पत्री द्वारा  $\alpha$ -कणों का प्रकीर्णन या बिखराव (scattering) हो जाता है। इस प्रकीर्णन के कारण धातु की पत्री से निकलने के बाद  $\alpha$ -कण पर्दे पर विभिन्न स्थानों पर टकराते हैं तथा प्रतिदीप्ति (चमक) उत्पन्न करते हैं। इस प्रकार धातु की पत्री से निकलते समय विचलित होने वाले कणों की संख्या का अनुमान लगाया गया।



चित्र 2.6 गीगर और मार्सडेन का प्रयोग।

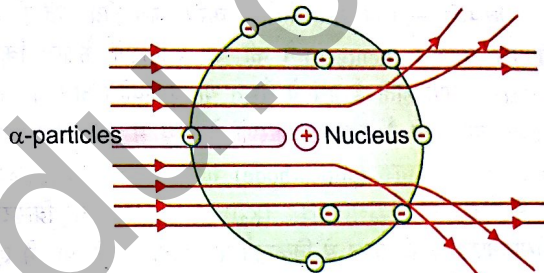
उपरोक्त प्रयोगों में यह पाया गया कि अधिकांश  $\alpha$ -कणों के मार्ग में धातु की पत्री में से निकलते समय कोई विचलन नहीं होता है। कुछ  $\alpha$ -कण धातु की चादर में से निकलते समय अपने मार्ग से विचलित हो जाते हैं। लगभग 20,000  $\alpha$ -कणों में से केवल एक  $\alpha$ -कण  $90^\circ$  या उससे अधिक के कोण से विचलित होता है।

रदरफोर्ड ने धातु की पतली चादर द्वारा  $\alpha$ -कणों के प्रकीर्णन (scattering) के प्रयोगों से निम्नलिखित निष्कर्ष निकाले—

1. अधिकांश  $\alpha$ -कणों के मार्ग में धातु की पत्री में से निकलते समय कोई विचलन नहीं होता है। अतः परमाणु में अधिकांश स्थान रिक्त (empty) होता है।

2. कुछ  $\alpha$ -कण धातु की पत्री से प्रतिकर्षित (repel) होकर वापस लौट आते हैं। अतः इससे सिद्ध होता है कि परमाणु में कुछ धनावेशित एवं भारी कण होते हैं।

3. ऐसे कणों की संख्या, जिनके मार्ग में विचलन हो जाता है, बहुत कम है। अतः धनावेशित एवं भारी कणों द्वारा घेरा हुआ स्थान बहुत कम होता है (चित्र 2.7)।



चित्र 2.7 एल्फा-कणों का प्रकीर्णन।

उपरोक्त प्रयोगों एवं निष्कर्षों के आधार पर रदरफोर्ड ने यह सुझाव दिया कि परमाणु का लगभग समस्त भार तथा कुल धनावेश उसके केन्द्र में एक सूक्ष्म आयतन में स्थित होता है। परमाणु के इस भाग को उसका केन्द्रक या नाभिक (nucleus) कहते हैं।

**नाभिक का आकार (Size of the nucleus)**—विभिन्न तत्त्वों के परमाणुओं के आकार भिन्न होते हैं। परमाणुओं की त्रिज्याएँ  $0.37\text{\AA}$  व  $2.62\text{\AA}$  के मध्य होती हैं। दूसरे शब्दों में, परमाणुओं की त्रिज्याएँ  $10^{-8}$  सेमी की श्रेणी में होती हैं। नाभिक की त्रिज्या  $10^{-12}$  सेमी की श्रेणी में होती है। स्पष्ट है कि परमाणु की त्रिज्या नाभिक की त्रिज्या से लगभग 10,000 गुना अधिक होती है, परमाणु का आयतन नाभिक की तुलना में  $10^{12}$  गुना अधिक होता है। अतः परमाणु का आयतन उसके नाभिक के आयतन की तुलना में बहुत अधिक होता है।

परमाणु व नाभिक के आकारों की तुलना का एक उदाहरण इस प्रकार है—फुटबॉल के मैदान की त्रिज्या लगभग 50 मीटर होती है तथा एक आलपिन के सिर की त्रिज्या लगभग 0.5 मिमी होती है। अतः फुटबॉल के मैदान की त्रिज्या आलपिन के सिर की त्रिज्या से 10,000 गुनी अधिक है। अतः फुटबॉल के मैदान की त्रिज्या व आलपिन के सिर की त्रिज्या में वही अनुपात है जो परमाणु व नाभिक की त्रिज्या में है। अतः किसी फुटबॉल के मैदान के केन्द्र में एक आलपिन गाड़ दें तो आलपिन के सिर को नाभिक के समकक्ष व फुटबॉल के मैदान को परमाणु के समकक्ष माना जा सकता है।

सभी परमाणुओं, नाभिकों तथा परमाणु के मूल कणों की त्रिज्याएँ X-किरणों पर आधारित प्रयोगों द्वारा ज्ञात की जा चुकी हैं। इलेक्ट्रॉन की त्रिज्या  $2.8 \times 10^{-18}$  सेमी होती है। प्रोटॉन की त्रिज्या  $10^{-13}$  सेमी होती है। न्यूट्रॉन की त्रिज्या भी  $10^{-13}$  सेमी होती है। परमाणु के नाभिक की त्रिज्या उसमें उपस्थित न्यूक्लिऑनों की संख्या के घनमूल के समानुपाती होती है।

$$r = 1.33 \times 10^{-13} \times A^{1/3}$$

जहाँ,  $r$  = नाभिक की त्रिज्या  
तथा  $A$  = न्यूक्लिऑनों की संख्या।



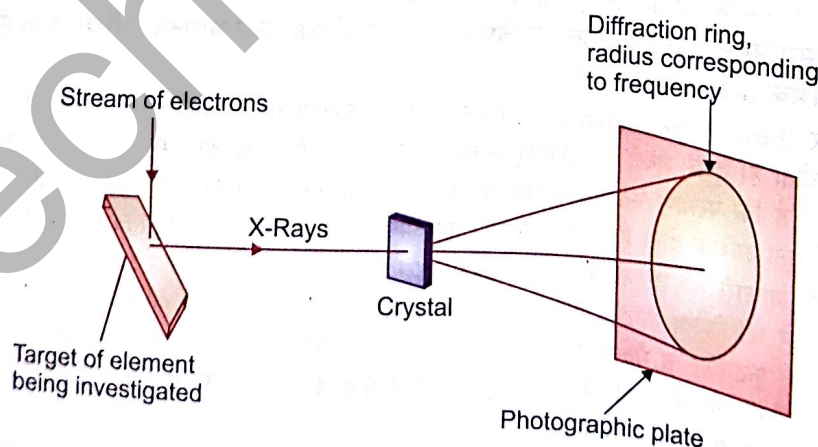
(B) परमाणु के नाभिक का संघटन (Composition) — प्रोटॉन व न्यूट्रॉन भारी कण हैं तथा प्रोटॉन धनावेशित होते हैं। अतः किसी परमाणु में सभी प्रोटॉन व न्यूट्रॉन उसके नाभिक में स्थित होते हैं तथा इलेक्ट्रॉन नाभिक के बाहर रहते हैं। परमाणु के अस्थायी कण भी उसके नाभिक में प्राप्त होते हैं। परमाणु के अस्थायी कण स्थायी रूप से उसके नाभिक में स्थित नहीं होते हैं लेकिन नाभिकीय विघटन की प्रक्रिया में द्रव्य व ऊर्जा के रूपान्तरण (transformation) के फलस्वरूप प्राप्त होते हैं।

किसी परमाणु के नाभिक में उपस्थित कणों को न्यूक्लिऑन (nucleons) भी कहते हैं। चूँकि परमाणु के नाभिक में प्रोटॉन तथा न्यूट्रॉन होते हैं, अतः न्यूक्लिऑन प्रोटॉन तथा न्यूट्रॉन का सामूहिक नाम है।

हाइड्रोजन के एक परमाणु में सामान्यतः एक इलेक्ट्रॉन व एक प्रोटॉन होते हैं। हाइड्रोजन के नाभिक में केवल एक प्रोटॉन होता है। अतः हाइड्रोजन के धनायन ( $H^+$ ), हाइड्रोजन के नाभिक व एक प्रोटॉन में कोई अन्तर नहीं है तथा हाइड्रोजन के धनायन ( $H^+$ ) को प्रोटॉन भी कहते हैं।

रदरफोर्ड के  $\alpha$ -कणों के प्रकीर्णन के प्रयोग से परमाणु में उपस्थित प्रोटॉनों तथा इलेक्ट्रॉनों की संख्याओं के बारे में कोई जानकारी प्राप्त नहीं होती है। मोजले (Mosley, 1913) के प्रयोग से इस बारे में जानकारी प्राप्त होती है।

विसर्जन नली से प्राप्त कैथोड किरणें जब तीव्र गति से किसी तत्त्व से टकराती हैं तो  $X$ -किरणें प्राप्त होती हैं।  $X$ -किरणों की खोज प्रोफेसर रॉन्टजन (Rontgen) ने की थी।  $X$ -किरणें कैथोड किरणों से कई प्रकार से भिन्न होती हैं। इनकी भेदन क्षमता (penetrating power) अधिक होती है एवं ये वैद्युत या चुम्बकीय क्षेत्र में विचलित नहीं होती हैं। इनकी तरंगदैर्घ्य (wave length)  $10^{-8}$  सेमी की श्रेणी (order) की होती है। कैथोड किरणों के पथ में एक ठोस लक्ष्य (solid target) रखने पर ठोस लक्ष्य से  $X$ -किरणें प्राप्त होती हैं। ठोस लक्ष्य को एन्टिकैथोड (anticathode) कहते हैं तथा यह  $X$ -किरणें प्राप्त करने की एक सरल विधि है। ठोस लक्ष्य से प्राप्त  $X$ -किरणों के पथ में पोटैशियम फ़ैरीसायनाइड  $[K_3Fe(CN)_6]$  का एक क्रिस्टल रखने पर  $X$ -किरणों का विवर्तन (diffraction) हो जाता है। पोटैशियम फ़ैरीसायनाइड के क्रिस्टल से निकलने पर  $X$ -किरणों के पथ में एक फोटोग्राफिक प्लेट रख दी जाती है। विवर्तन के फलस्वरूप फोटोग्राफिक प्लेट पर तत्त्वों के  $X$ -किरण स्पेक्ट्रम वृत्ताकार आकृतियों के रूप में प्राप्त होते हैं। वृत्ताकार आकृतियों की त्रिज्याओं से  $X$ -किरणों की आवृत्तियाँ ज्ञात की जा सकती हैं (चित्र 2.8)।



चित्र 2.8 मोजले का प्रयोग।

मोजले ने यह पाया कि इस प्रकार विभिन्न तत्त्वों से प्राप्त  $X$ -किरणों की आवृत्ति ( $\nu$ ) उन तत्त्वों के एक अभिलाक्षणिक गुण (characteristic), परमाणु क्रमांक ( $Z$ ) से निम्न प्रकार से सम्बन्धित होती है—

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

$$\sqrt{v} = a (Z - b)$$

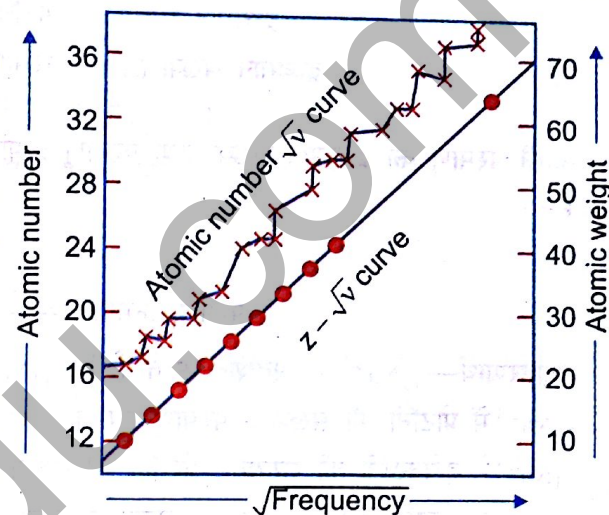
जहाँ  $a$  और  $b$  दो नियतांक हैं।



मोजले द्वारा ज्ञात समीकरण  $\sqrt{\nu} = a(Z - b)$  के अनुसार  $\sqrt{\nu}$  तथा  $Z$  में ग्राफ खींचने पर एक सरल रेखा प्राप्त होगी (चित्र 2.9)। चूँकि  $\sqrt{\nu}$  तथा परमाणु भार के मध्य ग्राफ खींचने पर सरल रेखा प्राप्त नहीं होती है, अतः  $Z$  का मान परमाणु भार के मान के बराबर नहीं हो सकता है।

मोजले ने तत्वों के X-किरण स्पेक्ट्रमों का विस्तृत अध्ययन किया तथा विभिन्न तत्वों के लिए परमाणु क्रमांक  $Z$  का मान ज्ञात किया। यह पाया गया कि  $Z$  का मान प्रत्येक दशा में एक पूर्ण संख्या (integer) है तथा परमाणु भार के मान से कम है। स्पष्ट है कि  $\sqrt{\nu}$  व मोजले द्वारा ज्ञात किये गए परमाणु क्रमांक ( $Z$ ) के मान के मध्य ग्राफ खींचने पर एक सरल रेखा प्राप्त होती है (चित्र 2.9)।

वानडेर ब्रॉक (Vander Broeck, 1913) ने सुझाव दिया कि परमाणु के नाभिक पर उपस्थित धनावेश इकाइयों की संख्या परमाणु क्रमांक ( $Z$ ) के बराबर होती है। चैडविक (Chadwick) ने  $\alpha$ -कण प्रकीर्णन के रदरफोर्ड के प्रयोग तथा अन्य प्रयोगों की सहायता से भी यह सिद्ध किया है कि परमाणु के नाभिक पर उपस्थित धनावेश इकाइयों की संख्या परमाणु क्रमांक ( $Z$ ) के बराबर होती है।



चित्र 2.9 परमाणु क्रमांक -  $\sqrt{\nu}$  आरेख।

## 2.4 परमाणु क्रमांक एवं द्रव्यमान क्रमांक

उपरोक्त अवधारणाओं के आधार पर निम्न पदों को परिभाषित किया गया है।

### [A] परमाणु क्रमांक (Atomic Number)

किसी तत्व का परमाणु क्रमांक उस तत्व के परमाणु के नाभिक पर स्थित धनावेश इकाइयों की संख्या के बराबर होता है। चूँकि परमाणु के नाभिक पर उपस्थित धनावेश इकाइयों की संख्या उसमें उपस्थित प्रोटॉनों की संख्या के बराबर होती है। अतः दूसरे शब्दों में, किसी तत्व का परमाणु क्रमांक उसके परमाणु में उपस्थित प्रोटॉनों की संख्या के बराबर होता है। चूँकि परमाणु विद्युतीय उदासीन (electrically neutral) होते हैं तथा उनमें उपस्थित प्रोटॉनों व इलेक्ट्रॉनों की संख्या समान होती है, अतः

परमाणु क्रमांक = परमाणु में उपस्थित प्रोटॉनों की संख्या = परमाणु में उपस्थित इलेक्ट्रॉनों की संख्या

रासायनिक अभिक्रियाओं में परमाणुओं में इलेक्ट्रॉनों की संख्या में वृद्धि या कमी हो जाती है लेकिन प्रोटॉनों की संख्या में कोई अन्तर नहीं आता है। अतः संयुक्त अवस्था में परमाणु में इलेक्ट्रॉनों की संख्या उसके परमाणु क्रमांक से भिन्न हो सकती है लेकिन प्रोटॉनों की संख्या सदैव परमाणु क्रमांक के बराबर होगी। उदाहरणार्थ—

तत्व का परमाणु या आयन

प्रतीक

इलेक्ट्रॉनों की संख्या

प्रोटॉनों की संख्या

परमाणु क्रमांक



**[B] द्रव्यमान संख्या या द्रव्यमान क्रमांक (Mass Number)**

किसी परमाणु के नाभिक में उपस्थित प्रोटॉनों और न्यूट्रॉनों की संख्याओं के योग को उस परमाणु की द्रव्यमान संख्या कहते हैं।

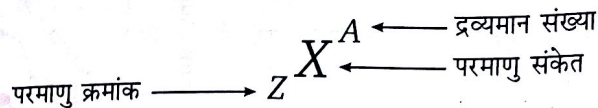
$$\text{द्रव्यमान संख्या} = \text{प्रोटॉनों की संख्या} + \text{न्यूट्रॉनों की संख्या}$$

$$\text{द्रव्यमान संख्या (A)} = \text{परमाणु क्रमांक (Z)} + \text{न्यूट्रॉनों की संख्या (n)}$$

$$A = Z + n$$

या

किसी परमाणु की द्रव्यमान संख्या तथा परमाणु क्रमांक को उस परमाणु के संकेत के साथ संक्षेप में निम्न रूप से प्रदर्शित किया जाता है—



उदाहरणार्थ— ${}_{11}\text{Na}^{23}$  यह प्रदर्शित करता है कि  ${}_{11}\text{Na}^{23}$  का परमाणु क्रमांक 11 व द्रव्यमान संख्या 23 है। अतः

$${}_{11}\text{Na}^{23} \text{ में प्रोटॉनों की संख्या} = \text{परमाणु क्रमांक} = 11$$

$${}_{11}\text{Na}^{23} \text{ में इलेक्ट्रॉनों की संख्या} = \text{प्रोटॉनों की संख्या} = 11$$

$${}_{11}\text{Na}^{23} \text{ में न्यूट्रॉनों की संख्या (n)} = \text{द्रव्यमान संख्या (A)} - \text{परमाणु क्रमांक (Z)} = 23 - 11 = 12$$

किसी परमाणु की द्रव्यमान संख्या उस परमाणु के नाम अथवा संकेत के साथ अन्य प्रकार से भी प्रदर्शित की जाती है।

उदाहरणार्थ— ${}_{11}\text{Na}^{23}$  को  ${}^{23}\text{Na}$  या सोडियम-23 या Na-23 से भी प्रदर्शित किया जाता है।

किसी परमाणु के नाभिक में उपस्थित कणों को न्यूक्लिऑन (nucleons) भी कहते हैं। चूँकि परमाणु के नाभिक में प्रोटॉन तथा न्यूट्रॉन होते हैं, अतः न्यूक्लिऑन प्रोटॉन तथा न्यूट्रॉन का सामूहिक नाम (collective name) है। अतः द्रव्यमान संख्या न्यूक्लिऑनों की संख्या के बराबर होती है। किसी परमाणु की द्रव्यमान संख्या उस परमाणु के परमाणु भार की निकटतम पूर्ण संख्या के बराबर होती है। उदाहरणार्थ—हाइड्रोजन-1 की द्रव्यमान संख्या 1 तथा परमाणु भार 1.008 है।

**उदाहरण 2.1.** तीन विभिन्न तत्वों की द्रव्यमान संख्या 40 है परन्तु उनके परमाणु क्रमांक क्रमशः 18, 19 व 20 हैं। इन तीनों में कितने प्रोटॉन व न्यूट्रॉन होंगे?

**हल—**

$$\text{द्रव्यमान संख्या (A)} = \text{परमाणु क्रमांक (Z)} + \text{न्यूट्रॉनों की संख्या (n)}$$

$$\text{परमाणु क्रमांक (Z)} = \text{प्रोटॉनों की संख्या} = \text{इलेक्ट्रॉनों की संख्या}$$

$$\text{अतः 18 परमाणु क्रमांक वाले तत्व में प्रोटॉनों की संख्या} = 18 \text{ तथा}$$

$$\text{न्यूट्रॉनों की संख्या} = 40 - 18 = 22$$

इसी प्रकार 19 तथा 20 परमाणु क्रमांक वाले तत्वों में प्रोटॉनों की संख्या क्रमशः 19 तथा 20 होगी तथा न्यूट्रॉनों की संख्या क्रमशः  $40 - 19 = 21$  तथा  $40 - 20 = 20$  होगी।

**उदाहरण 2.2.** एक परमाणु के नाभिक में 12 न्यूट्रॉन और 11 प्रोटॉन हैं। उसकी द्रव्यमान संख्या क्या है और उसकी कक्षाओं में कुल इलेक्ट्रॉनों की संख्या कितनी है? उत्तर

**हल—** परमाणु की द्रव्यमान संख्या = प्रोटॉनों की संख्या + न्यूट्रॉनों की संख्या =  $11 + 12 = 23$

परमाणु की कक्षाओं में कुल इलेक्ट्रॉनों की संख्या = प्रोटॉनों की संख्या = 11.

**उदाहरण 2.3.** किसी तत्व की परमाणु संख्या 17 तथा परमाणु भार 35 है। इसके न्यूट्रॉनों की संख्या ज्ञात कीजिए। उत्तर

**हल—**

अतः

$$\text{परमाणु संख्या} = 17$$

$$\text{इलेक्ट्रॉनों की संख्या} = \text{प्रोटॉनों की संख्या} = 17$$

$$\text{परमाणु भार} = 35$$

$$\text{परमाणु भार} \approx \text{द्रव्यमान संख्या}$$

$$\text{प्रोटॉनों की संख्या} + \text{न्यूट्रॉनों की संख्या} = 35$$

अतः

$$\text{न्यूट्रॉनों की संख्या} = 35 - 17 = 18.$$

उत्तर



**उदाहरण 2.4.** समान परमाणु क्रमांक के दो परमाणुओं X और Y की द्रव्यमान संख्याएँ क्रमशः 208 व 210 हैं। यदि X के नाभिक में 126 न्यूट्रॉन हैं तो Y के नाभिक में न्यूट्रॉनों की संख्या ज्ञात कीजिए तथा उनका परमाणु क्रमांक ज्ञात कीजिए।

**हल-** द्रव्यमान संख्या = प्रोटॉनों की संख्या + न्यूट्रॉनों की संख्या

$$\therefore X \text{ के नाभिक में प्रोटॉनों की संख्या} = \text{द्रव्यमान संख्या} - \text{न्यूट्रॉनों की संख्या} \\ = 208 - 126 = 82$$

अतः X व Y का परमाणु क्रमांक 82 है तथा Y के नाभिक में प्रोटॉनों की संख्या भी 82 ही है।

$$Y \text{ के नाभिक में न्यूट्रॉनों की संख्या} = \text{द्रव्यमान संख्या} - \text{प्रोटॉनों की संख्या} \\ = 210 - 82 = 128$$

**उदाहरण 2.5.** एक तत्व का परमाणु क्रमांक 30 है। इस तत्व के धनायन पर दो यूनिट आवेश है। धनायन में प्रोटॉनों व इलेक्ट्रॉनों की संख्याएँ क्या होंगी? उत्तर

**हल-** तत्व के धनायन पर दो यूनिट धन आवेश है। अतः धनायन बनाने के लिए तत्व का परमाणु दो इलेक्ट्रॉनों का त्याग करेगा। तत्व का परमाणु क्रमांक 30 है। अतः तत्व के परमाणु में 30 प्रोटॉन व 30 इलेक्ट्रॉन हैं। अतः तत्व के धनायन में—

$$\text{प्रोटॉनों की संख्या} = 30 \text{ तथा} \\ \text{इलेक्ट्रॉनों की संख्या} = 30 - 2 = 28.$$

उत्तर

**उदाहरण 2.6.** यदि सोडियम, फॉस्फोरस तथा क्लोरीन की परमाणु संख्याएँ क्रमशः 11, 15 तथा 17 हैं तो बताइए कि निम्नलिखित में से प्रत्येक में कितने इलेक्ट्रॉन, प्रोटॉन तथा न्यूट्रॉन हैं—

(i)  $\text{Na}^+$ , (ii) P, (iii)  $\text{Cl}^-$ ?

परमाणु द्रव्यमान क्रमशः Na = 23, P = 31 तथा Cl = 35 हैं।

- हल-** (i)  $\text{Na}^+$  में 10 इलेक्ट्रॉन, 11 प्रोटॉन तथा 12 न्यूट्रॉन हैं,  
(ii) P में 15 इलेक्ट्रॉन, 15 प्रोटॉन तथा 16 न्यूट्रॉन हैं,  
(iii)  $\text{Cl}^-$  में 18 इलेक्ट्रॉन, 17 प्रोटॉन तथा 18 न्यूट्रॉन हैं।

उत्तर

**उदाहरण 2.7.**  ${}_1\text{H}^3$  (या हाइड्रोजन-3 या H-3) के परमाणु में उपस्थित कणों की संख्याएँ बताइए।

**हल-**  ${}_1\text{H}^3$  संकेत यह प्रदर्शित करता है कि  ${}_1\text{H}^3$  का परमाणु क्रमांक 1 है तथा H की द्रव्यमान संख्या 3 है। अतः  ${}_1\text{H}^3$  के एक परमाणु में उपस्थित—

$$\begin{aligned} \text{इलेक्ट्रॉनों की संख्या} &= \text{परमाणु क्रमांक} = 1 \\ \text{प्रोटॉनों की संख्या} &= \text{परमाणु क्रमांक} = 1 \\ \text{न्यूट्रॉनों की संख्या} &= \text{द्रव्यमान संख्या} - \text{परमाणु क्रमांक} = 3 - 1 = 2. \end{aligned}$$

उत्तर

**उदाहरण 2.8.** एक तत्व के ऋणायन  $\text{X}^-$  में 18 इलेक्ट्रॉन हैं। यदि तत्व की द्रव्यमान संख्या 35 है, तो तत्व के नाभिक में न्यूट्रॉनों की गणना कीजिये।

**हल-**  $\therefore$  ऋणायन  $\text{X}^-$  में इलेक्ट्रॉन = 18

$$\begin{aligned} \text{अतः उदासीन X परमाणु में इलेक्ट्रॉन} &= 17 = \text{परमाणु क्रमांक} \\ \text{द्रव्यमान संख्या} &= \text{परमाणु क्रमांक} + \text{न्यूट्रॉन} \end{aligned}$$

$$35 = 17 + n$$

$$n = 18$$

उत्तर

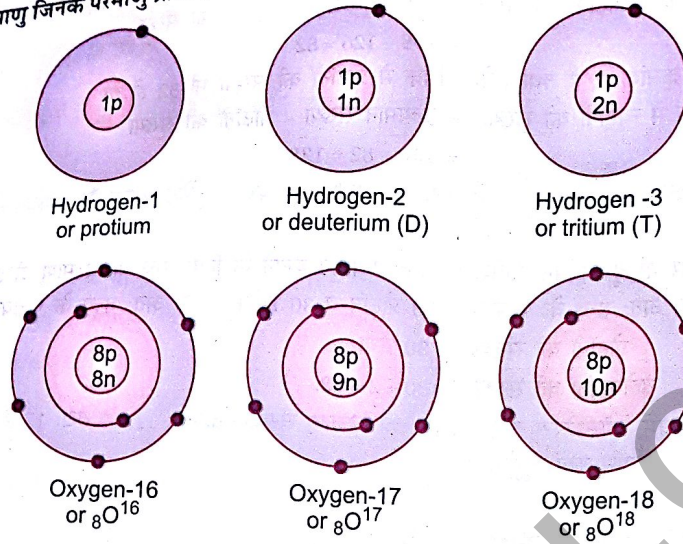
## 2.5 समस्थानिक, समभारिक तथा समन्यूट्रॉनिक (Isotopes, Isobars and Isotones)

### [A] समस्थानिक (Isotopes)

मोजले (1913) के प्रयोग से यह सिद्ध हो चुका है कि तत्वों का मूल लक्षण उनका परमाणु क्रमांक है। परमाणुओं के रासायनिक गुण उनके परमाणु क्रमांक पर निर्भर करते हैं। यदि किसी परमाणु में केवल न्यूट्रॉनों की संख्या में वृद्धि कर दी जाये तो उसकी द्रव्यमान संख्या में वृद्धि हो जायेगी लेकिन उसके परमाणु क्रमांक में कोई परिवर्तन नहीं होगा। अतः उसके रासायनिक गुणों में भी कोई परिवर्तन नहीं होगा।



इस प्रकार से उन सभी परमाणुओं के रासायनिक गुण समान होंगे जिनके परमाणु क्रमांक समान होते हैं। ये सभी परमाणु एक ही तत्व के परमाणु कहलाते हैं। किसी एक ही तत्व के वे परमाणु जिनकी द्रव्यमान संख्याएँ भिन्न होती हैं, उस तत्व के समस्थानिक कहलाते हैं। दूसरे शब्दों में, वे परमाणु जिनके परमाणु क्रमांक समान परन्तु द्रव्यमान संख्याएँ भिन्न होती हैं, एक-दूसरे के समस्थानिक कहलाते हैं।



चित्र 2.10 H तथा O के समस्थानिक।

चूँकि किसी परमाणु की द्रव्यमान संख्या तथा उसका परमाणु भार लगभग बराबर होते हैं, अतः समस्थानिकों की उपरोक्त परिभाषा को इस प्रकार भी लिखा जा सकता है—वे परमाणु जिनके परमाणु क्रमांक समान परन्तु परमाणु भार भिन्न होते हैं, एक-दूसरे के समस्थानिक कहलाते हैं। स्पष्ट है कि समस्थानिक परमाणुओं में इलेक्ट्रॉनों व प्रोटॉनों की संख्याएँ समान तथा न्यूट्रॉनों की संख्याएँ भिन्न होती हैं। अब तक 112 तत्वों की खोज हो चुकी है। कुछ नये तत्वों को छोड़कर जिनके बारे में अभी पर्याप्त जानकारी उपलब्ध नहीं है, सभी तत्वों के समस्थानिक ज्ञात हैं।

### समस्थानिकों के उदाहरण

हाइड्रोजन तत्व के तीन समस्थानिक ज्ञात हैं। इनका परमाणु क्रमांक 1 है तथा इनकी द्रव्यमान संख्याएँ क्रमशः 1, 2 और 3 हैं। इन समस्थानिकों को हाइड्रोजन-1 या प्रोटियम, हाइड्रोजन-2 या ड्यूटीरियम (Greek : deuterium = the second) तथा हाइड्रोजन-3 या ट्राइटियम (Greek : tritium = the third) कहते हैं। इनके प्रतीक क्रमशः  ${}_1\text{H}^1$ ,  ${}_1\text{H}^2$  तथा  ${}_1\text{H}^3$  हैं। इनमें से प्रत्येक में 1 इलेक्ट्रॉन व 1 प्रोटॉन हैं तथा न्यूट्रॉनों की संख्याएँ क्रमशः शून्य, 1 व 2 हैं।

ऑक्सीजन तत्व के तीन समस्थानिक ज्ञात हैं। इनका परमाणु क्रमांक 8 है तथा इनकी द्रव्यमान संख्याएँ क्रमशः 16, 17 तथा 18 हैं। इन्हें ऑक्सीजन-16, ऑक्सीजन-17 और ऑक्सीजन-18 कहते हैं।

कुछ तत्वों के प्रमुख समस्थानिकों का विवरण सारणी 2.2 में प्रदर्शित है।

### समस्थानिकों की विशेषताएँ

1. समस्थानिकों के परमाणु क्रमांक समान तथा द्रव्यमान संख्याएँ भिन्न होती हैं; जैसे  ${}^{16}_8\text{O}$ ,  ${}^{17}_8\text{O}$ ,  ${}^{18}_8\text{O}$ ।
2. समस्थानिकों में इलेक्ट्रॉनों तथा प्रोटॉनों की संख्याएँ समान तथा न्यूट्रॉनों की संख्याएँ भिन्न होती हैं।
3. चूँकि किसी तत्व की द्रव्यमान संख्या तथा परमाणु भार लगभग बराबर होते हैं, अतः समस्थानिकों के परमाणु भार भिन्न होते हैं।
4. चूँकि समस्थानिकों के परमाणु क्रमांक समान होते हैं, अतः समान इलेक्ट्रॉनिक विन्यास होने के कारण समस्थानिकों के रासायनिक गुण समान होते हैं। उदाहरणार्थ—हल्की हाइड्रोजन को वायु में जलाने पर जल प्राप्त होता है। इसी प्रकार भारी हाइड्रोजन (ड्यूटीरियम, D) को वायु में जलाने पर भारी जल ( $\text{D}_2\text{O}$ ) प्राप्त होता है।

परमाणु संरचना

5. समस्थानिकों रासायनिक
6. द्रव्यमान सं
7. समस्थानिकों संरचनाएँ भि
8. मेण्डेलीफ व कर दिया वि पर निर्भर व एक ही त (isotopes)

तत्व	सं
हाइड्रोजन	
कार्बन	
नाइट्रोजन	
ऑक्सीजन	
क्लोरीन	
आयरन	

समस्थानिकों

1. रेडिय
  2. रेडिय
- हैं। सारणी 2.2 या स्थायी सम नाभिक स्वतः परमाणु प्राप्त रेडियोएक्टिव



- समस्थानिकों में द्रव्यमान संख्या भिन्न होने के कारण 'समस्थानिक प्रभाव' (isotopic effect) भी पाया जाता है। इसी कारण इनकी रासायनिक सक्रियता की दर भिन्न होती है।  $^1_1\text{H}$  का समस्थानिक  $^2_1\text{H}$  समस्थानिक की तुलना में अधिक क्रियाशील होता है।
- द्रव्यमान संख्या के मिश्र होने के कारण समस्थानिकों के भौतिक गुण (जैसे-घनत्व, व्यथनांक आदि) भिन्न होते हैं।
- समस्थानिकों के नाभिकों में न्यूट्रॉनों की संख्याएँ भिन्न होती हैं। अतः समस्थानिकों की नाभिकीय संरचनाएँ भिन्न होती हैं। नाभिकीय संरचनाएँ भिन्न होने के कारण समस्थानिकों के रेडियोएक्टिव गुण भिन्न हो सकते हैं। उदाहरणार्थ—कार्बन-12 रेडियोएक्टिव नहीं होता है जबकि कार्बन-14 रेडियोएक्टिवता प्रदर्शित करता है।
- मेण्डेलीफ की मूल आवर्त-सारणी में तत्त्वों को उनके परमाणु भार के बढ़ते हुए क्रम में रखा गया था। 1913 में मोजले ने यह सिद्ध कर दिया कि तत्त्वों का मूल लक्षण परमाणु भार नहीं है बल्कि परमाणु क्रमांक है तथा तत्त्वों के रासायनिक गुण उनके परमाणु क्रमांक पर निर्भर करते हैं। अतः आधुनिक आवर्त-सारणी में तत्त्वों को उनके परमाणु क्रमांक के बढ़ते हुए क्रम में रखा गया है। इस कारण एक ही तत्त्व के सभी समस्थानिकों को आवर्त-सारणी में एक ही स्थान पर रखा गया है। इसी कारण इनका नाम समस्थानिक (isotopes : iso = same, topes = place) रखा गया है।

### सारणी 2.2 कुछ तत्त्वों के प्रमुख समस्थानिक

तत्त्व	समस्थानिक	प्राकृतिक प्रचुरता (%)	परमाणु क्रमांक (Z)	द्रव्यमान संख्या (A)	प्रोटॉनों की संख्या (= Z)	इलेक्ट्रॉनों की संख्या (= Z)	न्यूट्रॉनों की संख्या (= A - Z)
हाइड्रोजन	H-1	99.985	1	1	1	1	0
	H-2	0.015	1	2	1	1	1
	H-3	~ 0	1	3	1	1	2
कार्बन	C-12	98.89	6	12	6	6	6
	C-13	1.11	6	13	6	6	7
	C-14	~ 0	6	14	6	6	8
नाइट्रोजन	N-14	99.63	7	14	7	7	7
	N-15	0.37	7	15	7	7	8
ऑक्सीजन	O-16	99.759	8	16	8	8	8
	O-17	0.037	8	17	8	8	9
	O-18	0.204	8	18	8	8	10
क्लोरीन	Cl-35	75.53	17	35	17	17	18
	Cl-37	24.47	17	37	17	17	20
आयरन	Fe-54	5.82	26	54	26	26	28
	Fe-56	91.66	26	56	26	26	30
	Fe-57	2.19	26	57	26	26	31
	Fe-58	0.33	26	58	26	26	32

### समस्थानिकों के प्रकार (Types of Isotopes)

समस्थानिक दो प्रकार के होते हैं—

**1. रेडियोएक्टिवता-विहीन या स्थायी समस्थानिक**—इन समस्थानिकों के नाभिक स्थायी होते हैं तथा स्वतः विघटित नहीं होते हैं। सारणी 2.2 में प्रदर्शित कार्बन के तीन समस्थानिकों में से कार्बन-12 व कार्बन-13 रेडियोएक्टिव नहीं हैं तथा रेडियोएक्टिवता-विहीन या स्थायी समस्थानिक कहलाते हैं। इसी प्रकार हाइड्रोजन के तीन समस्थानिकों में से हाइड्रोजन-1 व हाइड्रोजन-2 रेडियोएक्टिव नहीं हैं।

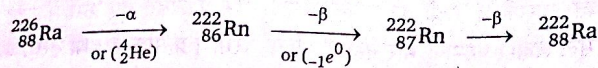
**2. रेडियोएक्टिव या अस्थायी समस्थानिक**—इन समस्थानिकों के नाभिक अस्थायी होते हैं। इस कारण इन समस्थानिकों के नाभिक स्वतः विघटित होते रहते हैं। विघटन के फलस्वरूप रेडियोएक्टिव किरणें ( $\alpha$ ,  $\beta$  तथा  $\gamma$ -किरणें) व भिन्न प्रकार के नाभिक या परमाणु प्राप्त होते हैं। सारणी 2.2 में प्रदर्शित समस्थानिकों में से केवल हाइड्रोजन का समस्थानिक  $^1_1\text{H}^3$  तथा कार्बन का समस्थानिक  $^{14}_6\text{C}$  रेडियोएक्टिवता प्रदर्शित करते हैं।



### समस्थानिकों के उपयोग

समस्थानिकों का उपयोग मुख्यतः वैज्ञानिक अनुसन्धान, कृषि एवं चिकित्सा के क्षेत्र में किया जाता है। समस्थानिकों के उपयोग के सबसे प्रमुख उदाहरण वे हैं जिनमें समस्थानिकों को ट्रेसर तत्वों अर्थात् खोजी तत्वों (tracer elements) के रूप में प्रयुक्त किया जाता है। इन उदाहरणों में रेडियोएक्टिव समस्थानिकों का प्रयोग प्रमुख है।

**टिप्पणी :** 1. किसी रेडियोएक्टिव तत्व से एक एल्फा एवं दो बीटा कणों का उत्सर्जन होने पर, मातृ तत्व का समस्थानिक प्राप्त होता है।



2. किसी तत्व के समस्थानिकों के मिश्रण से, समस्थानिक का प्रथक्कीकरण रासायनिक विधियों तथा द्रव्यमान स्पेक्ट्रोस्कोपी (mass spectroscopy) द्वारा सम्भव हो जाता है।

### [B] समभारिक (Isobars)

विभिन्न परमाणुओं के परमाणु क्रमांक समान तथा द्रव्यमान संख्याएँ भिन्न हो सकती हैं। इस प्रकार के परमाणु भी पाये जाते हैं जिनके परमाणु क्रमांक भिन्न होते हैं परन्तु उनकी द्रव्यमान संख्याएँ बराबर होती हैं।

वे परमाणु जिनकी द्रव्यमान संख्याएँ समान तथा परमाणु क्रमांक भिन्न होते हैं, एक-दूसरे के समभारिक कहलाते हैं।

चूँकि किसी परमाणु की द्रव्यमान संख्या तथा उसका परमाणु भार लगभग बराबर होते हैं, अतः समभारिकों की उपरोक्त परिभाषा को इस प्रकार भी लिखा जा सकता है—वे परमाणु जिनके परमाणु भार लगभग एकसमान तथा परमाणु क्रमांक भिन्न होते हैं, एक-दूसरे के समभारिक कहलाते हैं। स्पष्ट है कि समभारिक परमाणुओं में इलेक्ट्रॉनों, प्रोटॉनों तथा न्यूट्रॉनों की संख्याएँ भिन्न होती हैं।

एक ही परमाणु क्रमांक वाले सभी परमाणुओं की रासायनिक अभिक्रियाएँ समान होती हैं एवं ये सभी परमाणु किसी एक ही तत्व के परमाणु कहलाते हैं। इसी प्रकार विभिन्न परमाणु क्रमांक वाले तत्वों की रासायनिक क्रियाएँ भिन्न प्रकार की होती हैं तथा वे परमाणु भिन्न तत्वों के परमाणु कहलाते हैं। अतः समभारिकों के परमाणु भिन्न तत्वों के परमाणु होते हैं एवं उनका आवर्त-सारणी में स्थान अलग-अलग होता है।

### समभारिकों के उदाहरण

1.  ${}_{18}^{40}\text{Ar}$  और  ${}_{20}^{40}\text{Ca}$  दो भिन्न तत्वों (आर्गन तथा कैल्सियम) के परमाणु हैं। इनके परमाणु क्रमांक क्रमशः 18 और 20 हैं तथा इनकी द्रव्यमान संख्या 40 है। अतः ये परमाणु एक-दूसरे के समभारिक हैं।

2.  ${}_{6}^{14}\text{C}$  और  ${}_{7}^{14}\text{N}$  क्रमशः कार्बन और नाइट्रोजन के परमाणु हैं। इनकी द्रव्यमान संख्या समान (14) है तथा परमाणु क्रमांक भिन्न (क्रमशः 6 और 7) हैं। अतः ये परमाणु एक-दूसरे के समभारिक हैं।

3. हाइड्रोजन-3 ( ${}_{1}^3\text{H}$ ) तथा हीलियम-3 ( ${}_{2}^3\text{He}$ ) के परमाणु क्रमांक क्रमशः 1 और 2 हैं तथा इनकी द्रव्यमान संख्या 3 है। अतः ये परमाणु एक-दूसरे के समभारिक हैं।

उपर्युक्त समभारिकों में इलेक्ट्रॉनों, प्रोटॉनों व न्यूट्रॉनों की संख्याओं का विवरण सारणी 2.3 में प्रदर्शित है।

सारणी 2.3 समभारिक परमाणु

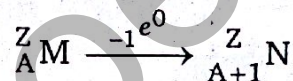
परमाणु	परमाणु क्रमांक (Z)	द्रव्यमान संख्या (A)	इलेक्ट्रॉनों की संख्या (= Z)	प्रोटॉनों की संख्या (= Z)	न्यूट्रॉनों की संख्या (= A - Z)
${}_{18}^{40}\text{Ar}$	18	40	18	18	22
${}_{20}^{40}\text{Ca}$	20	40	20	20	20
${}_{6}^{14}\text{C}$	6	14	6	6	8
${}_{7}^{14}\text{N}$	7	14	7	7	7
${}_{1}^3\text{H}$	1	3	1	1	2
${}_{2}^3\text{He}$	2	3	2	2	1



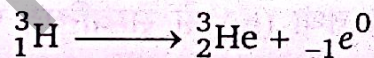
## समभारिकों की विशेषताएँ

1. समभारिकों के परमाणु क्रमांक भिन्न तथा द्रव्यमान संख्याएँ समान होती हैं। जैसे—  $^{40}_{18}\text{Ar}$ ,  $^{40}_{19}\text{K}$ ,  $^{40}_{20}\text{Ca}$
2. समभारिकों में इलेक्ट्रॉनों, प्रोटॉनों तथा न्यूट्रॉनों की संख्याएँ भिन्न होती हैं।
3. समभारिकों के परमाणु भार लगभग एकसमान होते हैं।
4. परमाणु क्रमांक भिन्न होने के कारण समभारिकों के रासायनिक गुण भिन्न होते हैं।
5. समभारिकों के भौतिक गुण भी भिन्न होते हैं।
6. समभारिकों की नाभिकीय संरचना के साथ-साथ नाभिक के बाहर की संरचना (extranuclear structure) भी भिन्न ही होती है। नाभिकीय संरचना भिन्न होने के कारण इनके रेडियोएक्टिव गुण भिन्न हो सकते हैं। उदाहरणार्थ—C-14 रेडियोएक्टिवता प्रदर्शित करता है जबकि N-14 रेडियोएक्टिव नहीं है।
7. आवर्त-सारणी में तत्वों को उनके परमाणु क्रमांकों के बढ़ते हुए क्रम में रखा गया है। अतः आवर्त-सारणी में समभारिकों के स्थान भिन्न होते हैं।

**टिप्पणी :** 1. मातृ नाभिक से बीटा कण ( $\beta$ -particle) के उत्सर्जन के कारण बना उत्पाद, मातृ नाभिक का समभारी होता है।



2.  $^3_1\text{H}$   $\beta$ -उत्सर्जक होता है तथा इससे  $\beta$ -उत्सर्जन के कारण समभारी  $^3_2\text{He}$  प्राप्त होता है।



## [C] समन्यूट्रॉनिक (Isotones)

भिन्न तत्वों के वे परमाणु जिनमें न्यूट्रॉनों की संख्या समान होती है, समन्यूट्रॉनिक कहलाते हैं। समन्यूट्रॉनिकों के कुछ प्रमुख उदाहरण इस प्रकार हैं—

1. कार्बन-14, नाइट्रोजन-15 व ऑक्सीजन-16 समन्यूट्रॉनिक परमाणु हैं। इनमें से प्रत्येक के नाभिक में 8 न्यूट्रॉन हैं।
2. क्लोरीन-37, आर्गन-38 व कैल्सियम-40 समन्यूट्रॉनिक परमाणु हैं। इनमें से प्रत्येक के नाभिक में 20 न्यूट्रॉन हैं (सारणी 2.4)।

### सारणी 2.4 समन्यूट्रॉनिक परमाणु



94

[D] आइसोडायफर (Isodiaphers) कहलाता है तथा वे परमाणु जिनका Isotopic No. समान होता है।  
न्यूट्रॉनों तथा प्रोटॉनों की संख्या का अन्तर Isotopic No.  $^{14}_7\text{N}$ ,  $^{14}_6\text{C}$  एवं  $^{16}_8\text{O}$   
न्यूट्रॉनों तथा प्रोटॉनों की संख्या का अन्तर Isotopic No.  $^{13}_6\text{C}$  एवं  $^{14}_7\text{N}$  एवं  $^{16}_8\text{O}$   
Isodiaphers कहलाते हैं। उदाहरणार्थ—  
निम्नलिखित में से समस्थानिकों को चुनिए—  
H-3, N-14, Ca-40, O-16, H-2 तथा H-1

H-3, N-14, Ca-40, O-16, H-2 तथा H-1

**उदाहरण 2.10.** निम्नलिखित में से समभारिकों को चुनिए—  
C-14, Ca-40, H

C-14, Ca-40, H-3, H-2, N-14 तथा Mg-24

**उदाहरण 2.11.** नीचे चार परमाणु नाभिकों की संरचनाएँ दी गई हैं-

(i)  $8p + 8n$

(ii)  $8p + 9n$ 

(iii)  $20p + 20n$

(iv)  $18p + 22n$

इनमें समस्थानिक तथा समभारिक परमाणुओं का चयन कीजिए।

**उदाहरण 2.12.** समस्थानिक परमाणुओं  $A$  तथा  $B$  की द्रव्यमान संख्याएँ क्रमशः 35 और 37 हैं। यदि  $A$  के नाभिक में 18 न्यूट्रॉन हैं, तो  $B$  के नाभिक में न्यूट्रॉनों की संख्या ज्ञात कीजिए।

**हल-** A की द्रव्यमान संख्या = 35

A के नाभिक में न्यूट्रॉनों की संख्या = 18

$A$  के नाभिक में प्रोटॉनों की संख्या = द्रव्यमान संख्या - न्यूट्रॉनों की संख्या  
 $= 35 - 18 = 17$

चूँकि A तथा B समस्थानिक हैं, अतः दोनों के परमाणु क्रमांक तथा दोनों के नाभिकों में प्रोटॉनों की संख्याएँ बराबर होंगी। अतः B के नाभिक में प्रोटॉनों की संख्या = 17.

अतः B के नाभिक में न्यूट्रॉनों की संख्या = द्रव्यमान संख्या - प्रोटॉनों की संख्या  
 $= 37 - 17 = 20$ .

**उदाहरण 2.13.** दो समभारिक परमाणुओं  $X$  और  $Y$  के परमाणु क्रमांक क्रमशः 42 तथा 44 हैं। यदि  $X$  के नाभिक में 62 न्यूट्रॉन हैं तो  $Y$  के नाभिक में न्यूट्रॉनों की संख्या तथा उनकी द्रव्यमान संख्या बताइए।

**हल-**

हल-

$X$  का परमाणु क्रमांक = 42,  $X$  के नाभिक में न्यूट्रॉनों की संख्या = 62

$X$  के नाभिक में प्रोटॉनों की संख्या = 42 तथा

$$X \text{ की द्रव्यमान संख्या} = \text{प्रोटॉनों की संख्या} + \text{न्यूट्रॉनों की संख्या}$$

$$= 42 + 62 = 104$$

चूँकि  $X$  और  $Y$  समभारिक हैं, अतः दोनों की द्रव्यमान संख्या बराबर होगी। अतः  $X$  की द्रव्यमान संख्या =  $Y$  की द्रव्यमान संख्या = 104.

$$= \text{द्रव्यमान संख्या} - \text{परमाणु क्रमांक} = 104 - 44 = 60.$$

**उदाहरण 2.14.** निम्नलिखित में से  ${}_{32}\text{Ge}^{76}$  के समन्यूट्रॉनिकों (isotones) को छाँटिए-

${}_{32}\text{Ge}^{77}$ ,  ${}_{33}\text{As}^{77}$ ,  ${}_{34}\text{Se}^{77}$  तथा  ${}_{34}\text{Se}^{78}$

हल- समन्यूट्रॉनिकों (isotones) में न्यूट्रॉनों की संख्या समान होती है।  $^{32}\text{Ge}^{77}$ ,  $^{33}\text{As}^{77}$ ,  $^{34}\text{Se}^{77}$

$^{32}\text{Ge}^{76}$  में न्यूट्रॉनों की संख्या = द्रव्यमान संख्या - परमाणु क्रमांक =  $76 - 32 = 44$

${}_{32}\text{Ge}^{77}$  में न्यूट्रॉनों की संख्या =  $77 - 32 = 45$

$^{77}_{33}\text{As}$  में न्यूट्रॉनों की संख्या =  $77 - 33 = 44$



$${}^{77}_{34}\text{Se} \text{ में न्यूट्रॉनों की संख्या} = 77 - 34 = 43$$

$${}^{78}_{34}\text{Se} \text{ में न्यूट्रॉनों की संख्या} = 78 - 34 = 44$$

अतः  ${}^{76}_{32}\text{Ge}$  के समन्यूट्रॉनिक  ${}^{77}_{33}\text{As}$  व  ${}^{78}_{34}\text{Se}$  हैं।

**उदाहरण 2.15.** हाइड्रोजन के दो समस्थानिकों की द्रव्यमान संख्याएँ क्रमशः 1 और 2 तथा परमाणु भार क्रमशः 1.0078 और 2.0143 हैं। साधारण हाइड्रोजन में ये समस्थानिक 6400 : 1 के अनुपात में उपस्थित हैं। हाइड्रोजन का औसत परमाणु भार क्या होगा?

उत्तर

$$\text{हल- हाइड्रोजन का परमाणु भार (औसत)} = \frac{(1.0078 \times 6400) + (2.0143 \times 1)}{6400 + 1}$$

$$= 1.008$$

उत्तर

**उदाहरण 2.16.** प्रकृति में उपलब्ध बोरॉन के दो समस्थानिक होते हैं जिनके परमाणु द्रव्यमान क्रमशः 10.01 और 11.01 हैं। बोरॉन का परमाणु भार 10.81 है। प्राकृतिक बोरॉन में उपस्थित प्रत्येक समस्थानिक का प्रतिशत ज्ञात कीजिए। (M.L.N.R.E. 1994)

**हल-** किसी तत्व का परमाणु भार वह संख्या है, जो यह प्रदर्शित करती है कि उस तत्व के एक परमाणु का औसत भार कार्बन-12 के एक परमाणु के  $1/12$  से कितने गुना भारी है। बोरॉन के दो समस्थानिक कार्बन-12 के  $1/12$  से क्रमशः 10.01 तथा 11.01 गुना भारी हैं। यदि प्राकृतिक बोरॉन में 10.01 परमाणु द्रव्यमान वाले समस्थानिक की प्रतिशतता  $x$  हो तो बोरॉन का परमाणु भार (औसत)

$$10.81 = \frac{[10.01 \times x] + [11.01 \times (100 - x)]}{100}$$

$$x = 20\% \text{ तथा } 100 - x = 80\%$$

उत्तर

अतएव, बोरॉन के समस्थानिकों की प्रतिशतता क्रमशः 20% तथा 80% है।

**उदाहरण 2.17.** 18 mL जल में उपस्थित कुल इलेक्ट्रॉनों की संख्या कितनी है?

**हल-** जल का आणविक सूत्र  $\text{H}_2\text{O}$  है। हाइड्रोजन के एक परमाणु में एक इलेक्ट्रॉन तथा ऑक्सीजन के एक परमाणु में 8 इलेक्ट्रॉन होते हैं। अतः  $\text{H}_2\text{O}$  के एक अणु में इलेक्ट्रॉनों की संख्या  $= (2 \times 1) + 8 = 10$  है।

18 mL जल का भार 18 ग्राम होता है तथा जल का अणु भार 18 है। सभी तत्वों अथवा यौगिकों के ग्राम-अणु भार में उपस्थित अणुओं की संख्या नियत होती है। इसे ऐवोगैद्रो संख्या कहते हैं। इसका मान  $6.022 \times 10^{23}$  है। अतः जल के 18 mL या 18 gm जल में उपस्थित अणुओं की संख्या  $= 6.022 \times 10^{23}$  है।

$$\text{अतः 18 mL जल में उपस्थित इलेक्ट्रॉनों की संख्या} = 10 \times 6.022 \times 10^{23}$$

$$= 6.022 \times 10^{24}$$

उत्तर

**उदाहरण 2.18.** हीलियम के एक नमूने का द्रव्यमान  $8.02 \times 10^{22}$  amu है। इस नमूने में हीलियम के परमाणुओं की संख्या ज्ञात कीजिए। (हीलियम का परमाणु भार = 4)

**हल-** हीलियम के 1 परमाणु का द्रव्यमान = 4 amu

$$\text{अतः नमूने में हीलियम परमाणुओं की संख्या} = \frac{8.02 \times 10^{22}}{4}$$

$$= 2.005 \times 10^{22}$$

उत्तर

**उदाहरण 2.19.** फ्लुओरीन नाभिक के पदार्थ के घनत्व की गणना यह मानकर कीजिए कि फ्लुओरीन तत्व का नाभिक गोलाकार है जिसका अर्द्धव्यास  $5 \times 10^{-13}$  सेमी है ( $F = 19$ )।

**हल-** फ्लुओरीन का परमाणु भार = 19

किसी तत्व के ग्राम-परमाणु भार में परमाणुओं की संख्या ऐवोगैद्रो संख्या के बराबर होती है। अतः फ्लुओरीन के 19 ग्राम में  $6.022 \times 10^{23}$  परमाणु होंगे। अतः फ्लुओरीन के एक परमाणु का भार  $= 19 \text{ ग्राम} / 6.022 \times 10^{23} = 3.1546 \times 10^{-23}$  ग्राम।

चूँकि परमाणु का लगभग समस्त द्रव्यमान उसके नाभिक में होता है,

$$\text{अतः फ्लुओरीन के नाभिक का द्रव्यमान} = 3.1546 \times 10^{-23} \text{ ग्राम}$$

$$\text{फ्लुओरीन के नाभिक का आयतन} = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \times \frac{22}{7} (5 \times 10^{-13})^3 \text{ सेमी}^3 = 5.24 \times 10^{-37} \text{ सेमी}^3$$

$$\text{अतः फ्लुओरीन के नाभिक के पदार्थ का घनत्व} = \frac{\text{द्रव्यमान}}{\text{आयतन}} = \frac{3.1546 \times 10^{-23}}{5.24 \times 10^{-37}} \text{ ग्राम/सेमी}^3 = 6.020 \times 10^{13} \text{ ग्राम/सेमी}^3 \quad \text{उत्तर}$$



## 2.6 कुछ महत्वपूर्ण परमाणु मॉडल (कोश अथवा कक्ष की अवधारणा) (Some Important Models of Atom)

### [A] टॉमसन का परमाणु मॉडल

जे० जे० टॉमसन (J. J. Thomson) ने 1904 में परमाणु का प्रथम मॉडल प्रस्तुत किया। इसे टॉमसन का “तरबूज मॉडल” भी कहते हैं। इसके अनुसार परमाणु इलेक्ट्रॉनों तथा धन आवेशित द्रव्य से मिलकर बना है। परमाणु गोलाकार, अति-सूक्ष्म तथा विद्युत-उदासीन कण है। परमाणु में धन आवेशित द्रव्य समान रूप से फैला हुआ है तथा इलेक्ट्रॉन धन आवेशित द्रव्य में इस प्रकार घुसे हुए हैं जैसे तरबूज में बीज धँसे रहते हैं। रदरफोर्ड के  $\alpha$ -कणों के प्रकीर्णन (scattering) के प्रयोग के बाद यह सिद्ध हो गया है कि टॉमसन का यह मॉडल दोषपूर्ण है।

### [B] रदरफोर्ड का परमाणु मॉडल

अरनेस्ट रदरफोर्ड (E. Rutherford, 1911) ने  $\alpha$ -कणों के प्रकीर्णन (scattering of  $\alpha$ -particles) के प्रयोग से प्राप्त जानकारी के आधार पर परमाणु का “नाभिकीय मॉडल” प्रस्तुत किया। इस मॉडल के अनुसार—

1. परमाणु गोलाकार (spherical), अति-सूक्ष्म (very minute) तथा विद्युतीय-उदासीन (electrically neutral) कण हैं।
2. परमाणु का समस्त धनावेश तथा लगभग समस्त द्रव्यमान उसके केन्द्र में एक सूक्ष्म आयतन में संचित रहता है। परमाणु के इस भाग को परमाणु का नाभिक (nucleus) कहते हैं। नाभिक का आयतन परमाणु के आयतन की तुलना में बहुत कम होता है।

$$\text{नाभिक की त्रिज्या } (r_n) = 10^{-15} \text{ मी}$$

$$\text{परमाणु की त्रिज्या } (r_a) = 10^{-10} \text{ मी}$$

$$\frac{\text{नाभिक का आयतन}}{\text{परमाणु का आयतन}} = \frac{\frac{4}{3}\pi r_n^3}{\frac{4}{3}\pi r_a^3} = \frac{(\text{नाभिक की त्रिज्या})^3}{(\text{परमाणु की त्रिज्या})^3}$$

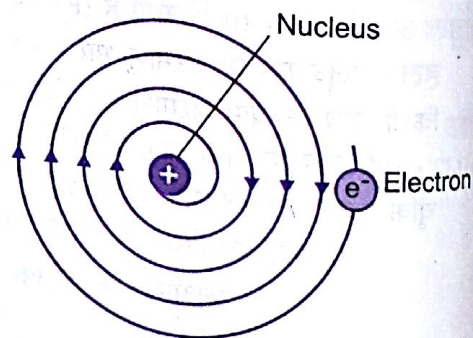
$$= \frac{(10^{-15})^3}{(10^{-10})^3} = 10^{-15}$$

3. परमाणु में इलेक्ट्रॉन तथा प्रोटॉन होते हैं। परमाणु में प्रोटॉन उसके नाभिक में तथा इलेक्ट्रॉन नाभिक के बाहर होते हैं।
  4. परमाणु में इलेक्ट्रॉन नाभिक के चारों ओर जिन पथों (paths) पर घूमते हैं, उन्हें इलेक्ट्रॉनों की कक्षाएँ (orbits) कहते हैं। इलेक्ट्रॉन नाभिक के चारों ओर वृत्तीय (circular) कक्षाओं में घूमते रहते हैं।
  5. परमाणु का नाभिक (जो धनावेशित है) परमाणु के इलेक्ट्रॉनों को (जो ऋणावेशित हैं) अपनी ओर आकर्षित करता है लेकिन वृत्तीय गति के कारण उत्पन्न अपकेन्द्र बल (centrifugal force) इस बल को सन्तुलित (balance) करता है।
- रदरफोर्ड के परमाणु के नाभिकीय मॉडल की रचना सूर्य मण्डल (solar system) के समान है जिसमें विभिन्न ग्रह (planets) सदैव सूर्य का चक्कर काटते रहते हैं।

### रदरफोर्ड के परमाणु मॉडल की कमियाँ

रदरफोर्ड के परमाणु मॉडल में निम्नलिखित कमियाँ पाई गई हैं—

1. नाभिक के चारों ओर असीमित (unlimited) वृत्तीय कक्षाएँ (circular orbits) सम्भव हैं। इनमें से इलेक्ट्रॉन किन कक्षाओं में घूमते हैं, उनके वेग तथा विभिन्न कक्षाओं में उनकी संख्याएँ क्या हैं आदि की जानकारी रदरफोर्ड के मॉडल से प्राप्त नहीं होती है।
2. क्लार्क मैक्सवेल के विद्युतगतिकी (electrodynamics) के सिद्धान्त के अनुसार यदि किसी गतिशील विद्युत आवेशित कण को त्वरित (accelerate) किया जाये तो उससे ऊर्जा का विकिरण (radiation) होता है। चूँकि इलेक्ट्रॉन और नाभिक के बीच स्थिर-वैद्युत (electrostatic) आकर्षण बल कार्य करता है, अतः इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा लगातार कम होती



चित्र 2.11 इलेक्ट्रॉन द्वारा ग्रहीत स्पाइरल मार्ग।



जानी चाहिए। गतिज और स्थितिज ऊर्जा की गणना के आधार पर यह ज्ञात होता है कि इलेक्ट्रॉन नाभिक से जितनी अधिक दूर होगा, उसकी ऊर्जा उतनी ही अधिक होगी। अतः ऊर्जा के हास के कारण इलेक्ट्रॉन की नाभिक से दूरी कम होती जायेगी एवं अन्ततः इलेक्ट्रॉन न नाभिक में गिर पड़ेगा (चित्र 2.11)। इस प्रकार परमाणु की यह संरचना परमाणु के स्थायित्व (stability) की व्याख्या कर पाने में असफल है।

3. इलेक्ट्रॉनों की ऊर्जा के सतत हास (continuous loss) के कारण परमाणु का उत्सर्जन स्पेक्ट्रम (emission spectrum) भी सतत (continuous) होना चाहिए। चूँकि परमाणुओं के उत्सर्जन स्पेक्ट्रम (emission spectrum) सतत नहीं होते हैं बल्कि रैखिक (linear) होते हैं, अतः रदरफोर्ड की परमाणु संरचना परमाणुओं के उत्सर्जन स्पेक्ट्रम की रैखिक रचना की व्याख्या करने में भी असफल है।

**प्लैंक का क्वांटम सिद्धान्त :** प्लैंक ने प्रकाश ऊर्जा के लिये निम्न अवधारणा प्रस्तुत की :

1. विकिरण ऊर्जा का उत्सर्जन (emission) या शोषण (absorption) सतत (continuous) न होकर असतत (discontinuous) होता है।
2. असतत उत्सर्जन या असतत शोषण, ऊर्जा के पैकेटों (packets) के रूप में होता है, जिन्हें क्वांटा (quanta) कहते हैं। प्रकाश ऊर्जा में इन्हें फोटॉन (photon) के नाम से भी जाना जाता है।
3. प्रत्येक पैकेट अर्थात् क्वांटम (quantum) की ऊर्जा ( $E$ ) तथा उसकी आवृत्ति ( $\nu$ ) में निम्नलिखित सम्बन्ध है—

$$E = h\nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

जहाँ  $h$  एक नियतांक (constant) है। इसे प्लैंक का नियतांक (Planck's constant) कहते हैं। इसका मान C.G.S. प्रणाली में  $6.625 \times 10^{-27}$  erg-sec या M.K.S प्रणाली में  $6.625 \times 10^{-34}$  J-sec होता है।  $c$  प्रकाश का वेग तथा  $\lambda$  प्रकाश की तरंगदैर्घ्य है।

4. भिन्न-भिन्न तरंग आवृत्तियों का मान अलग-अलग होने के कारण इनके फोटॉन की ऊर्जा अलग-अलग होती है।
5. VIBGYOR में Violet से Red की ओर चलने पर तरंग आवृत्ति का मान घटता जाता है अतः Violet प्रकाश की ऊर्जा Red प्रकाश से अधिक होती है।

### [C] बोर (Bohr) का परमाणु मॉडल (कोशों की अवधारणा)

सन् 1913 में नील्स बोर (Neils Bohr) ने रदरफोर्ड के नाभिकीय मॉडल का एक संशोधित एवं विस्तृत रूप प्रस्तुत किया। बोर ने मैक्स प्लैंक (Max Planck) के क्वांटम सिद्धान्त (quantum theory) का उपयोग किया तथा रदरफोर्ड के परमाणु मॉडल की कमियों को दूर करने के लिए उसे बिना परिवर्तित किये कुछ और धारणाएँ दीं, जो निम्नलिखित हैं—

1. परमाणु के नाभिक के चारों ओर अनेक वृत्तीय कक्षाएँ सम्भव हैं लेकिन इलेक्ट्रॉन इन सभी सम्भव कक्षाओं में नहीं घूमते हैं। इलेक्ट्रॉन केवल कुछ निश्चित कक्षाओं में निश्चित संख्याओं में घूमते हैं। इन निश्चित कक्षाओं को स्थायी (stable) अथवा स्थिर (stationary) अथवा अनुमेयक (premissible) कक्षाएँ कहते हैं।
2. प्रत्येक इलेक्ट्रॉन के साथ उसकी गति तथा स्थिति के कारण ऊर्जा की एक निश्चित मात्रा निहित होती है। किसी एक निश्चित कक्ष में घूमने वाले सभी इलेक्ट्रॉनों की ऊर्जाएँ समान होती हैं।
3. इलेक्ट्रॉन स्थायी कक्षाओं में घूमते हुए ऊर्जा का उत्सर्जन नहीं करते हैं अर्थात् इस क्रिया में उनमें से ऊर्जा का हास (loss) नहीं होता है।
4. स्थायी कक्षाओं में घूमते हुए इलेक्ट्रॉनों का कोणीय संवेग (angular momentum)  $h/2\pi$  का पूर्ण गुणित (integral multiple) होता है। जैसे—

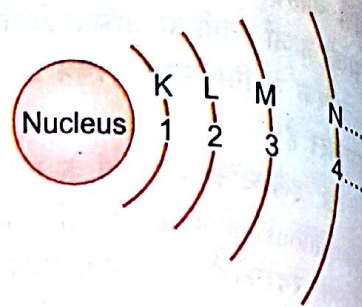
$$\frac{1h}{2\pi}, \frac{2h}{2\pi}, \frac{3h}{2\pi}, \dots \text{आदि}$$

जहाँ 1, 2, 3, ..... आदि कक्षाओं की संख्याएँ हैं।

यदि इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान  $m$ , वेग  $v$  तथा परमाणु के केन्द्रक से इलेक्ट्रॉन की दूरी  $r$  हो तो इसका कोणीय संवेग  $mvr$  होगा तथा  $mvr = \frac{nh}{2\pi}$ , जहाँ  $n$  एक पूर्णांक है।



$n$  का मान 1, 2, 3, 4,..... आदि हो सकता है। यह संख्या इलेक्ट्रॉन के कक्ष (orbit) की क्रम संख्या कहलाती है। इलेक्ट्रॉन की कक्षाओं को क्रमशः K, L, M, N,..... आदि अक्षरों द्वारा भी प्रदर्शित करते हैं। इलेक्ट्रॉन तथा नाभिक के मध्य जो आकर्षण बल कार्य करता है, वह अपकेन्द्र बल से सन्तुलित होता है। इस आधार पर  $n$ ,  $r$  तथा इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा के बारे में महत्वपूर्ण जानकारी प्राप्त होती है। यदि  $n$  का मान अधिक है तो  $r$  का मान भी अधिक होता है तथा इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा भी अधिक होती है अर्थात् पहली, दूसरी, तीसरी..... कक्षाओं की नाभिक से दूरी तथा उनके इलेक्ट्रॉनों की ऊर्जा क्रमशः बढ़ती जाती है। अतः  $n$  को इलेक्ट्रॉन का ऊर्जा स्तर (energy level) भी कहते हैं (चित्र 2.12)।



चित्र 2.12 परमाणु में इलेक्ट्रॉन के ऊर्जा स्तर।

5. साधारणतया इलेक्ट्रॉन परमाणु में निम्न ऊर्जाओं की कक्षाओं में रहते हैं। परमाणु की या इलेक्ट्रॉनों की यह अवस्था उनकी मूल अवस्था (ground state) कहलाती है। बाहर से ऊर्जा देने पर इलेक्ट्रॉन अपनी मूल अवस्था को छोड़कर उच्च ऊर्जा वाली अर्थात् दूर वाली कक्षाओं में कूद जाते हैं। दूसरे शब्दों में, जब इलेक्ट्रॉन अपने कक्ष से आगे वाले कक्ष में कूदता है तब ऊर्जा का अवशोषण (absorption of energy) होता है। परमाणु या इलेक्ट्रॉन की इस अवस्था को उसकी उत्तेजित अवस्था (excited state) कहते हैं। इस प्रकार अवशोषित (absorbed) ऊर्जा का मान उच्च तथा निम्न कक्षाओं की ऊर्जा के अन्तर के बराबर होता है। यदि निम्न एवं उच्च ऊर्जा की कक्षाओं के इलेक्ट्रॉनों की ऊर्जाएँ  $E_1$  तथा  $E_2$  हैं तो—

$$\text{अवशोषित ऊर्जा का मान} = E_2 - E_1 = h\nu$$

जहाँ  $h$  प्लांक का नियतांक है तथा  $\nu$  अवशोषित ऊर्जा की आवृत्ति है।  $\nu$  का मान  $E_2 - E_1$  के मान पर निर्भर करता है। अतः ऊर्जा के अवशोषण के लिये यह आवश्यक है कि एक निश्चित आवृत्ति की ऊर्जा परमाणु को दी जाये।

जब इलेक्ट्रॉन अपनी मूल कक्षाएँ छोड़कर उच्च कक्षाओं में पहुँच जाते हैं तो दो सम्भावनाएँ हैं—(i) ऊर्जा का अवशोषण हो तथा इलेक्ट्रॉन इससे भी उच्च कक्षाओं में पहुँच जाये, (ii) इलेक्ट्रॉन लौटकर अपनी मूल अवस्था या किसी निम्न अवस्था में आ जाये तथा इस प्रक्रिया (process) में ऊर्जा का उत्सर्जन (emission) हो। परमाणु की उत्तेजित अवस्था में यदि ऊर्जा के अवशोषण की सम्भावना नहीं है तो ऊर्जा का उत्सर्जन होता है। दूसरे शब्दों में, जब इलेक्ट्रॉन दूर वाले कक्ष से पास वाले कक्ष में लौटता है तब ऊर्जा का उत्सर्जन होता है।

$$\text{उत्सर्जित ऊर्जा का मान} = E_2 - E_1 = h\nu$$

जहाँ  $h$  प्लांक का नियतांक है तथा  $\nu$  उत्सर्जित ऊर्जा की आवृत्ति है। अतः परमाणु के उत्सर्जन स्पेक्ट्रम (emission spectrum) में निश्चित आवृत्ति की रेखाएँ पाई जाती हैं।

## बोर के परमाणु मॉडल की कमियाँ

बोर के परमाणु मॉडल में निम्नलिखित कमियाँ पाई गई हैं—

1. बोर के परमाणु मॉडल द्वारा केवल एक इलेक्ट्रॉन वाले परमाणु (जैसे—हाइड्रोजन) अथवा आयनों (जैसे— $\text{He}^+$ ) के उत्सर्जन स्पेक्ट्रमों की उत्पत्ति की व्याख्या की जा सकती। एक से अधिक इलेक्ट्रॉन वाले परमाणुओं अथवा आयनों के उत्सर्जन स्पेक्ट्रमों की उत्पत्ति की व्याख्या इस मॉडल से सम्भव नहीं है।

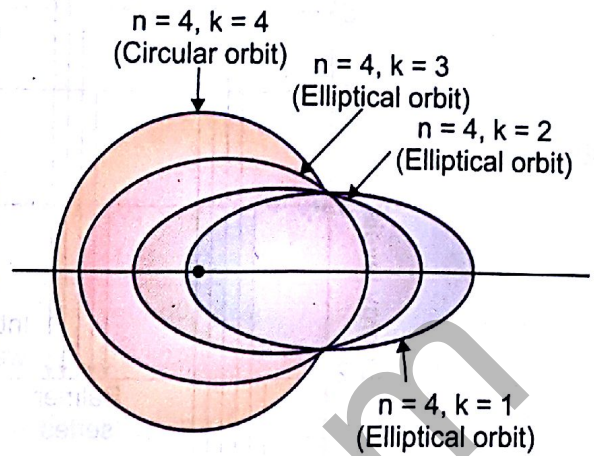
2. उच्च विभेदन क्षमता (high resolving power) के स्पेक्ट्रोस्कोप (spectroscope) द्वारा जाँच करने पर ज्ञात हुआ कि हाइड्रोजन के उत्सर्जन स्पेक्ट्रम (emission spectrum) की रेखाएँ, जो अन्यथा एकल (single) प्रतीत होती हैं, वास्तव में कई रेखाओं के समूह हैं। हाइड्रोजन के स्पेक्ट्रम की सूक्ष्म संरचना (fine structure) की व्याख्या बोर के परमाणु मॉडल से सम्भव नहीं है।

3. प्रयोगों द्वारा यह ज्ञात हुआ है कि जिस वस्तु से उत्सर्जन स्पेक्ट्रम प्राप्त होता है, उसे चुम्बकीय क्षेत्र (magnetic field) में रख देने पर उसके स्पेक्ट्रम की रेखाएँ कई रेखाओं में विभक्त (split) हो जाती हैं। इस घटना को जीमान प्रभाव (Zeeman effect) कहते हैं। जीमान प्रभाव की व्याख्या बोर के परमाणु मॉडल द्वारा सम्भव नहीं है।



## [D] सोमरफील्ड का परमाणु मॉडल

सन् 1919 में सोमरफील्ड (Sommerfield) ने बोर के परमाणु मॉडल का एक संशोधित एवं विस्तृत रूप प्रस्तुत किया। हाइड्रोजन के उत्सर्जन स्पेक्ट्रम की रेखाओं की सूक्ष्म संरचना (fine structure) की व्याख्या करने के लिये सोमरफील्ड ने यह सुझाव दिया कि यह आवश्यक नहीं है कि एक ही कक्षा के सभी इलेक्ट्रॉनों की ऊर्जाएँ समान हों, एक ही कक्षा के कुछ इलेक्ट्रॉनों की ऊर्जा दूसरे इलेक्ट्रॉनों की ऊर्जा से भिन्न हो सकती है। दूसरे शब्दों में, मुख्य ऊर्जा स्तरों को उप-ऊर्जा स्तरों में विभाजित किया गया है। यह आवश्यक नहीं है कि एक ही कक्षा के सभी इलेक्ट्रॉन एक ही वृत्तीय पथ पर घूमते हों बल्कि उनमें से कुछ इलेक्ट्रॉन दीर्घवृत्तीय (elliptical) पथों पर घूम सकते हैं। परमाणु का नाभिक दीर्घवृत्तीय कक्षाओं के दो फोकसों (focuses) में से किसी एक फोकस (focus) पर होता है (चित्र 2.13)।



चित्र 2.13 चतुर्थ मुख्य ऊर्जा स्तर के लिए सोमरफील्ड की वृत्तीय तथा दीर्घवृत्तीय कक्षाएँ।

वृत्तीय कक्ष में घूम रहे इलेक्ट्रॉन के कोणीय संवेग का मान  $\frac{nh}{2\pi}$  होता है, जहाँ  $n$  एक पूर्ण संख्या है।  $n$  इलेक्ट्रॉन का मुख्य ऊर्जा स्तर अथवा इलेक्ट्रॉन की कक्षा की संख्या है। दीर्घवृत्तीय कक्षा में घूम रहे इलेक्ट्रॉन का कोणीय संवेग  $\frac{kh}{2\pi}$  होता है, जहाँ  $k$  एक पूर्ण संख्या है।  $k$  का मान 1, 2, 3, 4 ..... आदि हो सकता है।  $k$  का मान इलेक्ट्रॉन के उप-ऊर्जा स्तर को प्रदर्शित करता है।

$k$  का मान  $n$  के मान पर निर्भर करता है।  $n$  के किसी एक मान के लिए  $k$  के  $n$  मान होते हैं।  $k$  के ये मान 1, 2, 3, .....  $n$  हैं। यदि  $n=1$  तो  $k=1$ ;  $n=2$  तो  $k=1, 2$ ;  $n=3$  तो  $k=1, 2, 3$ ;  $n=4$  तो  $k=1, 2, 3, 4$  आदि। जब  $k$  और  $n$  का मान बराबर हो तो इलेक्ट्रॉन की कक्षाएँ वृत्तीय होंगी अर्थात् दीर्घ अक्ष की लम्बाई लघु अक्ष की लम्बाई के बराबर होगी। अतः

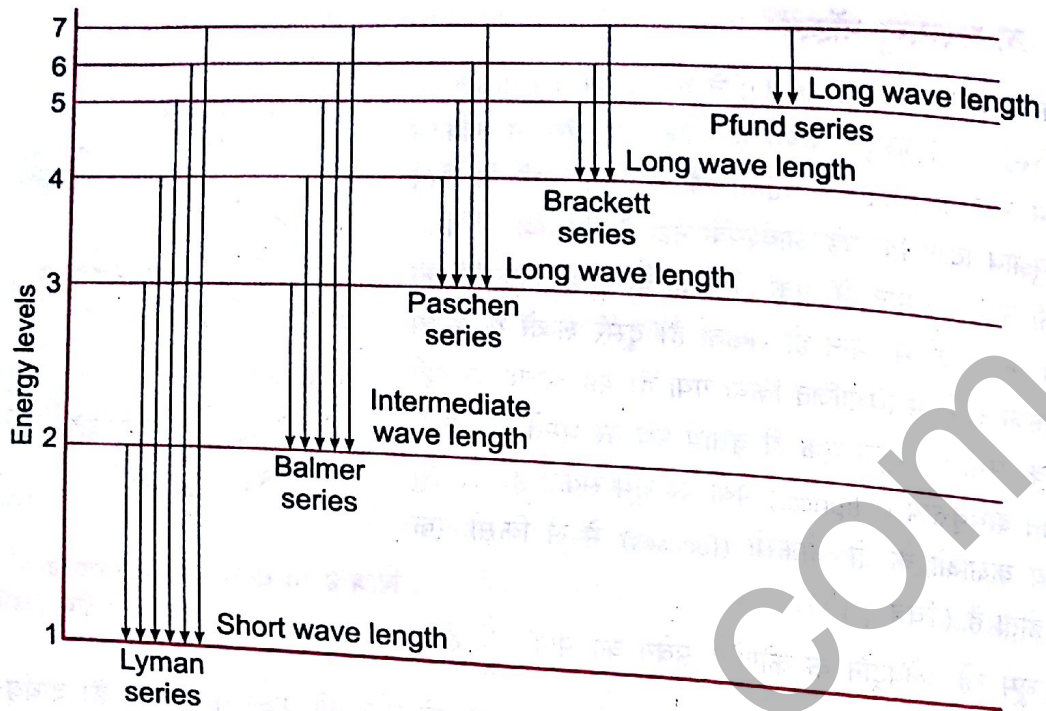
$$\frac{n}{k} = \frac{\text{दीर्घ अक्ष की लम्बाई}}{\text{लघु अक्ष की लम्बाई}}$$

सोमरफील्ड का परमाणु मॉडल हाइड्रोजन के उत्सर्जन (emission) स्पेक्ट्रम में प्राप्त रेखाओं की सूक्ष्म संरचना (fine structure) की व्याख्या सफलतापूर्वक कर लेता है परन्तु यह मॉडल बोर के परमाणु मॉडल की तरह एक से अधिक इलेक्ट्रॉन वाले परमाणुओं अथवा आयनों के उत्सर्जन स्पेक्ट्रम की व्याख्या तथा जीमान प्रभाव (Zeeman effect) की व्याख्या कर पाने में असफल है। इसके अतिरिक्त सोमरफील्ड के परमाणु मॉडल में इलेक्ट्रॉनों को कणों के रूप में माना गया है तथा उनका संवेग तथा स्थान पूर्णतया निर्धारित है। इलेक्ट्रॉनों की द्वैती प्रकृति (dual nature of electrons) की खोज तथा हाइजेनबर्ग के अनिश्चितता के सिद्धान्त की मान्यता के बाद यह स्पष्ट हो जाता है कि सोमरफील्ड का परमाणु मॉडल दोषपूर्ण है।

## 2.7 तत्त्वों के उत्सर्जन स्पेक्ट्रम (The Emission Spectra of Elements)

तत्त्वों की गैसीय अवस्था में किसी बाह्य स्रोत से ऊर्जा देने पर उनके उत्सर्जन स्पेक्ट्रम प्राप्त किये जा सकते हैं। सामान्यतः गैसों में कम दाब पर विद्युत प्रवाहित करने पर प्रकाश उत्पन्न होता है। सोडियम लवण को प्रकाशहीन (non-luminous) बुन्सेन ज्वाला में ले जाने पर भी (पीले रंग का) प्रकाश उत्पन्न होता है। बाह्य स्रोत से ऊर्जा देने पर इलेक्ट्रॉन अपनी मूल कक्षा छोड़कर बाहरी कक्षाओं में पहुँच जाते हैं। परमाणु की उत्तेजित अवस्था में यदि ऊर्जा के अवशोषण की सम्भावना नहीं है तो ऊर्जा का उत्सर्जन होता है। यह ऊर्जा प्रकाश या अन्य विद्युत चुम्बकीय विकिरणों के रूप में उत्सर्जित होती है। उत्सर्जित ऊर्जा को किसी प्रिज्म या ग्रेटिंग में से गुजारने पर उत्सर्जन स्पेक्ट्रम प्राप्त हो जाता है (चित्र 2.14)।





चित्र 2.14 हाइड्रोजन स्पेक्ट्रम का उद्भव।

हाइड्रोजन के उत्सर्जन स्पेक्ट्रम का अध्ययन सर्वप्रथम बोर (1914) ने किया। हाइड्रोजन के उत्सर्जन स्पेक्ट्रम में प्राप्त रेखाओं को पाँच भागों (श्रेणियों) में विभक्त किया जा सकता है (सारणी 2.5)।

सारणी 2.5 हाइड्रोजन का उत्सर्जन स्पेक्ट्रम

लाइमन श्रेणी (Lyman Series)	$n_1 = 1$ $n_2 = 2, 3, 4, \dots$	ultraviolet region
बामर श्रेणी (Balmer Series)	$n_1 = 2$ $n_2 = 3, 4, 5, \dots$	visible region
पास्कन श्रेणी (Paschen Series)	$n_1 = 3$ $n_2 = 4, 5, 6, \dots$	infra-red region
ब्रेकेट श्रेणी (Brackett Series)	$n_1 = 4$ $n_2 = 5, 6, 7, \dots$	far infra-red region
फुण्ड श्रेणी (Pfund Series)	$n_1 = 5$ $n_2 = 6, 7, \dots$	far infra-red region

यदि इलेक्ट्रॉन उत्तेजित अवस्था में द्वितीय, तृतीय, चतुर्थ, ..... ( $n_2 = 2, 3, 4, \dots$ ) कक्ष में होता है तथा पहले कक्ष ( $n_1 = 1$ ) में लौटता है तो उत्सर्जित ऊर्जा का मान इस प्रकार होता है कि लाइमन श्रेणी की रेखा प्राप्त होती है। इसी प्रकार उपरोक्त सारणी में अन्य श्रेणियों के लिए दिए गए  $n_1$  व  $n_2$  के मान की व्याख्या की जा सकती है।

### बोर के सिद्धान्त के महत्वपूर्ण परिणाम (Some Important Results of Bohr Model)

किसी एक इलेक्ट्रॉन वाले परमाणु जैसे H-परमाणु के लिये, जिसमें 'e' आवेश का इलेक्ट्रॉन एक प्रोटॉन वाले नाभिक से  $r$  दूरी पर  $v$  वेग से नाभिक के चारों ओर घूम रहा है

तब, बोर के अनुसार

$$\frac{e^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r} \quad \dots(1)$$

एवं

$$mvr = \frac{nh}{2\pi} \quad \dots(2)$$

1. बोर व्यास की त्रिज्या (Radius of Bohr Orbit)—समी० (1) व (2) से

$$\frac{e^2}{r^2} = \frac{m}{r} \times \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 \times m^2 r^2}$$



अतः 
$$r_n = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m e^2} \quad \dots(3)$$

H-परमाणु के प्रथम कक्ष के लिये : 
$$r_1 = \frac{h^2}{4\pi^2 m e^2} \quad \dots(4)$$

समी० (3) व (4) से 
$$r_n = r_1 \times n^2 \quad \dots(5)$$

$\therefore h = 6.625 \times 10^{-27}$  अर्ग-सेकण्ड,  $m = 9.108 \times 10^{-28}$  ग्राम एवं  $e = 4.803 \times 10^{-10}$  ई० एम० यू०

$\therefore$  समी० (4) से 
$$r_1 = \frac{(6.625 \times 10^{-27})^2}{4 \times (3.14)^2 \times 9.108 \times 10^{-28} \times (4.803 \times 10^{-10})^2}$$

$$= 0.529 \times 10^{-8} \text{ cm} = 0.529 \text{ \AA} = 0.529 \times 10^{-10} \text{ m}$$

अतः एक इलेक्ट्रॉन वाले आयनों में (उदाहरणार्थ— $\text{He}^+$ ,  $\text{Li}^{2+}$ ,  $\text{Be}^{3+}$ ) में बोर त्रिज्या का सूत्र निम्न होता है

$$r_n(\text{1 electron system}) = \frac{r_1 H}{Z} \quad \dots(6)$$

जहाँ  $Z$  उस परमाणु का परमाणु क्रमांक है।

## 2. बोर कक्ष में इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा (Energy of Electron in a Bohr Orbit)—

H-परमाणु में, किसी कक्ष की कुल ऊर्जा ( $E_n$ ) = गतिज ऊर्जा + स्थितिज ऊर्जा

$$= \frac{1}{2} \frac{e^2}{r_n} - \frac{e^2}{r_n}$$

$$E_n = \frac{-e^2}{2r_n} \quad \dots(7)$$

समी० (3) व (7) से

$$E_n = \frac{-2\pi^2 m e^4}{n^2 h^2} \quad \dots(8)$$

C.G.S. में

$$E_n = \frac{-2 \times (3.14)^2 \times 9.108 \times 10^{-28} \times (4.803 \times 10^{-10})^4}{n^2 \times (6.625 \times 10^{-27})^2}$$

$$= \frac{-21.77 \times 10^{-12}}{n^2} \text{ अर्ग/परमाणु}$$

$$= \frac{-21.77 \times 10^{-19}}{n^2} \text{ जूल/परमाणु}$$

$$= \frac{-1312}{n^2} \text{ कि० जूल/मोल}$$

$$= -\frac{13.6}{n^2} \text{ ई० वो०/परमाणु}$$

$$E_n \propto -\frac{1}{n^2}$$

एक इलेक्ट्रॉन रखने वाले अन्य परमाणु आयनों के लिये

$$E_n = \frac{-2\pi^2 Z^2 e^4 m}{h^2 n^2} \quad \dots(9)$$



जहाँ,  $E_n = n^{\text{th}}$  कक्ष के इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा (अर्ग में)  
 $Z$  = नाभिक में धन-आवेशों की संख्या  
 $e$  = इलेक्ट्रॉन का आवेश (e.s.u. में)  
 $m$  = इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान (ग्राम में)  
 $h$  = प्लैंक का नियतांक ( $6.626 \times 10^{-27}$  अर्ग-सेकण्ड)  
 $n$  = कक्ष की संख्या

अतः  $E_{n_{\text{H-like atom}}} = E_{n_{\text{H}}} \times Z^2$  ... (10)

उपरोक्त समीकरणों में  $E$  का मान ऋणात्मक है तथा  $n$  हर (denominator) में है। अतः  $n$  का मान कम होने पर  $E$  का मान कम होगा तथा  $n$  का मान अधिक होने पर  $E$  का मान अधिक होगा अर्थात् कक्षाओं के क्रम के बढ़ने पर इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा बढ़ती जाती है जो इलेक्ट्रॉन नाभिक के समीप होते हैं, उनकी ऊर्जा कम होती है। जो इलेक्ट्रॉन नाभिक से अधिक दूरी पर होते हैं, उनकी ऊर्जा भी अधिक होती है।  $n$  का मान  $\infty$  होने पर अर्थात् जब इलेक्ट्रॉन परमाणु से बाहर निकल जाता है तो उसकी ऊर्जा उपरोक्त समीकरण के अनुसार शून्य हो जाती है, जो परमाणु में इलेक्ट्रॉन की अधिकतम ऊर्जा है।

यदि कक्ष संख्या  $n_1$  में इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा  $E_1$  तथा कक्ष संख्या  $n_2$  में इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा  $E_2$  है तथा इलेक्ट्रॉन उच्च कक्ष  $n_2$  से निम्न कक्ष  $n_1$  में वापस लौटता है, तो उपरोक्त समीकरण के अनुसार उत्सर्जित ऊर्जा—

$$\Delta E = E_2 - E_1 = \frac{2\pi^2 Z^2 e^4 m}{h^2} \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

परमाणु का आयनन करने पर उसमें उपस्थित इलेक्ट्रॉन  $n_2 = \infty$  कक्ष में पहुँच जाता है। अतः उपरोक्त समीकरण में  $n_2$  का मान  $\infty$  रखने पर प्राप्त ऊर्जा का मान आयनन विभव कहलाता है। परमाणु का आयनन करने के लिए उसे इतनी ऊर्जा देने की आवश्यकता होगी। प्लैंक की समीकरण  $E = h\nu$  के अनुसार सम्बन्धित ऊर्जा की आवृत्ति—

$$\begin{aligned} \therefore h\nu &= \frac{2\pi^2 Z^2 e^4 m}{h^2} \left[ \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right] \\ \nu &= \frac{2\pi^2 Z^2 e^4 m}{h^3} \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \end{aligned} \quad \dots (11)$$

समीकरण  $c = \nu\lambda$  के अनुसार, यदि सम्बन्धित ऊर्जा के विकिरणों की तरंगदैर्घ्य  $\lambda$  है तो—

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{2\pi^2 Z^2 e^4 m}{h^3 c} \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

$1/\lambda$  को तरंग संख्या (wave number) भी कहते हैं तथा  $\bar{\nu}$  से प्रदर्शित करते हैं। अतः

$$\bar{\nu} = \frac{2\pi^2 Z^2 e^4 m}{h^3 c} \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad \dots (12)$$

या

$$\bar{\nu} = R_H Z^2 \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad \dots (13)$$

जहाँ  $R_H = \frac{2\pi^2 e^4 m}{h^3 c}$  (C.G.S. में)

$R_H$  को रिडबर्ग नियतांक (Rydberg constant) कहते हैं।  $R_H$  का मान  $109737 \text{ cm}^{-1}$  होता है। उपरोक्त समीकरण की सहायता से  $\bar{\nu}$  का मान ज्ञात किया जा सकता है। यदि  $R_H$  का मान  $\text{cm}^{-1}$  में प्रयुक्त करते हैं तो  $\bar{\nu}$  का मान भी  $\text{cm}^{-1}$  में ही प्राप्त होगा। इसी प्रकार यदि  $R_H$  का मान  $\text{m}^{-1}$  में प्रयुक्त करते हैं तो  $\bar{\nu}$  का मान  $\text{m}^{-1}$  में प्राप्त होगा।

अतः  $E_{n(\text{एक इलेक्ट्रॉन वाले परमाणु})} = E_{n_{\text{H}}} \times Z^2$  ... (14)



3. किसी कक्ष में इलेक्ट्रॉन का वेग (Velocity of Electron in a Shell)—बोर के अनुसार इलेक्ट्रॉन का संवेग,

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

सूत्र  $mvr = \frac{nh}{2\pi}$  में समी० 2 से  $r$  का मान प्रतिस्थापित करने पर 'इलेक्ट्रॉन' का वेग—

H-परमाणु के लिये

$$v_n = \frac{2\pi e^2}{nh} \quad \dots(15)$$

$\therefore$

$$v_1 = \frac{2\pi e^2}{h} \quad (n=1)$$

$$v_1 = \frac{2 \times 3.14 \times (4.803 \times 10^{-10})^2}{6.625 \times 10^{-27}} = 2.18 \times 10^8 \text{ सेमी०/से०}$$

$\therefore$

$$u_n = \frac{2.18 \times 10^8}{n} \quad \dots(16)$$

$\therefore$

$$v_n = \frac{v_1}{n} \quad (n=n)$$

एक इलेक्ट्रॉन वाले परमाणु-आयनों के लिये,

$$v_n = \frac{2\pi e^2 Z}{n \cdot h}$$

$$\therefore v_{n\text{H-like atom}} = v_{n\text{H}} \times Z \quad \dots(17)$$

4. बोर कक्ष में उपस्थित H-परमाणु की आयनन ऊर्जा : H-परमाणु के प्रथम कक्ष से इलेक्ट्रॉन को बाहर निकालने के लिये प्रयुक्त ऊर्जा

$$\Delta E = E_\infty - E_1 = 13.6 \text{ ई० वोल्ट} \quad \dots(18)$$

$$\therefore E_\infty = \text{शून्य एवं } E_1 = -13.6 \text{ ई० वोल्ट}$$

5. नाभिक के चारों तरफ किसी कक्ष में एक चक्कर में लगा समय (Time Required to Complete one Revolution of Electron Round the Nucleus in a Shell)—

$$T = \frac{2\pi r_n}{u_n} \quad \dots(19)$$

6. चक्करों की आवृत्ति :

$$\text{नाभिक के चारों ओर घूमने पर प्रति सेकण्ड चक्करों की संख्या} = \frac{u_n}{2\pi r_n} \quad \dots(20)$$

7. हाइड्रोजन स्पेक्ट्रम में सम्भावित रेखाओं की गणना : किसी H-परमाणु में इलेक्ट्रॉन के  $n_2$  कक्ष से  $n_1$  कक्ष में ( $n_2 > n_1$ ) गिरने पर प्राप्त सम्भावित रेखाओं की गणना निम्न सूत्र से कर सकते हैं।

$$\text{उत्सर्जित सम्भावित रेखायें} = \sum \Delta n = \sum (n_2 - n_1) \quad \dots(21)$$

$$\text{माना } n_2 = 4, n_1 = 2 \text{ है।}$$

$$\therefore \text{उत्सर्जित रेखायें} = \sum (4 - 2) = \sum 2 = 1 + 2 = 3$$

टिप्पणी (A) : किसी उत्तेजित अवस्था में आये H-परमाणु अथवा किसी एक इलेक्ट्रॉन वाले परमाणु से प्रकाश उत्सर्जन निम्न दशाओं में ही सम्भव होता है।

1. इलेक्ट्रॉन के किसी भी ऊपर के मुख्य कक्ष ( $n_2$ ) से नीचे के मुख्य कक्ष ( $n_1$ ) में गिरने पर जहाँ  $n_2 > n_1$
2. यदि इलेक्ट्रॉन किसी मुख्य कक्ष के एक उपकोश से दूसरे कक्ष के किसी उपकोश में आता है तो उत्सर्जन सिर्फ निम्न स्थितियों में ही सम्भव होगा।

a.  $\Delta n$  का मान कुछ भी हो सकता है।



b.  $\Delta l = \pm 1$

c.  $\Delta m_l = 0, \pm 1$

जहाँ  $n, l, m_l$  किसी इलेक्ट्रॉन की स्थिति, ऊर्जा एवं दिशा को व्यक्त करने हेतु प्रयोग की गई क्वांटम संख्याएँ कहलाती हैं। इनके विवरण अध्याय में आगे दिया गया है।

अर्थात् किसी इलेक्ट्रॉन के  $4d$  से  $3s$  में आने पर प्रकाश उत्सर्जन नहीं होगा क्योंकि  $\Delta l = 2$  है,  $l = 2$  ( $4d$  में),  $l = 0$  ( $3s$  में) इसी प्रकार  $4f$  से  $3d$  में आने पर तो प्रकाश उत्सर्जन होगा। परन्तु  $4f$  से  $3s, 3p$  में आने पर प्रकाश उत्सर्जन नहीं होगा।

**टिप्पणी (B) :** उपरोक्त व्युत्पत्तियाँ मात्रकों की C.G.S. प्रणाली के अनुरूप हैं। यदि M.K.S. प्रणाली या S.I. प्रणाली प्रयुक्त करते हैं तो उपरोक्त समीकरण (9) व समीकरण (3) निम्नलिखित रूप धारण कर लेती हैं—

$$E_n = \frac{-2\pi^2 Z^2 e^4 m}{(4\pi\epsilon_0)^2 h^2 n^2} \quad \dots(22)$$

तथा

$$r_n = \frac{n^2 h^2 (4\pi\epsilon_0)}{4\pi^2 m e^2 Z} \quad \dots(23)$$

M.K.S. प्रणाली में  $E$  को जूल में,  $r$  को मीटर में,  $e$  को कूलॉम में,  $m$  को किग्रा में तथा  $h$  को जूल-सेकण्ड में प्रयुक्त करते हैं। M.K.S. प्रणाली में  $h$  का मान  $6.63 \times 10^{-34}$  जूल-सेकण्ड होता है।  $\epsilon_0$  को निर्वात की विद्युतशीलता (permittivity of free space) कहते हैं।  $1/4\pi\epsilon_0$  का मान  $9.0 \times 10^{19}$  जूल-मीटर/कूलॉम<sup>2</sup> होता है।

**उदाहरण 2.20.** हाइड्रोजन परमाणु में चतुर्थ स्थिर अवस्था से इलेक्ट्रॉन के गिरने पर निकले हुए विकिरण की तरंगदैर्घ्य, जो कि लाइमन श्रृंखला में लाइन उत्पन्न करता है, की गणना कीजिए। ( $R_H = 1.1 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$ ) (R.E.E. 1995)

**हल—**

लाइमन श्रृंखला की लाइन के लिए—  $n_1 = 1$

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R_H Z^2 \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

$$\frac{1}{\lambda} = 1.1 \times 10^7 \text{ m}^{-1} \times 1^2 \times \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{4^2} \right) = 1.1 \times \frac{15}{16} \times 10^7 \text{ m}^{-1}$$

$$\lambda = 9.7 \times 10^{-8} \text{ m.}$$

**उदाहरण 2.21.** हाइड्रोजन के 1.0 ग्राम-परमाणु में इलेक्ट्रॉनों के उस संक्रमण जिससे परमाणु स्पेक्ट्रम के प्रत्यक्ष क्षेत्र में सबसे कम ऊर्जा वाली स्पेक्ट्रम रेखा उत्पन्न होती हो, से निकलने वाली ऊर्जा की गणना कीजिए।

$$(R_H = 1.1 \times 10^7 \text{ m}^{-1}, c = 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}, h = 6.62 \times 10^{-34} \text{ J s})$$

**हल—**

$$\bar{\nu} = R_H \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

हाइड्रोजन परमाणु के स्पेक्ट्रम के प्रत्यक्ष क्षेत्र (बामर श्रेणी) के लिए  $n_1 = 2$ .  $E$  का मान कम होने पर  $E = h\nu$  के अनुसार  $\nu$  का मान भी कम ही होगा।  $c = \nu\lambda$  के अनुसार  $\nu$  का मान कम होने पर  $\bar{\nu}$  (अर्थात्  $1/\lambda$ ) का मान भी कम होगा।  $n_2$  का मान 3, 4, 5..... हो सकता है।  $\bar{\nu}$  का मान सबसे कम हो इसके लिए  $n_2$  का मान 3 होना चाहिए।

अतः

$$\bar{\nu} = 1.1 \times 10^7 \text{ m}^{-1} \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right)$$

$$= \frac{1.1 \times 10^7 \times 5}{4 \times 9} \text{ m}^{-1}$$

$$= 1.528 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$$

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = c \bar{\nu} = 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1} \times 1.528 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$$

$$= 4.584 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$$

उत्तर

(R.E.E. 1993)



$$E = h\nu = 6.62 \times 10^{-34} \text{ J s} \times 4.584 \times 10^{14} \text{ s}^{-1} \\ = 3.034 \times 10^{-19} \text{ J}$$

हाइड्रोजन के 1.0 ग्राम-परमाणु (1.0 मोल) में उपस्थित परमाणुओं की संख्या  
 $= 6.022 \times 10^{23}$

अतः हाइड्रोजन के 1.0 ग्राम-परमाणु में इलेक्ट्रॉनों के संक्रमण के लिए उत्सर्जित ऊर्जा

$$= 3.034 \times 10^{-19} \times 6.022 \times 10^{23} \text{ J} = 1.827 \times 10^5 \text{ J}$$

उत्तर

**उदाहरण 2.22.** 242 nm तरंगदैर्घ्य वाला विद्युत चुम्बकीय विकिरण सोडियम परमाणु के आयनीकरण के लिए यथोचित है। सोडियम परमाणु की आयनीकरण ऊर्जा की गणना कीजिए। ( $c = 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ ,  $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}$ )

**हल-**  $E = h\nu$  तथा  $c = \nu\lambda$

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

$$\lambda = 242 \text{ nm} = 242 \times 10^{-9} \text{ m}, c = 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}, h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}$$

$$E = \frac{6.626 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{242 \times 10^{-9}} \text{ J} = 8.21 \times 10^{-19} \text{ J}$$

उत्तर

**उदाहरण 2.23.** हाइड्रोजन परमाणु के स्पेक्ट्रम में लाइमन श्रृंखला की सबसे कम आवृत्ति वाली लाइन के विकिरण की तरंगदैर्घ्य, आवृत्ति तथा ऊर्जा की गणना कीजिए।  $\text{Li}^{2+}$  के स्पेक्ट्रा की अनुरूपी लाइन की ऊर्जा की भी गणना कीजिए।

$$(R_H = 1.09678 \times 10^7 \text{ m}^{-1}, c = 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}, h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ J s})$$

$$\text{हल- } \bar{\nu} = R_H \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

लाइमन श्रृंखला के लिए  $n_1 = 1$ ,  $n_2$  का मान 2, 3, 4, ..... हो सकता है। सबसे कम आवृत्ति वाले विकिरण के लिए  $\bar{\nu}$  का मान सबसे कम होगा। अतः  $n_2 = 2$ । अतः

$$\bar{\nu} = 1.09678 \times 10^7 \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right) \text{ m}^{-1} \\ = 8.22585 \times 10^6 \text{ m}^{-1} \\ \lambda = \frac{1}{\bar{\nu}} = 1.21568 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = c\bar{\nu} = 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1} \times 8.22585 \times 10^6 \text{ m}^{-1} \\ = 2.46776 \times 10^{15} \text{ s}^{-1} \\ E = h\nu = 6.625 \times 10^{-34} \text{ J s} \times 2.46776 \times 10^{15} \text{ s}^{-1} \\ = 1.6349 \times 10^{-18} \text{ J}$$

$\text{Li}^{2+}$  के लिए—

$$\nu = R_H \cdot Z^2 \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \\ = R_H \cdot (3)^2 \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

अतः  $\text{Li}^{2+}$  के स्पेक्ट्रा की अनुरूपी लाइन के लिए  $\bar{\nu}$ ,  $\nu$  व  $E$  के मान 9 गुने होंगे। अतः  $\text{Li}^{2+}$  के स्पेक्ट्रा की अनुरूपी लाइन के लिए उत्सर्जित ऊर्जा  $= 9 \times 1.6349 \times 10^{-18} \text{ J} = 1.4714 \times 10^{-17} \text{ J}$

उत्तर

**टिप्पणी :** 1. लाइमन श्रेणी की प्रथम रेखा हेतु  $n_1 = 1$  तथा  $n_2 = 2$  होता है। इसी प्रकार बामर श्रेणी की प्रथम रेखा हेतु  $n_1 = 2$  तथा  $n_2 = 3$  होगा।



2. इस प्रकार लाइमन की  $m$ th रेखा हेतु  $n_1 = 1$  तथा  $n_2 = (m + 1)$  होगा तथा बामर की  $m$ th रेखा हेतु  $n_1 = 2$  तथा  $n_2 = (m + 2)$  होगा।

3. किसी भी श्रेणी की प्रथम रेखा की तरंगदैर्घ्य का मान अपनी श्रेणी में सर्वाधिक होगा क्योंकि  $\Delta E$  का मान सबसे कम होता है।

4. बामर की  $H_\alpha$  रेखा हेतु  $n_1 = 2, n_2 = 3$  तथा  $H_\beta$  रेखा हेतु  $n_1 = 2, n_2 = 4$  होता है।

5. किसी श्रेणी की अन्तिम सीमा (series limit) उस श्रेणी में  $n_2 = \infty$  रखने पर प्राप्त होती है।

6. केवल लाइमन श्रेणी ही उत्सर्जन एवं शोषित वर्णक्रम (spectrum) में उपस्थित होती है।

7. वर्णक्रम में रेखाओं का उत्सर्जन,  $n_2$  के एक निश्चित मान के बाद सतत हो जाता है अर्थात् तरंग दैर्घ्य का मान लगभग बराबर हो जाता है क्योंकि  $\Delta E = E_{n_2} - E_{n_1}$  का मान लगभग बराबर होने लगता है।

8. किसी इलेक्ट्रॉन के  $n_2$  कक्ष से  $n_1$  कक्ष में आने पर कुल सम्भावित रेखाओं की गणना हेतु सूत्र  $= \Sigma(n_2 - n_1)$

उदाहरणार्थ 5वें कक्ष से द्वितीय कक्ष में आने पर कुल रेखायें प्राप्त होंगी  $= \Sigma(5 - 2) = \Sigma 3 = 1 + 2 + 3 = 6$

**उदाहरण 2.24.** सोडियम परमाणु के आयनीकरण के लिए 242 nm तरंगदैर्घ्य का विद्युत चुम्बकीय विकिरण बिल्कुल पर्याप्त है। सोडियम की आयनीकरण ऊर्जा की गणना  $\text{kJ mol}^{-1}$  में कीजिए।

**हल-** उपरोक्त उदाहरण सं० 2.22 के अनुसार सोडियम परमाणु की आयनीकरण ऊर्जा—

$$E = 8.21 \times 10^{-19} \text{ J}$$

1 मोल सोडियम में  $6.022 \times 10^{23}$  परमाणु होते हैं। अतः 1 मोल सोडियम के लिए—

$$E = 8.21 \times 10^{-19} \times 6.022 \times 10^{23} \text{ J mol}^{-1}$$

$$= 49.44 \times 10^4 \text{ J mol}^{-1}$$

$$= 494.4 \text{ kJ mol}^{-1}$$

**उदाहरण 2.25.** हाइड्रोजन परमाणु के तृतीय कक्ष में स्थापित एक इलेक्ट्रॉन के वेग (सेमी/सेकण्ड) की गणना कीजिए। यह भी गणना कीजिए कि यह इलेक्ट्रॉन नाभिक के चारों ओर प्रति सेकण्ड कितनी बार परिक्रमा करता है?

$$(e = 4.80 \times 10^{-10} \text{ e.s.u.}, h = 6.63 \times 10^{-27} \text{ erg-sec}, m = 9.10 \times 10^{-28} \text{ g})$$

**हल-** परमाणु की कक्षा की त्रिज्या एवं इलेक्ट्रॉन के कोणीय संवेग के लिए, बोर के अनुसार—

$$r = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m e^2 Z}$$

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

$$\therefore v = \frac{2\pi e^2}{nh} \cdot Z$$

उपरोक्त सभी सूत्र मात्रक C.G.S. प्रणाली के अनुरूप हैं। हाइड्रोजन परमाणु के तृतीय कक्ष में स्थापित इलेक्ट्रॉन के लिए,  $n = 3$  तथा  $Z = 1$ , अतः

$$v = \frac{2 \times 22 \times (4.80 \times 10^{-10})^2}{7 \times 3 \times 6.63 \times 10^{-27}} \times 1$$

$$= 7.28 \times 10^7 \text{ सेमी/सेकण्ड}$$

$$r = \frac{3 \times 3 \times (6.63 \times 10^{-27})^2 \times 7 \times 7}{4 \times 22 \times 22 \times 9.10 \times 10^{-28} \times (4.80 \times 10^{-10})^2 \times 1}$$

$$= 4.776 \times 10^{-8} \text{ सेमी}$$

प्रति सेकण्ड परिक्रमाओं की संख्या = वेग/परिधि

$$= \frac{v}{2\pi r} = \frac{7.28 \times 10^7 \times 7}{2 \times 22 \times 4.776 \times 10^{-8}}$$

$$= 2.42 \times 10^{14}$$

उत्तर



**उदाहरण 2.26.** बोर (Bohr) के सिद्धान्त के अनुसार हाइड्रोजन परमाणु के  $n$  बोर ऑर्बिट की इलेक्ट्रॉन ऊर्जा निम्नलिखित है—

$$E_n = \frac{-21.76 \times 10^{-19}}{n^2} \text{ J}$$

$\text{He}^+$  आयन के तृतीय बोर ऑर्बिट से एक इलेक्ट्रॉन को निकालने के लिए प्रकाश की अधिकतम तरंगदैर्घ्य का मान निकालिए।

**हल—** बोर के सिद्धान्त के अनुसार हाइड्रोजन तथा हाइड्रोजन जैसे 1 इलेक्ट्रॉन वाले परमाणु या आयन के इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा—

$$E_n = \frac{-2\pi^2 Z^2 e^4 m}{h^2 n^2}$$

हाइड्रोजन परमाणु के लिए—  $Z = 1$

अतः

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

हाइड्रोजन परमाणु के लिए, प्रश्नानुसार—

$$E_n = \frac{-21.76 \times 10^{-19}}{n^2} \text{ J}$$

$$\therefore \frac{2\pi^2 e^4 m}{h^2} = 21.76 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$\text{He}^+$  आयन के लिए बोर के अनुसार—

$$E_2 - E_1 = \frac{-2\pi^2 e^4 m}{h^2} \times Z^2 \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

$\text{He}^+$  आयन के लिए—  $Z = 2$

तृतीय बोर ऑर्बिट से एक इलेक्ट्रॉन निकालने पर प्रकाश की अधिकतम तरंगदैर्घ्य के लिए  $n_1 = 3$  तथा  $n_2 = 4$ .

$$\therefore E_2 - E_1 = 21.76 \times 10^{-19} \text{ J} \times 2^2 \left( \frac{1}{3^2} - \frac{1}{4^2} \right)$$

$$= 4.23 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$E = h\nu = hc/\lambda$$

$$\therefore \lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ Js} \times 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}}{4.23 \times 10^{-19} \text{ J}}$$

$$= 4.70 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$= 470 \text{ nm}$$

उत्तर

## 2.8 पदार्थ तथा विकिरण की द्विक प्रकृति (Dual Nature of Matter and Radiation)

सामान्य रूप से पदार्थ को कण प्रकृति तथा प्रकाश को तरंग प्रकृति का माना जाता है। लेकिन इनके विस्तृत अध्ययन से ज्ञात हुआ है कि पदार्थ तथा प्रकाश दोनों की प्रकृति द्विक होती है अर्थात् ये कण तथा तरंग दोनों की भाँति व्यवहार करते हैं।

### [A] विकिरण की द्विक प्रकृति (Dual Nature of Radiation)

प्रकाश ऊर्जा का एक विशिष्ट रूप है। यह तरंग तथा कण दोनों की भाँति व्यवहार करता है। परावर्तन (reflection), विवर्तन (refraction), व्यतिकरण (interference) जैसे गुण यह प्रदर्शित करते हैं कि प्रकाश की प्रकृति तरंग प्रकृति (wave nature) है जबकि ब्लैक बॉडी विकिरण (black body radiation) तथा प्रकाश विद्युत प्रभाव (photoelectric effect) जैसे गुण प्रकाश की कण प्रकृति (particle nature) की पुष्टि करते हैं।

सन् 1905 में आइन्स्टीन (Einstein) ने सुझाव दिया कि प्रकाश की प्रकृति द्विक है अर्थात् प्रकाश तरंग तथा कण दोनों की भाँति व्यवहार करता है।



प्लांक (Planck) के अनुसार प्रकाश ऊर्जा कुछ ऊर्जा पैकेटों के रूप में उत्सर्जित होती है, जिन्हें क्वांटा (quanta) अथवा फोटॉन्स (photons) कहा जाता है। एक क्वांटम की ऊर्जा  $E$  को निम्न समीकरण द्वारा व्यक्त किया जा सकता है—

$$E = h\nu$$

... (24)

जहाँ  $\nu$  उत्सर्जित प्रकाश की आवृत्ति तथा  $h$  एक स्थिरांक है, जिसे प्लांक स्थिरांक (Planck's constant) कहा जाता है।  $h$  का मान  $6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}$  या  $6.626 \times 10^{-27} \text{ erg s}$  प्राप्त किया गया है।

आइन्स्टीन ने यह भी सिद्ध किया कि द्रव्यमान को निम्न समीकरण के अनुसार ऊर्जा में परिवर्तित किया जा सकता है—

$$E = mc^2$$

... (25)

जहाँ  $m$  = द्रव्यमान तथा  $c$  = प्रकाश का वेग।

### [B] पदार्थ की द्विक प्रकृति (Dual Nature of Matter)

विकिरण की द्विक प्रकृति के समानान्तर एक फ्रांसीसी वैज्ञानिक लुई दी-ब्रोगली (Louis de Broglie) ने 1924 में यह सुझाव दिया कि पदार्थ की प्रकृति भी द्विक होती है। ब्रोगली के अनुसार सभी अत्यन्त सूक्ष्म (microscopic) तथा स्थूल (macroscopic) कण एक कण तथा तरंग दोनों की भाँति व्यवहार करते हैं। पदार्थ की द्विक प्रकृति की विवेचना करने के लिये उन्होंने एक अत्यन्त महत्वपूर्ण समीकरण की व्युत्पत्ति की, जिसे दी-ब्रोगली समीकरण (de-Broglie equation) कहा जाता है।

#### दी-ब्रोगली समीकरण (de-Broglie Equation)

दी-ब्रोगली समीकरण की व्युत्पत्ति निम्न प्रकार से की जा सकती है—

प्लांक (Planck) के अनुसार,  $\nu$  आवृत्ति युक्त एक फोटॉन की ऊर्जा  $E$  को निम्न समीकरण द्वारा व्यक्त किया जा सकता है—

$$E = h\nu$$

... (i)

आइन्स्टीन (Einstein) के अनुसार निम्न समीकरण के अनुसार द्रव्यमान को ऊर्जा में परिवर्तित किया जा सकता है—

$$E = mc^2$$

... (ii)

जहाँ  $m$  फोटॉन का द्रव्यमान है। समी० (i) तथा (ii) से,

$$h\nu = mc^2$$

या

$$h \frac{\nu}{c} = mc$$

या

$$h \cdot \frac{1}{\lambda} = mc$$

या

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

... (26)

यद्यपि समी० 26 को एक फोटॉन के लिए प्राप्त किया गया था लेकिन दी-ब्रोगली ने सत्यापित किया कि इस समीकरण को सभी प्रकार के पदार्थ कणों पर लागू किया जा सकता है।

यदि किसी पदार्थ कण का द्रव्यमान  $m$  तथा वेग  $v$  है तो उस कण के लिए समी० 26 को निम्न प्रकार से लिखा जा सकता है—

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

... (27)

समी० 27 को दी-ब्रोगली समीकरण कहा जाता है। द्रव्यमान तथा वेग के गुणनफल ( $mv$ ) को पदार्थ का संवेग (momentum) कहा जाता है। यदि पदार्थ का संवेग  $p$  हो तो समी० 27 के अनुसार

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

... (28)

समी० 28 भी दी-ब्रोगली समीकरण का एक विशिष्ट रूप है।

#### दी-ब्रोगली समीकरण का महत्त्व

दी-ब्रोगली समीकरण एक अत्यन्त महत्वपूर्ण समीकरण है। यह समीकरण पदार्थ की कण प्रकृति तथा तरंग प्रकृति के मध्य एक सम्बन्ध स्थापित करती है और यह बताती है कि द्रव्यमान तथा वेगयुक्त प्रत्येक कण की एक निश्चित तरंगदैर्घ्य होगी।

परमाणु संर  
गतिस  
तरंगों से भि

क्र०  
सं०

1. विद्यु  
चुम्ब
2. विद्यु  
वेग
3. इन  
अत
4. ये त

अत्य  
प्रकार से  
समी  
द्रव्यमानयु  
(i) ए  
दी-ब्रोगली

यह  
गेंद जैसे  
क्योंकि उ  
देना अर्थह  
(ii)  
है। दी-ब्रोग

इस  
होती है। उ  
तरंग दोनों

[C] इले  
इलेक्  
उपरोक्त म  
और इसे  
तथा एक  
इलेक्  
(i) त  
जा सकता



गतिशील पदार्थ कणों से सम्बद्ध तरंगों को पदार्थ तरंगों (matter waves) या दी-ब्रोगली तरंगों कहा जाता है। ये तरंगें विद्युत चुम्बकीय तरंगों से भिन्न प्रकार की होती हैं। पदार्थ तरंगों तथा विद्युत चुम्बकीय तरंगों के गुणों में अन्तर को सारणी 2.6 में उल्लेखित किया गया है।

**सारणी 2.6 विद्युत चुम्बकीय तरंगों तथा पदार्थ तरंगों में अन्तर**

क्र० सं०	विद्युत चुम्बकीय तरंगें (Electromagnetic waves)	पदार्थ तरंगें (Matter waves)
1.	विद्युत चुम्बकीय तरंगें परस्पर तथा अग्रगामी दिशा के लम्बवत् विद्युत तथा चुम्बकीय क्षेत्रों से सम्बद्ध होती हैं।	पदार्थ तरंगें विद्युत तथा चुम्बकीय क्षेत्रों से सम्बद्ध नहीं होती हैं।
2.	विद्युत चुम्बकीय तरंगें समान वेग से प्रवाहित होती हैं। इनका वेग प्रकाश के वेग के बराबर होता है।	पदार्थ तरंगों के वेग भिन्न होते हैं। इनके वेग प्रकाश के वेग के समान नहीं होते हैं।
3.	इन तरंगों के सम्प्रेषण के लिये किसी माध्यम की आवश्यकता नहीं होती है। अतएव ये निर्वात में भी गति कर सकती हैं।	इन तरंगों के सम्प्रेषण के लिये माध्यम की आवश्यकता होती है। अतएव ये निर्वात में गति नहीं कर सकती हैं।
4.	ये तरंगें स्रोत से या तो उत्सर्जित होती हैं अथवा विकिरणित।	ये तरंगें न तो उत्सर्जित होती हैं और न ही विकिरणित। ये केवल गतिशील कणों से सम्बद्ध रहती हैं।

अत्यन्त सूक्ष्म (microscopic) तथा स्थूल (macroscopic) कणों के सम्बन्ध में दी-ब्रोगली समीकरण की उपयोगिता की व्याख्या निम्न प्रकार से की जा सकती है—

समी० 27 से स्पष्ट है कि किसी कण से सम्बद्ध दी-ब्रोगली तरंगदैर्घ्य कण के द्रव्यमान के व्युत्क्रमानुपाती होती है। अतएव अधिक द्रव्यमानयुक्त कणों के तरंगदैर्घ्य कम द्रव्यमानयुक्त कणों के तरंगदैर्घ्य की तुलना में कम होने चाहिए। निम्न से यह स्पष्ट है—

(i) एक गेंद की दी-ब्रोगली तरंगदैर्घ्य—माना कि 0.15 kg द्रव्यमान की एक क्रिकेट गेंद  $50 \text{ m s}^{-1}$  के वेग से गति कर रही है। दी-ब्रोगली समीकरण के अनुसार,

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.626 \times 10^{-34}}{0.15 \times 50} = 8.83 \times 10^{-35} \text{ m}$$

यह तरंगदैर्घ्य इतनी छोटी है कि इसे आसानी से नहीं मापा जा सकता। अतएव यह निष्कर्ष निकाला जा सकता है कि यद्यपि क्रिकेट गेंद जैसे स्थूल कण से सम्बद्ध एक निश्चित तरंगदैर्घ्य होती है लेकिन फिर भी क्रिकेट गेंद को एक तरंग नहीं माना जा सकता क्योंकि उसकी तरंगदैर्घ्य को मापना सम्भव नहीं है। इस प्रकार स्थूल कणों को कण मानना ही उचित है क्योंकि इन्हें तरंग की संज्ञा देना अर्थहीन होगा।

(ii) एक इलेक्ट्रॉन की तरंगदैर्घ्य—एक इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान  $9.108 \times 10^{-31} \text{ kg}$  तथा इसका वेग लगभग  $2.19 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$  होता है। दी-ब्रोगली समीकरण के अनुसार, इलेक्ट्रॉन का तरंगदैर्घ्य

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.626 \times 10^{-34}}{9.108 \times 10^{-31} \times 2.19 \times 10^6} = 3.32 \times 10^{-10} \text{ m} = 3.32 \text{ \AA}$$

इस तरंगदैर्घ्य को आसानी से मापा जा सकता है। इस प्रकार इलेक्ट्रॉन जैसे अत्यन्त छोटे कणों से मापने योग्य तरंगदैर्घ्य सम्बन्धित होती है। अतएव यह निष्कर्ष निकाला जा सकता है कि इलेक्ट्रॉन जैसे अत्यन्त सूक्ष्म कणों (microscopic particles) को कण तथा तरंग दोनों की संज्ञा दी जा सकती है अर्थात् इनकी प्रकृति द्विक (dual nature) होती है।

### [C] इलेक्ट्रॉन की द्विक प्रकृति (Dual Nature of Electron)

इलेक्ट्रॉन द्रव्यमान तथा गतिज ऊर्जायुक्त होता है। अतएव इलेक्ट्रॉन को भली-भाँति एक कण माना जा सकता है। इसके साथ ही उपरोक्त गणना के अनुसार इलेक्ट्रॉन की तरंगदैर्घ्य लगभग  $3.32 \text{ \AA}$  होती है, जो X-किरणों (X-rays) की तरंगदैर्घ्य के लगभग बराबर है और इसे आसानी से मापा जा सकता है। अतएव एक इलेक्ट्रॉन को तरंग भी माना जा सकता है। इस प्रकार एक इलेक्ट्रॉन एक कण तथा एक तरंग दोनों की भाँति व्यवहार करता है और इसकी प्रकृति द्विक (dual nature) होती है।

इलेक्ट्रॉन की द्विक प्रकृति को निम्नलिखित प्रायोगिक साक्ष्यों के आधार पर तर्कसंगत माना जा सकता है—

(i) तरंग प्रकृति के प्रायोगिक साक्ष्य—इलेक्ट्रॉन की तरंग प्रकृति को निम्नलिखित प्रायोगिक साक्ष्यों के आधार पर सिद्ध किया जा सकता है।



(a) **डैवीसन तथा जर्मेर का प्रयोग (Davisson and Germer's Experiment)**—डैवीसन तथा जर्मेर (1927) ने यह प्रदर्शित किया कि इलेक्ट्रॉन तरंग को एक निकिल क्रिस्टल द्वारा विवर्तित (diffract) किया जा सकता है, जो यह सिद्ध करता है कि इलेक्ट्रॉन एक तरंग है।

डैवीसन तथा जर्मेर के प्रायोगिक उपकरण को (चित्र 2.15) में प्रदर्शित किया गया है। एक गर्म तन्तु (filament) से उत्सर्जित इलेक्ट्रॉन पुंज को आवेशयुक्त प्लेटों के मध्य से प्रवाहित कर त्वरित किया जाता है और त्वरित (accelerated) इलेक्ट्रॉन पुंज को एक निकिल क्रिस्टल पर केन्द्रित किया जाता है। इससे विभिन्न दिशाओं में निश्चित तरंगदैर्घ्य के इलेक्ट्रॉन विवर्तित हो जाते हैं। इनके विवर्तन

कोण (diffraction angle) को एक इलेक्ट्रॉन डिटेक्टर (electron detector) द्वारा एक कोणीय स्केल पर माप लिया जाता है। डैवीसन तथा जर्मेर ने ब्रैग समीकरण ( $n\lambda = 2d \sin \theta$ ) द्वारा इनकी तरंगदैर्घ्य की गणना की और पाया कि प्राप्त तरंगदैर्घ्य का मान वही है जो दी-ब्रोगली समीकरण से प्राप्त होता है। इस प्रकार उन्होंने दी-ब्रोगली समीकरण तथा इलेक्ट्रॉन की तरंग प्रकृति की सत्यता की पुष्टि की।

(b) **थॉमसन तथा किकुची का प्रयोग (Thomson and Kikuchi's Experiment)**—जी०पी० टॉमसन तथा किकुची ने भी अपने प्रयोग द्वारा इलेक्ट्रॉन की तरंग प्रकृति की पुष्टि की। उन्होंने धातु तथा माइका (mica) की अत्यन्त पतली प्लेटों से उच्च वेग के इलेक्ट्रॉनों को प्रवाहित कर विवर्तन पैटर्न (diffraction patterns) प्राप्त किये। इन पैटर्न में समकेन्द्रित गोले प्राप्त होते हैं (चित्र 2.16)। यदि इलेक्ट्रॉनों के स्थान पर X-किरणों का प्रयोग किया जाये तो भी इसी प्रकार के पैटर्न प्राप्त होते हैं। इससे सिद्ध होता है कि X-किरणों की भाँति इलेक्ट्रॉनों की प्रकृति भी तरंग प्रकृति ही होती है।

(ii) **कण प्रकृति के प्रायोगिक साक्ष्य**—निम्नलिखित प्रायोगिक साक्ष्यों द्वारा इलेक्ट्रॉन की कण प्रकृति की पुष्टि होती है—

(a) यदि इलेक्ट्रॉनों को एक जिंक सल्फाइड प्लेट पर प्रवाहित किया जाये तो प्रकाश का एक बिन्दु (spot) प्राप्त होता है, जिसे सिंटिलेशन (scintillation) कहा जाता है। एक इलेक्ट्रॉन केवल एक सिंटिलेशन ही उत्पन्न करता है। इससे स्पष्ट है कि प्रवाहित इलेक्ट्रॉन एक स्थान पर ही सीमित रहता है और एक तरंग की भाँति फैलता नहीं है। यह कण का विशिष्ट गुण है। अतएव इलेक्ट्रॉन को एक कण माना जा सकता है।

(b) इलेक्ट्रॉन सुनिश्चित द्रव्यमान, गतिज ऊर्जा, संवेग तथा आवेशयुक्त होता है। इन गुणों को परोक्ष अथवा प्रत्यक्ष रूपों में मापा गया है। ये सभी कण के गुण हैं और सिद्ध करते हैं कि इलेक्ट्रॉन एक कण है।

**टिप्पणी :** जे० जे० टॉमसन को 1906 में गैसों में विद्युत प्रवाह और इलेक्ट्रॉन की खोज के लिये नोबल पुरस्कार दिया गया। वहीं उनके पुत्र जी०पी० टॉमसन को 1937 में इलेक्ट्रॉन की तरंग प्रकृति हेतु नोबल पुरस्कार दिया गया।

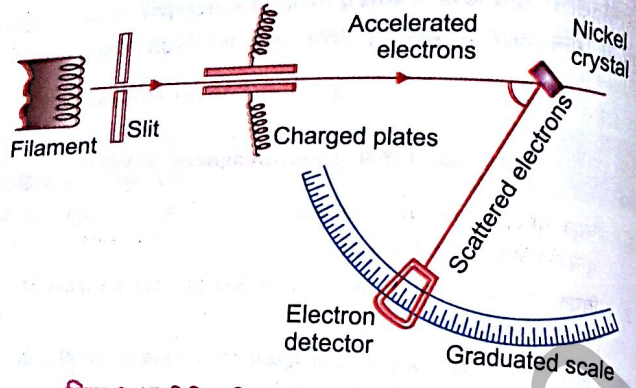
### [D] बोर कक्ष में इलेक्ट्रॉन तरंग का समावेश (Accommodation of Electron Wave in Bohr's Orbit)

दी-ब्रोगली समीकरण को बोर सिद्धान्त (Bohr's theory) पर लागू कर इलेक्ट्रॉन तरंग को एक बोर कक्ष में समावेशित किया जा सकता है।

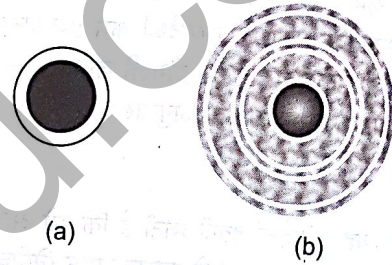
बोर के अनुसार इलेक्ट्रॉन एक कण है और यह एक सुनिश्चित कक्ष में उस समय गति करता है जबकि इसका कोणीय संवेग  $\frac{h}{2\pi}$  का एक पूर्ण गुणांक होता है अर्थात्

$$mvr = n \frac{h}{2\pi}$$

... (29)



चित्र 2.15 निकिल क्रिस्टल द्वारा इलेक्ट्रॉन पुंज का विवर्तन।



चित्र 2.16 (a) इलेक्ट्रॉन तथा (b) X-किरणों द्वारा प्राप्त विवर्तन पैटर्न।



## परमाणु संरचना

जहाँ  $r$  कक्ष की त्रिज्या तथा  $n$  एक पूर्णांक है जिसके मान 1, 2, 3, ... आदि होते हैं। समी० 29 से,

$$2\pi r = n \cdot \frac{h}{mv} \quad \dots(30)$$

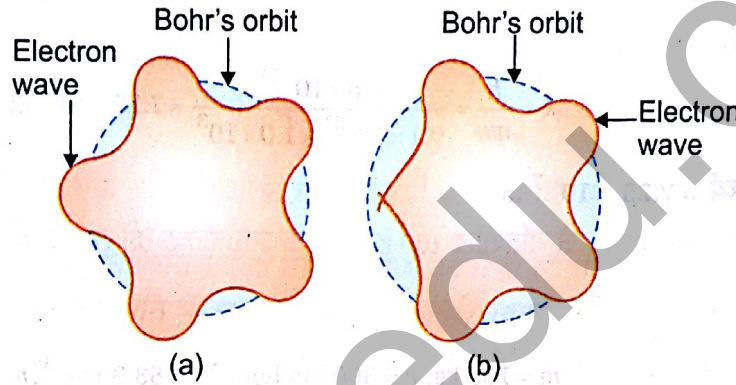
दी-ब्रोगली समीकरण के अनुसार,

$$\lambda = \frac{h}{mv} \quad \dots(31)$$

समी० 30 तथा 31 से,

$$2\pi r = n\lambda \quad \dots(32)$$

समी० 32 में  $2\pi r$  कक्ष की परिधि को व्यक्त करता है। अतएव यह निष्कर्ष निकाला जा सकता है कि एक इलेक्ट्रॉन तरंग को बोर कक्ष में केवल उस समय ही समावेशित करना सम्भव है जबकि कक्ष की परिधि इलेक्ट्रॉन की तरंगदैर्घ्य की एक पूर्ण गुणक (integral multiple) हो (चित्र 2.17a)। यदि परिधि  $\frac{h}{2\pi}$  एक पूर्ण गुणक नहीं होगी तो इलेक्ट्रॉन तरंग विपरीत कला (out of phase) में हो जायेगी और इलेक्ट्रॉन तरंग को बोर कक्ष में समावेशित करना सम्भव नहीं होगा (चित्र 2.17 b)।



चित्र 2.17 (a) इलेक्ट्रॉन तरंग समान कला में, (b) इलेक्ट्रॉन तरंग विपरीत कला में।

**टिप्पणी :** 1. किसी कक्ष में इलेक्ट्रॉन की तरंग संख्या उस कक्षा की संख्या के बराबर होती है। चित्र 2.17 (a) में 5 तरंग हैं अतः यह पंचम कक्ष है।

$$\text{किसी कक्ष में तरंग संख्या} = \frac{\text{परिधि}}{\text{तरंगदैर्घ्य}} = \frac{2\pi r}{\lambda}$$

$$= \frac{2\pi r}{h} \times mv$$

$$= 2\pi \times \frac{mur}{h}$$

$$= 2\pi \times \frac{nh}{2\pi \cdot h}$$

$$= n$$

$$\left( \because \lambda = \frac{h}{mu} \right)$$

$$\left( mur = \frac{nh}{2\pi} \right)$$

2. गति करते इलेक्ट्रॉन को  $V$  विभवान्तर पर रखने पर गतिज ऊर्जा एवं तरंगदैर्घ्य निम्न सूत्रों द्वारा व्यक्त करते हैं—

$$\frac{1}{2} mu^2 = e \cdot V$$

$$u = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$$

$$\frac{h}{m\lambda} = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$$

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2me \cdot V}}$$

$$\left( \because \lambda = \frac{h}{mu} \right)$$

या



नूतन माध्यमिक रसायन विज्ञान XI

**उदाहरण 2.27.** एक गतिशील इलेक्ट्रॉन की गतिज ऊर्जा का मान  $4.55 \times 10^{-25} \text{ J}$  है। इलेक्ट्रॉन की तरंगदैर्घ्य की गणना कीजिए।  
(इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान  $= 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$  तथा प्लांक स्थिरांक  $= 6.6 \times 10^{-34} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-1}$ )।

**हल-** एक कण की गतिज ऊर्जा को निम्न प्रकार व्यक्त किया जा सकता है—

$$\text{K.E.} = \frac{1}{2}mv^2$$

प्रस्तुत प्रश्नानुसार,

$$\text{K.E.} = 4.55 \times 10^{-25} \text{ J}, m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

उपरोक्त समी० में मान रखने पर,

$$4.55 \times 10^{-25} = \frac{1}{2} \times 9.1 \times 10^{-31} \times v^2$$

अथवा

$$v = \left( \frac{2 \times 4.55 \times 10^{-25}}{9.1 \times 10^{-31}} \right)^{1/2} = 1.0 \times 10^3 \text{ m s}^{-1}$$

दी-ब्रोगली समी० के अनुसार,

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.6 \times 10^{-34}}{9.1 \times 10^{-31} \times 1.0 \times 10^3} = 7.25 \times 10^{-7} \text{ m}$$

अतएव, इलेक्ट्रॉन की तरंगदैर्घ्य  $= 7.25 \times 10^{-7} \text{ m}$ .

**उदाहरण 2.28.** 300 km प्रति घण्टे के वेग से गतिशील 100 kg भार के एक रॉकेट की तरंगदैर्घ्य की गणना कीजिए।  
( $h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ J s}$ )

**हल-** प्रस्तुत प्रश्नानुसार,

दी-ब्रोगली की समी० के अनुसार, रॉकेट की तरंगदैर्घ्य

$$m = 100 \text{ kg}, v = 300 \text{ km hour}^{-1} = 83.3 \text{ ms}^{-1}, h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ J s.}$$

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.625 \times 10^{-34}}{100 \times 83.3} = 7.95 \times 10^{-38} \text{ m.}$$

**उदाहरण 2.29.** एक इलेक्ट्रॉन को 5 kV के विभवान्तर द्वारा त्वरित किया गया है। इलेक्ट्रॉन से सम्बद्ध दी-ब्रोगली तरंगदैर्घ्य की गणना कीजिए। (इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान  $= 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ )

**हल-** इलेक्ट्रॉन को 5 kV (5000 V) के विभवान्तर द्वारा त्वरित करने पर उसकी गतिज ऊर्जा  $= 5000 \text{ eV}$   
 $= 5000 \times 1.6021 \times 10^{-19} \text{ J} = 8.01 \times 10^{-16} \text{ J}$  ( $\because 1 \text{ eV} = 1.6021 \times 10^{-19} \text{ J}$ )

$$\therefore \text{गतिज ऊर्जा} = \frac{1}{2}mv^2$$

अतएव

$$\frac{1}{2}mv^2 = 8.01 \times 10^{-16}$$

अथवा

$$\frac{1}{2} \times 9.1 \times 10^{-31} \times v^2 = 8.01 \times 10^{-16}$$

अथवा

$$v = \left( \frac{2 \times 8.01 \times 10^{-16}}{9.1 \times 10^{-31}} \right)^{1/2} = 4.196 \times 10^7 \text{ ms}^{-1}$$

दी-ब्रोगली समी० के अनुसार,

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.626 \times 10^{-34}}{9.1 \times 10^{-31} \times 4.196 \times 10^7} = 1.74 \times 10^{-11} \text{ m}$$

अतएव, इलेक्ट्रॉन की तरंगदैर्घ्य  $= 1.74 \times 10^{-11} \text{ m}$ .



### [E] हाइजेनबर्ग का अनिश्चितता का सिद्धान्त (Heisenberg's Uncertainty Principle)

पदार्थ तथा प्रकाश की द्विक प्रकृति के कारण अत्यन्त सूक्ष्म कणों (microscopic particles) की स्थिति तथा वेग को एक साथ शुद्ध रूप में निर्धारित करना सम्भव नहीं है। इस सन्दर्भ में एक जर्मन वैज्ञानिक हाइजेनबर्ग (Heisenberg) ने 1927 में एक सिद्धान्त प्रस्तुत किया जिसे हाइजेनबर्ग का अनिश्चितता सिद्धान्त (Heisenberg's uncertainty principle) कहा जाता है। इस सिद्धान्त को निम्न प्रकार से व्यक्त किया जा सकता है—

किसी अत्यन्त सूक्ष्म गतिशील कण की स्थिति तथा वेग (अथवा संवेग) को एक साथ पूर्णरूपेण त्रुटिरहित रूप में निर्धारित करना असम्भव है।

[It is impossible to determine simultaneously the position and velocity (or momentum) of a moving microscopic particle with absolute accuracy.]

यदि किसी अत्यन्त सूक्ष्म कण की स्थिति के निर्धारण में निहित अनिश्चितता का मान  $\Delta x$  तथा वेग के निर्धारण में निहित अनिश्चितता का मान  $\Delta v$  हो तो हाइजेनबर्ग के अनुसार,

$$\Delta x \times \Delta v \geq \frac{h}{4\pi m} \quad (33)$$

जहाँ  $h$  प्लैंक स्थिरांक तथा  $m$  कण का द्रव्यमान है।

समी० 33 का आशय है कि किसी गतिशील कण की स्थिति तथा वेग के निर्धारण में निहित अनिश्चितताओं के गुणनफल का मान सदैव  $\frac{h}{4\pi m}$  के बराबर अथवा उससे अधिक होगा। यह मान कभी भी  $\frac{h}{4\pi m}$  से कम नहीं होगा। इसका अर्थ यह हुआ कि किसी

गतिशील कण की स्थिति तथा वेग के एक साथ निर्धारण में सदैव  $\frac{h}{4\pi m}$  के बराबर न्यूनतम अनिश्चितता निहित रहेगी अर्थात् यदि

किसी कण की स्थिति अधिक सीमा तक निश्चित करें तो उसके वेग में उतनी ही अनिश्चितता होगी, वहीं यदि कण का वेग बिल्कुल ठीक-ठाक निर्धारित करते हैं, तो उसकी स्थिति में उतनी ही अधिक अनिश्चितता होगी।

यह अनिश्चितता प्रायोगिक त्रुटियों (experimental errors) के कारण न होकर वरन स्थिति और वेग (या संवेग) को एक साथ ज्ञात करने में निहित अनिर्धार्यता (inherent indeterminacy) के कारण होती है।

किसी मूल कण की स्थिति के निर्धारण के लिए विकिरण का प्रयोग करते हैं तथा उसकी स्थिति निर्धारण के प्रयोग में  $\pm \lambda$  की निहित अनिर्धार्यता पायी जाती है। अतः यदि उसकी स्थिति का यथार्थ निर्धारण करना हो, तो प्रयोग किये गये विकिरण के  $\lambda$  का मान कम से कम रखना होगा। ऐसी स्थिति में विकिरण के फोटॉन की ऊर्जा अधिक होगी तथा वह कण के संवेग में पर्याप्त परिवर्तन कर देगी। वहीं दीर्घ तरंगदैर्घ्य का विकिरण प्रयोग करने पर कण की स्थिति का निर्धारण ठीक से सम्भव नहीं हो सकेगा, अतः एक ही प्रयोग से एक साथ स्थिति और संवेग का साथ-साथ, यथार्थ निर्धारण सम्भव नहीं है।

**टिप्पणी :** 1. हाइजेनबर्ग का अनिश्चितता का सिद्धान्त केवल सूक्ष्म कणों इलेक्ट्रॉन, प्रोटॉन न्यूट्रॉन आदि के लिये है। बड़े कणों के लिए  $m$  का मान अधिक होता है और इसलिये,  $\Delta u$  और  $\Delta x$  का गुणनफल कम होगा अर्थात् वेग और स्थिति की अनिश्चितता का मान कम होगा। इसलिए बड़े कणों का वेग और स्थिति एक साथ बिल्कुल ठीक-ठीक निकाल सकते हैं।

2. हाइजेनबर्ग का सिद्धान्त केवल स्थिति व संवेग के युग्म के लिए ही सत्य नहीं है वरन्  $\Delta E \cdot \Delta t$  (ऊर्जा-समय),  $\Delta \omega \cdot \Delta \theta$  (कोणीय संवेग-कोण) इत्यादि संयुग्मी राशियों (conjugate pairs) के लिए भी गुणनफल  $\geq h/4\pi$  होता है।

समी० 33 से यह भी स्पष्ट है कि  $\Delta x$  तथा  $\Delta v$  के गुणनफल का मान कण के द्रव्यमान के व्युत्क्रमानुपाती होता है। अतएव कण का द्रव्यमान जितना कम होगा, उसकी स्थिति तथा वेग के एक साथ निर्धारण में निहित अनिश्चितता का मान भी उतना ही अधिक होगा।

समी० 33 को निम्नलिखित प्रकार से भी व्यक्त किया जा सकता है—

$$\Delta x \times \Delta p \geq \frac{h}{4\pi} \quad (34)$$

जहाँ  $\Delta p$  कण के संवेग के निर्धारण में निहित अनिश्चितता है।

### अनिश्चितता सिद्धान्त का महत्त्व (Significance of the Uncertainty Principle)

सामान्य जीवन में तथा अत्यन्त सूक्ष्म कणों के लिए अनिश्चितता सिद्धान्त के महत्त्व की विवेचना अग्रांकित प्रकार से की जा सकती है—



## 1. सामान्य जीवन में महत्त्व (Significance in Our Daily Life)

सामान्य जीवन में प्रयोग में आने वाली लगभग सभी वस्तुओं के द्रव्यमान विचारणीय (considerable) होते हैं। उनके द्रव्यमान अधिक होने के कारण उनकी स्थिति तथा वेग के एक साथ निर्धारण में निहित अनिश्चितता का मान काफी कम होना चाहिए। उदाहरणस्वरूप 0.1 kg द्रव्यमानयुक्त किसी गेंद के लिए स्थिति तथा वेग में निहित अनिश्चितताओं का गुणनफल निम्नलिखित होगा—

$$\begin{aligned}\Delta x \times \Delta v &\geq \frac{h}{4\pi m} \\ &\geq \frac{6.626 \times 10^{-34}}{4 \times 3.14 \times 0.1} \\ &\geq 5.23 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}\end{aligned}$$

यह मान अत्यन्त सूक्ष्म और किसी अत्यधिक संवेदनशील यन्त्र द्वारा भी इसे मापना सम्भव नहीं है। अतएव बड़े कणों के लिए अनिश्चितता सिद्धान्त अर्थहीन है क्योंकि उनकी स्थिति तथा वेग को एक साथ काफी शुद्ध रूप से मापा जा सकता है।

इस प्रकार हमारे सामान्य जीवन में अनिश्चितता सिद्धान्त का कोई महत्त्व नहीं है। सामान्य जीवन में परिलक्षित वेगशील वस्तुओं की स्थिति तथा वेग को एक साथ शुद्ध रूप में ज्ञात करने में कोई कठिनाई नहीं होती है क्योंकि इस मापन में निहित अनिश्चितता इतनी सूक्ष्म है कि इसे आभासित करना सम्भव नहीं है और इसे भली-भाँति नगण्य माना जा सकता है।

## 2. अत्यन्त सूक्ष्म कणों के लिए महत्त्व (Significance for Microscopic Particles)

अत्यन्त सूक्ष्म कणों; जैसे-इलेक्ट्रॉन के द्रव्यमान लगभग नगण्य होते हैं। अतएव इनकी स्थिति तथा वेग के एक साथ निर्धारण में निहित अनिश्चितता का मान काफी अधिक होना चाहिए और इनके लिए अनिश्चितता सिद्धान्त काफी महत्त्वपूर्ण होना चाहिए। उदाहरणार्थ, एक इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान  $9.108 \times 10^{-31}$  kg होता है। एक इलेक्ट्रॉन के लिए,

$$\begin{aligned}\Delta x \times \Delta v &\geq \frac{6.626 \times 10^{-34}}{4 \times 3.14 \times 9.108 \times 10^{-31}} \\ &\geq 5.79 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}\end{aligned}$$

यह राशि इलेक्ट्रॉन की अन्य लाक्षणिक राशियों की तुलना में काफी अधिक है और इसे नगण्य नहीं माना जा सकता। अतएव यह निष्कर्ष निकाला जा सकता है कि इलेक्ट्रॉन जैसे अत्यन्त सूक्ष्म कण की स्थिति तथा वेग (अथवा संवेग) का एक साथ शुद्ध रूप में निर्धारण सम्भव नहीं है।

इलेक्ट्रॉन के लिए हाइजेनबर्ग के अनिश्चितता सिद्धान्त का उपरोक्त निष्कर्ष बोर सिद्धान्त (Bohr's theory) की मूल परिकल्पनाओं के विपरीत है। बोर सिद्धान्त के अनुसार एक इलेक्ट्रॉन नाभिक के चारों ओर एक सुनिश्चित कक्षा में गति करता है, अर्थात् उसकी स्थिति ज्ञात होती है और निश्चित संवेग होता है  $(mvr = \frac{nh}{2\pi})$ । यह अनिश्चितता सिद्धान्त के अनुरूप नहीं है। अतएव आजकल बोर की सुनिश्चित कक्षाओं की धारणा को प्रायिकता धारणा (probability concept) से प्रतिस्थापित कर दिया गया है और बोर कक्षाओं के स्थान पर ऑर्बिटल धारणा (concept of orbitals) को अपनाया गया है।

इलेक्ट्रॉन नाभिक में स्थित नहीं हो सकता (Electron cannot Exist in the Nucleus)—हाइजेनबर्ग के अनिश्चितता सिद्धान्त के आधार पर यह दर्शाया जा सकता है कि एक इलेक्ट्रॉन किसी परमाणु के नाभिक में स्थित नहीं हो सकता है। किसी परमाणु के नाभिक का व्यास  $10^{-15}$  m की कोटि का होता है। यदि इलेक्ट्रॉन नाभिक में स्थित है तो उसकी स्थिति निर्धारण में निहित अनिश्चितता का मान अधिकतम  $10^{-15}$  m होना चाहिए। इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान  $9.108 \times 10^{-31}$  kg है। अतएव अनिश्चितता सिद्धान्त के अनुसार,

$$\begin{aligned}\Delta x \Delta v &\geq \frac{h}{4\pi m} \geq \frac{K}{2\pi m} \geq \frac{h}{2m} \\ \Delta v &\geq \frac{h}{4\pi m} \times \frac{1}{\Delta x}\end{aligned}$$

या

$$\left( \text{जहाँ } K = \frac{h}{2} \text{ एवं } h = \frac{h}{2\pi} \right)$$



$$\geq \frac{6.626 \times 10^{-34}}{4 \times 3.14 \times 9.108 \times 10^{-31}} \times \frac{1}{10^{-15}}$$

$$\geq 5.79 \times 10^{10} \text{ m s}^{-1}$$

$\Delta v$  का उपरोक्त मान प्रकाश के वेग ( $3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ ) से अधिक है जो सम्भव नहीं है। अतएव यह निष्कर्ष निकाला जा सकता है कि एक इलेक्ट्रॉन किसी परमाणु के नाभिक में स्थित नहीं हो सकता है।

**उदाहरण 2.30.** 0.15 kg द्रव्यमान की एक क्रिकेट गेंद के वेग में निहित अनिश्चितता का मान ज्ञात कीजिए, यदि इसकी स्थिति में निहित अनिश्चितता का मान  $1 \text{ \AA}$  ( $10^{-10} \text{ m}$ ) हो।

**हल-** प्रस्तुत प्रश्न के अनुसार,

$$m = 0.15 \text{ kg}, \Delta x = 10^{-10} \text{ m}, h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}$$

अनिश्चितता सिद्धान्त के अनुसार,

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

या

$$\Delta v \geq \frac{h}{4\pi m} \times \frac{1}{\Delta x}$$

या

$$\Delta v \geq \frac{6.626 \times 10^{-34}}{4 \times 3.14 \times 0.15} \times \frac{1}{10^{-10}} \geq 3.52 \times 10^{-24} \text{ m s}^{-1}$$

अतएव गेंद के वेग निर्धारण में अनिश्चितता  $= 3.52 \times 10^{-24} \text{ m s}^{-1}$ .

उत्तर

**उदाहरण 2.31.** एक धूल कण का द्रव्यमान  $10^{-11} \text{ g}$  तथा वेग  $10^{-4} \text{ cm s}^{-1}$  है। यदि इसके वेग निर्धारण में निहित अनिश्चितता 0.1% हो तो उसकी स्थिति निर्धारण में निहित अनिश्चितता का मान ज्ञात कीजिए।

**हल-** कण के वेग में निहित अनिश्चितता का मान 0.1% है। अतएव,

$$\Delta v = \frac{10 \times 0.1}{100} = 1.0 \times 10^{-7} \text{ cm s}^{-1}$$

अनिश्चितता सिद्धान्त के अनुसार,

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

या

$$\Delta x \geq \frac{h}{4\pi m} \times \frac{1}{\Delta v}$$

प्रस्तुत प्रश्नानुसार,

$$m = 10^{-11} \text{ g}, \Delta v = 1.0 \times 10^{-7} \text{ cm s}^{-1}, h = 6.626 \times 10^{-27} \text{ erg s}$$

$$\Delta x \geq \frac{6.626 \times 10^{-27}}{4 \times 3.14 \times 10^{-11}} \times \frac{1}{1.0 \times 10^{-7}} = 5.28 \times 10^{-10} \text{ cm}$$

अतएव धूल कण की स्थिति निर्धारण में निहित अनिश्चितता  $= 5.28 \times 10^{-10} \text{ cm}$ .

उत्तर

**उदाहरण 2.32.** एक कण की स्थिति तथा वेग के निर्धारण में निहित अनिश्चितताओं के मान क्रमशः  $10^{-10} \text{ m}$  तथा  $5.27 \times 10^{-24} \text{ m s}^{-1}$  हैं। कण के द्रव्यमान की गणना कीजिए।

**हल-** अनिश्चितता सिद्धान्त के अनुसार,

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

या

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



प्रस्तुत प्रश्नानुसार,

$$\Delta x = 10^{-10} \text{ m}, \Delta v = 5.27 \times 10^{-24} \text{ m s}^{-1} \text{ तथा } h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ J s}$$

$$10^{-10} \times m \times 5.27 \times 10^{-24} = \frac{6.625 \times 10^{-34}}{4 \times 3.14}$$

$$m = \frac{6.625 \times 10^{-34}}{4 \times 3.14} \times \frac{1}{10^{-10} \times 5.27 \times 10^{-24}} = 0.1 \text{ kg}$$

या

अतएव कण का द्रव्यमान = 0.1 kg.

## 2.9 क्वांटम यांत्रिकी मॉडल (उपकोशों अथवा कक्षकों की अवधारणा)

### (Quantum Mechanical Model of Atom)

उपरोक्त वर्णन से स्पष्ट है कि गतिशील बड़े कणों की स्थिति तथा वेग को एक साथ काफी शुद्ध रूप से ज्ञात किया जा सकता है क्योंकि इस निर्धारण में निहित अनिश्चितता का मान नगण्य होता है। अतएव इन कणों की गतिशीलता को सर आइजक न्यूटन द्वारा प्रतिपादित चिरसम्मत यांत्रिकी (Classical Mechanics) के नियमों द्वारा वर्णित किया जा सकता है। लेकिन इस यांत्रिकी के आधार पर इलेक्ट्रॉन जैसे सूक्ष्म कणों की गतिशीलता की व्याख्या करना सम्भव नहीं है क्योंकि इनकी प्रकृति द्विक होती है तथा इनकी स्थिति तथा वेग का एक साथ शुद्ध रूप से निर्धारण सम्भव नहीं है।

इलेक्ट्रॉन की द्विक प्रकृति तथा चिरसम्मत यांत्रिकी द्वारा इसके व्यवहार की व्याख्या करने में असफलता के सन्दर्भ में जर्मन वैज्ञानिकों बोरन, हाइजेनबर्ग, जोर्डन एवं ऑस्ट्रियाई वैज्ञानिक श्रोडिंजर ने 1926 में परमाणु में इलेक्ट्रॉन के व्यवहार की व्याख्या करने के लिए एक नई यांत्रिकी का प्रतिपादन किया, जिसे क्वांटम यांत्रिकी (Quantum Mechanics) अथवा तरंग यांत्रिकी (Wave Mechanics) कहा जाता है। यह यांत्रिकी एक परमाणु में किसी इलेक्ट्रॉन के व्यवहार की व्याख्या कुछ प्रायिकता फलनों (probability functions) के रूप में करती है, जिन्हें उपकोश या कक्षक अथवा ऑर्बिटल (orbitals) कहा जाता है। इस यांत्रिकी ने परमाणु के नये मॉडल को जन्म दिया, जिसे क्वांटम यांत्रिकी मॉडल कहा जाता है। इसकी संक्षिप्त व्याख्या निम्न की गयी है।

### [A] श्रोडिंजर तरंग समीकरण (Schrodinger Wave Equation)

क्वांटम यांत्रिकी का मूल आधार एक अत्यन्त महत्त्वपूर्ण समीकरण है, जिसे श्रोडिंजर तरंग समीकरण कहा जाता है। यह एक तरंग समीकरण है तथा परमाणुओं एवं अणुओं में इलेक्ट्रॉन तरंगों के व्यवहार की व्याख्या करती है। इस समीकरण को निम्न प्रकार से व्यक्त किया जा सकता है—

$$\nabla^2 \psi + \frac{8\pi^2 m}{h^2} (E - V) \psi = 0 \quad \dots (35)$$

जहाँ,  $E$  = निकाय की कुल ऊर्जा $V$  = निकाय की स्थितिज ऊर्जा (potential energy) $m$  = इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान $h$  = प्लांक स्थिरांकइस समीकरण में प्रयुक्त  $\nabla^2$  एक गणितीय ऑपरेटर (operator) है, जिसका मान निम्नलिखित है—

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

 $\psi$  एक गणितीय फलन है, जिसे तरंग फलन (wave function) कहा जाता है।

श्रोडिंजर तरंग समीकरण एक द्वितीय कोटि की अवकलनीय समीकरण (second order differential equation) है तथा इसके अनेक हल (solutions) सम्भव हैं। इनमें कुछ काल्पनिक होते हैं और ग्राह्य नहीं हैं। किसी परमाणु के क्वांटम यांत्रिकीय स्वरूप को ज्ञात करने के लिए, उस परमाणु के लिए श्रोडिंजर तरंग समीकरण को हल किया जाता है। इस प्रकार प्राप्त श्रोडिंजर तरंग समीकरण का ग्राह्य हल (acceptable solution) ही वास्तव में तरंग फलन है तथा इसे  $\psi$  से निरूपित किया जाता है। इस तरंग फलन में परमाणु के सम्बन्ध में समस्त सूचनाएँ निहित होती हैं एवं परमाणु के प्रेक्षणीय व्यवहार (observable behaviour) की गणना इसके आधार पर की जा सकती है।



किसी परमाणु के लिए श्रोडिंजर समीकरण के ग्राह्य तरंग फलन उस परमाणु में नाभिक के चारों ओर स्थित उन अंचलों (regions) को व्यक्त करते हैं जिनमें इलेक्ट्रॉनों के पाये जाने की सम्भावना सर्वाधिक होती है। नाभिक के चारों ओर स्थित इन अंचलों (regions) को ही ऑर्बिटल (orbitals) कहा जाता है। इन ऑर्बिटलों की आकृति को श्रोडिंजर तरंग समीकरण द्वारा प्राप्त किया जा सकता है। यह समीकरण कुछ विशिष्ट संख्याएँ भी प्रदान करती है, जिन्हें क्वांटम संख्याएँ (quantum numbers) कहा जाता है। ये संख्याएँ एक परमाणु में किसी इलेक्ट्रॉन विशेष के सम्बन्ध में अनेक सूचनाएँ प्रदान करती हैं।

### तरंग फलन ( $\psi$ ) का महत्त्व (Significance of Wave Function)

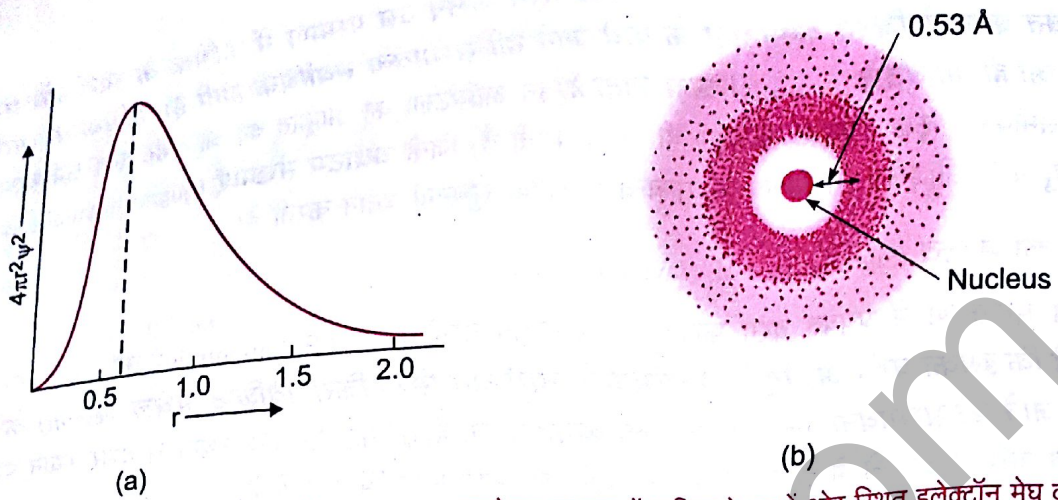
श्रोडिंजर तरंग समीकरण में प्रयुक्त तरंग फलन ( $\psi$ ) इलेक्ट्रॉन तरंग के आयाम (amplitude) को व्यक्त करता है।  $\psi$  एक इस प्रकार का फलन है कि इसका वर्ग (अर्थात्  $\psi^2$ ) नाभिक के चारों ओर स्थित किसी विशिष्ट अंचल (region) के विभिन्न स्थानों पर इलेक्ट्रॉन के पाये जाने की सम्भावना (probability) को व्यक्त करता है।  $\psi^2$  का मान एक स्थान से दूसरे स्थान पर जाने पर परिवर्तित हो जाता है। अतएव विभिन्न अंचलों में इलेक्ट्रॉन के पाये जाने की सम्भावनाएँ भिन्न होती हैं।

- टिप्पणी :**
1.  $\psi$  एक गणितीय फलन है जिसका मान एक स्थान पर उच्च तथा उसी क्षेत्र के दूसरे स्थान पर निम्न हो सकता है।
  2.  $\psi$  किसी कण की स्थिति तथा गति के विषय में पूर्ण सूचनाएँ देता है।
  3. यदि किसी कण की गतिज ऊर्जा उच्च होती है तो उस कण के लिए  $\psi$  का मान तेजी के साथ बदलता है।
  4.  $\psi$  का मान किसी कण के साथ सम्बद्ध गोलीय द्रव्य तरंगों (spherical matters waves) के आयाम को व्यक्त करता है।
  5.  $\psi$  का मान केवल गतिमान कण के लिए बदलता है जबकि स्थिर कण के लिए  $\psi$  का मान निश्चित होता है।
  6. मैक्स बोर्न के अनुसार गतिशील कणों के कारण बनी द्रव्य तरंग में किसी स्थान पर कणों का औसत घनत्व  $\psi^2$  के समानुपाती होता है।

$\psi^2$  = जिस स्थान पर तरंग फलन  $\psi$  है उस स्थान पर इकाई आयतन में कण के पाये जाने की प्रायिकता है तथा इसे प्रायिकता घनत्व (probability density) भी कहते हैं।  $\psi^2$  का मान कभी भी ऋणात्मक नहीं होता है।

7. यदि किसी स्थान पर  $\psi^2$  का मान शून्य है तब उस स्थान पर कण के पाये जाने की प्रायिकता (probability) शून्य होती है। इसके विपरीत  $\psi^2$  का मान बढ़ने के साथ उस स्थान पर कण के पाये जाने की प्रायिकता भी बढ़ती है।





चित्र 2.18 (a) हाइड्रोजन परमाणु के लिए प्रायिकता वितरण वक्र (b) हाइड्रोजन परमाणु में नाभिक के चारों ओर स्थित इलेक्ट्रॉन मेघ की अनुप्रस्थ काट।

चित्र 2.18 से निम्नलिखित निष्कर्ष निकाले जा सकते हैं—

- नाभिक पर इलेक्ट्रॉन के पाये जाने की सम्भावना शून्य है।
- नाभिक से दूर जाने पर इलेक्ट्रॉन के पाये जाने की सम्भावना में वृद्धि होती है। नाभिक से 0.53 Å दूरी पर इलेक्ट्रॉन के पाये जाने की सम्भावना अधिकतम है। यह दूरी प्रथम बोर त्रिज्या के बराबर होती है।
- और अधिक आगे बढ़ने पर इलेक्ट्रॉन के पाये जाने की सम्भावना निरन्तर कम होती जाती है और 2 Å दूरी के पश्चात् लगभग नगण्य हो जाती है।

उपरोक्त से स्पष्ट है कि बोर की परिकल्पना के अनुरूप इलेक्ट्रॉन को एक सुनिश्चित कक्ष में स्थित नहीं माना जा सकता। उपरोक्त से यह भी स्पष्ट है कि परमाणु में इलेक्ट्रॉन की सही स्थिति के सम्बन्ध में सुनिश्चित रूप से कुछ भी कहना सम्भव नहीं है। इस प्रकार बोर के सुनिश्चित कक्षों की धारणा का कोई औचित्य नहीं है। यही कारण है कि सुनिश्चित कक्षों के स्थान पर आजकल प्रायिकता वितरण को अधिक महत्त्व दिया जाता है जिससे ऑर्बिटल की धारणा का जन्म होता है। एक ऑर्बिटल को निम्न प्रकार से परिभाषित किया जा सकता है—

नाभिक के चारों ओर स्थित यह त्रिविमीय क्षेत्र जिसमें इलेक्ट्रॉन के पाये जाने की सम्भावना सबसे अधिक होती है, ऑर्बिटल कहलाता है।

(The three dimensional region in the space around the nucleus in which the probability of finding an electron is maximum, is called an orbital.)

एक ऑर्बिटल वास्तव में किसी परमाणु में एक इलेक्ट्रॉन की एक सुनिश्चित क्वांटम अवस्था को व्यक्त करता है और एक निश्चित ऊर्जा से सम्बद्ध होता है। प्रत्येक क्वांटम अवस्था को श्रोडिंजर तरंग समीकरण के हल से प्राप्त तरंग फलन द्वारा व्यक्त किया जाता है। इस कारण एक परमाणु में स्थित किसी इलेक्ट्रॉन के तरंग फलन को ऑर्बिटल तरंग फलन या केवल ऑर्बिटल की संज्ञा दी जा सकती है।

### ऑर्बिटल के लक्षण (Characteristics of Orbitals)

- एक ऑर्बिटल में अधिकतम दो इलेक्ट्रॉन ही समावेशित हो सकते हैं।
- चुम्बकीय क्षेत्र की अनुपस्थिति में एक उपकक्ष (subshell) की सभी ऑर्बिटलों की ऊर्जाओं के मान समान होते हैं। इन्हें अपभ्रष्ट ऑर्बिटल (degenerate orbitals) कहा जाता है।
- किसी उपकक्ष की विभिन्न ऑर्बिटल त्रिविम विन्यास ग्रहण करती हैं। जैसे-  $p$ -उपकक्ष में स्थित तीन ऑर्बिटल  $x$ -अक्ष,  $y$ -अक्ष तथा  $z$ -अक्ष के समानान्तर स्थित होती हैं, उन्हें क्रमशः  $p_x$ ,  $p_y$  तथा  $p_z$  से निरूपित किया जाता है।
- चुम्बकीय क्षेत्र के प्रभाव में एक उपकक्ष की ऑर्बिटलों की ऊर्जाओं में अन्तर उत्पन्न हो जाता है और इस प्रकार उनमें विभेद किया जा सकता है। इस प्रकार की ऑर्बिटलों को अनअपभ्रष्ट ऑर्बिटल (non-degenerate orbitals) कहा जाता है।
- किसी मुख्य कक्ष में स्थित ऑर्बिटलों की संख्या  $n^2$  के बराबर होती है, जहाँ  $n$  मुख्य क्वांटम संख्या है। जैसे—



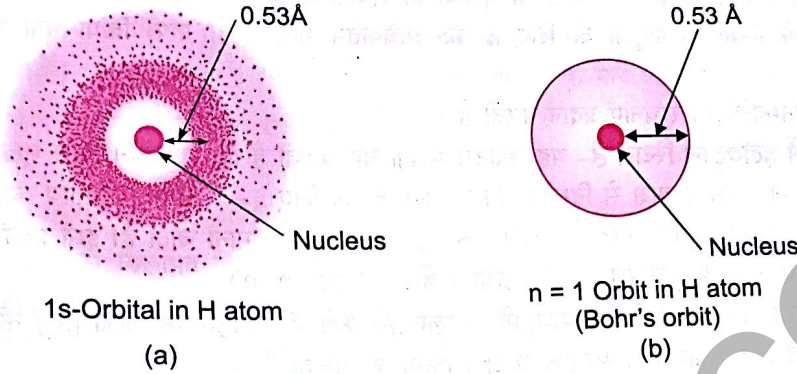
K कक्ष के लिए,  $n = 1$ ; ऑर्बिटलों की संख्या  $= (1)^2 = 1$  ( $1s$ )

L कक्ष के लिए,  $n = 2$ ; ऑर्बिटलों की संख्या  $= (2)^2 = 4$  ( $2s, 2p_x, 2p_y, 2p_z$ )

M कक्ष के लिए,  $n = 3$ ; ऑर्बिटलों की संख्या  $= (3)^2 = 9$  ( $3s, 3p_x, 3p_y, 3p_z, 3d_{xy}, 3d_{yz}, 3d_{zx}, 3d_{x^2-y^2}, 3d_{z^2}$ )

### कक्ष तथा ऑर्बिटल में अन्तर (Difference between Orbit and Orbital)

ऑर्बिटल तथा कक्ष एक-दूसरे से कई सन्दर्भों में भिन्न होते हैं।  $1s$  ऑर्बिटल तथा H-परमाणु में बोर की  $n = 1$  कक्ष को चित्र 2.19 में दर्शाया गया है।



चित्र 2.19 (a) H-परमाणु में उपस्थित  $1s$ -ऑर्बिटल, (b) H-परमाणु में बोर की  $n = 1$  कक्ष।

कक्ष तथा ऑर्बिटल के मुख्य अन्तरों को सारणी 2.7 में उल्लेखित किया गया है।

### सारणी 2.7 कक्ष तथा ऑर्बिटल में अन्तर

क्र० सं०	बोर कक्ष	ऑर्बिटल
1.	यह एक सुनिश्चित गोलाकार पथ है जिसमें बोर मॉडल में इलेक्ट्रॉनों की गतिशील माना गया है।	यह नाभिक के चारों ओर स्थित वह त्रिविमीय क्षेत्र है, जिसमें इलेक्ट्रॉन के पाये जाने की सम्भावना सबसे अधिक होती है।
2.	एक कक्ष में अधिकतम $2n^2$ इलेक्ट्रॉनों को समावेशित किया जा सकता है, जहाँ $n$ कक्ष की संख्या निरूपित करता है।	एक ऑर्बिटल में अधिकतम 2 इलेक्ट्रॉन ही समावेशित किये जा सकते हैं।
3.	एक कक्ष में इलेक्ट्रॉन की गति हाइजेनबर्ग के अनिश्चितता सिद्धान्त के अनुरूप नहीं होती है।	ऑर्बिटल की धारणा हाइजेनबर्ग के सिद्धान्त के अनुरूप है।
4.	कक्ष अदिशात्मक (non-directional) होते हैं।	$s$ -ऑर्बिटल के अतिरिक्त शेष सभी ऑर्बिटल दिशात्मक (directional) होते हैं।
5.	कक्ष गोलाकार आकृति के होते हैं।	विभिन्न ऑर्बिटलों में आवेश मेघ का वितरण भिन्न होता है। इस कारण उनकी आकृतियाँ भी भिन्न होती हैं।

### [C] क्वांटम संख्याएँ (Quantum Numbers)

श्रोडिंजर तरंग समीकरण को हल करने पर तीन महत्वपूर्ण संख्याएँ प्राप्त होती हैं, जो परमाणु में उपस्थित विभिन्न ऑर्बिटलों की ऊर्जा, आकार, आकृति तथा विन्यास को निर्देशित करती हैं। इन संख्याओं को **क्वांटम संख्याएँ** (quantum numbers) कहा जाता है। ये क्वांटम संख्याएँ मुख्य क्वांटम संख्या ( $n$ ), दिगंशी क्वांटम संख्या ( $l$ ) तथा चुम्बकीय क्वांटम संख्या ( $m$ ) हैं और इनकी सहायता से एक परमाणु ऑर्बिटल को पूर्णरूपेण वर्णित किया जा सकता है। परमाणु में किसी इलेक्ट्रॉन को पूर्णरूपेण वर्णित करने के लिए एक चौथी क्वांटम संख्या की और आवश्यकता होती है, जिसे **चक्रण क्वांटम संख्या** ( $s$ ) कहा जाता है। क्वांटम संख्याओं को निम्न प्रकार से परिभाषित किया जा सकता है—

वे संख्याएँ, जो एक परमाणु में उपस्थित विभिन्न परमाणु ऑर्बिटलों तथा इलेक्ट्रॉनों को वर्णित करती हैं तथा उनमें विभेद स्थापित करती हैं, क्वांटम संख्याएँ कहलाती हैं।

(The numbers, which designate and distinguish various atomic orbitals and electrons present in an atom, are called quantum numbers.)



क्वांटम संख्याओं का संक्षिप्त विवरण निम्न है—

### 1. मुख्य क्वांटम संख्या (Principal Quantum Number), $n$

मुख्य क्वांटम संख्या को  $n$  से निरूपित किया जाता है। इसके मान 1 तथा अनन्त के मध्य कोई भी पूर्णांक संख्या हो सकते हैं। अर्थात्

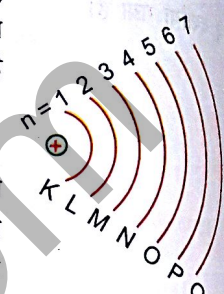
$$1 \leq n \leq \infty$$

इस प्रकार  $n$  के अनुशंसनीय मान (permissible values) 1, 2, 3, 4, ..... आदि हो सकते हैं। यद्यपि, सिद्धान्त-रूपेण  $n$  का मान 1 तथा  $\infty$  के मध्य कोई भी पूर्णांक हो सकता है लेकिन ज्ञात तत्त्वों के धरातल अवस्था (ground state) में स्थित परमाणुओं के लिए  $n$  का अधिकतम मान 7 ही प्राप्त किया गया है (चित्र 2.20)।

मुख्य क्वांटम संख्या निम्नलिखित सूचनाएँ प्रदान करती है—

(i) मुख्य कक्ष जिसमें इलेक्ट्रॉन स्थित है—यह क्वांटम संख्या यह बताती है कि इलेक्ट्रॉन किस मुख्य कक्ष में उपस्थित है। प्रथम कक्ष, जिसे K कक्ष से निरूपित किया जाता है, के लिए  $n=1$  होता है। द्वितीय कक्ष (L कक्ष) के लिए  $n$  का मान 2 तथा तृतीय कक्ष (M कक्ष) के लिए  $n$  का मान 3 माना जाता है। इसी प्रकार N, O, P तथा Q कक्षों के लिए  $n$  के मान क्रमशः 4, 5, 6 तथा 7 होते हैं (चित्र 2.20)।

(ii) मुख्य कक्ष की ऊर्जा—H तथा H-जैसे परमाणुओं के लिए  $n$ वें कक्ष में इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा ( $E_n$ ) को चित्र 2.20 मुख्य कक्ष तथा उनके लिए  $n$  के मान।



$$E_n = -\frac{1}{(4\pi\epsilon_0)^2} \times \frac{2\pi^2 m e^4 Z^2}{n^2 h^2} \quad (38)$$

जहाँ  $E_n = n$ वें ऊर्जा कक्ष में इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा

$\epsilon_0$  = मुक्त त्रिविम (free space) अथवा वायु की विद्युतशीलता (permittivity)

$m$  = इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान

$e$  = इलेक्ट्रॉन का आवेश

$h$  = प्लैंक स्थिरांक

$Z$  = नाभिकीय आवेश

राशि  $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$  का मान  $9 \times 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$  प्राप्त किया गया है। सभी स्थिरांकों का मान समी० 35 में रखने पर, H तथा H-जैसे परमाणुओं के लिए,

$$E_n = -\frac{2.178 \times 10^{-18} Z^2}{n^2} \text{ J प्रति परमाणु} = -\frac{1.312 \times 10^6 Z^2}{n^2} \text{ J mol}^{-1} \quad \dots(39)$$

H-परमाणु के लिए,  $Z=1$ . अतएव H-परमाणु के  $n$ वें कक्ष में इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा का मान निम्न होगा—

$$E_n = -\frac{2.178 \times 10^{-18}}{n^2} \text{ J प्रति परमाणु} = -\frac{1.312 \times 10^6}{n^2} \text{ J mol}^{-1} \quad \dots(40)$$

सामान्य रूप से H परमाणु के लिए  $E_n$  का मान निम्न प्रकार से व्यक्त किया जाता है—

$$E_n = -\frac{R}{n^2} \quad \dots(41)$$

जहाँ

$$R = \frac{1}{(4\pi\epsilon_0)^2} \cdot \frac{2\pi^2 m e^4}{h^2} = 1.312 \times 10^6 \text{ J mol}^{-1}$$

अतः स्पष्ट है कि ' $n$ ' का मान बढ़ने के साथ कोश में उपस्थित इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा बढ़ती जाती है।

इस प्रकार मुख्य क्वांटम संख्या  $n$  का मान ज्ञात होने पर H तथा H-जैसे परमाणुओं के किसी कक्ष में उपस्थित इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा ज्ञात की जा सकती है।



(iii) मुख्य कक्ष की त्रिज्या—H तथा H-जैसे परमाणुओं के लिए  $n$ वीं मुख्य कक्ष की त्रिज्या  $r_n$  को S.I. प्रणाली में निम्न प्रकार से व्यक्त किया जा सकता है—

$$r_n = \frac{(4\pi\epsilon_0)n^2h^2}{4\pi^2me^2Z} = \frac{0.529n^2}{Z} \text{ \AA} \quad \dots(42)$$

अतः स्पष्ट है कि ' $n$ ' का मान बढ़ने के साथ कोश का आकार बढ़ता जाता है।  
H-परमाणु ( $n = 1$ ) के लिए,

$$r_n = 0.529 n^2 \text{ \AA}$$

इस प्रकार मुख्य क्वांटम संख्या  $n$  का मान ज्ञात होने पर किसी मुख्य कक्ष की त्रिज्या ज्ञात की जा सकती है।

(iv) कोश में कोणीय संवेग : किसी कोश में इलेक्ट्रॉन कोणीय संवेग भी ' $n$ ' के मान पर निर्भर करता है।

$$\text{कोश में इलेक्ट्रॉन का कोणीय संवेग} = \frac{n \cdot h}{2\pi}$$

## 2. दिगंशी क्वांटम संख्या (Azimuthal Quantum Number), $l$

दिगंशी क्वांटम संख्या को  $l$  से निरूपित किया जाता है। इसे सहायक क्वांटम संख्या (subsidiary quantum number) अथवा कोणीय संवेग क्वांटम संख्या (angular momentum quantum number) भी कहा जाता है। इसके मान मुख्य क्वांटम संख्या ( $n$ ) के मानों पर निर्भर करते हैं तथा 0 एवं  $n - 1$  के मध्य कोई भी पूर्णांक संख्या हो सकते हैं। अर्थात्

$$0 \leq l \leq n - 1$$

इस प्रकार  $l$  के अनुशंसनीय मान 0, 1, 2, .... ( $n - 1$ ) होते हैं। यह क्वांटम संख्या निम्नलिखित सूचनाएँ प्रदान करती है—

(i) वह उपकक्ष जिसमें इलेक्ट्रॉन उपस्थित है—किसी परमाणु में उपस्थित मुख्य कक्षों (principal shells) को अनेक उपकक्षों (subshells) में विभाजित माना जाता है। इन उपकक्षों को  $s$ ,  $p$ ,  $d$  तथा  $f$  से निरूपित किया जाता है। इन उपकक्षों के लिए  $l$  के मान निम्नांकित हैं—



$n = 3$  तथा  $l = 0$  है तो प्राप्त उपकक्ष =  $3s$

$n = 3$  तथा  $l = 1$  है तो प्राप्त उपकक्ष =  $3p$

$n = 4$  तथा  $l = 3$  है तो प्राप्त उपकक्ष =  $3d$  आदि।

(iii) उपकक्ष की आकृति—चूँकि दिगंशी क्वांटम संख्या इलेक्ट्रॉन मेघ के त्रिविमीय वितरण को निर्धारित करती है, अतएव यह एक उपकक्ष की विशिष्ट आकृति के लिए भी उत्तरदायी है। विभिन्न उपकक्षों की विशिष्ट आकृतियों का निर्धारण भी यही क्वांटम संख्या करती है।

(iv) इलेक्ट्रॉन का ऑर्बिटल कोणीय संवेग—किसी उपकक्ष में एक इलेक्ट्रॉन के ऑर्बिटल कोणीय संवेग (orbital angular momentum) के मान  $L$  को निम्नलिखित समीकरण द्वारा व्यक्त किया जा सकता है—

$$L = \frac{h}{2\pi} \sqrt{l(l+1)} = \frac{h}{\pi} \sqrt{l(l+1)} = \hbar \sqrt{l(l+1)}$$

... (43)

जहाँ  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$  एवं  $h = \frac{h}{2\pi}$

इस प्रकार  $l$  का मान ज्ञात होने पर इलेक्ट्रॉन के ऑर्बिटल कोणीय संवेग के मान की गणना की जा सकती है।

### 3. चुम्बकीय क्वांटम संख्या (Magnetic Quantum Number), $m$ अथवा $m_l$

चुम्बकीय क्वांटम संख्या को मुख्य रूप से जीमान प्रभाव (Zeeman's effect) की व्याख्या करने के लिए दिया गया है। इसे  $m$  अथवा  $m_l$  से निरूपित किया जाता है। इसके मान  $l$  के मानों पर निर्भर करते हैं। चुम्बकीय क्वांटम संख्या  $m$  के मान  $-l$  तथा  $+l$  के मध्य शून्य सहित कोई भी पूर्णांक संख्या हो सकते हैं। अर्थात्

$$m = -l, -l+1, -l+2, \dots, 0, 1, 2, \dots, +l$$

इस प्रकार  $l$  के प्रत्येक मान के लिए  $m$  के  $2l+1$  मान होंगे। इस क्वांटम संख्या को विन्यास क्वांटम संख्या (orientation quantum number) भी कहा जाता है क्योंकि यह संख्या नाभिक के चारों ओर त्रिविम में स्थित इलेक्ट्रॉन मेघ के वितरण को व्यक्त करती है।

टिप्पणी : 1. ' $n$ ' के किसी मान के लिये ' $m$ ' के कुल मान  $= n^2$

2. ' $l$ ' के किसी मान के लिये ' $m$ ' के कुल मान  $= (2l+1)$

परमाणु में उपस्थित एक उपकक्ष को अनेक ऑर्बिटलों में विभाजित माना जा सकता है। चुम्बकीय क्वांटम संख्या यह बताती है कि इलेक्ट्रॉन किस ऑर्बिटल में उपस्थित है। यह एक उपकक्ष में उपस्थित ऑर्बिटलों की संख्या को भी निर्धारित करती है, जैसा कि निम्नलिखित विवरण से स्पष्ट है—

(a)  $s$ -उपकक्ष के लिए,  $l = 0$ ; अतएव  $m = 0$ । इस प्रकार  $s$ -उपकक्ष में केवल एक ऑर्बिटल ही स्थित होगी। इस ऑर्बिटल को  $s$ -ऑर्बिटल कहा जाता है।

(b)  $p$ -उपकक्ष के लिए,  $l = 1$ ; अतएव  $m = -1, 0$  तथा  $+1$ । इस प्रकार एक  $p$ -उपकक्ष में तीन ऑर्बिटल स्थित होंगी। इन ऑर्बिटलों को  $p_x$ ,  $p_y$  तथा  $p_z$  से निरूपित किया जाता है। इनके त्रिविम में अभिविन्यास भिन्न प्रकार के होते हैं।  $p_x$ -ऑर्बिटल  $X$ -अक्ष के समानान्तर,  $p_y$ -ऑर्बिटल  $Y$ -अक्ष के समानान्तर तथा  $p_z$ -ऑर्बिटल  $Z$ -अक्ष के समानान्तर स्थित होती है। एक चुम्बकीय क्षेत्र की अनुपस्थिति में इन तीनों  $p$ -ऑर्बिटलों की ऊर्जाएँ समान होती हैं और इन्हें त्रिक अपभ्रष्ट (triply degenerate) ऑर्बिटल कहा जाता है। चुम्बकीय क्षेत्र की उपस्थिति में इनकी ऊर्जाएँ भिन्न हो जाती हैं और इनकी अभेदी प्रकृति समाप्त हो जाती है।

(c)  $d$ -उपकक्ष के लिए,  $l = 2$ ; अतएव  $m = +2, +1, 0, -1$  तथा  $-2$ । इस प्रकार  $d$ -उपकक्ष के त्रिविम में पाँच अभिविन्यास सम्भव हैं अर्थात् एक  $d$ -उपकक्ष में पाँच ऑर्बिटल स्थित होती हैं। इन्हें  $d_{xy}$ ,  $d_{xz}$ ,  $d_{yz}$ ,  $d_{x^2-y^2}$  तथा  $d_{z^2}$  से निरूपित किया जाता है। प्रथम तीन  $d$ -ऑर्बिटल अर्थात्  $d_{xy}$ ,  $d_{xz}$  तथा  $d_{yz}$  ऑर्बिटल समतलीय (planar) तथा अन्तिम दो अर्थात्  $d_{x^2-y^2}$  तथा  $d_{z^2}$  अक्षीय (axial) ऑर्बिटल होती हैं। एक चुम्बकीय क्षेत्र की अनुपस्थिति में इनकी ऊर्जाएँ समान होती हैं और इन्हें पंच अपभ्रष्ट (five fold degenerate) ऑर्बिटल कहा जाता है।

(d)  $f$ -उपकक्ष के लिए,  $l = 3$ ; अतएव  $m = +3, +2, +1, 0, -1, -2$  तथा  $-3$ । इस प्रकार एक  $f$ -उपकक्ष के त्रिविम में सात अभिविन्यास सम्भव हैं, अर्थात् एक  $f$ -उपकक्ष में सात ऑर्बिटल स्थित होती हैं।





K, L, M तथा N कक्षों के लिए  $n$ ,  $l$  तथा  $m$  के अनुशंसनीय मानों को सारणी 2.9 में उल्लेखित किया गया है।

**सारणी 2.9**  $n$ ,  $l$  तथा  $m$  के अनुशंसनीय (permissible) मान

मुख्य कक्ष	$n$ का मान	$l$ के अनुशंसनीय मान	$m$ के अनुशंसनीय मान	उपकक्षों की संख्या	ऑर्बिटलों की संख्या
K	1	0	0	1	1
L	2	0	0	2	4
		1	+1, 0, -1	(2s, 2p)	
M	3	0	0	3	9
		1	+1, 0, -1	(3s, 3p, 3d)	
		2	+2, +1, 0, -1, -2		
N	4	0	0	4	16
		1	+1, 0, -1	(4s, 4p, 4d, 4f)	
		2	+2, +1, 0, -1, -2		
		3	+3, +2, +1, 0, -1, -2, -3		

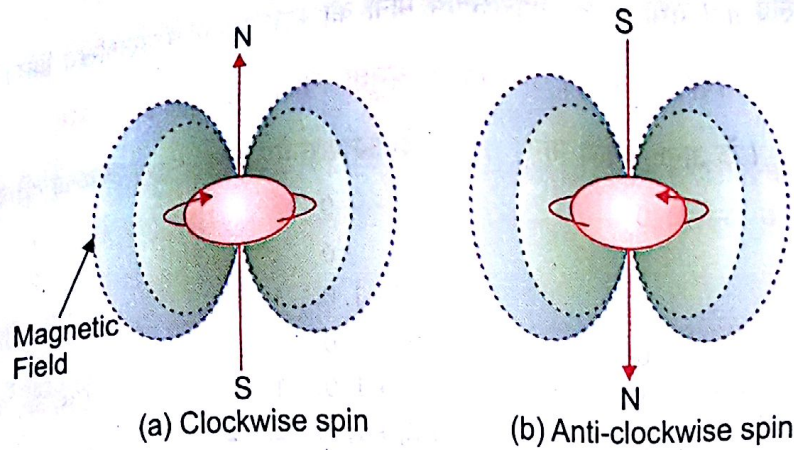
चुम्बकीय क्वांटम संख्या एक चुम्बकीय क्षेत्र की उपस्थिति में स्पेक्ट्रल रेखाओं के विभाजन (जीमान प्रभाव) की भी व्याख्या करती है। चुम्बकीय क्षेत्र की उपस्थिति में एक उपकक्ष की विभिन्न ऑर्बिटलों की ऊर्जाओं में अन्तर उत्पन्न हो जाता है। इससे परमाणु में इलेक्ट्रॉनिक संक्रमणों (electronic transitions) की संख्या में वृद्धि होती है। फलस्वरूप स्पेक्ट्रल रेखाएँ विभाजित प्रतीत होती हैं।

**टिप्पणी :** 1. चुम्बकीय क्षेत्र की अनुपस्थिति में किसी उपकोश के सभी कक्षकों का ऊर्जा स्तर समान होता है तथा उन्हें समान ऊर्जा कक्षक या अपभ्रष्ट कक्षक (degenerate orbital) कहते हैं।

2. चुम्बकीय क्षेत्र की उपस्थिति में इन कक्षकों का ऊर्जा स्तर अलग-अलग हो जाता है तथा इन्हें असमान ऊर्जा कक्षक या भ्रष्ट कक्षक (non-degenerate orbitals) कहते हैं।

3. इस प्रकार चुम्बकीय क्षेत्र की उपस्थिति में  $p$ -उपकोश में तीन भ्रष्ट कक्षक (non-degenerate orbitals) तथा  $d$ -उपकोश में पाँच भ्रष्ट कक्षक तथा  $f$ -उपकोश में सात भ्रष्ट कक्षक होते हैं।





चित्र 2.21 चक्रण से उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा चक्रण की दिशा पर निर्भर करती है।

चक्रण के कारण उत्पन्न कोणीय संवेग को **चक्रण कोणीय संवेग** (spin angular momentum) कहा जाता है। इसे  $s$  से निरूपित किया जाता है। इसका मान निम्नलिखित समीकरण से प्राप्त किया जा सकता है—

$$S = \frac{h}{2\pi} \sqrt{s(s+1)} \quad \dots(44)$$

जहाँ  $s$  चक्रण क्वांटम संख्या है।

उपरोक्त वर्णित चारों क्वांटम संख्याएँ  $n, l, m$  तथा  $s$  किसी परमाणु में एक इलेक्ट्रॉन को पूर्णरूपेण परिभाषित करती हैं। एक ऑर्बिटल को केवल तीन क्वांटम संख्याओं  $n, l$  तथा  $m$  से ही पूर्णरूपेण परिभाषित किया जा सकता है।

**उदाहरण 2.33.** यदि  $n=3$  हो तो  $l$  तथा  $m$  के मान क्या होंगे?

**हल—** यदि  $n=3$  है तो  $l$  के मान 0 तथा 2 के मध्य होंगे। अतएव  $l$  के सम्भावित मान 0, 1 तथा 2 होंगे।

जब

$$l = 0, m = 0$$

$$l = 1, m = -1, 0, +1$$

$$l = 2, m = -2, -1, 0, +1, +2$$

उत्तर

**उदाहरण 2.34.**  $s, p, d, f$  का प्रयोग करते हुए निम्नलिखित क्वांटम संख्याओंयुक्त ऑर्बिटलों को परिभाषित कीजिए।

(a)  $n=2, l=0$

(b)  $n=3, l=1$

(c)  $n=1, l=0$

(d)  $n=4, l=2$

(e)  $n=5, l=3$

**हल—** (a)  $2s$ , (b)  $3p$ , (c)  $1s$ , (d)  $4d$ , (e)  $5f$ .

उत्तर

**उदाहरण 2.35.** निम्नलिखित में से कौन-सी ऑर्बिटल सम्भव नहीं है?

$$1p, 2s, 2p \text{ तथा } 3f$$

**हल—**  $1p$  : यह ऑर्बिटल सम्भव नहीं है क्योंकि  $n=1$  के लिए  $l=0$  होगा।

$2s$  : सम्भव है।

$2p$  : सम्भव है।

$3f$  : यह ऑर्बिटल सम्भव नहीं है क्योंकि  $n=3$  के लिए  $l$  का अधिकतम मान 2 होगा।

उत्तर

**उदाहरण 2.36.** निम्नलिखित क्वांटम संख्याओं युक्त इलेक्ट्रॉनों को परिभाषित कीजिए—

(a)  $n=3, l=1, m=0, s=+\frac{1}{2}$

(b)  $n=4, l=0, m=0, s=-\frac{1}{2}$

(c)  $n=5, l=1, m=+1, s=+\frac{1}{2}$

**हल—** (a) यह इलेक्ट्रॉन  $3p_z$  ऑर्बिटल में उपस्थित है तथा इसका चक्रण दक्षिणावर्त है।

(b) यह इलेक्ट्रॉन  $4s$  ऑर्बिटल में उपस्थित है तथा इसका चक्रण वामावर्त है।

(c) यह इलेक्ट्रॉन  $5p_x$  अथवा  $5p_y$  ऑर्बिटल में उपस्थित है तथा इसका चक्रण दक्षिणावर्त है।

उत्तर



**उदाहरण 2.37.** निम्नलिखित इलेक्ट्रॉनों की क्वांटम संख्याएँ ज्ञात कीजिए—

(a) सोडियम का ग्यारहवाँ इलेक्ट्रॉन

(b) नाइट्रोजन का चौथा इलेक्ट्रॉन

**हल—**(a) सोडियम का इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$  है। इसका 11वाँ इलेक्ट्रॉन  $3s$ -ऑर्बिटल में स्थित है, अतएव इसकी क्वांटम संख्याओं के मान  $n=3, l=0, m=0$  तथा  $s=+\frac{1}{2}$  होंगे।

(b) नाइट्रोजन का इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास  $1s^2 2s^2 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$  है। इसका चौथा इलेक्ट्रॉन  $2s$ -ऑर्बिटल में स्थित होगा एवं इसका चक्रण वामावर्त होगा। अतएव इस इलेक्ट्रॉन की क्वांटम संख्याओं के मान  $n=2, l=0, m=0$  तथा  $s=-\frac{1}{2}$  होंगे। **उत्तर**

**उदाहरण 2.38.** क्वांटम संख्याओं के निम्नलिखित समुच्चयों में से कौन-से समुच्चय सम्भव हैं? शेष सम्भव क्यों नहीं हैं?

(a)  $n=2, l=2, m=-2, s=+\frac{1}{2}$

(b)  $n=0, l=0, m=0, s=-\frac{1}{2}$

(c)  $n=5, l=1, m=-1, s=+\frac{1}{2}$

(d)  $n=3, l=2, m=+3, s=-\frac{1}{2}$

**हल—**(a) यह समुच्चय सम्भव नहीं है क्योंकि जब  $n=2$  हो तो  $l$  का मान  $2-1=1$  से अधिक नहीं हो सकता।

(b) यह समुच्चय सम्भव नहीं है क्योंकि  $n$  का मान शून्य नहीं हो सकता।

(c) सम्भव है।

(d) सम्भव नहीं है क्योंकि  $m$  का मान  $+l$  के मान से अधिक नहीं हो सकता। **उत्तर**

### [D] ऑर्बिटलों की आकृतियाँ (Shapes of Orbitals)

जैसे कि पूर्व में वर्णन किया जा चुका है कि एक ऑर्बिटल नाभिक के चारों ओर स्थित वह क्षेत्र है जिसमें इलेक्ट्रॉन के पाये जाने की सम्भावना सबसे अधिक होती है अर्थात् ऑर्बिटल वह क्षेत्र है जिसमें इलेक्ट्रॉन घनत्व का मान सबसे अधिक होता है। नाभिक के चारों ओर इलेक्ट्रॉन घनत्व का वितरण ही एक ऑर्बिटल की आकृति को सुनिश्चित करता है। निम्नलिखित विवरण में हम विभिन्न ऑर्बिटलों की आकृतियों का संक्षिप्त अध्ययन करेंगे।

### 1. ऑर्बिटल तरंग फलन तथा प्रायिकता वितरण वक्र (Orbital Wave Function and Probability Distribution Curves)

#### ऑर्बिटल तरंग फलन (Orbital Wave Function)

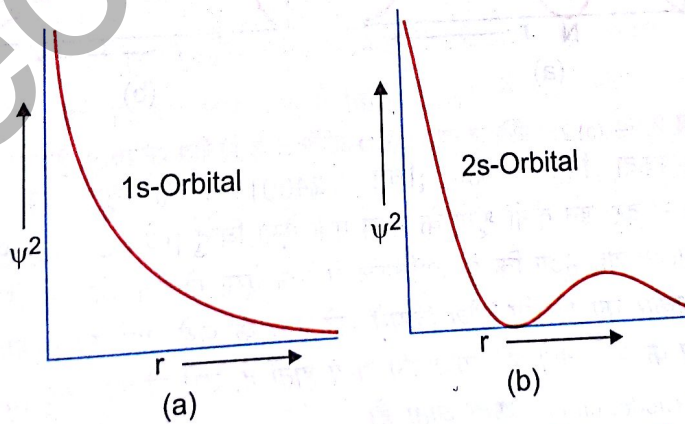
एक ऑर्बिटल तरंग फलन  $\psi$  वास्तव में एक गणितीय फलन है और इसे एक **त्रिजीय फलन** (radial function),  $\psi(r)$  तथा एक **कोणीय फलन** (angular function),  $\psi(\theta, \phi)$  के गुणनफलन के रूप में व्यक्त किया जा सकता है अर्थात्

$$\psi = \psi(r)\psi(\theta, \phi)$$

जहाँ  $r, \theta$  तथा  $\phi$  गोलीय ध्रुवीय निर्देशांक (spherical polar coordinates) हैं।

#### प्रायिकता वितरण वक्र (Probability Distribution Curves)

जैसे कि हम देख चुके हैं  $\psi^2$  नाभिक के चारों ओर स्थित इलेक्ट्रॉन घनत्व का एक माप है, अतएव  $\psi^2$  तथा  $r$  के मध्य एक ग्राफ द्वारा नाभिक से विभिन्न दूरियों पर इलेक्ट्रॉन के पाये जाने की सम्भावना प्राप्त की जा सकती है। इस ग्राफ को ही प्रायिकता वितरण वक्र कहा जाता है।  $1s$  तथा  $2s$ -ऑर्बिटलों के प्रायिकता वितरण वक्रों को चित्र 2.22 में दर्शाया गया है।



**चित्र 2.22** (a)  $1s$  तथा (b)  $2s$ -ऑर्बिटलों के प्रायिकता वितरण वक्र।



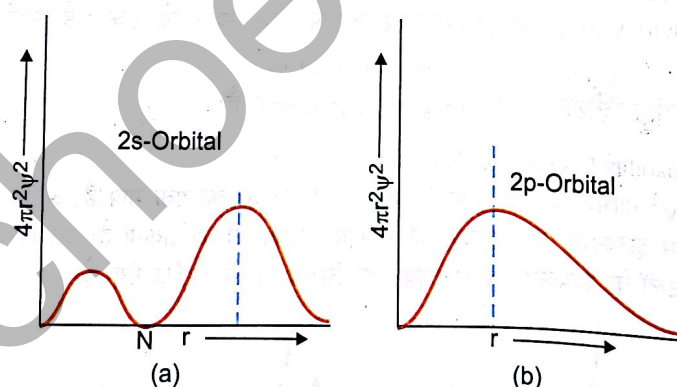
**त्रिजीय प्रायिकता वितरण वक्र** (Radial Probability Distribution Curves)

त्रिज्याओं  $r$  तथा  $r + dr$  के गोलों के मध्य स्थित एक गोलीय कोश (spherical shell) में इलेक्ट्रॉन के पाये जाने की सम्भावना को त्रिजीय प्रायिकता कहा जाता है।

अर्थात् त्रिजितीय प्रायिकता =  $4\pi r^2 \psi^2 dr$  ... (45)  
 $4\pi r^2 \psi^2$  तथा  $r$  के मध्य एक ग्राफ खींचने पर जो वक्र प्राप्त होता है, उसे

15. ऑर्बिटल के लिए इस वक्र को चित्र 2.23 में दिखाया गया है। इस वक्र से स्पष्ट है कि नाभिक से शून्य दूरी पर इलेक्ट्रॉन के पाये जाने की प्रायिकता शून्य है। ज्यों-ज्यों नाभिक

$2s$  तथा  $2p$ -ऑर्बिटलों के लिए त्रिजीय प्रायिकता वितरण वक्रों को चित्र 2.24 में दर्शाया गया है।



**चित्र 2.24** (a) 2s-ऑर्बिटल तथा (b) 2p-ऑर्बिटल के त्रितीय प्रायिकता वितरण वक्र।

2s-ऑर्बिटल के त्रिज्यीय प्राधिकता वितरण वक्र [चित्र 2.24(a)] में दो श्रृंग उपस्थित हैं, एक नाभिक के निकट ( $2.6 \text{ \AA}$  दूरी पर) तथा दूसरा नाभिक से दूर। इन दोनों श्रृंगों के मध्य एक ऐसा बिन्दु [चित्र 2.24(a) में बिन्दु N] स्थित है जिस पर त्रिज्यीय प्राधिकता का मान शून्य है। इसका तात्पर्य यह हुआ कि 2s-ऑर्बिटल में एक ऐसा गोलीय कोश उपस्थित है जिसमें इलेक्ट्रॉन के पाये जाने की सम्भावना लगभग शून्य है। इस प्रकार का गोलीय कोश जिसमें इलेक्ट्रॉन के पाये जाने की सम्भावना शून्य होती है, उसे नोडल बिन्दु (nodal point) से गुजरने वाले तल को नोडल प्लेन (nodal plane) कहा जाता है।



2s-ऑर्बिटल के त्रिज्यीय वितरण वक्र [चित्र 2.24 (b)] में केवल एक श्रृंग ही उपस्थित है। यद्यपि 2p-ऑर्बिटल की अधिकतम प्रायिकता त्रिज्या 2s-ऑर्बिटल की अधिकतम प्रायिकता त्रिज्या की तुलना में थोड़ी-सी कम है लेकिन 2s वक्र में एक श्रृंग अधिक है। इससे सिद्ध होता है कि 2p-ऑर्बिटल की तुलना में 2s-ऑर्बिटल अधिक बेधी (penetrating) है अर्थात् 2s-इलेक्ट्रॉन 2p-इलेक्ट्रॉन की तुलना में नाभिक के अधिक निकट स्थित है।

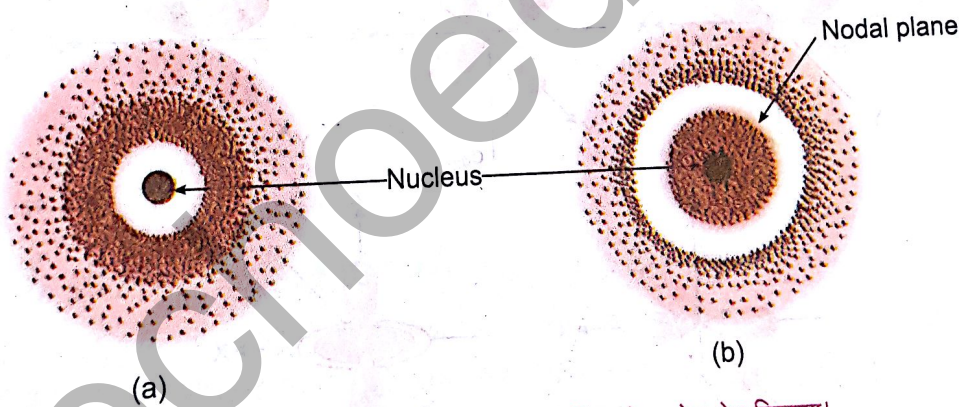
## 2. आवेश मेघ निरूपण तथा ऑर्बिटलों की आकृतियाँ (Charge Cloud Representation and Shapes of Orbitals)

एक ऑर्बिटल को सरल रूप में आवेश मेघ निरूपण (charge cloud representation) अथवा इलेक्ट्रॉन घनत्व निरूपण (electron density representation) द्वारा निरूपित किया जा सकता है। इस निरूपण में यह माना जाता है कि इलेक्ट्रॉन नाभिक के चारों ओर एक ऋण आवेशयुक्त आवेश मेघ के रूप में फैला हुआ है। नाभिक से किसी भी निश्चित दूरी पर आवेश मेघ घनत्व उस दूरी पर इलेक्ट्रॉन के पाये जाने की सम्भावना अर्थात्  $\psi^2$  के मान के समानुपाती होता है। यह निरूपण ऑर्बिटलों की भौतिक आकृति को समझने में काफी सहायक सिद्ध होता है। कुछ ऑर्बिटलों की आवेश मेघ निरूपण के रूप में आकृतियों का संक्षिप्त विवरण निम्नलिखित है—

**1. s-ऑर्बिटलों की आकृति**—एक s-ऑर्बिटल के लिए नाभिक से एक निश्चित दूरी पर इलेक्ट्रॉन के पाये जाने की सम्भावना सभी दिशाओं में समान होती है। अतएव s-ऑर्बिटल अदैशिक (non-directional) तथा गोलीय सममित (spherically symmetrical) होती है।

1s-ऑर्बिटल में नाभिक पर आवेश मेघ का घनत्व सर्वाधिक होता है और नाभिक से दूर जाने पर यह घटने लगता है। इसे चित्र 2.25(a) में प्रदर्शित किया गया है।

जैसा कि पूर्व में देख चुके हैं, 2s-ऑर्बिटल में एक नोड [चित्र 2.24(a)] पाया जाता है। इसके इलेक्ट्रॉन मेघ निरूपण को चित्र 2.25(b) में प्रदर्शित किया गया है। इस चित्र से स्पष्ट है कि इस ऑर्बिटल में नाभिक पर इलेक्ट्रॉन घनत्व का मान सर्वाधिक है और नाभिक से आगे बढ़ने पर एक निश्चित दूरी पर इसका मान शून्य हो जाता है। इसके पश्चात् इसमें पुनः वृद्धि होती है और एक निश्चित दूरी पर अधिकतम मान प्राप्त करने के पश्चात् यह पुनः कम होना प्रारम्भ हो जाता है। इस प्रकार 2s-ऑर्बिटल में एक ऐसा गोलीय कोश उपस्थित है जिसमें इलेक्ट्रॉन के पाये जाने की सम्भावना शून्य होती है। यह वास्तव में नोडल तल है। एक 2s-ऑर्बिटल भी गोलीय सममित होती है। उच्च s-ऑर्बिटल भी गोलाकार आकृति की होती हैं और उनमें  $(n - 1)$  नोडल तल उपस्थित रहते हैं, जहाँ  $n$  मुख्य क्वांटम संख्या है।



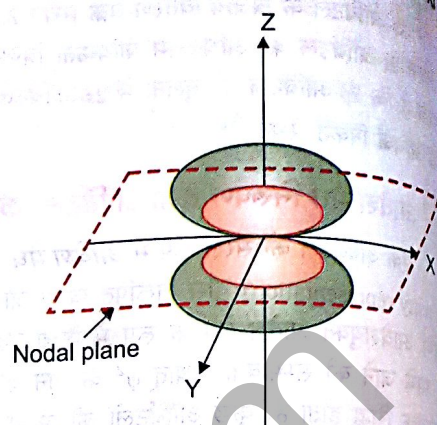
चित्र 2.25 (a) 1s-ऑर्बिटल तथा (b) 2s-ऑर्बिटल के आवेश मेघ निरूपण।

**2. p-ऑर्बिटलों की आकृतियाँ**—जैसे कि हम देख चुके हैं कि p-उपकक्ष में तीन ऑर्बिटल उपस्थित होती हैं, जिन्हें  $p_x$ ,  $p_y$  तथा  $p_z$  से निरूपित किया जाता है। इनकी आकृतियाँ समान प्रकार की होती हैं लेकिन त्रिविम में उनके अभिविन्यास भिन्न प्रकार के होते हैं। प्रत्येक p-ऑर्बिटल में इलेक्ट्रॉन घनत्व के दो पाल (lobes) होते हैं जिनके मध्य शून्य इलेक्ट्रॉन घनत्वयुक्त एक तल स्थित होता है, जिसे नोडल तल कहा जाता है। एक  $p_z$ -ऑर्बिटल (चित्र 2.26) में दोनों पाल Z-अक्ष के समानान्तर होते हैं तथा XY-तल नोडल तल का निर्माण करता है। इस तल में इलेक्ट्रॉन घनत्व का मान शून्य होता है।  $p_x$  तथा  $p_y$  ऑर्बिटलों की भौतिक आकृतियाँ भी  $p_z$  के समान ही होती हैं। इनमें पाल क्रमशः Y तथा Z-अक्षों के समानान्तर होते हैं। इस प्रकार एक p-ऑर्बिटल की आकृति को डम्ब-बेल (dumb-bell) आकृति का माना जा सकता है।  $2p_x$ ,  $2p_y$  तथा  $2p_z$  ऑर्बिटलों की आकृतियों को चित्र 2.27 में दर्शाया गया है।

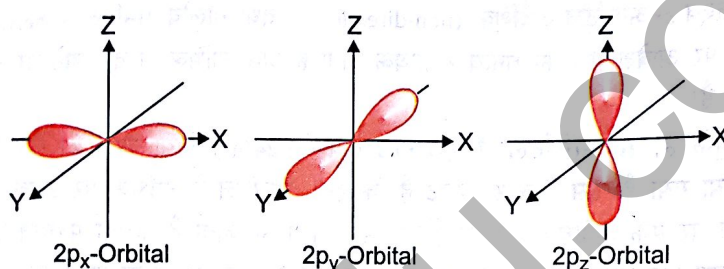


यह बात ध्यान देने योग्य है कि  $p$ -उपकक्ष के त्रिविम में तीन अभिविन्यास पाये जाते हैं। उच्च  $p$ -ऑर्बिटलों की आकृतियाँ भी उपरोक्त जैसी ही होती हैं।

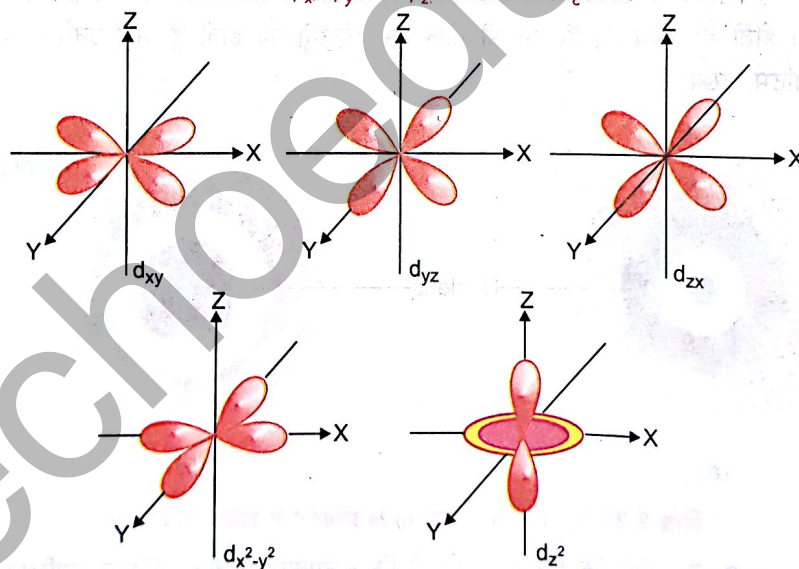
3.  $d$ -ऑर्बिटलों की आकृतियाँ— $d$ -उपकक्ष के त्रिविम में पाँच अभिविन्यास पाये जाते हैं। अतएव एक  $d$ -उपकक्ष में पाँच ऑर्बिटल उपस्थित होते हैं। इन्हें  $d_{xy}$ ,  $d_{yz}$ ,  $d_{zx}$ ,  $d_{x^2-y^2}$  तथा  $d_{z^2}$  से निरूपित किया जाता है।  $d_{xy}$ ,  $d_{yz}$  तथा  $d_{zx}$  की आकृतियाँ समान प्रकार की होती हैं। प्रत्येक में इलेक्ट्रॉन घनत्व के चार पालि (lobes) होते हैं। ये पालि ऑर्बिटल के नाम में निहित पादाक्षर (subscript) द्वारा इंगित तल में स्थित होते हैं। जैसे— $d_{xy}$  ऑर्बिटल के चारों पालि  $XY$  तल में स्थित होते हैं।  $d_{yz}$  ऑर्बिटल में भी चार पालि होते हैं लेकिन ये  $Y$  तथा  $Z$  तल में स्थित होते हैं।  $d_{zx}$  ऑर्बिटल में इलेक्ट्रॉन घनत्व के दो पालि  $Z$ -अक्ष पर और इलेक्ट्रॉन घनत्व का एक वलय (ring)  $XY$ -तल में स्थित होता है।  $n = 3$  कक्ष के  $d$ -ऑर्बिटलों को चित्र 2.28 में दर्शाया गया है।



चित्र 2.26 एक  $p_z$ -ऑर्बिटल की आवेश मेघ आकृति।



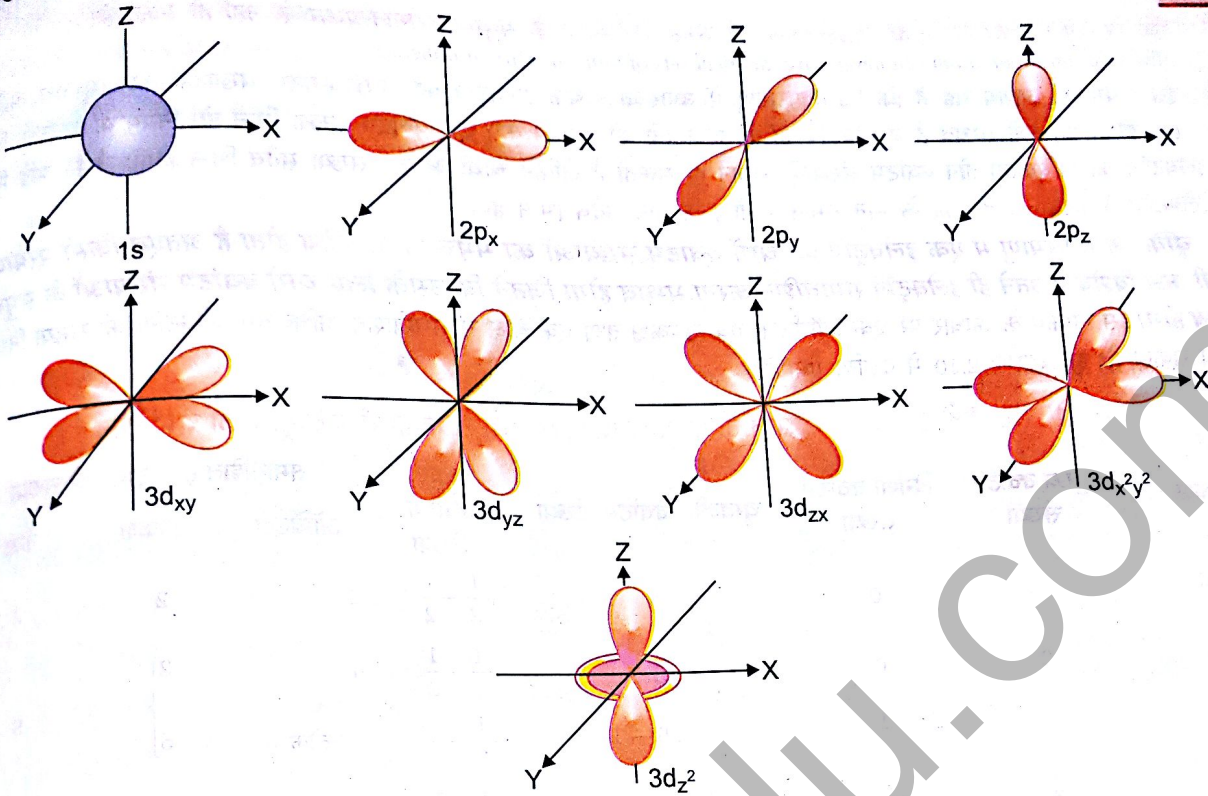
चित्र 2.27  $2p_x$ ,  $2p_y$  तथा  $2p_z$ -ऑर्बिटलों की आकृतियाँ।



चित्र 2.28  $3d$ -ऑर्बिटलों की आकृतियाँ।

उपरोक्त इलेक्ट्रॉन घनत्व चित्रों से स्पष्ट है कि एक ऑर्बिटल की सुनिश्चित सीमा रेखा (boundary line) नहीं होती है। इसका कारण यह है कि नाभिक से दूर जाने पर इलेक्ट्रॉन के पाये जाने की प्रायिकता घटती है लेकिन बहुत अधिक दूरी पर भी शून्य नहीं होती है। अतएव एक परमाणु के आकार को दृढ़ (rigid) नहीं माना जा सकता। फिर भी सुविधा के लिए ऑर्बिटल को निरूपित करते समय एक सीमान्त पृष्ठ चित्र (boundary surface diagram) बनाया जाता है। जिसमें अधिकतम इलेक्ट्रॉन घनत्वयुक्त क्षेत्र परिसीमित होता है। इस प्रकार के चित्र को आसानी से बनाया जा सकता है और इसका उपयोग ही प्रायः एक ऑर्बिटल को निरूपित करने के लिए किया जाता है।  $1s$ ,  $2p$  तथा  $3d$ -ऑर्बिटलों के सीमान्त पृष्ठ चित्रों को चित्र 2.29 में दर्शाया गया है।





चित्र 2.29 1s, 2p तथा 3d-ऑर्बिटलों के सीमान्त पृष्ठ चित्र।

**टिप्पणी :** 1. जिस बिन्दु या तल में इलेक्ट्रॉन के पाये जाने की सम्भावना शून्य ( $\Psi^2 = 0$ ) होती है उसे नोडल बिन्दु (nodal point) या नोडल तल (nodal plane) कहते हैं।

2. किसी उपकोश में नोडल बिन्दु की गणना निम्न सूत्रों द्वारा की जाती है।

a. कोणीय (angular) नोड =  $l$

b. वृत्तीय (spherical) नोड =  $n - l - 1$

अतः उपकोश में कुल नोड =  $n - l - 1 + l = n - 1$

## 2.10 परमाणुओं के इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास (Electronic Configuration of Atoms)

किसी परमाणु में स्थित ऑर्बिटलों में इलेक्ट्रॉनों का वितरण उस परमाणु का इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास (electronic configuration) कहलाता है। विभिन्न ऑर्बिटलों में समावेशित इलेक्ट्रॉनों की संख्या तथा उनके समावेशित होने की विधि (mode) कुछ महत्वपूर्ण नियमों के अनुरूप होती है। इस प्रकार के कुछ महत्वपूर्ण नियमों का वर्णन करने के पश्चात् हम विभिन्न परमाणुओं के इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास का अध्ययन करेंगे।

### [A] विभिन्न ऑर्बिटलों में इलेक्ट्रॉन समावेशन के नियम (Rules Governing the Filling of Electrons in Different Orbitals)

#### 1. पॉली का अपवर्जन नियम (Pauli's Exclusion Principle)

पॉली (1925) द्वारा प्रतिपादित यह नियम एक परमाणु की किसी ऑर्बिटल विशेष में समावेशित इलेक्ट्रॉनों की संख्या को नियन्त्रित करता है। नियम को अग्र प्रकार से व्यक्त किया जा सकता है—



एक परमाणु में उपस्थित किन्हीं दो इलेक्ट्रॉनों की क्वांटम संख्याओं के समुच्चय समान प्रकार के नहीं हो सकते हैं।

(Two electrons in an atom can never have identical sets of four quantum numbers.)

इस नियम का आशय यह है कि किसी परमाणु में उपस्थित प्रत्येक इलेक्ट्रॉन की चारों क्वांटम संख्याओं का समुच्चय अद्वितीय (unique) होगा। यह तभी सम्भव है जब कि किन्हीं दो इलेक्ट्रॉनों की कम से कम एक क्वांटम संख्या भिन्न हो। नियम के अनुसार किन्हीं दो इलेक्ट्रॉनों की अधिकतम तीन क्वांटम संख्याएँ समान हो सकती हैं लेकिन चौथी क्वांटम संख्या सदैव भिन्न होगी। जैसे- यदि किन्हीं दो इलेक्ट्रॉनों के लिए  $n, l$  तथा  $m$  के मान समान हैं तो  $s$  के मान सदैव भिन्न होंगे।

चूँकि किसी परमाणु में एक इलेक्ट्रॉन की चारों क्वांटम संख्याओं का समुच्चय अद्वितीय होता है अतएव किसी परमाणु के किसी कक्ष विशेष में उतने ही इलेक्ट्रॉन समावेशित करना सम्भव होगा जितने कि उसके लिए चारों क्वांटम संख्याओं के समुच्चय सम्भव होंगे। इस निष्कर्ष के आधार पर एक ऑर्बिटल, एक उपकक्ष तथा एक कक्ष में समावेशित अधिकतम इलेक्ट्रॉनों की संख्या निर्धारित की जा सकती है। इसे सारणी 2.10 में दर्शाया गया है।

सारणी 2.10 पॉली अपवर्जन सिद्धान्त के अनुसार K, L, M तथा N कक्षों में इलेक्ट्रॉन का समावेशन

कक्ष	मुख्य क्वांटम संख्या	दिगंशी क्वांटम संख्या	चुम्बकीय क्वांटम संख्या	चक्रण क्वांटम संख्या	समावेशित इलेक्ट्रॉनों की संख्या		
					ऑर्बिटल	उपकक्ष	कक्ष
K	1	0	0	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	2	2	2
L	2	0	0	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	2	2	8
		1	+1, 0, -1	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	2 प्रत्येक में	6	
M	3	0	0	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	2	2	18
		1	+1, 0, -1	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	2 प्रत्येक में	6	
		2	+2, +1, 0, -1, -2	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	2 प्रत्येक में	10	
N	4	0	0	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	2	2	32
		1	+1, 0, -1	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	2 प्रत्येक में	6	
		2	+2, +1, 0, -1, -2	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	2 प्रत्येक में	10	
		3	+3, +2, +1, 0, -1, -2, -3	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	2 प्रत्येक में	14	

उपर्युक्त विवरण से निम्नलिखित निष्कर्ष निकाले जा सकते हैं—

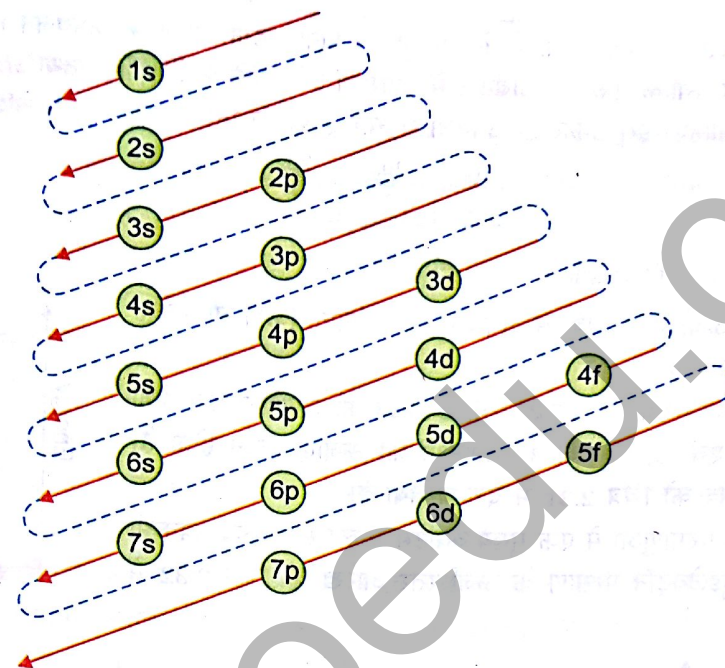
- किसी कक्ष में समावेशित इलेक्ट्रॉनों की अधिकतम संख्या  $2n^2$  है, जहाँ  $n$  कक्ष की मुख्य क्वांटम संख्या है।
- एक  $s$ -उपकक्ष में अधिकतम 2,  $p$ -उपकक्ष में अधिकतम 6,  $d$ -उपकक्ष में अधिकतम 10 तथा  $f$ -उपकक्ष में अधिकतम 14 इलेक्ट्रॉनों को समावेशित करना ही सम्भव है।
- एक ऑर्बिटल में अधिकतम 2 इलेक्ट्रॉन ही समावेशित किए जा सकते हैं।

## 2. ऑफबाउ सिद्धान्त (Aufbau Principle)

ऑफबाउ (aufbau) एक जर्मन शब्द है जिसका अर्थ है रचना करना। एक परमाणु के विभिन्न ऑर्बिटलों में इलेक्ट्रॉनों को समावेशित कर उसके इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास की रचना करने हेतु इस सिद्धान्त को प्रतिपादित किया गया है। सिद्धान्त को निम्न प्रकार से व्यक्त किया जा सकता है (चित्र 2.30)।



किसी परमाणु की धरातल अवस्था में इलेक्ट्रॉन बढ़ते हुए ऊर्जा क्रम में उपलब्ध ऑर्बिटलों में प्रवेश करते हैं और कम ऊर्जा की ऑर्बिटलों में पहले समावेशित होते हैं।  
(In the ground state of an atom, the electrons enter into the available orbitals in the increasing order of energies and fill up the orbitals of lower energy first.)



चित्र 2.30 ऑफबाउ सिद्धान्त के अनुसार ऑर्बिटलों में इलेक्ट्रॉनों के समावेशित होने का क्रम।

विभिन्न ऑर्बिटलों की बढ़ते हुए क्रम में ऊर्जाएँ निम्न प्रकार से होती हैं—

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

ऑर्बिटलों की ऊर्जाओं के उपरोक्त क्रम को चित्र 2.30 की सहायता से आसानी से स्मरण किया जा सकता है।

ऑफबाउ सिद्धान्त के अनुसार 1s-ऑर्बिटल सर्वप्रथम भरी जाती है क्योंकि इसकी ऊर्जा न्यूनतम है। 1s-ऑर्बिटल को भरने के पश्चात् इलेक्ट्रॉन क्रमशः 2s, 2p, 3s तथा 3p-ऑर्बिटलों को भरते हैं। चूँकि 4s-ऑर्बिटल की ऊर्जा 3d की ऊर्जा से कम होती है अतएव 3d ऑर्बिटलों को भरने से पूर्व इलेक्ट्रॉन 4s-ऑर्बिटल में समावेशित होते हैं। उच्च ऊर्जा की ऑर्बिटलें भी इसी प्रकार बढ़ती ऊर्जा के क्रम में भरी जाती हैं।

**टिप्पणी :** किसी H-परमाणु या किसी एक इलेक्ट्रॉन रखने वाले आयन जैसे  $\text{He}^+$ ,  $\text{Li}^{2+}$ ,  $\text{Be}^{3+}$  ... आदि में किसी कोश में उपकोशों की ऊर्जा सदैव समान होती है अर्थात् इनमें 2s तथा 2p की ऊर्जाएँ समान होंगी अर्थात् इस प्रकार के परमाणु-आयन में

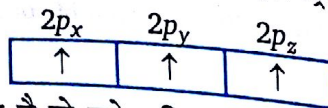
द्वितीय कोश में ऊर्जा  $2s = 2p$

तृतीय कोश में ऊर्जा  $3s = 3p = 3d$

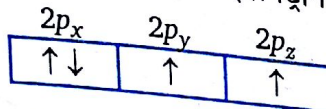
चतुर्थ कोश में ऊर्जा  $4s = 4p = 4d = 4f$



इस नियम का आशय यह है कि किसी उपकक्ष में इलेक्ट्रॉनों के समावेशन के समय इलेक्ट्रॉन इस प्रकार वितरित होते हैं कि उपकक्ष में अयुग्मित इलेक्ट्रॉनों की संख्या अधिकतम हो। जैसे-  $2p$ -उपकक्ष में तीन इलेक्ट्रॉन निम्न प्रकार से समावेशित होंगे—



यदि चौथा इलेक्ट्रॉन इस उपकक्ष में प्रवेश करता है तो इसे युग्मित होना पड़ेगा। पॉली के अपवर्जन सिद्धान्त के अनुसार यह केवल विपरीत चक्रण के साथ ही सम्भव है क्योंकि एक ही ऑर्बिटल में उपस्थित इलेक्ट्रॉनों के लिए  $n, l$  तथा  $m$  के मान समान होते हैं। अतएव उनके लिए  $s$  का मान भिन्न होना चाहिए। इस प्रकार  $2p$ -उपकक्ष में चार इलेक्ट्रॉन निम्न प्रकार से समावेशित होंगे—

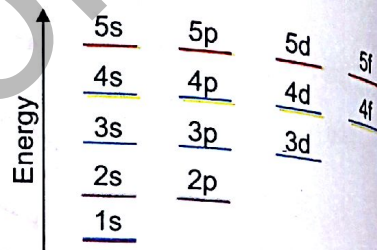


#### 4. ऊर्जा स्तर आरेख (Energy Level Diagram)

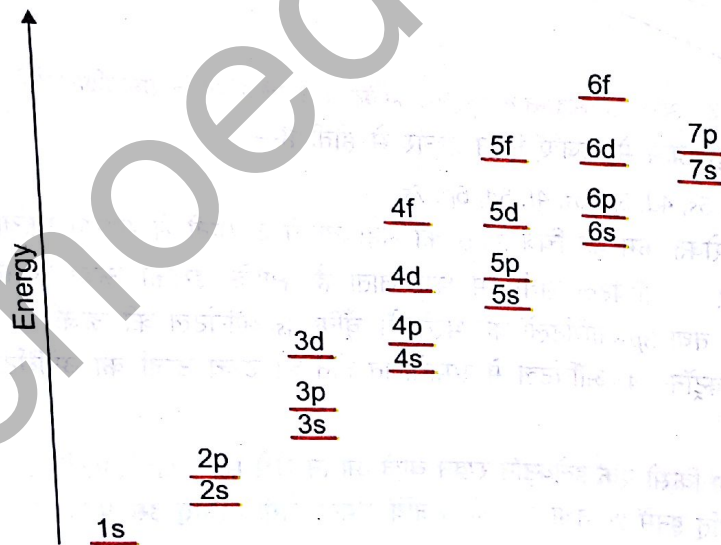
विभिन्न ऑर्बिटलों की सापेक्ष ऊर्जाओं को एक सरल चित्र द्वारा निरूपित किया जा सकता है, जिसे ऊर्जा स्तर आरेख कहा जाता है।

H-परमाणु में एक मुख्य क्वांटम संख्या से सम्बद्ध सभी उपकक्षों की ऊर्जाएँ समान होती हैं। जैसे-  $2s$  तथा  $2p$  की ऊर्जाएँ एवं  $3s, 3p$  तथा  $3d$  उपकक्षों की ऊर्जाएँ समान होती हैं। H-परमाणु के लिए ऊर्जा स्तर आरेख को चित्र 2.31 में दर्शाया गया है।

बहुइलेक्ट्रॉन (multielectron) परमाणुओं में एक मुख्य क्वांटम संख्या से सम्बद्ध उपकक्षों की ऊर्जाएँ भिन्न होती हैं। एक बहुइलेक्ट्रॉन परमाणु के ऊर्जा स्तर आरेख को चित्र 2.32 में दर्शाया गया है।



चित्र 2.31 H-परमाणु का ऊर्जा स्तर आरेख।



चित्र 2.32 एक बहुइलेक्ट्रॉन परमाणु का ऊर्जा स्तर आरेख।

#### 5. $n + l$ नियम ( $n + l$ Rules)

एक बहुइलेक्ट्रॉन परमाणु में किसी उपकक्ष की ऊर्जा का मान मुख्य तथा दिगंशी दोनों क्वांटम संख्याओं पर निर्भर करता है। इस प्रकार के परमाणु में उपकक्षों की सापेक्ष ऊर्जाओं को निम्न  $n + l$  नियमों द्वारा ज्ञात किया जा सकता है।

(i) यदि किसी उपकक्ष के लिए  $n + l$  का मान कम है तो उसकी ऊर्जा भी कम होगी तथा वह उपकक्ष पहले भरा जायेगा।

जैसे-  $4s$  तथा  $3d$ -उपकक्षों पर विचार करने से ज्ञात होता है कि  $4s$ -उपकक्ष के लिए  $n + l = 4 + 0 = 4$  तथा  $3d$ -उपकक्ष के लिए  $n + l = 3 + 2 = 5$  है। चूँकि  $4s$  के लिए  $n + l$  का मान  $3d$ -उपकक्ष के मान से कम है, अतएव  $4s$  की ऊर्जा  $3d$  की ऊर्जा की तुलना में कम होगी और  $4s$ -उपकक्ष  $3d$ -उपकक्ष से पूर्व भरा जायेगा। इस प्रकार  $5s$  ( $n + l = 5 + 0 = 5$ ) उपकक्ष  $4d$  ( $n + l = 4 + 2 = 6$ ) उपकक्ष से पूर्व भरेगा।



(ii) यदि दो उपकक्षों के लिए  $n+l$  के मान समान हैं तो  $n$  के कम मानयुक्त उपकक्ष की ऊर्जा कम होगी और यह उपकक्ष पहले भरा जायेगा।

जैसे- $2p$ -उपकक्ष ( $n+l=2+1=3$ ) तथा  $3s$ -उपकक्ष ( $n+l=3+0=3$ ) के लिए  $n+l$  के मान समान हैं लेकिन  $2p$ -उपकक्ष के लिए  $n$  का मान कम होने के कारण इसकी ऊर्जा अपेक्षाकृत कम होगी और यह पहले भरा जाएगा।

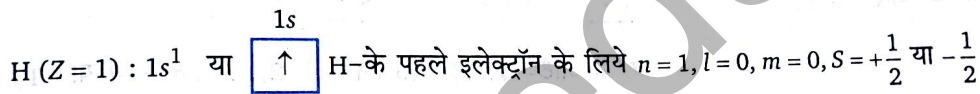
### [B] परमाणुओं के इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास (Electronic Configuration of Atoms)

परमाणुओं के इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास लिखते समय प्रायः केवल दो क्वांटम संख्याओं  $n$  तथा  $l$  को ही ध्यान में रखा जाता है। तीसरी क्वांटम संख्या  $m$  के मान को ध्यान में रखना ऐच्छिक है। प्रायः क्वांटम संख्याओं  $m$  तथा  $s$  के मान अपरोक्ष रूप में अनुमानित होते हैं। इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास को प्रायः  $n s^a$  के रूप में व्यक्त किया जाता है, जहाँ  $n$  मुख्य क्वांटम संख्या,  $s$  उपकक्ष के संकेत ( $s, p, d, f$ ) तथा  $a$  उस उपकक्ष में उपस्थित इलेक्ट्रॉनों की संख्या को इंगित करते हैं। किसी परमाणु की इलेक्ट्रॉनिक संरचना को चौकोर अथवा वृत्ताकार बॉक्सों (boxes) में तीर बनाकर भी निरूपित किया जा सकता है। ऊर्ध्वगामी तीर दक्षिणावर्त चक्रणयुक्त इलेक्ट्रॉन को तथा अधोगामी तीर वामावर्त चक्रणयुक्त इलेक्ट्रॉन को निरूपित करता है।

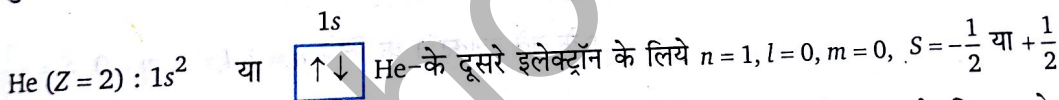
किसी परमाणु के इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास को उपरोक्त वर्णित नियमों के आधार पर आसानी से लिखा जा सकता है।

किसी परमाणु का परमाणु क्रमांक (atomic number),  $Z$  उस परमाणु में उपस्थित कुल इलेक्ट्रॉनों की संख्या के बराबर होता है। इलेक्ट्रॉनों की संख्या ज्ञात होने पर उपरोक्त नियमों के अनुसार विभिन्न उपकक्षों में इलेक्ट्रॉनों को समावेशित कर उस परमाणु का इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास ज्ञात किया जा सकता है। कुछ उदाहरण निम्नलिखित हैं—

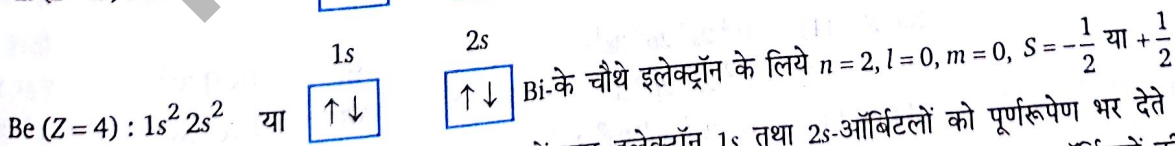
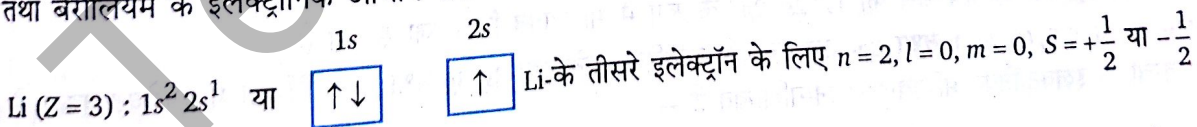
**हाइड्रोजन तथा हीलियम**—हाइड्रोजन परमाणु ( $Z=1$ ) में केवल एक इलेक्ट्रॉन उपस्थित रहता है। हुण्ड के नियम के अनुसार इसे  $1s$ -ऑर्बिटल में समावेशित होना चाहिए। अतएव हाइड्रोजन परमाणु का इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास निम्न होगा—



हीलियम ( $Z=2$ ) में दो इलेक्ट्रॉन होते हैं। अगली उपलब्ध ऑर्बिटल  $2s$  उच्च ऊर्जा की होती है। अतएव दूसरा इलेक्ट्रॉन हुण्ड के नियम के अनुसार  $1s$  ऑर्बिटल में ही युग्मित हो जाता है।

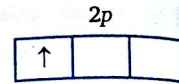
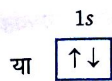
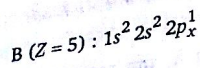


**लीथियम तथा बेरीलियम**—लीथियम ( $Z=3$ ) में 3 इलेक्ट्रॉन उपस्थित हैं। पॉली के अपवर्जन सिद्धान्त के अनुसार एक ऑर्बिटल में दो इलेक्ट्रॉन से अधिक समावेशित नहीं हो सकते हैं। अतएव लीथियम में 2 इलेक्ट्रॉन  $1s$ -ऑर्बिटल में तथा तीसरा इलेक्ट्रॉन अगली उपकक्ष  $2s$ -ऑर्बिटल में समावेशित होते हैं। बेरीलियम ( $Z=4$ ) में चौथा इलेक्ट्रॉन विपरीत चक्रण से  $2s$ -ऑर्बिटल में युग्मित हो जाता है। लीथियम तथा बेरीलियम के इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास निम्नलिखित हैं—

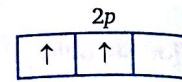
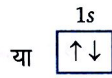
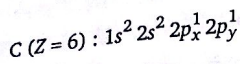


**बोरॉन, कार्बन तथा नाइट्रोजन**—बोरॉन ( $Z=5$ ) में चार इलेक्ट्रॉन  $1s$  तथा  $2s$ -ऑर्बिटलों को पूर्णरूपेण भर देते हैं तथा पाँचवाँ इलेक्ट्रॉन  $2p$ -उपकक्ष की किसी एक ऑर्बिटल ( $p_x, p_y$  अथवा  $p_z$ ) में समावेशित होता है।  $p_x, p_y$  तथा  $p_z$  ऑर्बिटलों की ऊर्जाएँ समान होने के कारण ही पाँचवाँ इलेक्ट्रॉन किसी भी  $2p$ -ऑर्बिटल में प्रवेश करने के लिए स्वतन्त्र है। कार्बन ( $Z=6$ ) में छठवाँ इलेक्ट्रॉन हुण्ड के नियम के अनुसार अगली  $p$ -ऑर्बिटल में प्रवेश करता है और अयुग्मित रहता है। नाइट्रोजन ( $Z=7$ ) में सातवाँ इलेक्ट्रॉन तीसरी रिक्त  $2p$ -ऑर्बिटल में प्रवेश करता है। इस प्रकार बोरॉन, कार्बन तथा नाइट्रोजन के इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास अग्रलिखित हैं—



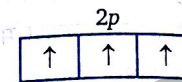
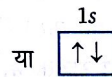
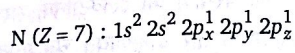


B के पाँचवें इलेक्ट्रॉन के लिये,  $n = 2, l = 1, m = -1$  या  $+1, S = +\frac{1}{2}$  या  $-\frac{1}{2}$



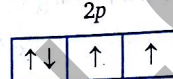
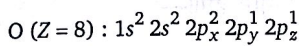
C के छठे इलेक्ट्रॉन के लिये,  $n = 2, l = 1, m = 0, S = +\frac{1}{2}$  या  $-\frac{1}{2}$

S का मान हुण्ड के नियम के अनुसार रखा गया है

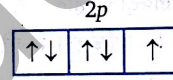
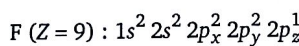


N के सातवें इलेक्ट्रॉन के लिये,  $n = 2, l = 1, m = +1$  या  $-1, S = +\frac{1}{2}$  या  $-\frac{1}{2}$

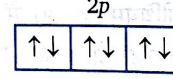
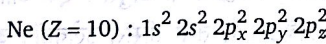
**ऑक्सीजन, फ्लोरीन तथा नियाँन**—ऑक्सीजन ( $Z = 8$ ) में आठ इलेक्ट्रॉन होते हैं। प्रथम सात इलेक्ट्रॉन नाइट्रोजन की भाँति ही वितरित होते हैं जबकि आठवाँ इलेक्ट्रॉन विपरीत चक्रण के साथ किसी एक  $2p$ -ऑर्बिटल में युग्मित हो जाता है। फ्लोरीन ( $Z = 9$ ) में नौवाँ इलेक्ट्रॉन तथा नियाँन ( $Z = 10$ ) में दसवाँ इलेक्ट्रॉन भी इसी प्रकार  $2p$ -ऑर्बिटलों में युग्मित हो जाते हैं। इन परमाणुओं के इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास निम्नलिखित हैं—



O के आठवें इलेक्ट्रॉन के लिये  $n = 2, l = 1, m = -1$  या  $+1, S = -\frac{1}{2}$  या  $+\frac{1}{2}$



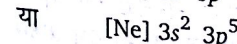
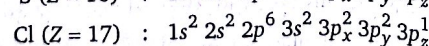
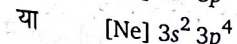
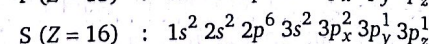
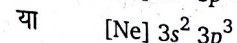
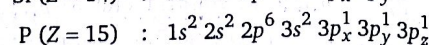
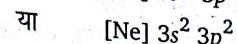
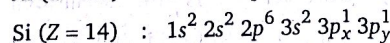
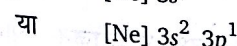
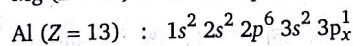
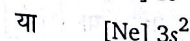
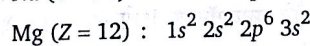
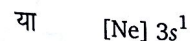
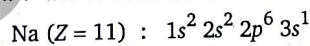
F के नवें इलेक्ट्रॉन के लिये  $n = 2, l = 1, m = 0, S = -\frac{1}{2}$  या  $+\frac{1}{2}$



Ne के दसवें इलेक्ट्रॉन के लिये  $n = 2, l = 1, m = +1$  या  $-1$  या  $S = -\frac{1}{2}$  या  $+\frac{1}{2}$

नियाँन के इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास को  $1s^2 2s^2 2p^6$  के रूप में भी व्यक्त किया जा सकता है।

**Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, Ar, K तथा Ca**—इन तत्वों में अतिरिक्त इलेक्ट्रॉन  $3s, 3p$  तथा  $4s$ -ऑर्बिटलों में उपरोक्त प्रकार से समावेशित होते हैं। इन तत्वों के इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास निम्नलिखित हैं—



**टिप्पणी :**

करते हैं। इसका

Sc, Ti, V, Cr

में  $4s$ -उपकक्ष को  
हैं। इन तत्वों के

**अर्द्धभरित त**  
(Extra Stability)

उपरोक्त

अथवा परिवर्ति

(Ag) आदि के

उपस्थित होती

अर्द्धभरित

सकती है।

(i) इलेक्ट्रॉन

इलेक्ट्रॉनों का

चूँकि  $s$  उप  
पूर्णभरित उप

(ii) वि

स्थिति को वि

उत्सर्जित हो

ऊर्जा का म

अधिकतम वि

चित्र 2

कारण है वि

$d^{10}$  अभिवि

क्रोमि

क्रोमियम त

से अग्रलिखि



Ar (Z = 18) : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p_x^2 3p_y^2 3p_z^2$	या [Ne] $3s^2 3p^6$
K (Z = 19) : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1$	या [Ar] $4s^1$
Ca (Z = 20) : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2$	या [Ar] $4s^2$

**टिप्पणी :** यह ध्यान देने योग्य बात है कि K तथा Ca में उन्नीसवें तथा बीसवें इलेक्ट्रॉन 3d के स्थान पर 4s-उपकक्ष में प्रवेश करते हैं। इसका कारण यह है कि 4s-उपकक्ष की ऊर्जा 3d-उपकक्ष की ऊर्जा से कम होती है।

Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu तथा Zn—ये सभी संक्रमण (transition) तत्व हैं और इनमें 3d-ऑर्बिटल भरी जाती है। कैल्सियम में 4s-उपकक्ष को भरने के पश्चात् शेष इलेक्ट्रॉन 3d-ऑर्बिटलों में प्रवेश करते हैं और उनमें हुण्ड के नियम के अनुसार समावेशित होते हैं। इन तत्वों के इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास निम्नलिखित हैं—

Sc (Scandium, Z = 21)	: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^1 4s^2$
Ti (Titanium, Z = 22)	: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^2 4s^2$
V (Vanadium, Z = 23)	: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^3 4s^2$
Cr (Chromium, Z = 24)	: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^1$
Mn (Manganese, Z = 25)	: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^2$
Fe (Iron, Z = 26)	: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6 4s^2$
Co (Cobalt, Z = 27)	: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^7 4s^2$
Ni (Nickel, Z = 28)	: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^8 4s^2$
Cu (Copper, Z = 29)	: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1$
Zn (Zinc, Z = 30)	: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2$

### अर्द्धभरित तथा पूर्णभरित उपकक्षों का अतिरिक्त स्थायित्व (अपवाद इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास)

(Extra Stability of the Half Filled and Completely Filled Subshells)

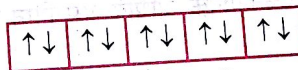
उपरोक्त इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यासों से स्पष्ट है कि क्रोमियम तथा कॉपर में 3d-उपकक्ष में इलेक्ट्रॉनों के भरने का क्रम व्यवधानित अथवा परिवर्तित हो जाता है और इन तत्वों के इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास अपवाद हैं। कुछ अन्य तत्वों; जैसे-नियोबियम (Nb), सिल्वर (Ag) आदि के अभिविन्यास भी अपवाद रूप में प्राप्त होते हैं। इसका कारण यह है कि इन तत्वों में अर्द्धभरित अथवा पूर्णभरित उपकक्ष उपस्थित होती हैं, जिनका स्थायित्व सामान्य उपकक्षों की तुलना में अधिक होता है।

अर्द्धभरित तथा पूर्णभरित उपकक्षों के अतिरिक्त स्थायित्व की व्याख्या मुख्य रूप से निम्नलिखित दो कारकों के माध्यम से की जा सकती है।

(i) **इलेक्ट्रॉनों का सममित वितरण (Symmetrical Distribution of Electrons)**—एक अर्द्धभरित अथवा पूर्णभरित उपकक्ष में इलेक्ट्रॉनों का वितरण सममित होता है जैसा कि निम्नलिखित से स्पष्ट है—



एक अर्द्धपूर्ण d-उपकक्ष



एक पूर्ण d-उपकक्ष

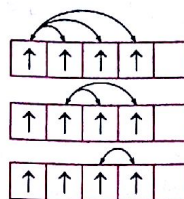
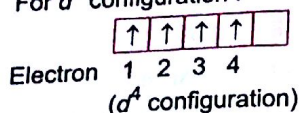
चूँकि सममितता से इलेक्ट्रॉन का ऊर्जा स्तर कम हो जाता है तथा उस अवस्था में स्थायित्व में वृद्धि होती है अतएव अर्द्धभरित तथा पूर्णभरित उपकक्ष अन्य उपकक्षों की तुलना में अधिक स्थिर होते हैं।

(ii) **विनिमय ऊर्जा (Exchange Energy)**—एक उपकक्ष की विभिन्न ऑर्बिटलों में समान चक्रणयुक्त इलेक्ट्रॉनों की प्रवृत्ति अपनी स्थिति को विनिमय (exchange) करने की होती है। इस विनिमय के कारण तन्त्र की ऊर्जा कम हो जाती है क्योंकि इस प्रक्रिया में ऊर्जा उत्सर्जित होती है। इस ऊर्जा को विनिमय ऊर्जा (exchange energy) कहा जाता है। विनिमयों की संख्या जितनी अधिक होगी, विनिमय ऊर्जा का मान उतना ही अधिक होगा और तन्त्र उतना ही अधिक स्थायित्व प्राप्त करेगा। एक अर्द्ध तथा पूर्ण उपकक्षों में इलेक्ट्रॉनों के अधिकतम विनिमय सम्भव हैं, जैसा कि निम्नलिखित उदाहरणों से स्पष्ट है।

चित्र 2.33 से स्पष्ट है कि  $d^5$  अभिविन्यास (अर्द्धपूर्ण कक्ष) में  $d^4$  अभिविन्यास की तुलना में अधिक विनिमय सम्भव है। यही कारण है कि अर्द्धपूर्ण कक्ष की विनिमय ऊर्जा अधिक होती है तथा वह अधिक स्थिर होती है। इसी प्रकार यह दर्शाया जा सकता है कि  $d^{10}$  अभिविन्यास में अन्य अभिविन्यासों की अपेक्षा अधिक विनिमय सम्भव है। यही कारण है कि पूर्ण उपकक्ष भी अधिक स्थिर होती है।

**क्रोमियम तथा कॉपर के अपवाद इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास (Exceptional Configuration of Chromium and Copper)**—क्रोमियम तथा कॉपर के अपवाद इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यासों की व्याख्या अर्द्धभरित तथा पूर्णभरित उपकक्षों के अतिरिक्त स्थायित्व के माध्यम से अप्रलिखित प्रकार से की जा सकती है।

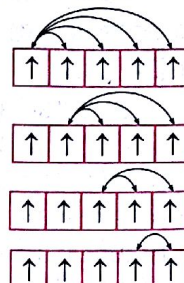
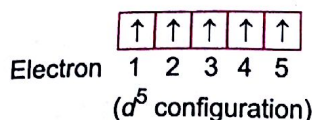


For  $d^4$  configuration :

3 exchanges for electron 1

2 exchanges for electron 2

1 exchanges for electron 3

Total number of exchanges =  $3 + 2 + 1 = 6$ For  $d^5$  configuration :

4 exchanges for electron 1

3 exchanges for electron 2

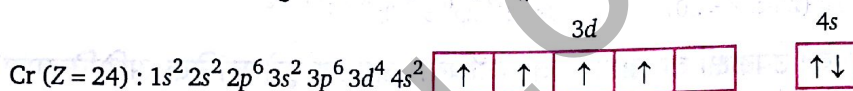
2 exchanges for electron 3

1 exchanges for electron 4

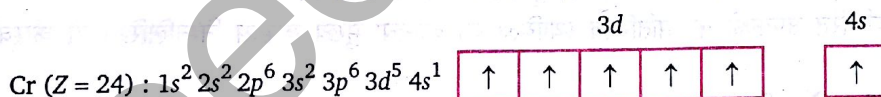
Total number of exchanges =  $4 + 3 + 2 + 1 = 10$ 

चित्र 2.33 विभिन्न उपकक्षों में स्थित इलेक्ट्रॉनों का विनियम।

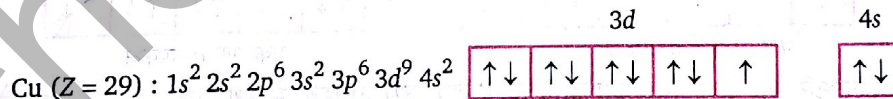
इलेक्ट्रॉनों के सामान्य समावेशन प्रक्रिया के अनुसार क्रोमियम का इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास निम्न प्रकार होना चाहिए—



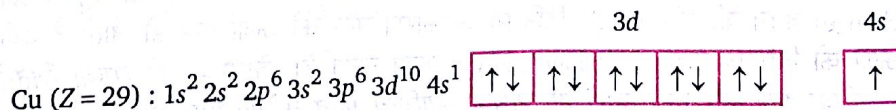
उपरोक्त इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास में  $4s$ -उपकक्ष तो पूर्ण है लेकिन  $3d$ -उपकक्ष न तो अर्द्धपूर्ण है और न ही पूर्ण। हम ऊपर देख चुके हैं कि  $d^4$  अभिविन्यास की अपेक्षा  $d^5$  अभिविन्यास अधिक स्थिर होता है। अतएव क्रोमियम में अन्तरइलेक्ट्रॉनिक प्रतिकर्षण (interelectronic repulsion)  $4s$ -उपकक्ष के एक इलेक्ट्रॉन को  $3d$ -उपकक्ष में प्रवेश करने के लिए बाध्य कर देता है और क्रोमियम का निम्नलिखित इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास प्राप्त होता है—

इससे  $3d$  तथा  $4s$ -उपकक्ष अर्द्धपूर्ण हो जाते हैं और परमाणु अधिक स्थिर हो जाता है।

इसी प्रकार कॉपर का इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास निम्न प्रकार होना चाहिए—

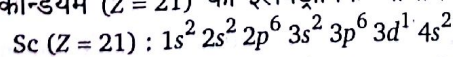


चूँकि  $d^9$  अभिविन्यास की अपेक्षा  $d^{10}$  अभिविन्यास अधिक स्थिर होता है इसलिए कॉपर में अन्तरइलेक्ट्रॉनिक प्रतिकर्षण के कारण एक इलेक्ट्रॉन  $4s$ -उपकक्ष से निकलकर  $3d$ -उपकक्ष में प्रवेश करता है और कॉपर का निम्नलिखित इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास प्राप्त होता है—

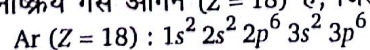


इस अभिविन्यास में  $3d$ -उपकक्ष पूर्ण तथा  $4s$ -उपकक्ष अर्द्धपूर्ण होती है और कॉपर परमाणु को अतिरिक्त स्थायित्व प्रदान करती है।

**इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास का संक्षिप्त निरूपण**—उच्च तत्वों के इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास काफी विस्तृत आकार के होते हैं और उन्हें यथारूप में लिखना सुविधाजनक नहीं होता है। इसलिए उन्हें पूर्व स्थित निष्क्रिय गैस कोर (inert gas core) का प्रयोग कर व्यवस्थित किया जाता है। जैसे- स्कैन्डियम ( $Z = 21$ ) का इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास निम्न प्रकार है—



इससे पूर्व स्थित निष्क्रिय गैस आर्गन ( $Z = 18$ ) है, जिसका इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास निम्न प्रकार है—





इस प्रकार स्कैन्डियम के अभिविन्यास में आर्गन के अभिविन्यास की तुलना में  $3d^1 4s^2$  उपकक्ष अधिक स्थित है। अतएव आर्गन के कोर ( $[\text{Ar}]^{18}$  से निरूपित) के रूप में स्कैन्डियम के इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास को निम्नलिखित प्रकार से व्यक्त किया जा सकता है—  
 $\text{Sc} (Z = 21) : [\text{Ar}]^{18} 3d^1 4s^2$  या  $[\text{Ar}] 3d^1 4s^2$

### अन्य तत्वों के इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास

जिंक के पश्चात् अगला तत्व गैलियम ( $Z = 31$ ) है। इस तत्व में अतिरिक्त इलेक्ट्रॉन  $4p$ -उपकक्ष में प्रवेश करते हैं और यह क्रम क्रिप्टन ( $Z = 36$ ) तक चलता रहता है और  $4p$ -उपकक्ष पूर्ण हो जाते हैं। रूबिडियम ( $Z = 37$ ) तथा स्ट्रॉन्शियम ( $Z = 38$ ) में  $5s$ -उपकक्ष पूर्ण हो जाती है। इसके पश्चात् स्थित अगले 10 तत्वों में इलेक्ट्रॉन  $4d$ -उपकक्ष में प्रवेश करते हैं।  $4d$ -उपकक्ष को भरने के पश्चात् इलेक्ट्रॉन क्रमशः  $5p$ ,  $6s$ ,  $4f$  तथा  $5d$  उपकक्षों में प्रवेश करते हैं। मरकरी ( $Z = 80$ ) के पश्चात् इलेक्ट्रॉन क्रमशः  $6p$ ,  $7s$ ,  $5f$  तथा  $6d$ -ऑर्बिटलों में प्रवेश करते हैं।

सभी ज्ञात तत्वों के इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यासों को सारणी 2.11 में प्रदर्शित किया गया है।

सारणी 2.11 तत्वों के इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास

Z	तत्व	इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास	Z	तत्व	इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास
1	H	$1s^1$	53	I	$[\text{Kr}] 4d^{10} 5s^2 5p^5$
2	He	$1s^2$	54	Xe	$[\text{Kr}] 4d^{10} 5s^2 5p^6$
3	Li	$[\text{He}] 2s^1$	55	Cs	$[\text{Xe}] 6s^1$
4	Be	$[\text{He}] 2s^2$	56	Ba	$[\text{Xe}] 6s^2$
5	B	$[\text{He}] 2s^2 2p^1$	57	La	$[\text{Xe}] 5d^1 6s^2$
6	C	$[\text{He}] 2s^2 2p^2$	58	Ce	$[\text{Xe}] 4f^1 5d^1 6s^2$
7	N	$[\text{He}] 2s^2 2p^3$	59	Pr	$[\text{Xe}] 4f^3 6s^2$
8	O	$[\text{He}] 2s^2 2p^4$	60	Nd	$[\text{Xe}] 4f^4 6s^2$
9	F	$[\text{He}] 2s^2 2p^5$	61	Pm	$[\text{Xe}] 4f^5 6s^2$
10	Ne	$[\text{He}] 2s^2 2p^6$	62	Sm	$[\text{Xe}] 4f^6 6s^2$
11	Na	$[\text{Ne}] 3s^1$	63	Eu	$[\text{Xe}] 4f^7 6s^2$
12	Mg	$[\text{Ne}] 3s^2$	64	Gd	$[\text{Xe}] 4f^7 5d^1 6s^2$
13	Al	$[\text{Ne}] 3s^2 3p^1$	65	Tb	$[\text{Xe}] 4f^9 6s^2$
14	Si	$[\text{Ne}] 3s^2 3p^2$	66	Dy	$[\text{Xe}] 4f^{10} 6s^2$
15	P	$[\text{Ne}] 3s^2 3p^3$	67	Ho	$[\text{Xe}] 4f^{11} 6s^2$
16	S	$[\text{Ne}] 3s^2 3p^4$	68	Er	$[\text{Xe}] 4f^{12} 6s^2$
17	Cl	$[\text{Ne}] 3s^2 3p^5$	69	Tm	$[\text{Xe}] 4f^{13} 6s^2$
18	Ar	$[\text{Ne}] 3s^2 3p^6$	70	Yb	$[\text{Xe}] 4f^{14} 6s^2$
19	K	$[\text{Ar}] 4s^1$	71	Lu	$[\text{Xe}] 4f^{14} 5d^1 6s^2$
20	Ca	$[\text{Ar}] 4s^2$	72	Hf	$[\text{Xe}] 4f^{14} 5d^2 6s^2$
21	Sc	$[\text{Ar}] 3d^1 4s^2$	73	Ta	$[\text{Xe}] 4f^{14} 5d^3 6s^2$
22	Ti	$[\text{Ar}] 3d^2 4s^2$	74	W	$[\text{Xe}] 4f^{14} 5d^4 6s^2$
23	V	$[\text{Ar}] 3d^3 4s^2$	75	Re	$[\text{Xe}] 4f^{14} 5d^5 6s^2$
24	Cr	$[\text{Ar}] 3d^5 4s^1$	76	Os	$[\text{Xe}] 4f^{14} 5d^6 6s^2$
25	Mn	$[\text{Ar}] 3d^5 4s^2$	77	Ir	$[\text{Xe}] 4f^{14} 5d^7 6s^2$
26	Fe	$[\text{Ar}] 3d^6 4s^2$	78	Pt	$[\text{Xe}] 4f^{14} 5d^9 6s^1$
27	Co	$[\text{Ar}] 3d^7 4s^2$	79	Au	$[\text{Xe}] 4f^{14} 5d^{10} 6s^1$
28	Ni	$[\text{Ar}] 3d^8 4s^2$	80	Hg	$[\text{Xe}] 4f^{14} 5d^{10} 6s^2$
29	Cu	$[\text{Ar}] 3d^{10} 4s^1$	81	Tl	$[\text{Xe}] 4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^1$
30	Zn	$[\text{Ar}] 3d^{10} 4s^2$	82	Pb	$[\text{Xe}] 4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^2$



31	Ga	[Ar] 3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>1</sup>	83
32	Ge	[Ar] 3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>2</sup>	84
33	As	[Ar] 3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>3</sup>	85
34	Se	[Ar] 3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>4</sup>	86
35	Br	[Ar] 3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>5</sup>	87
36	Kr	[Ar] 3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>6</sup>	88
37	Rb	[Kr] 5s <sup>1</sup>	89
38	Sr	[Kr] 5s <sup>2</sup>	90
39	Y	[Kr] 4d <sup>1</sup> 5s <sup>2</sup>	91
40	Zr	[Kr] 4d <sup>2</sup> 5s <sup>2</sup>	92
41	Nb	[Kr] 4d <sup>4</sup> 5s <sup>1</sup>	93
42	Mo	[Kr] 4d <sup>5</sup> 5s <sup>1</sup>	94
43	Tc	[Kr] 4d <sup>5</sup> 5s <sup>2</sup>	95
44	Ru	[Kr] 4d <sup>7</sup> 5s <sup>1</sup>	96
45	Rh	[Kr] 4d <sup>8</sup> 5s <sup>1</sup>	97
46	Pd	[Kr] 4d <sup>10</sup>	98
47	Ag	[Kr] 4d <sup>10</sup> 5s <sup>1</sup>	99
48	Cd	[Kr] 4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup>	100
49	In	[Kr] 4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>1</sup>	101
50	Sn	[Kr] 4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>2</sup>	102
51	Sb	[Kr] 4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>3</sup>	103
52	Te	[Kr] 4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>4</sup>	104

### [C] आयनों के इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास

एक धनायन (cation) का निर्माण किसी उदासीन परमाणु द्वारा एक या अधिक इलेक्ट्रॉन त्यागने पर तथा ऋणायन (anion) का निर्माण उदासीन परमाणु द्वारा एक या अधिक इलेक्ट्रॉन ग्रहण करने पर होता है। किसी आयन पर उपस्थित धन अथवा ऋण आवेश की संख्या उस आयन के निर्माण की प्रक्रिया में उदासीन परमाणु द्वारा त्यागे अथवा ग्रहण किये गये इलेक्ट्रॉनों की संख्या के बराबर होती है। आयनों के इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास अग्र प्रकार लिखे जाते हैं।

**धनायनों के इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास**—एक धनायन का इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास लिखते समय सम्बन्धित उदासीन परमाणु के इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास से आयन के धनावेश के बराबर इलेक्ट्रॉनों को  $n$  के घटते क्रम में कम कर दिया जाता है, जैसा कि निम्नलिखित उदाहरण से स्पष्ट है—

**Na<sup>+</sup> आयन का इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास**—Na<sup>+</sup> का निर्माण Na परमाणु द्वारा एक इलेक्ट्रॉन त्यागने पर होता है। सोडियम परमाणु की इलेक्ट्रॉनिक संरचना निम्न प्रकार है—

$$\text{Na} (Z = 11) : 1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$$

चूँकि  $\text{Na}^+ = \text{Na} - e^-$ , अतएव Na<sup>+</sup> आयन का इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास निम्नलिखित होगा—

$$\text{Na}^+ : 1s^2 2s^2 2p^6$$

**ऋणायनों के इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास**—ऋणायनों के इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास लिखते समय सम्बन्धित उदासीन परमाणु के कक्ष की उपयुक्त ऑर्बिटलों में आयन के आवेश के बराबर इलेक्ट्रॉन जोड़ दिये जाते हैं, जैसा कि निम्नलिखित उदाहरण से स्पष्ट है—

**O<sup>2-</sup> आयन का इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास**—O<sup>2-</sup> आयन का निर्माण उदासीन ऑक्सीजन परमाणु द्वारा दो इलेक्ट्रॉन ग्रहण करने पर होता है। ऑक्सीजन परमाणु का इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास निम्न प्रकार है—

$$\text{O} (Z = 8) : 1s^2 2s^2 2p_x^2 2p_y^1 2p_z^1$$

चूँकि  $\text{O} + 2e^- = \text{O}^{2-}$ , O<sup>2-</sup> आयन का इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास निम्नलिखित होगा—

$$\text{O}^{2-} : 1s^2 2s^2 2p_x^2 2p_y^2 2p_z^2$$

Bi	[Xe] 4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>3</sup>
Po	[Xe] 4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>4</sup>
At	[Xe] 4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>5</sup>
Rn	[Xe] 4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>6</sup>
Fr	[Rn] 7s <sup>1</sup>
Ra	[Rn] 7s <sup>2</sup>
Ac	[Rn] 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>
Th	[Rn] 6d <sup>2</sup> 7s <sup>2</sup>
Pa	[Rn] 5f <sup>2</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>
U	[Rn] 5f <sup>3</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>
Np	[Rn] 5f <sup>4</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>
Pu	[Rn] 5f <sup>6</sup> 7s <sup>2</sup>
Am	[Rn] 5f <sup>7</sup> 7s <sup>2</sup>
Cm	[Rn] 5f <sup>7</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>
Bk	[Rn] 5f <sup>9</sup> 7s <sup>2</sup>
Cf	[Rn] 5f <sup>10</sup> 7s <sup>2</sup>
Es	[Rn] 5f <sup>11</sup> 7s <sup>2</sup>
Fm	[Rn] 5f <sup>12</sup> 7s <sup>2</sup>
Md	[Rn] 5f <sup>13</sup> 7s <sup>2</sup>
No	[Rn] 5f <sup>14</sup> 7s <sup>2</sup>
Lr	[Rn] 5f <sup>14</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>
Unq	[Rn] 5f <sup>14</sup> 6d <sup>2</sup> 7s <sup>2</sup>



**उदाहरण 2.39.** परमाणु संख्याओं 5, 10, 25, 31 तथा 37 युक्त तत्त्वों के इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास लिखिए।**हल-** तत्त्व ( $Z = 5$ ) :  $1s^2 2s^2 2p_x^1$ तत्त्व ( $Z = 10$ ) :  $1s^2 2s^2 2p_x^2 2p_y^2 2p_z^2$ तत्त्व ( $Z = 25$ ) :  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^2$ तत्त्व ( $Z = 31$ ) :  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p_x^1$ तत्त्व ( $Z = 37$ ) :  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 5s^1$ **उदाहरण 2.40.** निम्नलिखित आयनों के इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास लिखिए-(i)  $H^-$ , (ii)  $Li^+$ , (iii)  $F^-$ , (iv)  $S^{2-}$ , (v)  $Al^{3+}$ , (vi)  $Cr^{3+}$ , (vii)  $Mn^{2+}$ , (viii)  $Fe^{2+}$  और  $Fe^{3+}$ **हल-**(i)  $H (Z = 1) : 1s^1$ चूँकि  $H + e^- = H^-$ , अतएव  $H^- : 1s^2$ (ii)  $Li (Z = 3) : 1s^2 2s^1$ चूँकि  $Li^+ = Li - e^-$ , अतएव  $Li^+ : 1s^2$ (iii)  $F (Z = 9) : 1s^2 2s^2 2p_x^2 2p_y^2 2p_z^1$ चूँकि  $F + e^- = F^-$ , अतएव  $F^- : 1s^2 2s^2 2p_x^2 2p_y^2 2p_z^2$ (iv)  $S (Z = 16) : 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p_x^2 3p_y^1 3p_z^1$ चूँकि  $S + 2e^- = S^{2-}$ , अतएव  $S^{2-} : 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p_x^2 3p_y^2 3p_z^2$ (v)  $Al (Z = 13) : 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p_x^1$ चूँकि  $Al^{3+} = Al - 3e^-$ , अतएव  $Al^{3+} : 1s^2 2s^2 2p^6$ (vi)  $Cr (Z = 24) : 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^1$ चूँकि  $Cr^{3+} = Cr - 3e^-$ , अतएव  $Cr^{3+} : 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^3$ (vii)  $Mn : 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5$  $Mn^{2+} = Mn - 2e^-$ , अतएव  $Mn^{2+} : 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5$ (viii)  $Fe : 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6 4s^2$  $Fe^{2+} = Fe - 2e^-$ , अतएव  $Fe^{2+} : 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6$  $Fe^{3+} = Fe - 3e^-$ , अतएव  $Fe^{3+} : 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5$ **टिप्पणी :** ध्यान दें कि आयन बनाते समय क्रमशः इलेक्ट्रॉन एक-एक करके अधिक  $n$  वाले उपकक्ष से तथा एक ही कक्ष के अधिक  $l$  वाले उपकक्ष से निकाला जाता है।**उदाहरण 2.41** निम्न में प्रत्येक आयन का संक्षिप्त इलेक्ट्रॉन विन्यास लिखकर उनमें अयुग्मित इलेक्ट्रॉनों की संख्या ज्ञात कीजिये।(i)  $Cu^+$ ,(ii)  $Mn^{2+}$ ,(iii)  $Fe^{2+}$ ,(iv)  $Fe^{3+}$ ,(v)  $N^{3-}$ **हल-**(i)  $Cu^+ : [Ar] 3d^{10}$ 

↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓
----	----	----	----	----

अयुग्मित इलेक्ट्रॉन = शून्य

(ii)  $Mn^{2+} : [Ar] 3d^5$ 

↑	↑	↑	↑	↑
---	---	---	---	---

अयुग्मित इलेक्ट्रॉन = पाँच

(iii)  $Fe^{2+} : [Ar] 3d^6$ 

↑↓	↑	↑	↑	↑
----	---	---	---	---

अयुग्मित इलेक्ट्रॉन = चार

(iv)  $Fe^{3+} : [Ar] 3d^5$ 

↑	↑	↑	↑	↑
---	---	---	---	---

अयुग्मित इलेक्ट्रॉन = पाँच

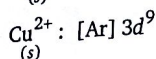
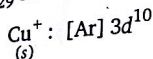
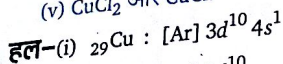
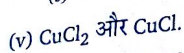
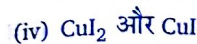
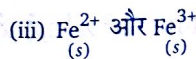
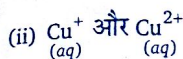
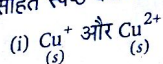
(v)  $N^{3-} : [He] 2s^2 2p^6$ 

↑↓	↑↓	↑↓
----	----	----

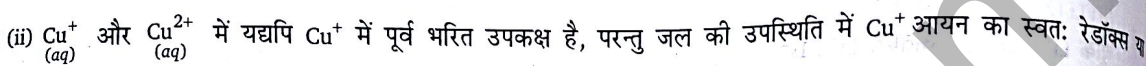
अयुग्मित इलेक्ट्रॉन = शून्य



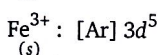
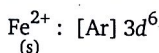
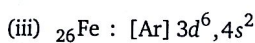
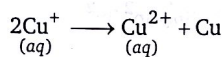
उदाहरण 2.42 निम्न युग्मों में प्रत्येक आयन का संक्षिप्त इलेक्ट्रॉन विन्यास लिखकर उनमें अधिक स्थायित्व रखने वाले आयन का कारण सहित स्पष्ट कीजिये।



$\text{Cu}^+$  पूर्ण भरे होने के कारण  $\text{Cu}^{2+}$  की अपेक्षा अधिक स्थायी होगा।

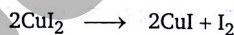


असमानुपात रेडॉक्स हो जाता है। अतः  $\text{Cu}^{2+}$  आयन  $\text{Cu}^+$  की अपेक्षा अधिक स्थायी होता है। इसका कारण आयनों की जलीय ऊष्मा (hydration energy) है।



$\text{Fe}^{3+}$  में अर्द्धभरित उपकक्ष होने के कारण ये  $\text{Fe}^{2+}$  की अपेक्षा अधिक स्थायी होगा।

(iv)  $\text{CuI}_2$  में  $\text{Cu}^{2+}$  आयन है वहीं  $\text{CuI}$  में  $\text{Cu}^+$  आयन है।  $\text{CuI}_2$  में  $\text{Cu}^{2+}$  ऑक्सीकारक तथा  $\text{I}^-$  के तीव्र अभिकारक होने के कारण  $\text{CuI}_2$  रेडॉक्स अभिक्रिया दिखाता है। अतः  $\text{CuI}$  अधिक स्थायी माना जाता है।



(v)  $\text{CuCl}_2$  तथा  $\text{CuCl}$  में  $\text{CuCl}_2$  ही अधिक स्थायी है क्योंकि  $\text{Cl}^-$  की अभिकारक क्षमता  $\text{I}^-$  की अपेक्षा कम होने के कारण  $\text{CuCl}_2$   $\text{CuCl}$  में परिवर्तित नहीं होता।

### [D] चुम्बकीय गुण (Magnetic Properties)

#### अनुचुम्बकीय (Paramagnetism)

वे पदार्थ जिनके अणु, परमाणु अथवा आयनों में अयुग्मित इलेक्ट्रॉन (unpaired electron) पाये जाते हैं, अनुचुम्बकीय (paramagnetic) होते हैं। अयुग्मित इलेक्ट्रॉनों की संख्या जितनी अधिक होती है, अनुचुम्बकीय गुण भी उतना ही अधिक होता है। अनुचुम्बकीय पदार्थ चुम्बकीय क्षेत्र में आकर्षित होते हैं और चुम्बकीय क्षेत्र को हटा लेने पर इनका चुम्बकीय गुण समाप्त हो जाता है। उदाहरणार्थ—Na, K, O

#### प्रतिचुम्बकीय (Diamagnetism)

वे अणु, परमाणु अथवा आयन, जिनमें कोई भी अयुग्मित इलेक्ट्रॉन (unpaired electron) नहीं होता है, प्रतिचुम्बकीय (diamagnetic) होते हैं।

उदाहरणार्थ—NaCl,  $\text{N}_2\text{O}_4$  आदि।

परमाणु र

कैरोचुम

(i)

गुण कुछ

(ii)

उदा

कुल

किस

जहाँ

इलेक्ट्रॉन

इसमें

चुम्ब

यहाँ

उदाहरण

अयुग्मित इ

हल—

25Mn

:

या

:

अतः M

निकालने पर

:

Mn<sup>4+</sup>

उदाहरण

का इलेक्ट्रॉन

हल—

जहाँ n =

अथवा



(i) ऐसे अणु, परमाणु जो ठोस अवस्था में चुम्बकीय क्षेत्र में आकर्षित होते हैं और चुम्बकीय क्षेत्र को हटा लेने पर भी चुम्बकीय गुण कुछ समय के लिए बना रहता है, फैरोचुम्बकीय (ferromagnetic) कहलाते हैं।

(ii) यह गुण द्रव अवस्था (solution state) में नहीं होता है।

उदाहरणार्थ—Fe इत्यादि।

कुल स्पिन तथा स्पिन चुम्बकीय आघूर्ण (Total Spin and Spin Magnetic Moment)

किसी परमाणु का कुल स्पिन ( $s$ ) निम्न सूत्र द्वारा दिया जाता है—

$$s = \frac{1}{2} \times n$$

जहाँ पर ' $n$ ' परमाणु में उपस्थित अयुग्मित इलेक्ट्रॉनों की संख्या है।

इलेक्ट्रॉन का स्पिन चुम्बकीय आघूर्ण (spin magnetic moment) निम्न सूत्र से प्रदर्शित करते हैं।

$$\mu_{\text{effective}} = \sqrt{4s(s+1)}$$

इसमें  $s = \frac{1}{2} \times n$  रखने पर

$$\mu_{\text{effective}} = \sqrt{n(n+2)} \text{ B.M.}$$

चुम्बकीय आघूर्ण ( $\mu$ ) का मान B.M. (Bohr magneton, बोर मैग्नेटॉन) में प्रदर्शित करते हैं।

यहाँ पर  $n$  अयुग्मित इलेक्ट्रॉनों की संख्या है।  $n$  का मान अधिक होने पर चुम्बकीय आघूर्ण ( $\mu$ ) का मान भी अधिक होता है।

$$n = 1 \text{ होने पर } \mu = \sqrt{1(1+2)} = \sqrt{3} = 1.73 \text{ B.M.}$$

$$n = 2 \text{ होने पर } \mu = \sqrt{2(2+2)} = \sqrt{8} = 2.83 \text{ B.M.}$$

$$n = 3 \text{ होने पर } \mu = \sqrt{3(3+2)} = \sqrt{15} = 3.87 \text{ B.M.}$$

$$n = 4 \text{ होने पर } \mu = \sqrt{4(4+2)} = \sqrt{24} = 4.89 \text{ B.M.}$$

**उदाहरण 43.**  $\text{Mn}^{2+}$  की चुम्बकीय आघूर्ण का मान 3.87 B.M. है, अतः मैंगनीज के इस आयन का संकेत, इलेक्ट्रॉनिक विन्यास, अयुग्मित इलेक्ट्रॉनों की संख्या तथा इसमें उपस्थित  $d$ -इलेक्ट्रॉनों की संख्या बताइए।

हल— $_{25}\text{Mn}$  का एक आयन  $\text{Mn}^{2+}$  है।

$_{25}\text{Mn}$  का इलेक्ट्रॉनिक विन्यास :  $[\text{Ar}] 3d^5, 4s^2$

$\text{Mn}^{2+}$  का चुम्बकीय आघूर्ण = 3.87 B.M.

$$\therefore \sqrt{n(n+2)} = 3.87$$

(जहाँ  $n$  अयुग्मित इलेक्ट्रॉनों की संख्या है।)

$$\text{या } n^2 + 2n = 3.87 \times 3.87$$

$$\therefore n = 3$$

अतः  $\text{Mn}^{2+}$  में 3 अयुग्मित इलेक्ट्रॉन होंगे, जो  $_{25}\text{Mn}$  से 4 इलेक्ट्रॉन (2 इलेक्ट्रॉन  $4s$ -कक्षक से तथा 2 इलेक्ट्रॉन  $3d$ -कक्षक से) निकालने पर प्राप्त हो सकते हैं।

$$\therefore \text{Mn}^{4+} = 1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 3d^3 \text{ या } [\text{Ar}] \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 1 & 1 & 1 & \\ \hline \end{array}$$

$\text{Mn}^{4+}$  में  $3d$ -कक्षक में 3 अयुग्मित इलेक्ट्रॉन होंगे।

**उदाहरण 44.** वैनेडियम (V) के एक यौगिक का चुम्बकीय आघूर्ण (magnetic moment) 1.73 B.M. है। इस यौगिक में वैनेडियम आयन का इलेक्ट्रॉनिक विन्यास ज्ञात कीजिए।

हल—

$$\text{चुम्बकीय आघूर्ण} = \sqrt{n(n+2)} \text{ B.M.}$$

जहाँ  $n$  = अयुग्मित इलेक्ट्रॉनों की संख्या है।

अथवा

$$1.73 = \sqrt{n(n+2)} \text{ B.M.}$$

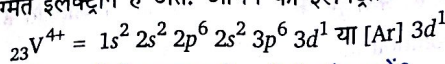


अथवा

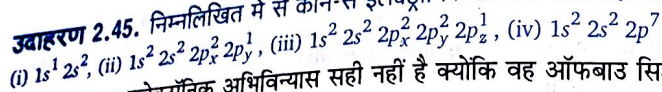
$$1.73 \times 1.73 = n^2 + 2n$$

$$n = 1$$

इस प्रकार वैनेडियम आयन में केवल एक अयुग्मित इलेक्ट्रॉन है अतः आयन का इलेक्ट्रॉनिक विन्यास :



**उदाहरण 2.45.** निम्नलिखित में से कौन-से इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास सही नहीं हैं और क्यों?



**हल-** (i) यह इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास सही नहीं है क्योंकि वह ऑफबाउ सिद्धान्त के अनुरूप नहीं है। इलेक्ट्रॉन 2s-उपकक्ष में तभी प्रवेश कर सकते हैं जबकि 1s-उपकक्ष पूर्ण हो जाये।

(ii) यह इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास सही नहीं है क्योंकि यह हुण्ड के नियम के अनुरूप नहीं है। एक p-ऑर्बिटल में इलेक्ट्रॉन तभी युग्मित हो सकते हैं जब तीनों p-ऑर्बिटल एकल समावेशित हों।

(iii) यह इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास सही है।

(iv) यह इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास सही नहीं है क्योंकि यह पॉली के अपवर्जन के सिद्धान्त के अनुरूप नहीं है। एक p-कक्ष में कभी भी 6 से अधिक इलेक्ट्रॉनों को समावेशित नहीं किया जा सकता है।

## स्वतः मूल्यांकन एवं प्रतियोगी परीक्षा फाइल

### अतिलघु उत्तरीय प्रकार के प्रश्न

Very Short Answer Type Questions

(प्रत्येक प्रश्न 1 अंक का है)

1. उस वैज्ञानिक का नाम बताइए, जिसने द्रव्य की विद्युतीय प्रकृति को दर्शाया।
2. गैस के किस दाब पर विसर्जन नलिका में कैथोड किरणें उत्सर्जित होती हैं?
3. विद्युत क्षेत्र की उपस्थिति में कैथोड किरणों का व्यवहार किस प्रकार का होता है?
4. क्या होता है जब कैथोड किरणों को किसी गैस में से गुजारा जाता है?
5. एक इलेक्ट्रॉन का आवेश, द्रव्यमान तथा  $e/m$  अनुपात बताइए।
6. धनात्मक किरणों में उपस्थित कणों की प्रकृति कैसी होती है?
7.  $\alpha$ ,  $\beta$  तथा  $\gamma$ -किरणों में से किसकी भेदन क्षमता सर्वाधिक है?
8. परमाणु का सर्वप्रथम मॉडल किसने दिया था?
9. बताइए कि  $\alpha$ -कणों को सोने की पतली पन्नी पर गिराने पर लगभग कितने  $\alpha$ -कण  $180^\circ$  के कोण पर विक्षेपित हो जाते हैं?
10. यदि परमाणु के नाभिक को फुटबॉल के आकार का माना जाये तब परमाणु का आकार क्या होगा?
11. उस समीकरण को दीजिए जिसका प्रयोग न्यूट्रॉनों की खोज के लिये किया गया था।
12. परमाणु क्रमांक (Z) तथा द्रव्यमान संख्या (A) परस्पर किस प्रकार सम्बन्धित हैं?
13. क्या समधातकों के रासायनिक गुण समान होते हैं?
14. प्रकाश से सम्बन्धित तरंगों को विद्युतचुम्बकीय तरंगें क्यों कहते हैं?
15. एक तरंग की तरंगदैर्घ्य तथा आवृत्ति को परिभाषित कीजिए।
16. X-किरणों तथा सूक्ष्म तरंगों (microwaves) में से किसकी तरंगदैर्घ्य परास उच्च होती है?
17. सोडियम की रेखाओं  $D_1$  तथा  $D_2$  की तरंगदैर्घ्य बताइए।
18. हाइड्रोजन के स्पेक्ट्रम में ब्रैकेट श्रेणी के लिये कौन-से संक्रमण उत्तरदायी हैं?
19. उस मॉडल का नाम बताइए जो परमाणु के स्थायित्व तथा हाइड्रोजन के स्पेक्ट्रम की सन्तोषजनक व्याख्या करता है।
20. क्या दी-ब्रोग्ली समीकरण के आधार पर पृथ्वी को एक तरंग माना जाना चाहिए?
21.  $\psi^2$  क्या दर्शाता है?
22. 3s-कक्षक में कितने नोडल बिन्दु उपस्थित होते हैं?
23. कौन-सी क्वांटम संख्या  $n$  के मान पर निर्भर नहीं करती है?
24.  $l$  के किसी दिये गये मान के लिये  $m$  के कितने मान सम्भव हैं?
25. 4p-उपकक्षक के भरने के पश्चात् इलेक्ट्रॉन किस उपकक्षक में प्रवेश करते हैं?
26. यदि दो उपकक्षकों के लिये  $(n+l)$  का मान समान हो तो कौन-सा कक्षक पहले भरेगा?
27. मुख्य क्वांटम संख्या  $n$  वाले कक्ष में इलेक्ट्रॉनों की अधिकतम संख्या कितनी हो सकती है?
28. किसी परमाणु के कौन-से कक्षक की ऊर्जा न्यूनतम होती है?
29.  $1s^2 2s^2 2p_x^1$  इलेक्ट्रॉनिक विन्यास वाले परमाणु में कितने इलेक्ट्रॉन उपस्थित हैं?
30. किस परमाणु में  $3d^1$ -उपकक्षक उपस्थित है?

1. माइकेल
3. धनात्मक
4. आयनन
6. धनावेश
7.  $\gamma$ -किरणें
8. जे०जे०ट
9. 20,000
10. यदि फुट
- ऐसे गोले
- होगा।
11.  ${}^4_2\text{He} +$
12.  $A = Z +$
13. नहीं
16. सूक्ष्म तरंगें

1. फैराडे के
2. प्रयोगात्मक
- (a) कैथोड
- (b) कैथोड
- (c) ऐनोड
3. यदि एक इ
- $e = 1.6022$
- कीजिए।
4. कैथोड किर
- किया जाये त
5. प्रोटॉन को अ
- जाता है?
6. किसी रेडियो
- क्षेत्र में से गुज
7.  $\alpha$ ,  $\beta$  तथा  $\gamma$ -कि
8. परमाणु के जे
- मॉडल' (plum
9. परमाणु के द्रव
10. किसी परमाणु
- कीजिए।
11. समस्थानिकों त
12. तरंग संख्या को
- किस प्रकार सम्
13. इनमें से कौन-स



## उत्तर

1. माइकल फैराडे  $2.10^{-2} - 10^{-3}$  मिमी Hg
3. धनात्मक इलेक्ट्रोड की ओर विक्षेपित होंगे।
4. आयनन करेंगे।
6. धनावेशित आयन
7.  $\gamma$ -किरणें
8. जे०जे० टॉमसन
9. 20,000 में से एक
10. यदि फुटबॉल का व्यास लगभग 30 सेमी माना जाये तब परमाणु एक ऐसे गोले के समान दिखेगा जिसका व्यास लगभग 30 किलोमीटर होगा।
11.  ${}^9_4\text{Be} + {}^4_2\text{He} \longrightarrow {}^{12}_6\text{C} + {}^1_0\text{n}$
12.  $A = Z + \text{न्यूट्रॉनों की संख्या}$
13. नहीं
16. सूक्ष्म तरंगें

17. 5890 Å तथा 5896 Å
18.  $n_1 = 4, n_2 = 5, 6, 7, \dots$
19. बोर मॉडल
20. नहीं, क्योंकि पृथ्वी की तरंगदैर्घ्य बहुत छोटी होती है तथा मापन की परास के अन्तर्गत नहीं आती।
21. नाभिक के चारों ओर किसी दिये गये क्षेत्र में इलेक्ट्रॉन के पाये जाने की प्रायिकता
23. s
24.  $2l + 1$
25. 5s
26. जिसके लिये n का मान कम होगा।
27.  $2n^2$
28. 1s
29. 5
30. Sc.

## लघु उत्तरीय प्रकार के प्रश्न

## Short Answer Type Questions

(प्रत्येक प्रश्न 2 या 3 अंक का है)

1. फैराडे के विद्युत-अपघटन सम्बन्धी नियम लिखिए।
2. प्रयोगात्मक तथ्यों द्वारा दर्शाइए कि—  
(a) कैथोड किरणें सीधी रेखा में चलती हैं।  
(b) कैथोड किरणें पदार्थ के कणों की बनी होती हैं।  
(c) ऐनोड किरणें धनावेशित कणों द्वारा निर्मित होती हैं।
3. यदि एक इलेक्ट्रॉन के लिये  $e/m = 1.759 \times 10^8$  कूलॉम ग्राम<sup>-1</sup> तथा  $e = 1.6022 \times 10^{-19}$  कूलॉम है, तब इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान ज्ञात कीजिए।
4. कैथोड किरणें उत्पन्न करने वाली विसर्जन नलिका में क्या परिवर्तन किया जाये ताकि यह ऐनोड किरणें उत्पन्न करने लगे?
5. प्रोटॉन को अवपरमाण्विक कण (subatomic particle) क्यों माना जाता है?
6. किसी रेडियोएक्टिव पदार्थ से उत्पन्न होने वाले विकिरण को विद्युत क्षेत्र में से गुजारने पर क्या होगा?
7.  $\alpha, \beta$  तथा  $\gamma$ -किरणों का फोटोग्राफिक प्लेट पर क्या प्रभाव पड़ता है?
8. परमाणु के जे०जे० टॉमसन मॉडल का वर्णन कीजिए। इसे 'तरबूज मॉडल' (plum pudding model) क्यों कहा जाता है?
9. परमाणु के द्रव्यमान के लिये मुख्यतः कौन-से कण उत्तरदायी हैं?
10. किसी परमाणु के परमाणु क्रमांक तथा द्रव्यमान संख्या को परिभाषित कीजिए।
11. समस्थानिकों तथा समभारिकों को परिभाषित कीजिए।
12. तरंग संख्या को परिभाषित कीजिए। यह आवृत्ति तथा तरंगदैर्घ्य से किस प्रकार सम्बन्धित है?
13. इनमें से कौन-सी विद्युतचुम्बकीय तरंगें नहीं हैं?  
(i)  $\alpha$ -किरणें (ii) रेडियो तरंग  
(iii)  $\beta$ -किरणें (iv) ध्वनि तरंग  
(v) सूक्ष्म तरंग (vi) कॉस्मिक तरंग
14. प्रकाशविद्युत प्रभाव क्या है? आइन्स्टीन की प्रकाशविद्युत समीकरण दीजिए।
15. प्रकाश की द्विक प्रकृति से आप क्या समझते हैं?
16. शब्द 'स्पेक्ट्रम' से आपका क्या अभिप्राय है?
17. उत्सर्जन तथा अवशोषण स्पेक्ट्रम में क्या अन्तर है?
18. हाइड्रोजन के परमाणु स्पेक्ट्रम में कितनी श्रेणियाँ पायी जाती हैं? उनके नाम लिखिए तथा यह भी बताइए कि ये किस स्पेक्ट्रम क्षेत्र के अन्तर्गत आती हैं?
19. रदरफोर्ड के मॉडल की वह मुख्य कमियाँ कौन-सी थीं जिनके कारण इसे अमान्य कर दिया गया?
20. ऊर्जा के क्वाण्टीकरण (quantisation) से क्या अभिप्राय है?
21. किसी इलेक्ट्रॉन कक्ष की ऊर्जा को सदैव ऋणात्मक संख्या से क्यों दर्शाया जाता है?
22. हाइजेनबर्ग का अनिश्चितता का सिद्धान्त बताइए तथा इलेक्ट्रॉन के सम्बन्ध में इससे प्राप्त निष्कर्ष की विवेचना कीजिए।
23. कक्षक से आप क्या समझते हैं? यह कक्ष से किस प्रकार भिन्न है?
24. निम्नलिखित को पूर्णतः परिभाषित करने के लिए कितनी तथा कौन-सी क्वांटम संख्याओं की आवश्यकता होगी?  
(i) एक कक्षक तथा (ii) परमाणु में एक इलेक्ट्रॉन
25. 1s, 2s, 2p<sub>x</sub>, 2p<sub>y</sub> तथा 2p<sub>z</sub> कक्षकों की संरचना बनाइए।
26. हुण्ड के अधिकतम बहुलता के नियम को समझाइए।



## विस्तृत उत्तरीय प्रकार के प्रश्न

### Long Answer Type Questions

(प्रत्येक प्रश्न 5 या अधिक अंक का है)

1. कैथोड किरणें क्या होती हैं? ये किस प्रकार उत्पन्न की जाती हैं? ये किरणें इलेक्ट्रॉनों की खोज में किस प्रकार सहायक रही हैं? एक इलेक्ट्रॉन को अवपरमाण्विक कण क्यों माना जाता है?
2. न्यूट्रॉन की खोज किस प्रकार हुई? न्यूट्रॉनों के महत्वपूर्ण गुणों का वर्णन कीजिए।
3. ऐनोड किरणें क्या हैं? इन किरणों के निर्माण के लिये प्रयुक्त प्रयोग का वर्णन कीजिए। ये किरणें विसर्जन नलिका में किस प्रकार उत्पन्न होती हैं? इन किरणों के गुणों का वर्णन कीजिए।
4. प्रोटॉन क्या है तथा इसकी खोज किस प्रकार हुई? इसे सभी ज्ञात परमाणुओं का आवश्यक अवयव क्यों माना जाता है?
5. रेडियोएक्टिवता क्या है?  $\alpha$ ,  $\beta$  तथा  $\gamma$ -किरणों के गुणों की तुलना कीजिए। परमाणु संरचना के विकास में रेडियोएक्टिवता का क्या योगदान है?
6. रदरफोर्ड के  $\alpha$ -कण विक्षेपण प्रयोग का वर्णन कीजिए। वे कौन-से साक्ष्य हैं जिनके कारण रदरफोर्ड इस निष्कर्ष पर पहुँचे कि—  
(i) परमाणु का अधिकांश भाग खोखला है।  
(ii) नाभिक अत्यधिक भारी तथा धनावेशित होता है।
7. रदरफोर्ड मॉडल को परमाणु का नाभिकीय मॉडल क्यों कहा जाता है? इस मॉडल की विशेषताओं तथा कमियों का उल्लेख कीजिए।
8. स्पष्ट कीजिए, क्यों  
(i) समस्थानिकों के रासायनिक गुण समान होते हैं?  
(ii) समभारिकों को आवर्त सारणी में भिन्न-भिन्न स्थानों पर रखा गया है?  
(iii) किसी आयन में उपस्थित इलेक्ट्रॉनों की संख्या उसके परमाणु क्रमांक से भिन्न होती है?
9. H-परमाणु के लिए बोर मॉडल का वर्णन कीजिए। यह मॉडल हाइड्रोजन परमाणु के स्पेक्ट्रम में विभिन्न रेखाओं की उपस्थिति की व्याख्या किस प्रकार करता है?
10. उन सिद्धान्तों का वर्णन कीजिए जिनके कारण बोर मॉडल को अमान्य कर दिया गया।
11. परमाणु के क्वाण्टम यान्त्रिकी मॉडल में  $\psi$  तथा  $\psi^2$  का क्या महत्व है? कक्षक से क्या अभिप्राय है तथा यह कक्ष से किस प्रकार भिन्न है?
12. क्वांटम संख्याएँ क्या हैं तथा उनसे क्या सूचनाएँ प्राप्त होती हैं? क्वांटम संख्याओं के निम्न समूह वाले इलेक्ट्रॉनों को पहचानिए—  
(i)  $n = 4, l = 1, m = +1, s = +\frac{1}{2}$   
(ii)  $n = 3, l = 0, m = 0, s = -\frac{1}{2}$
13. संक्षिप्त टिप्पणी लिखिए—  
(i) पॉली का अपवर्जन नियम  
(ii) ऑफबाउ सिद्धान्त
14. कक्षक के सम्बन्ध में निम्नलिखित को स्पष्ट कीजिए—  
(i) नोड (ii) नोडल बिन्दु  
(iii) नोडल तल (iv) गोलीय सममित  
(v) उम्ब-बेल आकृति (vi) पूर्ण तथा अर्द्धपूर्ण कक्ष
15. स्पष्ट कीजिए, क्यों  
(i) नाइट्रोजन के  $2p$ -उपकोश में उपस्थित तीनों इलेक्ट्रॉन अयुग्मित रहते हैं?  
(ii) पोटैशियम में 19 वाँ इलेक्ट्रॉन  $3d$ -कक्षक के स्थान पर  $4s$ -कक्षक में प्रवेश करता है?  
(iii) क्रोमियम का बाह्य विन्यास  $3d^5 4s^1$  होता है,  $3d^4 4s^2$  नहीं?  
(iv) जिंक (जस्ते) के इलेक्ट्रॉनिक विन्यास को  $[Ar] 3d^{10} 4s^2$  के रूप में प्रदर्शित किया जा सकता है?

### संकेत एवं हल

8. (i) परमाणु क्रमांक समान होने के कारण  
(ii) परमाणु क्रमांक भिन्न होने के कारण  
(iii) जब किसी उदासीन परमाणु में से इलेक्ट्रॉनों की हानि होती है तब धनायन बनता है तथा जब किसी उदासीन परमाणु में इलेक्ट्रॉनों का योग होता है तब ऋणायन बनता है। अतः किसी आयन में उपस्थित इलेक्ट्रॉनों की संख्या नाभिक में उपस्थित प्रोटॉनों की संख्या (अर्थात् परमाणु क्रमांक) से भिन्न होती है।
12. (i)  $4p_x$  कक्षक में दक्षिणावर्त चक्रणयुक्त  
(ii)  $3s$  कक्षक में वामावर्त चक्रणयुक्त
15. (i) हुण्ड के अधिकतम बहुलता के नियमानुसार  
(ii)  $4s$ -उपकोश की ऊर्जा  $3d$ -उपकोश की ऊर्जा की तुलना में कम होती है।



## वस्तुनिष्ठ प्रकार के प्रश्न

### Objective Type Questions

निम्नलिखित प्रश्नों में सही विकल्प का चयन कीजिए—

- न्यूट्रॉन की खोज बहुत समय पश्चात् हुई। इसका कारण था—  
 (a) न्यूट्रॉनों की नाभिक में उपस्थिति  
 (b) न्यूट्रॉनों का आवेशहीन होना  
 (c) न्यूट्रॉनों का मूलकण होना  
 (d) ये सभी।
- प्रोटॉन के सम्बन्ध में सही कथन कौन-सा है?  
 (a) प्रोटॉन ड्यूटीरियम का नाभिक होता है।  
 (b) प्रोटॉन  $\alpha$ -कण है।  
 (c) प्रोटॉन आयनीकृत हाइड्रोजन अणु है।  
 (d) प्रोटॉन आयनित हाइड्रोजन परमाणु है।
- हाइड्रोजन के रेडियोएक्टिव समस्थानिक में न्यूट्रॉनों की संख्या है—  
 (a) 2 (b) 0  
 (c) 1 (d) 3.
- यदि परमाणु का नाभिक 10 सेमी व्यास वाली एक गेंद के समान बड़ा हो जाये तो परमाणु एक बड़े गोले के समान लगेगा, जिसका व्यास—  
 (a) 10 मीटर होगा (b) 10 किमी होगा  
 (c) 100 किमी होगा (d) 1000 किमी होगा।
- किसी तत्व के एक परमाणु के किन्हीं दो इलेक्ट्रॉनों के लिए सम्भव नहीं है—  
 (a) समान मुख्य क्वांटम संख्या  
 (b) समान दिगंशी क्वांटम संख्या  
 (c) क्वांटम संख्याओं के समान समूह  
 (d) समान चुम्बकीय क्वांटम संख्या।
- क्रोमियम (परमाणु क्रमांक 24) में अयुग्मित इलेक्ट्रॉनों की संख्या है—  
 (a) 2 (b) 3  
 (c) 5 (d) 6.
- किसी तत्व का परमाणु क्रमांक दर्शाता है—  
 (a) नाभिक में इलेक्ट्रॉनों की संख्या  
 (b) नाभिक में न्यूट्रॉनों की संख्या  
 (c) नाभिक में प्रोटॉनों की संख्या  
 (d) तत्व की संयोजकता।
- यदि किसी तत्व की द्रव्यमान संख्या  $W$  तथा परमाणु संख्या  $N$  हो तब—  
 (a)  ${}_{-1}e^0$  की संख्या  $= W - N$   
 (b)  ${}^1_1H$  की संख्या  $= W - N$   
 (c)  ${}^1_0n$  की संख्या  $= W - N$   
 (d)  ${}^1_0n$  की संख्या  $= N$ .
- $H^-$  का इलेक्ट्रॉनिक विन्यास है—  
 (a)  $1s^0$  (b)  $1s^1$   
 (c)  $1s^2$  (d)  $1s^1 2s^1$ .
- चुम्बकीय क्वांटम संख्या दर्शाती है—  
 (a) कक्षकों का आकार  
 (b) कक्षकों की आकृति  
 (c) त्रिआयाम में कक्षकों का अभिविन्यास  
 (d) नाभिकीय स्थायित्व।
- जब  $n = 2$  तब  $m$  के मान होंगे—  
 (a) 1 मान (b) 3 मान  
 (c) 4 मान (d) 7 मान।
- क्लोरीन परमाणु के अयुग्मित इलेक्ट्रॉन के लिये क्वांटम संख्याओं का सही समूह है—  

	$n$	$l$	$m$
(a)	2	1	0
(b)	2	1	1
(c)	3	1	1
(d)	3	0	0.
- क्वाण्टम संख्याओं के दिये गये समूहों में से कौन-सा सिद्धान्त के अनुरूप नहीं है?  
 (a)  $n = 3, l = 2, m = -3, s = +\frac{1}{2}$   
 (b)  $n = 4, l = 3, m = 3, s = +\frac{1}{2}$   
 (c)  $n = 2, l = 1, m = 0, s = -\frac{1}{2}$   
 (d)  $n = 4, l = 3, m = 2, s = +\frac{1}{2}$ .
- निम्नलिखित में से कौन-से एक-दूसरे के समइलेक्ट्रॉनिक स्पीशीज हैं?  
 (a)  $Na^+$  तथा  $Ne$  (b)  $K^+$  तथा  $O$   
 (c)  $Ne$  तथा  $O$  (d)  $Na^+$  तथा  $K^+$ .
- द्रव्यमान संख्या 70 युक्त द्विधनात्मक जिंक आयन में न्यूट्रॉनों की कुल संख्या है—  
 (a) 34 (b) 40  
 (c) 36 (d) 38.
- एक  $p$ -कक्षक में समावेशित हो सकते हैं—  
 (a) 4 इलेक्ट्रॉन  
 (b) 6 इलेक्ट्रॉन  
 (c) समान चक्रण वाले 2 इलेक्ट्रॉन  
 (d) विपरीत चक्रण वाले 2 इलेक्ट्रॉन।



17. मूल अवस्था में इलेक्ट्रॉनों के वितरण के लिये कौन-सा वितरण सही नहीं है?

- (a) Co [Ar]  $\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow\uparrow\uparrow\uparrow\uparrow$   $\uparrow\downarrow$   
 (b) Ni [Ar]  $\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow\uparrow\uparrow$   $\uparrow\downarrow$   
 (c) Cu [Ar]  $\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow\uparrow\uparrow$   $\uparrow\downarrow$   
 (d) Zn [Ar]  $\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow$   $\uparrow\downarrow$

18. हाइड्रोजन परमाणु में किस इलेक्ट्रॉन संक्रमण के लिये सर्वाधिक ऊर्जा की आवश्यकता होगी?

- (a)  $n = 1$  से  $n = 2$  (b)  $n = 2$  से  $n = 3$   
 (c)  $n = \infty$  से  $n = 1$  (d)  $n = 3$  से  $n = 5$ .

19. 200 ग्राम की क्रिकेट की एक गेंद को  $3 \times 10^3$  सेमी/सेकण्ड के वेग से फेंका गया। इसकी डे-ब्रोगली तरंगदैर्घ्य क्या होगी?

- (a)  $1.1 \times 10^{-32}$  सेमी (b)  $2.2 \times 10^{-32}$  सेमी  
 (c)  $0.55 \times 10^{-32}$  सेमी (d)  $11.0 \times 10^{-32}$  सेमी।

20. किसी परमाणु में ऊर्जा स्तरों के लिये निम्नलिखित में से कौन-सा एक कथन सत्य है?

- (a) मुख्य ऊर्जा स्तरों की संख्या 7 होती है।  
 (b) द्वितीय मुख्य ऊर्जा स्तर में चार उप-ऊर्जा स्तर होते हैं जिनमें इलेक्ट्रॉनों की अधिकतम संख्या 8 होती है।  
 (c) M ऊर्जा स्तर में अधिकतम 32 इलेक्ट्रॉन हो सकते हैं।  
 (d) 4s उप-ऊर्जा स्तर की ऊर्जा 3d उप-ऊर्जा स्तर की अपेक्षा उच्च होती है।

21. निम्न में कौन-सा ऊर्जा स्तर हाइड्रोजन परमाणु को फोटॉन अवशोषित करने की अनुमति प्रदान करता है, लेकिन फोटॉन को उत्सर्जित करने की नहीं?

- (a) 3s (b) 2p  
 (c) 1s (d) 3d

22. किसी इलेक्ट्रॉन के M से L कोश में संक्रमण पर उत्पन्न स्पेक्ट्रम होता है—

- (a) अवशोषण (b) उत्सर्जन  
 (c) X-किरण (d) सतत।

23. तृतीय बोर कक्ष की ऊर्जा है—

- (a) -13.6 eV (b) -3.4 eV  
 (c) -1.5 eV (d) इनमें से कोई नहीं।

24. यदि प्रथम बोर कक्ष में इलेक्ट्रॉन का वेग  $x$  है तब तृतीय कक्ष में इलेक्ट्रॉन का वेग होगा—

- (a)  $x/9$  (b)  $x/3$   
 (c)  $3x$  (d)  $9x$ .

25. एक आयन के बाह्यतम कोश में 18 इलेक्ट्रॉन उपस्थित हैं। यह आयन है—

- (a)  $\text{Cu}^+$  (b)  $\text{Th}^{4+}$   
 (c)  $\text{Cs}^+$  (d)  $\text{K}^+$ .

26. निम्नलिखित में से कौन-सा कथन सत्य नहीं है?

- (a) Cr का इलेक्ट्रॉनिक विन्यास  $[\text{Ar}] 3d^5 4s^1$  है (Cr का परमाणु क्रमांक = 24)।  
 (b) चुम्बकीय क्वांटम संख्या का मान ऋणात्मक भी हो सकता है।  
 (c) सिल्वर परमाणु में 23 इलेक्ट्रॉनों का चक्रण एक प्रकार का होता है तथा 24 इलेक्ट्रॉनों का चक्रण उनसे विपरीत प्रकार का होता है (Ag का परमाणु क्रमांक = 47)।  
 (d)  $\text{N}_3\text{H}$  में नाइट्रोजन की ऑक्सीकरण अवस्था -3 है।

27. निम्नलिखित इलेक्ट्रॉनों को उनकी क्वांटम संख्याओं  $n$  तथा  $l$  के द्वारा दर्शाया गया है (i)  $n = 4, l = 1$ , (ii)  $n = 4, l = 0$ , (iii)  $n = 3, l = 2$ , (iv)  $n = 3, l = 1$ , इन्हें इनकी ऊर्जा के बढ़ते क्रम में व्यवस्थित करने पर निम्न क्रम प्राप्त होता है—

- (a) (iv) < (ii) < (iii) < (i)  
 (b) (ii) < (iv) < (i) < (iii)  
 (c) (i) < (iii) < (ii) < (iv)  
 (d) (iii) < (i) < (iv) < (ii).

(I.I.T., 1999)

28. नाइट्रोजन परमाणु के मूल अवस्था में इलेक्ट्रॉनिक विन्यास को निम्न प्रकार दर्शाया जा सकता है—

- (a)  $\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow\uparrow\uparrow\uparrow$   
 (b)  $\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow\uparrow$   
 (c)  $\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow\downarrow$   
 (d)  $\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow\downarrow$

29. एक  $p_x$ -कक्षक में नोडल तलों की संख्या है—

- (a) 1 (b) 2  
 (c) 3 (d) 0. (I.I.T. Screening, 2000)

30. एक तत्व का इलेक्ट्रॉनिक विन्यास  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^1$  है। यह दर्शाता है, इसकी—

- (a) उत्तेजित अवस्था  
 (b) मूल अवस्था  
 (c) धनायनिक अवस्था  
 (d) ऋणायनिक अवस्था।

(I.I.T. Screening, 2000)

31. इलेक्ट्रॉन चक्रण  $+\frac{1}{2}$  तथा  $-\frac{1}{2}$  के सम्बन्ध में निम्नलिखित में से कौन-सा कथन सत्य है? ये दो संख्याएँ—

- (a) इलेक्ट्रॉन के क्रमशः दक्षिणावर्त तथा वामावर्त घूर्णन को दर्शाती हैं  
 (b) इलेक्ट्रॉन के क्रमशः वामावर्त तथा दक्षिणावर्त घूर्णन को दर्शाती हैं  
 (c) ऊपर तथा नीचे की दिशा में चुम्बकीय आघूर्ण को दर्शाती हैं  
 (d) दो क्वांटम यान्त्रिकी अवस्थाओं को दर्शाती हैं जिनका पारम्परिक यान्त्रिकी (classical mechanics) सादृश्य (analogue) नहीं है।

(I.I.T. Screening, 2001)



32. 200 ग्राम की गोल्फ गेंद का वेग 5.0 मीटर प्रति घण्टा है। इस गेंद की तरंगदैर्घ्य निम्नलिखित कोटि की होगी—  
 (a)  $10^{-10}$  मीटर (b)  $10^{-20}$  मीटर  
 (c)  $10^{-30}$  मीटर (d)  $10^{-4}$  मीटर.
33. मूल अवस्था में H-परमाणु की ऊर्जा  $-13.6$  eV है अतः द्वितीय उत्तेजित अवस्था में ऊर्जा होगी—  
 (a)  $-6.8$  eV (b)  $-3.4$  eV  
 (c)  $-1.51$  eV (d)  $-4.53$  eV. (I.I.T. Screening, 2001)
34. त्रिआयाम में 25 ग्राम के एक कण की स्थिति में अनिश्चितता  $10^{-5}$  मीटर है। अतः इसके वेग (मी से $^{-1}$ ) में अनिश्चितता है— (प्लांक स्थिरांक,  $h = 6.6 \times 10^{-34}$  जूल-सेकण्ड)  
 (a)  $2.1 \times 10^{-28}$  (b)  $2.1 \times 10^{-34}$   
 (c)  $0.5 \times 10^{-34}$  (d)  $5.0 \times 10^{-24}$ . (A.I.E.E.E., 2002)
35. हाइड्रोजन स्पेक्ट्रम की रेखाओं की बामर श्रेणी में लाल छोर (सिरे) से तीसरी रेखा हाइड्रोजन परमाणु के बोर कक्षों में इलेक्ट्रॉन की किस अन्तः-कक्षक संक्रमण को दर्शाती है?  
 (a)  $3 \rightarrow 2$  (b)  $5 \rightarrow 2$   
 (c)  $4 \rightarrow 1$  (d)  $2 \rightarrow 5$ . (A.I.E.E.E., 2003)
36. 10 मीटर/सेकण्ड के वेग से गति करती हुई 60 ग्राम की टेनिस की गेंद की डे-ब्रोगली तरंगदैर्घ्य है लगभग— (प्लांक नियतांक,  $h = 6.63 \times 10^{-34}$  जूल-सेकण्ड)  
 (a)  $10^{-33}$  मीटर (b)  $10^{-31}$  मीटर  
 (c)  $10^{-16}$  मीटर (d)  $10^{-25}$  मीटर। (A.I.E.E.E., 2003)
37. किसी कक्ष में गति करते हुए इलेक्ट्रॉन का कोणीय संवेग निम्न व्यंजक द्वारा दिया जाता है :  $\sqrt{l(l+1)} \cdot \frac{h}{2\pi}$  अतः एक s-इलेक्ट्रॉन का संवेग होगा—  
 (a)  $+\frac{1}{2} \cdot \frac{h}{2\pi}$  (b) शून्य  
 (c)  $\frac{h}{2\pi}$  (d)  $\sqrt{2} \cdot \frac{h}{2\pi}$ . (A.I.E.E.E., 2003)
38. 4f-कक्षक में उपस्थित एक इलेक्ट्रॉन के लिए क्वाण्टम संख्याओं का कौन-सा समूह सही है?  
 (a)  $n = 4, l = 3, m = +4, s = +\frac{1}{2}$   
 (b)  $n = 4, l = 4, m = -4, s = -\frac{1}{2}$   
 (c)  $n = 4, l = 3, m = +1, s = +\frac{1}{2}$   
 (d)  $n = 3, l = 2, m = -2, s = +\frac{1}{2}$ . (A.I.E.E.E., 2004)
39. क्रोमियम परमाणु ( $Z = 24$ ) की मूल अवस्था में दिगंशी क्वांटम संख्याएँ  $l = 1$  तथा  $l = 2$  युक्त इलेक्ट्रॉनों की संख्या क्रमशः हैं—  
 (a) 12 तथा 4 (b) 12 तथा 5  
 (c) 16 तथा 4 (d) 16 तथा 5. (A.I.E.E.E., 2004)
40. एक हाइड्रोजन परमाणु में इलेक्ट्रॉन के अनन्त से स्थिर अवस्था 1 में आने पर उत्सर्जित विकिरण की तरंगदैर्घ्य होगी— (रिड्बर्ग स्थिरांक  $= 1.097 \times 10^7$  मीटर $^{-1}$ )  
 (a) 91 नैनोमीटर (b) 192 नैनोमीटर  
 (c) 406 नैनोमीटर (d)  $9.1 \times 10^{-8}$  नैनोमीटर। (A.I.E.E.E., 2004)
41. एक बहु-इलेक्ट्रॉनिक परमाणु में तीन क्वांटम संख्याओं द्वारा दर्शाये गये निम्नलिखित में से कौन-से कक्षकों की ऊर्जा चुम्बकीय तथा विद्युत क्षेत्रों की अनुपस्थिति में समान होगी?  
 (A)  $n = 1, l = 0, m = 0$  (B)  $n = 2, l = 0, m = 0$   
 (C)  $n = 2, l = 1, m = 1$  (D)  $n = 3, l = 2, m = 1$   
 (E)  $n = 3, l = 2, m = 0$   
 (a) (D) तथा (E) (b) (C) तथा (D)  
 (c) (B) तथा (C) (d) (A) तथा (B). (A.I.E.E.E., 2005)
42. 300 मीटर सेकण्ड $^{-1}$  के वेग, जो 0.001% तक यथार्थ है, से गति करते हुए एक इलेक्ट्रॉन (द्रव्यमान  $= 9.1 \times 10^{-31}$  किग्रा) की स्थिति में अनिश्चितता है— ( $h = 6.63 \times 10^{-34}$  जूल सेकण्ड)  
 (a)  $19.2 \times 10^{-2}$  मीटर (b)  $5.76 \times 10^{-2}$  मीटर  
 (c)  $1.92 \times 10^{-2}$  मीटर (d)  $3.84 \times 10^{-2}$  मीटर। (A.I.E.E.E., 2006)
43. निम्नलिखित में से क्वाण्टम संख्याओं का कौन-सा समूह परमाणु में इलेक्ट्रॉन की उच्चतम ऊर्जा को दर्शाता है?  
 (a)  $n = 3, l = 1, m = 1, s = +\frac{1}{2}$   
 (b)  $n = 3, l = 2, m = 1, s = +\frac{1}{2}$   
 (c)  $n = 4, l = 0, m = 0, s = +\frac{1}{2}$   
 (d)  $n = 3, l = 0, m = 0, s = +\frac{1}{2}$ . (A.I.E.E.E., 2007)
44. निम्नलिखित में से कौन-सा एक समइलेक्ट्रॉनिक स्पीशीजों का समूह है?  
 (a)  $C_2^{2-}, O_2^{2-}, CO, NO$   
 (b)  $NO^+, C_2^{2-}, CN^-, N_2$   
 (c)  $CN^-, N_2, O_2^{2-}, C_2^{2-}$   
 (d)  $N_2, O_2^-, NO^+, CO$ . (A.I.E.E.E., 2008)
45. हाइड्रोजन परमाणु की आयनन एन्थैल्पी  $1.312 \times 10^6$  जूल मोल $^{-1}$  है। हाइड्रोजन परमाणु में इलेक्ट्रॉन को  $n = 1$  से  $n = 2$  में उत्तेजित करने के लिए आवश्यक ऊर्जा है—  
 (a)  $8.51 \times 10^5$  जूल मोल $^{-1}$   
 (b)  $6.56 \times 10^5$  जूल मोल $^{-1}$   
 (c)  $7.56 \times 10^5$  जूल मोल $^{-1}$   
 (d)  $9.84 \times 10^5$  जूल मोल $^{-1}$ . (A.I.E.E.E., 2008)



3.  ${}^3_1\text{H}$
15.  $\text{Zn}^{2+}$  में न्यूट्रॉनों की संख्या  $\text{Zn}$  के समान होती है।
18. समीकरण (2.24) का प्रयोग करके गणना करें।
19.  $\lambda = \frac{h}{mv}$
21. इसकी न्यूनतम ऊर्जा के कारण
23.  $E_n = -\frac{13.6}{n^2} \text{ eV}$
24.  $v_n = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{2\pi Ze^2}{nh}$
33. (c); H-परमाणु के लिए,  $E_n = -\frac{13.6}{n^2} \text{ eV}$ , द्वितीय उत्तेजित अवस्था के लिए  $n = 3$ , अतः  

$$E_3 = -\frac{13.6}{(3)^2} = -\frac{13.6}{9} = -1.51 \text{ eV}$$
34.  $\Delta x \cdot \Delta v \geq \frac{h}{4\pi m}$   

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

$$= \frac{6.6 \times 10^{-34}}{4 \times 3.14 \times 25 \times 10^{-3} \times 10^{-5}}$$

$$= 2.1 \times 10^{-28} \text{ मीटर सेकण्ड}^{-1}$$
35. बायर श्रेणी में लाल सिरे से तीसरी रेखा  $n_2 = 5 \rightarrow n_1 = 2$  संक्रमण के संगत होती है।
36.  $\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{60 \times 10^{-3} \times 10} = 1.1 \times 10^{-33} \text{ मीटर} \approx 10^{-33} \text{ मीटर}$
37. एक s-इलेक्ट्रॉन के लिए,  $l = 0$   

$$\therefore L = \sqrt{l(l+1)} \cdot \frac{h}{2\pi} = \sqrt{0(0+1)} \cdot \frac{h}{2\pi} = 0$$
38. एक 4f-इलेक्ट्रॉन के लिए,  $n = 4$ ,  $l = 0, 1, 2, 3$ ,  $m = -3$  से  $+3$  के मध्य का कोई भी मान तथा  $s = +\frac{1}{2}$  या  $-\frac{1}{2}$
39.  $r$  का मूल अवस्था में इलेक्ट्रॉनिक विन्यास  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^1$  है।  
 $l = 1$  (p-उपकोश) वाले इलेक्ट्रॉनों की संख्या  
 $= 6 (2p^6 \text{ में}) + 6 (3p^6 \text{ में}) = 12$

40.  $\bar{v} = \frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$   

$$= 1.097 \times 10^7 \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{\infty^2} \right)$$

$$\lambda = \frac{1}{1.097 \times 10^7} = 9.11 \times 10^{-8} \text{ मीटर}$$
41. वे उपकोश जिनमें दिये गये इलेक्ट्रॉन उपस्थित हैं; निम्न प्रकार हैं—  
 (A): 1s, (B): 2s, (C): 2p, (D): 3d, (E): 3d  
 चूँकि (D) तथा (E) समान उपकोश में उपस्थित हैं, अतः विद्युत तथा चुम्बकीय क्षेत्रों की अनुपस्थिति में इनकी ऊर्जा समान होगी।
42.  $\Delta x \cdot \Delta v \geq \frac{h}{4\pi m}$ ;  $\Delta v = \frac{300 \times 0.001}{100}$   

$$= 0.003 \text{ मीटर सेकण्ड}^{-1}$$

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

$$= \frac{6.63 \times 10^{-34}}{4 \times 3.14 \times 9.1 \times 10^{-31} \times 0.003}$$

$$= 1.93 \times 10^{-2} \text{ मीटर}$$
43.  $(n+l)$  का मान कम होने पर उपकोश की ऊर्जा कम होती है।  
 इलेक्ट्रॉन (a) के लिए,  $n+l = 3+1 = 4$   
 इलेक्ट्रॉन (b) के लिए,  $n+l = 3+2 = 5$   
 इलेक्ट्रॉन (c) के लिए,  $n+l = 4+0 = 4$   
 इलेक्ट्रॉन (d) के लिए,  $n+l = 3+0 = 3$   
 इलेक्ट्रॉन (b) के लिए  $n+l$  का मान अधिकतम है, अतः इसकी ऊर्जा अधिकतम होगी।
44.  $\text{NO}^+$ ,  $\text{C}_2^{2-}$ ,  $\text{CN}^-$  तथा  $\text{N}_2$  प्रत्येक में 14 इलेक्ट्रॉन उपस्थित हैं।
45.  $E_n = \frac{1.312 \times 10^6}{n^2} \text{ जूल मोल}^{-1}$   
 $\Delta E = E_2 - E_1$ 

$$= 1.312 \times 10^6 \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right)$$

$$= 1.312 \times 10^6 \times \frac{3}{4} \text{ जूल मोल}^{-1}$$

$$= 9.84 \times 10^5 \text{ जूल मोल}^{-1}$$



## 'सत्य/असत्य' प्रकार के प्रश्न

'True or False' Type Questions

बताइए कि निम्नलिखित कथन सत्य (T) हैं अथवा असत्य (F) हैं—

- विसर्जन नलिका में ली गयी गैस पर  $10^{-1}$  वायुमण्डल दाब पर उच्च वोल्टेज प्रवाहित करने पर यह चमक उत्पन्न करती है।
- कैथोड किरणों के विसर्जन नलिका की दीवार से टकराने पर प्रतिदीप्ति (fluorescence) उत्पन्न होती है।
- कैथोड किरणों का  $e/m$  मान विसर्जन नलिका में ली गयी गैस की प्रकृति पर निर्भर करता है।
- कैनाल किरणें सीधी रेखा में गति करती हैं।
- रेडियोएक्टिवता के प्रक्रम में नाभिक के चारों ओर गति करने वाले इलेक्ट्रॉन  $\beta$ -किरणों के रूप में उत्सर्जित होते हैं।
- $\alpha$ -किरणों की आयनन क्षमता अधिकतम होती है।
- $\alpha$ -कण विक्षेपण प्रयोग में अधिकांश कण सोने की पतली पन्नी से टकराकर वापस लौट आते हैं।
- किसी आयन का परमाणु क्रमांक उसमें उपस्थित इलेक्ट्रॉनों की संख्या के समान होता है।
- प्रतीक  ${}^3_1\text{H}$  दर्शाता है कि दिये गये हाइड्रोजन परमाणु की द्रव्यमान संख्या 3 तथा परमाणु क्रमांक 1 है।
- समभारिकों के रासायनिक गुण समान होते हैं।
- सभी प्रकार की तरंगें प्रकृति में विद्युतचुम्बकीय होती हैं।
- किसी विकिरण की आवृत्ति,  $v = c/\lambda$ ।
- विकिरण ऊर्जा फोटॉनों के रूप में सतत् रूप से उत्सर्जित या अवशोषित होती है।
- परमाणु स्पेक्ट्रा में स्पष्ट पृथक् रेखाएँ होती हैं।
- किसी परमाणु में इलेक्ट्रॉनों का कोणीय संवेग क्वांटिकृत होता है।
- बोर मॉडल परमाणु के स्थायित्व की व्याख्या करने में असमर्थ है।
- लाइमन श्रेणी के संगत संक्रमणों में निहित तरंगदैर्घ्य अत्यधिक दीर्घ होती है।
- इलेक्ट्रॉन न तो एक कण है तथा न ही एक तरंग।
- पृथ्वी की स्थिति तथा वेग को एक साथ काफी सही रूप में ज्ञात किया जा सकता है।
- एक कक्षक में ऐसे एक या अधिक क्षेत्र हो सकते हैं जहाँ इलेक्ट्रॉन के पाये जाने की प्रायिकता शून्य हो।

### उत्तर

- |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1. F  | 2. T  | 3. F  | 4. T  | 5. F  | 6. T  | 7. F  | 8. F  | 9. T  | 10. F |
| 11. F | 12. F | 13. F | 14. T | 15. T | 16. F | 17. F | 18. F | 19. T | 20. T |

## 'रिक्त स्थानों को भरिए' प्रकार के प्रश्न

'Fill in the Blanks' Type Questions

- विद्युत-अपघटन के दौरान किसी इलेक्ट्रोड पर उत्पन्न हुए पदार्थ की मात्रा विलयन में प्रवाहित ..... के समानुपाती होती है।
- ..... धातुओं से टकराने पर कैथोड किरणें ..... उत्पन्न करती हैं।
- इलेक्ट्रॉन पर आवेश की गणना सर्वप्रथम ..... ने ..... में ..... प्रयोग द्वारा की थी।
- प्रोटॉन का वास्तविक द्रव्यमान ..... ग्राम है।
- किसी परमाणु का सम्पूर्ण द्रव्यमान तथा धनावेश इसके ..... में केन्द्रित होता है।
- ऊर्जा की निश्चित (discrete) मात्राओं वाले प्रकाश विकिरण ..... कहलाते हैं।
- विद्युतचुम्बकीय स्पेक्ट्रम में  $\gamma$ -किरणों से रेडियो तरंगों की ओर चलने पर आवृत्ति ..... है।
- किसी परमाणु के  $2p_x$ ,  $2p_y$  तथा  $2p_z$  कक्षकों की आकृति समान होती है परन्तु इनके ..... भिन्न होते हैं।
- एक कक्षक में अधिकतम ..... इलेक्ट्रॉन हो सकते हैं।
- बोर मॉडल के हास के कारण इलेक्ट्रॉन का पथ ..... होता है।
- अनिश्चितता सिद्धान्त तथा द्रव्य की तरंग प्रकृति का सिद्धान्त क्रमशः ..... तथा ..... ने दिया था।
- संक्रमण के दौरान इलेक्ट्रॉन द्वारा अवशोषित या उत्सर्जित ऊर्जा सदैव ..... होती है।
- चुम्बकीय क्षेत्र के अन्तर्गत स्पेक्ट्रम रेखाओं का विपाटन ..... कहलाता है तथा इसे ..... क्वाण्टम संख्या द्वारा स्पष्ट किया जा सकता है।
- परमाणु तथा अणु में इलेक्ट्रॉनों के तरंग फलन ..... कहलाते हैं।
- अनन्त दूरी पर तरंग फलन का ग्राह्य मान (acceptable value) ..... तथा ..... होना चाहिए।
- मुख्य क्वांटम संख्या इलेक्ट्रॉन के ..... को दर्शाती है।
- $l$  के मान ..... के मान पर निर्भर करते हैं।
- $n = 3$  तथा  $l = 2$  युक्त एक इलेक्ट्रॉन ..... उपकोश से सम्बन्धित है।
- एक  $f$ -उपकोश में ..... कक्षक होते हैं।
- $6s$ -उपकोश की ऊर्जा  $4f$ -उपकोश की तुलना में ..... होती है।



कथन	कारण
1. विद्युत क्षेत्र की उपस्थिति में कैनाल किरणें ऋणात्मक इलेक्ट्रोड की ओर विचलित होती हैं।	कैनाल किरणें इलेक्ट्रॉनों द्वारा निर्मित, होती हैं जो ऋणावेशित होते हैं।
2. $\alpha$ -कण विक्षेपण प्रयोग के दौरान लगभग 99% $\alpha$ -कण अत्यधिक कोणों पर विचलित हो जाते हैं।	परमाणु का नाभिक धनावेशित होने के कारण धनावेशित $\alpha$ -कणों को प्रतिकर्षित करता है।
3. सभी प्रकार के विद्युतचुम्बकीय विकिरणों का वेग समान होता है।	विद्युतचुम्बकीय विकिरण की प्रकृति द्विक होती है अर्थात् ये कण तथा तरंग दोनों के गुण दर्शाते हैं।
4. उत्तेजित या अनउत्तेजित होते समय इलेक्ट्रॉन सदैव निश्चित आवृत्तियों वाले विकिरण को अवशोषित या उत्सर्जित करता है।	ऊर्जा क्वाण्टीकृत होती है।
5. किसी परमाणु के M कोश में 18 से अधिक इलेक्ट्रॉन नहीं हो सकते।	इस कोश के लिए चारों क्वाण्टम संख्याओं के कुल 18 समूह सम्भव हैं।
6. परमाणु में विभिन्न उपकोशों को भरते समय इलेक्ट्रॉन 4p-उपकोश में जाने से पहले 3d-उपकोश में प्रवेश करते हैं।	इलेक्ट्रॉन जितना हो सके उतना अयुग्मित रहने को वरीयता देते हैं।



परमाणु संरचना

$n = 2$  कक्ष से एक इलेक्ट्रॉन को पूर्णतया पृथक् करने के लिए आवश्यक ऊर्जा की गणना कीजिए। इस संक्रमण के लिए प्रकाश की दीर्घतम (longest) तरंगदैर्घ्य क्या होगी?

[उत्तर :  $5.425 \times 10^{-12}$  अर्ग,  $3664 \text{ \AA}$ ]

8. एक इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान  $9.1 \times 10^{-31}$  किग्रा है। यदि इसकी गतिज ऊर्जा  $3.0 \times 10^{-25}$  जूल हो तो इसकी तरंगदैर्घ्य की गणना कीजिए।

[उत्तर :  $8967 \text{ \AA}$ ]

9.  $3.0 \times 10^4$  सेमी सेकण्ड<sup>-1</sup> के वेग (जो 0.001% तक यथार्थ है) से गति करते हुए एक इलेक्ट्रॉन की स्थिति में अनिश्चितता की गणना कीजिए। (इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान =  $9.1 \times 10^{-28}$  ग्राम)

[उत्तर : 1.9 सेमी]

10. किसी कण की स्थिति तथा वेग में अनिश्चितता क्रमशः  $10^{-10}$  मीटर तथा  $5.27 \times 10^{-24}$  मीटर सेकण्ड<sup>-1</sup> है। कण के द्रव्यमान की गणना कीजिए। ( $h = 6.625 \times 10^{-34}$  जूल सेकण्ड)

[उत्तर : 0.1 किग्रा]

11.  $250 \times 10^{-9}$  मीटर तरंगदैर्घ्ययुक्त एक फोटॉन की ऊर्जा जूल में कितनी होगी?

[उत्तर :  $7.951 \times 10^{-19}$  जूल]

12. हाइड्रोजन स्पेक्ट्रम के किस संक्रमण की तरंगदैर्घ्य  $\text{He}^+$  स्पेक्ट्रम के  $n = 4$  से  $n = 2$  बामर संक्रमण की तरंगदैर्घ्य के समान होगी?

[उत्तर :  $n = 2$  से  $n = 1$ ]

13. H-परमाणु के आयनन विभव की गणना कीजिए।

[उत्तर : 13.59 eV]

14.  $\text{He}^+$  की आयनन ऊर्जा  $19.6 \times 10^{-12}$  जूल/परमाणु है।  $\text{Li}^{2+}$  की प्रथम स्थिर अवस्था की ऊर्जा की गणना कीजिए।

[उत्तर :  $-4.41 \times 10^{-11}$  जूल/परमाणु]

15. हाइड्रोजन परमाणु के प्रथम तथा द्वितीय बोर कक्ष की ऊर्जाओं का अन्तर ज्ञात कीजिए। किस न्यूनतम परमाणु क्रमांक पर  $n = 2$  से  $n = 1$  ऊर्जा स्तर में संक्रमण के फलस्वरूप  $\lambda = 3 \times 10^{-8}$  मीटर वाली X-किरणें उत्सर्जित होंगी? यह परमाणु क्रमांक कौन-सी हाइड्रोजन सदृश स्पीशीज का है?

[उत्तर :  $1.63 \times 10^{-11}$  अर्ग,  $Z = 2$ ,  $\text{He}^+$ ]

## हल

1. (i) 14 ग्राम  $^{14}\text{C}$  में परमाणुओं की संख्या =  $6.022 \times 10^{23}$

$\therefore$  7 मिग्रा  $^{14}\text{C}$  में परमाणुओं की संख्या

$$= \frac{6.022 \times 10^{23}}{14} \times \frac{7}{1000} = 3.012 \times 10^{20}$$

$^{14}\text{C}$  की द्रव्यमान संख्या (A) = 14,

$^{14}\text{C}$  का परमाणु क्रमांक (Z) = 6

$\therefore$   $^{14}\text{C}$  के एक परमाणु में न्यूट्रॉनों की संख्या =  $14 - 6 = 8$

$\therefore$   $^{14}\text{C}$  के 7 मिग्रा में न्यूट्रॉनों की संख्या =  $8 \times 3.012 \times 10^{20}$   
 $= 24.096 \times 10^{20}$

(ii) एक न्यूट्रॉन का द्रव्यमान =  $1.675 \times 10^{-27}$  किग्रा

$^{14}\text{C}$  के 7 मिग्रा में उपस्थित न्यूट्रॉनों का द्रव्यमान

$$= 24.096 \times 10^{20} \times 1.675 \times 10^{-27}$$

$$= 4.036 \times 10^{-6} \text{ किग्रा।} \quad \text{उत्तर}$$

2. माना, Hg परमाणु का व्यास  $x$  सेमी है। चूँकि Hg परमाणु को एक घन माना गया है जिसकी भुजा की लम्बाई Hg के व्यास के बराबर है, अतः Hg के एक परमाणु द्वारा घेरा गया आयतन  $x^3$  होगा।

Hg के एक परमाणु का द्रव्यमान =  $\frac{200}{6.022 \times 10^{23}}$  ग्राम

(Hg का परमाणु द्रव्यमान = 200)

$$\text{घनत्व} = \frac{\text{द्रव्यमान}}{\text{आयतन}}$$

$$13.6 = \frac{200}{\frac{6.022 \times 10^{23}}{x^3}}$$

$$x^3 = \frac{200}{6.022 \times 10^{23}} \times \frac{1}{13.6}$$

या

या  $x = 2.90 \times 10^{-8}$  सेमी

अतः मरकरी के एक परमाणु का व्यास  $2.90 \times 10^{-8}$  सेमी है।

उत्तर

3.  $v = 1 \times 10^5$  मैगाहर्ट्ज =  $1 \times 10^{11}$  हर्ट्ज

प्रकाश का वेग ( $c$ ) =  $3 \times 10^8$  मीटर सेकण्ड<sup>-1</sup>

चूँकि,  $c = v\lambda$

$$\therefore \lambda = \frac{c}{v} = \frac{3 \times 10^8}{1 \times 10^{11}} = 3 \times 10^{-3} \text{ मीटर। उत्तर}$$

4. आइन्स्टीन की प्रकाशविद्युत समीकरण के अनुसार,

$$h\nu = W + \frac{1}{2}mv^2$$

$$\text{दी गयी स्थिति में, } v = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{4 \times 10^{-7}} = 7.5 \times 10^{14} \text{ हर्ट्ज}$$

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ जूल सेकण्ड}$$

$$W = 2.13 \text{ eV}$$

$$= 2.13 \times 1.602 \times 10^{-19} \text{ जूल}$$

$$= 3.41 \times 10^{-19} \text{ जूल}$$

$$(\because 1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ जूल})$$

$\therefore$  फोटॉन की गतिज ऊर्जा

$$= \frac{1}{2}mv^2 = h\nu - W$$

$$= 6.626 \times 10^{-34} \times 7.5 \times 10^{14} - 3.41 \times 10^{-19}$$

$$= 1.56 \times 10^{-19} \text{ जूल}$$

$$= 0.974 \text{ इलेक्ट्रॉन वोल्ट}$$

$$\text{पुनः गतिज ऊर्जा} = \frac{1}{2}mv^2$$



- $n = 2$  कक्ष से एक इलेक्ट्रॉन को पूर्णतया पृथक् करने के लिए आवश्यक ऊर्जा की गणना कीजिए। इस संक्रमण के लिए प्रकाश की दीर्घतम (longest) तरंगदैर्घ्य क्या होगी?
- [उत्तर :  $5.425 \times 10^{-12}$  अर्ग,  $3664 \text{ \AA}$ ]
8. एक इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान  $9.1 \times 10^{-31}$  किग्रा है। यदि इसकी गतिज ऊर्जा  $3.0 \times 10^{-25}$  जूल हो तो इसकी तरंगदैर्घ्य की गणना कीजिए। [उत्तर :  $8967 \text{ \AA}$ ]
9.  $3.0 \times 10^4$  सेमी सेकण्ड<sup>-1</sup> के वेग (जो 0.001% तक यथार्थ है) से गति करते हुए एक इलेक्ट्रॉन की स्थिति में अनिश्चितता की गणना कीजिए। (इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान =  $9.1 \times 10^{-28}$  ग्राम)
- [उत्तर : 1.9 सेमी]
10. किसी कण की स्थिति तथा वेग में अनिश्चितता क्रमशः  $10^{-10}$  मीटर तथा  $5.27 \times 10^{-24}$  मीटर सेकण्ड<sup>-1</sup> है। कण के द्रव्यमान की गणना कीजिए। ( $h = 6.625 \times 10^{-34}$  जूल सेकण्ड)
- [उत्तर : 0.1 किग्रा]

11.  $250 \times 10^{-9}$  मीटर तरंगदैर्घ्ययुक्त एक फोटॉन की ऊर्जा जूल में कितनी होगी? [उत्तर :  $7.951 \times 10^{-19}$  जूल]
12. हाइड्रोजन स्पेक्ट्रम के किस संक्रमण की तरंगदैर्घ्य  $\text{He}^+$  स्पेक्ट्रम के  $n = 4$  से  $n = 2$  बामर संक्रमण की तरंगदैर्घ्य के समान होगी? [उत्तर :  $n = 2$  से  $n = 1$ ]
13. H-परमाणु के आयनन विभव की गणना कीजिए। [उत्तर : 13.59 eV]
14.  $\text{He}^+$  की आयनन ऊर्जा  $19.6 \times 10^{-12}$  जूल/परमाणु है।  $\text{Li}^{2+}$  की प्रथम स्थिर अवस्था की ऊर्जा की गणना कीजिए। [उत्तर :  $-4.41 \times 10^{-11}$  जूल/परमाणु]
15. हाइड्रोजन परमाणु के प्रथम तथा द्वितीय बोर कक्ष की ऊर्जाओं का अन्तर ज्ञात कीजिए। किस न्यूनतम परमाणु क्रमांक पर  $n = 2$  से  $n = 1$  ऊर्जा स्तर में संक्रमण के फलस्वरूप  $\lambda = 3 \times 10^{-8}$  मीटर वाली X-किरणें उत्सर्जित होंगी? यह परमाणु क्रमांक कौन-सी हाइड्रोजन सदृश स्पीशीज का है? [उत्तर :  $1.63 \times 10^{-11}$  अर्ग,  $Z = 2$ ,  $\text{He}^+$ ]

## हल

1. (i) 14 ग्राम  $^{14}\text{C}$  में परमाणुओं की संख्या =  $6.022 \times 10^{23}$   
 $\therefore$  7 मिग्रा  $^{14}\text{C}$  में परमाणुओं की संख्या
- $$= \frac{6.022 \times 10^{23}}{14} \times \frac{7}{1000} = 3.012 \times 10^{20}$$

$^{14}\text{C}$  की द्रव्यमान संख्या (A) = 14,

$^{14}\text{C}$  का परमाणु क्रमांक (Z) = 6

$\therefore$   $^{14}\text{C}$  के एक परमाणु में न्यूट्रॉनों की संख्या =  $14 - 6 = 8$

$\therefore$   $^{14}\text{C}$  के 7 मिग्रा में न्यूट्रॉनों की संख्या =  $8 \times 3.012 \times 10^{20}$   
 $= 24.096 \times 10^{20}$

(ii) एक न्यूट्रॉन का द्रव्यमान =  $1.675 \times 10^{-27}$  किग्रा

$^{14}\text{C}$  के 7 मिग्रा में उपस्थित न्यूट्रॉनों का द्रव्यमान  
 $= 24.096 \times 10^{20} \times 1.675 \times 10^{-27}$   
 $= 4.036 \times 10^{-6}$  किग्रा। उत्तर

2. माना, Hg परमाणु का व्यास  $x$  सेमी है। चूँकि Hg परमाणु को एक घन माना गया है जिसकी भुजा की लम्बाई Hg के व्यास के बराबर है, अतः Hg के एक परमाणु द्वारा घेरा गया आयतन  $x^3$  होगा।

Hg के एक परमाणु का द्रव्यमान =  $\frac{200}{6.022 \times 10^{23}}$  ग्राम

(Hg का परमाणु द्रव्यमान = 200)

घनत्व =  $\frac{\text{द्रव्यमान}}{\text{आयतन}}$

$$13.6 = \frac{200 \cdot}{x^3} \cdot \frac{6.022 \times 10^{23}}{6.022 \times 10^{23}}$$

$$x^3 = \frac{200}{6.022 \times 10^{23}} \times \frac{1}{13.6}$$

या  $x = 2.90 \times 10^{-8}$  सेमी  
 अतः मरकरी के एक परमाणु का व्यास  $2.90 \times 10^{-8}$  सेमी है। उत्तर

3.  $v = 1 \times 10^5$  मैगाहर्ट्ज =  $1 \times 10^{11}$  हर्ट्ज  
 प्रकाश का वेग (c) =  $3 \times 10^8$  मीटर सेकण्ड<sup>-1</sup>  
 चूँकि,  $c = v\lambda$

$$\lambda = \frac{c}{v} = \frac{3 \times 10^8}{1 \times 10^{11}} = 3 \times 10^{-3} \text{ मीटर। उत्तर}$$

4. आइन्स्टीन की प्रकाशविद्युत समीकरण के अनुसार,

$$h\nu = W + \frac{1}{2}mv^2$$

$$\therefore \text{दी गयी स्थिति में, } v = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{4 \times 10^{-7}} = 7.5 \times 10^{14} \text{ हर्ट्ज}$$

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ जूल सेकण्ड}$$

$$W = 2.13 \text{ eV}$$

$$= 2.13 \times 1.602 \times 10^{-19} \text{ जूल}$$

$$= 3.41 \times 10^{-19} \text{ जूल}$$

$$(\because 1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ जूल})$$

$\therefore$  फोटॉन की गतिज ऊर्जा

$$= \frac{1}{2}mv^2 = h\nu - W$$

$$= 6.626 \times 10^{-34} \times 7.5 \times 10^{14} - 3.41 \times 10^{-19}$$

$$= 1.56 \times 10^{-19} \text{ जूल}$$

$$= 0.974 \text{ इलेक्ट्रॉन वोल्ट}$$

$$\text{पुनः गतिज ऊर्जा} = \frac{1}{2}mv^2$$

या



152

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

$$= \left( \frac{2 \times 1.56 \times 10^{-19}}{9.108 \times 10^{-31}} \right)^{1/2}$$

(इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान =  $9.108 \times 10^{-31}$  किग्रा)  
 $= 5.85 \times 10^5$  मीटर सेकण्ड<sup>-1</sup>

अतः निकलने वाले इलेक्ट्रॉन की गतिज ऊर्जा 0.974 eV ( $1.56 \times 10^{-19}$  जूल) तथा वेग  $5.85 \times 10^5$  मी से<sup>-1</sup> है। उत्तर

5. हाइड्रोजन परमाणु में किसी संक्रमण के लिए,

$$\bar{\nu} = 109677 \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \text{ सेमी}^{-1}$$

दी गयी स्थिति में,  $n_1 = 1, n_2 = 3$

$$\therefore \bar{\nu} = 109677 \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{3^2} \right) = 97490.7 \text{ सेमी}^{-1}$$

चूँकि,  $v = c\bar{\nu}$  तथा  $\lambda = \frac{1}{\bar{\nu}}$

$$\text{अतः स्पेक्ट्रमी रेखा की आवृत्ति} = c\bar{\nu} = 3 \times 10^{10} \times 97490.7$$

$$= 2.92472 \times 10^{15} \text{ सेकण्ड}^{-1}$$

स्पेक्ट्रमी रेखा की तरंगदैर्घ्य,

$$\lambda = \frac{1}{\bar{\nu}} = \frac{1}{97490.7}$$

$$= 1.02573 \times 10^{-5} \text{ सेमी}$$

$$= 1025.73 \text{ \AA}$$

उत्तर

6. हाइड्रोजन परमाणु में किसी संक्रमण के लिए,

$$\bar{\nu} = R \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

दी गयी स्थिति में,  $R = 1.09678 \times 10^7$  मीटर<sup>-1</sup>,

$$n_1 = 1, n_2 = \infty$$

$$\therefore \bar{\nu} = 1.09678 \times 10^7 \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{\infty^2} \right)$$

$$= 1.09678 \times 10^7 \text{ मीटर}^{-1}$$

चूँकि,  $\lambda = \frac{1}{\bar{\nu}}$

अतः दिये गये संक्रमण की तरंगदैर्घ्य,

$$= \frac{1}{1.09678 \times 10^7}$$

$$= 9.11759 \times 10^{-8} \text{ मीटर}$$

इस संक्रमण में उत्सर्जित विकिरण की ऊर्जा,

$$= hv = hc\bar{\nu}$$

$$= 6.626 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8 \times 1.09678 \times 10^7$$

$$= 2.180 \times 10^{-18} \text{ जूल।}$$

7.  $n^{\text{th}}$  कोश में इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा का व्यंजक है—

$$E_n = -\frac{21.7 \times 10^{-12}}{n^2} \text{ अर्ग}$$

$$\therefore E_2 = -\frac{21.7 \times 10^{-12}}{2^2} = -5.425 \times 10^{-12} \text{ अर्ग}$$

$$\text{तथा } E_\infty = -\frac{21.7 \times 10^{-12}}{\infty^2} = 0$$

अतः  $n = 2$  कक्ष से एक इलेक्ट्रॉन को निकालने के लिए आवश्यक ऊर्जा अर्थात्,

$$\Delta E = E_\infty - E_2 = 0 - (-5.425 \times 10^{-12})$$

$$= 5.425 \times 10^{-12} \text{ अर्ग}$$

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

$$\text{या } \lambda = \frac{hc}{\Delta E} = \frac{6.626 \times 10^{-27} \times 3 \times 10^{10}}{5.425 \times 10^{-12}}$$

$$= 3.664 \times 10^{-5} \text{ सेमी} = 3664 \text{ \AA}$$

8. गतिज ऊर्जा =  $\frac{1}{2}mv^2$

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

$$= \left( \frac{2 \times 3 \times 10^{-25}}{9.1 \times 10^{-31}} \right)^{1/2} = 811.99 \text{ मी से}^{-1}$$

अतः तरंगदैर्घ्य,

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.626 \times 10^{-34}}{9.1 \times 10^{-31} \times 811.99}$$

$$= 8.967 \times 10^{-7} \text{ मीटर} = 8967 \text{ \AA}$$

9. हाइजेनबर्ग के अनिश्चितता के सिद्धान्त के अनुसार,

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

दिया है, वेग 0.001% यथार्थता के साथ मापा गया है, अतः वेग में अनिश्चितता,

$$\Delta v = 3.0 \times 10^4 \times \frac{0.001}{100} = 0.30 \text{ सेमी से}^{-1}$$

$$\Delta x \geq \frac{h}{4\pi m} \cdot \frac{1}{\Delta v} \geq \frac{6.626 \times 10^{-27}}{4 \times 3.14 \times 9.1 \times 10^{-28} \times 0.30}$$

$$\geq 1.9 \text{ सेमी}$$

अतः इलेक्ट्रॉन की स्थिति में अनिश्चितता 1.9 सेमी है।

उत्तर



परमाणु संरचना

10. हाइड्रोजनबर्ग के अनिश्चितता के सिद्धान्त के अनुसार,

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

दिया गया है,

$$\Delta x = 10^{-10} \text{ मीटर}, \Delta v = 5.27 \times 10^{-24} \text{ मीटर सेकण्ड}^{-1}$$

$$h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ जूल सेकण्ड}$$

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

$$\approx \frac{6.625 \times 10^{-34}}{4 \times 3.14 \times 10^{-10} \times 5.27 \times 10^{-24}} \approx 0.1 \text{ किग्रा}$$

अतः दिये गये कण का द्रव्यमान लगभग 0.1 किग्रा है।

11. फोटॉन की ऊर्जा का व्यंजक निम्नलिखित है—

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

दिया है,  $\lambda = 250 \times 10^{-9} \text{ मीटर}$ ,  $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ जूल सेकण्ड}$ ,  
 $c = 3 \times 10^8 \text{ मीटर सेकण्ड}^{-1}$

$$E = \frac{6.626 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{250 \times 10^{-9}}$$

$$= 7.951 \times 10^{-19} \text{ जूल।}$$

12. H तथा H-सदृश परमाणुओं के लिए  $n^{\text{th}}$  कोश की ऊर्जा

$$E_n = -\frac{2.178 \times 10^{-18} Z^2}{n^2} \text{ जूल/परमाणु}$$

$\text{He}^+ (Z=2)$  आयन के लिए  $n=4$  से  $n=2$  संक्रमण में उत्सर्जित ऊर्जा,

$$\Delta E = E_4 - E_2$$

$$= -\frac{2.178 \times 10^{-18} \times 4}{4^2} - \left( -\frac{2.178 \times 10^{-18} \times 4}{2^2} \right)$$

$$= 2.178 \times 10^{-18} \times 4 \left( \frac{1}{4} - \frac{1}{16} \right)$$

$$= 1.633 \times 10^{-18} \text{ जूल/परमाणु}$$

इस ऊर्जा के संगत तरंगदैर्घ्य,

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E} = \frac{6.626 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{1.633 \times 10^{-18}} \quad \left( \because \Delta E = \frac{hc}{\lambda} \right)$$

$$= 1.217 \times 10^{-7} \text{ मीटर}$$

यह तरंगदैर्घ्य, पराबैंगनी (ultraviolet) क्षेत्र के अन्तर्गत आती है जहाँ हाइड्रोजन के स्पेक्ट्रम की लाइमन श्रेणी दिखायी देती है। लाइमन श्रेणी के लिए  $n_1 = 1$  है। अतः H में किसी उच्च स्तर से  $n=1$  स्तर में संक्रमण इस तरंगदैर्घ्य के संगत होना चाहिए। माना, यह उच्च ऊर्जा स्तर  $n_2$  है।

153

तब H स्पेक्ट्रम के लिए,

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

दिया गया है,  $n_1 = 1$ ,  $R = 1.0974 \times 10^7 \text{ मीटर}^{-1}$ ,

$$\lambda = 1.217 \times 10^{-7} \text{ मीटर}$$

$$\therefore \frac{1}{1.217 \times 10^{-7}} = 1.0974 \times 10^7 \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

या

$$n_2 = 1.9951 = 2$$

अतः हाइड्रोजन के स्पेक्ट्रम में  $n=2$  से  $n=1$  संक्रमण की तरंगदैर्घ्य  $\text{He}^+$  स्पेक्ट्रम में  $n=4$  से  $n=2$  संक्रमण की तरंगदैर्घ्य के समान होगी।

उत्तर

13. H में उपस्थित केवल एक इलेक्ट्रॉन  $n=1$  कोश में उपस्थित होता है। इलेक्ट्रॉन को  $n=\infty$  स्तर तक ले जाने के लिए आवश्यक ऊर्जा आयनन ऊर्जा कहलाती है। अतः H की आयनन ऊर्जा

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

H में  $n^{\text{th}}$  कोश की ऊर्जा

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

(C.G.S. प्रणाली में)

$$E_\infty = -\frac{2\pi^2 me^4}{(\infty)^2 h^2} = 0$$

$$\text{तथा } E_1 = -\frac{2 \times (3.14)^2 \times (9.108 \times 10^{-28}) \times (4.803 \times 10^{-10})^4}{1^2 \times (6.626 \times 10^{-27})^2}$$

$$= -2.177 \times 10^{-11} \text{ अर्ग} = -2.177 \times 10^{-18} \text{ जूल}$$

$$\text{अतः } \Delta E = E_\infty - E_1 = 0 - (-2.177 \times 10^{-18})$$

$$= 2.177 \times 10^{-18} \text{ जूल}$$

इलेक्ट्रॉन वोल्ट (eV) में व्यक्त की गयी आयनन ऊर्जा आयनन विभव कहलाती है। अतः

$$\text{H का आयनन विभव} = \frac{2.177 \times 10^{-18}}{1.602 \times 10^{-19}}$$

$$(1 \text{ इलेक्ट्रॉन वोल्ट} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ जूल})$$

$$= 13.59 \text{ इलेक्ट्रॉन वोल्ट।}$$

उत्तर

14. H सदृश परमाणुओं के लिए  $n^{\text{th}}$  स्तर की ऊर्जा,

$$E_n = -\frac{2\pi^2 me^4 Z^2}{n^2 h^2} \quad (\text{C.G.S. प्रणाली में})$$

$$\text{He}^+ \text{ के लिए } n=1, Z=2 \text{ तथा } E_\infty - E_1 \text{ (आयनन ऊर्जा)}$$

$$= 19.6 \times 10^{-12} \text{ जूल/परमाणु}$$

$$\therefore 19.6 \times 10^{-12} = E_\infty - E_1$$



$$= 0 - \left( \frac{2\pi^2 me^4 (2)^2}{(1)^2 h^2} \right)$$

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

हल करने पर,  $\frac{2\pi^2 me^4}{h^2} = \frac{19.6 \times 10^{-12}}{4}$  जूल/परमाणु

$\text{Li}^{2+}$  के लिए  $n = 1, Z = 3$ , अतः प्रथम स्तर की ऊर्जा

$$E_1 = -\frac{2\pi^2 me^4}{h^2} \times \frac{1}{n^2} \times Z^2$$

$$= -\frac{19.6 \times 10^{-12}}{4} \times \frac{1}{1^2} \times (3)^2$$

$$= -4.41 \times 10^{-11} \text{ जूल/परमाणु।}$$

15. H में  $n^{\text{th}}$  स्तर की ऊर्जा,

$$E_n = -\frac{2\pi^2 me^4}{n^2 h^2} \quad (\text{C.G.S. प्रणाली में})$$

अतः प्रथम तथा द्वितीय कक्षों की ऊर्जा में अन्तर,

उत्तर

## एन० सी० ई० आर० टी० प्रश्न

### NCERT Questions

- (i) एक ग्राम भार में इलेक्ट्रॉनों की संख्या का परिकलन कीजिए।  
(ii) एक मोल इलेक्ट्रॉनों के द्रव्यमान और आवेश का परिकलन कीजिए।

हल—(i) एक इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान  $= 9.1094 \times 10^{-31} \text{ kg}$   
 $= 9.1094 \times 10^{-28} \text{ g}$

$$\therefore \text{एक ग्राम भार में इलेक्ट्रॉनों की संख्या} = \frac{1}{9.1094 \times 10^{-28}}$$

$$= 1.098 \times 10^{27}$$

उत्तर

(ii) एक मोल इलेक्ट्रॉन में उपस्थित इलेक्ट्रॉनों की संख्या  
 $= 6.022 \times 10^{23}$

एक इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान  $= 9.1094 \times 10^{-31} \text{ kg}$

एक इलेक्ट्रॉन पर आवेश  $= 1.6022 \times 10^{-19} \text{ C}$

$$\therefore \text{एक मोल इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान}$$

$$= 9.1094 \times 10^{-31} \times 6.022 \times 10^{23}$$

$$= 5.48 \times 10^{-7} \text{ kg}$$

$$\text{एक मोल इलेक्ट्रॉन का आवेश}$$

$$= 1.6022 \times 10^{-19} \times 6.022 \times 10^{23}$$

$$= 9.65 \times 10^4 \text{ C}$$

उत्तर

- (i) मेथेन के एक मोल में उपस्थित इलेक्ट्रॉनों की संख्या का परिकलन कीजिए।  
(ii) 7 mg  $^{14}\text{C}$  में न्यूट्रॉनों की (a) कुल संख्या और (b) कुल द्रव्यमान ज्ञात कीजिए।  
(न्यूट्रॉन का द्रव्यमान  $= 1.675 \times 10^{-27} \text{ kg}$  मान लीजिए)

$$\Delta E = E_2 - E_1 = \frac{2\pi^2 me^4}{h^2} \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right)$$

$$= \frac{2 \times (3.14)^2 \times 9.108 \times 10^{-28} \times (4.803 \times 10^{-10})^4}{(6.626 \times 10^{-27})^2}$$

$$= 1.63 \times 10^{-11} \text{ अर्ग}$$

रिडबर्ग समीकरण के अनुसार, एक परमाणु का परमाणु क्रमांक (Z)  $\bar{\nu}$  से निम्न प्रकार सम्बन्धित है—

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = RZ^2 \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

दिया है—  $\lambda = 3 \times 10^{-8} \text{ मीटर} = 3 \times 10^{-6} \text{ सेमी}$   
 $R = 109677 \text{ सेमी}^{-1}, n_1 = 1, n_2 = 2$

$$\therefore \frac{1}{3 \times 10^{-6}} = 109677 \times Z^2 \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right)$$

या  $Z = 2.013 = 2$

अतः यह परमाणु क्रमांक  $\text{He}^+$  का है।

(iii) मानक ताप और दाब (S.T.P) पर 34 mg  $\text{NH}_3$  में प्रोटॉनों की (a) कुल संख्या और (b) कुल द्रव्यमान बताइए।  
दाब और ताप में परिवर्तन से क्या उत्तर परिवर्तित हो जाएगा?

हल—(i)  $\text{CH}_4$  के एक अणु में उपस्थित इलेक्ट्रॉनों की संख्या  
 $= 6 + (1 \times 4) = 10$

मेथेन के एक मोल में  $6.022 \times 10^{23}$  अणु होते हैं।

अतः मेथेन के एक मोल में उपस्थित कुल इलेक्ट्रॉनों की संख्या  
 $= 10 \times 6.022 \times 10^{23}$   
 $= 6.022 \times 10^{24}$

(ii) (a)  $^{14}\text{C}$  (14 g) के एक मोल में  $6.022 \times 10^{23}$  परमाणु उपस्थित हैं।

$$\therefore 7 \text{ mg } (0.007 \text{ g}) ^{14}\text{C} \text{ में उपस्थित परमाणुओं की संख्या}$$

$$= \frac{6.022 \times 10^{23}}{14} \times 0.007 = 3.01 \times 10^{20}$$

$^{14}\text{C}$  के एक परमाणु में 8 न्यूट्रॉन होते हैं।

$$\therefore 7 \text{ mg } ^{14}\text{C} \text{ में न्यूट्रॉनों की संख्या} = 3.01 \times 10^{20} \times 8$$

$$= 2.4088 \times 10^{21}$$

$$(b) 7 \text{ mg } ^{14}\text{C} \text{ में उपस्थित न्यूट्रॉनों का द्रव्यमान}$$

$$= 2.4088 \times 10^{21} \times 1.675 \times 10^{-27}$$

$$= 4.034 \times 10^{-6} \text{ kg}$$

(iii) (a)  $\text{NH}_3$  के एक अणु में प्रोटॉनों की संख्या  
 $= 7 + (1 \times 3) = 10$



## परमाणु संरचना

S.T.P पर 1 मोल अमोनिया (17 g) में  $6.022 \times 10^{23}$  अणु उपस्थित रहते हैं।

$$\therefore 34 \text{ mg (0.034g) अमोनिया में उपस्थित अणुओं की संख्या} = \frac{6.022 \times 10^{23}}{17} \times 0.034$$

$$= 1.2044 \times 10^{21}$$

अतः 34 mg अमोनिया में प्रोटॉनों की संख्या

$$= 1.2044 \times 10^{21} \times 10$$

$$= 1.2044 \times 10^{22}$$

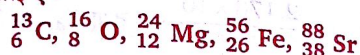
(b) 34 mg अमोनिया में प्रोटॉनों का कुल द्रव्यमान उत्तर

$$= 1.2044 \times 10^{22} \times 1.67262 \times 10^{-27}$$

$$= 2.0145 \times 10^{-5} \text{ kg}$$

(1 प्रोटॉन का द्रव्यमान =  $1.67262 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ) गणना किये गये मानों पर ताप एवं दाब में परिवर्तन का कोई प्रभाव नहीं पड़ता है। उत्तर

3. निम्नलिखित नाभिकों में उपस्थित न्यूट्रॉनों और प्रोटॉनों की संख्या बताइए :



हल-

स्पीशीज	परमाणु क्रमांक (Z)	द्रव्यमान संख्या (A)	प्रोटॉनों की संख्या (Z)	न्यूट्रॉनों की संख्या (A - Z)
${}^{13}_6\text{C}$	6	13	6	13 - 6 = 7
${}^{16}_8\text{O}$	8	16	8	16 - 8 = 8
${}^{24}_{12}\text{Mg}$	12	24	12	24 - 12 = 12
${}^{56}_{26}\text{Fe}$	26	56	26	56 - 26 = 30
${}^{88}_{38}\text{Sr}$	38	88	38	88 - 38 = 50

उत्तर

4. नीचे दिए गये परमाणु द्रव्यमान (A) और परमाणु संख्या (Z) वाले परमाणुओं का पूर्ण प्रतीक लिखिए :

$$(i) Z = 17, A = 35, \quad (ii) Z = 92, A = 233,$$

$$(iii) Z = 4, A = 9.$$

$$\text{हल-(i) } {}^{35}_{17}\text{Cl}, (ii) {}^{233}_{92}\text{U}, (iii) {}^9_4\text{Be}$$

उत्तर

5. सोडियम लैम्प द्वारा उत्सर्जित पीले प्रकाश की तरंगदैर्घ्य ( $\lambda$ ) 580 nm है। इसकी आवृत्ति ( $\nu$ ) और तरंग संख्या ( $\bar{\nu}$ ) का परिकलन कीजिए।

$$\text{हल-}\lambda = 580 \text{ nm} = 580 \times 10^{-9} \text{ m}, c = 3.0 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3.0 \times 10^8}{580 \times 10^{-9}} = 5.17 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$$

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{580 \times 10^{-9}} = 1.72 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$$

उत्तर

6. प्रत्येक ऐसे फोटॉन की ऊर्जा ज्ञात कीजिए-

(i) जो  $3 \times 10^{15} \text{ Hz}$  आवृत्ति वाले प्रकाश के संगत हो।

(ii) जिसकी तरंगदैर्घ्य 0.50 Å हो।

$$\text{हल- (i) } E = h\nu = 6.626 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{15}$$

$$= 1.988 \times 10^{-18} \text{ J}$$

उत्तर

$$(ii) \lambda = 0.50 \text{ Å} = 0.50 \times 10^{-10} \text{ m}$$

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.626 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{0.50 \times 10^{-10}} = 3.98 \times 10^{-15} \text{ J}$$

उत्तर

7.  $2.0 \times 10^{-10} \text{ s}$  काल (period) वाली प्रकाश की तरंगदैर्घ्य, आवृत्ति और तरंग संख्या की गणना कीजिए।

$$\text{हल-आवृत्ति } (\nu) = \frac{1}{\text{काल}} = \frac{1}{2.0 \times 10^{-10}} = 5.0 \times 10^9 \text{ s}^{-1}$$

$$\text{तरंगदैर्घ्य } (\lambda) = \frac{c}{\nu} = \frac{3.0 \times 10^8}{5 \times 10^9} = 6.0 \times 10^{-2} \text{ m.}$$

$$\text{तरंग संख्या } (\bar{\nu}) = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{6.0 \times 10^{-2}} = 16.67 \text{ m}^{-1}$$

उत्तर

8. ऐसा प्रकाश, जिसकी तरंगदैर्घ्य 4000 pm हो और जो 1 J ऊर्जा दे, के फोटॉन की संख्या बताइए।

$$\text{हल-}\lambda = 4000 \text{ pm} = 4000 \times 10^{-12} \text{ m}$$

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3.0 \times 10^8}{4000 \times 10^{-12}} = 7.5 \times 10^{16} \text{ s}^{-1}$$

एक फोटॉन से सम्बन्धित ऊर्जा,  $E = h\nu$

$$= 6.626 \times 10^{-34} \times 7.5 \times 10^{16}$$

$$= 4.97 \times 10^{-17} \text{ J}$$

$$(\because h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J s})$$

अतः प्रोटॉन की वह संख्या जो 1 J ऊर्जा उत्पन्न करती है

$$= \frac{1}{4.97 \times 10^{-17}} = 2.01 \times 10^{16}$$

उत्तर

9. यदि  $4 \times 10^{-7} \text{ m}$  तरंगदैर्घ्य 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 ( $1 \text{ eV} = 1.6020 \times 10^{-19} \text{ J}$ )।

हल-आइन्स्टीन की प्रकाश वैद्युतीय समीकरण के अनुसार,

$$h\nu = W + \frac{1}{2}mv^2$$

इसी स्थिति में,

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{4 \times 10^{-7}} = 7.5 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$$

$$W = 2.13 \text{ eV} = 2.13 \times 1.6020 \times 10^{-19} \text{ J} = 3.41 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$m = \text{इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान} = 9.109 \times 10^{-31} \text{ kg.}$$

(i) फोटॉन की ऊर्जा

$$= h\nu = 6.626 \times 10^{-34} \times 7.5 \times 10^{14} = 4.97 \times 10^{-19} \text{ J}$$



$$= \frac{4.97 \times 10^{-19}}{1.6020 \times 10^{-19}} = 3.102 \text{ eV}$$

$$\begin{aligned} \text{(ii) उत्सर्जन की गतिज ऊर्जा} &= \frac{1}{2}mv^2 = hv - W \\ &= 4.97 \times 10^{-19} - 3.41 \times 10^{-19} \\ &= 1.56 \times 10^{-19} \text{ J} \\ &= 0.97 \text{ eV} \end{aligned}$$

$$\text{(iii) } \therefore \frac{1}{2}mv^2 = 1.56 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\begin{aligned} \therefore v &= \left[ \frac{2 \times 1.56 \times 10^{-19}}{m} \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= \left[ \frac{2 \times 1.56 \times 10^{-19}}{9.109 \times 10^{-31}} \right]^{\frac{1}{2}} = 5.85 \times 10^5 \text{ ms}^{-1} \end{aligned}$$

10. सोडियम परमाणु के आयनन के लिए 242 nm तरंगदैर्घ्य की विद्युत चुम्बकीय विकिरण पर्याप्त होती है। सोडियम की आयनन ऊर्जा  $\text{kJ mol}^{-1}$  में ज्ञात कीजिए।

$$\begin{aligned} \text{हल- प्रति परमाणु सोडियम की आयनन ऊर्जा} &= \text{प्रयुक्त प्रकाश की ऊर्जा} \\ &= \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.626 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{242 \times 10^{-9}} \\ &= 8.214 \times 10^{-19} \text{ J atom}^{-1} \\ &(\lambda = 242 \text{ nm} = 242 \times 10^{-9} \text{ m}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{प्रति मोल सोडियम की आयनन ऊर्जा} &= 8.214 \times 10^{-19} \times 6.022 \times 10^{23} \\ &= 4.946 \times 10^5 \text{ J mol}^{-1} \\ &= 494.6 \text{ kJ mol}^{-1} \end{aligned}$$

11. 25 वाट का एक बल्ब 0.57 mm तरंगदैर्घ्य वाले पीले रंग का एकवर्णी प्रकाश उत्पन्न करता है। प्रति सेकण्ड क्वांटा के उत्सर्जन की दर ज्ञात कीजिए।

$$\begin{aligned} \text{हल- एक फोटॉन की ऊर्जा} &= hv = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.626 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{0.57 \times 10^{-6}} \\ &= 3.487 \times 10^{-19} \text{ J} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore 25 \text{ W} &= 25 \text{ J s}^{-1} \\ \therefore \text{प्रति सेकण्ड उत्सर्जन होने वाले फोटॉन्स की संख्या} &= \frac{1}{3.487 \times 10^{-19}} \times 25 \\ &= 7.17 \times 10^{19} \text{ फोटॉन प्रति सेकण्ड} \end{aligned}$$

12. किसी धातु की सतह पर 6800 Å तरंगदैर्घ्य वाली विकिरण डालने से शून्य वेग वाले इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित होते हैं। धातु की देहलीज (threshold) आवृत्ति ( $\nu_0$ ) और कार्यफलन ( $W_0$ ) ज्ञात कीजिए।

$$\text{हल- } hv = W + \frac{1}{2}mv^2$$

चूँकि इलेक्ट्रॉन्स शून्य वेग से उत्सर्जित होते हैं, अतएव  $v = 0$

$$\begin{aligned} \text{इसलिए, } hv &= W_0 \\ W_0 &= hv = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.626 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{6800 \times 10^{-10}} \\ &= 2.923 \times 10^{-19} \text{ J} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{यदि } \nu_0 \text{ देहलीज (threshold) आवृत्ति है तो } W &= h\nu_0 \\ \nu_0 &= \frac{W}{h} = \frac{2.923 \times 10^{-19}}{6.626 \times 10^{-34}} \\ &= 4.412 \times 10^{14} \text{ s}^{-1} \end{aligned}$$

13. जब हाइड्रोजन परमाणु के  $n = 4$  ऊर्जा स्तर से  $n = 2$  ऊर्जा स्तर में इलेक्ट्रॉन जाता है तो किस तरंगदैर्घ्य का प्रकाश उत्सर्जित होगा?

$$\begin{aligned} \text{हल- हाइड्रोजन में } n^{\text{th}} \text{ कोश की ऊर्जा} &E_n = -\frac{2.178 \times 10^{-18}}{n^2} \text{ J atom}^{-1} \\ \text{इस प्रकार, } E_2 &= -\frac{2.178 \times 10^{-18}}{(2)^2} \text{ तथा } E_4 = -\frac{2.178 \times 10^{-18}}{(4)^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore \Delta E &= E_4 - E_2 = 2.178 \times 10^{-18} \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2} \right) \\ &= 4.08 \times 10^{-19} \text{ J atom}^{-1} \end{aligned}$$

$$\Delta E = hv = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\begin{aligned} \therefore \lambda &= \frac{hc}{\Delta E} = \frac{6.626 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{4.08 \times 10^{-19}} \\ &= 4.87 \times 10^{-7} \text{ m} \\ &= 487 \text{ nm} \end{aligned}$$

14. यदि इलेक्ट्रॉन  $n = 5$  कक्षक में उपस्थित हो तो H-परमाणु के आयनन के लिए कितनी ऊर्जा की आवश्यकता होगी? अपने उत्तर की तुलना हाइड्रोजन परमाणु के आयनन एन्थैल्पी से कीजिए (आयनन एन्थैल्पी  $n = 1$  कक्षक से इलेक्ट्रॉन को निकालने के लिए आवश्यक ऊर्जा होती है।)

हल- प्रस्तुत स्थिति में, आयनन प्रक्रिया में इलेक्ट्रॉन का स्थानान्तरण  $n = 5$  कोश से  $n = \infty$  कोश में होगा।

$$E_5 = -\frac{2.178 \times 10^{-18}}{(5)^2} = -8.712 \times 10^{-20} \text{ J atom}^{-1}$$

$$\text{और } E_\infty = -\frac{2.178 \times 10^{-18}}{(\infty)^2} = 0 \text{ J atom}^{-1}$$

अतः आयनन के लिए आवश्यक ऊर्जा

$$\begin{aligned} \therefore \Delta E &= E_\infty - E_5 = 0 - [-8.712 \times 10^{-20}] \\ &= 8.712 \times 10^{-20} \text{ J atom}^{-1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{H-परमाणु की आयनन एन्थैल्पी} &= E_\infty - E_1 = \Delta E' \\ &= 0 - \left[ -\frac{2.178 \times 10^{-18}}{1^2} \right] \\ &= 2.178 \times 10^{-18} \text{ J atom}^{-1} \end{aligned}$$

परमाणु संरचना

अतः आयनन  
निकालने के  
निकालने के

15. जब हाइड्रोजन परमाणु अवस्था संख्या  $n$  से  $n-1$  अवस्था में आता है तो उत्सर्जित प्रकाश की तरंगदैर्घ्य का सूत्र लिखिए।

हल- उत्सर्जित प्रकाश की तरंगदैर्घ्य का सूत्र

6 → 5
6 → 4
6 → 3
6 → 2
6 → 1
(5 रेखाएँ)

16. (i) हाइड्रोजन परमाणु की  $n^{\text{th}}$  कोश की त्रिज्या  $r_n$  का सूत्र लिखिए।  
(ii) हाइड्रोजन परमाणु की  $n = 1$  कोश की त्रिज्या  $r_1$  का मान ज्ञात कीजिए।

हल-(i)

$$\therefore E_5 =$$

(ii) हाइड्रोजन परमाणु की  $n = 1$  कोश की त्रिज्या  $r_1$  का मान ज्ञात कीजिए।

$$r_n =$$

$$\therefore r_5 =$$

17. हाइड्रोजन परमाणु की  $n = 1$  कोश की त्रिज्या  $r_1$  का मान ज्ञात कीजिए।

हल-

$$\therefore$$

$$\therefore$$

18. हाइड्रोजन परमाणु की  $n = 1$  कोश की त्रिज्या  $r_1$  का मान ज्ञात कीजिए।

- 2.



$$\frac{\Delta E'}{\Delta E} = \frac{2.178 \times 10^{-18}}{8.712 \times 10^{-20}} = 25$$

अतः आयनन एन्थैल्पी (वह ऊर्जा जो इलेक्ट्रॉन को  $n=1$  कोश से निकालने के लिए आवश्यक होती है) इलेक्ट्रॉन को  $n=5$  कक्षक से निकालने के लिए आवश्यक ऊर्जा का 25 गुना है।

15. जब हाइड्रोजन परमाणु में उत्तेजित इलेक्ट्रॉन  $n=6$  से मूल अवस्था में जाता है तो प्राप्त उत्सर्जित रेखाओं की अधिकतम संख्या क्या होगी?

हल- उत्सर्जित रेखाओं की प्राप्त संख्या 15 होगी। यह निम्नलिखित संक्रमणों के कारण प्राप्त होगी—

6 → 5	5 → 4	4 → 3	3 → 2	2 → 1
6 → 4	5 → 3	4 → 2	3 → 1	(1 रेखा)
6 → 3	5 → 2	4 → 1	(2 रेखाएँ)	
6 → 2	5 → 1	(3 रेखाएँ)		
6 → 1	(4 रेखाएँ)			
(5 रेखाएँ)				

उत्तर

16. (i) हाइड्रोजन के प्रथम कक्षक से सम्बन्धित ऊर्जा  $-2.18 \times 10^{-18} \text{ J atom}^{-1}$  है। पाँचवें कक्षक से सम्बन्धित ऊर्जा बताइए।  
(ii) हाइड्रोजन परमाणु के पाँचवें बोर कक्षक की त्रिज्या की गणना कीजिए।

हल-(i)  $\therefore E_n = -\frac{2.18 \times 10^{-18}}{n^2} \text{ J atom}^{-1}$

$\therefore E_5 = -\frac{2.18 \times 10^{-18}}{(5)^2} = -8.72 \times 10^{-20} \text{ J atom}^{-1}$  उत्तर

(ii) हाइड्रोजन परमाणु के लिए;

$$r_n = 0.529 \times n^2 \text{ \AA}$$

$\therefore r_5 = 0.529 \times (5)^2 = 13.225 \text{ \AA} = 1.3225 \text{ nm}$  उत्तर

17. हाइड्रोजन परमाणु की बामर श्रेणी में अधिकतम तरंगदैर्घ्य वाले संक्रमण की तरंगदैर्घ्य की गणना कीजिए।

हल- बामर श्रेणी में अधिकतम तरंगदैर्घ्य वाले संक्रमण के लिए

$$n_1 = 2 \text{ और } n_2 = 3$$

$$\therefore \bar{\nu} = R \left[ \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right]$$

$$\therefore \bar{\nu} = 1.09679 \times 10^7 \times \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right)$$

$$(\because R = 1.09679 \times 10^7 \text{ m}^{-1})$$

$$= 1.09679 \times 10^7 \times 0.139$$

$$= 1.525 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$$

उत्तर

18. हाइड्रोजन परमाणु में इलेक्ट्रॉन को पहली कक्षा से पाँचवीं कक्षा तक ले जाने के लिए आवश्यक ऊर्जा की जूल में गणना कीजिए। जब यह इलेक्ट्रॉन तलस्थ अवस्था में लौटता है तो किस तरंगदैर्घ्य का प्रकाश उत्सर्जित होगा? (इलेक्ट्रॉन की तलस्थ अवस्था ऊर्जा  $-2.178 \times 10^{-11} \text{ ergs}$  है।)

हल-  $E_n = -\frac{2.178 \times 10^{-18}}{n^2} \text{ J atom}^{-1}$

$$\therefore \Delta E = E_5 - E_1$$

$$= 2.178 \times 10^{-18} \left[ \frac{1}{1^2} - \frac{1}{5^2} \right]$$

$$= 2.091 \times 10^{-18} \text{ J atom}^{-1}$$

उत्तेजित इलेक्ट्रॉन के तलस्थ अवस्था में लौटने पर समान ऊर्जा मुक्त होती है।

$$\Delta E = h\nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

$$\therefore \lambda = \frac{hc}{\Delta E} = \frac{6.626 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{2.091 \times 10^{-18}}$$

$$= 9.51 \times 10^{-8} \text{ m} = 951 \text{ \AA}$$

उत्तर

19. हाइड्रोजन परमाणु में इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा  $E_n = (-2.18 \times 10^{-18} / n^2) \text{ J}$  द्वारा दी जाती है।  $n=2$  कक्षा से इलेक्ट्रॉन को पूरी तरह निकालने के लिए आवश्यक ऊर्जा की गणना कीजिए। प्रकाश की सबसे लम्बी तरंगदैर्घ्य (cm में) क्या होगी, जिसका उपयोग इस संक्रमण में किया जा सके?

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

$$\therefore E_2 = -\frac{2.18 \times 10^{-18}}{(2)^2} \text{ तथा } E_\infty = 0$$

इलेक्ट्रॉन को  $n=2$  कक्षक से निकालने के लिए आवश्यक ऊर्जा

$$\Delta E = E_\infty - E_2$$

$$= 0 - \left[ -\frac{2.18 \times 10^{-18}}{4} \right] = 5.45 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\therefore \Delta E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\therefore \lambda = \frac{hc}{\Delta E} = \frac{6.626 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{5.45 \times 10^{-19}}$$

$$= 3.647 \times 10^{-7} \text{ m} = 3.647 \times 10^{-5} \text{ cm}$$

उत्तर

20.  $2.05 \times 10^7 \text{ m s}^{-1}$  वेग से गति कर रहे किसी इलेक्ट्रॉन का तरंगदैर्घ्य क्या होगा?

हल- दी-ब्रोगली समीकरण के अनुसार,

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.626 \times 10^{-34}}{9.109 \times 10^{-31} \times 2.05 \times 10^7}$$

$$= 3.55 \times 10^{-11} \text{ m}$$

उत्तर

21. इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान  $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$  है। यदि इसकी गतिज ऊर्जा  $3.0 \times 10^{-25} \text{ J}$  हो तो इसकी तरंगदैर्घ्य की गणना कीजिए।

हल-  $\text{K.E.} = \frac{1}{2}mv^2 = 3.0 \times 10^{-25} \text{ J}$

$$\therefore v = \left( \frac{2 \times 3.0 \times 10^{-25}}{m} \right)^{\frac{1}{2}}$$

उत्तर







30. कारण देते हुए बताइए कि निम्नलिखित क्वांटम संख्याओं के कौन-से समुच्चय सम्भव नहीं हैं?

- (क)  $n = 0, l = 0, m_l = 0, m_s = +\frac{1}{2}$   
 (ख)  $n = 2, l = 0, m_l = 0, m_s = -\frac{1}{2}$   
 (ग)  $n = 1, l = 1, m_l = 0, m_s = -\frac{1}{2}$   
 (घ)  $n = 2, l = 1, m_l = 0, m_s = -\frac{1}{2}$   
 (ङ)  $n = 3, l = 3, m_l = -3, m_s = +\frac{1}{2}$   
 (च)  $n = 3, l = 1, m_l = 0, m_s = +\frac{1}{2}$

हल- (क) सम्भव नहीं है, क्योंकि  $n$  का मान कभी शून्य नहीं होता है।

(ख) सम्भव है।

(ग) सम्भव नहीं है, क्योंकि जब  $n = 1, l = 0$  केवल

(घ) सम्भव है।

(ङ) सम्भव नहीं है, क्योंकि जब  $n = 3, l = 0, 1, 2$

(च) सम्भव है।

उत्तर

31. किसी परमाणु में निम्नलिखित क्वांटम संख्याओं वाले कितने इलेक्ट्रॉन होंगे?

(क)  $n = 4, m_s = -\frac{1}{2}$

(ख)  $n = 3, l = 0$

हल- (क)  $n = 4$  कक्षक के लिए, इलेक्ट्रॉनों की संख्या  
 $= 2n^2 = 2 \times (4)^2 = 32$   
 इनमें से आधे इलेक्ट्रॉनों के लिए  $m_s = +\frac{1}{2}$  तथा शेष आधे के लिए

$m_s = -\frac{1}{2}$  होगा। अतएव  $n = 4$  तथा  $m_s = -\frac{1}{2}$  युक्त इलेक्ट्रॉनों की संख्या

16 होगी।

उत्तर

(ख)  $n = 3$  तथा  $l = 0$  युक्त कक्षक के लिए

$m_l = 0$  तथा  $m_s = +\frac{1}{2}$  तथा  $-\frac{1}{2}$

उत्तर

इस प्रकार केवल दो इलेक्ट्रॉन होंगे।

32. यह दर्शाइए कि हाइड्रोजन परमाणु की बोर कक्षा की परिधि उस कक्षा में गतिमान इलेक्ट्रॉन की दी-ब्रोगली तरंगदैर्घ्य का पूर्ण गुणक होती है।

हल-बोर सिद्धान्त के अनुसार,

$$mvr = n \frac{h}{2\pi} \quad \dots(i)$$

दी-ब्रोगली की समीकरण के अनुसार,

$$\lambda = \frac{h}{mv} \quad \dots(ii)$$

समीकरण (i) और (ii) से,

$$2\pi r = n \frac{h}{mv} = n\lambda.$$

$2\pi r$  बोर कक्षक की परिधि को दर्शाता है। इस प्रकार हाइड्रोजन परमाणु के लिए बोर कक्षक की परिधि दी-ब्रोगली तरंगदैर्घ्य की पूर्ण गुणांक होगी।

उत्तर  
 33.  $\text{He}^+$  स्पेक्ट्रम के  $n = 4$  से  $n = 2$  बामर संक्रमण से प्राप्त तरंगदैर्घ्य के बराबर वाला संक्रमण हाइड्रोजन स्पेक्ट्रम में क्या होगा?

हल-हाइड्रोजन जैसी स्पीशीज के लिए,

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

$\text{He}^+$  स्पेक्ट्रम के लिए  $Z = 2$

$$\therefore \bar{\nu} = R \times 4 \times \left[ \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right]$$

$\text{He}^+$  स्पेक्ट्रम में बामर संक्रमण के लिए  $n_2 = 4$  तथा  $n_1 = 2$

$$\therefore \bar{\nu} = R \times 4 \times \left[ \frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2} \right] = R \times 4 \times \frac{3}{16} = \frac{3}{4}R$$

H-स्पेक्ट्रम में समान तरंगदैर्घ्य के लिए संगत संक्रमण

$$\bar{\nu} = R \left[ \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right] = \frac{3}{4}R$$

$$\text{या } \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} = \frac{3}{4}$$

यह तभी सम्भव है जब  $n_1 = 1$  तथा  $n_2 = 2$  हो।

अतः H-स्पेक्ट्रम में समान तरंगदैर्घ्य के लिए संगत संक्रमण  $n = 2$  से  $n = 1$  होगा।

उत्तर

34.  $\text{He}^+(g) \rightarrow \text{He}^{2+}(g) + e^-$  प्रक्रिया के लिए आवश्यक ऊर्जा की गणना कीजिए। हाइड्रोजन परमाणु की तलस्थ अवस्था में आयनन ऊर्जा  $2.18 \times 10^{-18} \text{ J atom}^{-1}$  है।

हल-हाइड्रोजन जैसी स्पीशीज के लिए  $n^{\text{th}}$  कक्षक की ऊर्जा निम्नलिखित व्यंजक से प्राप्त की जा सकती है—

$$E_n = -\frac{1}{(4\pi\epsilon_0)^2} \times \frac{2\pi^2 m e^4 Z^2}{n^2 h^2}$$

$$= -\frac{2.18 \times 10^{-18} Z^2}{n^2} \text{ J atom}^{-1}$$

$\text{He}^+(g)$  आयन के लिए,  $Z = 2$

$$\therefore E_n = -\frac{2.18 \times 10^{-18} \times (2)^2}{n^2}$$

$$= -\frac{8.72 \times 10^{-18}}{n^2} \text{ J atom}^{-1}$$

$$E_1 = -\frac{8.72 \times 10^{-18}}{(1)^2}$$

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

$$E_\infty = 0$$



अतः, प्रक्रम  $\text{He}^+(g) \rightarrow \text{He}^{2+}(g) + e^-$  के लिए आवश्यक ऊर्जा  
 $\Delta E = E_\infty - E_1 = 0 - (-8.72 \times 10^{-18})$  उत्तर  
 $= 8.72 \times 10^{-18} \text{ J atom}^{-1}$

35. यदि कार्बन परमाणु का व्यास 0.15 nm है तो उन कार्बन परमाणुओं की संख्या की गणना कीजिए, जिन्हें 20 cm स्केल की लम्बाई में एक-एक करके व्यवस्थित किया जा सकता है।

हल- कार्बन परमाणु का व्यास = 0.15 nm  
 $= 1.5 \times 10^{-10} \text{ m}$   
 $= 1.5 \times 10^{-8} \text{ cm}$

स्केल की लम्बाई जिसमें कार्बन परमाणु व्यवस्थित है = 20 cm  
 $\therefore$  कार्बन परमाणुओं की संख्या जो स्केल की लम्बाई में एक-एक करके व्यवस्थित होंगे

$$= \frac{20}{1.5 \times 10^{-8}} = 1.33 \times 10^9 \quad \text{उत्तर}$$

36. कार्बन के  $2 \times 10^8$  परमाणु एक कतार में व्यवस्थित हैं। यदि इस व्यवस्था की लम्बाई 2.4 cm है तो कार्बन परमाणु की त्रिज्या की गणना कीजिए।

हल- कार्बन के  $2 \times 10^8$  परमाणु एक कतार में 2.4 cm की लम्बाई में व्यवस्थित हैं। अतएव, कार्बन परमाणु का व्यास

$$= \frac{2.4}{2 \times 10^8} = 1.2 \times 10^{-8} \text{ cm}$$

$$\therefore \text{एक कार्बन परमाणु की त्रिज्या} = \frac{1.2 \times 10^{-8}}{2}$$

$$= 6.0 \times 10^{-9} \text{ cm}$$

$$= 6.0 \times 10^{-11} \text{ m}$$

$$= 0.06 \text{ nm} \quad \text{उत्तर}$$

37. जिंक परमाणु का व्यास 2.6 Å है-(क) जिंक परमाणु की त्रिज्या pm में तथा (ख) 1.6 cm की लम्बाई में कतार में लगातार उपस्थित परमाणुओं की संख्या की गणना कीजिए।

हल-(क) जिंक परमाणु का व्यास  
 $= 2.6 \text{ Å} = 2.6 \times 10^{-10} \text{ m} = 260 \text{ pm}$

$$\therefore \text{जिंक परमाणु की त्रिज्या} = \frac{260}{2} = 130 \text{ pm}$$

$$= 1.3 \times 10^2 \text{ pm} \quad \text{उत्तर}$$

(ख) दी गई लम्बाई = 1.6 cm =  $1.6 \times 10^{-2} \text{ m}$   
 एक परमाणु का व्यास =  $2.6 \times 10^{-10} \text{ m}$

$$\therefore \text{दी गई लम्बाई में उपस्थित परमाणुओं की संख्या} = \frac{1.6 \times 10^{-2}}{2.6 \times 10^{-10}}$$

$$= 6.154 \times 10^7$$

38. किसी कण का स्थिर विद्युत आवेश  $2.5 \times 10^{-16} \text{ C}$  है। इसमें उपस्थित इलेक्ट्रॉनों की संख्या की गणना कीजिए।

हल- एक इलेक्ट्रॉन का स्थिर विद्युत आवेश =  $1.6022 \times 10^{-19} \text{ C}$ .

$$\therefore \text{दिए गये कण में उपस्थित इलेक्ट्रॉनों की संख्या} = \frac{2.5 \times 10^{-16}}{1.6022 \times 10^{-19}}$$

$$= 1560.35$$

$$= 1560 \quad \text{उत्तर}$$

39. मिलिकन के प्रयोग में तेल की बूँद पर चमकीली X-किरणों द्वारा प्राप्त स्थैतिक विद्युत-आवेश प्राप्त किया जाता है। तेल की बूँद पर यदि स्थैतिक विद्युत-आवेश  $-1.282 \times 10^{-18} \text{ C}$  है तो इस उपस्थित इलेक्ट्रॉनों की संख्या की गणना कीजिए।

हल- इलेक्ट्रॉन द्वारा लिया गया आवेश =  $-1.6022 \times 10^{-19} \text{ C}$   
 $\therefore$  तेल की बूँद पर उपस्थित इलेक्ट्रॉनों की संख्या  
 $= \frac{-1.282 \times 10^{-18}}{-1.6022 \times 10^{-19}} = 8$

40. रदरफोर्ड के प्रयोग में सोना, प्लेटिनम आदि भारी धातुओं की पतली पत्ती पर  $\alpha$ -कणों द्वारा बमबारी की जाती है। यदि ऐल्युमीनियम आदि जैसे हल्के परमाणु की पतली पत्ती ली जाए तो उपरोक्त परिणामों में क्या अन्तर होगा?

उत्तर- हल्के परमाणुओं, जैसे- ऐल्युमीनियम के नाभिक छोटे तथा कम धन आवेशयुक्त होते हैं। यदि इनका प्रयोग रदरफोर्ड के प्रयोग में  $\alpha$ -कणों द्वारा बमबारी के लिए किया जाये तो नाभिकों के छोटे होने के कारण अधिकतर  $\alpha$ -कण लक्ष्य परमाणुओं से बिना टकराये ही बाहर निकल जायेंगे। जो कण नाभिक से टकराये, वे भी कम नाभिकीय आवेश के कारण अधिक विचलित नहीं होंगे।

41.  $^{79}_{35}\text{Br}$  तथा  $^{79}\text{Br}$  प्रतीक मान्य हैं, जबकि  $^{35}_{79}\text{Br}$  तथा  $^{35}\text{Br}$  मान्य नहीं हैं। संक्षेप में कारण बताइए।

उत्तर- एक तत्व के लिए परमाणु संख्या का मान स्थिर रहता है लेकिन द्रव्यमान संख्या का मान तत्व के समस्थानिकों की प्रकृति पर निर्भर करता है। अतएव द्रव्यमान संख्या को प्रतीक के साथ दर्शाना आवश्यक होता जाता है। परम्परा के अनुसार तत्व के प्रतीक में द्रव्यमान संख्या को ऊपर बायीं ओर तथा परमाणु संख्या को नीचे निम्नलिखित प्रकार से लिखा जाता है— $^A_Z\text{X}$ .

42. एक 81 द्रव्यमान संख्या वाले तत्व में प्रोटॉनों की तुलना में 31.7% न्यूट्रॉन अधिक हैं। इसका परमाणु प्रतीक लिखिए।

हल- दिए गये तत्व की द्रव्यमान संख्या = 81  
 माना कि तत्व में  $p$  प्रोटॉन हैं।

$$\therefore \text{न्यूट्रॉनों की संख्या (n)} = p + \left[ \frac{p \times 31.7}{100} \right]$$

$$= 1.317 p$$

$$\therefore p + n = 81$$

$$\text{अतएव, } p + 1.317 p = 81$$

$$\text{या } p = \frac{81}{2.317} = 34.96 = 35$$

इस प्रकार, तत्व का परमाणु क्रमांक =  $p = 35$ , अर्थात् तत्व ब्रोमीन है।  
 अतः परमाणु प्रतीक  $^{81}_{35}\text{Br}$  है। उत्तर

43. 37 द्रव्यमान संख्या वाले एक आयन पर ऋणावेश की एक इकाई है। यदि आयन में इलेक्ट्रॉन की तुलना में न्यूट्रॉन 11.1% अधिक हैं, तो आयन का प्रतीक लिखिए।

हल- माना कि आयन में उपस्थित इलेक्ट्रॉनों की संख्या  $x$  है।

$$\therefore \text{आयन में उपस्थित न्यूट्रॉनों की संख्या} = x + \left[ \frac{x \times 11.1}{100} \right]$$

$$= 1.111 x$$



चूँकि आयन में एक इकाई ऋणात्मक आवेश है अतएव पितृ परमाणु में उपस्थित इलेक्ट्रॉनों की संख्या  $= x - 1$

और पितृ परमाणु में उपस्थित प्रोटॉनों की संख्या  $= x - 1$

∴ प्रोटॉनों की संख्या + न्यूट्रॉनों की संख्या = द्रव्यमान संख्या

$$(x - 1) + 1.111x = 37$$

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

प्रोटॉनों की संख्या = परमाणु क्रमांक  
 $= (x - 1) = 18 - 1 = 17$

अतः आयन का प्रतीक  $^{37}_{17}\text{Cl}^-$  है।

उत्तर

44. 56 द्रव्यमान संख्या वाले एक आयन पर धनावेश की 3 इकाई है और इसमें इलेक्ट्रॉनों की तुलना में 30.4% न्यूट्रॉन अधिक हैं। इस आयन का प्रतीक लिखिए।

हल- माना कि आयन में उपस्थित इलेक्ट्रॉनों की संख्या  $x$  है।

$$\therefore \text{आयन में उपस्थित न्यूट्रॉनों की संख्या} = x + \left[ \frac{x \times 30.4}{100} \right]$$

$$= 1.340x$$

चूँकि, आयन में 3 इकाई धनात्मक आवेश है, अतएव पितृ परमाणु में उपस्थित इलेक्ट्रॉनों की संख्या  $= x + 3$

और पितृ परमाणु में उपस्थित प्रोटॉनों की संख्या  $= x + 3$

∴ प्रोटॉनों की संख्या + न्यूट्रॉनों की संख्या = द्रव्यमान संख्या

$$(x + 3) + 1.340x = 56$$

$$2.340x = 53$$

$$x = \frac{53}{2.340} = 23$$

प्रोटॉनों की संख्या = परमाणु क्रमांक  
 $= x + 3 = 23 + 3 = 26$

अतः आयन का प्रतीक  $^{56}_{26}\text{Fe}^{3+}$  है।

उत्तर

45. निम्नलिखित विकिरणों के प्रकाश को आवृत्ति के बढ़ते हुए क्रम में व्यवस्थित कीजिए-

- (क) माइक्रोवेव ओवन (oven) से विकिरण  
 (ख) यातायात-संकेत से त्रणमणि (amber) प्रकाश  
 (ग) एफ०एम० रेडियो से प्राप्त विकिरण  
 (घ) बाहरी स्पेस (space) से कॉस्मिक किरणें  
 (ङ) X-किरणें

हल-FM < माइक्रोवेव < एम्बर प्रकाश < X-किरणें < कॉस्मिक किरणें।

उत्तर

46. नाइट्रोजन लेजर  $337.1\text{nm}$  की तरंगदैर्घ्य पर एक विकिरण उत्पन्न करती है। यदि उत्सर्जित फोटॉन की संख्या  $5.6 \times 10^{24}$  हो, तो इस लेजर की क्षमता की गणना कीजिए।

हल-विकिरण की तरंगदैर्घ्य  
 $\lambda = 337.1\text{nm} = 337.1 \times 10^{-9}\text{m}$

विकिरण की ऊर्जा

$$E = Nh\nu = Nh \frac{c}{\lambda} \longrightarrow (N = \text{उत्सर्जित फोटॉनों की संख्या})$$

$$E = \frac{(5.6 \times 10^{24}) \times (6.626 \times 10^{-34}) \times (3 \times 10^8)}{337.1 \times 10^{-9}} = 3.3 \times 10^6\text{J}$$

(शक्ति = प्रति सेकण्ड ऊर्जा का प्रवाह)

उत्तर

47. निर्ऑन गैस को सामान्यतः संकेत बोर्डों में प्रयुक्त किया जाता है। यदि यह  $616\text{nm}$  पर प्रचलता से विकिरण-उत्सर्जन करती है तो  
 (क) उत्सर्जन की आवृत्ति  
 (ख) 30 सेकण्ड में इस विकिरण द्वारा तय की गई दूरी  
 (ग) क्वांटम की ऊर्जा तथा  
 (घ) उपस्थित क्वांटम संख्या की गणना कीजिए, यदि यह  $2\text{J}$  की ऊर्जा उत्पन्न करती है।

$$\text{हल-(क) } \lambda = 616\text{nm} = 616 \times 10^{-9}\text{m}$$

$$\text{आवृत्ति } (\nu) = \frac{c}{\lambda} = \frac{3.0 \times 10^8}{616 \times 10^{-9}} = 4.87 \times 10^{14}\text{s}^{-1}$$

उत्तर

$$(\text{ख}) \text{ विकिरण का वेग } (c) = 3.0 \times 10^8\text{m s}^{-1}$$

$$\therefore 30 \text{ सेकण्ड में तय की गई दूरी} = 30 \times 3.0 \times 10^8 = 9.0 \times 10^9\text{m}$$

उत्तर

$$(\text{ग}) \text{ एक क्वांटम की ऊर्जा } (E) = h\nu = (6.626 \times 10^{-34}) \times 4.87 \times 10^{14} = 3.227 \times 10^{-19}\text{J}$$

उत्तर

$$(\text{घ}) \text{ उपस्थित क्वांटम की संख्या} = \frac{\text{कुल उत्पन्न ऊर्जा}}{\text{एक क्वांटम की ऊर्जा}}$$

$$= \frac{2}{3.227 \times 10^{-19}}$$

$$= 6.2 \times 10^{18}$$

उत्तर

48. खगोलीय प्रेक्षण में दूरस्थ तारों से मिलने वाले संकेत बहुत कमजोर होते हैं। यदि फोटॉन संसूचक  $600\text{nm}$  के विकिरण से कुल  $3.15 \times 10^{-18}\text{J}$  प्राप्त करता है तो संसूचक द्वारा प्राप्त फोटॉनों की संख्या की गणना कीजिए।

$$\text{हल-एक फोटॉन की ऊर्जा} = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

$$= \frac{(6.626 \times 10^{-34}) \times (3.0 \times 10^8)}{600 \times 10^{-9}} = 3.313 \times 10^{-19}\text{J}$$

$$\therefore \text{प्राप्त फोटॉनों की संख्या} = \frac{\text{कुल प्राप्त ऊर्जा}}{\text{एक फोटॉन की ऊर्जा}}$$

$$= \frac{3.15 \times 10^{-18}}{3.313 \times 10^{-19}} = 9.51 = 10$$

उत्तर

49. उत्तेजित अवस्थाओं में अणुओं के जीवन काल का माप प्रायः लगभग नैनोसेकण्ड परास वाले विकिरण स्रोत का उपयोग करके किया जाता है। यदि विकिरण स्रोत का काल  $2\text{ns}$  और स्पंदित विकिरण स्रोत से उत्सर्जित फोटॉन की संख्या  $2.5 \times 10^{15}$  हो तो स्रोत की ऊर्जा की गणना कीजिए।

$$\text{हल-आवृत्ति } (\nu) = \frac{1}{\text{जीवन काल}} = \frac{1}{2 \times 10^{-9}} = 5.0 \times 10^8\text{s}^{-1}$$



$$\begin{aligned}\text{एक फोटॉन की ऊर्जा} &= h\nu \\ &= 6.626 \times 10^{-34} \times 5.0 \times 10^8 \\ &= 3.313 \times 10^{-25} \text{ J} \\ \therefore \text{स्रोत की ऊर्जा} &= \text{उत्सर्जित फोटॉनों की संख्या} \\ &\quad \times \text{एक फोटॉन की ऊर्जा} \\ &= 2.5 \times 10^{15} \times 3.313 \times 10^{-25} \\ &= 8.282 \times 10^{-10} \text{ J.}\end{aligned}$$

उत्तर

50. सबसे लम्बी द्विगुणित (doublet) तरंगदैर्घ्य जिंक अवशोषण संक्रमण 589 और 589.6 nm पर देखा जाता है। प्रत्येक संक्रमण की आवृत्ति और दो उत्तेजित अवस्थाओं के बीच ऊर्जा के अन्तर की गणना कीजिए।

हल-प्रथम संक्रमण के लिए—

$$\lambda_1 = 589 \text{ nm} = 589 \times 10^{-9} \text{ m}$$

$$\therefore \nu_1 = \frac{c}{\lambda_1} = \frac{3.0 \times 10^8}{589 \times 10^{-9}} = 5.093 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$$

$$\text{और } E_1 = h\nu_1 = (6.626 \times 10^{-34}) \times (5.093 \times 10^{14}) \\ = 3.37462 \times 10^{-19} \text{ J.}$$

दूसरे संक्रमण के लिए—

$$\begin{aligned}\nu_2 &= \frac{c}{\lambda_2} = \frac{3.0 \times 10^8}{589.6 \times 10^{-9}} \\ &= 5.088 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}\end{aligned}$$

$$\text{और } E_2 = h\nu_2 = (6.626 \times 10^{-34}) \times (5.088 \times 10^{14}) \\ = 3.37131 \times 10^{-19} \text{ J.}$$

दोनों उत्तेजित अवस्थाओं के बीच ऊर्जा अन्तर

$$\begin{aligned}&= E_1 - E_2 \\ &= (3.37462 \times 10^{-19}) - (3.37131 \times 10^{-19}) \\ &= 3.311 \times 10^{-22} \text{ J.}\end{aligned}$$

उत्तर है—

51. सीजियम परमाणु का कार्यफलन 1.9 eV है तो

(क) उत्सर्जित विकिरण की देहलीज तरंगदैर्घ्य

(ख) देहलीज आवृत्ति की गणना कीजिए। यदि सीजियम तत्त्व को 500 nm की तरंगदैर्घ्य के साथ विकीर्णित किया जाए तो निकले हुए फोटोइलेक्ट्रॉन की गतिज ऊर्जा और वेग की गणना कीजिए।

हल- कार्यफलन ( $W_0$ ) =  $h\nu_0$ , जहाँ  $\nu_0$  देहली आवृत्ति है।

$$\begin{aligned}\therefore \nu_0 &= \frac{W_0}{h} = \frac{1.9 \times 1.6021 \times 10^{-19}}{6.626 \times 10^{-34}} \\ &= 4.594 \times 10^{14} \text{ s}^{-1} \\ (\because 1 \text{ eV} &= 1.6021 \times 10^{-19} \text{ J})\end{aligned}$$

(क) देहलीज तरंगदैर्घ्य

$$\begin{aligned}\lambda_0 &= \frac{c}{\nu_0} = \frac{3.0 \times 10^8}{4.594 \times 10^{14}} \\ &= 6.53 \times 10^{-7} \text{ m} = 653 \text{ nm.}\end{aligned}$$

उत्तर

$$(\text{ख}) \nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3.0 \times 10^8}{500 \times 10^{-9}} = 6.0 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$$

∴ उत्सर्जित होने वाले फोटोइलेक्ट्रॉनों की गतिज ऊर्जा

$$\begin{aligned}&= h(\nu - \nu_0) \\ &= 6.626 \times 10^{-34} (6.0 \times 10^{14} - 4.594 \times 10^{14}) \\ &= 9.32 \times 10^{-20} \text{ J.}\end{aligned}$$

$$\therefore \text{गतिज ऊर्जा} = \frac{1}{2}mv^2$$

∴ उत्सर्जित फोटोइलेक्ट्रॉन का वेग

$$\begin{aligned}v &= \left[ \frac{2 \times \text{गतिज ऊर्जा}}{m} \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= \left[ \frac{2 \times 9.32 \times 10^{-20}}{9.11 \times 10^{-31}} \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= 4.523 \times 10^5 \text{ m s}^{-1}\end{aligned}$$

52. जब सोडियम धातु को विभिन्न तरंगदैर्घ्यों के साथ विकीर्णित किया जाता है तो निम्नलिखित परिणाम प्राप्त होते हैं—

$\lambda$ (nm)	500	450	400
$n \times 10^{-5} \text{ (cm s}^{-1}\text{)}$	2.55	4.35	5.35

आप (क) देहलीज तरंगदैर्घ्य और (ख) प्लांक स्थिरांक की गणना कीजिए।

हल- (क) माना कि देहलीज तरंगदैर्घ्य  $\lambda_0$  nm अर्थात्  $\lambda_0 \times 10^{-9}$  m

$$h(\nu - \nu_0) = \frac{1}{2}mv^2 \quad \dots(i)$$

चूँकि  $\nu = \frac{c}{\lambda}$ , समी० (i) को निम्नलिखित प्रकार से लिख सकते हैं—

$$hc \left[ \frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0} \right] = \frac{1}{2}mv^2 \quad \dots(ii)$$

तीनों प्रयोगों के दिए गये परिणामों को समी० (ii) में प्रतिस्थापित करने पर,

$$\frac{hc}{10^{-9}} \left[ \frac{1}{500} - \frac{1}{\lambda_0} \right] = \frac{1}{2}m \times (2.55 \times 10^6)^2 \quad \dots(iii)$$

$$\frac{hc}{10^{-9}} \left[ \frac{1}{450} - \frac{1}{\lambda_0} \right] = \frac{1}{2}m \times (4.35 \times 10^6)^2 \quad \dots(iv)$$

$$\frac{hc}{10^{-9}} \left[ \frac{1}{400} - \frac{1}{\lambda_0} \right] = \frac{1}{2}m \times (5.35 \times 10^6)^2 \quad \dots(v)$$

समी० (iv) को समी० (iii) से भाग देने पर,

$$\frac{\lambda_0 - 450}{450\lambda_0} \times \frac{500\lambda_0}{\lambda_0 - 500} = \left[ \frac{4.35}{2.55} \right]^2$$

$$\text{या } \frac{\lambda_0 - 450}{\lambda_0 - 500} = \left[ \frac{4.35}{2.55} \right]^2 \times \frac{450}{500} = 2.619$$



$$\lambda_0 - 450 = 2.619\lambda_0 - (500 \times 2.619)$$

$$1.619\lambda_0 = 1309.5 - 450 = 859.5$$

$$\lambda_0 = \frac{859.5}{1.619} = 530.88 = 531 \text{ nm.}$$

उत्तर

(ख) प्लांक स्थिरांक  $h$  का मान  $\lambda_0$  के मान को तीनों समीकरणों में से किसी एक में प्रतिस्थापित करने पर प्राप्त किया जा सकता है। उत्तर

53. प्रकाशविद्युत प्रभाव प्रयोग में सिल्वर धातु से फोटोइलेक्ट्रॉन का उत्सर्जन 0.35 V की वोल्टता द्वारा रोका जा सकता है। जब 256.7 nm के विकिरण का उपयोग किया जाता है तो सिल्वर धातु के कार्यफलन की गणना कीजिए।

$$\begin{aligned} \text{हल- आपतित विकिरण की ऊर्जा} &= h\nu = \frac{hc}{\lambda} \\ &= \frac{(6.626 \times 10^{-34}) \times (3.0 \times 10^8)}{256.7 \times 10^{-9}} \text{ J} \\ &= 7.74 \times 10^{-9} \text{ J} \\ &= 4.83 \text{ eV} \quad (\because 1 \text{ eV} = 1.6021 \times 10^{-19} \text{ J}) \end{aligned}$$

फोटोइलेक्ट्रॉन की गतिज ऊर्जा =

$$\begin{aligned} &\text{उत्सर्जन को रोकने के लिए लगाया गया विभव} \\ &= 0.35 \text{ eV} \end{aligned}$$

$\therefore$  आपतित विकिरण की ऊर्जा =

$$\text{कार्यफलन} + \text{फोटोइलेक्ट्रॉन की गतिज ऊर्जा}$$

$\therefore$  कार्यफलन ( $W_0$ )

$$\begin{aligned} &= \text{आपतित विकिरण की ऊर्जा} - \text{फोटोइलेक्ट्रॉन की गतिज ऊर्जा} \\ &= (4.83 - 0.35) \text{ eV} \\ &= 4.48 \text{ eV} \end{aligned}$$

54. यदि 150 pm तरंगदैर्घ्य का फोटॉन एक परमाणु से टकराता है और इसके अन्दर बँधा हुआ इलेक्ट्रॉन  $1.5 \times 10^7 \text{ ms}^{-1}$  वेग से बाहर निकलता है तो उस ऊर्जा की गणना कीजिए, जिससे यह नाभिक से बँधा हुआ है।

$$\begin{aligned} \text{हल- आपतित विकिरण की ऊर्जा} &= h\nu = \frac{hc}{\lambda} \\ &= \frac{(6.626 \times 10^{-34}) \times (3.0 \times 10^8)}{150 \times 10^{-12}} \\ &\quad (\because 1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}) \\ &= 1.325 \times 10^{-15} \text{ J.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{उत्सर्जित इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा} &= \frac{1}{2}mv^2 \\ &= \frac{1}{2} \times (9.11 \times 10^{-31}) \times (1.5 \times 10^7)^2 \\ &= 1.025 \times 10^{-16} \text{ J} \end{aligned}$$

$\therefore$  वह ऊर्जा जिससे इलेक्ट्रॉन नाभिक से बँधा हुआ है—

$$\begin{aligned} &= \text{आपतित विकिरण की ऊर्जा} - \text{उत्सर्जन इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा} \\ &= (1.325 \times 10^{-15}) - (1.025 \times 10^{-16}) \\ &= 1.2225 \times 10^{-15} \text{ J} = 7.63 \times 10^3 \text{ eV.} \end{aligned}$$

उत्तर

55. पास्कन श्रेणी का उत्सर्जन संक्रमण  $n$  कक्ष से आरम्भ होता है, कक्ष  $n = 3$  में खत्म होता है तथा इसे  $\nu = 3.29 \times 10^{15} \text{ (Hz)}$   $[1/3^2 - 1/n^2]$  से दर्शाया जा सकता है। यदि संक्रमण 1285 nm पर प्रेक्षित होता है तो  $h$  के मान की गणना कीजिए तथा स्पेक्ट्रम का क्षेत्र बताइए।

हल-प्रेक्षित संक्रमण की आवृत्ति

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3.0 \times 10^8}{1285 \times 10^{-9}} = 2.3346 \times 10^{14} \text{ s}^{-1} \text{ (Hz)}$$

$$\therefore 2.3346 \times 10^{14} = 3.29 \times 10^{15} \left[ \frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right]$$

$$\text{या} \quad \left[ \frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right] = \frac{2.3346 \times 10^{14}}{3.29 \times 10^{15}} = 7.096 \times 10^{-2}$$

$$\text{या} \quad \frac{1}{n^2} = \frac{1}{9} - 7.096 \times 10^{-2} = 0.04015$$

$$\text{या} \quad n^2 = \frac{1}{0.04015} = 24.9 = 25$$

$$\text{या} \quad n = 5$$

1285 nm का विकिरण इन्फ्रारेड क्षेत्र से सम्बन्धित है। उत्तर

56. उस उत्सर्जन संक्रमण के तरंगदैर्घ्य की गणना कीजिए जो 1.3225 nm त्रिज्या वाले कक्ष से आरम्भ और 211.6 pm पर समाप्त होता है। इस संक्रमण की श्रेणी का नाम और स्पेक्ट्रम का क्षेत्र भी बताइए।

हल-मानते हुए कि निहित प्रतिदर्श एक H-परमाणु है,  $n^{\text{th}}$  कक्ष की

त्रिज्या

$$r_n = 0.529 n^2 \text{ \AA} = 52.9 n^2 \text{ pm}$$

माना कि संक्रमण में निहित कक्षक  $n_1$  एवं  $n_2$  हैं।

$$\therefore r_{n_1} = 1.3225 \text{ nm} = 1322.5 \text{ pm} = 52.9 n_1^2$$

$$\text{या} \quad n_1 = \left[ \frac{1322.5}{52.9} \right]^{\frac{1}{2}} = 5$$

$$r_{n_2} = 211.6 \text{ pm} = 52.9 n_2^2$$

$$n_2 = \left[ \frac{211.6}{52.9} \right]^{\frac{1}{2}} = 2$$

अतः  $n_1 = 5$  तथा  $n_2 = 2$  अर्थात् संक्रमण पाँचवें कक्षक से दूसरे कक्षक में होता है। यह संक्रमण बामर श्रेणी से सम्बन्धित है। इस संक्रमण की तरंग संख्या ( $\bar{\nu}$ )

$$\bar{\nu} = 1.09679 \times 10^7 \left[ \frac{1}{5^2} - \frac{1}{2^2} \right] \text{ m}^{-1}$$

$$[\because R = 1.09679 \times 10^7 \text{ m}^{-1}]$$

$$= 1.09679 \times 10^7 \times \frac{21}{100} \text{ m}^{-1}$$

$$= 2.303 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$$



संक्रमण की तरंगदैर्घ्य

$$= \frac{1}{\bar{\nu}} = \frac{1}{2.303 \times 10^6} = 4.34 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$= 434 \text{ nm}$$

यह रेखा दृश्य क्षेत्र में रहेगी।

उत्तर

57. दी-ब्रोगली द्वारा प्रतिपादित द्रव्य के दोहरे व्यवहार से इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शी की खोज हुई, जिसे जैव अणुओं और अन्य प्रकार के पदार्थों की अति आवर्धित प्रतिबिम्ब के लिए उपयोग में लाया जाता है। इस सूक्ष्मदर्शी में यदि इलेक्ट्रॉन का वेग  $1.6 \times 10^6 \text{ m s}^{-1}$  है, तो इस इलेक्ट्रॉन से सम्बन्धित दी-ब्रोगली तरंगदैर्घ्य की गणना कीजिए।

हल-इलेक्ट्रॉन की दी-ब्रोगली तरंगदैर्घ्य

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.626 \times 10^{-34}}{(9.11 \times 10^{-31}) \times (1.6 \times 10^6)}$$

$$= 4.55 \times 10^{-10} \text{ m} = 455 \text{ pm.}$$

उत्तर

58. इलेक्ट्रॉन विवर्तन के समान न्यूट्रॉन विवर्तन सूक्ष्मदर्शी को अणुओं की संरचना के निर्धारण में प्रयुक्त किया जाता है। यदि यहाँ 800 pm की तरंगदैर्घ्य ली जाए तो न्यूट्रॉन से सम्बन्धित अभिलाक्षणिक वेग की गणना कीजिए।

हल-न्यूट्रॉन का द्रव्यमान  $= 1.675 \times 10^{-27} \text{ kg}$

डे-ब्रोगली समीकरण के अनुसार,

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

$$\text{या } v = \frac{h}{\lambda \cdot m} = \frac{6.626 \times 10^{-34}}{(800 \times 10^{-12}) \times (1.675 \times 10^{-27})}$$

$$= 4.94 \times 10^2 \text{ m s}^{-1}$$

उत्तर

59. यदि वोर के प्रथम कक्ष में इलेक्ट्रॉन का वेग  $2.9 \times 10^6 \text{ m s}^{-1}$  है तो इससे सम्बन्धित दी-ब्रोगली तरंगदैर्घ्य की गणना कीजिए।

$$\text{हल-} \lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.626 \times 10^{-34}}{(9.11 \times 10^{-31}) \times (2.19 \times 10^6)}$$

$$= 3.32 \times 10^{-10} \text{ m}$$

$$= 332 \text{ pm}$$

उत्तर

60. एक प्रोटॉन, जो 1000 V के विभवान्तर में गति कर रहा है, से सम्बन्धित वेग  $4.37 \times 10^5 \text{ m s}^{-1}$  है। यदि 0.1 kg द्रव्यमान की दौड़ की गैर इस वेग से गतिमान है तो इससे सम्बन्धित तरंगदैर्घ्य की गणना कीजिए।

$$\text{हल-} \lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.626 \times 10^{-34}}{0.1 \times (4.37 \times 10^5)}$$

$$= 1.516 \times 10^{-18} \text{ m}$$

उत्तर

61. यदि एक इलेक्ट्रॉन की स्थिति  $\pm 0.002 \text{ nm}$  की शुद्धता से मापी जाती है तो इलेक्ट्रॉन के संवेग में अनिश्चितता की गणना कीजिए। यदि इलेक्ट्रॉन का संवेग  $\frac{h}{4\pi \times 0.05 \text{ nm}}$  है तो क्या इस मान को निकालने में कोई कठिनाई होगी?

नूतन माध्यमिक रसायन विज्ञान  
हल-प्रस्तुत प्रश्न में  $\Delta x = 0.002 \text{ nm} = 2 \times 10^{-12} \text{ m}$   
हाइजेनबर्ग के अनिश्चितता के सिद्धान्त के अनुसार,

$$\Delta x \Delta p \approx \frac{h}{4\pi}$$

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

$$= \frac{6.626 \times 10^{-34}}{4 \times 3.14 \times 2 \times 10^{-12}}$$

$$= 2.638 \times 10^{-23} \text{ kg m s}^{-1}$$

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

$$\text{इलेक्ट्रॉन का वास्तविक संवेग} = \frac{h}{4\pi \times 0.05 \text{ nm}}$$

$$= \frac{6.626 \times 10^{-34}}{4 \times 3.14 \times 5 \times 10^{-11}}$$

$$= 1.055 \times 10^{-24} \text{ kg m s}^{-1}$$

दिये गये वास्तविक संवेग को परिभाषित नहीं किया जा सकता है क्योंकि यह संवेग में अनिश्चितता ( $\Delta p$ ) से छोटा है।

62. छः इलेक्ट्रॉनों की क्वांटम संख्या नीचे दी गई है। इन्हें ऊर्जा के बढ़ते क्रम में व्यवस्थित कीजिए। क्या इनमें से किसी की ऊर्जा समान है?

$$1. n = 4, l = 2, m_l = -2, m_s = -\frac{1}{2}$$

$$2. n = 3, l = 2, m_l = 1, m_s = +\frac{1}{2}$$

$$3. n = 4, l = 1, m_l = 0, m_s = +\frac{1}{2}$$

$$4. n = 3, l = 2, m_l = -2, m_s = -\frac{1}{2}$$

$$5. n = 3, l = 1, m_l = -1, m_s = +\frac{1}{2}$$

$$6. n = 4, l = 1, m_l = 0, m_s = -\frac{1}{2}$$

हल- दिए गये इलेक्ट्रॉन कक्षक 1. 4d, 2. 3d, 3. 4p, 4. 3d, 5. 3p तथा 6. 4p से सम्बन्धित हैं। इनकी ऊर्जा इस क्रम में होगी—

$$5 < 2 = 4 < 6 = 3 < 1$$

उत्तर

63. ब्रोमीन परमाणु में 35 इलेक्ट्रॉन होते हैं। इसके 2p-कक्षक में छः इलेक्ट्रॉन, 3p-कक्षक में छः इलेक्ट्रॉन तथा 4p-कक्षक में पाँच इलेक्ट्रॉन होते हैं। इनमें से कौन-सा इलेक्ट्रॉन न्यूनतम प्रभावी नाभिकीय आवेश अनुभव करता है?

हल-4p इलेक्ट्रॉन न्यूनतम प्रभावी नाभिकीय आवेश अनुभव करते हैं क्योंकि ये नाभिक से सबसे अधिक दूर हैं।

64. निम्नलिखित में से कौन-सा कक्षक (ऑर्बिटल) उच्च प्रभावी नाभिकीय आवेश अनुभव करेगा?

(i) 2s और 3s,

(iii) 3d और 3p.

(ii) 4d और 4f,



- हल—(i)  $2s$ -कक्षक  $3s$ -कक्षक की तुलना में नाभिक के अधिक निकट होगा। अतः  $2s$ -कक्षक उच्च प्रभावी नाभिकीय आवेश अनुभव करेगा।  
 (ii)  $d$ -कक्षक  $f$ -कक्षकों की तुलना में अधिक भेदक (penetrating) होते हैं। इसलिए  $4d$ -कक्षक उच्च प्रभावी नाभिकीय आवेश अनुभव करेगा।  
 (iii)  $p$ -कक्षक  $d$ -कक्षकों की तुलना में अधिक भेदक (penetrating) होते हैं। इसलिए  $3p$ -कक्षक उच्च प्रभावी नाभिकीय आवेश अनुभव करेगा।

65. Al तथा Si में  $3p$ -कक्षक में अयुग्मित इलेक्ट्रॉन होते हैं। कौन-सा इलेक्ट्रॉन नाभिक से अधिक प्रभावी नाभिकीय आवेश अनुभव करेगा?

हल—सिलिकॉन (+ 14) में, एल्युमीनियम (+ 13) की तुलना में अधिक नाभिकीय आवेश होता है। अतः सिलिकॉन में उपस्थित अयुग्मित  $3p$  इलेक्ट्रॉन अधिक प्रभावी नाभिकीय आवेश अनुभव करेगा।

66. इनमें अयुग्मित इलेक्ट्रॉनों की संख्या बताइए—

- (क) P (ख) Si  
 (ग) Cr (घ) Fe  
 (ङ) Kr

हल—इन तत्वों के इलेक्ट्रॉनिक विन्यास तथा अयुग्मित इलेक्ट्रॉनों की संख्या निम्नलिखित है—

(क) P ( $Z = 15$ ) :  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p_x^1 3p_y^1 3p_z^1$ ;

अयुग्मित इलेक्ट्रॉनों की संख्या = 3

(ख) Si ( $Z = 14$ ) :  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p_x^1 3p_y^1$ ;

अयुग्मित इलेक्ट्रॉनों की संख्या = 2

(ग) Cr ( $Z = 24$ ) :  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^1$ ;

अयुग्मित इलेक्ट्रॉनों की संख्या = 6

(5 in  $3d$  and 1 in  $4s$ -orbitals)

(घ) Fe ( $Z = 26$ ) :  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6 4s^2$ ;

अयुग्मित इलेक्ट्रॉनों की संख्या = 4 (in  $3d$ )

(ङ) Kr ( $Z = 36$ ) :  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6$ ;

अयुग्मित इलेक्ट्रॉनों की संख्या = 0

(अक्रिय गैस, कोई अयुग्मित इलेक्ट्रॉन नहीं है) उत्तर

67. (क)  $n = 4$  से सम्बन्धित कितने उपकोश (उपकक्ष) हैं?

(ख) उस उपकोश में कितने इलेक्ट्रॉन उपस्थित होंगे, जिसके लिए  $m_s = -\frac{1}{2}$  एवं  $n = 4$  है।

हल—(क) जब  $n = 4$ ,  $l = 0, 1, 2, 3$  हैं। अतः चार उपकोश होंगे— $s, p, d$  तथा  $f$ ,

(ख) कक्षा  $n = 4$  के लिए, उपस्थित कक्षकों की कुल संख्या

$$= n^2 = (4)^2 = 16$$

प्रत्येक कक्षक में एक इलेक्ट्रॉन जिसके लिए  $m_s = -\frac{1}{2}$  है, उपस्थित है।

अतः  $m_s = -\frac{1}{2}$  युक्त 16 इलेक्ट्रॉन उपस्थित होंगे। उत्तर



×2