परमाणु की संरचना एवं नाभिकीय रसायन

खण्ड (A) : परमाण्वीय कणों की खोज, परमाणु मॉडल, नाभिक

प्रस्तावना :

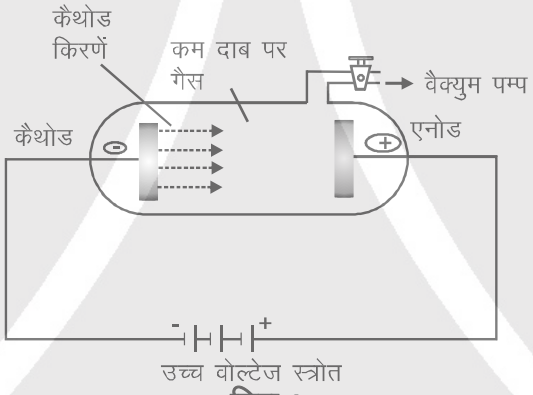
परमाणु की संरचना

रदरफोर्ड मॉडल | बोर मॉडल | यांत्रिकी तरंग मॉडल

परमाणु के डॉल्टन का अविभाज्य सिद्धांत, वैज्ञानिकों द्वारा प्राप्त प्रयोगात्मक प्रमाणों की श्रृंखला द्वारा पूर्णरूप से अविश्वसनीय था। कई नई परिघटनाएँ प्रकाश में लाई गई तथा प्राकृतिक संसार के बारे में मानव की सोच में एक क्रान्तिकारी परिवर्तन आया। वैद्युत तथा स्पेक्ट्रल जैसी परिघटनाओं की खोज से प्रयोगो को सफल करने में एकमूलभूत परिवर्तन के लिए रास्ते खुल गये। उसने निष्कर्ष निकाला परमाणु तीन कणों से मिलकर बना होता है : इलेक्ट्रॉन, प्रोट्रॉन व न्यूट्रॉन, इन कणों को मूलभूत कण कहते हैं।

परमाणु की संरचना खोजने के लिए किये गये प्रारम्भिक प्रयास :

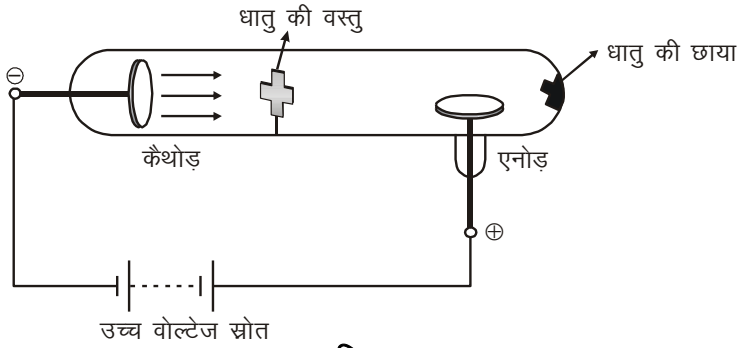
कैथोड किरणें : इलेक्ट्रॉन की खोज :



चित्र-1

1859 में जूलियस प्लकर ने एक विसर्जन नलिका में न्यून दाब (10^{-4} वायुमण्डलीय दाब) पर गैसों से विद्युत के चालन का अध्ययन प्रारम्भ किया, कि जब इलेक्ट्रॉडों के मध्य 10,000 वोल्ट या अधिक का विभव लगाते है तो कुछ अदृश्य किरणें ऋणात्मक इलेक्ट्रोड से धनात्मक इलेक्ट्रोड की ओर जाती है, इन किरणों को कैथोड किरणे कहते है।

कैथोड किरणों के गुण :



चित्र-2

कैथोड किरणों में निम्न गुण पाये जाते है :

(i) ये किरणे तीव्र गति से, सीधे पथ पर चलती है तथा मार्ग में उपस्थित वस्तु की छाया का निर्माण करती है।

(ii) कैथोड किरणे यांत्रिक प्रभाव दर्शाती है। यदि इलेक्ट्रोडों के मध्य द्रव्यमान रहित घूर्णित चक्र रखते है, तो वह घुमने लगता है यह दर्शाता है कि कैथोड किरणें कणों से मिलकर बनी होती है।

(iii) जब विसर्जन नलिका में कैथोड किरणों पर विद्युत व चुम्बकीय क्षेत्र लगाया जाता है तो कैथोड किरणें इस तरह से विक्षेपित होती है, जिससे यह ज्ञात होता है कि वे आवेशित कणों से बनी है। विचलन की दिशा दर्शाती है कि कैथोड किरणें ऋणात्मक आवेशित कणों से मिलकर बनी है। इन्ही ऋणात्मक आवेशित कणों को **इलेक्ट्रॉन** कहते है।

(iv) कैथोड किरणें जब एनोड से दूर काँच की दीवार पर प्रहार करती है तब यह हरी प्रतिदिप्ती उत्पन्न करती है। जब यह जिंक सल्फॉइड पर्दे से टकराती है तब प्रकाश उत्सर्जित होता है।

(v) कैथोड किरणें एल्युमीनियम तथा धातुओं की पतली शीट को भेद देती है।

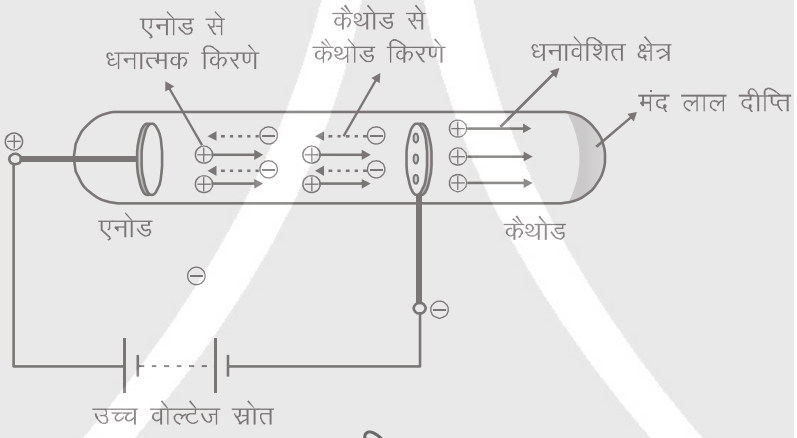
(vi) ये फोटोग्राफिक प्लेट को प्रभावित करती है।

(vii) आवेश (e) तथा द्रव्यमान (m) का अनुपात अर्थात् नलिका में प्रयुक्त गैस के सापेक्ष सभी कैथोड किरणों के लिए आवेश/द्रव्यमान अनुपात समान होता है। $e/m = 1.76 \times 10^{11}$ Ckg^{-1}
अतः इस प्रकार निष्कर्ष निकलता है कि इलेक्ट्रॉन सभी परमाणुओं के मूलभूत अवयव है।

(viii) कैथोड किरणें अदृश्य होती है।

एनोड किरणों का उत्पादन (प्रोटोन की खोज) :

गोल्डस्टीन ने (1886) छिद्रित (perforated) कैथोड से भरी हुई विसर्जन नलिका के साथ प्रयोग को दोहराया तथा पाया कि छिद्रित कैथोड से नई प्रकार की किरणें बाहर निकलती है।



चित्र-3

प्रयोग के परिणाम स्वरूप कैथोड के पीछे दिवार पर मंद लाल प्रतिदिप्ती दिखाई देती है। चूंकि यह किरणें एनोड से उत्पन्न होती है, अतः एनोड किरणें कहलाती है।

एनोड किरणों के गुण :

- एनोड किरणे सीधे चलती है व पथ में स्थित वस्तु की छाया का निर्माण करती हैं।
- ये हल्के द्रव्यमान रहित घूर्णित चक्र को घुमा देती है। यह दर्शाता है कि एनोड किरणें द्रव्य कणों से मिलकर बनी होती है।
- ये किरणें विसर्जन नलिका में विद्युत क्षेत्र लगाने पर ऋणात्मक प्लेट की ओर विचलित हो जाती है। यह दर्शाता है कि ये किरणें धनावेशित होती है।
- नलिका ट्यूब में अलग–अलग गैसों के लिए आवेश–द्रव्यमान अनुपात (e/m) का मान, धनात्मक किरणों के लिए अलग–अलग होता है। जब विसर्जन नलिका में हाइड्रोजन गैस ली जाती है, तब यह मान (e/m) अधिकतम आता है।
- चूंकि अलग–अलग गैसो से मिलने वाले धनात्मक कणों पर आवेश (e) का मान बराबर होता है। अतः हाइड्रोजन गैस से प्राप्त धनात्मक कण सभी गैसों से प्राप्त धनात्मक कणों से हल्के होते है। इसी कण को प्रोटोन कहा जाता है।

न्यूट्रॉन की खोज :

बाद में, परमाणु के एक घटक के रूप में उदासीन कणों की उपस्थिति की आवश्यकता अनुभव हुई। इन कणों की खोज 1932 में चेडविक द्वारा की गई। जब बेरीलियम की पतली पन्नी पर α-कणों की बौछार कराई जाती है तो विद्युत उदासीन कण, जिनका द्रव्यमान प्रोटोन से कुछ अधिक होता है, उत्सर्जित होते है। उन्होने इन कणों को न्यूट्रॉन नाम दिया।

$$^{9}_{4}Be + {}^{4}_{2}He \longrightarrow {}^{12}_{6}C + {}^{1}_{0}n$$

नाभिक :

इलेक्ट्रॉन, प्रोटोन व न्यूट्रॉन सभी परमाणुओं में उपस्थित मूलभूत कण है (हाइड्रोजन परमाणु को छोड़कर)।

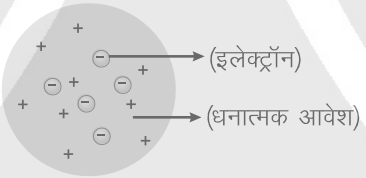
सारणी : 1

कण	प्रतीक	द्रव्यमान	आवेश	वैज्ञानिक
इलेक्ट्रान	$_{-1}e^{0}$ या β	9.10939×10^{-31} kg 0.00054 u	-1.6022×10^{-19} कूलाम -4.803×10^{-10} esu	जे.जे. थामसन स्टोनी लारेन्टेज 1887
प्रोटोन	$_{1}H^{1}$	1.6722×10^{-27} kg 1.00727 u	$+1.6022 \times 10^{-19}$ कूलाम $+4.803 \times 10^{-10}$ esu	गोल्डस्टीन रदरफोर्ड 1907
न्यूट्रॉन	$_{0}n^{1}$	1.67493×10^{-27} kg 1.00867 u 1 amu $\approx 1.66 \times 10^{-27}$ kg	डदासीन 0	जेम्स चेडविक 1932

परमाणु मॉडल :

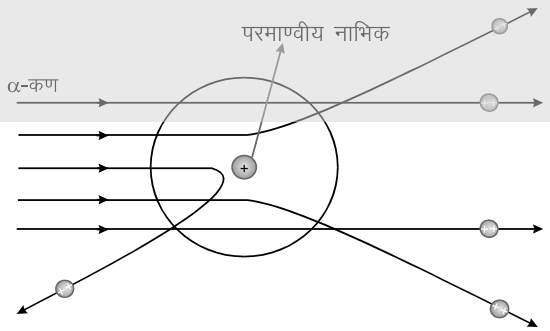
(A) परमाणु का थामसन मॉडल :

परमाणु विद्युत उदासीन होता है। यह धनात्मक आवेश (प्रोटॉन की उपस्थिति के कारण) तथा ऋणात्मक आवेश (इलेक्ट्रोन की उपस्थिति के कारण) रखता है। इस प्रकार जे.जे. थामसन ने माना कि परमाणु धनात्मक आवेश का एक समरूपीय गोला है जिसमें जगह–जगह इलेक्ट्रॉन उपस्थित होते है।



चित्र-4

(B) रदरफोर्ड का प्रयोग :



चित्र-5

प्रेक्षण :

1. अधिकांश α-कण सोने की पन्नी से बिना विचलित हुए अपने वास्तविक पथ से सीधे गुजर जाते है।
2. इनमें से कुछ कण कम कोण से तथा कुछ कण अधिक कोण से विचलित हो जाते है।
3. बहुत कम प्रतिशत (20000 में से 1) कण ऐसे थे जो 90° से 180° के कोण पर विक्षेपित होते है।

परमाणु की रदरफोर्ड नाभिकीय अवधारणा :

(i) एक तत्व के परमाणु में एक सूक्ष्म धनात्मक आवेशित 'नाभिक' होता है जो परमाणु के केन्द्र पर स्थित होता है व जहाँ परमाणु का लगभग सम्पूर्ण द्रव्यमान होता है।

(ii) इलेक्ट्रॉन, नाभिक के चारों ओर संकेन्द्रि वृताकार पथों में जिन्हें कक्षा कहते है, परमाणु के रिक्त स्थान में वितरित होते है।

(iii) कक्ष में इलेक्ट्रॉनो की संख्या नाभिक में धनावेशित आवेश (प्रोटोन) की संख्या के बराबर होती है। इसलिए परमाणु विद्युत उदासीन होता है।

(iv) नाभिक का आयतन, परमाणु के आयतन की तुलना में नगण्य होता हैं।

(v) परमाणु का अधिकांश भाग रिक्त होता है।

रदरफोर्ड मॉडल के दोष :

1. यह, मैक्सवेल द्वारा प्रस्तावित वैद्युतचुम्बकत्व के चिरसम्मत सिद्धांत का अनुपालन नहीं करता है। इस सिद्धांत के अनुसार प्रत्येक त्वरित आवेशित कण विद्युतचुम्बकीय तरंगों के रूप में विकिरण उत्सर्जित करते है तथा इसकी कुल ऊर्जा की हानि होती है।
चूँकि इलेक्ट्रॉनों की ऊर्जा घटती है इसलिए वृताकार कक्षाओं की त्रिज्या भी घटनी चाहिए तथा अन्त में इलेक्ट्रॉन नाभिक में गिर जाना चाहिए।

2. यह H-परमाणु के रेखीय स्पेक्ट्रम को नहीं समझा सकता है।

3. यह परमाणु की इलेक्ट्रॉनिक संरचना अर्थात् ये इलेक्ट्रॉन नाभिक के चारो इस प्रकार विद्यमान है तथा इन इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा क्या है इसके बारे मे कुछ नहीं कहा।

आवेश के गुणधर्म :

F1

1. $Q = ne$ (आवेश क्वांटिकृत होता है।)

2. आवेश दो प्रकार के होते हैं :

(i) धनात्मक आवेश

(ii) ऋणात्मक आवेश

$$e = -1.6 \times 10^{-19}\ C$$
$$p = +1.6 \times 10^{-19} C$$

इसका अर्थ यह नही है कि प्रोटोन ज्यादा आवेश रखता है किन्तु यह बताता है कि आवेश समान किन्तु विपरित है। समान आवेश एक दूसरे को प्रतिकर्षित तथा विपरित आवेश एक दूसरे को आकर्षित करते हैं।

3. आवेश एक अदिश राशि है तथा आवेशों के बीच बल हमेशा आवेश जोड़ने वाली रेखा की तरफ कार्य करता है।

'R' दूरी पर स्थित दो आवेशों के मध्य बल का परिमाण निम्न होता है।

$$F_E \text{ (विद्युत बल)} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1q_2}{r^2}$$

4. यदि दो आवेश q_1 तथा q_2 एक दूसरे से r दूरी पर स्थित हैं तो इन दो आवेश तंत्र की स्थितिज ऊर्जा निम्न होगी।

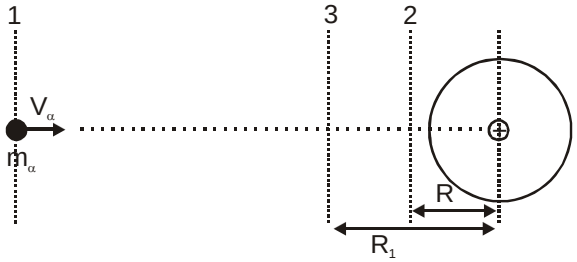
F2 $$P.E. = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1q_2}{r}$$

5. यदि एक q आवेशित कण V विभव की सतह पर स्थित है, तो आवेश की स्थितिज ऊर्जा q x V होगी।

निकटतम पहुँच की दूरी की आंकलन (व्युत्पत्ति) :

Der.1 यदि एक α-कण Z परमाणु क्रमांक वाले परमाणु के नाभिक की ओर V_0 वेग से अनन्त से प्रक्षेपित किया गया है, तो ज्ञात कीजिए (i) निकटतम पहुँच की दूरी (R) (ii) नाभिक से R_1 ($R_1 > R$) पर α-कण का वेग क्या होगा।

Sol.



ऊर्जा संरक्षण के नियमानुसार $P.E_1 + KE_1 = P.E_2 + KE_2$

$$\Rightarrow \quad 0 + \frac{1}{2}m_\alpha V_\alpha^2 = \frac{K(Ze)(2e)}{R} + 0$$

$$R = \frac{4KZe^2}{m_\alpha V_\alpha^2} \quad \text{(निकटतम पहुँच की दूरी)}$$

माना की R_1 पर वेग V_1 है।

ऊर्जा संरक्षण के नियमानुसार $P.E_1 + KE_1 = P.E_3 + KE_3$

$$\Rightarrow \quad 0 + \frac{1}{2}m_\alpha V_\alpha^2 = \frac{K(Ze)(2e)}{R_1} + \frac{1}{2}m_\alpha V_1^2$$

नाभिक का आकार :

नाभिक का आयतन अति सूक्ष्म होता है तथा परमाणु के कुल आयतन का केवल सूक्ष्म भाग होता है। नाभिक का व्यास 10^{-12} से 10^{-13} cm के क्रम का होता है तथा परमाणु का व्यास 10^{-8} cm के क्रम का होता है। इस प्रकार परमाणु का व्यास (आकार) नाभिक के व्यास से 100,000 गुना होता है। नाभिक की त्रिज्या इसमें स्थित न्यूक्लियॉन (Nucleons) की संख्या के घन वर्ग के समानुपाती होती है।

F3 $R = R_0 (A)^{1/3}$ cm

यहाँ R_0, 1.1×10^{-13} से 1.44×10^{-13} cm तक हो सकती है।

A = द्रव्यमान संख्या; R = नाभिक की त्रिज्या

हाइड्रोजन परमाणु के नाभिक में न्यूट्रॉन नहीं होते है जबकि अन्य नाभिकों में प्रोटॉन एवं न्यूट्रॉन होते है।

D1 **परमाणु क्रमांक** (Z) **तथा द्रव्यमान संख्या** (A) :

❍ **तत्व का परमाणु क्रमांक** (Z)

= नाभिक में उपस्थित कुल प्रोटोनो की संख्या

= परमाणु में उपस्थित कुल इलेक्ट्रॉनों की संख्या

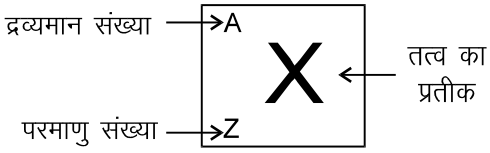
- परमाणु क्रमांक को प्रोटोन संख्या भी कहते है, क्योंकि नाभिक पर उपस्थित आवेश प्रोटोन की संख्या पर निर्भर करता है।
- इलेक्ट्रॉन का भार नगण्य होता है। परमाणु का सम्पूर्ण भार केवल प्रोटोन व न्यूट्रॉन के कारण होता हैं। ये कण नाभिक में उपस्थित होते है। इसलिए ये संयुक्त रूप से न्यूक्लिओन्स कहलाते है।
- ये प्रत्येक कण परमाणु भार स्केल पर एक ईकाई भार रखते है इसलिए प्रोटोनो की संख्या व न्यूट्रॉनो की संख्या का योग परमाणु भार के लगभग बराबर होगा।

F4

❍ **तत्व की द्रव्यमान संख्या = प्रोटोन की संख्या** (Z) **+ न्यूट्रानों की संख्या** (n)

- तत्व की द्रव्यमान संख्या, उस तत्व के परमाणु द्रव्यमान के लगभग बराबर होती है। फिर भी इन दोनों में जो मुख्य अंतर है वह है कि द्रव्यमान संख्या हमेशा प्राकृत संख्या होती है जबकि परमाणु द्रव्यमान कभी भी प्राकृत संख्या नहीं होता है।

- तत्व की परमाणु संख्या (Z) व द्रव्यमान संख्या (A) का उपयोग तत्व के प्रतीक (X) द्वारा प्रदर्शित किया गया है।



e.g. $^{23}_{11}Na$, $^{35}_{17}Cl$

D2

1. **समस्थानिक :** समान परमाणु संख्या लेकिन भिन्न द्रव्यमान संख्या वाले समान तत्व के परमाणु समस्थानिक कहलाते है। उदा. $^{1}_{1}H$, $^{2}_{1}D$ तथा $^{3}_{1}T$ के नाम क्रमशः प्रोटियम, डयूटेरियम (D) ट्राइटियम (T) हैं। सामान्य हाइड्रोजन प्रोटियम है।

D3

2. **समभारिक :** समान द्रव्यमान संख्या तथा भिन्न परमाणु संख्या वाले भिन्न तत्वों के परमाणु, समभारिक कहलाते है।
   उदा. $^{40}_{18}Ar$, $^{40}_{19}K$, $^{40}_{20}Ca$.

D4

3. **समन्यूट्रानिक :** भिन्न तत्वों के परमाणु जिनमें न्यूट्रोनों की समान संख्या समान हो, समन्यूट्रॉनिक कहलाते है।
   उदा. $^{14}_{6}C$, $^{15}_{7}N$, $^{16}_{8}O$.

D5

4. **समइलेक्ट्रोनिक :** इलेक्ट्रॉनों की समान संख्या वाली स्पीशीज (परमाणु या आयन), समइलेक्ट्रॉनिक कहलाती है।
   उदाहरण के लिए O^{2-}, F^{-}, Na^{+}, Mg^{2+}, Al^{3+}, Ne सभी 10 इलेक्ट्रोन युक्त है और ये समइलेक्ट्रोनिक होते है।

Solved Example

Example 1 **निम्न सारणी को पूर्ण कीजिए :**

कण	द्रव्यमान संख्या	परमाणु संख्या	प्रोटॉन	न्यूट्रॉन	इलेक्ट्रॉन
नाइट्रोजन परमाणु	–	–	–	7	7
केल्शियम आयन	–	20	–	20	–
ऑक्सीजन परमाणु	16	8	–	–	–
ब्रोमाइड आयन	–	–	–	45	36

हल. नाइट्रोजन परमाणु के लिए

इलेक्ट्रॉन की संख्या = 7 (दी गई है)

न्यूट्रॉन की संख्या = 7 (दी गई है)

∴ प्रोटॉनो की संख्या = Z = 7 (∴ परमाणु विद्युत रूप से उदासीन है)

परमाणु संख्या = Z = 7

द्रव्यमान संख्या (A) = प्रोटॉन की संख्या + न्यूट्रॉन की संख्या = 7 + 7 = 14

केल्शियम आयन के लिए :

न्यूट्रॉन की संख्या = 20 (दी गई है)

परमाणु संख्या (Z) = 20 (दी गई है)

∴ प्रोटॉन की संख्या = Z = 20 ;

केल्शियम परमाणु में इलेक्ट्रॉन की संख्या = Z = 20

किन्तु केल्शियम आयन के निर्माण में, समीकरण के अनुसार बाह्यनाभिकीय भाग से दो इलेक्ट्रॉन की हानि होती है।

$Ca \rightarrow Ca^{2+} + 2e^{-}$

लेकिन नाभिक का संघठन अपरिवर्तित रहता है।

∴ केल्शियम आयन में इलेक्ट्रॉनो की संख्या = 20 – 2 = 18

द्रव्यमान संख्या (A) = प्रोटॉन की संख्या + न्यूट्रॉन की संख्या = 20 + 20 = 40.

ऑक्सीजन परमाणु के लिए :

द्रव्यमान संख्या (A) = प्रोटॉन की संख्या + न्यूट्रॉन की संख्या = 16 (दी गई है)

परमाणु संख्या (Z) = 8 (दी गई है)

प्रोटॉन की संख्या = Z = 8, इलेक्ट्रॉनों की संख्या = Z = 8

न्यूट्रॉनो की संख्या = A – Z = 16 – 8 = 8

ब्रोमाइड आयन के लिए :

न्यूट्रॉनों की संख्या = 45 (दी गई है)

इलेक्ट्रॉनों की संख्या = 36 (दी गई है)

लेकिन ब्रोमाइड आयन के निर्माण में, समीकरण $Br + e^- \rightarrow Br^-$ के अनुसार बाह्य नाभिकीय भाग से एक इलेक्ट्रॉन का लाभ होता है।

लेकिन नाभिक का संघठन अपरिवर्तित रहता है।

∴ ब्रोमाइड आयन में, प्रोटॉन की संख्या = ब्रोमाइड आयन में, इलेक्ट्रॉन की संख्या = 36 – 1 = 35

परमाणु संख्या (Z) = प्रोटॉनों की संख्या = 35

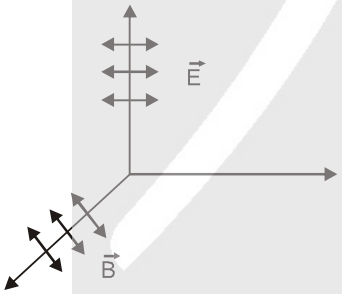
द्रव्यमान संख्या (A) = न्यूट्रॉनों की संख्या + प्रोटॉनों की संख्या = 45 + 35 = 80.

खण्ड (B) : प्रकाश का क्वांटम सिद्धान्त तथा प्रकाश–विद्युत प्रभाव

विद्युत चुम्बकीय तरंग विकिरण :

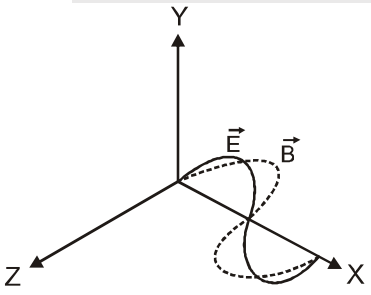
D6 दोलन करते हुये विद्युत व चुम्बकीय क्षेत्रो को विद्युत चुम्बकीय विकिरण कहते है। प्रयोगात्मक रूप से विद्युत व चुम्बकीय क्षेत्र के दोलन की दिशायें एक दूसरे के लम्बवत् होती है।

इन किरणों के संचरण के लिए किसी माध्यम की आवश्यकता नहीं होती है। निर्वात में सभी प्रकार की विद्युत चुम्बकिय विकिरणो, चाहे इनका λ कुछ भी हो, एक समान वेग अर्थात् 2.997925×10^8 m/s से गति करती है। इसे प्रकाश की गति कहते है।



$\vec{E}$ = विद्युत क्षेत्र, $\vec{B}$ = चुम्बकीय क्षेत्र।

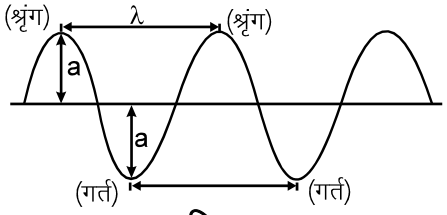
चित्र-6



तरंग संचरण की दिशा।

चित्र-7

तरंग की कुछ महत्वपूर्ण विशेषताएं :



चित्र-8

D7 **तरंगद्वैर्ध्य : तरंग की तरंगद्वैर्ध्य** को इस प्रकार परिभाषित किया जाता है कि दो क्रमागत श्रृगों या गर्तो के मध्य की दूरी को तरंग द्वैर्ध्य कहते है। इसको λ से प्रदर्शित करते है और इसको Å या मीटर या नेनोमीटर या पीकोमीटर से दर्शाया जाता है।

$1\ Å = 10^{-8}\ cm = 10^{-10}\ m$

$1\ nm = 10^{-9}\ m,\ 1\ pm = 10^{-12}\ m$

D8 **आवृति :** तरंगो की संख्या जो एक सैकण्ड में किसी निश्चित बिन्दु से गुजरती है, तरंग आवृति कहलाती है। इसको ν (nu) से प्रदर्शित करते है तथा इसकी इकाई को हर्ट्ज (Hz) या साईकिल प्रति सैकण्ड या सैकण्ड$^{-1}$ या s^{-1} से व्यक्त करते है।

1 हर्ट्ज = 1 साईकिल/सैकण्ड

D9 **वेग : तरंग के वेग** को इस तरह परिभाषित किया जाता है कि, एक सैकण्ड में तरंग द्वारा तय की गई रेखीय दूरी को तंरग का वेग कहते है। इसको v के द्वारा प्रदर्शित करते है व इसको सेमी/सैकण्ड या मीटर/सैकण्ड से व्यक्त करते है।

D10 **आयाम :** तरंग के आयाम को श्रृंग की ऊँचाई या गर्त की गहराई से व्यक्त करते है, इसको 'a' के द्वारा प्रदर्शित करते है तथा इसकी इकाई लम्बाई की इकाई ही होती है।

D11 **तरंग संख्या :** 1 सेमी. की दूरी पर फैली तंरगो की संख्या, तरंग संख्या कहलाती है। यह तरंगद्वैर्ध्य की व्युत्क्रम होती है। इसको $\bar{\nu}$ द्वारा प्रदर्शित करते है।

F5 $$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda}$$

यदि λ को सेमी, में व्यक्त करते है, तो $\bar{\nu}$ की इकाई सेमी$^{-1}$ होगी।

वेग, तरंगद्वैर्ध्य व तरंग की आवृति के मध्य सम्बन्ध

आवृति, प्रति सैकण्ड एक बिन्दु से गुजरने वाली तंरगो की संख्या व λ प्रत्येक तरंग की लम्बाई है, अतः इनका गुणनफल तरंग का वेग होगा, इस प्रकार

F6 $v = \nu \times \lambda$

विद्युत चुम्बकीय स्पेक्ट्रम में तरंगद्वैर्ध्य का क्रम

अंतरिक्ष किरणे < γ – किरणे < X-किरणे < पराबैंगनी किरणे < दृश्यमान < अवरक्त < सूक्ष्म तंरगे < रेडियो तंरगे

विद्युत चुम्बकीय विकिरण की कणीय प्रकृति : प्लांक का क्वाटंम सिद्धांत

विवर्तन तथा व्यतिकरण जैसी कुछ प्रायोगिक परिघटनाओं को विद्युत चुम्बकीय विकिरण की तरंग प्रकृति द्वारा समझाया जा सकता है। लेकिन कुछ प्रेक्षणों को इस सिद्धांत की सहायता से नहीं समझाया जा सकता है।

ये प्रेक्षण निम्न है :

(i) गर्म पिंड से विकिरण के उत्सर्जन की प्रवृति (कृष्णिका विकिरण)।

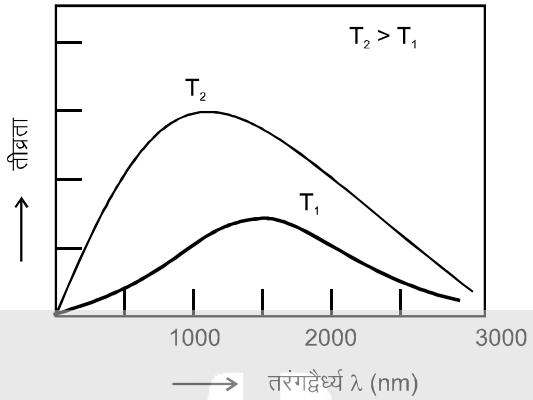
(ii) धातु सतह पर विकिरणों के प्रहार से इलेक्ट्रॉनों का निकलना (प्रकाश विद्युत प्रभाव)।

(iii) तापमान के सन्दर्भ मे ठोसों की उष्माधारिता का परिवर्तन।

(iv) हाइड्रोजन का रेखीय स्पेक्ट्रम।

कृष्णिका विकिरण :

जब किसी ठोस पदार्थ को गर्म किया जाता है, तब उससे विस्तृत परास वाले तरंग द्वैर्ध्यों के विकिरण उत्सर्जित होते है। एक ऐसा आदर्श पिण्ड जो हर प्रकार की आवृति के विकिरण को उत्सर्जित तथा अवशोषित करता है, कृष्णिका (black body) तथा इस पिण्ड से उत्सर्जित विकिरण को कृष्णिका विकिरण कहते है। कृष्णिका से उत्सर्जित विकिरण का यर्थात् आवृति वितरण (आवृति और तीव्रता के बीच विकिरण का आरेख) उसके ताप पर निर्भर करता है।



चित्र-9

प्रकाश के तरंग सिद्धांत के आधार पर उपरोक्त परिणामों की संतोषजनक व्याख्या नहीं की जा सकती। मैक्स प्लांक ने समझाया की परमाणु और अणु केवल विविक्त मात्राओं में ऊर्जा उत्सर्जित (या अवशोषित) करते है न कि अनवरत रूप में।

प्रकाश का क्वाटंम सिद्धान्त :

D12 विद्युत चुम्बकीय विकिरण के रूप में ऊर्जा कि न्यूनतम मात्रा जिसका उत्सर्जन या अवशोषण होता है, प्रकाश का क्वाण्टम कहलाता है।

प्लांक के अनुसार किसी भी स्रोत से निकलने वाली प्रकाश ऊर्जा हमेशा एक निम्न ऊर्जा के मान का समाकलनीय गुणन होती है जिसे प्रकाश का क्वान्टम कहते है।

माना प्रकाश का क्वाण्टम = E_0(J), तब निकलने वाली कुल ऊर्जा = nE_0 (n = Integer)

प्रकाश का क्वाण्टम = फोटॉन (पैकेट या ऊर्जा का बण्डल)

एक फोटॉन की ऊर्जा दि गई है

F7 $E_0 = h\nu$ (ν- प्रकाश की आवृति)

$h = 6.626 \times 10^{-34}$ J-Sec (h - प्लांक नियतांक)

F8 $E_0 = \dfrac{hc}{\lambda}$ (c - प्रकाश का वेग ; λ - तरंगद्वैर्ध्य)

E_0 के परिमाण का क्रम = $\dfrac{10^{-34} \times 10^{8}}{10^{-10}} = 10^{-16}$ J

Solved Example

Example 1 निश्चित धूप के चश्मे जिनके लेन्स में AgCl का छोटा भाग समावेशित होता है, एक उपर्युक्त तरंगद्वैर्ध्य के प्रकाश में लाने पर स्लेटी रंग होता है जिससे निम्न अभिक्रिया

$$AgCl \xrightarrow{h\nu} Ag(\text{स्लेटी}) + Cl$$

के द्वारा प्रदर्शित किया जाता है। AgCl के वियोजन के लिए यदि अभिक्रिया की ऊष्मा 248 kJ mol^{-1} है। इस विधि से प्रेरित होने से अधिकतम आवश्यक तरंगदैर्ध्य है।

हल. परिवर्तन के लिए आवश्यक ऊर्जा = 248×10^3 J/mol

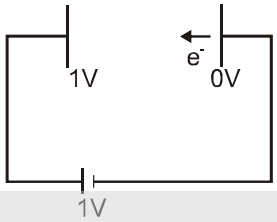
यदि फोटॉन का उपयोग इस उद्धेश्य से करते है तब आइन्सटीन के नियम के अनुसार एक अणु एक फोटॉन का अवशोषण करता है।

इसलिए, $N_A.\frac{hc}{\lambda} = 248 \times 10^3$

$$\lambda = \frac{6.626 \times 10^{-34} \times 3.0 \times 10^8 \times 6.023 \times 10^{23}}{248 \times 10^3} = 4.83 \times 10^{-7}\ m$$

D13 **एक इलेक्ट्रॉन वोल्ट (e.v.) :** जब एक इलैक्ट्रॉन को विरामावस्था से एक वोल्ट विभवान्तर से त्वरित किया जाता है, तो इलैक्ट्रॉन द्वारा प्राप्त की गई ऊर्जा एक इलैक्ट्रॉन वोल्ट के बराबर होती है।

नोट : धनावेश सदैव उच्च विभव से निम्न विभव की ओर गति करते है तथा ऋणावेश सदैव निम्न विभव से उच्च विभव की ओर गति करते है।



चित्र-10

Der.2 ऊर्जा संरक्षण सिद्धांत से, $P.E._i + K.E._i = P.E._f + K.E._f$

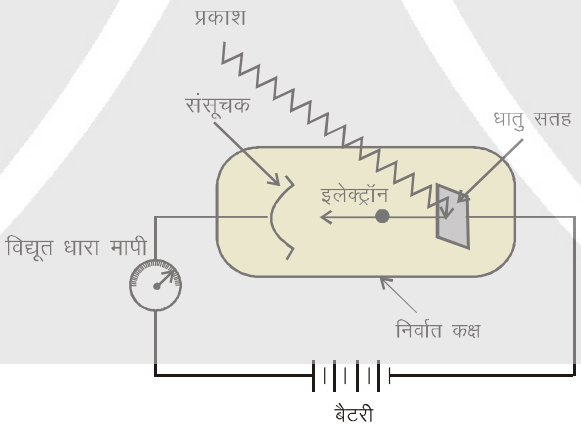
$(-e)\ 0 + 0 = (-e)\ (1V) + \frac{1}{2} mV_f^2$; $K.E. = \frac{1}{2} mV_f^2 = e$ (1 वोल्ट)

यदि आवेश 'q' 'V' वोल्ट के विभवान्तर से त्वरित होता है तब इसकी गतिज ऊर्जा q.V से बढ़ जायेगी।

$1\ eV = 1.6 \times 10^{-19}\ C \times 1$ वोल्ट ∴ $1eV = 1.6 \times 10^{-19} J$

प्रकाश विद्युत प्रभाव :

D14 कुछ धातुओं (जैसे–पोटैशियम, रूबीडियम, सीजियम आदि) की सतह पर प्रकाश पुंज डालने पर चित्र में दर्शाये अनुसार इलेक्ट्रॉन निकलते है।



चित्र-11

इस परिघटना को **प्रकाश विद्युत प्रभाव** कहते है। इस प्रयोग से प्राप्त परिणाम इस प्रकार हैं –

(i) धातु की सतह से प्रकाश पुंज के टकराते ही इलेक्ट्रॉन निकलते है, अर्थात् धातु की सतह से इलेक्ट्रॉन निष्कासन तथा सतह पर प्रकाशपुंज के टकराने के बीच कोई समय अन्तराल नहीं होता है।

(ii) निष्कासित इलेक्ट्रॉनों की संख्या प्रकाश की तीव्रता के समानुपाती होती है।

(iii) प्रत्येक धातु के लिए एक अभिलाक्षणिक न्यूनतम आवृति, ν_0 होती है (जिसे **देहली आवृति** कहते है) इससे कम आवृति पर प्रकाश विद्युत प्रभाव प्रदर्शित नहीं होता है। $\nu > \nu_0$ आवृति पर निष्कासित इलेक्ट्रॉनों की कुछ गतिज ऊर्जा होती है। इन इलेक्ट्रॉनों की गतिज ऊर्जा प्रयुक्त प्रकाश की आवृति बढ़ने के साथ बढ़ती है।

जब कोई पर्याप्त ऊर्जा वाला फोटॉन धातु के परमाणु के इलेक्ट्रॉन से टकराता है, तो वह टक्कर के दौरान अपनी ऊर्जा इलेक्ट्रॉन को दे देता है तथा इलेक्ट्रॉन बिना किसी समय अन्तराल के निष्कासित हो जाता है। फोटॉन की ऊर्जा जितनी अधिक होगी, उतनी ही ऊर्जा वह इलेक्ट्रॉन को देगा और निष्कासित इलेक्ट्रॉन की गतिज ऊर्जा उतनी ही अधिक होगी। दूसरे शब्दों में, निष्कासित इलेक्ट्रॉन की गतिज ऊर्जा, विद्युत चुम्बकीय विकिरण की आवृति के समानुपाती होती है। चूँकि टकराने वाले फोटॉन की ऊर्जा $h\nu$ है और इलेक्ट्रॉन को निष्कासित करने के लिए आवश्यक न्यूनतम ऊर्जा $h\nu_0$ (जिसे कार्यफलन, W_0 भी कहते है।) तब ऊर्जा में अतंर $(h\nu - h\nu_0)$ फोटोइलेक्ट्रॉन की गतिज ऊर्जा के रूप में स्थानांतरित हो जाती है। ऊर्जा के संरक्षण के नियम का अनुसरण करते हुए निष्कासित इलेक्ट्रॉन की गतिज ऊर्जा समीकरण द्वारा दी गई है।

F9 $h\nu = h\nu_0 + \frac{1}{2} m_e v^2$

जहाँ m_e इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान है और v वेग है।

(iv) अधिक तीव्रता वाले प्रकाश मे फोटॉनों की संख्या अधिक होगी और परिणामस्वरूप निष्कासित इलेक्ट्रॉन की संख्या भी अधिक होगी। इससे प्रकाश की कण प्रकृति सिद्ध होती है।

Solved Example

Example 1 एक धातु के लिए देहली आवृत्ति $6 \times 10^{14}\ s^{-1}$ है यदि $\nu = 1.1 \times 10^{15}\ s^{-1}$ आवृति वाला विकिरण धातु की सतह से टकराता है तब उत्सर्जित इलेक्ट्रॉन की गतिज ऊर्जा की गणना कीजिए।

हल. $K.E. = \frac{1}{2} m_e V^2 = h(\nu - \nu_0)$ $\quad \therefore \quad K.E. = (6.626 \times 10^{-34})(1.1 \times 10^{15} - 6 \times 10^{14})$

$\therefore \quad K.E. = (6.626 \times 10^{-34})(5 \times 10^{14}) = 3.313 \times 10^{-19}\ J$

खण्ड (C) : बोर मॉडल

बोर परमाणु मॉडल :

यह प्रकाश के क्वान्टम सिद्धान्त पर आधारित है।

- **बोर मॉडल की अभिधारणा :**

इलेक्ट्रॉन नाभिक के चारो ओर कुछ निश्चित गोलाकार पथो पर ही घूमते है, जिनमें घूमते समय इलेक्ट्रॉन विद्युत चुम्बकीय विकिरण उत्सर्जित नहीं करता है। इसे स्थायी कक्षा कहते है। नाभिक के आकर्षण बल के द्वारा आवश्यक अभिकेन्द्री बल उत्पादित होता है।

F10 $\frac{mv^2}{r} = \frac{Ke^2Z}{r^2}$

- इन स्थायी कक्षाओं में इलेक्ट्रॉन का कोणीय संवेग $\frac{h}{2\pi}$ का पूर्ण गुणज होता है।

F11 $mvr = \frac{nh}{2\pi}$

- जब इलेक्ट्रॉन एक स्थायी कक्षा से दूसरी कक्षा मे जाता है तो कुछ ऊर्जा का अवशोषण या उत्सर्जन फोटॉन के रूप में होता है। इस ऊर्जा का मान दोनो ऊर्जा स्तरो की ऊर्जा के अन्तर के बराबर होता है।

F12 $\frac{hc}{\lambda} = \Delta E$ $\quad \Delta E$ – कक्षा की ऊर्जा में अन्तर

F13 $\upsilon = \frac{\Delta E}{h}$ $\quad$ यह बोर आवृत्ति नियम है।

बोर अवधारणा का गणितीय रूप :

Der.3 **बोर कक्षा के लिए त्रिज्या की गणना :** माना कि 'm' द्रव्यमान तथा 'e' आवेश वाला एक इलेक्ट्रॉन 'v' रेखीय वेग से 'Ze' (Z परमाणु क्रमांक है तथा e = आवेश) आवेश के नाभिक के चारो ओर चक्कर लगाता है। इलेक्ट्रॉन जिस कक्षा में चक्कर लगाता है उसकी त्रिज्या 'r' है।

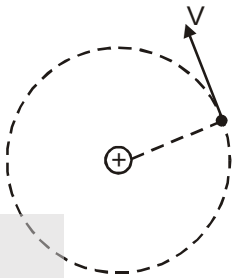
कूलाम नियम के अनुसार, गतिशील इलेक्ट्रॉन तथा नाभिक के मध्य स्थिरविद्युतकीय आकर्षण बल (F) है।

$F = \frac{KZe^2}{r^2}$ यहाँ, K = नियतांक = $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \times 10^9\ Nm^2/C^2$ तथा अपकेन्द्री बल $F = \frac{mv^2}{r}$

एक इलेक्ट्रॉन की स्थायी कक्षा के लिए दोनों बल सन्तुलित होते है।

अर्थात् $\frac{mv^2}{r} = \frac{KZe^2}{r^2}$

तब $v^2 = \frac{KZe^2}{mr}$ ..... (i)



चित्र-12

बोर अवधारणा से,

$mvr = \frac{nh}{2\pi} \Rightarrow v = \frac{nh}{2\pi mr}$

वर्ग करने पर $v^2 = \frac{n^2h^2}{4\pi^2m^2r^2}$ ..... (ii)

हल करने पर, हमें प्राप्त होता है।

$$\frac{KZe^2}{mr} = \frac{n^2h^2}{4\pi^2m^2r^2}$$

F14 $r = \frac{n^2h^2}{4\pi^2mKZe^2}$ e, h, m का मान रखने पर, n^{th} बोर कक्ष की त्रिज्या दी गई है :

F15 $r_n = 0.529 \times \frac{n^2}{Z}$ Å

Solved Example

Example 1. He^+ आयन के 2^{nd} कक्ष तथा Be^{3+} आयन के 3^{rd} कक्ष के लिए त्रिज्या अनुपात की गणना कीजिए।

हल. r_1 (He^+ आयन के 2^{nd} कक्ष की त्रिज्या) = $0.529\left(\frac{2^2}{2}\right)$ Å

r_2 (Be^{3+} आयन के 3^{rd} कक्ष की त्रिज्या) = $0.529\left(\frac{3^2}{4}\right)$ Å

अतः $\frac{r_1}{r_2} = \frac{0.529 \times 2^2/2}{0.529 \times 3^2/4} = \frac{8}{9}$

Der.4 **बोर कक्ष में एक इलेक्ट्रॉन के वेग की गणना**

n^{th} कक्ष में चक्कर लगाने वाले इलेक्ट्रॉन का कोणीय संवेग दिया गया है :

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

$v = \frac{nh}{2\pi mr}$ ..... (iii)

समीकरण (iii) में 'r' का मान रखने पर

तब, $v = \frac{nh \times 4\pi^2mZe^2K}{2\pi mn^2h^2}$

F16 $v = \frac{2\pi Ze^2K}{nh}$

π, e^-, h तथा K के मान रखने पर

F17 n^{th} कक्ष में इलेक्ट्रॉन का वेग $v_n = 2.18 \times 10^6 \times \frac{Z}{n}$ m/sec ; $v \propto Z$; $v \propto \frac{1}{n}$

F18 कक्ष में एक इलेक्ट्रॉन के वृताकार गति में लगने वाला समय $T = \frac{2\pi r}{v}$

F19 कक्ष में एक इलेक्ट्रॉन के वृताकार गति की आवृति $f = \frac{v}{2\pi r}$

Der.5 एक इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा की गणना :

निश्चित कक्ष में वृताकार गति करते हुए एक इलेक्ट्रॉन की कुल ऊर्जा

T.E. = K.E. + P.E.

यहाँ : P.E. = स्थितिज ऊर्जा , K.E. = गतिज ऊर्जा , T.E. = कुल ऊर्जा

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

और एक इलेक्ट्रॉन की स्थितिज ऊर्जा = $-\frac{KZe^2}{r}$

अतः कुल ऊर्जा = $\frac{1}{2}mv^2 - \frac{KZe^2}{r}$

हम जानते है कि, $\frac{mv^2}{r} = \frac{KZe^2}{r^2}$ या $mv^2 = \frac{KZe^2}{r}$

उपरोक्त समीकरण में ; mv^2 का मान रखने पर

कुल ऊर्जा = $\frac{KZe^2}{2r} - \frac{KZe^2}{r} = -\frac{KZe^2}{2r}$

इसलिए कुल ऊर्जा = $-\frac{KZe^2}{2r}$

कुल ऊर्जा की समीकरण में 'r' का मान रखने पर

तब कुल ऊर्जा = $-\frac{KZe^2}{2} \times \frac{4\pi^2 Ze^2 m}{n^2h^2} = -\frac{2\pi^2Z^2e^4m\ K^2}{n^2h^2}$

अतः n^{th} कक्ष में इलेक्ट्रॉन की कुल ऊर्जा दि गई है।

F20 कुल ऊर्जा = $E_n = -\frac{2\pi^2 me^4k^2}{h^2}\left(\frac{z^2}{n^2}\right)$ ... (iv)

m, e, h तथा π के मान रखने पर हमें कुल ऊर्जा का व्यजंक प्राप्त होता है।

F21 $E_n = -13.6\ \frac{Z^2}{n^2}$ eV/परमाणु $n\uparrow$ T.E. $\uparrow$; $Z\uparrow$ T.E.$\downarrow$

F22 $E_n = -2.18 \times 10^{-18}\ \frac{Z^2}{n^2}$ J/परमाणु

F23 कुल ऊर्जा = $\frac{1}{2}$ स्थितिज ऊर्जा

F24 कुल ऊर्जा = – गतिज ऊर्जा

नोट : अनन्त पर स्थितिज ऊर्जा = 0 ; अनन्त पर गतिज ऊर्जा = 0

ऊर्जा समीकरण से निष्कर्ष :

(a) ऊर्जा का ऋण चिन्ह यह दर्शाता है कि ऋणात्मक आवेशित इलेक्ट्रॉन तथा धनात्मक आवेशित नाभिक के मध्य आकर्षण होता है।

(b) 'n' के अतिरिक्त जो कि एक पूर्णांक है, अर्थात् 1, 2, 3 आदि परमाणु क्रमांक Z वाले तत्व के लिए ऊर्जा समीकरण में R.H.S की ओर सभी मात्राऐं स्थिर होती है अर्थात् 'n' के मान को स्थिर रखने के लिए इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा नियत होती है।

(c) इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा ऋणात्मक चिन्ह के साथ 'n' के वर्ग के व्युत्क्रमानुपाती होती है।

(d) परमाणु मे इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा का ऋणात्मक आवेश यह दर्शाता है कि परमाणु में इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा, स्वतंत्र या स्थायी इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा (जिसको शुन्य लिया जाता है) की तुलना में कम होती है।

Solved Example

Example 1. हाइड्रोजन परमाणु में n = 5 अवस्था से n = 2 अवस्था वाले संक्रमण के दौरान उत्सर्जित फोटॉन की आवृति और तरंगदैर्ध्य क्या होगी?

हल. चूंकि $n_i = 5$ तथा $n_f = 2$, इस संक्रमण से बामर श्रेणी में एक स्पेक्ट्रमी रेखा प्राप्त होती है।

$$\Delta E = 2.18 \times 10^{-18}\ J \qquad \left[\frac{1}{5^2} - \frac{1}{2^2}\right] = -4.58 \times 10^{-19}\ J$$

यह उत्सर्जन ऊर्जा है।

फोटॉन की आवृति (ऊर्जा को परिमाण के रूप से लेते है।)

इस प्रकार दी जा सकती है।

$$\nu = \frac{\Delta E}{h} = \frac{4.58 \times 10^{-19}\ J}{6.626 \times 10^{-34}\ Js} = 6.91 \times 10^{14}\ Hz$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3.0 \times 10^{8}\ ms^{-1}}{6.91 \times 10^{14}\ Hz} = 434\ nm$$

बोर सिद्धांत की असफलता/सीमाएँ :

(a) यह एक से अधिक इलेक्ट्रॉन युक्त परमाणुओं के रेखीय स्पेक्ट्रम की व्याख्या नहीं कर सका।

(b) यह स्पेक्ट्रमी रेखाओं की उपस्थिति की व्याख्या करने में असमर्थ रहा।

(c) यह चुम्बकीय क्षेत्र (जीमन प्रभाव) एवम् विद्युत क्षेत्र (स्टार्क–प्रभाव) में स्पेक्ट्रमी रेखाओं के विपाटन की व्याख्या करने में असमर्थ रहा।

(d) यह सिद्धांत कोणीय संवेग के क्वांटीकरण के सिद्धांत के लिए कोई निष्कर्ष नहीं दे सका।

(e) यह द्रव्य के द्वैत व्यवहार के डि–ब्रॉग्ली सिद्धांत की व्याख्या करने में असमर्थ रहा।

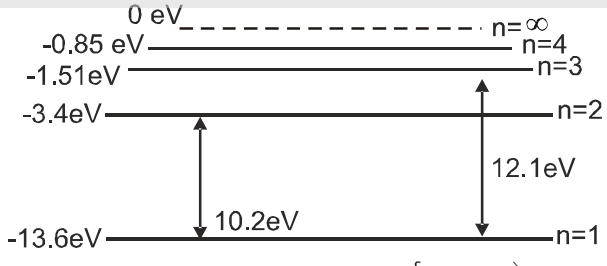
(f) यह हाइजेनबर्ग के अनिश्चितता सिद्धांत की व्याख्या करने में असमर्थ रहा।

(g) यह परमाणुओं के रासायनिक आबन्धों द्वारा अणु बनने की योग्यता की व्याख्या नहीं कर सका।

ऊर्जा स्तर आरेख :

(i) निम्नतम ऊर्जा के कक्ष सबसे नीचे (तल में) स्थित होते है तथा अन्य सभी कक्ष इसके ऊपर स्थित होते है।

(ii) दो कक्षा के मध्य अन्तराल (gap), कक्षा के ऊर्जा अन्तर के समानुपाती होता है।



H-परमाणु का ऊर्जा स्तर आरेख

चित्र-13

एक इलेक्ट्रॉन निकाय के लिये मानीय परिभाषाएँ :

D15

(i) मूल अवस्था :

कोई भी परमाणु या आयन की निम्न ऊर्जा अवस्था ही परमाणु की मूल अवस्था कहलाती है।

H–परमाणु की मूल ऊर्जा अवस्था = – 13.6 eV

He^+ आयन की मूल ऊर्जा अवस्था = – 54.4 eV

D16

(ii) उत्तेजित अवस्था :

परमाणु की मूल अवस्था को छोड़कर अन्य अवस्था को उत्तेजित अवस्था कहते है।

n = 2	प्रथम उत्तेजित अवस्था
n = 3	द्वितीय उत्तेजित अवस्था
n = 4	तृतीय उत्तेजित अवस्था
n = n + 1	n^{th} उत्तेजित अवस्था।

D17

(iii) आयनन ऊर्जा (I.E.) :

एक इलेक्ट्रॉन को मूल अवस्था से n = ∞ तक पहुँचाने के लिये आवश्यक ऊर्जा को परमाणु या आयन की आयनन ऊर्जा कहते है।

H–परमाणु की आयनन ऊर्जा = 13.6 eV

He^+ आयन की आयनन ऊर्जा = 54.4 eV

Li^{+2} आयन की आयनन ऊर्जा = 122.4 eV

D18

(iv) आयनन विभव (I.P.) :

विभवान्तर, जिसमे कि मुक्त इलेक्ट्रॉन को विराम अवस्था से त्वरित करने पर इसकी गतिज ऊर्जा परमाणु की आयनन ऊर्जा के समान होती है, इसे परमाणु का आयनन विभव कहते है।

H परमाणु का आयनन विभव = 13.6 v

He^+ परमाणु का आयनन विभव = 54.4 v

D19

(v) उत्सर्जन ऊर्जा :

परमाणु की मूल अवस्था से एक इलेक्ट्रॉन को परमाणु की अन्य अवस्था तक ले जाने के लिए आवश्यक ऊर्जा को उस अवस्था की उत्सर्जन ऊर्जा कहते है।

2^{nd} अवस्था की उत्सर्जन ऊर्जा = 1^{st} उतेजित अवस्था की उत्सर्जन ऊर्जा = 1^{st} उत्सर्जन ऊर्जा = 10.2 eV.

D20

(vi) उत्सर्जन विभव :

वह विभवान्तर, जिसमें विराम अवस्था से त्वरित होकर इलेक्ट्रॉन की गतिज ऊर्जा किसी अवस्था के लिए उत्सर्जन ऊर्जा के समान होती है, इसे अवस्था का उत्सर्जन विभव कहते है।

तृतीय अवस्था का उत्सर्जन विभव = द्वितीय उत्सर्जित अवस्था का उत्सर्जन विभव = द्वितीय उत्सर्जन विभव = 12.09 v.

D21

(vii)पृथक्करण ऊर्जा या बन्ध ऊर्जा :

किसी भी अवस्था से, n = ∞ अवस्था तक इलेक्ट्रॉन को बाहर निकालने के लिए आवश्यक ऊर्जा को पृथक्करण ऊर्जा कहते है।

मूल अवस्था की बंध ऊर्जा = परमाणु या आयन की आयनन ऊर्जा

Solved Example

Example 1. एक इलेक्ट्रॉन निकाय जिसकी आयनन ऊर्जा 11180 किलो जूल मोल$^{-1}$ है तो निकाय के नाभिक में प्रोटॉन की संख्या ज्ञात करो।

हल. $I.E. = \frac{Z^2}{n^2} \times 21.69 \times 10^{-19}$ J

$$\frac{11180 \times 10^3}{6.023 \times 10^{23}} = \frac{Z^2}{1^2} \times 21.69 \times 10^{-19}$$ **Ans. Z = 3**

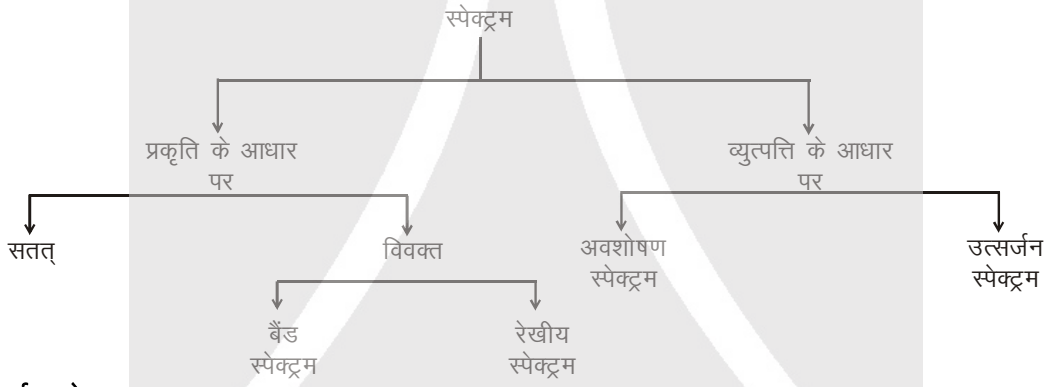
खण्ड (D) : स्पेक्ट्रम

हाइड्रोजन स्पेक्ट्रम :

उत्सर्जन तथा अवशोषण स्पेक्ट्रम का अध्ययन :

एक उपकरण जिसके द्वारा अलग–अलग तरंगद्वैर्ध्य (या आवृति) के विकिरणों को पृथक किया जाता है, स्पेक्ट्रोस्कोप या स्पेक्ट्रोग्राफ कहलाता है। फिल्म पर डाले गये विकिरण का फोटोग्राफ, या दिए गए विकिरण का एक स्पेक्ट्रम स्पेक्ट्रोग्राम कहलाता है।

D22 विज्ञान की वह शाखा जो स्पेक्ट्रम के अध्ययन के काम आती है, उसे **स्पेक्ट्रोस्कोपी** कहते है।



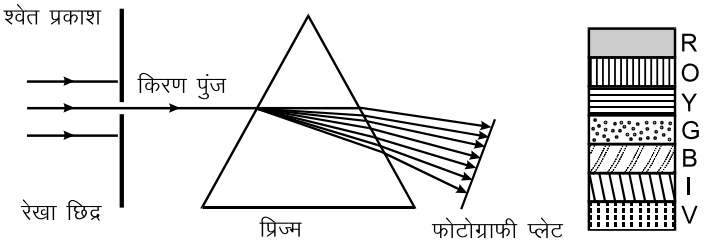
D23 **उत्सर्जन स्पेक्ट्रम :**

जब किसी स्त्रोत जैसे सूर्य से विकिरण उत्सर्जित होते है, या कम दाब पर गैस से विद्युत विसर्जन गुजरता है या किसी पदार्थ को उच्च ताप पर गर्म करने पर उत्सर्जित विकिरण को सीधे प्रिज्म से गुजारते है व फोटोग्राफी प्लेट पर एकत्रित होते है, तो प्राप्त हुए स्पेक्ट्रम को उत्सर्जन स्पेक्ट्रम कहते है। विकिरण के स्त्रोत के आधार पर उत्सर्जन स्पेक्ट्रम दो तरह के होते है–

D24

(e) सतत् स्पेक्ट्रम :

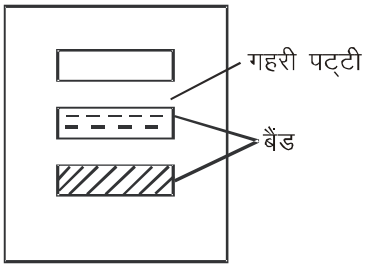
जब किसी स्त्रोत जैसे सूर्य, एक बल्ब या अन्य कोई गर्म, दीप्त वस्तु के द्वारा प्राप्त श्वेत प्रकाश को प्रिज्म से गुजारा जाता है तो यह बैंगनी से लाल सात भिन्न रंगो की पट्टी में विभाजित हो जाता है। प्रत्येक रंग लगातार अगले रंग में विलय होता रहता है। इस तरह के स्पेक्ट्रम को सतत् स्पेक्ट्रम कहते है।



चित्र-14

(f) **विवक्त स्पेक्ट्रम :** ये दो प्रकार के होते है।

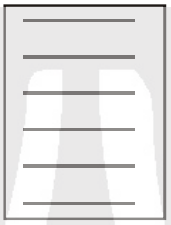
(i) बैंड स्पेक्ट्रम



चित्र-15

बैंड स्पेक्ट्रम में रंगीन सतत् बैंड कुछ गहरी पट्टी से पृथक होते है।
सामान्यतः आण्विक स्पेक्ट्रम, बैंड स्पेक्ट्रम होते है।

(ii) रेखीय स्पेक्ट्रम :

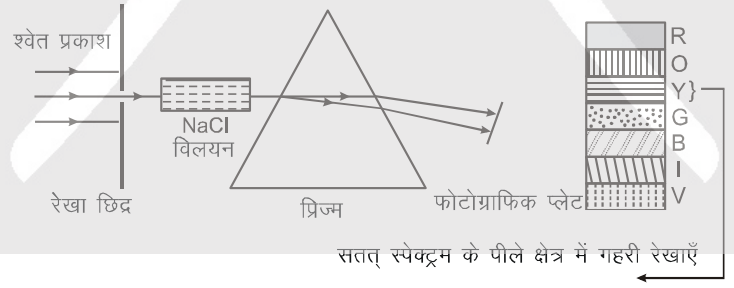


चित्र-16

D25 इसमें गहरी पट्टी से पृथक निश्चित तरंगदैर्ध्य की रेखाएँ क्रम में व्यवस्थित होती है। उदाहरण : हाइड्रोजन स्पेक्ट्रम। रेखीय स्पेक्ट्रम को परमाणुओं से प्राप्त कर सकते हैं।

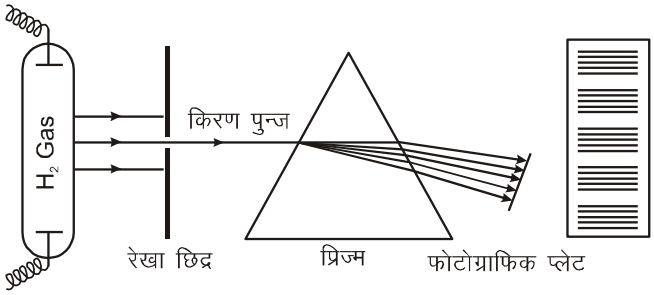
D26 **अवशोषण स्पेक्ट्रम :**

जब श्वेत प्रकाश को किसी रासायनिक पदार्थ के विलयन या वाष्प से गुजारा जाता हे तथा इसका स्पेक्ट्रोमीटर के द्वारा अध्ययन किया जाता है, तब यह पाया गया है कि सतत् स्पेक्ट्रम में कुछ गहरी रेखाऐं प्राप्त होती है। इन गहरी रेखाओं को इस प्रकार समझा जा सकता है कि, जब श्वेत प्रकाश (जिसमें सभी तरंगदैर्ध्य उपस्थित है) को किसी रासायनिक पदार्थ से गुजारते है तो कुछ निश्चित तरंगदैर्ध्य का अवशोषण हो जाता है, यह पदार्थ की प्रकृति पर निर्भर करता है।



चित्र-17

D27 **हाइड्रोजन का उत्सर्जन स्पेक्ट्रम :**



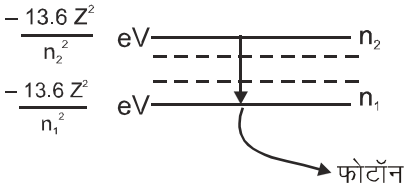
चित्र-18

जब हाइड्रोजन गैस को निम्न दाब पर विसर्जन नलिका में लेते है तथा विद्युत विसर्जन करने पर प्रकाश उत्सर्जित होता है और इसका परिक्षण एक स्पेक्ट्रोस्कोप से करते है, तो प्राप्त स्पेक्ट्रम को हाइड्रोजन का उत्सर्जन स्पेक्ट्रम कहते है।

हाइड्रोजन का रेखीय स्पेक्ट्रम :

एक स्थायी कक्षा से अन्य स्थायी कक्षा में इलेक्ट्रॉन के उत्तेजन या अन्–उत्तेजन के कारण, हाइड्रोजन का रेखीय स्पेक्ट्रम प्राप्त होता है।

माना कि H-समान नमूने में, इलेक्ट्रॉन n_2 से n_1 ($n_2 > n_1$) में संक्रमण करता है।



Der.6 उत्सर्जित फोटॉन की ऊर्जा = $(\Delta E)_{n_2 \to n_1} = \frac{-13.6Z^2}{n_2^2} - \left(\frac{-13.6Z^2}{n_1^2}\right) = 13.6Z^2\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$

उत्सर्जित फोटॉन की तरंगद्वैर्ध्य

$$\lambda = \frac{hc}{(\Delta E)_{n_2 \to n_1}}$$

$$\lambda = \frac{hc}{13.6Z^2\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)}$$

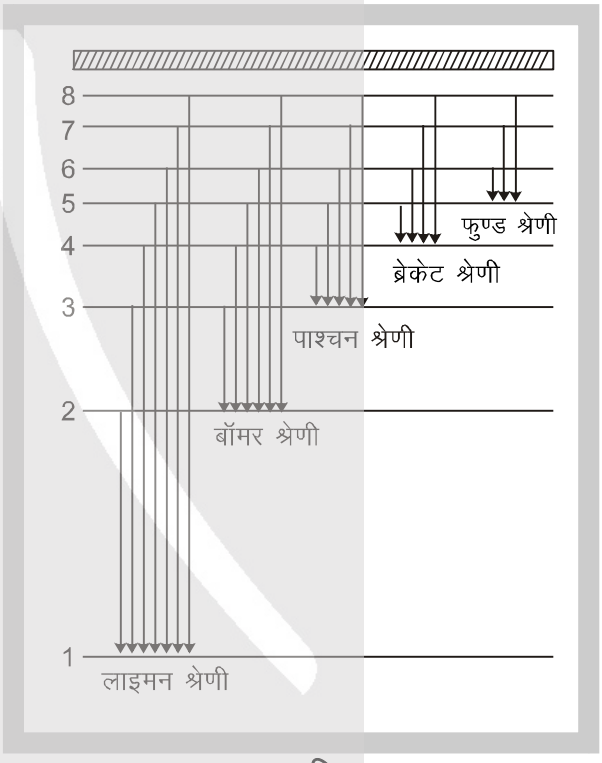
$$\frac{1}{\lambda} = \frac{(13.6)z^2}{hc}\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$$

F25 तरंग संख्या, $\frac{1}{\lambda} = \bar{\nu} = RZ^2\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$

R = रिड्बर्ग नियतांक = $1.09678 \times 10^7 m^{-1}$;

$R \approx 1.1 \times 10^7\ m^{-1}$;

$R = \frac{13.6eV}{hc}$; R ch = 13.6 eV



चित्र-19

Solved Example

Example 1 हाइड्रोजन परमाणु में n = 2 से n = 1 अवस्था वाले संक्रमण के दौरान उत्सर्जित फोटॉन की तरंग–द्वैर्ध्य की गणना कीजिए।

हल. $\frac{1}{\lambda} = RZ^2\left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right]$

$\therefore \quad \frac{1}{\lambda} = R(1)^2\left[\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right]$

$\therefore \quad \frac{1}{\lambda} = \frac{3R}{4}$ या $\lambda = \frac{4}{3R}$

हाइड्रोजन परमाणु की स्पेक्ट्रमी रेखाएँ :

लाइमैन श्रेणी

* यह H की प्रथम स्पेक्ट्रमी श्रेणी है।
* 1898 में लाइमैन द्वारा, इन्हें पराबैंगनी क्षेत्र में पाया गया।
* इसके लिए n_1 का मान 1 तथा n_2 का मान 2,3,4 है। यहाँ 'n_1' आद्य अवस्था है एवं 'n_2', H - परमाणु में उपस्थित इलेक्ट्रॉन की उत्तेजित अवस्था है।
* $\frac{1}{\lambda} = R_H\left[\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right]$ यहाँ सदैव $n_2 > 1$
* सभी श्रेणीयों के लिए सीमाकारी रेखा की तरंगद्वैर्ध्य (i.e. $n_2 = \infty$) = $\frac{n_1^2}{R_H}$ इसलिए लाइमैन श्रेणी के लिए $\lambda = \frac{1}{R_H}$.
* लाइमैन श्रेणी की I^{st} रेखा $\Rightarrow 2 \rightarrow 1$

लाइमैन श्रेणी की II^{nd} रेखा = $3 \rightarrow 1$

लाइमैन श्रेणी की अन्तिम रेखा = $\infty \rightarrow 1$

$[10.2\ eV \le (\Delta E)_{\text{लाइमैन}} \le 13.6\ eV]$

$$\frac{12400}{13.6} \le \lambda_{\text{लाइमैन}} \le \frac{12400}{10.2}\ \text{Å}$$

* **दीर्घतम रेखा :** दीर्घतम तरंगद्वैर्ध्य रेखा $\lambda_{\text{दीर्घतम}}$ या $\lambda_{\text{अधिकतम}} = \frac{12400}{(\Delta E)_{\text{न्यूनतम}}}$
* **लघुतम रेखा :** लघुतम तरंगद्वैर्ध्य रेखा $\lambda_{\text{लघुतम}}$ या $\lambda_{\text{निम्नतम}} = \frac{12400}{(\Delta E)_{\text{अधिकतम}}}$
* किसी भी स्पेक्ट्रमी श्रेणी की प्रथम रेखा, दीर्घतम ($\lambda_{\text{अधिकतम}}$) रेखा होती है।
* किसी भी स्पेक्ट्रमी श्रेणी की अन्तिम रेखा, लघुतम ($\lambda_{\text{निम्नतम}}$) रेखा होती है।

श्रेणी सीमा :

यह, किसी भी स्पेक्ट्रमी श्रेणी की अन्तिम रेखा है।

लाइमैन श्रेणी की I^{st} रेखा की तरंग संख्या = $\frac{1}{\lambda} = \bar{\nu} = R \times 1^2\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right)$

$$\bar{\nu} = R \times 1^2\left(\frac{4-1}{4}\right)$$

$$\bar{\nu} = \frac{R \times 3}{4} = \frac{3R}{4} \qquad \therefore \quad \left[\lambda = \frac{4}{3R}\right]$$

लाइमैन श्रेणी की अन्तिम रेखा की तरंग संख्या

$$\bar{\nu} = R \times 1^2\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{\infty^2}\right)$$

$$\bar{\nu} = R$$

लाइमैन श्रेणी के लिए, $\lambda_{\text{दीर्घतम}} = \frac{12400}{(\Delta E)_{2-1}}$, $\lambda_{\text{लघुतम}} = \frac{12400}{(\Delta E)_{\infty \rightarrow 1}}$

बामर श्रेणी :

* यह H-स्पेक्ट्रम की द्वितीय श्रेणी है।
* 1892 में बामर द्वारा दृश्य क्षैत्र में खोजा गया।
* इसके लिए n_1 का मान 2 तथा n_2 = 3,4,5,..... होता है।
* बामर श्रेणी की सीमाकारी रेखा की तरंग द्वैर्ध्य = $\frac{n_1^2}{R_H} = \frac{2^2}{R_H} = \frac{4}{R_H}$

* $\frac{1}{\lambda} = R_H\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$ यहाँ सदैव $n_2 > 2$ होता है।

$1.9 \le (\Delta E)_{\text{बामर}} \le 3.4$ eV.

H स्पेक्ट्रम में बामर श्रेणी के सभी रेखाएँ दृश्य परास में नहीं होती है। वास्तव में मात्र Ist चार रेखाएँ दृश्य परास से सम्बंधित हैं।

$\frac{12400}{3.4}$ Å $\le \lambda_{\text{बामर}} \le \frac{12400}{1.9}$ Å

3648 Å $\le \lambda_{\text{बामर}} \le$ 6536 Å

दृश्य परास में स्थित, बामर श्रेणी (H परमाणु के लिए) की रेखाएँ

बामर श्रेणी की Ist रेखा = $3 \to 2$

बामर श्रेणी की अन्तिम रेखा = $\infty \to 2$

$(\bar{\nu})$ 1st रेखा = $R \times 1\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}\right) = \frac{5R}{36}$

$(\bar{\nu})$ अन्तिम रेखा = $R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{\infty^2}\right) = \frac{R}{4}$

पाश्चन श्रेणी :

(a) यह H-स्पेक्ट्रम की तृतीय श्रेणी है।

(b) इसे पाश्चन द्वारा अवरक्त क्षेत्र में खोजा गया।

(c) इसके लिए n_1 का मान = 3 एवं n_2 = 4,5,6 ..... होता है।

(d) पाश्चन श्रेणी की सीमाकारी रेखा की तरंग द्वैर्ध्य = $\frac{n_1^2}{R_H} = \frac{3^2}{R_H} = \frac{9}{R_H}$.

(e) $\frac{1}{\lambda} = R_H\left[\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n_2^2}\right]$ यहाँ सदैव $n_2 > 3$ होता है।

ब्रेकेट श्रेणी :

(a) यह H - स्पेक्ट्रम की चौथी श्रेणी है।

(b) इसे ब्रेकेट द्वारा अवरक्त क्षेत्र में खोजा गया।

(c) इसके लिए n_1 का मान 4 तथा n_2 = 5,6,7 ..... होता है।

(d) ब्रेकेट श्रेणी की सीमाकारी रेखा की तरंग द्वैर्ध्य = $\frac{n_1^2}{R_H} = \frac{4^2}{R_H} = \frac{16}{R_H}$

(e) $\frac{1}{\lambda} = R_H\left[\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n_2^2}\right]$ यहाँ सदैव $n_2 > 4$ होता है।

फुण्ड श्रेणी :

(a) यह H-स्पेक्ट्रम की पाँचवी श्रेणी है।

(b) इसे फुण्ड द्वारा अवरक्त क्षेत्र में खोजा गया।

(c) इसके लिए n_1 का मान = 5 एवं n_2 = 6,7,8 ..... होता है।
यहाँ n_1 आद्य अवस्था एवं n_2 उत्तेजित अवस्था है।

(d) फुण्ड श्रेणी की सीमाकारी रेखा की तरंग द्वैर्ध्य = $\frac{n_1^2}{R_H} = \frac{5^2}{R_H} = \frac{25}{R_H}$

(e) $\frac{1}{\lambda} = R_H\left[\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n_2^2}\right]$ यहाँ सदैव $n_2 > 5$ होता है।

हम्फरी श्रेणी (Humphry series) :

(a) यह H-स्पेक्ट्रम की छठी श्रेणी है।

(b) इसे हम्फरी द्वारा अवरक्त क्षेत्र में खोजा गया।

(c) इसके लिए n_1 का मान 6 तथा n_2 = 7 , 8 , 9 .... होता है।

(d) हम्फरी श्रेणी की सीमाकारी रेखा की तरंग दैर्ध्य = $\frac{n_1^2}{R_H} = \frac{6^2}{R_H} = \frac{36}{R_H}$

(e) $\frac{1}{\lambda} = R_H\left[\frac{1}{6^2} - \frac{1}{n_2^2}\right]$ यहाँ $n_2 > 6$ होता है।

Solved Example

Example 1 He^+ आयन की बामर श्रेणी की 2nd रेखा के लिए तरंग दैर्ध्य की गणना कीजिए।

हल. $\frac{1}{\lambda} = R(2)^2\left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right]$

$n_1 = 2 \quad n_2 = 4$

$\frac{1}{\lambda} = R(2)^2\left[\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2}\right]$

$\frac{1}{\lambda} = \frac{3R}{4} \qquad \lambda = \frac{4}{3R}$ **Ans.**

H-परमाणु के नमूने द्वारा उत्सर्जित फोटॉनों की संख्या :

यदि एक इलेक्ट्रॉन किसी भी उच्च अवस्था n = n में है तथा आद्य अवस्था में संक्रमण करता है तब विभिन्न उत्सर्जित फोटॉनों की कुल संख्या $\frac{n \times (n-1)}{2}$ के बराबर होती है।

F26 यदि एक इलेक्ट्रॉन किसी भी उच्च अवस्था $n = n_2$ में है तथा अन्य उत्तेजित अवस्था $n = n_1$ में संक्रमण करता है तब विभिन्न उत्सर्जित फोटॉनों की कुल संख्या $\frac{\Delta n \quad (\Delta n + 1)}{2}$ के बराबर होती है, यहाँ $\Delta n = n_2 - n_1$

F27 **नोट :** एकल विलगित परमाणु की स्थिति में, यदि इलेक्ट्रॉन nth अवस्था से आद्य अवस्था में संक्रमण करता है तब प्रेक्षित स्पेक्ट्रमी रेखाओं की अधिकतम संख्या = (n-1) होती है।

Solved Example

Example 1 H-परमाणु नमूने में, यदि इलेक्ट्रॉन 7th उत्तेजित अवस्था से 2nd अवस्था में संक्रमण करता है, तब प्रेक्षित स्पेक्ट्रमी रेखाओं की अधिकतम संख्या ज्ञात कीजिए।

हल. $\Delta n = 8 - 2 = 6$

स्पेक्ट्रमी रेखाएँ = $6\left(\frac{6+1}{2}\right) = 6 \times \frac{7}{2} = 21$

खण्ड (E) : डी–ब्रोग्ली तरंग दैर्ध्य तथा हाइजन बर्ग अनिश्चितता सिद्धान्त

इलेक्ट्रॉन का द्वैत व्यवहार ;डी.ब्रॉग्ली अवधारणाद्ध

(a) आइंस्टीन ने बताया कि प्रकाश, तरंग एवं कण के समान व्यवहार कर सकता है अर्थात् यह द्वैत अभिलक्षण रखता है।

(g) 1924 में, डी–ब्रॉग्ली ने प्रस्तावित किया कि एक इलेक्ट्रॉन, द्रव्य कण एवं तरंग दोनों की तरह व्यवहार करता है।

(h) द्रव्य का तरंग यांत्रिकीय सिद्धांत, नया सिद्धांत है। इस सिद्धांत के अनुसार, इलेक्ट्रॉन, प्रोटॉन एवं परमाणु जब गति करते है तब तरंग गुण रखते है।

(i) डी–ब्रॉग्ली के अनुसार, v वेग से गति करने वाले m द्रव्यमान के एक कण की तरंग दैर्ध्य निम्न सम्बंध द्वारा दि गई है,

F28 $\lambda = \frac{h}{mv}$

यहाँ h प्लांक नियतांक है।

Der.7

(j) प्लांक समीकरण के अनुसार, निम्न प्रकार से व्युत्पन्न कर सकते है।

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

आइंस्टीन द्रव्यमान ऊर्जा सम्बंध के आधार पर फोटॉन की ऊर्जा

$$E = mc^2 \qquad \text{या} \qquad \lambda = \frac{h}{mc}$$

दोनों समीकरणों से हमें प्राप्त होती है,

$$\frac{h.c}{\lambda} = mc^2 \qquad \text{या} \qquad \lambda = \frac{h}{mc}$$

जो कि डी–ब्रॉग्ली सम्बंध के समान है।

डेवीसन तथा जर्मर ने इलैक्ट्रॉन किरणों के विवर्तन प्रभाव (diffraction effects) का अध्ययन करके इसे प्रयोगिक रूप से सिद्ध किया।

माना कि इलेक्ट्रॉन V विभव से त्वरित होता है तब गतिज ऊर्जा है :

Der.8

$$\frac{1}{2}mv^2 = eV$$

$$m^2v^2 = 2emV$$

$$mv = \sqrt{2emV} = p \text{ (संवेग)}$$

F29

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2emV}}$$

यदि हम बोर सिद्धांत को डी–ब्रॉग्ली समीकरण से संयोजित करते है तब

$$2\pi r = n\lambda \qquad \text{या} \qquad \lambda = \frac{2\pi r}{n}$$

डी–ब्रॉग्ली समीकरण से

$$\lambda = \frac{h}{mv} \qquad \text{अतः } \frac{h}{mv} = \frac{2\pi r}{n}$$

इसलिए, $mvr = \frac{nh}{2\pi}$

m = गतिक द्रव्यमान (dynamic mass) = $\frac{m_0}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}}$

m_0 = कण का विराम द्रव्यमान (rest mass)

वेग पर आधारित

c = प्रकाश का वेग

यदि कण का वेग शून्य है तब :

गतिक द्रव्यमान = विराम द्रव्यमान

फोटॉन का विराम द्रव्यमान शून्य है इसका अर्थ है फोटॉन विराम अवस्था पर नहीं होते है।

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

$m(K.E.) = \frac{1}{2}m^2v^2$ दोनों तरफ द्रव्यमान से गुणा करने पर

$\Rightarrow$ $m.v. = \sqrt{2m(K.E.)}$

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m(K.E.)}}$$

यदि एक आवेश q विराम अवस्था से 'V' वोल्ट विभवान्तर से त्वरित होता है तब आवेश की गतिज ऊर्जा " q.V" के बराबर होती है।

$\Rightarrow \quad \lambda = \dfrac{h}{\sqrt{2m(q.V)}}$

* यदि एक इलेक्ट्रॉन विराम अवस्था से 'V' वोल्ट विभवान्तर से त्वरित होता है तब

$\Rightarrow \quad \lambda = \dfrac{h}{\sqrt{2m_e(eV)}}$

$\Rightarrow \quad \lambda = \left(\dfrac{150}{V}\right)^{\frac{1}{2}}$ Å (h, m_e एवं e के मान रखने पर)

F30 $\lambda = \dfrac{12.3}{\sqrt{V}}$ Å (V वोल्ट में)

* $mvr = n \times \dfrac{h}{2\pi}$

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

$mv = \dfrac{h}{\lambda}$ में $mvr = \dfrac{nh}{2\pi}$ रखने पर

$\therefore \quad \dfrac{h}{\lambda} r = \dfrac{nh}{2\pi} \Rightarrow \left[\lambda = \dfrac{2\pi r}{n}\right]$ डी–ब्रॉग्ली तरंग द्वैर्ध्य

Solved Example

Example 1 0.1 kg द्रव्यमान और 10 m s^{-1} वेग से गति कर रही एक गेंद की तरंग द्वैर्ध्य क्या होगी ?

हल. डी–ब्रॉग्ली समीकरण के अनुसार,

$\lambda = \dfrac{h}{mv} = \dfrac{(6.626 \times 10^{-34}\ Js)}{(0.1\ kg)\ (10\ ms^{-1})} = 6.626 \times 10^{-34}$ m (J = kg m^2 s^{-2}).

हाइजेनबर्ग का अनिश्चितता का सिद्धान्त :

इस नियम के अनुसार किसी भी क्षण किसी सूक्ष्म कण की स्थिति व संवेग दोनो के मानो को यथार्थता के साथ ज्ञात करना संभव नहीं हैं। यदि Δx कण की स्थिति में अनिश्चितता और Δp कण के संवेग में अनिश्चितता है, तब :

F31 $\Delta x.\Delta p \geq \dfrac{h}{4\pi}$ या $\Delta x.(m\Delta v) \geq \dfrac{h}{4\pi}$

जहाँ Δx = स्थिति में अनिश्चितता, ΔP = संवेग में अनिश्चितता

h = प्लांक स्थिरांक, m = कण का द्रव्यमान

Δv = वेग में अनिश्चितता

Der.9 यदि कण की स्थिति यर्थाथता पूर्वक ज्ञात है अर्थात् $\Delta x \to 0$ तब $\Delta p \to \infty$.

यदि कण का संवेग यर्थाथता पूर्वक ज्ञात है अर्थात् $\Delta p \to 0$ तब $\Delta x \to \infty$.

यह प्रकाश के सिद्धांत के परिणामस्वरूप प्राप्त होता है जिसमें यदि 'λ' तरंग द्वैर्ध्य वाले प्रकाश का उपयोग कण की स्थिति निर्धारण के लिए किया जाता है तो स्थिति की माप में अधिकतम अनिश्चितता ± λ होगी।

अर्थात् $\Delta x = \pm\lambda$

यदि $\Delta x \to 0$; $\lambda \to 0$

लेकिन, $p = \dfrac{h}{\lambda} \Rightarrow \quad p \to \infty$

इसलिए, $\Delta x \to 0$, $\lambda \to 0$ करने के लिए अधिकतम ऊर्जा वाले फोटॉन का उपयोग इसकी स्थिति निर्धारण के लिए किया जाता है।

जब यह फोटॉन इलेक्ट्रॉन के साथ टकराते है तब इलेक्ट्रॉन का संवेग अधिक मात्रा में परिवर्तित हो जाता है।

* $\Delta p.\Delta x \geq \frac{h}{4\pi}$ (Δt से गुणा एवं भाग करने पर)

$\frac{\Delta P}{\Delta t}\Delta t.\Delta x \geq \frac{h}{4\pi}$ ($\frac{\Delta P}{\Delta t}$ = संवेग में परिवर्तन की दर = F)

$F.\Delta x.\Delta t \geq \frac{h}{4\pi}$

$\Delta E.\Delta t \geq \frac{h}{4\pi}$

$\Delta E \longrightarrow$ ऊर्जा में अनिश्चितता

$\Delta t \longrightarrow$ समय में अनिश्चितता

☞ ΔE (ऊर्जा में अनिश्चितता) तथा Δt (समय में अनिश्चितता) के पदों मे इस सिद्धान्त को ऐसे लिख सकते हैं—

F32 $\Delta E.\Delta t \geq \frac{h}{4\pi}$.

☞ हाइजेनबर्ग ने निश्चित कक्ष धारणा को प्रायिकता की धारणा में परिवर्तित कर दिया।

Solved Example

Example 1 एक गोल्फ बॉल का द्रव्यमान 40 ग्राम तथा चाल 45 m/s हैं। यदि चाल में 2% की यर्थाथता मापी गई हो, तो स्थिति में अनिश्चितता की गणना कीजिए।

हल. चाल में अनिश्चितता 2% है अर्थात् $45 \times \frac{2}{100} = 0.9\ m\ s^{-1}$.

समीकरण का उपयोग करने पर, $\Delta x = \frac{h}{4\pi m\Delta v} = \frac{6.626\times10^{-34}}{4\times3.14\times40\times10^{-3}\ \ (0.9\ \ ms^{-1})} = 1.46 \times 10^{-33}\ m$

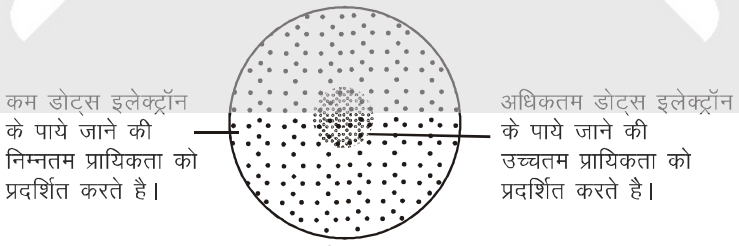
यह मान एक प्रारूपिक परमाण्विक नाभिक के व्यास की तुलना में लगभग ~ 10^{18} गुना छोटा है।

जैसा कि बड़े कणों के लिए पूर्व में बताया जा चुका हैं कि अनिश्चितता सिद्धांत बड़े कणों पर लागू नहीं होता है।

खण्ड (F) : परमाणु का क्वांटम यांत्रिकी मॉडल, श्रॉयोडिजर तरंग समीकरण तथा कक्षक सिद्धान्त कक्षक (Orbital) :

D28 परमाणु नाभिक के चारों ओर अन्तरिक्ष का वह स्थान जहाँ इलेक्ट्रॉन के पाये जाने की प्रायिकता अधिकतम (90% से 95%) होती है, उसे कक्षक कहते है।

कक्षक, इलेक्ट्रॉन द्वारा ग्रहण किये जाने वाले निश्चित पथ के बारे में नहीं बताता है लेकिन यह परमाणु नाभिक के चारों ओर अन्तरिक्ष के विभिन्न स्थानों में केवल इलेक्ट्रॉन की प्रायिकता के बारे में बताता है।



चित्र-20

कक्षा एवम् कक्षक के मध्य अन्तर

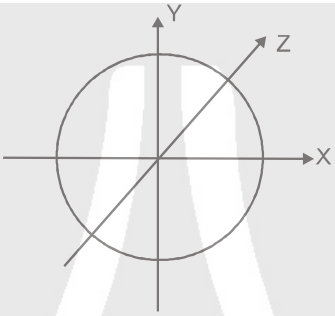
	कक्षा	कक्षकों
(1)	यह नाभिक के चारों ओर परिक्रमा करने वाले इलेक्ट्रॉनों के वृत्ताकार मार्ग को बताता है।	यह नाभिक के चारों ओर पाये जाने वाले अन्तरिक्ष के उस स्थान को बताता है जहाँ इलेक्ट्रॉनों के पाये जाने की सम्भावना सबसे ज्यादा होती है।
(2)	यह इलेक्ट्रॉन की समतल गति को दर्शाता है।	यह नाभिक के चारों ओर इलेक्ट्रॉन की त्रिविमीय गति को दर्शाता है।

(3)	एक कक्षा में इलेक्ट्रॉन की अधिकतम संख्या $2n^2$ होती है जहाँ n कक्षा की संख्या है।	कक्षक में 2 से ज्यादा इलेक्ट्रॉन नहीं हो सकते है।
(4)	कक्षा वृत्ताकार आकार की होती है।	कक्षक विभिन्न आकार के होते है उदा. s-कक्षक गोलीय होते है, p-कक्षक डम्बल आकारनुमा होते है।
(5)	कक्षा अदिशात्मक प्रकृति की होती है। अतः, इसके आधार पर अणुओं के आकार को नहीं ज्ञात किया जा सकता है।	कक्षक (s-कक्षक के अतिरिक्त) दिशात्मक प्रकृति के होते है। इसके आधार पर अणुओं के आकार को ज्ञात किया जा सकता है।
(6)	कक्षा संकल्पना हाइजेनबर्ग के अनिश्चितता सिद्धांत के अनुरूप नहीं होता है।	कक्षक संकल्पना पर हाइजेनबर्ग का सिद्धांत लागू होता है।

कक्षकों की आकृति :

कक्षकों की आकृति को श्रोडिंगर तरंग समीकरण द्वारा निर्धारित करते हैं तथा यह नाभिक के चारों ओर पाये जाने वाले अन्तरिक्ष के उस स्थान को बताता है जहाँ इलेक्ट्रॉनों के पाये जाने की सम्भावना अधिकतम होती है।

s-कक्षक : **आकृति → गोलाकार**



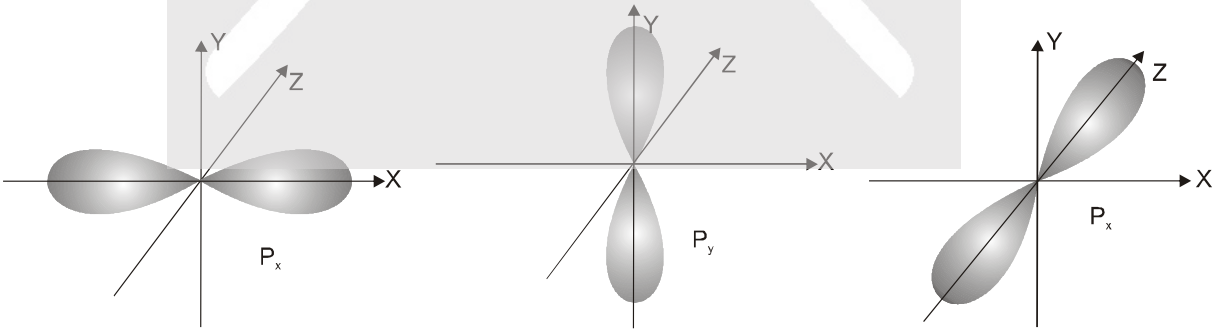
चित्र-21

s-कक्षक अदिशात्मक होते है तथा यह नाभिक के अधिक समीप होता हैं जिसकी ऊर्जा न्यूनतम होती है।
s-कक्षक में अधिकतम दो इलेक्ट्रॉनों उपस्थित हो सकते है।

n s

p-कक्षक : आकृति → डम्बल

p-कक्षक डम्बल आकृति के होते है जिसमें दो पिण्डक होते है। यह दोनों पिण्डक एक नोड (node) द्वारा जुड़े हाते है जहाँ इलेक्ट्रॉनों के पाये जाने की प्रायिकता शून्य होती है तथा यह नोड इन पिण्डकों को पृथक करता है।

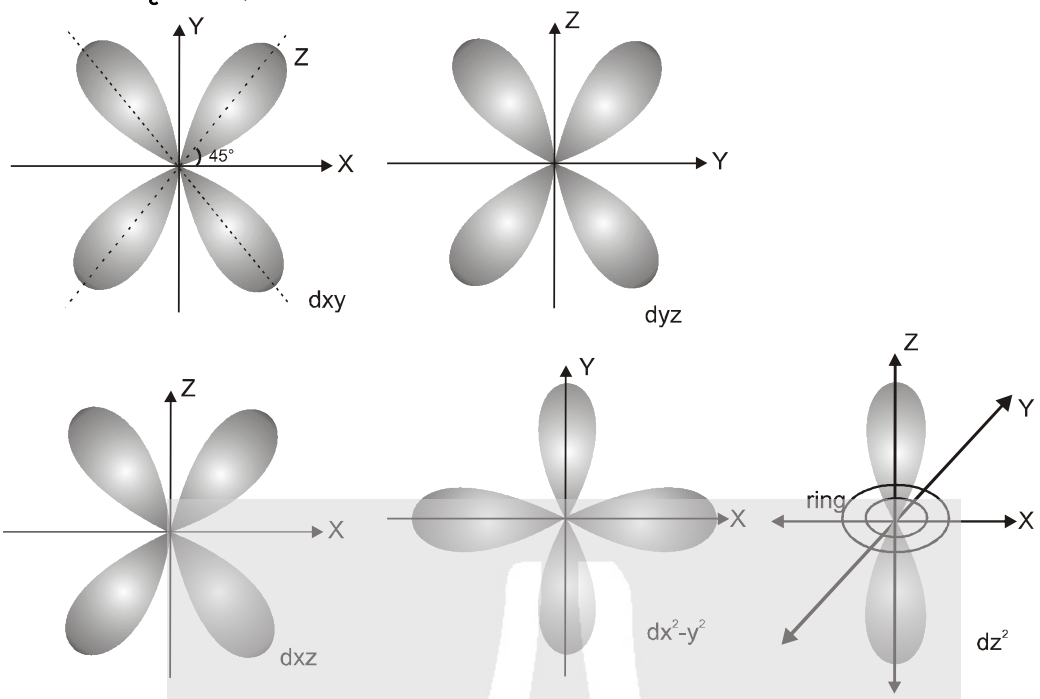


चित्र-22

p-उपकोश में अधिकतम 6 इलेक्ट्रॉन उपस्थित हो सकते है।

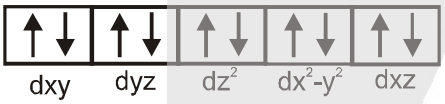
p_x p_y p_z

d-कक्षक : आकृति → द्विडम्बल



चित्र-23

d-उपकोश में अधिकतम 10 इलेक्ट्रॉन उपस्थित हो सकते है।



f-कक्षक : आकृति → पत्तिनुमा आकृति

f-उपकोश में अधिकतम 14 इलेक्ट्रॉन उपस्थित हो सकते है।

श्रोडिंगर समीकरण :

इरविन श्रोडिंगर ने एक मॉडल विकसित किया जो इलेक्ट्रॉन के कण व तरंग पर आधारित है, इसे परमाणु के तरंग यांत्रिक मॉडल के नाम से जाना जाता है। समीकरण, तरंग फलन का व्यवहार प्रदर्शित करती है जो उपपरमाण्वीय तंत्र के तरंग जैसे गुणधर्मों को वर्णित करता है। इसे तंत्र के भिन्न ऊर्जा स्तरों को प्राप्त करने के लिए हल किया जाता है।

श्रोडिंगर ने हाइड्रोजन परमाणु के लिए समीकरण को प्रयुक्त किया व अद्भुत यर्थाथता के साथ इसके कई गुणधर्मों को बताया। अवकलन तरंग समीकरण निम्न है :

F-33
$$\frac{\delta^2\psi}{\delta x^2} + \frac{\delta^2\psi}{\delta y^2} + \frac{\delta^2\psi}{\delta z^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2}(E - V)\psi = 0$$

जहाँ m इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान है, ψ तरंग फलन है, E इलेक्ट्रॉन की कुल ऊर्जा है, V विभव ऊर्जा है व h प्लांक नियतांक है।

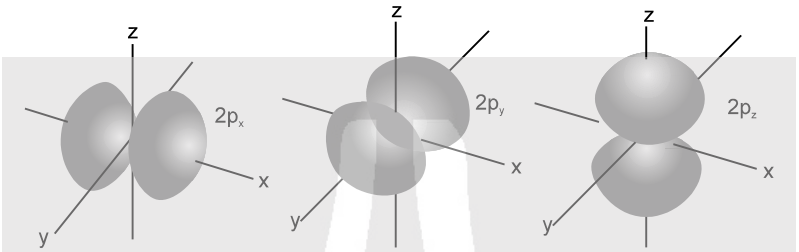
- तरंग फलन का भौतिक रूप से कोई अर्थ नहीं है, लेकिन ψ^2 का मान एक इलेक्ट्रॉन के प्रायिकता वितरण को वर्णित करता है।
- जब हम श्रोडिंगर समीकरण को हल करते हैं, यह प्रेक्षित होता है कि अन्तरिक्ष के कुछ क्षेत्रों के लिए ψ का मान धनात्मक है व अन्य के लिए यह ऋणात्मक है। लेकिन प्रायिकता धनात्मक होनी चाहिए, इसलिए ψ के स्थान पर ψ^2 को प्रयुक्त करना उपर्युक्त है।

- एक निश्चित परमाण्विय तंत्र के लिए श्रोडिंगर समीकरण को हल किया जाता है। इसे कैसे किया जाता है, इसका विस्तृत वर्णन पाठ्यक्रम से बाहर है, लेकिन इसके हल के परिणाम हमारे लिए बहुत महत्वपूर्ण हैं।

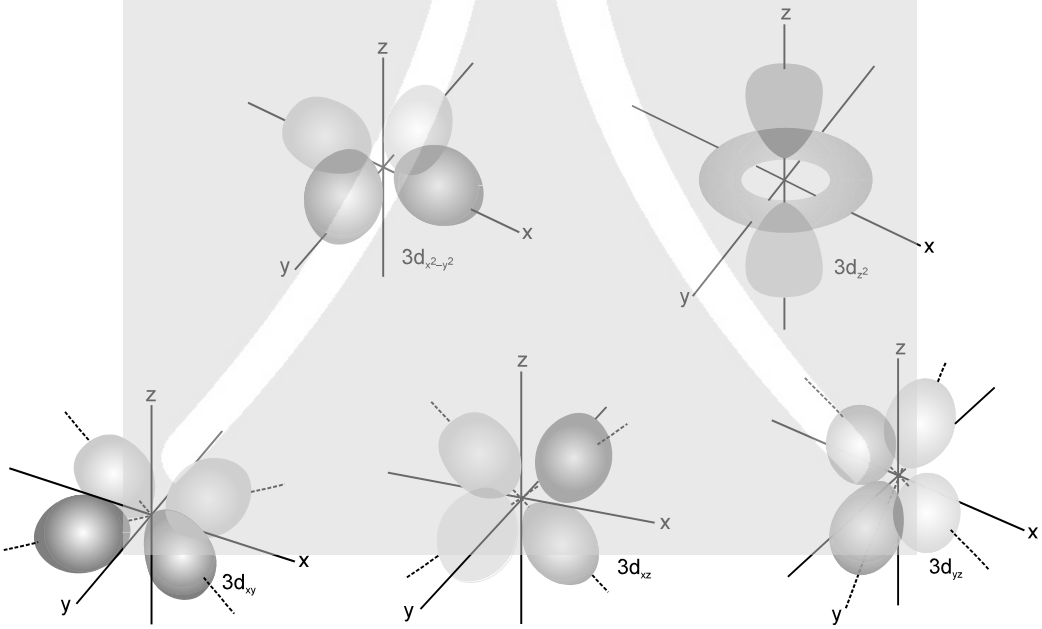
इस समीकरण के हल का महत्वपूर्ण बिन्दु यह है कि यह संख्याओं का एक समूह प्रदान करता है, जिन्हें क्वांटम संख्याएँ कहते हैं। परमाणुओं में इलेक्ट्रॉन के वितरण को वर्णित करने के लिए क्वांटम संख्याएँ आवश्यक हैं। श्रोडिंगर समीकरण को हल कर व्युत्पन्न क्वांटम संख्याएँ, मुख्य क्वांटम संख्या, द्विगंशी क्वांटम संख्या व चुम्बकीय क्वांटम संख्या कहलाती हैं। यह क्वांटम संख्याएँ परमाण्वीय कक्षकों का वर्णन करती हैं।

कक्षक : अन्तरिक्ष में वह स्थान, जहाँ इलेक्ट्रॉन के पाये जाने की प्रायिकता अधिकतम होती है।

नोड व नोड तल : नोड उस क्षेत्र को प्रदर्शित करता है, जहाँ एक इलेक्ट्रॉन के पाये जाने की सम्भावना शून्य होती है (अर्थात् ψ व $\psi^2 = 0$)। इसी प्रकार नोडल तल उस तल को प्रदर्शित करता है, जहाँ इलेक्ट्रॉन के पाये जाने की प्रायिकता शून्य होती है।



चित्र : हाइड्रोजन परमाणु का 2p-कक्षक



हाइड्रोजन परमाणु का 3d कक्षक नामांकित d-कक्षकों तथा अन्तरिक्ष में इनके अभिविन्यास के मध्य सम्बन्ध

नोड दो प्रकार के होते है :

(k) त्रिज्य नोड

(l) कोणीय नोड

एक त्रिज्य नोड, नाभिक के चारों ओर वह गोलीय क्षेत्र है, जहाँ ψ व ψ^2 शून्य के बराबर होता है। एक कक्षक जो नोडों की उच्च संख्या रखता है, उसकी ऊर्जा अधिक होती है।

नोडों की संख्या का परिकलन :

त्रिज्य नोड = $n - \ell - 1$,

F35 कोणीय नोड = ℓ,

F36 कुल नोड = n – 1, जहाँ n व ℓ क्रमशः मुख्य व द्विगंशी क्वांटम संख्याएँ हैं।

e.g. 3p-कक्षक में, त्रिज्य नोड = 3 – 1 – 1 = 1 (= n – ℓ – 1)

कोणीय नोड = 1 (= ℓ)

कुल नोड = 2 (एक त्रिज्य, एक कोणीय)

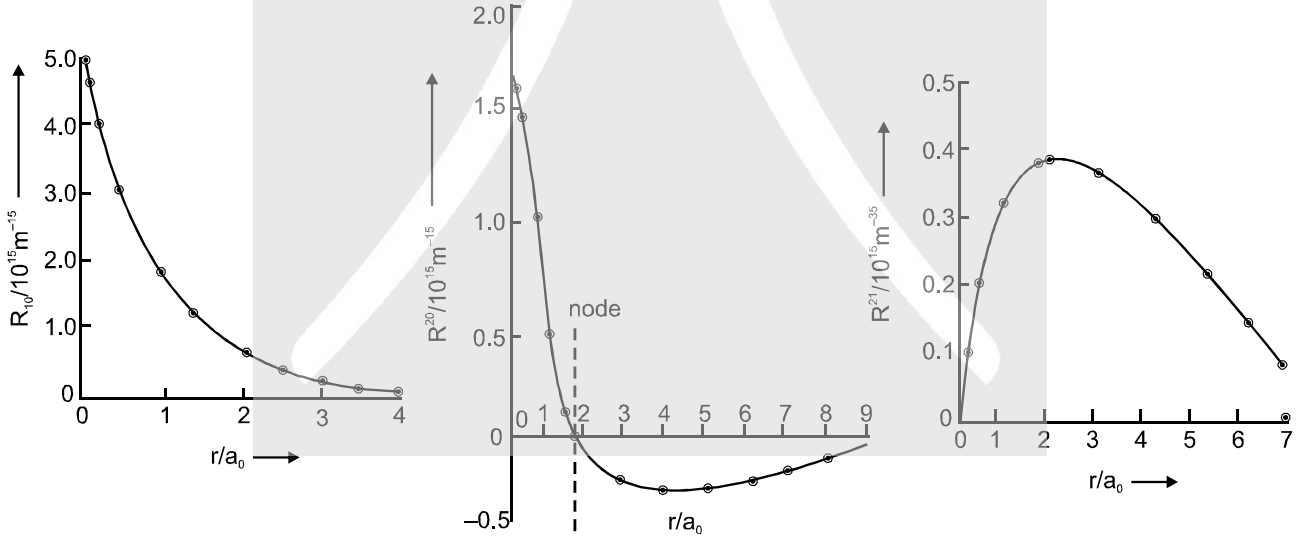
- $\psi_{(r)}$ अर्थात् तरंग फलन का त्रिज्य भाग क्वाण्टम संख्या n तथा l पर निर्भर करता है व यह कक्षक के आकार का निर्धारण करता है।
- तरंग फलन$\psi_{(\theta-\phi)}$, का कोणीय भाग क्वाण्टम संख्या l व m पर निभ्रर करता है व यह कक्षक की आकृति का निर्धारण करता है।

क्वांटम यांत्रिकी–परमाणु कक्षकों का चित्रात्मक प्रदर्शन

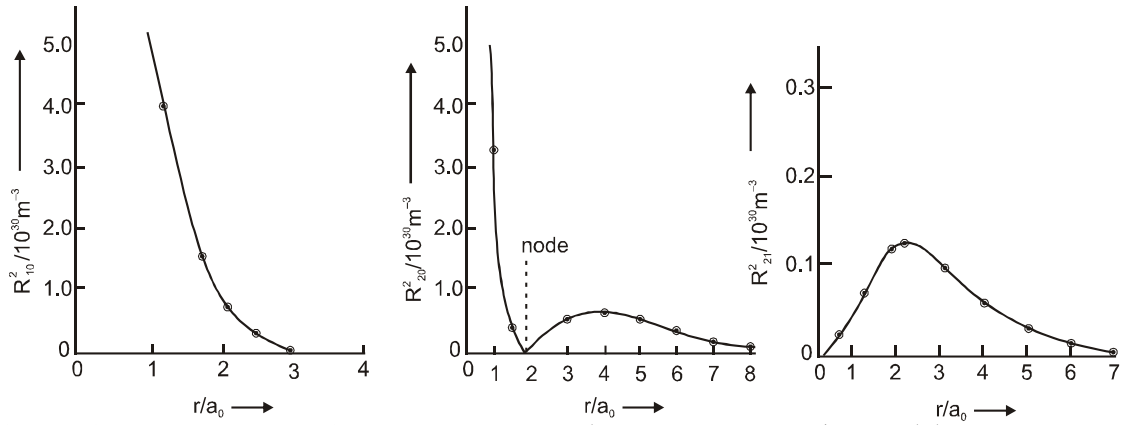
परमाणु कक्षक एक इलेक्ट्रॉन तरंग फलन Ψ (r, θ, ϕ) है जो श्रोडिंजर समीकरण के हल से प्राप्त होता है। कक्षक तरंग फलन ψ कोई भौतिक महत्त्व नहीं रखता परन्तु इसका वर्ग (ψ^2), भौतिक महत्त्व रखता है। यह एक परमाणु में एक बिन्दु पर इलेक्ट्रॉन प्रायिकता घनत्व को मापता है।

त्रिज्य तरंग फलन R के आरेख : 1s, 2s & 2p परमाणु कक्षकों के लिए त्रिज्य तरंग फलन R, त्रिज्य प्रायिकता घनत्व R^2 तथा त्रिज्य प्रायिकता फलन $4\pi r^2R^2$ के आरेखों को नाभिक से r दूरी के फलन के रूप में चित्र में प्रदर्शित किया है :

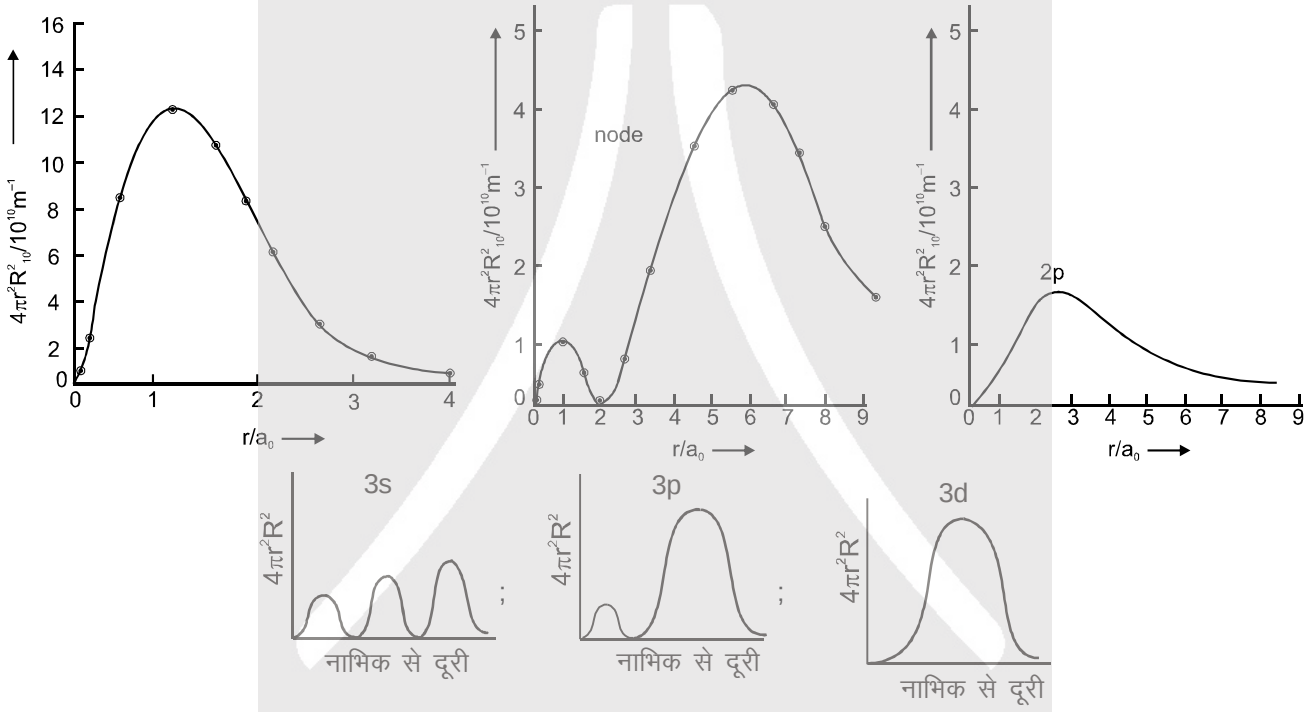
(i) **त्रिज्य तरंग फलन (R)[चित्र (A)] :** सभी स्थितियों में जैसे ही r अनन्त पर पहुचंता है R शून्य हो जाता है। हम पाते हैं कि 2s त्रिज्य फलन में एक नोड होता है। इस नोड पर त्रिज्य फलन का मान धनात्मक से ऋणात्मक में परिवर्तित हो जाता है। सामान्य रूप से यह पाया गया है कि ns-कक्षक (n–1) त्रिज्य नोड रखते हैं तथा np-कक्षक (n–2) त्रिज्य नोड आदि रखते हैं।



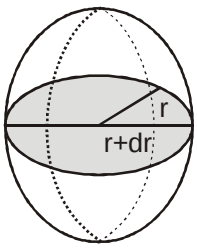
(ii) **त्रिज्य प्रायिकता घनत्व (R^2) [चित्र (B)] :** त्रिज्य घनत्व R^2 एक निश्चित त्रिज्य रेखा के सापेक्ष एक बिन्दु पर इलेक्ट्रॉन के पाये जाने के प्रायिकता घनत्व को बताता है। चित्र (B) में आरेख एक बिन्दु पर प्रायिक्ता घनत्व या आपेक्षिक इलेक्ट्रॉन घनत्व की उपयोगी जानकारी त्रिज्या के फलन के रूप में देता है। यह ध्यान देना चाहिए कि केवल s-कक्षकों के लिए नाभिक पर इलेक्ट्रॉन घनत्व अधिकतम होता है। जबकि सभी अन्य कक्षकों के लिए नाभिक पर इलेक्ट्रॉन घनत्व शून्य होता है। इसका शून्य मान ($R^2 = 0$) एक इलेक्ट्रॉन के पाये जाने की शून्य प्रायिकता को निर्देशित करता है।



(iii) **त्रिज्य प्रायिकता फलन $4\pi r^2R^2$ [चित्र(C)] :** चूंकि परमाणु गोलीय सममिति रखता है, अतः गोले की त्रिज्या (r + dr) तथा r के मध्य गोले के कोश में इलेक्ट्रॉन के पाये जाने की प्रायिकता पर विचार करना अधिक उपयोगी है। कोश का आयतन $4/3\pi(r + dr)^3 – 4/3\pi r^3 = 4\pi r^2dr$ के बराबर होता है।



वह प्रायिकता जो दिशा पर निर्भर नहीं करती, त्रिज्य प्रायिकता कहलाती है तथा यह $[4\pi r^2drR^2]$ के बराबर होती है। यह दिशा से स्वतंत्र नाभिक से r दूरी पर इलेक्ट्रॉन के पाये जाने की प्रायिकता को बताती है।



खण्ड (G) : क्वांटम संख्या तथा इलैक्ट्रॉनिक विन्यास

D29 **क्वाण्टम संख्याएँ (Quantum Numbers) :**

चार संख्याओं का वह समुच्चय, जिसमें परमाणु में उपस्थित इलेक्ट्रॉन को पूर्णरूप से परिभाषित किया जा सकता हैं, उसे क्वाण्टम संख्या कहते है। प्रथम तीन को श्रोडिंगर की तरंग समीकरण के आधार पर व्युत्पन्न किया जाता है।

(iv) मुख्य क्वाण्टम संख्या (n) : (बोर द्वारा प्रस्तावित)

यह इलेक्ट्रॉन तरंग के आकार एवम् इलेक्ट्रॉन की कुल ऊर्जा को निरूपित करती है। इसका समाकली मान (पूर्णांक मान) 1, 2, 3, 4 ...., इत्यादि होता है तथा इसे K, L, M, N. ..., इत्यादि से प्रदर्शित करते हैं।

F37 * n^{th} कोश में उपस्थित उपकोशों की संख्या = n

n	उपकोश
1	s
2	s, p
3	s, p, d
4	s, p, d, f

F38 n^{th} कोश में उपस्थित उपकोशों की संख्या = n^2 .

F39 मुख्य ऊर्जा कोश में उपस्थित इलेक्ट्रॉनों की अधिकतम संख्या $2n^2$ के बराबर होती है। ज्ञात तत्वों के परमाणुओं में किसी भी ऊर्जा कोश में 32 से ज्यादा इलेक्ट्रॉन नहीं होते हैं।

F40 किसी कक्षा का कोणीय संवेग = $\frac{nh}{2\pi}$

(v) द्विगंशी क्वाण्टम संख्या (ℓ) : (सोमरफिल्ड द्वारा प्रस्तावित)

यह क्वाण्टम संख्या इलेक्ट्रॉन अभ्र की आकृति एवम् एक कोश में उपकोशों की संख्या के बारे में बताती है।

* इस क्वाण्टम संख्या का मान 0 से (n – 1) तक हो सकता है।

*

ℓ का मान	उपकोश
0	s
1	p
2	d
3	f

F41 किसी उपकोशे में उपस्थित कक्षक की संख्या = $2\ell + 1$

F42 किसी निश्चित उपकोश में इलेक्ट्रॉनों की अधिकतम संख्या = $2 \times (2\ell + 1)$

F43 कक्षीय कोणीय संवेग $L = \frac{h}{2\pi}\sqrt{\ell(\ell+1)} = \hbar\sqrt{\ell(\ell+1)}$ $\left[\hbar = \frac{h}{2\pi}\right]$

अर्थात् s-कक्षक का कक्षीय कोणीय संवेग = 0, p-कक्षक का कक्षीय कोणीय संवेग = $\sqrt{2}\frac{h}{2\pi}$,

d-कक्षक का कक्षीय कोणीय संवेग = $\frac{\sqrt{6}h}{2\pi}$

(vi) चुम्बकीय क्वाण्टम संख्या (m) : (लिण्डे द्वारा प्रस्तावित)

यह उपकोशों के अभिविन्यास को बताती है। इसका मान शून्य सहित $-\ell$ से $+\ell$ तक होता है अर्थात् कुल $(2\ell + 1)$ मान होता है। प्रत्येक मान एक कक्षक से संबंधित होता है। s-उपकोश में एक कक्षक, p-उपकोश में तीन कक्षक (p_x, p_y तथा p_z), d-उपकोश में पाँच कक्षक (d_{xy}, d_{yz}, d_{zx}, $d_{x^2-y^2}$, d_{z^2}) तथा f-कक्षक में सात कक्षक होते हैं।

F44 मुख्य ऊर्जा स्तर में उपस्थित कक्षकों की कुल संख्या 'n^2' होती है।

(vii) चक्रण क्वाण्टम संख्या (s) : (गोल्डस्मिथ एवम् ऊहलेबैक द्वारा प्रस्तावित)

यह क्वाण्टम संख्या इलेक्ट्रॉन के चक्रण को बताती है। इसका मान +1/2 तथा –1/2 होता है। यह मान दक्षिणावर्त चक्रण तथा वामावर्त चक्रण को बताते है।

F45 चक्रण चुम्बकीय आघूर्ण $\mu_s = \frac{eh}{2\pi mc}\sqrt{s(s+1)}$ या $\mu = \sqrt{n(n+2)}$ B.M. (n = अयुग्मित इलेक्ट्रॉनों की संख्या)

F46 यह चक्रण कोणीय संवेग के मान को बताती हैं जो $\frac{h}{2\pi}\sqrt{s(s+1)}$ के बराबर होता है।

F47 परमाणु का अधिकतम चक्रण = $\frac{1}{2}$ × अयुग्मित इलेक्ट्रॉन की संख्या

इलेक्ट्रॉनिक अभिविन्यास (Electronic configuration) :

पाउली का अपवर्जन नियम :

इस नियम के अनुसार किसी परमाणु में किन्ही दो इलेक्ट्रॉनो की चारो क्वान्टम संख्याए समान नहीं हो सकती है। अर्थात एक कक्षक में दो से अधिक इलेक्ट्रॉन नहीं हो सकते है। तीन क्वान्टम संख्याए (मुख्य, द्विगंशी व चुम्बकीय) समान हो सकती है। परन्तु चतुर्थ क्वान्टम संख्या अलग होती है अर्थात चक्रण विपरित दिशा में होता है।

ऑफबॉउ नियम (Aufbau principle) :

जर्मन भाषा में ऑफबाउ शब्द का अर्थ है निर्माण करना या बनाना। इस नियम के अनुसार विभिन्न कक्षकों में इलेक्ट्रॉन उनकी बढती हुई ऊर्जा के अनुसार भरते है। कम ऊर्जा वाला कक्षक पहले भरते है। कक्षकों की बढ़ती हुई ऊर्जाओं का क्रम इस प्रकार होता है—

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

कक्षक की ऊर्जा $(n + \ell)$ नियम के द्वारा भरी जाती है।

$(n + \ell)$ नियम :

एक से अधिक इलेक्ट्रॉन युक्त परमाणु में विभिन्न उपकोशों की ऊर्जाओं का आपेक्षिक क्रम '$n + \ell$' नियम की सहायता से निर्धारित किया जा सकता है।

❖ वह उपकोश जिसका $(n + \ell)$ मान कम प्राप्त होता है उस उपकोश की ऊर्जा निम्नतम होती हैं। इसलिए यह उपकोश सबसे पहले भरा जाता है।

उदा. 3d 4s

$(n + \ell) = 3 + 2$ $(n + \ell) = 4 + 0$

$= 5$ $= 4$

चूँकि, 3d कक्षक का $(n + \ell)$ मान 4s कक्षक से ज्यादा होता है। इसलिए, 4s कक्षक, 3d कक्षक से पहले भरा जायेगा।

❖ जब दो उपकोशों के $(n + \ell)$ का मान समान हो तो वह उपकोश सबसे पहले भरा जायेगा जिसके n का मान कम अर्थात् न्यूनतम ऊर्जा रखता हो।

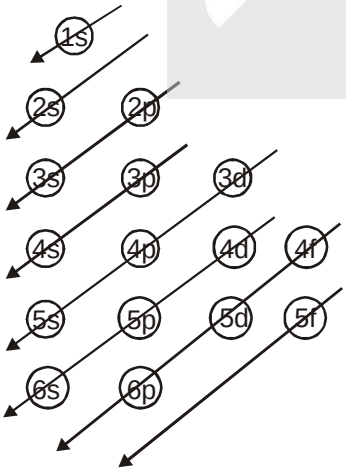
उदा. 3d 4p

$(n + \ell) = 3 + 2$ $= 4 + 1$

$= 5$ $= 5$

3d कक्षक 4p से पहले भरा जावेगा।

कक्षकों के भरने का क्रम :



हुण्ड का नियम (Hund's rule) :

इस नियम के अनुसार किसी कक्षक में इलेक्ट्रॉन तब तक युग्मित नहीं हो सकते जब तक कि एक ही उपस्तर के प्रत्येक कक्षक में 1 इलेक्ट्रॉन न हो जाए। प्रत्येक कक्षक में इलेक्ट्रॉन समान चक्रण के द्वारा भरा जाता है। वास्तव में अर्ध भरे व पूर्ण भरे कक्षक के परमाणु अधिक स्थायी होता है। अर्थात p^3, p^6, d^5, d^{10}, f^7 व f^{14} की विन्यास अधिक स्थायी होते है। इसका निम्न कारण है :

(i) आपेक्षिक रूप से कम परिरक्षण (ii) अधिक विनिमय ऊर्जा (iii) कम कुलाम्बिक प्रतिकर्षण ऊर्जा

Solved Example

Example 1 निम्नलिखित परमाणुओं के लिए इलेक्ट्रॉनिक विन्यास लिखिऐं तथा अयुग्मित इलेक्ट्रॉनों की संख्या एवम् कुल चक्र ज्ञात कीजिए:

(i) $_6C$
(ii) $_8O$
(iii) $_{15}P$
(iv) $_{21}Sc$
(v) $_{26}Fe$
(vi) $_{10}Ne$

हल.

(i) $_6C \rightarrow 1s^2, 2s^2, 2p^2$

अयुग्मित इलेक्ट्रॉनों की संख्या $\rightarrow 2$.

कुल चक्रण = $\frac{+2}{2}$ या $\frac{-2}{2}$

(ii) $_8O \rightarrow 1s^2, 2s^2, 2p^4$

1s 2s 2p

$\therefore$ अयुग्मित इलेक्ट्रॉनों की संख्या = 2

कुल चक्रण = $\frac{+2}{2}$ या $\frac{-2}{2}$

$_{15}P \rightarrow 1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^3$

3s 3p

$\therefore$ अयुग्मित इलेक्ट्रॉनों की संख्या = 3

कुल चक्रण = $\frac{+3}{2}$ या $\frac{-3}{2}$

(iii) $_{21}Sc \rightarrow 1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 4s^2, 3d^1$

या $[Ar]\ 4s^2\ 3d^1$

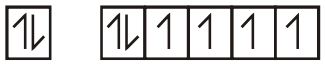
$[Ar]\ 3d^1\ 4s^2$

3d 4s

$\therefore$ अयुग्मित इलेक्ट्रॉनों की संख्या = 1 $\therefore$ कुल चक्रण = $\frac{+1}{2}$ या $\frac{-1}{2}$

(iv) $_{26}Fe \rightarrow 1s^2,\ 2s^2\ 2p^6, 3s^2, 3p^6, 4s^2\ 3d^6$

या $[Ar]\ 4s^2, 3d^6$



4s 3d

अयुग्मित इलेक्ट्रॉनों की संख्या = 4 $\therefore$ कुल चक्रण = $\frac{+4}{2}$ या $\frac{-4}{2}$

(v) $_{10}Ne \rightarrow 1s^2, 2s^2\ 2p^6$

अयुग्मित इलेक्ट्रॉनों की संख्या = 0

कुल चक्रण = 0

Example 2 कार्बन परमाणु के पाँचवें तथा छटवें इलेक्ट्रॉनों के लिए चारों क्वाण्टम संख्याएँ लिखिऐं।

हल. $_6C : 1s^2, 2s^2\ 2p^2$

पाँचवा इलेक्ट्रॉन : $n = 2 \quad \ell = 1 \quad m = -1$ या $+1 \quad s = +\frac{1}{2}$ या $-\frac{1}{2}$

छटवाँ इलेक्ट्रॉन : $n = 2 \quad \ell = 1 \quad m = 0 \quad s = +\frac{1}{2}$ या $-\frac{1}{2}$

Example 3 वह परमाणु जिनका परमाणु क्रमांक 7, 24 तथा 36 हैं, के लिए कुल चक्रण, चुम्बकीय आघूर्ण की गणना कीजिए ?

हल. इनका इलेक्ट्रॉनिक विन्यास निम्न है :

$_7N$: $1s^2, 2s^2\ 2p^3$ अयुग्मित इलेक्ट्रॉन = 3

$_{24}Cr$: $1s^2, 2s^2\ 2p^6, 3s^2\ 3p^6\ 3d^5, 4s^1$ अयुग्मित इलेक्ट्रॉन = 6

$_{36}Kr$: $1s^2, 2s^2\ 2p^6, 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}, 4s^2\ 4p^6$ अयुग्मित इलेक्ट्रॉन = 0

$\therefore$ परमाणु का कुल चक्रण = $\pm$ 1/2 × अयुग्मित इलेक्ट्रॉनों की संख्या

$_7N$ के लिए, इसका मान = $\pm$ 3/2 ; $_{24}Cr$ के लिए, इसका मान = $\pm$ 3 ; $_{36}Kr$ के लिए, इसका मान = 0

चुम्बकीय आघूर्ण = $\sqrt{n(n+2)}$

$_7N$ के लिए, इसका मान = $\sqrt{15}$; $_{24}Cr$ के लिए, इसका मान = $\sqrt{48}$; $_{36}Kr$ के लिए, इसका मान = $\sqrt{0}$.

अपवाद :

(1) $_{24}Cr = [Ar]\ 4s^2, 3d^4$ (सही नहीं है)

$[Ar]\ 4s^1, 3d^5$ (सही : क्योंकि d^5 कक्षक संरचना d^4 संरचना से ज्यादा स्थायी होती है)

(2) $_{29}Cu = [Ar]\ 4s^1, 3d^{10}$ (सही : क्योंकि d^{10} कक्षक संरचना d^9 संरचना से ज्यादा स्थायी होती है)

खण्ड (H) : नाभिकीय रसायन

D30 α, β, γ जैसे विकिरणों के उत्सर्जन के कारण न्यूक्लियस का स्वतः विघटन रेडियोसक्रियता कहलाता है।

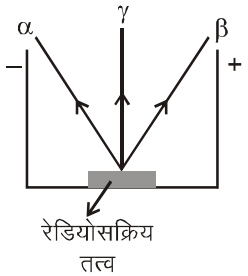
रेडियोसक्रियता एक न्यूक्लियस परिघटना होती है।

रेडियोसक्रियता बाहय परिस्थितियों जैसे कि तापमान, दाब इत्यादि पर निर्भर नहीं करती है।

एक पदार्थ की रेडियोसक्रियता इसकी भौतिक अवस्था पर निर्भर नहीं करती है।

$x(s), x(l), x(g), (x)^+(g), (x)^-(g)$ सभी रूपों में, x रेडियोसक्रिय होता है।

$^{14}CO_2$, $^{14}_6C(s)$, $^{14}_6C(g)$ रेडियोसक्रिय है।



विकिरण :

α : $_2He^4$ ($_2{}^4He^{2+}$) (He-परमाणु का नाभिक)

β अथवा β^- : $_{-1}e^0$ (नाभिक से उत्सर्जित तेजी से गतिशील इलैक्ट्रॉन)

γ : $_0\gamma^0$ (उच्च आवृति की वैद्युत चुम्बकीय विकिरण (तरंग))

गति : $\gamma > \beta > \alpha$

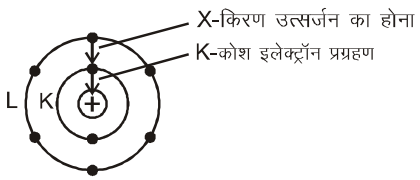
भेदन क्षमता : $\gamma > \beta > \alpha$

आयनन क्षमता : $\alpha > \beta > \gamma$.

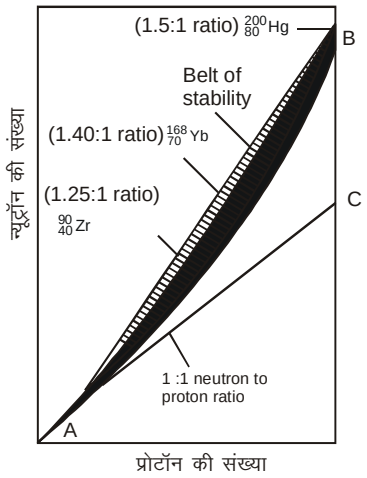
	किरणों का उत्सर्जन	सामान्य परिस्थिति	प्रभाव	प्रक्रम प्रदर्शन / उदाहरण
1	α	$Z > 83$	n/p अनुपात बढ़ता है।	$_ZX^A \rightarrow {}_{Z-2}X'^{A-4} + {}_2He^4$ $_{92}U^{238} \rightarrow {}_{90}Th^{234} + {}_2He^4$
2	β	यदि $\frac{n}{p}$ अनुपात उच्च है। eg. $_6C^{12}$ (स्थायी) $\frac{n}{p} = \frac{6}{6}$ $_6C^{14}$ (रेडियोसक्रिय) $\frac{n}{p} = \frac{8}{6}$ (उच्च) eg. $_{11}Na^{24}$ (रेडियोसक्रिय) $\frac{n}{p} = \frac{13}{11}$ (उच्च) $_{11}Na^{23}$ (स्थायी) $\frac{n}{p} = \frac{12}{11}$ $_{11}Na^{22}$ $\frac{n}{p} = \frac{11}{11}$ ($\frac{n}{p}$ अनुपात निम्न है)	$\frac{n}{p}$ अनुपात घटता है।	$_ZY^A \rightarrow {}_{Z+1}Y^A + {}_{-1}e^0$ $_6C^{14} \rightarrow {}_7N^{14} + {}_{-1}e^0$ $\frac{n}{p} = \frac{8}{6}$ $\frac{n}{p} = \frac{7}{7}$ $_0n^1 \rightarrow {}_1p^1 + {}_{-1}e^0$ (नाभिक से)
3	γ	यदि नाभिकीय ऊर्जा स्तर उच्च है	यदि नाभिकीय ऊर्जा स्तर में कमी आती है	$_{43}Tc^{99} \rightarrow {}_{43}Tc^{99} + \gamma$ उच्च नाभिकीय ऊर्जा — निम्न नाभिकीय ऊर्जा (मध्या–स्थायित्व)
4	**(a)** पॉजिट्रॉन उत्सर्जन ($_{+1}e^0$)	यदि $\frac{n}{p}$ अनुपात निम्न है	$\frac{n}{p}$ अनुपात बढ़ता है।	$_ZY^A \rightarrow {}_{Z-1}Y'^A + {}_{+1}e^0$ $_{11}Na^{22} \rightarrow {}_{10}Ne^{22} + {}_{+1}e^0$ $_1p^1 \rightarrow {}_0n^1 + {}_{+1}e^0$ (नाभिक से)
5	**(b)** इलेक्ट्रॉन प्रग्रहण (EC) अथवा K-कोश	यदि $\frac{n}{p}$ अनुपात निम्न है	$\frac{n}{p}$ अनुपात बढ़ता है।	$_ZX'^A + {}_{\underset{K-\text{कोश}}{-1}}e^0 \rightarrow {}_{Z-1}X''^A$ $_{80}Hg^{197} + {}_{-1}e^0 \rightarrow {}_{79}Au^{197}$

इलेक्ट्रॉन प्रग्रहण

$$_1p^1 + {}_{-1}e^0 \xrightarrow[(K-\text{shell})]{} {}_0n^1$$



नाभिकीय स्थायित्व पट्टिका :



β-उत्सर्जन :

$_0n^1 \rightarrow {}_1p^1 + {}_{-1}e^0$

* $Z \leq 20$: n/p का अनुपात 1 : 1 (लगभग) के साथ नाभिक स्थायी
* $Z > 20$: स्थायी न्यूक्लियस क्षेत्र में Z के साथ n/p अनुपात बढ़ेगा
* प्रोटोनों के बीच प्रतिकर्षण कम करने के लिए न्यूट्रॉनों की ओर अधिक संख्या आवश्यक है।
* $_{83}Bi^{209}$: वृहद् n/p अनुपात के साथ स्थायी

$$\frac{n}{p} = \frac{1.52}{1}$$

सम–विषम नियम :

n की संख्या	p की संख्या	स्थायी न्यूक्लियस की संख्या
सम	सम	155 (अधिकतम)
सम	विषम	55
विषम	सम	50
विषम	विषम	5 (न्यूनतम)

* नाभिकों का संभावित युग्मन

मैजिक संख्या (Magic number) :

न्यूक्लियस, जिसमें न्यूक्लिऑन मैजिक संख्या (2, 8, 20, 28, 50 ....) रखते है, अधिक स्थायी होते है।

e.g. $_2He^4$, $_8O^{16}$

वर्ग विस्थापन नियम : (सोडी तथा फायान द्वारा दिया जाता है)

* जब एक न्यूक्लियस से 1α उत्सर्जन होता हैं, तो नये बने न्यूक्लियस आवर्त सारणी में बाँयी ओर दो स्थान को घेरते है।
* जब एक न्यूक्लियस से 1β उत्सर्जन होता हैं, तो नये बने न्यूक्लियस आवर्त सारणी में दाँयी ओर एक स्थान को घेरते है।

1β कण के उत्सर्जन के कारण; समभारिक बनते हैं।

1α कण के उत्सर्जन के कारण; आयसोडायफॉर बनते हैं।

1α व 2β कण के उत्सर्जन के कारण; समस्थानिक बनते हैं।

समस्थानिक :	प्रोटॉनों की समान संख्या	eg. $_6C^{14}$ व $_6C^{12}$
समभारिक :	समान द्रव्यमान संख्या	eg. $_6C^{14}$ व $_7N^{14}$
समन्यूट्रॉनिक :	न्यूट्रॉन की समान संख्या	eg. $_2He^4$ व $_1H^3$

D31 **आयसोडायफॉर :** समान (n – p) अन्तर

उदा. $_9F^{19}$ व $_{19}K^{39}$; (n – p) = 10

D32 **आयसोस्टेरस :** परमाणुओं व इलेक्ट्रॉनों की समान संख्या

e.g. N_2 व CO

N_2O व CO_2

कृत्रिम नाभिकीय अभिक्रिया :

(α , p)

कणों की बौछार ← → कण उत्सर्जित करना

* विशिष्ट न्यूक्लियस + कणों की बौछार ⟶ नया न्यूक्लियस + उत्सर्जित कण

उदा.

1. (α, p प्रकार) $_7N^{14}$ + $_2He^4$ (s.p.) $\longrightarrow$ $_8O^{17}$ + $_1p^1$ (e.p.) (or $_1H^1$)

2. (n, γ प्रकार) $_{11}N^{23}$ + $_1n^0$ $\longrightarrow$ $_{11}Na^{24}$ + γ

3. (D, p प्रकार) $_{13}Al^{27}$ + $_1H^2$ $\longrightarrow$ $_{13}Al^{28}$ + $_1H^1$

4. (p, α प्रकार) $_3Li^7$ + $_1H^1$ $\longrightarrow$ $_2He^4$ + $_2He^4$

नाभिकीय विखण्डन व नाभिकीय संलयन :

दोनों प्रक्रमों में, कुछ द्रव्यमान का ऊर्जा में परिवर्तन के कारण ऊष्मा की वृहद मात्रा का निष्कासन होता है।

D33 **नाभिकीय विखण्डन :** यह एक प्रक्रम है जिसमें भारी न्यूक्लियस को वृहद न्यूक्लियस में पृथक किया जाता है।

$_{92}U^{235} + {}_0n^1 \longrightarrow {}_{92}U^{*236}$ → विभिन्न न्यूक्लि तथा न्यूट्रॉन

उदाहरण. परमाणु बम विखण्डन पर आधारित होते है।

D34 **नाभिकीय संलयन :**

यह एक प्रक्रम है जिसमें हल्के न्यूक्लियस एक साथ संगलित होकर भारी न्यूक्लियस को बनाते है।

$$_1H^2 + {}_1H^3 \longrightarrow {}_2He^4 + {}_0n^1$$

$$_1H^2 + {}_1H^2 \longrightarrow {}_2He^4$$

हाइड्रोजन बम संलयन पर आधारित होता है। इस प्रक्रम के लिए बहुत उच्च तापमान की आवश्यकता होती है।

Solved Example

Example 1 Na का सबसे अधिक स्थायी समस्थानिक ^{23}Na होता है। वह प्रक्रम ज्ञात कीजिए जिसके द्वारा का रेडियोसक्रिय क्षय हो सकता है।

हल. ^{24}Na का n/p अनुपात 13/11 है व इस प्रकार इसका मान एक से अधिक होता है। इस प्रकार यह निम्न β-उत्सर्जन का क्षय करता है।

$$^{24}_{11}Na \longrightarrow {}^{24}_{12}Mg + {}^{0}_{-1}e$$

Example 2 परिवर्तन $^{c}_{a}X \longrightarrow {}^{b}_{d}Y$ के दौरान उत्सर्जित β-कण की संख्या निम्न है :

(A) $\frac{a-b}{4}$ (B) $d + \left(\frac{a-b}{2}\right) + c$ (C) $d + \left(\frac{c-b}{2}\right) - a$ (D) $d + \left(\frac{a-b}{2}\right) - c$

हल. $^{c}_{a}X \longrightarrow {}^{b}_{d}Y + m\,{}^{4}_{2}He + n\,{}^{0}_{-1}e$

$\therefore$ $c = b + 4m$ ......(i)

तथा $a = d + 2m - n$ ......(ii)

(i) तथा (ii) द्वारा

$n = d + \left(\frac{c-b}{2}\right) - a$. **Ans. (C)**

Example 3 $^{13}_{7}N$ का क्षय उत्पाद निम्न है :

(A) $^{13}_{8}O + {}^{0}_{-1}e$ (B) $^{13}_{6}C + {}^{0}_{+1}e$

(C) $^{13}_{6}C$ + K इलेक्ट्रॉन प्रग्रहण (D) $^{9}_{5}Be + {}^{4}_{2}He$

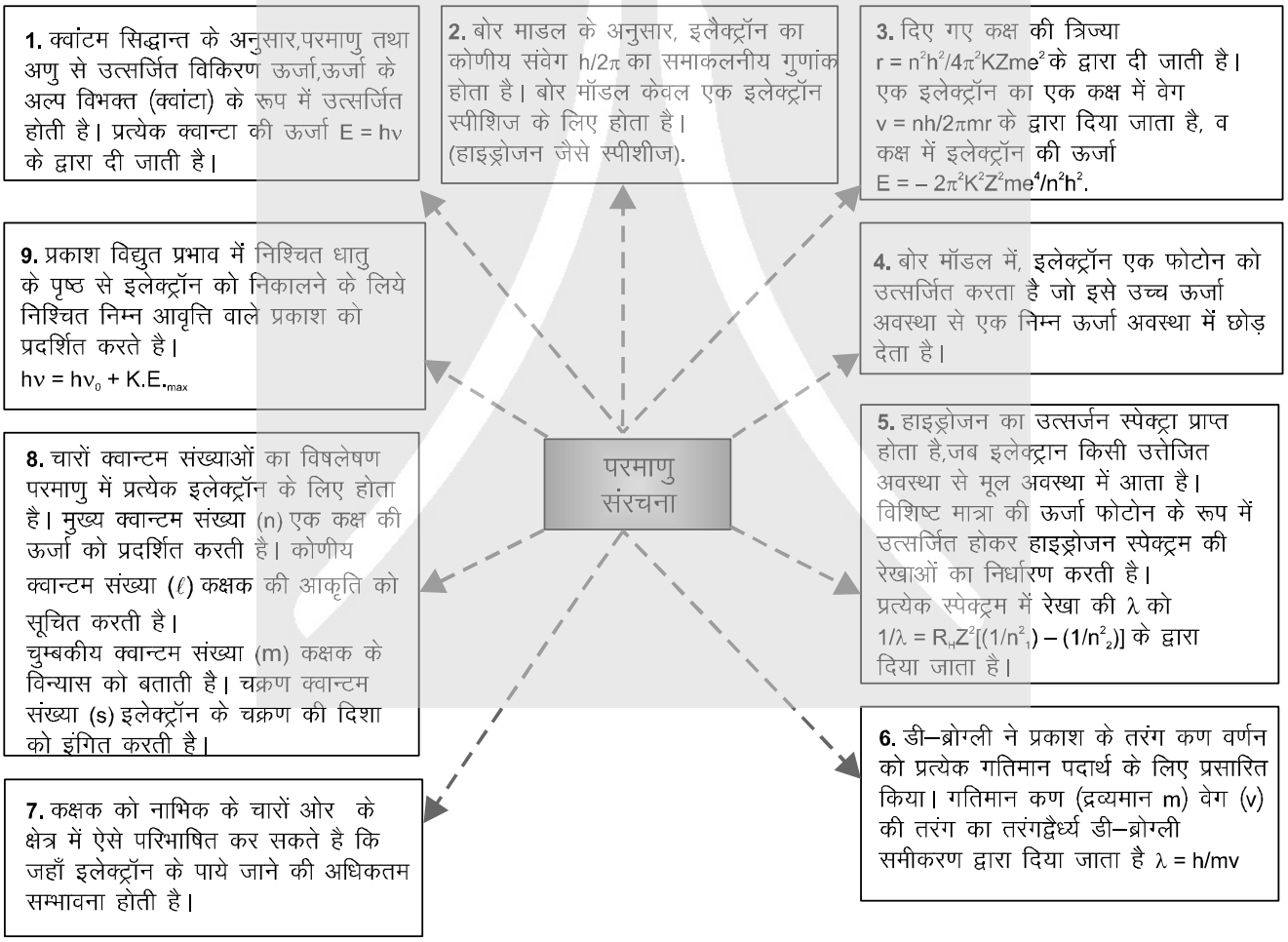
हल. $^{13}_{7}N$ पॉजिट्रॉन उत्सर्जक है ; $\frac{n}{p}$ अनुपात निम्न होता है। **Ans. (B)**

Example 4 एक रेडियोसक्रिय तत्व X के लिए परमाणु क्रमांक 100 रखता है। यह सीधे एक तत्व Y में क्षय होता है, जो सीधे एक तत्व Z में क्षय होता है। दोनों प्रक्रमों में एक आवेशित कण उत्सर्जित होता है? निम्न में से कौनसा कथन सत्य है?

(A) Y का परमाणु क्रमांक 102 है। (B) Z का परमाणु क्रमांक 101 है।

(C) Z का परमाणु क्रमांक 97 है। (D) Z का परमाणु क्रमांक 99 है।

हल. X व Y प्रत्येक 1 α अथवा 1 β का क्षय कर सकते है अर्थात् X-क्षय 1 α, Y-क्षय1 β अथवा X-क्षय 1 β अथवा Y-क्षय 1α । किसी भी परिस्थिति में (A), (B) तथा (C) कोई भी सत्य नहीं है। **Ans. (D)**



Miscellaneous Solved Problems (MSPs)

Problem 1 He^+ आयन के लिए $(E_2 - E_1)$ से $(E_4 - E_3)$ के अनुपात का मान लगभग होता है (जहां E_n, n^{th} कक्षा की ऊर्जा है)

(A) 10 (B) 15 (C) 17 (D) 12

Sol. $$\frac{13.6(2)^2\left[\frac{1}{(1)^2}-\frac{1}{(2)^2}\right]}{13.6(2)^2\left[\frac{1}{(3)^2}-\frac{1}{(4)^2}\right]} = 15$$ **Ans. (B)**

Problem 2 यदि हाइड्रोजन समान स्पीशीज की 2^{nd} उत्तेजित अवस्था की बन्धन ऊर्जा लगभग 24 eV है तो इस नमूने की आयनन ऊर्जा का मान लगभग क्या होगा ?

(A) 54.4 eV (B) 24 eV (C) 122.4 eV (D) 216 eV

Sol. $$\frac{13.6(Z)^2}{(3)^2} = 24$$

I.E. = $13.6(Z)^2 = (24 \times 9) = 216$ eV **Ans. (D)**

Problem 3 यदि H परमाणु की आयनन ऊर्जा 21.79×10^{-19} J है तो Li^{2+} आयन की द्वितीय उत्तेजित अवस्था की बन्धन ऊर्जा क्या होगी ?

(A) $3^2 \times 21.7 \times 10^{-19}$ J (B) 21.79×10^{-19} J

(C) $\frac{1}{3} \times 21.79 \times 10^{-19}$ J (D) $\frac{1}{3^2} \times 21.79 \times 10^{-19}$ J

Sol. B.E. = $\frac{21.79 \times 10^{-19}(3)^2}{(3)^2} = 21.79 \times 10^{-19}$ J **Ans. (B)**

Problem 4 हाइड्रोजन की बामर श्रेणी में प्रथम रेखा की तरंग संख्या 15200 cm^{-1} है तो Be^{3+} आयन की लाइमन रेखा की प्रथम रेखा के लिए तरंग संख्या ज्ञात करो ?

(A) $2.4 \times 10^5 cm^{-1}$ (B) $24.3 \times 10^5 cm^{-1}$ (C) $6.08 \times 10^5 cm^{-1}$ (D) $1.313 \times 10^6\ cm^{-1}$

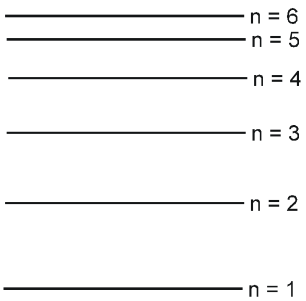
Sol. दिया गया है, $15200 = R(1)^2\left[\frac{1}{(2)^2}-\frac{1}{(3)^2}\right]$ ..... (1)

तब $\bar{\nu} = R(4)^2\left[\frac{1}{(1)^2}-\frac{1}{(2)^2}\right]$ ..... (2)

(1) तथा (2) समीकरण से, $\bar{\nu} = 1.313 \times 10^6\ cm^{-1}$ **Ans. (D)**

Problem 5 परमाण्वीय हाइड्रोजन के लिए अधिकतम उत्सर्जित लाइनों की संख्या क्या है यदि आप इसे केवल आंखों से देखना चाहते है। इसमें चित्रानुसार सभी ऊर्जा स्तर को लेकर बताना है।

संकेत : बामर श्रेणी दृश्य परास में आती है।



(A) 4 (B) 6 (C) 5 (D) 15

Sol. दृश्य क्षेत्र में केवल चार रेखायें उपस्थित होती है, $6 \to 2$, $5 \to 2$, $4 \to 2$ & $3 \to 2$. **Ans. (A)**

Problem 6 यदि एक इलेक्ट्रॉन की डी–ब्रोग्ली तरंगदैर्ध्य का मान वृत्ताकार कक्षक के लिए λ है तो कक्षा की न्यूनतम त्रिज्या क्या है :

(A) $\frac{\lambda}{\pi}$ (B) $\frac{\lambda}{2\pi}$ (C) $\frac{\lambda}{4\pi}$ (D) $\frac{\lambda}{3\pi}$

Sol. हम जानते है $2\pi r = n\lambda$

न्यूनतम त्रिज्या के लिए $n = 1$

$2\pi r_{min} = \lambda$

$r_{min} = \frac{\lambda}{2\pi}$ **Ans. (B)**

Problem 7 परिकलित एक परमाण्वीय कण की स्थिति में अनिश्चितता 1Å तथा वेग में अनिश्चितता $\frac{3.3}{4\pi} \times 10^5$ m/s है तो कण का द्रव्यमान लगभग क्या है [$h = 6.6 \times 10^{-34}$ Js]

(A) 2×10^{-28} kg (B) 2×10^{-27} kg (C) 2×10^{-29} kg (D) 4×10^{-29} kg

Sol. $\Delta x \times m \times \Delta v \geq h/4\pi$

$1 \times 10^{-10} \times m \times \frac{3.3}{4\pi} \times 10^5 \geq \frac{6.6 \times 10^{-34}}{4 \times \pi}$ $m = 2 \times 10^{-29}$ kg **Ans. (C)**

Problem 8 क्वाण्टम संख्या का निम्नलिखित में से कौनसा युग्म मान्य नहीं है :

(A) $n = 3, \ell = 2, m = 2, s = +\frac{1}{2}$ (B) $n = 2, \ell = 0, m = 0, s = -\frac{1}{2}$

(C) $n = 4, \ell = 2, m = -1, s = +\frac{1}{2}$ (D) $n = 4, \ell = 3, m = 4, s = -\frac{1}{2}$

Sol. मान्य नहीं **Ans. (D)**

Problem 9 $_{26}Fe^{3+}$ की स्थिति में कुल चक्रण का मान क्या होगा ?

(A) +1 या –1 (B) +2 या –2 (C) + 2.5 या – 2.5 (D) +3 या –3

Sol. कुल प्रचक्रण = अयुग्मित इलेक्ट्रॉनों की संख्या $e^- \times \left(\pm\frac{1}{2}\right) = 5 \times \left(\pm\frac{1}{2}\right) = \pm\frac{5}{2}$

Ans. (C)

CHECK LIST

Definitions (D)

D1 एक तत्व का परमाणु क्रमांक (Z) □
D2 समस्थानिक □
D3 समभारिक □
D4 समन्यूट्रानिक □
D5 समइलेक्ट्रोनिक □
D6 विद्युतचुम्बकीय तरंग विकिरण □
D7 तरंगद्वैर्ध्य □
D8 आवृति □
D9 वेग □
D10 आयाम □
D11 तरंग संख्या □
D12 प्रकाश का क्वाटंम सिद्धान्त □
D13 एक इलेक्ट्रॉन वोल्ट (e.v.) □
D14 प्रकाश विद्युत प्रभाव □
D15 मूल अवस्था □
D16 उत्तेजित अवस्था □
D17 आयनन ऊर्जा (I.E.) □
D18 आयनन विभव (I.P.) □
D19 उत्सर्जन ऊर्जा □
D20 उत्सर्जन विभव □
D21 पृथक्करण ऊर्जा या बन्ध ऊर्जा □
D22 स्पेक्ट्रोस्कोपी □
D23 उत्सर्जन स्पेक्ट्रम □
D24 सतत् स्पेक्ट्रम □
D25 रेखीय स्पेक्ट्रम □
D26 अवशोषण स्पेक्ट्रम □
D27 हाइड्रोजन का उत्सर्जन स्पेक्ट्रम □
D28 कक्षक □
D29 क्वाण्टम संख्याएँ □
D30 रेडियोसक्रियता □
D31 आयसोडायफॉर □
D32 आयसोस्टेरस □
D33 नाभिकीय विखण्डन □
D34 नाभिकीय संलयन □

Formule (F)

F1 आवेश के गुणधर्म □
F2 दो बिन्दु आवेश की स्थितिज ऊर्जा □
F3 नाभिक का आकार □
F4 तत्व की द्रव्यमान संख्या □
F5 तरंग संख्या □
F6 विद्युत चुम्बकीय तरंग की ऊर्जा □
F7 प्रकाश का वेग □
F8 तरंगद्वैर्ध्य के पदों में ऊर्जा (λ) □
F9 प्रकाश विद्युत प्रभाव □
F10 अभिकेन्द्रीय बल □
F11 एक बोर कक्षा का कोणीय संवेग □
F12 प्रकाश ऊर्जा □
F13 आवृत्ति □
F14 बोर कक्षा की त्रिज्या □
F15 गणना के पदों में बोर कक्षा की त्रिज्या □
F16 बोर कक्षा में इलेक्ट्रॉन का वेग (प्रसारित रूप में) □
F17 बोर कक्षा में इलेक्ट्रॉन का वेग □
F18 बोर कक्षा में समय अन्तराल □
F19 बोर कक्षा में आवृत्ति □
F20 बोर कक्षा की कुल ऊर्जा □
F21 eV/atom के रूप में कुल ऊर्जा □
F22 J/atom के पदों में कुल ऊर्जा □
F23 कुल ऊर्जा तथा स्थितिज ऊर्जा में सम्बन्ध □
F24 कुल ऊर्जा तथा गतिज ऊर्जा में सम्बन्ध □
F25 तरंग संख्या □
F26 स्पेक्ट्रम रेखाओं की संख्या □
F27 एक विलगित परमाणु में अधिकतम रेखाओं की संख्या □
F28 वेग के पदों में डी–ब्रॉग्ली तरंगद्वैर्ध्य □
F29 गतिज ऊर्जा के पदों में डी–ब्रॉग्ली तरंगद्वैर्ध्य □
F30 विभव के पदों में डी–ब्रॉग्ली तरंगद्वैर्ध्य □
F31 हाइजनबर्ग का सिद्धान्त □
F32 ΔE तथा ΔT के पदों में हाइजनबर्ग सिद्धान्त □
F33 श्रोयोडिजर समीकरण □
F34 त्रिज्य नोड □
F35 कोणीय नोड □
F36 कुल नोड □
F37 n^{th} कोश में उपकोशों की अधिकतम संख्या □
F38 n^{th} कोश में कक्षकों की संख्या □
F39 मुख्य कवांण्टम कक्षा में इलेक्ट्रॉनों की अधिकतम संख्या □
F40 किसी कक्षा का कोणीय संवेग □
F41 उपकोश में कक्षकों की संख्या □
F42 किसी निश्चित उपकोश में अधिकतम इलेक्ट्रॉनों की संख्या □
F43 कक्षक कोणीय संवेग □
F44 मुख्य ऊर्जा स्तर में उपस्थित कक्षकों की संख्या 'n^2'. □
F45 चुम्बकीय आघूर्ण □
F46 चक्रण कोणीय संवेग □
F47 परमाणु का अधिकतम चक्रण □

Derivations (Der.)

Der1 निकटतम पहुँच की दूरी की आंकलन (व्युत्पत्ति) □
Der2 एक इलेक्ट्रॉन वोल्ट का मान □
Der3 बोर कक्षा के लिए त्रिज्या की गणना □
Der4 बोर कक्ष में एक इलेक्ट्रॉन के वेग की गणना □
Der5 एक इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा की गणना □
Der6 तरंग संख्या □
Der7 डी–ब्रॉग्ली तरंगद्वैर्ध्य □
Der8 विभव के पदों में डी–ब्रॉग्ली तरंगद्वैर्ध्य में सम्बन्ध □
Der9 ΔE तथा Δt के पदों में हाइजनबर्ग अनिश्चितता सिद्धान्त □