પરમાણ્વિય બંધારણ

2.1 પ્રસ્તાવના

2.2 મૂળભૂત કણો : પ્રોટોન, ઇલેક્ટ્રૉન અને ન્યુટ્રૉન

2.2.1 ઇલેક્ટ્રૉનની શોધ

2.2.2 પ્રોટોન અને ન્યુટ્રૉન

2.3 પરમાણ્વિય ક્રમાંક, પરમાણ્વિય દળ, સમસ્થાનિકો, સમભારિકો [illegible]

2.3.1 થોમસનનો પરમાણુનો [illegible]

2.3.2 α - કણ પ્રકીર્ણનનો પ્રયોગ અને રુથરફોર્ડનો પરમાણુનો નમૂનો તથા તેની મર્યાદાઓ

2.4 વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણની પ્રકૃતિ

2.5 હાઇડ્રોજન પરમાણુનો ઉત્સર્જનવર્ણપટ

2.6 બોહ્‌રનો પરમાણ્વિય નમૂનો અને તેની મર્યાદાઓ

2.7 દ્રવ્ય અને વિકિરણનો દ્વૈતસ્વભાવ

2.8 દ-બ્રોગ્લીનું સમીકરણ

2.9 હાઇઝનબર્ગનો અનિશ્ચિતતાનો સિદ્ધાંત

2.10 કક્ષા અને કક્ષકની સમજૂતી

2.11 ક્વૉન્ટમ આંક

2.12 s, p અને d કક્ષકોના આકાર

2.13 કક્ષકોમાં ઇલેક્ટ્રૉનની ગોઠવણી માટેના નિયમો

2.14 અર્ધપૂર્ણ ભરેલી અને પૂર્ણ ભરેલી કક્ષકોની સ્થાયીતા

2.1 પ્રસ્તાવના

જુદા જુદા વૈજ્ઞાનિકોએ, પરમાણુના બંધારણ અંગે, તાર્કિક રીતે વિચાર કરી, સર્વસ્વીકાર્ય, ‘કેન્દ્રીય નમૂનો’ આપ્યો જેને કેન્દ્રીય પરમાણુ નમૂનો પણ કહે છે. આ નમૂનો પ્રાયોગિક પરિણામોથી મળતી લાક્ષણિકતાના સંદર્ભમાં મેળવવામાં આવ્યો છે.

પરમાણુના અસ્તિત્વ અંગેનો પ્રસ્તાવ, પ્રાચીન ભારતીયો અને ગ્રીક તત્ત્વવિજ્ઞાનીઓએ આપેલો છે. તેઓના મત મુજબ પરમાણુઓ, દ્રવ્યના બંધારણના મૂળભૂત બંધારણીય ઘટકો છે. તેઓના મત મુજબ દ્રવ્યનાં સતત રીતે પેટાઘટકોમાં થતા વિભાજનથી પરમાણુઓ બને છે જે અવિભાજ્ય છે. ગ્રીક ભાષાના શબ્દ ‘એ-ટોમીઓ’માંથી એટમ શબ્દ ઊતરી આવ્યો જેને પરમાણુ કહે છે. તેનો અર્થ અવિભાજ્ય અથવા વધુ વિભાજન કરી ન શકાય તેવો થાય છે. આ વિચારધારા લાંબા સમય સુધી ચાલુ રહી અને 19મી સદીમાં વૈજ્ઞાનિકો દ્વારા તેમાં પરિવર્તન થયું.

1808 માં બ્રિટિશ વૈજ્ઞાનિક જ્હોન ડાલ્ટન (John Dalton) દ્વારા સૌપ્રથમ દ્રવ્ય માટેનો પરમાણ્વીય સિદ્ધાંત રજૂ થયો જેને ‘ડાલ્ટનનો પરમાણ્વીય સિદ્ધાંત’ કહે છે. તેના સિદ્ધાંત મુજબ, પરમાણુ દ્રવ્યનો અંતિમ અવિભાજ્ય કણ છે.

2.2 મૂળભૂત કણો- પ્રોટોન, ઇલેક્ટ્રૉન અને ન્યુટ્રૉન (Fundamental [illegible]

ડાલ્ટનનો પરમાણ્વિય સિદ્ધાંત દ્રવ્યસંચયનો નિયમ, નિશ્ચિત પ્રમાણનો નિયમ અને ગુણક પ્રમાણના નિયમોને સફળતાપૂર્વક સમજાવી શકે છે. પરંતુ કેટલાંક પ્રાયોગિક પરિણામો સમજાવવામાં નિષ્ફળ રહ્યો. દા.ત., કાચને રેશમ સાથે અથવા એબોનાઇટને ઊન સાથે ઘસવામાં આવે ત્યારે તેમાંથી વિદ્યુત પેદા થાય છે. આમ, ડાલ્ટનનો સિદ્ધાંત માત્ર ધારણાઓ પર આધારિત હતો. પરંતુ તેના સિદ્ધાંતને કોઈ પ્રાયોગિક પરિણામોનું સમર્થન ન હતું.

આધુનિક સંશોધનો પરથી સાબિત થયું કે પરમાણુ વિભાજ્ય છે અને તેને મુખ્યત્વે બે ભાગમાં વહેંચી શકાય છે :

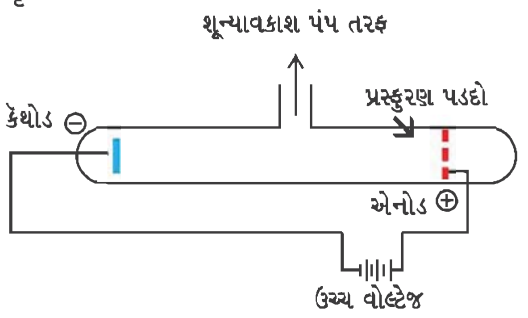
(i) પરમાણ્વિય કેન્દ્ર (ii)પરમાણ્વિય કેન્દ્ર સિવાયનો ભાગ

2.2.1 ઇલેક્ટ્રૉનની શોધ (Discovery of Electron) :

1830 માં માઇકલ ફેરાડેએ દર્શાવ્યું કે જ્યારે વિદ્યુત વિભાજ્યના દ્રાવણમાં વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર કરવામાં આવે છે

ત્યારે વિદ્યુત રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ થાય છે જે વિદ્યુતધ્રુવો ઉપર દ્રવ્ય જમા થવામાં અથવા દૂર થવામાં પરિણમે છે.

વાયુઓના વિદ્યુતીય વિભારના પ્રયોગો પરથી પણ પરમાણુના બંધારણમાં ડોકિયું કરી શકાયું. માઇકલ ફેરાડેએ શૂન્યાવકાશ નળીમાં વિદ્યુતીય વિભારનો અભ્યાસ કર્યો જે આકૃતિ 2.1માં દર્શાવેલ છે.



છિદ્રાળુ એનોડવાળી કૅથોડ કિરણ વિભારનળી
આકૃતિ 2.1

કાચની બનેલી કૅથોડ કિરણનળીમાં બે નાના ધાતુના ટુકડા જોડેલા હોય છે જેને વિદ્યુતધ્રુવ કહે છે. જ્યારે તે સીલ કરેલા વિદ્યુતધ્રુવોમાં પૂરતા પ્રમાણમાં ઊંચા વીજદબાણે વીજપ્રવાહ પસાર કરવામાં આવે છે ત્યારે શૂન્યાવકાશ કરેલી નળીમાં ગતિશીલ કણો કૅથોડમાંથી નળીમાં વહેવાનું શરૂ કરે છે. જેને 'કૅથોડ કિરણો' અથવા 'કૅથોડ કણો' કહે છે. આ કૅથોડ કિરણોને પ્રસ્ફુરણ પડદા પર પડવા દઈ ચકાસી શકાય છે. કૅથોડ કિરણોની (જે પાછળથી ઇલેક્ટ્રૉન તરીકે ઓળખાયા છે.) વર્તણૂક ઇલેક્ટ્રૉનના દ્રવ્ય કે કૅથોડનળીમાં રહેલા વાયુના સ્વભાવ પર આધારિત નથી. આમ, બધા પરમાણુના બંધારણમાં ઇલેક્ટ્રૉન પાયાનો ઘટક છે.

2.2.2 પ્રોટોન અને ન્યુટ્રૉન (Proton and Neutron) : કૉસ્મિક કિરણો અને કેન્દ્રીય પ્રક્રિયાઓના અભ્યાસ પરથી સાબિત થયું કે પરમાણુનું વિભાજન થઈ શકે છે અને અવપરમાણ્વિય (Subatomic) કણો આપે છે, જેવા કે, પ્રોટોન, ઇલેક્ટ્રૉન અને ન્યુટ્રૉન. આ ત્રણ કણોને પરમાણુના મૂળભૂત કણો તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. આ ત્રણ મુખ્ય અવપરમાણ્વિય કણો ઉપરાંત પણ બીજા અવપરમાણ્વિય કણો હાજર હોય છે જેમકે પોઝિટ્રૉન, ફોટોન, મેસોન, ગ્રેવિટોન વગેરે.

ફેરાડેના વિદ્યુતવિભારના પ્રયોગ તેમજ કૅથોડ કિરણ વિભારનળીના પ્રયોગો પરથી સાબિત થયું કે પ્રોટોન(p^+) પરમાણુના કેન્દ્રમાં રહેલો છે જ્યારે ઇલેક્ટ્રૉન(e^-), પરમાણુના કેન્દ્રની બહારના વિસ્તારમાં હોય છે. મૂળભૂત કણોની શોધ જુદા જુદા વૈજ્ઞાનિકો દ્વારા થઈ હતી. પ્રોટોનની શોધ 1886માં વૈજ્ઞાનિક ગોલ્ડસ્મિથે(Goldsmith) કરી હતી. 1897માં વૈજ્ઞાનિક જે. જે. થોમસને (J.J.Thomson) ઇલેક્ટ્રૉન(e^-) ની શોધ કરી. જ્યારે 1932માં વૈજ્ઞાનિક ચૅડવિકે (Chadwick) ન્યુટ્રૉનની શોધ કરી. આ મૂળભૂત કણોની માહિતી કોષ્ટક 2.1માં દર્શાવેલ છે.

કોષ્ટક 2.1 : મૂળભૂત કણોના ગુણધર્મો

નામ	ઇલેક્ટ્રૉન	પ્રોટોન	ન્યુટ્રૉન
સંજ્ઞા	e	p	n
નિરપેક્ષ ભાર	-1.6022×10^{-19} C	$+1.6022 \times 10^{-19}$ C	0
સાપેક્ષ ભાર	-1	+1	0
દળ (કિગ્રા)	9.10939×10^{-31}	1.67262×10^{-27}	1.67493×10^{-27}
દળ (u)	0.00054	1.00727	1.00867
આશરેદળ(u)	0	1	1

જ્યાં C = કુલંબ ; u = a.m.u.

2.3 પરમાણ્વિય ક્રમાંક, પરમાણ્વીય દળ, સમસ્થાનિકો, સમભારિકો અને આઈસોટોન (Atomic Number, Atomic Mass, Isotopes, Isobars and Isotones)

પરમાણુમાં મુખ્યત્વે (હાઇડ્રોજન સિવાય), પ્રોટોન, ઇલેક્ટ્રૉન અને ન્યુટ્રૉન એમ ત્રણ મૂળભૂત કણો હોય છે. પ્રત્યેક તત્ત્વ અને સંયોજન પોતાનું આગવું દળ ધરાવે છે તેથી પરમાણુને પણ દળ હોય છે. પરમાણુનું સમગ્ર દળ ખૂબ જ સૂક્ષ્મ કદ ધરાવતા (પરમાણુના પોતાના સમગ્ર કદના સાપેક્ષમાં) કેન્દ્રમાં સંકેન્દ્રિત થયેલું હોય છે. પરમાણુના કેન્દ્રમાં ધનવીજભારિત પ્રોટોન(p^+) અને ન્યુટ્રૉન(n^0) રહેલા હોય છે. ઇલેક્ટ્રૉન(e^-), પરમાણુમાં બાહ્યતમ ભાગમાં ગોઠવાયેલા હોય છે.

કેન્દ્રનો ધનવીજભાર તેમાં રહેલા પ્રોટોન(કે જે ધન વીજભારિત) છે તેને આભારી છે કારણ કે ન્યુટ્રૉન, વિદ્યુતીય રીતે તટસ્થ છે. પ્રોટોન પરનો વીજભાર ઇલેક્ટ્રૉનના વીજભાર જેટલો જ છે પરંતુ તેનાથી વિરુદ્ધ છે. પરમાણુના કેન્દ્રમાં રહેલા પ્રોટોનની સંખ્યાને પરમાણુનો પરમાણ્વિય-ક્રમાંક (Z) કહે છે. દા.ત., આવર્ત કોષ્ટકમાં રહેલા પ્રથમ તત્ત્વ હાઇડ્રોજનના પરમાણુના કેન્દ્રમાં એક પ્રોટોન છે, તેથી હાઇડ્રોજન તત્ત્વનો પરમાણ્વિય-ક્રમાંક એક છે. આમ,

પરમાણુ વિદ્યુતીય રીતે તટસ્થ હોવાથી, પરમાણુમાં રહેલા પ્રોટોનની સંખ્યા હંમેશાં ઇલેક્ટ્રૉનની સંખ્યા જેટલી જ હોય છે.

પરમાણ્વિય-ક્રમાંક (Z) = પરમાણુના કેન્દ્રમાં રહેલા પ્રોટોનની સંખ્યા
અથવા
તટસ્થ પરમાણુમાં રહેલા ઇલેક્ટ્રૉનની સંખ્યા

કેન્દ્રનું દળ, પ્રોટોન અને ન્યુટ્રૉનને આભારી છે. (કારણ કે ઇલેક્ટ્રૉનનું દળ અવગણી શકાય તેવું છે.) પ્રોટોન અને ન્યુટ્રૉન કે જે પરમાણુના કેન્દ્રમાં આવેલા છે. તેઓને સંયુક્ત રીતે 'ન્યુક્લિઓન્સ' પણ કહે છે. આમ, પરમાણ્વિય દળ (A) અથવા દળક્રમાંક (A), પરમાણુમાં રહેલા ન્યુક્લિઓન્સની સંખ્યા જેટલું હોય છે.

પરમાણ્વિય દળ (દળક્રમાંક (A)) = પ્રોટોનની સંખ્યા(p) (પરમાણ્વિય ક્રમાંક(Z)) + ન્યુટ્રૉનની સંખ્યા(n)

દા.ત., સોડિયમ તત્ત્વનું પરમાણ્વિય દળ 23 છે. તેનો પરમાણ્વિય-ક્રમાંક 11 છે. તેથી ન્યુટ્રૉનની સંખ્યા = 23 -11 = 12 થશે.

કોઈ પણ તત્ત્વ (X) નું પરમાણ્વીય દળ તથા પરમાણ્વિય-ક્રમાંક દર્શાવવા માટે માન્ય સંજ્ઞાનો ઉપયોગ કરાય છે.

જે મુજબ, તત્ત્વને (X) તરીકે લેવાય છે અને તેના પરમાણ્વિય દળને ઉપરની બાજુ ડાબી તરફ લખાય છે જ્યારે પરમાણ્વિય-ક્રમાંકને નીચેની તરફ ડાબી બાજુ લખાય છે :

દા.ત., $^{A}_{Z}X$ જ્યાં X = તત્ત્વની સંજ્ઞા

A = પરમાણ્વિય દળ

Z = પરમાણ્વિય-ક્રમાંક (પ્રોટોનની સંખ્યા)

સમસ્થાનિકો (Isotopes) : જે પરમાણુઓના પરમાણ્વિય-ક્રમાંક સમાન હોય પરંતુ દળક્રમાંક જુદા હોય તેવા પરમાણુઓને સમસ્થાનિકો કહે છે. બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો સમસ્થાનિકોના પરમાણ્વિય દળ અથવા દળક્રમાંકનો તફાવત તેમના કેન્દ્રમાં જુદી જુદી સંખ્યામાં રહેલા ન્યુટ્રૉનને કારણે હોય છે. હાઇડ્રોજનના કુલ પરમાણુના 99.985 ટકામાં માત્ર એક જ પ્રોટોન હોય છે. આ સમસ્થાનિકને પ્રોટિયમ (Protium) $^{1}_{1}H$ કહે છે. હાઇડ્રોજન પરમાણુની બાકીની ટકાવારીમાં બીજા બે સમસ્થાનિકો છે. જે પૈકી એકમાં 1 પ્રોટોન અને 1 ન્યુટ્રૉન રહેલ છે જેને ભારે હાઇડ્રોજન (Deuterium 0.0156%) $^{2}_{1}H$ અથવા $^{2}_{1}D$ કહે છે. અને બાકીમાં 1 પ્રોટોન અને 2 ન્યુટ્રૉન હોય છે જેને ટ્રિટિયમ(tritium) $^{3}_{1}H$ અથવા $^{3}_{1}T$ કહે છે(10^{-15}%). પૃથ્વીના પેટાળમાં ટ્રિટિયમનું પ્રમાણ ખૂબ જ ઓછું હોય છે. હાઇડ્રોજનના આ ત્રણ સમસ્થાનિકો સંજ્ઞાથી નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :

$$^{1}_{1}H\ ;\ ^{2}_{1}D\ ;\ ^{3}_{1}T$$

સમસ્થાનિકો વિશેનો એક અગત્યનો મુદ્દો તેઓના પરમાણુઓના રાસાયણિક ગુણધર્મો અંગેનો છે જે ઇલેક્ટ્રૉનની સંખ્યા પર આધારિત છે. જે કેન્દ્રમાં રહેલા પ્રોટોનની સંખ્યા પરથી નક્કી કરી શકાય છે. તેથી આપેલા તત્ત્વના બધા જ સમસ્થાનિકો રાસાયણિક ગુણધર્મો એકસરખા હોય છે.

સમભારિકો (Isobars) : જે પરમાણુના પરમાણ્વિય દળ (દળક્રમાંક) સરખા હોય પરંતુ પરમાણ્વિય-ક્રમાંક અલગ હોય તેવા પરમાણુઓને સમભારિકો કહે છે.

દા.ત., $^{14}_{6}C\ ;\ ^{14}_{7}N$

આઇસોટોન (Isotones) : પરમાણુઓ કે જેમના પરમાણ્વિય દળ અને પરમાણ્વિય-ક્રમાંક જુદા જુદા હોય પરંતુ તેઓમાં ન્યુટ્રૉનની સંખ્યા સરખી હોય તેમને આઇસોટોન કહે છે.

દા.ત., $^{30}_{14}Si\ ;\ ^{31}_{15}P\ ;\ ^{32}_{16}S$

દાખલો 2.1 : $^{31}_{15}P$ માં રહેલા પ્રોટોન, ન્યુટ્રૉન અને ઇલેક્ટ્રૉનની સંખ્યા ગણો.

ઉકેલ : $^{31}_{15}P$ નો પરમાણ્વિય-ક્રમાંક Z = 15 છે અને પરમાણ્વિય દળ A = 31 છે. હવે પરમાણુમાં રહેલા પ્રોટોનની સંખ્યા = ઇલેક્ટ્રૉનની સંખ્યા = Z = 15 છે.

∴ ન્યુટ્રૉનની સંખ્યા = પરમાણ્વિય દળ- પ્રોટોનની સંખ્યા

= 31 -15

∴ ન્યુટ્રૉનની સંખ્યા = 16

દાખલો 2.2 એક સ્પીસિઝ(Species) માં ઇલેક્ટ્રૉન, પ્રોટોન અને ન્યુટ્રૉનની સંખ્યા અનુક્રમે 10, 8 અને 8 છે. આ સ્પીસિઝ માટે યોગ્ય સંજ્ઞા આપો.

ઉકેલ : પ્રોટોનની સંખ્યા = 8 = પરમાણ્વિય-ક્રમાંક

તેથી આ સ્પીસિઝ, ઑક્સિજન તત્ત્વ O છે.

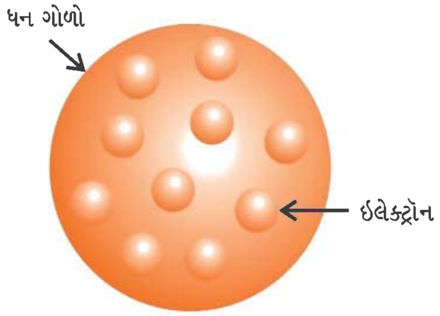
પરમાણ્વિય દળ (દળક્રમાંક) = પ્રોટોનની સંખ્યા + ન્યુટ્રૉનની સંખ્યા = 8 + 8 = 16

∴ પરમાણ્વિય દળ = 16 થાય.

આપેલ સ્પીસિઝ તટસ્થ નથી કારણ કે અહીં પ્રોટોનની સંખ્યા 8 અને ઇલેક્ટ્રૉનની સંખ્યા 10 છે જે સરખી નથી. તેથી તે ઋણાયન બને છે અને તેના બે એકમ ઋણ વીજભાર આવશે. પરિણામે આ સ્પીસિઝની સંજ્ઞા $^{16}_{8}O^{2-}$ થશે.

2.3.1 થોમસનનો પરમાણુનો નમૂનો અને તેની મર્યાદાઓ (Thomson's Model of Atom and its Limitations)

2.3.1 થોમસનનો પરમાણુનો નમૂનો અને તેની મર્યાદાઓ (Thomson's Model of Atom and its Limitations) : સૌપ્રથમ જે. જે. થોમસને 1898 માં સૂચવ્યું કે, પરમાણુ ગોલીય (spherical) આકાર ધરાવે છે. (ત્રિજ્યા આશરે 10^{-10} મી છે.) જેમાં ધનવીજભાર એકસમાન રીતે વહેંચાયેલો છે. ઇલેક્ટ્રૉન તેમાં એવી રીતે સમાયેલા છે કે જેથી સૌથી સ્થાયી સ્થિરવિદ્યુતીય સ્થિતિ પ્રાપ્ત થાય. આ નમૂનાને બીજાં ઘણાં નામો જેવાં કે , પ્લમપુડિંગ, રાઝનની પુડિંગ અથવા તડબૂચ આપેલાં છે.



થોમસનનો પરમાણુ નમૂનો

આકૃતિ 2.2

આ નમૂના મુજબ, ધનવીજભારિત પ્રોટોન અને ઋણવીજભારિત ઇલેક્ટ્રૉન, પરમાણુમાં એક સમાન રીતે વહેંચાયેલા છે. આ નમૂનામાં સમાન રીતે ગોઠવાયેલા પ્રોટોન અને ઇલેક્ટ્રૉનની સંખ્યા સરખી હોય છે. આ નમૂનાનું અગત્યનું લક્ષણ એ છે કે, પરમાણુનું સમગ્ર દળ એકસરખી રીતે તેમાં વહેંચાયેલું છે. આ નમૂનો પરમાણુની એકંદર વીજતટસ્થતા સમજાવી શકે છે. પરંતુ ત્યાર બાદ કરવામાં આવેલાં પ્રાયોગિક પરિણામો સાથે સુસંગત નથી. વાયુઓની વીજવાહકતાની તેનાં

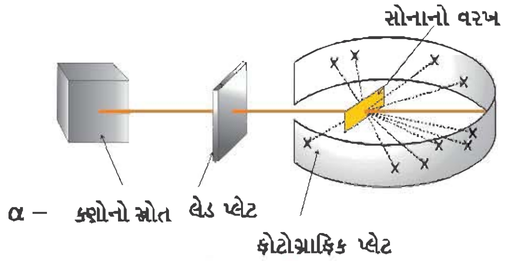
સૈદ્ધાંતિક અને પ્રાયોગિક સંશોધનો માટે થોમસનને 1906 માં પદાર્થ વિજ્ઞાનનું નોબેલ પારિતોષિક આપવામાં આવ્યું હતું.

થોમસનના પરમાણુના નમૂનાની મર્યાદાઓ (Limitations of Thomson's Model of Atom)

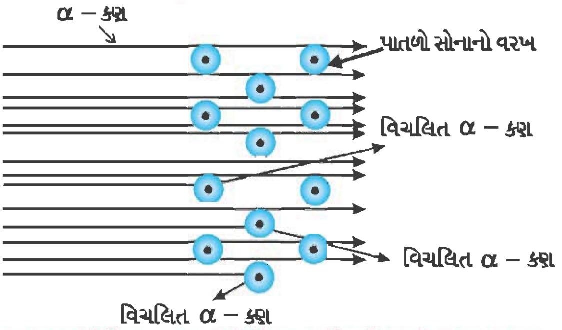
થોમસનના પરમાણુના નમૂનામાં અગાઉ જોયું તે પ્રમાણે પરમાણુમાં પ્રોટોન અને ઇલેક્ટ્રૉન એક સમાન રીતે ગોઠવાયેલા હોય છે. પરંતુ રુથરફોર્ડના α – કણ પ્રકીર્ણનના પ્રયોગ પરથી નોંધવામાં આવ્યું કે પરમાણુનો મોટો ભાગ ખાલી છે કારણ કે મોટા ભાગના α – કણો ધાતુના વરખમાંથી પરાવર્તન પામ્યા સિવાય, સીધા જ પસાર થઈ જાય છે. આમ થોમસનનો પરમાણુનો નમૂનો α – કણ પ્રકીર્ણનની ઘટના સમજાવી શકતો નથી.

2.3.2 α – કણ પ્રકીર્ણનનો પ્રયોગ અને રુથરફોર્ડનો પરમાણુનો નમૂનો તથા તેની મર્યાદાઓ (α – Particle Scattering Experiment and Rutherford's Model of an Atom and its Limitations) :

રુથરફોર્ડ(Rutherford)ના પરમાણુના નમૂનાને પરમાણુના કેન્દ્રીય નમૂના તરીકે પણ ઓળખવામાં આવે છે. રુથરફોર્ડ અને તેના વિદ્યાર્થીઓ હેન્સ ગાઇગર (Hans Geiger) અને અર્નેસ્ટ માર્સડને (Ernest Marsden) સોનાના પાતળા વરખ ઉપર α – કણનો મારો ચલાવ્યો : આ ખૂબ જ જાણીતો α – કણ પ્રકીર્ણનનો પ્રયોગ નીચેની આકૃતિમાં દર્શાવેલ છે :



a. રુથરફોર્ડનો પ્રકીર્ણનનો પ્રયોગ



b. રુથરફોર્ડના α -કણ પ્રકીર્ણનના પ્રયોગનો આલેખન અભ્યાસ

આકૃતિ 2.3

રેડિયોસક્રિય સ્રોતમાંથી મળેલા શક્તિશાળી α – કણને સોનાના વરખ (જાડાઈ 100 nm) પર પડવા દેવાય છે અને સોનાના પાતળા વરખની આસપાસ ઝિંક સલ્ફાઇડનો પ્રસ્ફુરણ પડદો રાખવામાં આવેલો હોય છે. જ્યારે α – કણ આ પડદાને અથડાય છે ત્યારે તે બિંદુએ ઝબકારો થાય છે અને તેના પર પ્રસ્ફુરણ અસર ઉપજાવે છે. આ પ્રયોગનું પરિણામ ખૂબ જ અનઅપેક્ષિત હતું કારણ કે થોમસનના પરમાણ્વિય નમૂના મુજબ સોનાના પ્રત્યેક પરમાણુનું દળ એકસરખી રીતે આખા પરમાણુ પર ફેલાયેલું હતું એમ ધારેલું અને α – કણો આવા એકસરખી રીતે ફેલાયેલા દળમાંથી પસાર થવા માટે પૂરતી ઊર્જા ધરાવતા હોય છે. થોમસનના મત પ્રમાણે જ્યારે α – કણો આ વરખમાંથી પસાર થાય ત્યારે એવી ધારણા કરવામાં આવે છે કે તેઓની ગતિ ધીમી પડે અને તેઓની દિશા પણ કોણીય રીતે બદલાય પરંતુ રુથરફોર્ડના આ પ્રયોગથી નોંધવામાં આવ્યું કે,

(i) મોટા ભાગના α – કણો સોનાના વરખમાંથી વિચલન પામ્યા સિવાય પસાર થાય છે.

(ii) α – કણો પૈકીના ખૂબ જ ઓછા કણોનું કોણીય વિચલન થાય છે.

(iii) ખૂબ જ ઓછા α – કણો (20,000 માંથી એક) અથડાઈને પાછા ફરે છે.

ઉપરના પ્રયોગના અવલોકન ઉપરથી રુથરફોર્ડે પરમાણ્વિય નમૂના માટે નીચે મુજબનાં તારણો રજૂ કર્યાં :

(i) વરખના મોટા ભાગમાંથી કણો પસાર થઈ જતા હોવાથી પરમાણુનો મોટા ભાગનો વિસ્તાર ખાલી હોવો જોઈએ.

(ii) ધનવીજભારિત થોડા α – કણોનું વિચલન થાય છે જે અપાકર્ષણને કારણે છે. પરમાણુનો ધનવીજભાર ખૂબ જ નાના વિસ્તારમાં સંકેન્દ્રિત થયેલો હોય છે જે ધનભારિત α – કણના વિચલન માટે જવાબદાર છે અને તેને પરમાણુનું કેન્દ્ર કહે છે.

(iii) પરમાણુના કુલ કદની સરખામણીમાં પરમાણુના કેન્દ્રનું કદ અવગણી શકાય તેવું હોય છે. પરમાણુની ત્રિજ્યા લગભગ 10^{-10} મી છે જ્યારે કેન્દ્રની ત્રિજ્યા લગભગ 10^{-15} મી છે.

ઉપરનાં અવલોકનો અને તારણો બાદ, રુથરફોર્ડે પરમાણુનો કેન્દ્રીય નમૂનો આપ્યો, આ નમૂના મુજબ

(i) ધનવીજભાર અને પરમાણુનું મોટા ભાગનું દળ અતિશય નાના વિસ્તારમાં કેન્દ્રિત થયેલું છે. આ ખૂબ જ નાના વિસ્તારને રુથરફોર્ડે કેન્દ્ર (નાભિ) કહ્યું.

(ii) કેન્દ્રની આસપાસ ઇલેક્ટ્રૉન ખૂબ જ ઝડપથી જે વર્તુળાકાર પથ પર ગતિ કરે છે તેને કક્ષા કહે છે.

(iii) કેન્દ્ર અને ઇલેક્ટ્રૉન, એકબીજા સાથે સ્થિરવિદ્યુતીય આકર્ષણબળો વડે જોડાયેલા છે.

રુથરફોર્ડના પરમાણ્વિય નમૂનાની ખામીઓ :

કેન્દ્ર અને ઇલેક્ટ્રૉન વચ્ચેનાં કુલંબિક બળો $k\frac{q_1q_2}{r^2}$ જ્યાં q_1 અને q_2 વીજભાર છે, r વીજભાર વચ્ચેનું અંતર છે અને k સપ્રમાણ અચળાંક છે. ગુરુત્વાકર્ષણ બળો $G\frac{m_1m_2}{r^2}$ ને ગાણિતીય રીતે સમાન છે. જ્યાં m_1 અને m_2 દળો છે, r બંને દળો વચ્ચેનું અંતર છે અને G ગુરુત્વાકર્ષણ અચળાંક છે. સૌર પ્રણાલી અને કેન્દ્રીય નમૂના વચ્ચેની સામ્યતા સૂચવે છે કે કોઈ ચોક્કસ કક્ષામાં ઇલેક્ટ્રૉન કેન્દ્રની આસપાસ પરિભ્રમણ કરતો

હોવો જોઈએ. હવે કોઈ પણ પદાર્થ કક્ષામાં પરિભ્રમણ કરતો હોય ત્યારે તે પ્રવેગિત થાય છે. આમ, કેન્દ્રીય નમૂનામાં ઇલેક્ટ્રૉન જેનું સૌર ગ્રહોની કક્ષા સાથે વર્ણન કરાય છે તે પણ પ્રવેગિત થાય છે.

સૌરમંડળમાં વિદ્યુતીય આકર્ષણ-અપાકર્ષણ જેવી ઘટના નથી. પરંતુ પરમાણુમાંના ધનભારવાળું કેન્દ્ર અને ઋણભારવારવાળા ઇલેક્ટ્રૉન વચ્ચે આકર્ષણ-અપાકર્ષણ બળોને ધ્યાનમાં લેવા પડશે.

મેક્સવેલ (Maxwell)ના વીજચુંબકીય સિદ્ધાંત અનુસાર જ્યારે વીજભારિત કણ પ્રવેગિત થાય ત્યારે તે વીજચુંબકીય વિકિરણોનું ઉત્સર્જન કરે છે. (આ ઘટના ગ્રહોમાં અસ્તિત્વ ધરાવતું નથી કારણ કે તેઓ વીજભારરહિત છે.) તેથી કક્ષામાં રહેલા ઇલેક્ટ્રૉન વિકિરણ ઉત્સર્જન કરશે અને આ વિકિરણની ઊર્જા વિદ્યુતીય પરિભ્રમણ-ગતિમાંથી મળે છે. તેથી કક્ષાઓ સંકોચાશે. ગણતરીથી દર્શાવ્યું છે કે ઇલેક્ટ્રૉનને કેન્દ્રમાં આકર્ષવા 10^{-8}s જોઈએ. પરંતુ આમ બનતું નથી. આમ, રુધરફોર્ડનો નમૂનો, પરમાણુની સ્થાયિતા સમજાવી શક્યો નથી. રુધરફોર્ડના નમૂનાની બીજી વિશેષ મોટી ખામી એ હતી કે તેનાથી પરમાણુના ઇલેક્ટ્રૉનીય બંધારણ વિશે કોઈ જાણકારી મળતી નથી અર્થાત્ ઇલેક્ટ્રૉન કેન્દ્રની આસપાસ કેવી રીતે વહેંચાયેલો છે અને તેઓની શક્તિ શું છે તેની પણ જાણ થતી નથી.

2.4 વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણની પ્રકૃતિ (Nature of Electromagnetic Radiation)

પ્રકાશ વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણો તરીકે ઓળખાય છે. તેની પ્રકૃતિ અંગે સૌપ્રથમ ઈ.સ. 1900 માં વૈજ્ઞાનિક મેક્સ પ્લાન્કે આ ક્ષેત્રને લગતા પ્રયોગોનાં અવલોકનોને સમજાવવા પ્રકાશને કણ પ્રકૃતિ છે એમ જાહેર કર્યું. ત્યાર બાદ પ્રકાશનું ધ્રુવીકરણ અને વિવર્તન જેવી ઘટનાઓને આધારે વૈજ્ઞાનિક હ્યુજન્સે (Hugens) પ્રકાશનો તરંગ પ્રકૃતિવાદનો સિદ્ધાંત રજૂ કર્યો. ઈ.સ. 1920 માં વૈજ્ઞાનિક આલ્બર્ટ આઇન્સ્ટાઇને (Albert Einstein) સૂચવ્યું કે ક્વૉન્ટમ ગુણધર્મો, શોષણ અને ઉત્સર્જન વિકિરણને પણ લાગુ પાડી શકાય છે. આનો અર્થ એમ થયો કે, વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણ કણોનું બનેલું હોવું જોઈએ. જેને ફોટોન કહે છે. ફોટોનની શક્તિ (E) અને પ્રકાશની આવૃત્તિ (ν) વચ્ચેનો સંબંધ નીચે મુજબનો છે :

$$E = h\nu$$

પ્રકાશની આવૃત્તિ(ν) અને તરંગલંબાઈ(λ) વચ્ચેનો સંબંધ નીચે મુજબનો છે :

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

આથી ફોટોનની શક્તિ $E = \frac{hc}{\lambda}$

જ્યાં, E = ફોટોનની શક્તિ, c = પ્રકાશનો વેગ

h = પ્લાન્ક અચળાંક, λ = તરંગલંબાઈ

એક મોલ ફોટોનમાં સમાયેલી શક્તિને એક આઇન્સ્ટાઇન કહે છે.

$$\therefore NE = \frac{Nhc}{\lambda}$$ (જ્યાં N = એવોગેડ્રો આંક)

2.5 હાઇડ્રોજન પરમાણુનો ઉત્સર્જન વર્ણપટ (Emission Spectrum of Hydrogen Atom)

નિયંત્રિત પરિસ્થિતિમાં વિદ્યુતવિભારનળીમાં નીચા દબાણે હાઇડ્રોજન વાયુમાં વિદ્યુતનું ઊંચું વોલ્ટેજ લાગુ પાડવાથી પ્રકાશનું ઉત્સર્જન થાય છે. આ ઉત્સર્જિત થતો પ્રકાશ આછા જાંબલી રંગનો દેખાય છે. સ્પેક્ટ્રોસ્કોપ સાધન વડે તેનું પૃથક્કરણ કરવામાં આવે તો વર્ણપટમાં મળતી આ રેખાઓને રેખીય વર્ણપટ કહે છે. હાઇડ્રોજનની માફક બીજા કોઈ પણ તત્ત્વની વાયુરૂપ અવસ્થામાં ઉત્સર્જિત પ્રકાશના લાક્ષણિક રેખીય વર્ણપટને પરમાણ્વીય વર્ણપટ કહે છે.

પ્રથમ નજરે હાઇડ્રોજન વર્ણપટ જટિલ જણાય છે. વર્ણપટની દરેક શ્રેણીમાં રેખાઓના સ્થાનની નિયમિતતા પુરવાર થઈ છે. આ શ્રેણીઓની શોધ કરનાર વૈજ્ઞાનિકોનાં નામ પરથી તેને લાયમેન, બામર, પાશ્ચન, બ્રેકેટ અને ફુન્ડ શ્રેણી કહે છે.

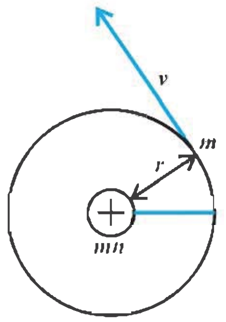
2.6 બોહ્રનો પરમાણ્વીય નમૂનો અને તેની મર્યાદાઓ (Bohr's Atomic Model and Its Limitations)

નીલ્સ બોહ્ર
(1855-1962)

1911માં ડેન્માર્કના ભૌતિકશાસ્ત્રી નીલ્સ બોહ્રે કોપનહેગન વિશ્વવિદ્યાલયમાંથી Ph.D.ની ઉપાધિ મેળવી. ત્યાર બાદ તેઓ એક વર્ષ ઇંગ્લૅન્ડમાં થોમસન અને અર્નેસ્ટ રુધરફોર્ડ પાસે રહ્યા. ત્યાર બાદ 1963માં તેઓ કોપેનહેગનમાં પરત ફર્યા ત્યાં જીવનના બાકીનાં વર્ષો રહ્યા. 1920 માં તેમને સૈદ્ધાંતિક ભૌતિકશાસ્ત્રના અધ્યક્ષ બનાવ્યા. પ્રથમ વિશ્વયુદ્ધ પછી પરમાણુ ઊર્જાના શાંતિમય ઉપયોગ માટે બોહ્રે ખૂબ જ સ્ફૂર્તિથી કામ કર્યું. 1957માં તેમને પરમાણુ શાંતિ માટેનું ઇનામ મળ્યું. 1922માં તેઓને ભૌતિકશાસ્ત્રમાં નોબેલ પારિતોષિક મળ્યું.

દ્રવ્યના વિકિરણ સાથેના અભ્યાસ પરથી પરમાણુ અને અણુના બંધારણ અંગેની ખૂબ જ વિસ્તૃત માહિતી પ્રાપ્ત થઈ શકે છે. બોહ્રે આ પરિણામોનો ઉપયોગ રુધરફોર્ડે રજૂ કરેલો નમૂનો સુધારવા માટે કર્યો.

બોહ્રે સૌપ્રથમ હાઇડ્રોજન પરમાણુ માટેનો નમૂનો રજૂ કર્યો કે જે પરમાણુમાં ઇલેક્ટ્રૉનની ગોઠવણી માટેનો સૌપ્રથમ પ્રયત્ન હતો. બોહ્રના મત મુજબ હાઇડ્રોજન પરમાણુના કેન્દ્રમાં એક પ્રોટોન રહેલો છે અને તેનો એક ઇલેક્ટ્રૉન પરમાણુના કેન્દ્રની આસપાસ સતતપણે વર્તુળાકાર નિશ્ચિત માર્ગે ગતિ કરે છે જેને કક્ષા કહે છે. પરમાણુના કેન્દ્રમાં પ્રોટોનની હાજરીને કારણે તેના પર ધનવીજભાર હોય છે અને ઇલેક્ટ્રૉન ઋણવીજભારીત હોવાથી, તેઓ વચ્ચે આકર્ષણ ઉદ્ભવે છે. પરિણામે ઇલેક્ટ્રૉનની કેન્દ્રમાં સમાવવાની શક્યતા સંભવી શકે છે. જો પરમાણુના કેન્દ્રથી ઇલેક્ટ્રૉન વચ્ચેનું અંતર (જેને કક્ષાની ત્રિજ્યા પણ કહે છે.) વધારવામાં આવે તો તેઓ વચ્ચે થતું આકર્ષણ ઘટે છે. પરિણામે ઇલેક્ટ્રૉનની ઊર્જા વધે છે.



બોહ્‌રનો પરમાણ્વિય નમૂનો
આકૃતિ 2.4

હાઇડ્રોજન વર્ણપટની સમજૂતી માટે બોહ્‌રે નીચે મુજબની અભિધારણાઓ કરી :

(i) ઇલેક્ટ્રૉન પરમાણુના કેન્દ્રની આજુબાજુ, કોઈ ચોક્કસ સ્વીકાર્ય ઊર્જાસ્તર(કક્ષા)માં પરિભ્રમણ કરી શકે છે. ઇલેક્ટ્રૉન, પરમાણુના કેન્દ્રની આસપાસ કોઈ ચોક્કસ કક્ષામાં પરિભ્રમણ કરતો હોવા છતાં પણ તેની ઊર્જા અચળ રહે છે. ઇલેક્ટ્રૉનના પરિભ્રમણનો આ માર્ગ કે જ્યાં તેની ઊર્જા અચળ રહે છે તેને સ્થિર અવસ્થા અથવા સ્થિર કક્ષા કહે છે. આમ ઇલેક્ટ્રૉન જ્યારે કોઈ પણ સ્થિર કક્ષામાં પરિભ્રમણ કરતો હોય ત્યારે તે ઊર્જાનું શોષણ કે ઉત્સર્જન કરતો નથી.

(ii) ઇલેક્ટ્રૉનના કોઈ એક સ્થાયી કક્ષામાંથી બીજી સ્થાયી કક્ષામાં સંક્રમણ દરમિયાન ઊર્જાનું શોષણ અથવા ઉત્સર્જન કરે ત્યારે ઊર્જાનો જથ્થો અચળ રહે છે.

$E_1 + h\nu \rightarrow E_2$ ઊર્જાનું શોષણ

જ્યાં E_1 = ઓછી ઊર્જાવાળી સ્થાયી કક્ષા

$E_2 \rightarrow E_1 + h\nu$ ઊર્જાનું ઉત્સર્જન

E_2 = ઊંચી ઊર્જાવાળી સ્થાયીકક્ષા

h = પ્લાન્કનો અચળાંક

ν = વિકિરણની આવૃત્તિ

$E_2 \uparrow E_1$ ઊર્જાનું શોષણ $E_2 \downarrow E_1$ ઊર્જાનું ઉત્સર્જન

(iii) ઇલેક્ટ્રૉન ફક્ત એવી કક્ષામાં જ પરિભ્રમણ કરી શકે કે જ્યાં તેનું કોણીય વેગમાન $h/2\pi$ કોઈ પણ ધનપૂર્ણાંક સંખ્યા(n) ના પૂર્ણ ગુણાંક તરીકે હોય છે. જ્યાં n = 1,2, 3 ... (n). આવી કક્ષાઓને સ્વીકાર્ય અથવા માન્ય કક્ષાઓ કહે છે.

$$\text{કોણીય વેગમાન} = m v r = \frac{nh}{2\pi} \qquad 2.1$$

જ્યાં m = ઇલેક્ટ્રૉનનું દળ

v = વેગ

r = કક્ષાની ત્રિજ્યા (કેન્દ્ર અને ઇલેક્ટ્રૉન વચ્ચેનું અંતર)

h = પ્લાન્કનો અચળાંક

n = કોઈ પણ ધનપૂર્ણાંક સંખ્યા 1,2,..........

(iv) સ્વીકાર્ય અથવા માન્ય કક્ષામાં પરિભ્રમણ કરતાં ઇલેક્ટ્રૉનની ઊર્જા E , બોહ્‌રના નીચેના સમીકરણથી દર્શાવી શકાય :

$$E = \frac{-2e^4\pi^2Z^2m}{n^2h^2} \qquad 2.2$$

જ્યાં E = ઇલેક્ટ્રૉનની ઊર્જા, h = પ્લાન્કનો અચળાંક,

e = ઇલેક્ટ્રૉન પરનો વીજભાર, Z = પરમાણ્વીય-ક્રમાંક,

m = ઇલેક્ટ્રૉનનું દળ, n = કોઈ પણ ધનપૂર્ણાંક સંખ્યા

ઉપરના સમીકરણ 2.2 માં ઋણ સંજ્ઞા સૂચવે છે કે પરમાણુમાં રહેલા ઇલેક્ટ્રૉનની ઊર્જા મુક્ત ઇલેક્ટ્રૉનની ઊર્જા કરતાં ઓછી છે. મુક્ત ઇલેક્ટ્રૉન પરમાણુના કેન્દ્રથી અનંત અંતરે દૂર આવેલો છે અને તેની ઊર્જા શૂન્ય સ્વીકારવામાં આવેલી છે. હાઇડ્રોજન પરમાણુ માટે $n>1$ વાળી ઊંચી ઊર્જાસપાટીવાળી સ્થિતિઓને ઇલેક્ટ્રૉનની ઉત્તેજિત અવસ્થા કહે છે.

(v) ઇલેક્ટ્રૉન સાથે સંકળાયેલ સૌથી અગત્યનો ગુણધર્મ તેની અવસ્થા સાથે સંકળાયેલી ઊર્જા છે, જે નીચેના સમીકરણથી દર્શાવી શકાય :

$$E_n = -R_H \frac{1}{n^2} \text{ જ્યાં } n = 1, 2, 3 \qquad 2.3$$

જ્યાં R_H = રીડબર્ગ (Rydberg) અચળાંક છે

અને તેનું મૂલ્ય 2.18×10^{-18}J છે.

સૌથી ન્યૂનતમ ઊર્જાવાળી અવસ્થા (n=1) ને ધરાઅવસ્થા (ભૂમિ અવસ્થા) કહે છે.

$$\text{તેની ઊર્જા } E_1 = -2.18 \times 10^{-18}\left(\frac{1}{1^2}\right)J$$

$$E_1 = -2.18 \times 10^{-18} \text{ J થશે.}$$

જો બીજી કક્ષા n = 2 અવસ્થા લઈએ તો,

$$E_2 = -2.18 \times 10^{-18}\left(\frac{1}{2^2}\right)J$$

$$E_2 = -0.545 \times 10^{-18} \text{ J થશે.}$$

(vi) ઇલેક્ટ્રૉન એક ઊર્જા-અવસ્થામાંથી અન્ય ઊર્જા અવસ્થામાં ઊર્જાનું શોષણ અથવા ઉત્સર્જન કરીને જઈ શકે છે. આ માટેના ઊર્જાના તફાવતને ΔE કહે છે, જે નીચે મુજબના સમીકરણથી દર્શાવી શકાય :

$$\Delta E = R_H\left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right)$$

$$\Delta E = 2.18 \times 10^{-18} J \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right)$$

જ્યાં R_H = રીડબર્ગનો અચળાંક, n_i = શરૂઆતની ઊર્જા-અવસ્થા, n_f = અંતિમ ઊર્જા-અવસ્થા

ઊર્જાના શોષણ અથવા ઉત્સર્જન સાથે સંકળાયેલી આવૃત્તિ નીચેના સમીકરણથી દર્શાવી શકાય :

$$\Delta E = h\nu = R_H \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right) \qquad 2.4$$

$$\nu = \frac{\Delta E}{h} = \frac{R_H}{h}\left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right)$$

$$\therefore \nu = \frac{2.18 \times 10^{-18} J}{6.626 \times 10^{-34} J}\left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right)$$

$$\therefore \nu = 3.29 \times 10^{15}\left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right) Hz \qquad 2.5$$

મેક્સ પ્લાન્ક (1858-1947) :

જર્મન ભૌતિકશાસ્ત્રી મેક્સ પ્લાન્કે Ph.D. ની પદવી 1879માં મ્યુનિચ વિશ્વવિદ્યાલયમાંથી સૈદ્ધાંતિક ભૌતિકશાસ્ત્રમાં મેળવી હતી. તેઓ બર્લિન વિશ્વવિદ્યાલયમાં, સૈદ્ધાંતિક ભૌતિકશાસ્ત્રની સંસ્થામાં અધ્યક્ષ તરીકે નિયુક્ત થયા હતા. પ્લાન્કને 1918માં ક્વૉન્ટમવાદ અંગે ભૌતિકશાસ્ત્રનો નોબેલ પુરસ્કાર મળ્યો હતો. પ્લાન્કે ભૌતિકશાસ્ત્રના ઉષ્માગતિવિદ્યા તથા અન્ય વિભાગોમાં નોંધપાત્ર ફાળો આપ્યો છે.

દાખલો 2.3 : હાઇડ્રોજન પરમાણુમાં n = 4 ઊર્જાશક્તિ સ્તરમાંથી n = 2 ઊર્જાશક્તિસ્તરમાં ઇલેક્ટ્રૉન સંક્રમણ દરમિયાન ઉત્સર્જિત ફોટોનનો ઊર્જા તફાવત શોધો.

ઉકેલ : અહીં શરૂઆતનું ઊર્જાશક્તિસ્તર (n_i = 4) છે અને અંતિમ ઊર્જાશક્તિસ્તર (n_f = 2) છે.

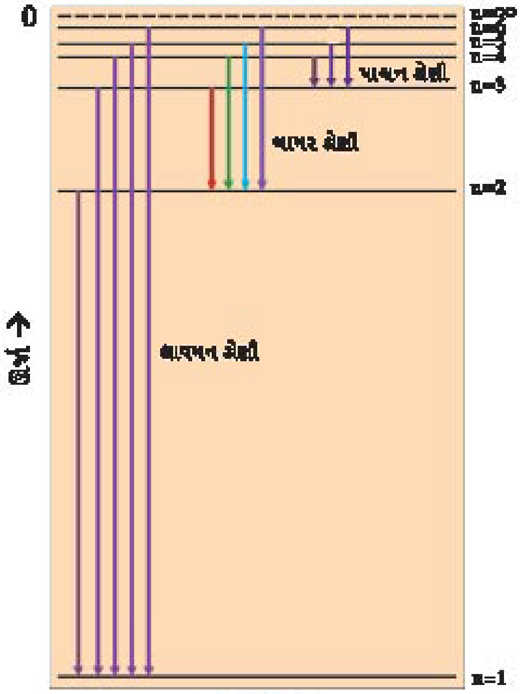
તેથી સમીકરણ $\Delta E = 2.18 \times 10^{-18} J \times \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{2^2}\right)$

$\therefore \Delta E = -4.076 \times 10^{-19} J$ થશે.

બોહ્‌રની ધારણાઓ પરથી હાઇડ્રોજન વર્ણપટની સમજૂતી આકૃતિ દ્વારા દર્શાવી શકાય.

કોષ્ટક 2.2 હાઇડ્રોજન પરમાણુ માટેની વર્ણપટની રેખાઓ

શ્રેણી	n_i	n_f	વર્ણપટનો વિસ્તાર
લાયમન (Lyman)	1	2,3..	પારજાંબલી
બામર (Balmer)	2	3,4..	દૃશ્યમાન
પાશ્ચન(Paschen)	3	4,5..	પારરક્ત
બ્રેકેટ (Brackett)	4	5,6..	પારરક્ત
ફુંડ (Pfund)	5	6,7..	પારરક્ત



આકૃતિ 2.5

બોહ્‌રના પરમાણ્વિય નમૂનાની મર્યાદાઓ

બોહ્‌રના પરમાણ્વિય નમૂનાને રુથરફોર્ડના પરમાણુના કેન્દ્રીય નમૂનાના સુધારા તરીકે ગણવામાં આવે છે કારણ કે બોહ્‌રનો પરમાણ્વિય નમૂનો પરમાણુ અથવા આયનની સ્થાયીતા અંગે માહિતી આપે છે.

બોહ્‌રના પરમાણ્વિય નમૂનાની મર્યાદાઓ નીચે મુજબ છે :

(i) બોહ્‌રના પરમાણ્વિય નમૂનાની મદદથી હાઇડ્રોજન વર્ણપટની વધુ સારી સમજૂતી આપી શકાતી નથી કારણ કે વર્ણપટની બે રેખાઓ અત્યંત નજીક(ડબ્લેટ) હોય, તો તેની સમજૂતી મળી શકતી નથી.

(ii) બોહ્‌રના પરમાણ્વિય નમૂનાની મદદથી હાઇડ્રોજન સિવાયના અન્ય પરમાણુના વર્ણપટ સમજાવવામાં નિષ્ફળ નીવડે છે.

(iii) વર્ણપટની રેખાઓનું ચુંબકીય ક્ષેત્રની અસર હેઠળ થતું વિભાજન (ઝિમેન અસર) સમજાવવામાં પણ તે નિષ્ફળ નીવડે છે.

(iv) પરમાણુઓ વચ્ચે રાસાયણિક બંધ રચી અણુ બનાવવાના ઉપાય અંગે પણ બોહ્રનો નમૂનો માહિતી આપી શકતો નથી.

2.7 દ્રવ્ય અને વિકિરણનો દ્વૈત-સ્વભાવ (Dual Nature of Matter and Radiation)

સૌપ્રથમ જેમ્સ મેક્સવેલે (James Maxwell) 1870 માં વીજભારિત પદાર્થો વચ્ચેના આંતરિક આકર્ષણ અંગેની વિસ્તૃત માહિતી આપી તથા વિશાળ અર્થમાં વિદ્યુતીય અને ચુંબકીય ક્ષેત્રની વર્તણૂક સમજાવી. તેમણે સૂચવ્યું કે જ્યારે વિદ્યુતીય વીજભારિતકણ પ્રવેગથી ગતિ કરે છે ત્યારે વિદ્યુતીય અને ચુંબકીય ક્ષેત્ર ઉત્પન્ન થાય છે અને પ્રસરે છે. આ ક્ષેત્રો તરંગના સ્વરૂપમાં પ્રસરણ પામે છે જેને વીજચુંબકીય તરંગો અથવા વીજચુંબકીય વિકિરણ કહે છે.

ન્યુટનના સમયમાં પ્રકાશ કણોનો બનેલો છે તેમ માનવામાં આવ્યું પરંતુ 19મી સદીમાં પ્રકાશનો તરંગ સ્વભાવ સાબિત થયો. વીજચુંબકીય તરંગો ઘણા પ્રકારના હોય છે.

વિકિરણનો દ્વૈત-સ્વભાવ

પ્રકાશના કણ સ્વભાવે વૈજ્ઞાનિકોને દ્વિધામાં મૂક્યા. એક બાજુ કાળા પદાર્થનું વિકિરણ અને ફોટોઇલેક્ટ્રિક અસર સંતોષકારક રીતે સમજાવી શકાય પરંતુ બીજી બાજુ પ્રકાશની જાણીતી અસરો જેવી કે વ્યતીકરણ અને વિવર્તનને સમજાવવામાં શક્તિમાન નથી. આ દ્વિધાનું નિરાકરણ કરવા માટે પ્રકાશ કણ અને તરંગ એમ બંને ગુણધર્મ ધરાવે છે અર્થાત્ પ્રકાશની દ્વૈત વર્તણૂક છે તેમ સ્વીકાર્યું પ્રયોગોને આધારે નક્કી થયું કે પ્રકાશ તરંગ તેમજ કણોના પુંજ તરીકે વર્તે છે.

દાખલો 2.4 : એક મોલ ફોટોન કે જેના વિકિરણની આવૃત્તિ 4×10^{14} Hz છે. તેની ઊર્જા ગણો.

ઉકેલ : એક ફોટોનની ઊર્જા નીચે મુજબ ગણી શકાય :

$$E = h\nu$$
$$h = 6.626 \times 10^{-34} Js$$
$$\nu = 4 \times 10^{14} s^{-1}$$
$$E = (6.626 \times 10^{-34} Js) \times (4 \times 10^{14} s^{-1})$$
$$\therefore E = 2.6496 \times 10^{-19} J$$

હવે 1 મોલ ફોટોનની ઊર્જા ($E_{mole} = NE$)

$$E = (2.6496 \times 10^{-19} J) \times (6.022 \times 10^{23} \text{ મોલ}^{-1})$$
$$E = 159.0 \text{ કિજૂ મોલ}^{-1}$$

દાખલો 2.5 : 300 nm તરંગલંબાઈ ધરાવતાં વીજચુંબકીય વિકિરણો સોડિયમની સપાટી પર પડે છે ત્યારે 1.68×10^5 જૂલ મોલ$^{-1}$ ગતિઊર્જા ધરાવતા ઇલેક્ટ્રૉનનું ઉત્સર્જન થાય છે. સોડિયમમાંથી ઇલેક્ટ્રૉન દૂર કરવા માટે લઘુતમ કેટલી ઊર્જાની જરૂર પડે ? ફોટો ઇલેક્ટ્રૉનને ઉત્સર્જિત થવા માટે મહત્તમ તરંગલંબાઈ કેટલી હશે ?

ઉકેલ : 300 nm તરંગલંબાઈ ધરાવતા ફોટોનની ઊર્જા E નીચે મુજબ થશે :

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.626 \times 10^{-34} Js \times 3 \times 10^8 ms^{-1}}{300 \times 10^{-9} m}$$
$$E = 6.626 \times 10^{-19} J$$

એક મોલ ફોટોનની શક્તિ $= 6.626 \times 10^{-19} J \times 6.022 \times 10^{23}$ મોલ$^{-1}$

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

હવે એક મોલ સોડિયમમાંથી ઇલેક્ટ્રૉન દૂર કરવા માટેની લઘુતમ ઊર્જા $(3.99 - 1.68) \times 10^5$J મોલ$^{-1}$

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

એક ઇલેક્ટ્રૉન દૂર કરવા માટેની લઘુતમ ઊર્જા

$$E = \frac{2.31 \times 10^5 J}{6.022 \times 10^{23}} = 3.84 \times 10^{-19} J$$

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

$$\therefore \lambda = 517 \text{ nm}$$

λનું આ મૂલ્ય દૃશ્યમાન રંગપટના લીલા રંગને સુસંગત છે.

2.8 દ બ્રોગ્લી સમીકરણ (de Broglie Equation)

1924 માં ફ્રેન્ચ ભૌતિક વૈજ્ઞાનિક દ બ્રોગ્લીએ સૂચવ્યું કે વિકિરણની માફક દ્રવ્ય પણ દ્વૈત વર્તણૂક ધરાવે છે. અર્થાત્ દ્રવ્ય અને વિકિરણ બંને કણ તેમજ તરંગની માફક વર્તે છે. તેઓ કણ તેમજ તરંગના ગુણધર્મો ધરાવે છે. આપણે જાણીએ છીએ કે, ફોટોન વેગમાન અને તરંગલંબાઈ ધરાવે છે. તેવી જ રીતે ઇલેક્ટ્રૉન પણ વેગમાન અને તરંગલંબાઈ ધરાવતું હોવું જોઈએ.

દ બ્રોગ્લીનું સમીકરણ

દ બ્રોગ્લીએ દ્રવ્યકણની તરંગલંબાઈ (λ) અને વેગમાન (p) વચ્ચેનો સંબંધ દર્શાવતું સમીકરણ નીચે પ્રમાણે આપ્યું :

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} \qquad 2.6$$

જ્યાં h = પ્લાન્કનો અચળાંક
p = વેગમાન
m = કણનું દળ
v = કણનો વેગ

દ બ્રોગ્લીનો દ્વૈતવાદનો સિદ્ધાંત અથવા દ્વૈત-વર્તણૂક :

આ સિદ્ધાંત પ્રાયોગિક રીતે પણ સાબિત થઈ શક્યો. ઇલેક્ટ્રૉન વિવર્તનની ઘટના દર્શાવે છે જે તરંગની લાક્ષણિકતા છે. ઇલેક્ટ્રૉન માઇક્રોસ્કોપની રચના, ઇલેક્ટ્રૉનના તરંગ સ્વભાવ પર આધારિત છે જ્યારે સામાન્ય (સાદા) માઇક્રોસ્કોપની રચના પ્રકાશની તરંગ પ્રકૃતિ પર આધારિત છે. ઇલેક્ટ્રૉન માઇક્રોસ્કોપની મદદથી લગભગ 15 મિલિયન ગણું આવર્ધન (magnification) દર્શાવી શકાય છે.

આ સિદ્ધાંત પ્રમાણે ગતિશીલ પ્રત્યેક પદાર્થ, તરંગ પ્રકૃતિ ધરાવે છે. સ્થૂળ પદાર્થોની તરંગલંબાઈ એટલી ઓછી હોય છે કે તેઓની તરંગ પ્રકૃતિ નોંધી શકાતી નથી. ઇલેક્ટ્રૉન તથા અન્ય અપરમાણ્વિય સૂક્ષ્મ કણો (કે જેઓના દળ ખૂબ જ અલ્પ છે)ની તરંગલંબાઈ પ્રાયોગિક રીતે નક્કી કરી શકાય છે.

દાખલો 2.6 : 0.2 kg દળ ધરાવતો દડો કે જેનો વેગ $10\ ms^{-1}$ છે. તેની તરંગલંબાઈ શોધો.

ઉકેલ : દ-બ્રોગ્લીના સમીકરણ મુજબ

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.626 \times 10^{-34} Js}{(0.2) \times (10 ms^{-1})}$$

$$\lambda = 3.313 \times 10^{-34} m = 3.313 \times 10^{-25} nm$$

દાખલો 2.7 : $10^8\ cm\ s^{-1}$ થી ગતિ કરતાં ઇલેક્ટ્રૉનની સાથે સંકળાયેલ તરંગલંબાઈ λ ગણો.

ઉકેલ : દ-બ્રોગ્લીના સમીકરણ પ્રમાણે,

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} \quad \text{હવે } h = 6.62 \times 10^{-34} Js$$

$$m = 9.1 \times 10^{-31} kg$$

$$v = 10^8 cm\ s^{-1} = 10^6 m\ s^{-1}$$

$$\therefore \lambda = \frac{6.62 \times 10^{-34} Js}{9.1 \times 10^{-31} kg.(10^6 m)}$$

$$\lambda = 7.27 \times 10^{-10} m$$

$$\lambda = 0.727\ nm$$

2.9 હાઇઝનબર્ગનો અનિશ્ચિતતાનો સિદ્ધાંત (Heisenberg's Uncertainty Principle)

દ્રવ્ય અને વિકિરણની દ્વૈત વર્તણૂકના પરિણામ સ્વરૂપે 1927માં જર્મન ભૌતિક વૈજ્ઞાનિક વર્નર હાઇઝનબર્ગે (Heisenberg) અનિશ્ચિતતાનો સિદ્ધાંત આપ્યો, જે નીચે પ્રમાણે લખી શકાય :

ગતિ કરતાં સૂક્ષ્મ કણના સ્થાન અને વેગમાન બંને એક જ સમયે અને ચોક્કસ રીતે માપી શકાય નહિ.

એટલે કે ઇલેક્ટ્રૉન માઇક્રોસ્કોપની મદદથી જ્યારે ઇલેક્ટ્રૉનનું સ્થાન ચોક્કસ રીતે માપવાનો પ્રયત્ન કરવામાં આવે ત્યારે ઇલેક્ટ્રૉન પર પડતા પ્રકાશના પુંજ (કે જે ઊર્જા ધરાવે છે અને ઇલેક્ટ્રૉન તેનું શોષણ કરે છે) ને કારણે તેનું વેગમાન બદલાય છે. અર્થાત્ વેગમાનના માપનમાં અનિશ્ચિતતા જોવા મળે છે. તેવી જ રીતે તેના વેગમાનના માપનનો ચોક્કસ પ્રયત્ન કરવામાં આવે તો સ્થાનમાં અનિશ્ચિતતા ઉદ્ભવે છે.

હાઇઝનબર્ગે, ગાણિતીય રીતે વેગમાનની અનિશ્ચિતતા (Δp) અને સ્થાનની અનિશ્ચિતતા (Δx) વચ્ચે નીચે મુજબ સંબંધ દર્શાવતું સમીકરણ આપ્યું :

$$\Delta x . \Delta p \geq \frac{h}{4\pi} \qquad 2.7$$

જ્યાં, Δx = ઇલેક્ટ્રૉનના સ્થાનમાં ઉદ્ભવતી અનિશ્ચિતતા

Δp = ઇલેક્ટ્રૉનના વેગમાનમાં ઉદ્ભવતી અનિશ્ચિતતા

હવે વેગમાન $p = m \times v$ જ્યાં m = ઇલેક્ટ્રૉનનું દળ

v = ઇલેક્ટ્રૉનનો વેગ

વેગમાનની અનિશ્ચિતતા $\Delta p = m.\Delta v$

ઉપર્યુક્ત સમીકરણ નીચે મુજબ લખી શકાય :

$$\Delta x \cdot m\Delta v \geq \frac{h}{4\pi} \qquad 2.8$$

હાઇઝનબર્ગના અનિશ્ચિતતાના સિદ્ધાંતની અગત્ય ફક્ત ગતિશીલ સૂક્ષ્મ કણો માટે છે જ્યારે સ્થૂળ અથવા ભારે પદાર્થો માટે તેની કોઈ અગત્ય રહેતી નથી. નીચેના ઉદાહરણ પરથી તેની સમજૂતી સ્પષ્ટ કરી શકાય :

ધારો કે, હાઇઝનબર્ગનો આ સિદ્ધાંત (10^{-8} કિગ્રા) દળ ધરાવતા પદાર્થ માટે લાગુ પાડતાં,

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

$$\Delta v.\Delta x = \frac{6.62 \times 10^{-34}}{4 \times 3.141 \times 10^{-8} kg}$$

$$\Delta v \cdot \Delta x = 0.53 \times 10^{-26}\ m^2 s^{-1}$$

આમ, $\Delta v \cdot \Delta x$ નું મૂલ્ય ખૂબ જ ઓછું છે અને તેથી તેની કોઈ અગત્ય નથી આથી આપણે કહી શકીએ કે જ્યારે કોઈ પણ પદાર્થ કે જેનું દળ મિલિગ્રામ જેટલું કે તેથી ઓછું કે વધારે હોય ત્યારે તેના વેગમાનની તથા સ્થાનમાં ઉદ્ભવતી અનિશ્ચિતતાનાં મૂલ્યો ભાગ્યે જ કોઈ પણ પ્રકારની અગત્ય ધરાવતા હોય છે.

હવે ઇલેક્ટ્રૉન જેવા કણો કે જેનું દળ 9.11×10^{-31} કિગ્રા છે. તેમાં $\Delta v \cdot \Delta x$ ના ગુણાકારનું મૂલ્ય વિશેષ છે તેથી આવા કણોમાં આ સિદ્ધાંતની અગત્ય જળવાય છે.

$$= \frac{6.626 \times 10^{-34} Js}{4 \times 3.141 \times 9.11 \times 10^{-31} kg}$$

$$\Delta v \cdot \Delta x = 10^{-4} m^2 s^{-1}$$

આમ, હાઇઝનબર્ગના સ્થાન અને વેગમાનના અનિશ્ચિતતાના સિદ્ધાંતનું વિધેય બદલીને સંભાવના વિધેય ગણવામાં આવે છે, કે જે પરમાણુના ક્વૉન્ટમ યાંત્રિકી નમૂનામાં જોવા મળે છે.

દાખલો 2.8 : માઇક્રોસ્કોપ વડે ઇલેક્ટ્રૉનનું સ્થાન $1\ A^0$ અંતરે નોંધવામાં આવે છે. તો ઇલેક્ટ્રૉનના વેગમાં ઉદ્ભવતી અનિશ્ચિતતાનું મૂલ્ય ગણો.

ઉકેલ : હાઇઝનબર્ગના અનિશ્ચિતતાના નિયમ પ્રમાણે,

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

અથવા $\Delta x.m\Delta v = h/4\pi$

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

$$\Delta v = \frac{6.626 \times 10^{-34} Js}{4 \times 3.14 \times 1 \times 10^{-10} m \times 9.11 \times 10^{-31} kg}$$

$$\Delta v = 5.79 \times 10^7 ms^{-1}$$

2.10 કક્ષા અને કક્ષકની સમજૂતી (Explanation of Orbit and Orbital)

પરમાણુના કેન્દ્રની આસપાસનો વર્તુળાકાર સમતલીય માર્ગ કે જેમાં ઇલેક્ટ્રૉન પરિભ્રમણ કરે છે તેને કક્ષા કહે છે. પરમાણુના કેન્દ્રની આસપાસનો અવકાશીય વિસ્તાર કે જ્યાં ઇલેક્ટ્રૉન મળી આવવાની સંભાવના વધુ હોય તેને કક્ષક કહે છે.

આમ, કક્ષક, ઇલેક્ટ્રૉન મળી આવવાની મહત્તમ સંભાવના દર્શાવે છે જ્યારે કક્ષા, ઇલેક્ટ્રૉનનું સ્થાન, તેની ઊર્જા તથા પરમાણુના કેન્દ્રથી ઇલેક્ટ્રૉન વચ્ચેનું અંતર સૂચવે છે. જુદી જુદી કક્ષાઓને મુખ્ય ક્વૉન્ટમ આંક n થી દર્શાવાય છે.

2.11 ક્વૉન્ટમ આંક (Quantum Numbers)

પરમાણુમાં રહેલા ઇલેક્ટ્રૉનનું સવિસ્તર વર્ણન કરવા માટે જુદા જુદા ક્વૉન્ટમ આંકનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે. પરમાણુમાં રહેલા ઇલેક્ટ્રૉનના ઊર્જાસ્તર દર્શાવવા માટે ધન પૂર્ણાંક સંખ્યાનો ઉપયોગ કરાય છે જેને મુખ્ય ક્વૉન્ટમ આંક n થી દર્શાવાય છે.

પરમાણુમાં ઘણીબધી કક્ષકો શક્ય હોય છે. આ કક્ષકોને તેઓનાં કદ, આકાર અને સ્થિતિસ્થાન(Orientation) પ્રમાણે અલગ વર્ગીકૃત કરી શકાય છે. દરેક કક્ષકને મુખ્ય ત્રણ ક્વૉન્ટમ આંક n, l અને m_l પરથી દર્શાવાય છે. આ ઉપરાંત, ઇલેક્ટ્રૉનની પરમાણુના કેન્દ્રની આસપાસનું કક્ષકીય પરિભ્રમણ તેમજ પોતાની અક્ષ પરના ધરા પરિભ્રમણને કારણે એક નવો ક્વૉન્ટમ આંક, s પણ દાખલ કરવામાં આવ્યો.

મુખ્ય ક્વૉન્ટમ આંક (n) (Principal Quantum Number) : મુખ્ય ક્વૉન્ટમ આંક, n, ધન પૂર્ણાંક સંખ્યા છે જેને 'n' થી દર્શાવાય છે. n નું મૂલ્ય 1,2,3 ... n હોઈ શકે. તે મુખ્યત્વે કક્ષાનું કદ તથા મહદંશે ઊર્જા નક્કી કરે છે. હાઇડ્રોજન પરમાણુ તથા તેના જેવા સ્પીસિઝ (species) માટે કક્ષાનું કદ તથા ઊર્જા ફક્ત મુખ્ય ક્વૉન્ટમ આંક 'n' પર આધારિત છે n ના મૂલ્યના વધવા સાથે માન્ય કક્ષકોની સંખ્યા વધતી જાય છે જેને n^2 થી દર્શાવાય છે. 'n' ના આપેલા મૂલ્ય માટેની પ્રત્યેક કક્ષકો, એક કોશ (shell) ની રચના કરે છે, જે નીચે પ્રમાણેના અક્ષરોથી દર્શાવી શકાય :

n	= 1	2	3	4	.....
કોશ	= K	L	M	N	....

n ના મૂલ્યના વધારા સાથે કક્ષાની શક્તિ વધે છે.

કોણીય વેગમાન ક્વૉન્ટમ આંક 'l' (Angular Momentum Quantum Number) : કોણીય વેગમાનના ક્વૉન્ટમ આંક 'l' ને એઝિમ્યુથલ (Azimuthal) ક્વૉન્ટમ આંક અથવા ગૌણ ક્વૉન્ટમ આંક પણ કહે છે. તેની મદદથી કક્ષકોના સદિશ આકારો નક્કી કરી શકાય છે. n ના આપેલા મૂલ્ય માટે, l નું મૂલ્ય 0 થી n - 1 સુધીની મર્યાદામાં હોય છે. l ના મૂલ્ય માટે, l નાં શક્ય મૂલ્યો l = 0,1,2 .... (n - 1) થાય.

દા.ત., જો n = 1 હોય તો l નું મૂલ્ય (n – 1) = 1 – 1 = 0 થાય.

n = 2 માટે l નું મૂલ્ય, 0 અને 1 થશે.

n = 3 માટે l નાં શક્ય મૂલ્યો 0, 1 અને 2 થશે.

દરેક કોશ એક અથવા વધુ પેટાકોશ અથવા પેટાસ્તરની રચના કરે છે. કોઈ પણ મુખ્ય કોશમાં રહેલા પેટાકોશના પ્રકારની સંખ્યા 'n' ના મૂલ્ય જેટલી હોય છે. દા.ત., n = 1 માટે પેટાકોશ એક જ મળે જે l = 0 છે. n = 2 માટે બે પેટાકોશ મળે જે l = 0,1 છે.

કોણીય વેગમાનને ક્વૉન્ટમ આંક, કક્ષકોના આકાર નક્કી કરે છે.

l નું મૂલ્ય	:	0	1	2	3	4	5. . . .
પેટાકોશની સંજ્ઞા	:	s	p	d	f	g	h. . . .

n અને l ના અનુરૂપ પેટાકોશ નીચેના કોષ્ટકમાં દર્શાવેલા છે :

કોષ્ટક 2.3

n	l	પેટાકોશની સંખ્યા
1	0	1s
2	0	2s
2	1	2p
3	0	3s
3	1	3p
3	2	3d
4	0	4s
4	1	4p
4	2	4d
4	3	4f

ચુંબકીય ક્વૉન્ટમ આંક m_l (Magnetic Quantum Number) : કોઈ પણ વીજભારિતકણ (ઇલેક્ટ્રૉન જેવા) જ્યારે ગતિમાં હોય છે ત્યારે ચુંબકીયક્ષેત્ર ઉત્પન્ન કરે છે, જે તેની કક્ષકીય ગતિને આભારી છે. ચુંબકીયક્ષેત્રનું મૂલ્ય, ચુંબકીય ક્વૉન્ટમ આંક (m_l) થી દર્શાવવામાં આવે છે. ચુંબકીય ક્વૉન્ટમ આંક, ચુંબકીય ક્ષેત્રની હાજરીમાં અવકાશમાં કક્ષકોનું સ્થિતિસ્થાન દર્શાવે છે. (m_l)નાં આપેલાં મૂલ્યો માટે (m_l) નાં મૂલ્યો વિશિષ્ટ કક્ષકોનો નિર્દેશ કરે છે અર્થાત્ (m_l)નાં મૂલ્યો, (l) પર આધારિત છે, જેને નીચેના સંબંધથી દર્શાવી શકાય :

(m_l = – l, 0, + l . . . (અર્થાત્ 2 l + 1)

દા.ત., l = 0 (s-કક્ષક)

l = 1 m_l = – 1, 0, + 1, (p-કક્ષક)

l = 2 m_l = – 2, – 1, 0 +1, +2 (d-કક્ષક)

l = 3 m_l = – 3, – 2, – 1, 0, +1, +2, +3 (f-કક્ષક)

સ્પિન ક્વૉન્ટમ આંક 's' (Spin Quantum Number) : ઉપર દર્શાવેલા ત્રણ ક્વૉન્ટમ આંક, n, *l* અને m_l એક કરતાં વધુ ઇલેક્ટ્રૉન ધરાવતા પરમાણુ/આયનના રેખા વર્ણપટ (line spectrum) સમજાવવા માટે પૂરતા નથી. અર્થાત્ ડબ્લેટ, ટ્રિપ્લેટ વગેરેમાં મળતી વર્ણપટની રેખાઓની સમજૂતી પ્રાપ્ત થતી નથી.

1925 માં જ્યોર્જ ઉહ્લનબેક (George Uhlenbeck) અને સેમ્યુઅલ ગોલ્ડસ્મિથે (Samuel Gouldsmith) ચોથો ક્વૉન્ટમ આંક રજૂ કર્યો, જેને ભ્રમણ અથવા સ્પિન ક્વૉન્ટમ 's' કહે છે.

ઇલેક્ટ્રૉન બે પ્રકારની ગતિ ધરાવે છે : (i) કક્ષકીય ગતિ જેમાં ઇલેક્ટ્રૉન કેન્દ્રની દૂર પોતાની કોઈ ચોક્કસ કક્ષામાં ભ્રમણ કરે છે. (ii) અક્ષીય ગતિ કે જેમાં ઇલેક્ટ્રૉન પોતાની અક્ષ અથવા ધરીની આસપાસ પરિભ્રમણ કરે છે. પરમાણુના કેન્દ્રની આસપાસના ઇલેક્ટ્રૉનની ગતિને કક્ષકીય ગતિ કહે છે. પરંતુ પોતાની ધરીની આસપાસની ગતિને અક્ષીય ગતિ કહે છે. ઇલેક્ટ્રૉન પોતાની ધરીની આસપાસ, ઘડિયાળના કાંટાની દિશામાં અથવા તેનાથી વિરુદ્ધ દિશામાં ગતિ કરે છે. આથી ભ્રમણ ક્વૉન્ટમ આંક 's' નું મૂલ્ય + 1/2 અથવા - 1/2 લેવામાં આવે છે.

દાખલો 2.9 : n = 3 મૂલ્યવાળા મુખ્ય ક્વૉન્ટમ આંક સાથે સંકળાયેલી કક્ષકોની સંખ્યા શોધો.

ઉકેલ : n = 3 ના મૂલ્ય માટે *l* નાં શક્ય મૂલ્યો 0, 1 અને 2 છે. તેથી તેમાં એક 3s કક્ષક ($n = 3, l = 0, m_l = 0$), ત્રણ 3p કક્ષકો ($n = 3, l = 1,$ અને $m_l = -1, 0, +1$) પાંચ 3d કક્ષકો ($n = 3, l = 2, m_l = -2, -1, 0, +1, +2$) છે. આમ, કુલ કક્ષકોની સંખ્યા (1 + 3 + 5 = 9) છે.

દાખલો 2.10 : s, p, d અને f કક્ષકોનો ઉપયોગ કરી નીચે આપેલા ક્વૉન્ટમ આંકનો ઉપયોગ કરી કક્ષકો તારવો :

(a)	n = 2	*l* = 1
(b)	n = 4	*l* = 3
(c)	n = 5	*l* = 0
(d)	n = 3	*l* = 2

ઉકેલ :

	n	*l*	કક્ષકો
(a)	2	1	2p
(b)	4	3	4f
(c)	5	0	5s
(d)	3	2	3d

2.12 s, p અને d કક્ષકોના આકાર (Shapes of s, p and d Orbitals)

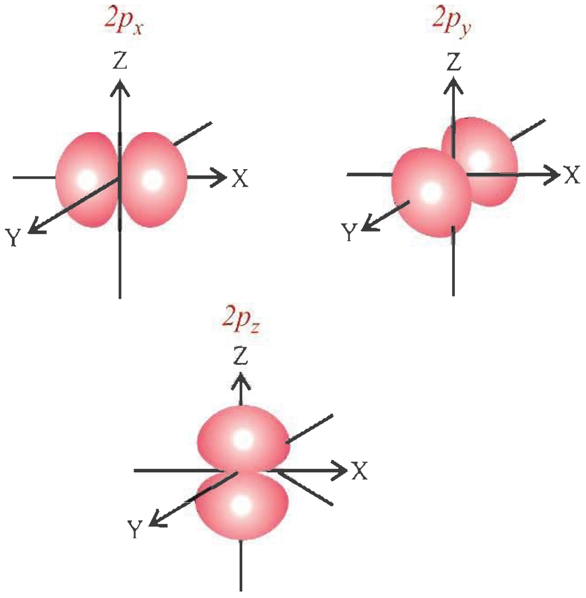
ઈ.સ.1926 માં શ્રોડિન્જરે(Schrodinerl)કેન્દ્રની આસપાસ ગતિ કરતા ઇલેક્ટ્રૉનની શક્તિ માટેનું સમીકરણ તારવ્યું, જે 'શ્રોડિન્જર તરંગ સમીકરણ' તરીકે ઓળખાય છે. આ સમીકરણ નીચે મુજબ છે :

$$\frac{d^2\psi}{dx^2}+\frac{d^2\psi}{dy^2}+\frac{d^2\psi}{dz^2}+\frac{8\pi^2 m}{h^2}(E-V)\psi=0$$

ઉપરના સમીકરણમાં x, y, z પરમાણુમાં ઇલેક્ટ્રૉનનું સ્થાન દર્શાવતા કાર્ટેઝિયન નિર્દેશાંક છે. m = ઇલેક્ટ્રૉનનું દળ, E = ઇલેક્ટ્રૉન-પ્રોટોન પ્રણાલીની કુલ ઊર્જા, V = સ્થિતિજ ઊર્જા, h = પ્લાન્ક અચળાંક, ψ = તરંગવિધેય તરીકે ઓળખાય છે. જે સામાન્ય તરંગના કંપવિસ્તાર સાથે સમાનતા ધરાવે છે. ઇલેક્ટ્રૉનના કક્ષકીય તરંગવિધેય ψ નું કોઈ ભૌતિક અર્થઘટન નથી. તે ફક્ત ઇલેક્ટ્રૉન યામ માટેનું ગાણિતિક વિધેય છે.

s-કક્ષક સંમિતીય રીતે ગોળાકાર હોવાથી, 's' કક્ષકમાં ઇલેક્ટ્રૉન શોધવાની શક્યતા પણ સંમિતીય હોય છે. *l=0* મૂલ્ય ધરાવતા બધા જ શક્તિ-સ્તરોમાં એક ગોળાકાર કક્ષક હોય છે, જેને ns સંજ્ઞાથી દર્શાવાય છે.

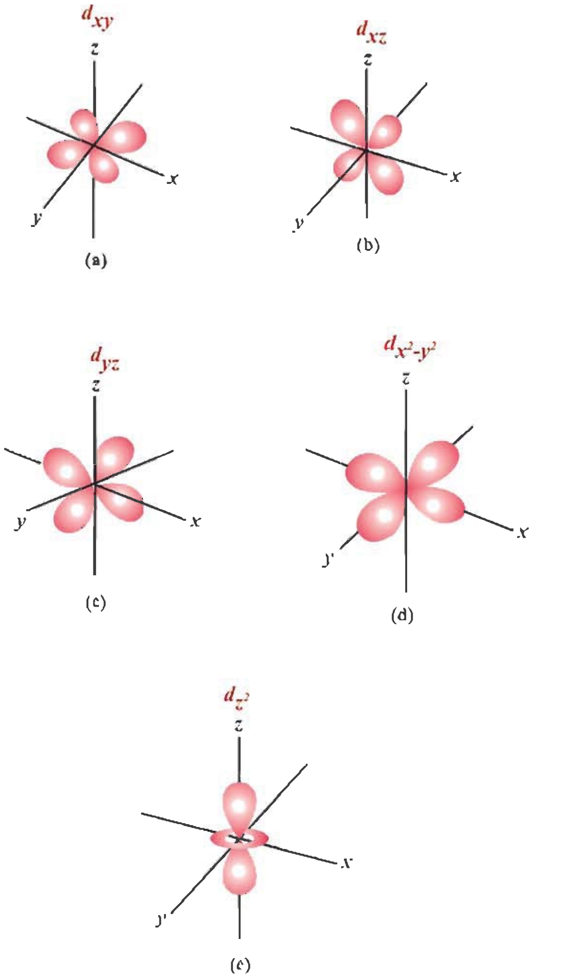
કક્ષકની એવી સપાટી કે જ્યાં સંભાવના વિધેયનું મૂલ્ય ઘટીને શૂન્ય થાય.(અર્થાત્ ઇલેક્ટ્રૉન મળવાની સંભાવના શૂન્ય થાય.) તેવી સપાટીને 'નોડલ સમતલ' અથવા 'નોડ' કહે છે. ns કક્ષકમાં (n-1) નોડની સંખ્યા દર્શાવે છે. દા.ત. 1s કક્ષકમાં નોડ 0 અને 2s કક્ષકમાં નોડ 1 જે (n-1) ના આધારે છે. p કક્ષક *l* = 1 માટે સપાટી વિસ્તાર (Boundary Surface) ગોળાકાર જોવા મળતો નથી પણ ડમ્બેલ(Dumbell) આકારમાં જોવા મળે છે. પ્રત્યેક p-કક્ષકીય બે વિભાગનો બનેલો છે. જેને (Lobe) દડા તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. જે કેન્દ્રમાંથી પસાર થતાં સમતલની કોઈ પણ બાજુએ હોય છે. જે બિંદુએ બે દડા એકબીજાને મળે ત્યાં સંભાવના વિધેય શૂન્ય હોય છે. ત્રણ કક્ષકોના કદ, આકાર અને શક્તિ સમાન હોય છે. તેઓ ફક્ત તેઓની દિશામાં જુદા પડે છે. દડા, x, y અથવા z જે યામ પર પડતા હોય તેને આધારે તેઓનાં નામ P_x, P_y અને P_z આપવામાં આવે છે. m_l કિંમતો −1, 0 અને +1 લેવાય છે.



ત્રણ 2p કક્ષકોની સપાટીની હદ માટેનો આરેખ

આકૃતિ 2.6

l = 2 માટે પ્રાપ્ત થતી કક્ષકને d કક્ષક કહે છે. જેમાં n નું લઘુતમ મૂલ્ય 3 છે. અર્થાત્ n = 3 તેમાં સમાન ઊર્જાવાળી પાંચ કક્ષકો છે જેને 'ડીજનરેટ કક્ષકો' (degenerate orbit) પણ કહે છે. તેઓનાં નામ d_{xy}, d_{yz}, d_{zx}, $d_{x^2-y^2}$ અને d_{z^2} છે. d કક્ષકો માટેની સપાટીના વિસ્તારનો આરેખ નીચે મુજબ છે :



3-d કક્ષકના પાંચ પેટાકક્ષકોની સપાટીની હદનો આરેખ

આકૃતિ 2.7

2.13 કક્ષકોમાં ઇલેક્ટ્રૉનની ગોઠવણી માટેના નિયમો (Rules for the Arrangement of Electrons in Orbitals)

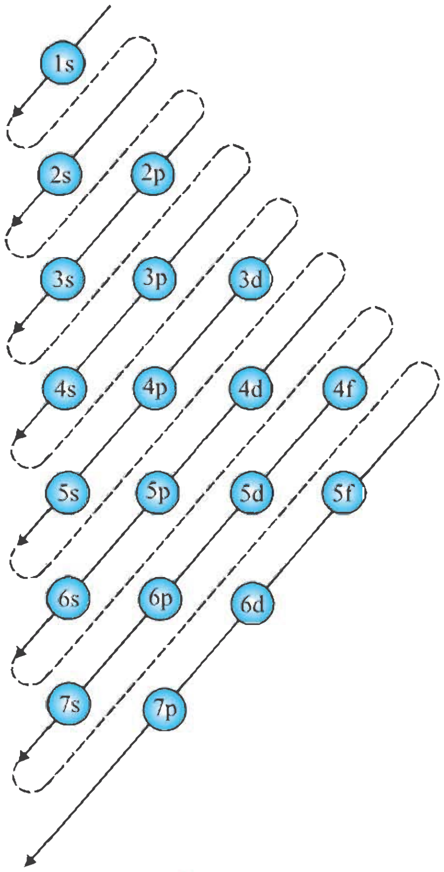
કોઈ પણ પરમાણુમાં રહેલા ઇલેક્ટ્રૉનની સંખ્યાને આધારે કોઈ ચોક્કસ પ્રકારની ઇલેક્ટ્રૉન ગોઠવણી જોવા મળે છે. પરમાણુમાં રહેલા ઇલેક્ટ્રૉનની જુદી જુદી કક્ષકોમાં કેટલાક નિયમો આધિન રહીને જે ગોઠવણી કરાય તેને ઇલેક્ટ્રૉનીય રચના કહે છે. કોઈ પણ પરમાણુની ઇલેક્ટ્રૉનીય રચના મુખ્યત્વે ત્રણ નિયમોને આધીન છે :

(i) આઉફબાઉનો સિદ્ધાંત (Aufbau's Principle)

(ii) પૌલીનો સિદ્ધાંત (Pauli's Exclusion Principle)

(iii) હૂંડનો મહત્તમ ભ્રમણનો નિયમ (Hund's Rule of Maximum Multiplicity)

(i) આઉફબાઉનો નિયમ : જર્મન ભાષામાં આઉફબાઉ શબ્દનો અર્થ ગોઠવણી અથવા રચના તેવો થાય છે. આપણે, આઉફબાઉના શબ્દનો અર્થ પરમાણુમાં રહેલા ઇલેક્ટ્રૉનની ઊર્જાના આધારે, જુદી જુદી કક્ષકોમાંની ગોઠવણી તેવો કરીશું. આ નિયમ પ્રમાણે પરમાણુના ઇલેક્ટ્રૉન સૌપ્રથમ ન્યૂનતમ ઊર્જાવાળી કક્ષકમાં દાખલ થાય છે. આ સૌથી ઓછી ઊર્જાવાળી કક્ષક જ્યારે પૂર્ણ ભરાઈ જાય ત્યાર બાદ જે ઇલેક્ટ્રૉન તેનાથી વધુ ઊર્જાવાળી કક્ષકમાં દાખલ થાય છે અને તે જ રીતે અન્ય કક્ષકોમાં ઊર્જાના આધારે ઇલેક્ટ્રૉન ગોઠવાય છે. આથી, જુદી જુદી કક્ષકોના ઊર્જાનો ક્રમ જાણવો જરૂરી છે, જે નીચેની આકૃતિમાં દર્શાવેલ છે :



કક્ષકોમાં ઇલેક્ટ્રૉનની ગોઠવણીનો ક્રમ

આકૃતિ 2.8

હાઇડ્રોજન પરમાણુ માટેના કક્ષકોની ઊર્જાનો ક્રમ નીચે પ્રમાણે છે :

(1s < 2s = 2p < 3s = 3p = 3d < 4s = 4p = 4d = 4f .....

પરંતુ હાઇડ્રોજન પરમાણુ સિવાયના (એક કરતાં વધુ ઇલેક્ટ્રૉન ધરાવતા) પરમાણુ માટે, કક્ષકોની ઊર્જાનો ક્રમ નીચે પ્રમાણે છે :

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

પરમાણુમાં ઇલેક્ટ્રૉનની કક્ષકોમાં ગોઠવણી (n+l) નિયમના આધારે થાય છે, જ્યારે જુદીજુદી કક્ષકોના (n+l) નું મૂલ્ય સરખું હોય ત્યારે જે કક્ષકમાં n નું મૂલ્ય વધારે હોય તેની ઊર્જા વધારે હોય છે. જે નીચેના કોષ્ટક 2.4માં દર્શાવેલ છે :

કોષ્ટક 2.4 : (n + l) ના નિયમ મુજબ, કક્ષકોની વધતી ઊર્જાના ક્રમમાં ઇલેક્ટ્રૉનની ગોઠવણી

કક્ષક	nનું મૂલ્ય	lનું મૂલ્ય	(n+l)નું મૂલ્ય	
1s	1	0	1+0=1	
2s	2	0	2+0=2	
2p	2	1	2+1=3	2p (n=2) ની 3s કરતાં ઓછી ઊર્જા
3s	3	0	3+0=3	3s(n=3)
3p	3	1	3+1=4	3p (n=3) ની 4s કરતાં ઓછી ઊર્જા
4s	4	0	4+0=4	4s (n=4)
3d	3	2	3+2=5	3d (n=3)ની 4p કરતાં ઓછી ઊર્જા
4p	4	1	4+1=5	4p (n=4)

(ii) પૌલીનો નિષેધનો નિયમ (Pauli's Exclusion Principle) : જુદી જુદી પરમાણ્વિય કક્ષકોમાં કેટલી સંખ્યામાં ઇલેક્ટ્રૉનની ગોઠવણી કરવી તે પૌલીના નિષેધના નિયમ પરથી નક્કી કરી શકાય છે. આ નિયમ મુજબ એક જ પરમાણ્વિય કક્ષકમાં રહેલા બે ઇલેક્ટ્રૉનના ચારેય ક્વૉન્ટમ આંક સરખા હોઈ શકે નહિ. આ નિયમને બીજી રીતે પણ રજૂ કરી શકાય.

કોઈ પણ કક્ષકમાં વધુમાં વધુ બે ઇલેક્ટ્રૉન તેઓના ભ્રમણની દિશા એકબીજાથી વિરુદ્ધ રાખીને ગોઠવી શકાય. આ નિયમની મદદથી કોઈ પણ પેટાકક્ષકમાં મહત્તમ કેટલા ઇલેક્ટ્રૉન સમાવવાની ક્ષમતા છે તે જાણી શકાય છે. દા.ત, s-કક્ષકમાં ફક્ત એક જ પેટાકક્ષક હોવાથી તેમાં વધુમાં વધુ બે જ ઇલેક્ટ્રૉન ગોઠવી શકાય. p-કક્ષકમાં ત્રણ પેટાકક્ષકો હોવાથી મહત્તમ છ ઇલેક્ટ્રૉન ગોઠવી શકાય. તેવી જ રીતે d-કક્ષકોમાં પાંચ પેટાકક્ષક હોવાથી કુલ દસ ઇલેક્ટ્રૉન ગોઠવી શકાય અને f -કક્ષકમાં સાત પેટાકક્ષક હોવાથી કુલ ચૌદ ઇલેક્ટ્રૉન ગોઠવી શકાય.

નીચેના કોષ્ટકમાંથી ઇલેક્ટ્રૉનની ગોઠવણી જાણી શકાય.

મુખ્ય ક્વૉન્ટમ આંક(n)	કક્ષાની સંજ્ઞા	કક્ષામાં રહેલી કક્ષકો				કક્ષકોની સંખ્યા(n^2)	કુલ ઇલેક્ટ્રૉનની સંખ્યા($2n^2$)
		s	p	d	f		
1	K	1		-	-	1	2
2	L	1	3	-	-	4	8
3	M	1	3	5	-	9	18
4	N	1	3	5	7	16	32

(iii) હૂંડનો મહત્તમ ભ્રમણનો (ગુણકતા) નિયમ (Hund's Rule of Maximum Spin Mulitiplicity): આ નિયમ કોઈ પણ કક્ષકની સમાન ઊર્જાવાળી પેટાકક્ષકમાં ઇલેક્ટ્રૉનની ગોઠવણી સૂચવે છે. એક કક્ષકના સમાન ઊર્જાવાળી પેટાકક્ષકોને 'ડીજનરેટ' (degenrate) કક્ષક કહે છે. દા.ત., p-કક્ષકમાં સમાન ઊર્જાવાળી ત્રણ પેટાકોશ છે. p_x, p_y અને p_z. આ નિયમ પ્રમાણે ઇલેક્ટ્રૉન જ્યારે સમાન ઊર્જાવાળી પેટાકક્ષકોમાં દાખલ થાય છે. ત્યારે એવી રીતે ગોઠવાય છે કે તેઓના સ્પિનની દિશા એકબીજાને સમાંતર રહે અથવા સ્પિન ક્વૉન્ટમ આંકનું મૂલ્ય મહત્તમ રહે. હવે જ્યારે બધી જ પેટાકક્ષકોમાં એક-એક ઇલેક્ટ્રૉન સમાંતર સ્પિનથી ગોઠવાઈ જાય અને અર્ધપૂર્ણ પેટાકોશની રચના પ્રાપ્ત થાય ત્યાર બાદ ઇલેક્ટ્રૉનનું યુગ્મીકરણ શરૂ થાય છે. કોષ્ટક 2.5 ઉપરથી હૂંડના મહત્તમ ભ્રમણના નિયમને સારી રીતે સમજી શકાય.

કોષ્ટક 2.5

પરમાણ્વીય ક્રમાંક	તત્ત્વ	ઇલેક્ટ્રૉનીય રચના				
		1s	2s	$2p_x$	$2p_y$	$2p_z$
5	બોરોન	↑↓	↑↓	↓		
6	કાર્બન	↑↓	↑↓	↑	↑	
7	નાઇટ્રોજન	↑↓	↑↓	↑	↑	↑
8	ઑક્સિજન	↑↓	↑↓	↑↓	↑	↑
9	ફ્લોરિન	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑
10	નિયોન	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓

2.14 અર્ધપૂર્ણ ભરાયેલી અને પૂર્ણ ભરાયેલી કક્ષકની સ્થાયીતા (Stability of Half Filled and Complelty Filled Orbitals)

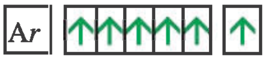
કોઈ પણ તત્ત્વની ધરા સ્થિતિમાં દર્શાવેલ ઇલેક્ટ્રૉન રચના હંમેશાં તેની ન્યૂનતમ ઊર્જાને અનુરૂપ હોય છે. તત્ત્વના પરમાણુઓમાં ઇલેક્ટ્રૉનની ગોઠવણી, આગળ અભ્યાસ કર્યા મુજબના ત્રણ નિયમોનું ચુસ્તપણે પાલન કરે છે. આમ છતાં પણ

કેટલાક કિસ્સાઓ જેવા કે ક્રોમિયમ અને કૉપર કે જ્યાં બે કક્ષકો 3d અને 4s વચ્ચેનો ઊર્જાનો તફાવત ઓછો હોય તેમાં ઇલેક્ટ્રૉન ઓછી ઊર્જાવાળી 4s કક્ષકમાંથી ઊંચી ઊર્જાવાળી 3d કક્ષકમાં જાય છે. જેને પરિણામે ઊંચી ઊર્જાવાળી બધી જ પેટાકક્ષકો અર્ધપૂર્ણ અથવા પૂર્ણ પેટા કક્ષકોની રચના પ્રાપ્ત કરે છે અને મહત્તમ સ્થાયીતા ધારણ કરે છે. આ જ કારણસર ક્રોમિયમનું ઇલેક્ટ્રૉન બંધારણ (Ar) $3d^4 4s^2$ બદલે (Ar) $3d^5 4s^1$ થાય છે અને કૉપરનું બંધારણ (Ar) $3d^9 4s^2$ ને બદલે (Ar)$3d^{10} 4s^1$ થાય છે. આવાં બંધારણ પ્રાપ્ત કરવાથી તેમાં વધારાની સ્થાયીતા ઉમેરાય છે.

$_{24}Cr$= (Ar) $3d^4$ $4s^2$

(સામાન્ય ઇલેક્ટ્રૉન રચના)

$_{24}Cr$ = (Ar) $3d^5$ $4s^1$

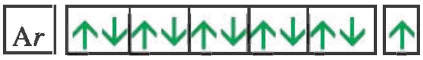

અર્ધપૂર્ણ પેટાકોશની રચનાને કારણે પ્રાપ્તથતી વધારે સ્થાયી રચના.

તેવી જ રીતે, કૉપરની વધારે સ્થાયી રચના નીચે મુજબ છે :

$_{29}Cu$= (Ar) $3d^9$ $4s^2$

સામાન્ય ઇલેક્ટ્રૉન રચના

$_{29}Cu$ = (Ar) $3d^{10}$ $4s^1$


પૂર્ણ પેટાકોશની રચનાને કારણે પ્રાપ્ત થતી વધુ સ્થાયી રચના. આ પ્રકારની વિસંગતતાનો આગળ ઉપર અભ્યાસ કરીશું.

સારાંશ

પરમાણુઓ તત્ત્વના બંધારણીય ઘટક એકમો છે. તેઓ તત્ત્વના રાસાયણિક પ્રક્રિયામાં ભાગ લેતા સૌથી નાના ઘટકો છે. 1808માં ડાલ્ટને પરમાણુ અવિભાજ્ય છે, તેવો વાદ રજૂ કર્યો ત્યાર બાદ પરમાણુનું વિભાજન પ્રોટોન, ન્યુટ્રૉન અને ઇલેક્ટ્રૉન જેવા ત્રણ મૂળભૂત કણોમાં થઈ શકે છે તેમ શોધાયું.

1898માં થોમસને પરમાણ્વિય નમૂનો રજૂ કર્યો. તેઓના મત મુજબ પરમાણુનો ધનવીજભાર (પ્રોટોન) અને ઋણવીજભાર પરમાણુની સપાટી ઉપર એક સમાન રીતે વહેંચાયેલા હોય છે. સમસ્થાનિકો, સમભારિકો વગેરેનો ખ્યાલ આપવામાં આવ્યો. પરંતુ ત્યાર બાદ, રુથરફોર્ડના α – કણ પ્રકીર્ણનના પ્રયોગથી સાબિત થયું કે પરમાણુ ધનવીજભારિત સૂક્ષ્મ કેન્દ્ર ધરાવે છે. અર્થાત્ પરમાણુના કેન્દ્રમાં ધનવીજભારિત પ્રોટોન રહેલા છે. જ્યારે ઋણવીજભારિત ઇલેક્ટ્રૉન પરમાણુના કેન્દ્રની આસપાસ ગોઠવાયેલા છે.

પરંતુ થોમસન નમૂનાની મર્યાદાઓ, રુથરફોર્ડના α – કણ પ્રકીર્ણનના પ્રયોગથી છતી થઇ અને તેથી થોમસનનો પરમાણુ નમૂનો પડતો મૂકવામાં આવ્યો. રુથરફોર્ડનો નમૂનો કંઈક અંશે સ્વીકાર્ય બન્યો પરંતુ પ્રકાશના વિકિરણની કેટલીક પ્રાયોગિક ઘટનાઓ સમજાવવા માટે, વૈજ્ઞાનિક બોહ્‌રે આધુનિક પરમાણુનો નમૂનો આપ્યો. તેના મત મુજબ પરમાણુનું સમગ્ર દળ તેના કેન્દ્રમાં છે. અર્થાત્ પ્રોટોન અને ન્યુટ્રૉન પરમાણુના કેન્દ્રમાં છે જ્યારે નહિવત્ દળ ધરાવતા ઇલેક્ટ્રૉન પરમાણુના કેન્દ્રની આસપાસ કોઈ ચોક્કસ માર્ગ (કક્ષા)માં વર્તુળાકાર ગતિ કરતાં હોય છે. બોહ્‌રના મત મુજબ જ્યાં સુધી ઇલેક્ટ્રૉન કોઈ એક ચોક્કસ કક્ષામાં હોય ત્યાં સુધી ઊર્જા અચળ રહે છે. આવી સ્થિતિઓને સ્થાયી અવસ્થા કહે છે.

ઇલેક્ટ્રૉન એક સ્થાયી અવસ્થામાંથી અન્ય સ્થાયી અથવા સ્થિર અવસ્થામાં જાય તો શક્તિનું શોષણ અથવા ઉત્સર્જન કરીને જઈ શકે છે. પરિણામે વર્ણપટ પ્રાપ્ત થાય છે. હાઇડ્રોજન વર્ણપટમાં અલગ અલગ રેખાઓની પ્રાપ્તિ થાય છે.

બોહ્‌રના પરમાણુ નમૂનાની પણ કેટલીક ખામીઓ હતી. ત્યાર બાદ, પરમાણુમાં ઇલેક્ટ્રૉનની ગોઠવણી-ઇલેક્ટ્રૉનીય રચના માટેના નિયમો આપવામાં આવ્યા જેને આધારે પરમાણુના કક્ષકોની શક્તિ, આકાર, કક્ષકના પેટાકોશમાં (પેટાકક્ષક) તથા ઇલેક્ટ્રૉનના પોતાની અથવા આસપાસ ભ્રમણ કરતાં ઇલેક્ટ્રૉનની સ્થિતિ દર્શાવવામાં આવી.

આમ, સમગ્ર રીતે પરમાણુના મૂળભૂત ઘટકોની શોધ. પરમાણુના નમૂનાના અલગ અલગ સિદ્ધાંતો તથા તેની ખામીઓ, તેમાં સુધારાવધારા કરી, પરમાણુનું અંતિમ મૉડેલ આપવામાં આવ્યું. કક્ષા અને કક્ષકોની સમજૂતી તથા પરમાણુ કક્ષકોમાં ઇલેક્ટ્રૉનની ગોઠવણીનો અભ્યાસ કરવામાં આવ્યો.

ઇલેક્ટ્રૉનનું સ્થાન અને વેગમાન એકસાથે અને ચોકસાઈપૂર્વક માપી શકાય નહીં. હાઇઝનબર્ગે અનિશ્ચિતતાનો સિદ્ધાંત અને દ્‌ બ્રોગ્લીએ કણતરંગનો દ્વૈતવાદ સિદ્ધાંત આપ્યો, પણ આ પહેલા ક્વૉન્ટમ્ યાંત્રિકોએ ક્વૉન્ટીકૃત ઊર્જા વિષેનો ખ્યાલ તથા ચાર ક્વૉન્ટમઆંક અને n, l, m અને s પણ દર્શાવ્યા. તેમાંના દરેકને પોતાની અગત્ય છે અને તેના દ્વારા કક્ષકોમાં ઇલેક્ટ્રૉનની ગોઠવણીની સમજ આપી છે. ત્રણ નિયમો : આઉફબાઉનો સિધ્ધાંત, પૌલીનો નિષેધ સિધ્ધાંત અને હુંડનો મહત્તમ ગુણકતાનો નિયમ, તત્ત્વના ઇલેક્ટ્રૉનની ગોઠવણી (સંરચના) લખવામાં મદદરૂપ થયા. હુંડના નિયમથી અર્ધભરાયેલ પેટા કોષો અને પૂર્ણ ભરાયેલ પેટાકોષોની સ્થાયીતા પણ સમજાવી શકાય.

સ્વાધ્યાય

1. આપેલ બહુવિકલ્પમાંથી યોગ્ય વિકલ્પ પસંદ કરો :

(1) A^+ આયનમાં 11 પ્રોટોન છે તેમાં ઇલેક્ટ્રૉનની સંખ્યા
(A) 11 (B) 12
(C) 10 (D) 9

(2) Na^+ આયનનું સાચું ઇલેક્ટ્રૉન બંધારણ કયું છે ?
(A) [Ne] (B) [Ne] $3s^1$
(C) [Ne] $1s^2 2s^2 2p^5$ (D) [Ar]

(3) ઇલેક્ટ્રૉન મળવાની શક્યતા ક્યાં શૂન્ય હોય છે ?
(A) નોડ (B) કેન્દ્રની નજીક
(C) કક્ષા (D) ઍન્ટિનોડ

(4) પરમાણુના કેન્દ્રમાં ધનવીજભાર છે તે નીચેના પૈકી શેનાથી નક્કી થયું ?
(A) થોમસનનો પરમાણ્વિય નમૂનો (B) બોહ્રનો પરમાણ્વિય નમૂનો
(C) દ બ્રોગ્લીનો સિદ્ધાંત (D) $\alpha-$ કણ પ્રકીર્ણનનો પ્રયોગ

(5) નીચેના પૈકી ક્રોમિયમ તત્ત્વનું સ્વીકાર્ય ઇલેક્ટ્રૉન બંધારણ કયું છે ?
(A) $[Ar]3d^5 4s^1$ (B) $[Ar]4d^2 4p^4$
(C) $[Ar]3d^4 4s^2$ (D) $[Ar]4s^1 4p^5$

(6) નીચેના પૈકી પરમાણુ કક્ષકોની શક્તિ-સપાટીનો સાચો ક્રમ કયો છે ?
(A) $1s < 2s < 2p < 3s < 3p$ (B) $1s < 2p < 3s < 3p < 2s$
(C) $3p < 3s < 2p < 2s < 4s$ (D) $1s < 2p < 3s < 2p < 3p$

(7) દ-બ્રોગ્લી સિદ્ધાંત મુજબ, ગતિશીલ કણના વેગમાન અને તેની તરંગલંબાઈ વચ્ચે નીચેના પૈકી કયો સંબંધ છે ?
(A) વ્યસ્ત પ્રમાણ (B) વર્ગમૂળના પ્રમાણમાં
(C) સમપ્રમાણ (D) કોઈ સંબંધ નથી.

(8) નીચેના પૈકી કયું સૂત્ર એક આઇન્સ્ટાઇન માટે સાચું છે ?
(A) $\frac{Nc}{\lambda}$ (B) $\frac{hc}{\lambda}$
(C) $\frac{Nhc}{\lambda}$ (D) $\frac{Nh}{\lambda c}$

(9) નીચેનામાંથી કઈ જોડ સાચી છે ?
(a) આઉફબાઉ સિદ્ધાંત (1) mvr
(b) કોણીય વેગમાન (2) કક્ષકમાં ઇલેક્ટ્રૉનની દિશા
(c) હૂંડનો નિયમ (3) કક્ષકોની શક્તિનો ક્રમ
(A) b → 1 (B) a → 1 (C) c → 1 (D) b → 3

(10) નીચેના પૈકી કયું ઇલેક્ટ્રૉનીય બંધારણ શક્ય નથી ?
(A) $2p^6$ (B) $3s^1$
(C) $2p^5$ (D) $3f^{12}$

(11) પરમાણ્વિય દળ, નીચેના પૈકી કયા સમીકરણથી જાણી શકાય છે ?
(A) Z + n (B) $n + e^-$
(C) $Z + e^-$ (D) Z + N

(12) 3s કક્ષકમાં 'નોડ'ની સંખ્યા કેટલી ?
(A) 3 (B) 2
(C) 1 (D) શૂન્ય

(13) નાઇટ્રોજન તત્ત્વના પરમાણુની સ્પિનગુણકનું મૂલ્ય કેટલું હશે ?
(A) 4 (B) 3
(C) 2 (D) 1.5

(14) n = 4 મૂલ્ય માટે કેટલા પેટાકોશ સંકળાયેલ છે ?

(A) 16 (B) 15

(C) 8 (D) 18

(15) ફૉસ્ફરસના ઇલેક્ટ્રૉન બંધારણમાં નીચેના પૈકી કેટલા અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રૉન રહેલા હશે ?

(A) 5 (B) 3

(C) 2 (D) એક

2. નીચેના પ્રશ્નોના ટૂંકમાં ઉત્તર લખો :

(1) કક્ષા અને કક્ષકનો તફાવત સમજાવો.
(2) દ બ્રોગ્લીના નિયમનું વિધાન જણાવો.
(3) α – કણ પ્રકીર્ણનના પ્રયોગ પરથી પ્રાપ્ત થતું અનુમાન વર્ણવો.
(4) બોહ્રના પરમાણ્વિય નમૂનાની ખામીઓ જણાવો.
(5) પરમાણ્વિય કક્ષકોની ઊર્જા-સપાટીનો ક્રમ દર્શાવો.
(6) ક્રોમિયમ અને કૉપરની ઇલેક્ટ્રૉન રચનામાં ઉદ્ભવતી અનિયમિતતાઓ દર્શાવો.
(7) ક્વૉન્ટમ આંકની અગત્ય સમજાવો.
(8) p અને d કક્ષકોના આકાર દર્શાવો.
(9) નોડલ સપાટી કોને કહે છે ?
(10) પરમાણુની ધરાસ્થિતિ અને ઉત્તેજિત અવસ્થા સમજાવો.

3. નીચેના પ્રશ્નોના ઉત્તર લખો :

(1) શોષણ અને ઉત્સર્જન વર્ણપટ સમજાવો.
(2) હાઇડ્રોજન પરમાણ્વિય વર્ણપટમાં ઉદ્ભવતી વર્ણપટની રેખાઓ દર્શાવો.
(3) ફોટોન એટલે શું ? ફોટોનની શક્તિ માટેનું સમીકરણ દર્શાવો.
(4) ચુંબકીય ક્વૉન્ટમ આંકની સમજૂતી આપો.
(5) આઉફબાઉના નિયમની સમજૂતી આપો.
(6) p અને d - કક્ષકોના આકાર દોરી તેના કોણીય વેગમાન ક્વૉન્ટમ આંક l નાં મૂલ્યો લખો.
(7) સ્પિન ક્વૉન્ટમ આંક શા માટે દાખલ કરવામાં આવ્યો ?
(8) હાઇઝનબર્ગનો અનિશ્ચિતતાનો સિદ્ધાંત સમજાવો.
(9) થોમસનના પરમાણુ નમૂનાનો ટૂંકમાં અહેવાલ આપો.
(10) પ્રોટોન, ઇલેક્ટ્રૉન અને ન્યુટ્રૉનનું પરમાણ્વિય રચનામાં સ્થાન દર્શાવો.

4. નીચેના પ્રશ્નોના વિગતવાર ઉત્તર લખો :

(1) યોગ્ય ઉદાહરણ સાથે પૌલીનો નિષેધનો નિયમ સમજાવો.
(2) હાઇડ્રોજન વર્ણપટની ટૂંકમાં સમજ આપો.
(3) નીચેનાં ઘટકોમાં પ્રોટોન, ઇલેક્ટ્રૉન અને ન્યુટ્રૉનની સંખ્યા ગણો :

$${}^{32}_{16}S^{2-} \; ; \; {}^{23}_{11}Na^{+}$$

(4) સમસ્થાનિકો, સમભારિકો અને આઇસોટોનની સમજૂતી આપો.
(5) પીળા રંગના વિકિરણ કે જેની તરંગલંબાઈ 5800 Å છે તેની તરંગ-આવૃત્તિ શોધો.
(6) 3.6 Å તરંગલંબાઈ ધરાવતા ફોટોનનું દળ શોધો.
(7) n = 3 ક્વૉન્ટમ-આંક સાથે સંકળાયેલી કુલ કક્ષકો કઈ કઈ છે અને તેમાં કુલ કેટલા ઇલેક્ટ્રૉન સમાવી શકાય ?
(8) અર્ધપૂર્ણ અને પૂર્ણ પેટાકક્ષકોની સ્થાયીતા યોગ્ય ઉદાહરણ સહિત સમજાવો.
(9) વિકિરણની આવૃત્તિ માટેનું રિટ્ઝનું સમીકરણ લખી તેમાં ભાગ લેતા દરેક પદની સમજૂતી આપો.
(10) $2.05 \times 10^{-7} ms^{-1}$ સાથે ગતિ ધરાવતા ઇલેક્ટ્રૉનની તરંગલંબાઈ શોધો.