

## ایٹم کی ساخت (Structure of Atom)

مختلف عناصر کے ایٹموں کے بہت زیادہ متنوع کیمیائی طرز عمل کی اصل وجہ ان کی اندرونی ساخت میں پایا جانے والا فرق ہے۔

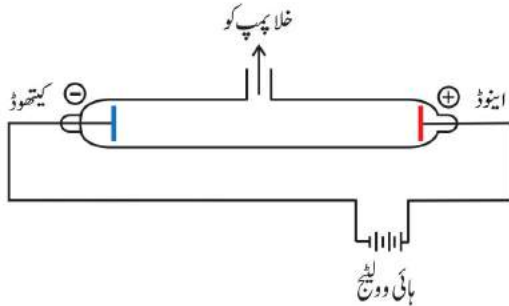
قدیم ہندوستانی اور یونانی فلسفیوں (400 ق۔م) کے زمانے سے ہی ایٹم کی موجودگی تجویز کی جاتی رہی ہے۔ ان فلسفیوں کا خیال تھا کہ ایٹم مادے کے بنیادی بلڈنگ بلاک ہیں۔ ان کے مطابق، مادے کی مسلسل تقسیم کے نتیجے میں ہمیں بالآخر ایٹم حاصل ہوں گے، جو مزید قابل تقسیم نہیں ہوں گے۔ لفظ ایٹم یونانی لفظ اے۔ٹومیو (a-tomio) سے اخذ کیا گیا ہے، جس کے معنی ہیں ناقابل تراش (un-cuttable) یا ناقابل تقسیم (un-devisible)۔ یہ قدیم تصورات صرف خیالات پر مبنی تھے اور ان کو پرکھنے کا کوئی تجرباتی طریقہ نہیں تھا۔ بہت لمبے عرصے تک یہ تصورات خوابیدہ رہے اور انیسویں صدی میں سائنس دانوں نے انہیں دوبارہ متحرک کیا۔

مضبوط سائنسی بنیادوں پر، ایٹمی نظریہ، سب سے پہلے 1808 میں، ایک برطانوی اسکول کے استاد، جان ڈالٹن نے پیش کیا۔ ان کے نظریہ جو کہ ڈالٹن کا ایٹمی نظریہ کہلاتا ہے، کے مطابق ایٹم کو مادے کا حتمی ذرہ مانا جاتا ہے۔ (اکائی 1)

اس اکائی میں ہم ان تجرباتی مشاہدات سے شروعات کریں گے جو سائنس دانوں نے انیسویں صدی کے اواخر اور بیسویں صدی کے اوائل میں کیے تھے۔ ان تجربات سے یہ ثابت ہو گیا کہ ایٹم کو ذیلی ایٹمی ذرات (Sub Atomic Particles) یعنی کہ الیکٹران، پروٹان، اور نیوٹران، میں مزید تقسیم کیا جاسکتا ہے۔ یہ تصور ڈالٹن کے نظریہ سے بالکل مختلف ہے۔ اس وقت سائنس دانوں کے سامنے اہم مسائل تھے:

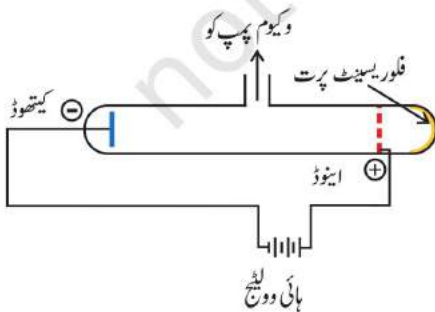
### مقاصد

- اس سبق کو پڑھنے کے بعد آپ اس لائق ہو جائیں گے کہ:
- الیکٹران، پروٹان اور نیوٹران کی دریافت اور ان کی خصوصیات کے بارے میں جان سکیں۔
- تھامسن، رذرفورڈ اور بوہر کے ایٹمی ماڈلوں کو بیان کر سکیں۔
- ایٹم کے کوٹم میکینکس ماڈل کے اہم نکات سمجھ سکیں۔
- برق مقناطیسی اشعاع اور پلانک کے کوٹم نظریہ کی طبع کو سمجھ سکیں۔
- ضیا برقی اثر کی وضاحت کر سکیں اور ایٹمی اسپیکٹرا کے نکات بیان کر سکیں۔
- ڈی۔ براگلی رشتہ اور ہائزبرگ عدم یقینی اصول بیان کر سکیں۔
- کوٹم نمبر کی شکل میں ایٹمی ارتعاش کی تعریف کر سکیں۔
- اوف باؤ اصول، پالی کا اصول استثنیٰ اور از حد تضاعف کا ہند کا قاعدہ بتا سکیں۔
- ایٹموں کا الیکٹرانی تشکل لکھ سکیں۔



شکل 2.1(a) ایک کیتھوڈ رے ڈسچارج ٹیوب

1850 وں صدی کی پانچویں دہائی کے وسط میں کئی سائنسدانوں، خاص طور پر فیراڈے، نے جزوی طور پر وکیوم شدہ ٹیوب میں جو کہ کیتھوڈ رے ڈسچارج ٹیوب (Cathode Ray Discharge Tubes) کہلاتی ہیں، برقی ڈسچارج کا مطالعہ کرنا شروع کیا۔ ایسی ایک ٹیوب شکل 2.1 میں دکھائی گئی ہے۔ ایک کیتھوڈ رے ٹیوب کا بیج کی بنی ہوتی ہے، جس میں دودھات کے پتلے ٹکڑے سیل کیے ہوئے رکھے ہوتے ہیں، جو کہ الیکٹروڈ (Electrodes) کہلاتے ہیں۔ گیسوں میں برقی ڈسچارج کا مشاہدہ صرف بہت کم دباؤ اور بہت زیادہ وولٹیج (Voltage) پر ہی کیا جاسکتا ہے۔ مختلف گیسوں کے دباؤ کو خلا کاری (Evacuation) کے ذریعے مرتب کیا جاسکتا ہے۔ جب الیکٹروڈ (Electrodes) پر ضرورت کے مطابق بہت زیادہ وولٹیج لگایا جاتا ہے تو ذرات کی لہر میں سے کرنٹ بہنے لگتا ہے، جو کہ ٹیوب میں کیتھوڈ (Cathode) سے اینوڈ (Anode) کی طرف حرکت کرتے ہیں۔ انہیں کیتھوڈ شعاعیں (Cathode Rays) یا کیتھوڈ شعاع ذرات (Cathode Ray Particles) کا نام دیا گیا۔ کیتھوڈ سے اینوڈ کی سمت میں برقی رو کے



شکل 2.1(b) سوراخ دار اینوڈ والی کیتھوڈ رے ڈسچارج ٹیوب

- ذیلی ایٹمی ذرات کی دریافت کے بعد ایٹم کے استحکام (stability) کا احاطہ کرنا۔
- طبیعی اور کیمیائی، دونوں قسم کی خاصیتوں کی شکل میں ایک عنصر کے طرز عمل کا دوسرے عنصر کے طرز عمل سے مقابلہ کرنا۔
- مختلف ایٹموں کے اتحاد سے مختلف قسم کے سالمات کی تشکیل کی وضاحت کرنا اور
- ایٹموں کے ذریعے خارج یا جذب کیے جانے والے مقناطیسی اشعاع کے مبدا (Origin) اور خصوصیات کی طبع کو سمجھنا۔

## 2.1 ذیلی ایٹمی ذرات (Sub-Atomic Particles)

ڈالٹن کا ایٹمی نظریہ، (Dalton's Atomic Theory) کمیت کی بقا کے قانون، مستقل تناسب کے قانون اور صنفی تناسب کے قانون کی بہ خوبی وضاحت کرنے میں کامیاب رہا۔ لیکن یہ نظریہ کئی تجربات کے نتائج کی وضاحت نہیں کر سکا۔ مثال کے طور پر، یہ معلوم تھا کہ کاہنج اور آہنوس جیسی اشیاء کو جب سلک یا فر سے رگڑا جاتا ہے تو بجلی پیدا ہوتی ہے۔ بیسویں صدی میں ذیلی ایٹمی ذرات کی بہت سی مختلف قسموں کی دریافت ہوئی لیکن اس حصہ میں ہم صرف دو ذرات، الیکٹران اور پروٹان، کی بات کریں گے۔

### 2.1.1 الیکٹران کی دریافت (Discovery of Electron)

1830 میں مائیکل فیراڈے نے تجربہ کر کے دکھایا کہ جب ایک الیکٹرولائیٹ (Electrolyte) کے محلول سے برقی رو گزاری جاتی ہے تو الیکٹروڈ پر کیمیائی تعامل ہوتا ہے جس کے نتیجے میں مادہ خارج ہوتا ہے اور الیکٹروڈ پر جمع (Deposit) ہو جاتا ہے انہوں نے کچھ قوانین بھی ضابطہ کی شکل میں پیش کیے، جن کا مطالعہ آپ جماعت XII میں کریں گے۔ ان نتائج نے برق کی ذراتی فطرت (Particulate Nature) تجویز کی۔ ایٹم کی ساخت کے بارے میں کچھ بصیرت ان تجزیوں سے حاصل ہوئی جو گیسوں کے اندر سے برقی ڈسچارج گزار کر کیے گئے تھے۔ اس سے پہلے کہ ہم ان نتائج سے بحث کریں، چارج شدہ ذرات کے طرز عمل سے متعلق ایک بنیادی قاعدہ اپنے ذہن میں رکھنا ہوگا: یکساں چارج ایک دوسرے کو دفع کرتے ہیں اور غیر یکساں چارج ایک دوسرے کے تئیں کشش کا اظہار کرتے ہیں۔“

ہے، اس طرح یہ نتیجہ نکالا جاسکتا ہے کہ کیتھوڈ شعاعیں منفی چارج شدہ ذرات پر مشتمل ہیں، جو الیکٹران کہلاتے ہیں۔

(v) کیتھوڈ شعاعیوں (الیکٹران) کی خاصیتیں الیکٹروڈ (Electrodes) کے مادے اور کیتھوڈ رے ٹیوب (Cathode Ray Tube) میں موجود گیس کی طبع پر منحصر نہیں ہیں۔

اس لیے، ہم یہ نتیجہ اخذ کر سکتے ہیں کہ الیکٹران تمام ایٹموں کے بنیادی اجزائے ترکیبی ہیں۔

### 2.1.2 الیکٹران کے چارج کی وکیت سے نسبت

#### (Charge to Mass Ratio of Electron)

1897 میں برطانوی طبیعیات داں، جے۔جے۔ تھامسن نے برقی چارج (Electrical Charge) (e) کی الیکٹران کی وکیت (Mass of electrons) ( $m_e$ ) سے نسبت کی پیمائش کی۔ اس کے لیے انھوں نے کیتھوڈ رے ٹیوب (Cathode Ray Tube) کا استعمال کیا اور برقی اور مقناطیسی میدان اس طرح لگایا کہ دونوں میدان ایک دوسرے کے عمودی ہوں اور ساتھ ہی ساتھ الیکٹران کے راستے کے بھی عمودی (Perpendicular) ہوں (شکل 2.2)۔ تھامسن نے توجیہ پیش کی کہ برقی و مقناطیسی میدان کی موجودگی میں، ذرات کا اپنے راستے سے انحراف مندرجہ ذیل پر منحصر ہے:

(i) ذرے کے منفی چارج کی عددی قدر پر، ذرے پر منفی چارج کی عددی قدر جتنی زیادہ ہوگی، برقی یا مقناطیسی میدان سے اس کا باہمی

بھاؤ کی مزید جانچ کرنے کے لیے اینوڈ میں ایک سوراخ کر دیا گیا اینوڈ کے پیچھے ٹیوب پر فاسفورس دمک والے مادے (Phosphorescent material) زنک سلفائیڈ کی پرت چڑھائی گئی۔ جب یہ شعاعیں اینوڈ سے گزرنے کے بعد زنک سلفائیڈ کی پرت پر پڑتی ہیں، تو پرت پر ایک چمکدار دھبہ پیدا ہوتا ہے (یہی چیز ٹیلی ویژن سیٹ میں بھی دیکھنے میں آتی ہے) [شکل 2.1(b)]۔

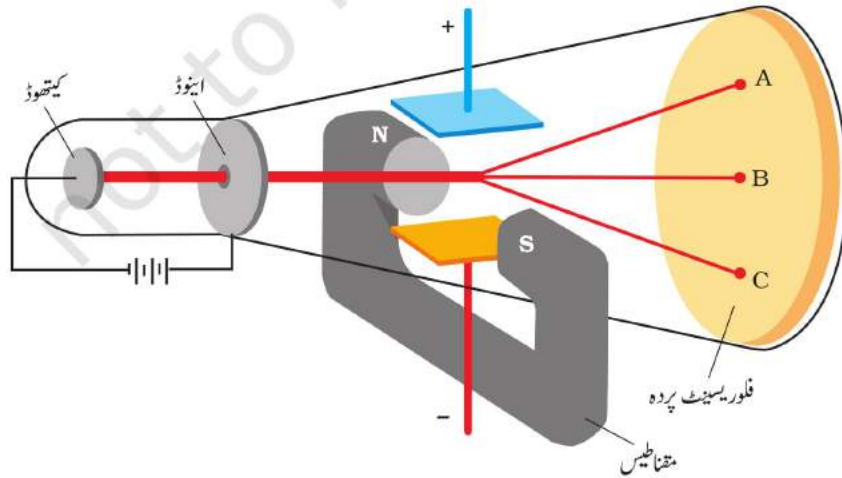
ان تجربات کا خلاصہ ذیل میں پیش کیا جا رہا ہے:

(i) کیتھوڈ شعاعیں، کیتھوڈ سے نکلتی ہیں اور اینوڈ کی سمت میں حرکت کرتی ہیں۔

(ii) یہ شعاعیں بذاتے خود نظر نہیں آتیں، لیکن ان کے طرز عمل کا مشاہدہ خاص قسم کے مادوں کی مدد سے کیا جاسکتا ہے (فلورسینٹ یا فاسفورسینٹ) جو ان شعاعوں کے ٹکرانے سے چمکنے لگتے ہیں۔ ٹیلی ویژن کی کپچر ٹیوب، بھی کیتھوڈ رے ٹیوب ہیں اور ٹیلی ویژن پر تصویریں، اس کے اسکرین (پردے) پر خاص قسم کے فلورسینٹ مادوں کی پرت کی وجہ سے بنتی ہیں۔

(iii) برقی یا مقناطیسی میدان کی غیر موجودگی میں یہ شعاعیں خط مستقیم میں سفر کرتی ہیں (شکل 2.2)۔

(iv) برقی یا مقناطیسی میدان کی موجودگی میں، کیتھوڈ شعاعوں کا طرز عمل بالکل اس طرح ہی ہوتا ہے، جیسا کہ منفی چارج شدہ ذرات (Negatively Charged Particles) سے توقع کی جاتی



شکل 2.2. الیکٹران کے برقی چارج و کمیت کی نسبت معلوم کرنے کے لیے آلات

کیا

$$m_e = \frac{e}{e/m_e} = \frac{1.6022 \times 10^{-19} \text{ C}}{1.758820 \times 10^{11} \text{ C kg}^{-1}} = 9.1094 \times 10^{-31} \text{ kg} \quad (2.2)$$

### 2.1.4 پروٹان اور نیوٹران کی دریافت (Discovery of Protons and Neutrons)

اصلاح شدہ کیتھوڈ رے ٹیوب میں کیے گئے برقی ڈسچارج نے مثبت چارج شدہ ذرات کی دریافت کی راہ دکھائی، جو کینال شعاعیں (Canal Rays) بھی کہلاتی ہیں۔ ان مثبت چارج شدہ ذرات کی خاصیتوں کی فہرست نیچے دی گئی ہے:

- کیتھوڈ شعاعوں کے برخلاف، مثبت چارج شدہ ذرات، کیتھوڈ رے ٹیوب میں موجود گیس کی فطرت پر منحصر ہیں۔ پر یہ صرف مثبت چارج شدہ گیس آئین ہیں۔
- ذرات کے برقی چارج کی ان کی کمیت سے نسبت اس گیس پر منحصر ہے، جس سے وہ نکلتے ہیں۔
- کچھ مثبت چارج شدہ ذرات پر برقی چارج، برقی چارج کی بنیادی اکائی کے اضعاف (Multiples) ہوتے ہیں۔

(iv) مقناطیسی یا برقی میدان میں ان ذرات کا طرز عمل، الیکٹران یا کیتھوڈ شعاعوں کے مشاہدہ کیے گئے طرز عمل کے برعکس ہوتا ہے۔

سب سے چھوٹا اور سب سے ہلکا مثبت آئین، ہائیڈروجن سے حاصل کیا گیا اور اسے پروٹان (Proton) کا نام دیا گیا۔ اس مثبت چارج شدہ ذرے کی خاصیتیں 1919 میں معلوم ہوئیں۔ بعد میں، یہ ضرورت محسوس ہوئی کہ ایٹم کے بنیادی اجزائے ترکیبی کے طور پر ایک برقی تعدیلی (Electrically Neutral) ذرہ بھی پایا جانا چاہیے۔ یہ ذرات چاڈوک (Chadwick) (1932) نے دریافت کیے۔ انھوں نے اس دریافت کے لیے بیریلیم (Beryllium) کی ایک پتلی چادر پر  $\alpha$  ذرات کی بوچھاڑ کی۔ جب برقی طور پر تعدیلی ذرات، جن کی کمیت پروٹان کی کمیت سے معمولی سی زیادہ تھی خارج ہوئے تو انہوں نے ان ذرات کو نیوٹران (Neutron) کا نام دیا۔ ان بنیادی ذرات کی اہم خاصیتیں جدول 2.1 میں دی گئی ہیں۔

عمل (Interaction) بھی اتنا ہی زیادہ ہوگا اور اس لیے انفرج (Deflection) بھی زیادہ ہوگا۔

- ذرے کی کمیت پر — ذرہ جتنا ہلکا ہوگا، انفرج اتنا ہی زیادہ ہوگا۔
- برقی یا مقناطیسی میدان کی قوت (Strength) پر — الیکٹرانوں کا اپنے اصل راستے سے انحراف، الیکٹروڈ کے درمیان لگائی گئی برقی قوت یا مقناطیسی میدان کی قوت میں اضافہ کے ساتھ بڑھ جاتا ہے۔

جب صرف برقی میدان لگایا جاتا ہے تو الیکٹران اپنے راستے سے انحراف کرتے ہیں اور کیتھوڈ رے ٹیوب سے نقطہ A پر ٹکراتے ہیں۔ اسی طرح جب صرف مقناطیسی میدان لگایا جاتا ہے، تو الیکٹران، کیتھوڈ رے ٹیوب سے نقطہ C پر ٹکراتے ہیں۔ ہوشیاری سے برقی اور مقناطیسی میدانوں کی قوتوں کو متوازن کرنے سے یہ ممکن ہے کہ الیکٹرانوں کو اسی راستے پر واپس لایا جاسکے جو وہ برقی یا مقناطیسی میدان کی غیر موجودگی میں اختیار کرتے ہیں۔ الیکٹرانوں کے راستے میں آئے ہوئے انحراف کی مقدار کی اور اس انحراف کو پیدا کرنے والے برقی و مقناطیسی میدانوں کی قوتوں کی درستی کے ساتھ پیش کش کر کے، تھامسن نے  $e/m_e$  کی قدر معلوم کی:

$$\frac{e}{m_e} = 1.758820 \times 10^{11} \text{ C kg}^{-1} \quad (2.1)$$

جہاں  $m_e$  کلوگرام میں الیکٹران کی کمیت ہے اور  $e$  کولمب (C) میں الیکٹران کے برقی چارج کی عددی قدر ہے۔ کیونکہ الیکٹران منفی چارج شدہ ہوتے ہیں، اس لیے الیکٹران پر برقی چارج  $-e$  ہے۔

### 2.1.3 الیکٹران پر برقی چارج

#### (Charge on the Electron)

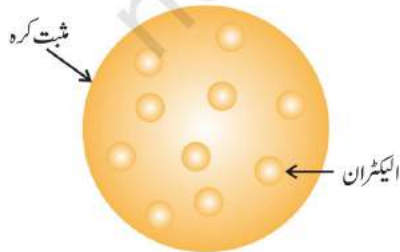
آر۔ اے۔ ملیکن (R.A. Milikan) نے (1906-1914) الیکٹران کے برقی چارج کو معلوم کرنے کا ایک طریقہ نکالا جو تیل بوند تجربہ (Oil Drop Experiment) کہلاتا ہے۔ انھوں نے معلوم کیا کہ الیکٹران کا برقی چارج  $(-1.6 \times 10^{-19} \text{ C})$  ہے۔ برقی چارج کی موجودہ منظور شدہ قدر  $1.6022 \times 10^{-19} \text{ C}$  ہے۔ الیکٹران کی کمیت  $m_e$ ، ان نتائج کو تھامسن کے ذریعہ معلوم کی گئی  $e/m_e$  نسبت کے ساتھ ملانے پر معلوم کی گئی:

## 2.2 ایٹمی ماڈل (Atomic Models)

پچھلے سیکشن میں بیان کیے گئے تجربات سے حاصل ہونے والے مشاہدات سے یہ نتیجہ اخذ کیا گیا کہ ڈالٹن کا ناقابل تقسیم ایٹم، ذیلی ایٹمی ذرات (Sub Atomic Particles) سے مل کر بنا ہے، جن پر منفی اور مثبت برقی چارج ہوتا ہے۔ ایک ایٹم میں ان برقی چارج شدہ ذرات کی تقسیم (Distribution) کی وضاحت کرنے کے لیے مختلف ایٹمی ماڈل تجویز کیے گئے۔ حالانکہ ان میں سے کچھ ماڈل ایٹم کے استحکام (Stability) کی وضاحت نہیں کر سکتے، ہم ذیل میں، ان میں سے جو جے۔ جے۔ تھامسن اور اریسٹ رور فورڈ کے تجویز کردہ دو ماڈلوں سے بحث کر رہے ہیں۔

### 2.2.1 ایٹم کا تھامسن ماڈل (Thomson Model of Atom)

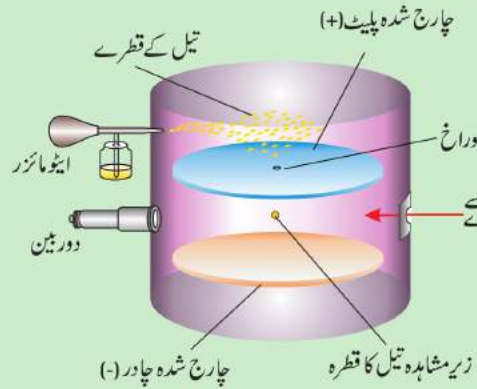
جے۔ جے۔ تھامسن نے 1898 میں تجویز کیا کہ ایک ایٹم کی شکل کروی (Spherical) ہوتی ہے۔ (نصف قطر، تقریباً،  $10^{-10}m$ ) جس میں مثبت چارج یکساں طور پر تقسیم ہوتا ہے۔ الیکٹران اس میں اس طرح پیوست ہوتے ہیں کہ زیادہ سے زیادہ مستحکم برقی سکونی ترتیب حاصل ہو سکے (شکل 2.4)۔ اس ماڈل کو کئی مختلف نام دیے گئے ہیں، مثال کے طور پر آلوہ پڈنگ (Plum Pudding)، ریزن پڈنگ (Raisin Pudding) یا تربوز (Watermill) ماڈل۔ اس ماڈل کو ہم مثبت چارج کی پڈنگ یا مثبت چارج کا تربوز تصور کر سکتے ہیں، جس میں آلوہ یا بیج (الیکٹران) پیوست ہوتے ہیں۔ اس ماڈل کی اہم خاصیت یہ ہے کہ اس ماڈل کے مطابق ایٹم کی کمیت پورے ایٹم میں یکساں طور پر تقسیم ہوتی ہے۔ حالانکہ یہ ماڈل ایٹم کی مجموعی تعدیلی



شکل 2.4 ایٹم کا تھامسن ماڈل

### ملیکن کا تیل بوند طریقہ (Milikan's Oil Drop Method)

اس طریقہ میں تیل کے چھوٹے چھوٹے قطروں کو کبر (Mist) کی شکل میں، جو کہ ایٹو مائزر (Atomiser) کے ذریعے پیدا کیے گئے تھے، برقی کنڈنسر (Electrical Condenser) کی اوپری پلیٹ میں ایک چھوٹے سے سوراخ کے ذریعے داخل ہونے دیا گیا۔ ان قطروں کے ظریعے نیچے کی سمت میں گئی حرکت کا مشاہدہ ایک دوربین کے ذریعے کیا گیا جس میں ایک مائیکرو میٹر چشمیہ (Micrometer Eye) (Piece) لگا ہوا تھا۔ ان قطروں کی نیچے گرنے کی شرح کی پیمائش کے ذریعے ملیکن ان قطروں کی کمیت معلوم کر سکے۔ چیمبر (Chamber) کے اندر کی ہوا میں سے X- شعاعوں کو گزار کر، آئین سازی کر دی گئی۔ ان تیل کے قطروں نے گیلی آئیون سے تصادم (Collision) کے ذریعے برقی چارج حاصل کر لیا۔ ان چارج شدہ تیل کے قطروں کی نیچے گرنے کی رفتار میں ابطا (Retardation) یا اسراع پیدا کیا جاسکتا ہے اور انہیں حالت سکون میں بھی لایا جاسکتا ہے۔ ایسا کر سکتا اس پر منحصر ہے کہ قطروں پر چارج کتنا ہے، اور پلیٹ پر لگائے گئے وولٹیج کی قطبیت (Polarity) اور قدر کیا ہے ہوشیاری کے ساتھ قطروں کی حرکت پر برقی میدان کی قوت کے تیل کے اثر کی پیمائش کے ذریعے، ملیکن نے یہ نتیجہ اخذ کیا کہ قطروں پر برقی چارج کی عددی قدر 'q' ہمیشہ برقی چارج کا صحیح عددی ضعف (Integral multiple) ہوتی ہے۔ یعنی کہ:



شکل 2.3 چارج 'e' کی پیمائش کے لیے ملیکن تیل بوند آلہ۔ چیمبر میں تیل کے قطرے پر کام کر رہی قوتیں ہیں: کشش ثقل، برقی میدان کی وجہ سے برقی سکونی، اور ایک مزوجی کشید قوت (Viscous Drag Force) جو تیل کے قطرے کے حرکت کرنے کے دوران لگتی ہیں۔

### جدول 2.1 بنیادی ذرات کی خاصیتیں

| نام      | علامت | مطلق برقی چارج (C)        | نسبتی برقی چارج | کمیت (کلوگرام)            | کمیت (u) | تقریبی کمیت (u) |
|----------|-------|---------------------------|-----------------|---------------------------|----------|-----------------|
| الیکٹران | e     | $-1.6022 \times 10^{-19}$ | -1              | $9.10939 \times 10^{-31}$ | 0.00054  | 0               |
| پروٹان   | p     | $-1.6022 \times 10^{-19}$ | +1              | $1.67262 \times 10^{-27}$ | 1.00727  | 1               |
| نیوٹران  | n     | 0                         | 0               | $1.67493 \times 10^{-27}$ | 1.00867  | 1               |

ہیں۔ یہ دکھایا گیا کہ تین قسم کی شعاعیں خارج ہوتی ہیں، یعنی  $\alpha$ ،  $\beta$  اور  $\gamma$  شعاعیں خارج ہوتی ہیں۔ ردرفورڈ (Rutherford) نے معلوم کیا کہ  $\alpha$ -شعاعیں بہت زیادہ توانائی کے ذرات پر مشتمل ہیں جن پر 2 اکائی مثبت برقی چارج ہوتا ہے اور جن کی کمیت 4 ایٹمی کمیت اکائی (a.m.u.) ہوتی ہے۔ انہوں نے نتیجہ اخذ کیا کہ  $\alpha$ -ذرات ہیلیم (Helium) کے نیوکلیس ہیں کیونکہ یہ  $\alpha$ -ذرات، 2 الیکٹرانوں کے ساتھ مل کر ہیلیم گیس بناتے ہیں۔  $\beta$ -شعاعیں، منفی چارج شدہ ذرات ہیں جو الیکٹرانوں جیسی ہی ہیں۔  $\gamma$ -شعاعیں x-شعاعوں کی طرح اعلیٰ توانائی والے اشعاع ہیں۔ یہ تعدیلی (Neutral) ہیں اور ذرات پر مشتمل نہیں ہوتیں۔ جہاں تک دخولی پاور (Penetrating Power) کا تعلق ہے،  $\alpha$ -ذرات کی دخولی پاور سب سے کم ہوتی ہے، اس کے بعد  $\beta$ -شعاعیں آتی ہیں،  $\alpha$ -ذرات کی دخولی قوت کی 100 گنا) اور پھر  $\gamma$ -شعاعیں ( $\alpha$ -ذرات کی 1000 گنا)

(Neutrality) کی وضاحت تو کر سکا لیکن بعد میں کیے گئے تجربات کے نتائج سے ہم آہنگ (Consistent) نہیں تھا۔ 1906 میں تھامسن کو گیوسوں میں برقی ایصال کی نظریاتی اور تجرباتی تحقیقات کے لیے نوبل انعام سے نوازا گیا۔

انیسویں صدی کے نصف آخر میں مختلف قسم کی شعاعیں (Rays) دریافت ہوئیں، جو ان کے علاوہ ہیں جن کا ذکر اوپر کیا جا چکا ہے۔ ولہیم رونتجن (Wilhelm Roentgen) (1845-1923) نے 1895 میں دکھایا کہ جب الیکٹران، کیتھوڈ رے ٹیوب (Cathode Ray Tube) میں مادے سے ٹکراتے ہیں تو ایسی شعاعیں پیدا ہوتی ہیں جو کہ کیتھوڈ رے ٹیوب کے باہر رکھے ہوئے فلورسینٹ مادے (Fluorescent) میں فلورسینس (Fluorescence) پیدا کر سکتی ہے۔ کیونکہ رونتجن کو اشعاع (Radiations) کی فطرت کے بارے میں معلوم نہیں تھا، اس نے انہیں x-شعاع کا نام دیا اور یہ نام ابھی بھی رائج ہے۔ یہ مشاہدہ کیا گیا کہ x-شعاعیں موثر طور پر اس وقت پیدا ہوتی ہیں، جب الیکٹران کثیف دھاتی اینوڈ (Dense Metal) (Anode)، جو ہدف (Targets) کہلاتے ہیں، سے ٹکراتے ہیں۔ یہ شعاعیں برقی اور مقناطیسی میدانوں سے منحرف نہیں ہوتیں اور ان میں مادے سے گزر سکنے کی بہت زیادہ دخولی طاقت (Penetrating Power) ہوتی ہے اور یہی وجہ ہے کہ ان شعاعوں کا استعمال اشیا کے اندرون کا مطالعہ کرنے کے لیے کیا جاتا ہے۔ یہ شعاعیں بہت کم طول موج (Wave Length) کی ہوتی ہیں۔ ( $\sim 0.1\text{nm}$ ) اور ان کی برقی-مقناطیسی (Electromagnetic) خاصیت ہوتی ہے (سیکشن 2.3.1)۔

ہنری بیکوریل (Henri Becquerel) (1852-1908) نے مشاہدہ کیا کہ ایسے عناصر (Elements) ہیں جو اپنے آپ اشعاع کا اخراج کرتے ہیں اور اس مظہر (Phenomenon) کو تابکاری (Radioactivity) کا نام دیا اور یہ عناصر ”تابکار عناصر“ کہلاتے

### 2.2.2 ردرفورڈ کا ایٹم کا نیوکلیائی ماڈل (Rutherford's Nuclear Model of Atom)

ردرفورڈ (Rutherford) اور ان کے شاگردوں ہینس گیگر اور ارنیسٹ مارسڈن (Hans Geiger and Ernest Morsden) نے سونے کے بہت پتلے ورق پر  $\alpha$ -ذرات کی بوچھاڑ کی۔ ردرفورڈ کا مشہور  $\alpha$ -ذرات انتشار تجربہ (Experiment) شکل 2.5 میں دکھایا گیا ہے۔

ایک تابکار ماخذ سے نکلنے والے بہت زیادہ توانائی کے  $\alpha$ -ذرات کے ایک دھارے کو سونے (دھات) کے ایک پتلے ورق (موٹائی  $\sim 100\text{m}$ ) پر ڈالا جاتا ہے۔ سونے کے پتلے ورق کے ارد گرد ایک دائری فلورسینٹ زنک سلفائیڈ پردہ لگا ہوتا ہے۔ جب بھی کوئی  $\alpha$ -ذرہ پردے سے ٹکراتا ہے تو اس نقطہ پر روشنی کی ایک معمولی سی چمک پیدا ہوتی ہے۔

(iii) چند ذرات ہی (20,000 میں سے 1) ٹکرا کر اسی سمت میں واپس لوٹ آئے، یعنی کہ ان میں تقریباً  $180^\circ$  کا انحراف (Deflection) ہوا۔

ان مشاہدات کی بنیاد پر ردرفورڈ نے ایٹم کی ساخت کے بارے میں مندرجہ ذیل نتائج اخذ کیے:

(i) ایٹم میں زیادہ تر جگہ خالی ہے، کیونکہ بیشتر  $\alpha$ -ذرات ورق سے بنا منفرج ہوئے گزر گئے۔

(ii) چند مثبت چارج شدہ  $\alpha$ -ذرات ہی منفرج ہوئے۔ یہ انحراف یقیناً ایک بڑی دافع قوت (Repulsive force) کی وجہ سے ہوا ہوگا، جس سے ظاہر ہوتا ہے کہ ایٹم کا مثبت برقی چارج پورے ایٹم میں یکساں طور پر پھیلا ہوا نہیں تھا، جیسا کہ تھامسن نے مانا تھا۔ یہ مثبت برقی چارج لازمی طور پر ایک بہت چھوٹے حجم میں مرکوز ہونا چاہیے، تبھی وہ مثبت چارج شدہ  $\alpha$ -ذرات کو دفع اور منفرج کر سکتا ہے۔

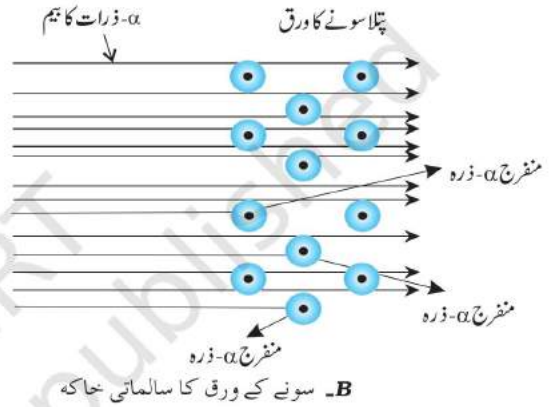
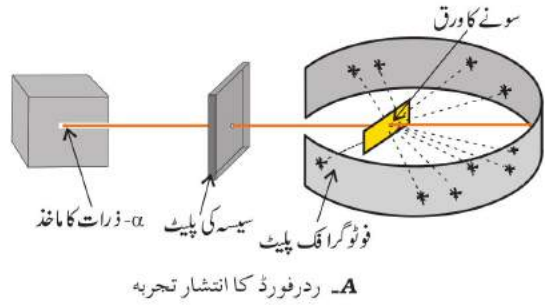
(iii) ردرفورڈ کے ذریعے کی گئی تحسیبات سے ظاہر ہوا کہ نیوکلیس کے ذریعے گھیرا گیا حجم، ایٹم کے کل حجم کے مقابلے میں قابل نظر انداز حد تک کم ہوتا ہے۔

ایٹم کا نصف قطر تقریباً  $10^{-10}\text{m}$  ہے، جبکہ نیوکلیس کا نصف قطر  $10^{-15}\text{m}$  ہے۔ ایٹم اور نیوکلیس کے سائز میں اس فرق کو ہم مندرجہ ذیل مثال کے ذریعے بہتر طور پر محسوس کر سکتے ہیں۔ اگر ایک کرکٹ کی گیند نیوکلیس کو ظاہر کرتی ہے تو ایٹم کا نصف قطر تقریباً 5km ہوگا۔

مندرجہ بالا مشاہدات اور نتائج کی بنیاد پر، ردرفورڈ نے ایٹم کا نیوکلیائی ماڈل تجویز کیا (پروٹانوں کی دریافت کے بعد)۔ اس ماڈل کے مطابق:

(i) مثبت چارج اور ایٹم کی بیشتر کمیت بہت ہی چھوٹے خطے میں کثیف طور پر مرکوز ہوتی ہے۔ ایٹم کے اس بہت ہی چھوٹے حصے کو ردرفورڈ نے نیوکلیس (Nucleus) کا نام دیا۔

(ii) نیوکلیس الیکٹرانوں سے گھرا ہوتا ہے جو نیوکلیس کے ارد گرد بہت تیز رفتار سے دائری راستوں پر، جنہیں مدار (Orbit) کہتے ہیں، حرکت کرتے ہیں۔ اس طرح، ردرفورڈ کا ماڈل شمسی نظام سے مشابہت رکھتا ہے، جس میں نیوکلیس سورج کا کردار ادا کرتا ہے اور الیکٹران چکر لگا رہے سیاروں کے دول ادا کرتے ہیں۔



شکل 2.5 ردرفورڈ کے انتشار تجربہ کا خاکہ . جب  $\alpha$ -ذرات کا ایک بیم ایک پتلے، سونے کے ورق پر ڈالا جاتا ہے۔ تو بیشتر  $\alpha$ -ذرات سونے کے ورق سے متاثر ہوئے بغیر ورق سے گذر جاتے ہیں۔ لیکن کچھ منفرج ہو جاتے ہیں۔

انتشار تجربہ کے نتائج امید کے بہت برخلاف تھے۔ تھامسن کے ایٹم کے ماڈل کے مطابق، ورق میں سونے کے ہر ایک ایٹم کی کمیت، پورے ایٹم میں یکساں طور پر پھیلی ہوئی چاہیے تھی اور  $\alpha$ -ذرات میں اتنی توانائی تھی جو کمیت کی ایسی یکساں تقسیم سے سیدھے گزر سکنے کے لیے کافی ہوتی۔ امید یہ تھی کہ ورق سے گزرتے ہوئے، ذرات کی چال آہستہ ہو جائے گی اور ان کی سمت میں تبدیلی صرف چھوٹے زاویوں سے ہی ہوگی۔ یہ مشاہدہ کیا گیا کہ

(i) زیادہ تر  $\alpha$ -ذرات سونے کے ورق سے بغیر کسی انحراف کے گزر گئے۔

(ii)  $\alpha$ -ذرات کی ایک چھوٹی کسر، چھوٹے زاویوں سے منفرج ہوئی۔

آئسو بار وہ ایٹم ہیں، جن کا کمیتی عدد یکساں ہوتا ہے لیکن ایٹمی عدد مختلف ہوتا ہے، مثال کے طور پر  $^{14}_6\text{C}$  اور  $^{14}_7\text{N}$ ۔ دوسری طرف ایسے ایٹم، جن کے ایٹمی عدد یکساں ہوتے ہیں اور کمیتی عدد مختلف ہوتے ہیں، آئسوٹوپ (Isotopes) کہلاتے ہیں۔ دوسرے لفظوں میں (مساوات 2.4 کے مطابق)، یہ ظاہر ہے کہ آئسوٹوپ میں فرق، ان کے نیوکلیس میں موجود نیوٹرانوں کی مختلف تعداد کی وجہ سے ہے۔ مثال کے طور پر، اگر ہم ہائیڈروجن ایٹم پر ہی دوبارہ غور کریں تو ہائیڈروجن کے 99.985% ایٹموں میں صرف ایک پروٹان ہوتا ہے۔ یہ آئسوٹوپ پروٹیم ( $^1_1\text{H}$ ) کہلاتا ہے۔ ہائیڈروجن ایٹم کی باقی بچی فیصد میں دوسرا آئسوٹوپ ہوتے ہیں۔ ایک وہ جس میں ایک پروٹان اور ایک نیوٹران ہوتا ہے اور جسے ڈیوٹیریم (Deuterium) ( $^2_1\text{D}$ , 0.015%) اور دوسرا وہ جس میں ایک پروٹان اور 2 نیوٹران ہوتے ہیں اور جسے ٹریٹیم (Tritium) کہتے ہیں۔ آخر الذکر آئسوٹوپ زمین پر بہت کم مقدار میں پایا جاتا ہے۔ عام طور سے پائے جانے والے کچھ اور آئسوٹوپ کی مثالیں ہیں: کاربن کے ایٹم، جن میں 6 پروٹانوں کے ساتھ ساتھ 6 یا 7 نیوٹران پائے جاتے ہیں۔ ( $^{12}_6\text{C}$ ,  $^{13}_6\text{C}$ ,  $^{14}_6\text{C}$ )، کلورین کے ایٹم، جن میں 17 پروٹانوں کے ساتھ 18 اور 20 نیوٹران پائے جاتے ہیں ( $^{35}_{17}\text{Cl}$ ,  $^{37}_{17}\text{Cl}$ )۔

آخر میں آئسوٹوپ سے متعلق ایک اہم نکتہ، جس کا ذکر کیا جانا چاہیے، یہ ہے کہ ایٹموں کی کیمیائی خاصیتیں الیکٹرانوں کی تعداد سے کنٹرول ہوتی ہیں، جو نیوکلیس میں پروٹانوں کی تعداد سے معلوم کیے جاسکتے ہیں۔ ایک نیوکلیس میں موجود نیوٹرانوں کی تعداد سے ایک عنصر کی کیمیائی خاصیتوں پر بہت کم اثر پڑتا ہے۔ اس لیے، ایک عنصر کے تمام آئسوٹوپ یکساں کیمیائی طرز عمل کا اظہار کرتے ہیں۔

### مسئلہ 2.1

$^{80}_{35}\text{Br}$  میں پروٹان اور الیکٹرانوں کی تعداد کا حساب لگائیے۔

حل

اس صورت میں:

$$^{80}_{35}\text{Br}, Z = 35, A = 80$$

کیونکہ نوع تعدیلی ہے۔

$$Z = 35 = \text{الیکٹرانوں کی تعداد} = \text{پروٹانوں کی تعداد}$$

(iii) الیکٹران اور نیوکلیس ایک ساتھ برق سکونی قوتوں کے ذریعے قائم رہتے ہیں۔

### 2.2.3 ایٹمی عدد اور کمیتی عدد

#### (Atomic Number and Mass Number)

نیوکلیس میں مثبت برقی چارج کی موجودگی، نیوکلیس میں پائے جانے والے پروٹانوں کی وجہ سے ہوتی ہے۔ جیسا کہ پہلے ثابت کیا جا چکا ہے، پروٹان کا برقی چارج الیکٹران کے برقی چارج کے مساوی اور مخالف ہوتا ہے۔ نیوکلیس میں موجود پروٹانوں کی تعداد ایٹمی عدد (Atomic Number) ( $Z$ ) کے مساوی ہوتی ہے۔ مثال کے طور پر، ہائیڈروجن کے نیوکلیس میں پروٹانوں کی تعداد 1 ہے، سوڈیم ایٹم میں 11 ہے، اس لیے ان کے ایٹمی عدد، بالترتیب، 1 اور 11 ہیں۔ برقی معادلت کو برقرار رکھنے کے لیے، ایک ایٹم میں الیکٹرانوں کی تعداد، پروٹانوں کی تعداد کے مساوی ہوتی ہے (ایٹمی عدد  $Z$ )۔ مثلاً ہائیڈروجن ایٹم اور سوڈیم ایٹم میں الیکٹرانوں کی تعداد، بالترتیب، 1 اور 11 ہے۔

ایک ایٹم کے نیوکلیس میں پروٹانوں کی تعداد = ایٹمی عدد ( $Z$ )

ایک تعدیل ایٹم میں الیکٹرانوں کی تعداد = (2.3)

جبکہ نیوکلیس کا مثبت برقی چارج پروٹانوں کی وجہ سے ہوتا ہے، نیوکلیس کی کمیت پروٹانوں اور نیوٹرانوں کی وجہ سے ہوتی ہے۔ جیسا کہ پہلے بھی بتایا جا چکا ہے، نیوکلیس میں موجود پروٹانوں اور نیوٹرانوں کو مشترکہ طور پر نیوکلیان (Nucleons) کہتے ہیں۔ نیوکلیانوں کی کل تعداد کو ایٹم کا کمیتی عدد (Mass Number) کہتے ہیں۔

$$\text{نیوٹرانوں کی تعداد (n)} + \text{پروٹانوں کی تعداد (Z)} = \text{کمیتی عدد (A)}$$

(2.4)

### 2.2.4 آئسو بار اور آئسوٹوپ (Isobars and Isotopes)

کسی بھی ایٹم کی ترکیب (Composition) کو اس کے معیاری عنصر کی علامت (X) کو استعمال کر کے ظاہر کیا جاتا ہے، جس کے اوپر کی جانب بائیں کونے پر ایٹمی کمیت عدد (A) اور نیچے کی جانب بائیں کونے پر ایٹمی عدد  $Z$  لکھا جاتا ہے (یعنی کہ  $^A_Z\text{X}$ )۔

الیکٹران مقابلتاً ہلکے سیاروں کی طرح ہیں۔ مزید الیکٹران اور نیوکلئیس کے درمیان کولمب قوت  $(kq_1q_2/r^2)$ ، جہاں  $q_1$  اور  $q_2$  برقی چارج ہیں،  $r$  برقی چارجوں کے درمیان کا فاصلہ ہے اور  $k$  تناسبیت کا مستقلہ ہے، ریاضیاتی طور پر کشش قوت  $(G \cdot \frac{m_1m_2}{r^2})$  کے مشابہ ہے، جہاں  $m_1$  اور  $m_2$  کمیتیں ہیں،  $r$  کمیتوں کے درمیان کا فاصلہ ہے اور  $G$  کشش ثقل کا مستقلہ ہے۔ جب شمسی نظام پر \* کلاسیکی میکینکس کا اطلاق کیا جاتا ہے تو یہ ظاہر ہوتا ہے کہ سیارے، سورج کے گرد، بہ خوبی معرف مدار بناتے ہیں۔ اس نظریہ (Theory) سے سیاروں کے مدار اور تجرباتی پیمائشوں سے ان کے اتفاق کی درستی صحت کے ساتھ تحسب کی جاسکتی ہے۔ شمسی نظام اور نیوکلئیائی ماڈل میں مشابہت یہ تجویز کرتی ہے کہ الیکٹرانوں کو بھی نیوکلئیس کے گرد بہ خوبی معرف مداروں میں حرکت کرنا چاہیے۔ لیکن، جب کوئی جسم ایک مدار میں گھومتا ہے، تو اس میں اسراع پیدا ہوتا ہے (اگر ایک مدار میں کوئی جسم مستقل چال سے بھی حرکت کر رہا ہو، تو سمت کی تبدیلی کی وجہ سے اس میں اسراع پیدا ہونا لازمی ہے)۔ اس کا مطلب ہے کہ نیوکلئیائی ماڈل کے مطابق ایک الیکٹران جو سیاروں کے جیسے مدار میں حرکت کر رہا ہے، اس پر اسراع کام کر رہا ہے۔ میکسویل (Maxwell) کے برق مقناطیسی نظریہ (Electromagnetic Theory) کے مطابق چارج شدہ ذرات، جب اسراع پذیر ہوتے ہیں تو انھیں برق مقناطیسی اشعاع خارج کرنا چاہیے (یہ خاصیت سیاروں میں نہیں پائی جاتی کیونکہ وہ چارج شدہ نہیں ہیں)۔ اس لیے ایک مدار میں حرکت کرتا ہوا ایک الیکٹران اشعاع خارج کرے گا، اور اشعاع کے ذریعے خارج ہوئی توانائی، الیکٹران کی حرکت سے حاصل ہوگی۔ اس لیے مدار لگاتار سکڑتا رہے گا۔ تحسبات سے ظاہر ہوتا ہے کہ ایک الیکٹران صرف  $10^{-8}$  s میں چکر کھاتے کھاتے نیوکلئیس میں گر پڑے گا۔ لیکن ایسا نہیں ہوتا۔ اس لیے رد فورڈ ماڈل ایٹم کے استحکام (Stability) کی وضاحت نہیں کر سکتا۔ اگر ہم الیکٹران کی حرکت کو کلاسیکی میکینکس اور برق مقناطیسی نظریہ کی بنیاد پر بیان کرتے ہیں تو آپ سوال کر سکتے ہیں کہ اگر الیکٹرانوں کی حرکت کی وجہ سے ایٹم غیر مستحکم ہو رہا ہے تو کیوں نہ نیوکلئیس کے گرد الیکٹرانوں کو ساکت (Stationary) مان لیا جائے۔ اگر الیکٹران ساکت ہوتے تو کثیف

$$80 - 35 = 45 \text{ نیوٹرانوں کی تعداد}$$

(مساوات 2.4)

## مسئلہ 2.2

ایک نوع (Species) میں الیکٹرانوں، پروٹانوں اور نیوٹرانوں کی تعداد بالترتیب 18، 16 اور 16 ہے۔ نوع کو مناسب علامت سے ظاہر کیجئے۔

حل

ایٹمی عدد پروٹانوں کی تعداد کے برابر ہے یعنی 16۔ عنصر سلفر (S) ہے۔ نیوٹرانوں کی تعداد + پروٹانوں کی تعداد = ایٹمی کمیت عدد

$$= 16 + 16 = 32$$

نوع، تعدیلی نہیں ہے، کیونکہ پروٹانوں کی تعداد الیکٹرانوں کی تعداد کے مساوی نہیں ہے۔ یہ این آئن (منفی چارج شدہ) ہے، جس کا چارج اضافی الیکٹرانوں کے مساوی ہے،

$$\text{یعنی کہ: } 18 - 16 = 2$$

علامت ہے  $^{32}_{16}\text{S}^{2-}$

نوٹ: علامت  $^A_Z\text{X}$  استعمال کرنے سے پہلے، معلوم کیجئے کہ نوع معادل ایٹم ہے، ایک مثبت آئن ہے یا منفی آئن ہے۔ اگر یہ تعدیلی ایٹم ہے تو مساوات (2.3) درست ہے، یعنی کہ ایٹمی عدد = الیکٹرانوں کی تعداد = پروٹانوں کی تعداد، اگر نوع ایک آئن ہے تو معلوم کیجئے کہ آیا پروٹانوں کی تعداد الیکٹرانوں کی تعداد سے زیادہ ہے (مثبت آئن) یا کم (منفی آئن)۔ نیوٹرانوں کی تعداد ہمیشہ  $(A-Z)$  سے حاصل ہوگی، چاہے نوع تعدیلی ہو یا آئن ہو۔

## 2.2.5 رد فورڈ ماڈل کی خامیاں (Drawbacks of Rutherford Model)

### Rutherford Model

رد فورڈ کا نیوکلئیائی ماڈل برائے ایٹم ایک چھوٹے پیمانے کے شمسی نظام کی طرح ہے، جس میں نیوکلئیس، وزنی سورج کا کردار ادا کرتا ہے اور

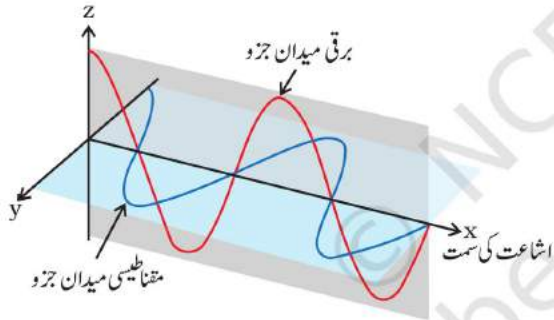
\* کلاسیکی میکینکس ایک نظریاتی سائنس ہے جو نیوٹن کے حرکت کے قوانین پر مبنی ہے۔ یہ کلاں اجسام (Macroscopic Bodies) کے حرکت کے

قوانین کا تعین کرتی ہے۔

زمانہ قدیم سے یہ معلوم ہے کہ روشنی بھی اشعاع کی ایک شکل ہے اور اس کی طبع کے بارے میں قدیم زمانے سے ہی اندازے لگائے جاتے رہے ہیں۔ پہلے (نیوٹن) سمجھا جاتا تھا کہ روشنی ذرات (ذریچوں) (Corpuscles) سے مل کر بنی ہے۔ انیسویں صدی میں ہی روشنی کی لہر فطرت (Wave Nature) تسلیم کی جاسکی۔

میکسویل ہی پھر وہ پہلے شخص تھے جنہوں نے یہ دکھایا کہ روشنی کی لہریں، اتھرائی برقی اور مقناطیسی کردار کی حامل ہیں (شکل 2.6)۔ حالانکہ برقی مقناطیسی لہر حرکت اپنی طبع کے لحاظ سے پیچیدہ ہے یہاں ہم کچھ سادہ خاصیتیں ہی ملاحظہ کریں گے۔

i) اتھراز کر رہے چارج شدہ ذرات سے پیدا ہونے والے اتھرائی برقی و مقناطیسی میدان، ایک دوسرے پر عمودی ہوتے ہیں اور یہ دونوں موج کی اشاعت کی سمت پر عمودی ہوتے ہیں۔ برقی مقناطیسی لہر کی ایک سادہ تصویر شکل 2.6 میں دکھائی گئی ہے۔



شکل 2.6 ایک برقی مقناطیسی لہر کے برقی و مقناطیسی جزو۔ ان اجزا کی طول موج، سرعت، چال اور وسعت یکساں ہوتی ہے، لیکن یہ دو باہم عمودی مستویوں میں ارتعاش کرتے ہیں۔

(ii) آواز کی لہروں اور پانی کی لہروں کے برخلاف، برقی مقناطیسی لہروں کو میڈیم (Medium) کی ضرورت نہیں ہوتی اور یہ وکیوم (Vacuum) میں حرکت کر سکتی ہیں۔

(iii) یہ اب اچھی طرح ثابت ہو چکا ہے کہ برقی مقناطیسی اشعاع کی کئی قسمیں ہیں، جو ایک دوسرے سے طول موج یا سرعت میں مختلف ہوتی ہیں۔ یہ برقی مقناطیسی طیف (Electromagnetic Spectrum) تشکیل دیتی ہیں (شکل 2.7)۔ طیف کے مختلف

نیوکلیس اور الیکٹرانوں کے مابین برقی سکونی کشش، الیکٹرانوں کو نیوکلیس کی طرف کھینچ لے گی اور ہمیں تھامسن ماڈل کی ایک چھوٹی شکل ہی حاصل ہوگی۔ ردرفورڈ ماڈل کی ایک اور بڑی خامی یہ ہے کہ یہ ایٹم کی الیکٹرائی بناوٹ کے بارے میں کچھ نہیں بتاتا۔ یعنی کہ، نیوکلیس کے گرد الیکٹرانوں کی تقسیم کس طرح ہے اور ان الیکٹرانوں کی توانائیاں کیا ہوتی ہیں۔

### 2.3 ایٹم کے بوہر ماڈل کی راہ دکھانے والے انکشافات (Developments Leading to the Bohr's Model of Atom)

تاریخی طور پر، اشعاع کے مادے کے ساتھ ہونے والے باہمی عملوں کے مطالعے سے حاصل کیے گئے نتائج نے سالمات اور ایٹموں کی ساخت کے بارے میں بہت معلومات مہیا کی ہے۔ نیلس بوہر (Niels Bohr) نے ان نتائج کو استعمال کر کے، ردرفورڈ کے تجویز کردہ ماڈل کو بہتر بنایا۔ ایٹم کے بوہر ماڈل کی تشکیل میں دو انکشافات نے بڑا رول ادا کیا۔ یہ ہیں:

- برقی مقناطیسی اشعاع کا دہرا کردار (Dual Character)، جس کا مطلب ہے کہ اشعاع میں موج (Wave) اور ذرہ (Particle) جیسی دونوں خاصیتیں پائی جاتی ہیں۔
- ایٹمی طیف (Atomic Spectra) سے متعلق تجرباتی نتائج، جن کی وضاحت، ایٹم میں صرف کوآٹمی (سیکشن 2.4) الیکٹرائی انرجی لیول (Quantised Electronic Energy Levels) فرض کر کے ہی کی جاسکتی ہے۔

### 2.3.1 برقی مقناطیسی اشعاع کی لہر فطرت (Wave Nature of Electromagnetic Radiation)

جیمس میکسویل (James Maxwell) (1870) وہ پہلے شخص تھے جنہوں نے چارج شدہ اجسام کے مابین باہمی عمل اور برقی و مقناطیسی میدانوں کے طرز عمل کی میکرو واسکوپک سطح پر تفصیلی وضاحت کی۔ انہوں نے تجویز کیا کہ جب برقی چارج شدہ ذرات، اسراع کے ساتھ حرکت کرتے ہیں تو متبادل (Alternating) برقی اور مقناطیسی میدان پیدا ہوتے ہیں اور ترسیل ہوتے ہیں۔ یہ میدان، لہروں کی شکل میں ترسیل ہوتے ہیں جو برقی۔ مقناطیسی لہریں (Electromagnetic Waves) یا برقی مقناطیسی اشعاع (Electromagnetic Radiation) کہلاتی ہیں۔

طول موج کی اکائی، لمبائی کی اکائی ہونا چاہیے اور جیسا کہ آپ جانتے ہیں لمبائی کی اکائی میٹر (m) ہے۔ کیونکہ برق مقناطیسی لہریں مختلف قسم کی لہروں پر مشتمل ہوتی ہیں، جن کی طول موج میٹر سے بہت کم ہوتی ہے، اس لیے چھوٹی اکائیاں استعمال کی جاتی ہیں۔ شکل 2.7 میں برق مقناطیسی اشعاع کی مختلف قسمیں دکھائی گئی ہیں، جو ایک دوسرے سے طول موج اور فریکوئنسی میں مختلف ہیں۔

وکیوم میں ہر قسم کی برق مقناطیسی لہریں، طول موج سے قطع نظر، یکساں چال سے سفر کرتی ہیں، یعنی کہ  $3.0 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$  (درستی صحت کے ساتھ،  $2.997925 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ ) یہ روشنی کی چال کہلاتی ہے اور اسے علامت 'c' دی گئی ہے۔ فریکوئنسی (v) طول موج ( $\lambda$ ) اور روشنی کی رفتار (c)، مساوات 2.5 کے مطابق ایک دوسرے سے منسلک ہیں:

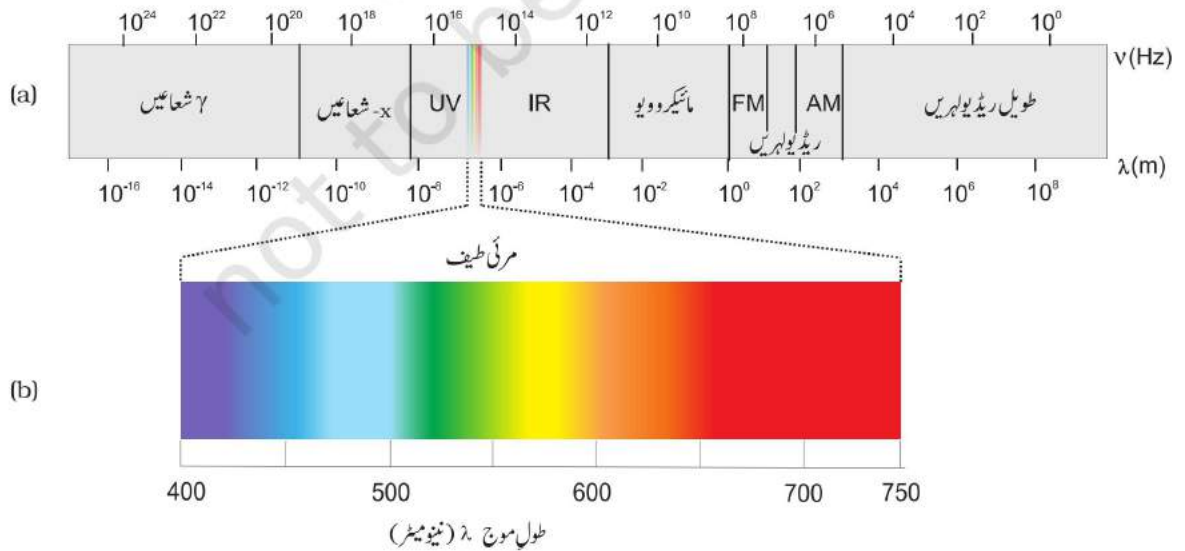
$$c = v \lambda \quad (2.5)$$

اسپیکٹرو اسکوپ (Spectroscopy) میں عام طور سے استعمال ہونے والی ایک اور مقدار ہے، لہر عدد (Wave Number) اس کی تعریف اس طرح کی جاتی ہے کہ لہر عدد طول موج کی تعداد فی اکائی لمبائی ہے۔ اس کی اکائی طول موج کی اکائی کا مقلوب (Reciprocal) ہے، یعنی کہ  $\text{m}^{-1}$ ۔ حالانکہ عام طور سے استعمال ہونے والی اکائی  $\text{cm}^{-1}$  ہے (جو S1 کائی نہیں ہے)۔

علاقے مختلف ناموں سے شناخت کیے جاتے ہیں۔ کچھ مثالیں ہیں: ریڈیو فریکوئنس خطہ جو  $10^6 \text{ Hz}$  کے آس پاس ہوتا ہے اور جس کا استعمال نشریات میں کیا جاتا ہے، مائیکرو ویو (Microwave) خطہ، جو  $10^3 \text{ Hz}$  کے آس پاس ہوتا ہے اور راڈار (Radar) میں استعمال ہوتا ہے، انفراریڈ (Infrared) خطہ جو  $10^{13} \text{ Hz}$  کے آس پاس ہوتا ہے اور جس کا استعمال گرم کرنے میں ہوتا ہے، الٹرا وائلٹ (Ultraviolet) خطہ جو  $10^9 \text{ Hz}$  کے آس پاس ہے اور سورج کی شعاعوں کا ایک جزو ہے۔  $10^{16} \text{ Hz}$  کے آس پاس ایک چھوٹا سا خطہ وہ ہے جو عام طور سے مرئی روشنی (Visible Region) کہلاتا ہے۔ صرف یہی وہ حصہ ہے جسے ہماری آنکھیں دیکھ سکتی ہیں (یا شناس کر سکتی ہیں)۔ غیر مرئی اشعاع کی شناس کے لیے خاص آلات درکار ہوتے ہیں۔

(iv) برق مقناطیسی اشعاع کو ظاہر کرنے کے لیے مختلف قسم کی اکائیاں استعمال ہوتی ہیں۔

ان اشعاع کی خاصیتیں ہیں: فریکوئنسی (v) اور طول موج ( $\lambda$ ) فریکوئنسی کی S1 کائی ہرٹز ( $\text{Hz, s}^{-1}$ ) ہے جو ہیزک ہرٹز کے نام پر رکھی گئی ہے۔ ایک ہرٹز کی تعریف اس طرح کی جاتی ہے کہ یہ لہروں کی وہ تعداد ہے جو ایک دیے ہوئے نقطے سے ایک سیکنڈ میں گزرتی ہیں۔



شکل 2.7 (a) برقی مقناطیسی اشعاع کا طیف (b) مرئی طیف۔ مرئی خطہ کل طیف کا صرف ایک چھوٹا حصہ ہے۔

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}}{750 \times 10^{-9} \text{ m}} = 4.00 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

فریکوئنسی اکائیوں کے اعتبار سے مرئی طیف کی رینج  $4.0 \times 10^{14}$  سے  $7.5 \times 10^{14} \text{ Hz}$  تک ہے۔

### مسئلہ 2.5

حساب لگائیے: (a) لہر عدد اور (b) فریکوئنسی کا، اس پیلی اشعاع کے لیے جس کا طول موج  $5800 \text{ \AA}$  ہے

حل

(a) لہر عدد ( $\bar{\nu}$ ) کی تحسیب:

$$\lambda = 5800 \text{ \AA} = 5800 \times 10^{-8} \text{ cm}$$

$$= 5800 \times 10^{-10} \text{ m}$$

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{5800 \times 10^{-10} \text{ m}}$$

$$= 1.724 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$$

$$= 1.724 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$$

(b) فریکوئنسی ( $\nu$ ) کی تحسیب:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}}{5800 \times 10^{-10} \text{ m}} = 5.172 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$$

### 2.3.2 برق مقناطیسی اشعاع کی ذراتی فطرت: پلانک کا کوآٹم نظریہ

#### (Particle Nature of

#### Electromagnetic Radiation:

#### Planck's Quantum Theory)

کچھ تجرباتی مظاہر، جیسے انحراف \* (Diffraction) اور تداخل \*\* (Interference) وغیرہ کی، وضاحت برق مقناطیسی اشعاع کی لہر۔ فطرت کے ذریعے کی جاسکتی ہے۔ لیکن ذیل میں جو مشاہدات دیے جا رہے ہیں، وہ ان میں سے چند مشاہدات ہیں جن کی انیسویں صدی کی

### مسئلہ 2.3

آل انڈیا ریڈیو دہلی کا وودھ بھارتی اسٹیشن  $1.368 \text{ kHz}$  کی فریکوئنسی پر نشر ہوتا ہے۔ ٹرانسمیٹر سے خارج ہونے والے برق مقناطیسی اشعاع کی طول موج کا حساب لگائیے۔ یہ برق مقناطیسی طیف کے کس خطے سے تعلق رکھتا ہے۔

حل

طول موج  $\lambda$   $c/\nu$  کے مساوی ہے جہاں  $c$  وکیوم میں برق مقناطیسی اشعاع کی رفتار ہے اور  $\nu$  فریکوئنسی ہے۔ دی ہوئی قیمتوں کو رکھنے پر، ہمیں حاصل ہوتا ہے:

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

$$= \frac{3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}}{1368 \text{ kHz}}$$

$$= \frac{3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}}{1368 \times 10^3 \text{ s}^{-1}}$$

$$= 219.3 \text{ m}$$

یہ ریڈیو لہر طول موج کی نمائندہ طول موج ہے۔

### مسئلہ 2.4

مرئی طیف کی طول موج کی رینج وائلٹ (Violet) ( $400 \text{ nm}$ ) سے سرخ ( $750 \text{ nm}$ ) تک ہے۔ ان طول موج کو فریکوئنسی ( $\text{Hz}$ ) میں ظاہر کیجئے۔ ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ )

حل

مساوات 2.5 استعمال کرتے ہوئے، وائلٹ روشنی کی فریکوئنسی

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}}{400 \times 10^{-9} \text{ m}}$$

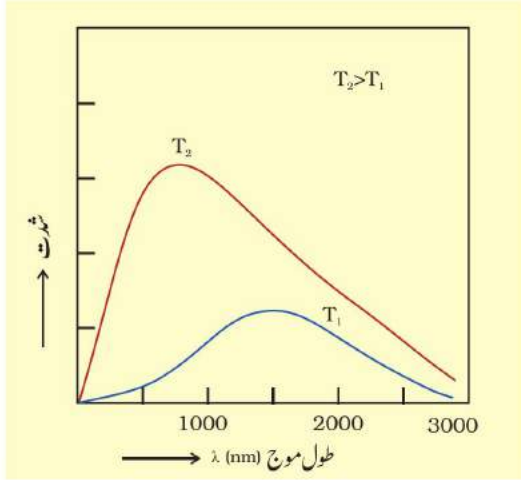
$$= 7.50 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

سرخ روشنی کی فریکوئنسی

\* انحراف، ایک رکاوٹ کے ارد گرد موج کا مڑنا ہے۔

\*\* تداخل، یکساں یا مختلف فریکوئنسی کی دو لہروں کا ایسا اتحاد (combination) ہے جو ایک ایسی موج دیتا ہے جس کا اسپیس میں ہر ایک نقطے پر بنائو اس نقطہ پر ہر ایک تداخلی موج کے ذریعہ پیدا ہونے والے خلل کا الجبری یاویکٹر حاصل جمع ہوتا ہے۔

کی قدر بہت زیادہ (Maximum) ہو جاتی ہے اور پھر طول موج میں مزید کمی کے ساتھ یہ بھی کم ہونے لگتی ہے جیسا کہ شکل 2.8 میں دکھایا گیا ہے۔



شکل 2.8 طول موج - شدت رشتہ

مندرجہ بالا تجرباتی نتائج کی، روشنی کے لہر نظریہ کی بنیاد پر خاطر خواہ وضاحت نہیں کی جاسکی۔ پلانک نے تجویز کیا کہ ایٹم اور سالمات صرف مجزّہ مقداروں (Discrete quantities) میں ہی توانائی خارج یا جذب کر سکتے ہیں اور ایک لگاتار سلسلے کی شکل میں نہیں، جیسا کہ اس وقت مقبول تصور تھا۔ پلانک نے توانائی کی اس کم ترین مقدار کو جو برق مقناطیسی اشعاع کی شکل میں خارج یا جذب ہو سکتی ہے، کو اٹم (Quantum) کا نام دیا۔ اشعاع کے ایک کو اٹم کی توانائی (E) اس کی فریکوئنسی (ν) کے متناسب ہے اور مساوات 2.6 سے ظاہر کی جاتی ہے:

$$E = h\nu \quad (2.6)$$

تناسبیت مستقلہ 'h' پلانک مستقلہ (Plank's Constant) کہلاتا ہے اور اس کی قدر ہے:  $6.626 \times 10^{-34}$  Js  
اس نظریہ کے ذریعے پلانک، مختلف درجہ حرارت پر، سیاہ جسم سے خارج ہونے والے اشعاع کی شدت کی تقسیم کی فریکوئنسی یا طول موج کے تفاعل کے طور پر وضاحت کرنے میں کامیاب ہوئے۔

#### ضیا برقی اثر (Photoelectric Effect)

1887 میں، ایچ۔ ہرٹز (H-Hertz) نے ایک بہت دلچسپ تجربہ کیا۔ اس تجربہ میں، جب کچھ خاص دھاتوں (مثال کے طور پر پوٹاشیم، روبیڈیم،

طبیعیات (جو کلاسیکی طبیعیات کہلاتی ہے) کے برق مقناطیسی نظریہ کی مدد سے بھی وضاحت نہیں کی جاسکتی۔

(i) گرم اجسام سے خارج ہونے والے اشعاع کی طبع (سیاہ-جسم اشعاع)۔

(ii) دھاتی سطح سے اشعاع کے ٹکرانے پر، الیکٹرانوں کا خارج ہونا (ضیا برقی اثر Photo Electric Effect)۔

(iii) درجہ حرارت کے تفاعل کے طور پر ٹھوس اشیا کی حرارتی گنجائش میں تغیر۔

(iv) ایٹموں کے خطی طیف (Line Spectra)، خاص طور سے ہائیڈروجن کے حوالے سے۔

یہ بات قابل توجہ ہے کہ سیاہ-جسم اشعاع کے مظہر کی ٹھوس وضاحت سب سے پہلے میکس پلانک (Max Planck) نے 1900 میں کی۔ یہ مظہر ذیل میں بیان کیا جا رہا ہے۔

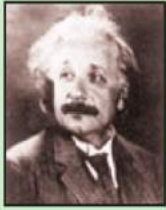
جب ٹھوس اشیا کو گرم کیا جاتا ہے تو وہ اشعاع خارج کرتی ہیں، جس کی طول موج کی رینج بہت زیادہ ہوتی ہے۔ مثال کے طور پر، جب ایک لوہے کی چھڑ کو ایک بھٹی میں گرم کیا جاتا ہے، تو پہلے اس کا رنگ ہلکا سرخ ہوتا ہے اور پھر جیسے جیسے درجہ حرارت میں اضافہ ہوتا ہے، سرخی بھی بتدریج بڑھتی جاتی ہے۔ پھر جب چھڑ کو مزید گرم کیا جاتا ہے، تو خارج ہونے والی شعاعیں سفید ہو جاتی ہیں۔ اور پھر درجہ حرارت بہت زیادہ ہو جاتا ہے تو نیلی ہو جاتی ہیں۔ فریکوئنسی (Frequency) کے لحاظ سے ہم کہہ سکتے ہیں کہ اس کا مطلب ہے خارج ہونے والی شعاعوں کی فریکوئنسی بھی، درجہ حرارت میں اضافہ کے ساتھ، کم قدر سے زیادہ قدر کی طرف تبدیل ہوتی ہے۔ سرخ رنگ، برق مقناطیسی طیف کے کم فریکوئنسی خطے میں آتا ہے۔ جبکہ نیلے رنگ کا تعلق مقابلاً زیادہ فریکوئنسی خطے سے ہے۔ وہ "مثالی

جسم" (Ideal body) جو تمام فریکوئنسی کو خارج کرتا ہے اور جذب کرتا ہے، سیاہ جسم کہلاتا ہے اور ایسے جسم کے ذریعے خارج کیا گیا اشعاع، سیاہ جسم اشعاع کہلاتا ہے۔ سیاہ جسم سے خارج ہوئے اشعاع کی بالکل صحیح فریکوئنسی تقسیم (یعنی اشعاع کی شدت بمقابلہ فریکوئنسی منحنی) صرف اس کے درجہ حرارت پر منحصر ہے۔ ایک دیے ہوئے درجہ حرارت پر، خارج ہونے والے اشعاع کی شدت میں طول موج میں کمی کے ساتھ اضافہ ہوتا ہے، پھر ایک دیے ہوئے طول موج پر اس

کیا

(iii) ہر دھات کے لیے ایک مخصوص کم سے کم فریکوئنسی (جسے دہلیز فریکوئنسی (Threshold Frequency) بھی کہتے ہیں)،  $\nu_0$  ہے جس سے کم فریکوئنسی پر ضیا برقی اثر نہیں دیکھا جاسکتا۔  $\nu > \nu_0$  پر خارج ہوئے الیکٹران کسی حرکی توانائی کے ساتھ باہر آتے ہیں۔ ان الیکٹرانوں کی حرکی توانائیوں میں استعمال کی جانے والی روشنی کی فریکوئنسی میں اضافہ کے ساتھ اضافہ ہوتا ہے۔

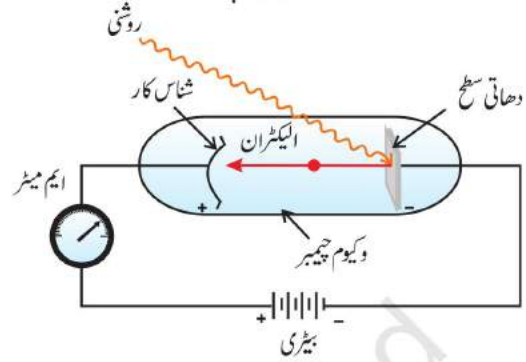
اوپر دیے ہوئے تمام نتائج کی، کلاسیکی طبیعیات کے قوانین کی بنیاد پر وضاحت نہیں کی جاسکتی۔ کلاسیکی طبیعیات کے مطابق روشنی کی شعاع کی توانائی روشنی کی چمک پر منحصر ہے۔ یہ مشاہدہ کیا گیا کہ حالانکہ خارج ہوئے الیکٹرانوں کی فریکوئنسی روشنی کی چمک پر منحصر ہے، لیکن خارج ہوئے الیکٹرانوں کی حرکی توانائی چمک پر منحصر نہیں ہے۔ مثال کے طور پر سرخ روشنی  $\nu = (4.3 \text{ to } 4.6) \times 10^{14} \text{ Hz}$  چاہے کسی بھی چمک (شدت) کی ہو، اگر اسے پوٹاشیم دھات پر گھنٹوں بھی ڈالا جائے، تب بھی کوئی فوٹو الیکٹران خارج نہیں ہوتا، لیکن جیسے ہی بہت کمزور پیلی روشنی  $\nu = 5.1 \text{ to } 5.2 \times 10^{14} \text{ Hz}$  اسی پوٹاشیم چادر پر ڈالی جاتی ہے، ضیا برقی اثر دکھائی دینے لگتا ہے۔ پوٹاشیم دھات کے لیے دہلیز فریکوئنسی (Threshold Frequency)  $5.0 \times 10^{14} \text{ Hz}$  ہے۔



البرٹ آئنسٹائن، جو کہ جرمنی میں پیدا ہوئے امریکی طبیعیات دان تھے، بہت سے لوگ انہیں آج تک کے دو سب سے بڑے طبیعیات دانوں میں شمار کرتے ہیں (دوسرے اسحاق نیوٹن ہیں)۔ ان کے تین

تحقیقی مقالوں نے، [جو مخصوص اضافیت (Special Relativity)، براؤنین حرکت (Brownian Motions) اور ضیا برقی اثر، پر مبنی تھے] جنہیں انہوں نے 1905 میں شائع کرایا، جبکہ وہ برن (Berne) میں سوئٹزرلینڈ آفس (Swiss Patent Office) میں بہ طور ٹیکنیکل اسسٹنٹ ملازم تھے، طبیعیات کی ارتقا پر گہرا اثر ڈالا۔ انہیں 1921 میں، ضیا برقی اثر کی وضاحت کرنے کے لیے نوبل انعام سے نوازا گیا۔

سینیم وغیرہ) پر روشنی کا ایک بیم ڈالا گیا تو الیکٹران (یا برقی کرنٹ) خارج ہوئے، جیسا کہ شکل 2.9 میں دکھایا گیا ہے۔



شکل 2.9 ضیا برقی اثر کا مطالعہ کرنے کے لیے آلات۔ ایک مخصوص فریکوئنسی کی روشنی، وکیوم جیمبر میں رکھی ہوئی صاف دھاتی سطح سے ٹکراتی ہے، دھات سے الیکٹران خارج ہوتے ہیں اور ایک شناس کار کے ذریعے ان کو شمار کیا جاتا ہے جو ان کی حرکی توانائی کی پیمائش کرتا ہے۔

#### میکس پلانک (1858-1947)



میکس پلانک، ایک جرمن طبیعیات دان، نے 1879 میں میونخ یونیورسٹی (Munich University) سے نظریاتی طبیعیات میں ڈاکٹریٹ حاصل کی۔ 1888 میں انہیں برلن یونیورسٹی میں انسٹی ٹیوٹ آف تھیوریٹکل فزکس کا ڈائریکٹر مقرر کیا گیا۔ پلانک کو 1918 میں ان کے کوانٹم نظریہ کے لیے طبیعیات کا نوبل انعام دیا گیا۔ پلانک نے تھرموڈائنمکس (Thermodynamics) اور طبیعیات کی دوسری شاخوں میں بھی اہم تعاون کیا۔

یہ مظہر ضیا برقی اثر کہلاتا ہے اس تجربہ میں مشاہدہ کیے گئے نتائج ہیں:

- دھات کی سطح سے الیکٹران، روشنی کی شعاع کے سطح سے ٹکراتے ہی نکلنے لگتے ہیں، یعنی کہ، روشنی کی شعاع کے دھات کی سطح سے ٹکرانے اور سطح سے الیکٹرانوں کے خارج ہونے میں کوئی درمیانی وقفہ نہیں ہوتا۔
- خارج ہونے والے الیکٹرانوں کی تعداد روشنی کی شدت یا چمک (Brightness) کے متناسب ہے۔

## جدول 2.2 کچھ دھاتوں کے لیے کام فنکشن (W) کی قدریں

| Ag  | Cu  | Mg  | K    | Na  | Li   | دھات            |
|-----|-----|-----|------|-----|------|-----------------|
| 4.3 | 4.8 | 3.7 | 2.25 | 2.3 | 2.42 | $W_0/\text{ev}$ |

فطرت سے ہم آہنگ نہیں تھی، جو مداخل (Interference) اور انحراف (Diffraction) جیسے مظاہر کی وضاحت کر سکتی تھی۔ اس دوہری شکل کو حل کرنے کا واحد طریقہ یہ تھا کہ یہ تسلیم کر لیا جائے کہ روشنی، لہروں اور ذرات جیسی، دونوں طرح کی خاصیتیں رکھتی ہے، یعنی کہ، روشنی کا دہرا طرز عمل ہوتا ہے۔ تجربہ پر انحصار کرتے ہوئے، ہم پاتے ہیں کہ روشنی یا تو ایک لہر کی طرح طرز عمل کا اظہار کرتی ہے یا ایک ذرات کی شعاع کے طور پر طرز عمل کا اظہار کرتی ہے۔ جب بھی اشعاع مادہ سے باہمی عمل کرتا ہے تو یہ ذرات جیسی خاصیتوں کا اظہار کرتی ہے اور جب روشنی کی اشاعت (Propagation) ہوتی ہے تو یہ لہر جیسی خاصیتوں کا اظہار کرتی ہے (مداخل اور انحراف)۔ یہ تصور اس سے بالکل جدا تھا، جس طرح سائنس دان مادے اور اشعاع کے بارے میں سوچتے تھے، اور انھیں اس کی درستی تسلیم کرنے میں لمبا عرصہ لگا۔ پھر یہ معلوم ہوا، جو آپ بعد میں پڑھیں گے، کہ کچھ خوردبینی ذرات (Microscopic Particles)، جیسے الیکٹران بھی، اس لہر۔ ذراتی دہرے طرز عمل کا اظہار کرتے ہیں۔

آئسٹائن (1905) نے، پلانک کے، برقی و مقناطیسی اشعاع کے، کوانٹم نظریہ کو آغازی نکتہ مانتے ہوئے، ضیا برقی اثر کی وضاحت کرنے میں کامیابی حاصل کی۔

ایک دھات کی سطح پر روشنی کے بیم کے ڈالنے کو سمجھا جاسکتا ہے کہ ذرات کا ایک بیم ڈالا جا رہا ہے، جو کہ فوٹان (Photons) ہیں۔ جب ایک کافی توانائی کا فوٹان، دھات کے ایٹم کے ایک الیکٹران سے ٹکراتا ہے، تو وہ، فوری طور پر ٹکراؤ کے دوران، اپنی توانائی الیکٹران کو منتقل کر دیتا ہے اور الیکٹران فوراً، بغیر کسی درمیانی وقفہ کے، خارج ہو جاتا ہے۔ فوٹان کی توانائی جتنی زیادہ ہوگی، الیکٹران کو اتنی ہی زیادہ توانائی منتقل ہوگی اور خارج ہوئے الیکٹران کی حرکی توانائی اتنی ہی زیادہ ہوگی۔ دوسرے لفظوں میں، خارج ہوئے الیکٹران کی حرکی توانائی، برقی مقناطیسی اشعاع کی فریکوئنسی کے متناسب ہے۔ کیونکہ ٹکرائے والے فوٹان کی توانائی  $h\nu$  کے مساوی ہے اور الیکٹران خارج کرنے کے لیے کم ترین درکار توانائی  $h\nu_0$  ہے (جسے ورک فنکشن،  $W_0$  (Work Function) بھی کہتے ہیں) (جدول 2.2)، تب توانائی کا فرق:  $(h\nu - h\nu_0)$  بطور فوٹو الیکٹران کی حرکی توانائی کے طور پر منتقل ہوتا ہے۔ توانائی کی بقا کے اصول کے مطابق خارج ہوئے الیکٹران کی حرکی توانائی مساوات (2.7) سے دی جاتی ہے۔

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

جہاں  $m_e$  الیکٹران کی کمیت ہے اور  $v$  خارج ہوئے الیکٹران کی رفتار ہے۔ آخر میں، روشنی کی ایک زیادہ شدت والی شعاع، فوٹانوں کی زیادہ تعداد پر مشتمل ہوتی ہے۔ اس لیے بمقابلہ اس تجربے کے جس میں کمزور شدت کی شعاع استعمال کی گئی ہو، زیادہ شدت والی شعاع سے الیکٹرانوں کی مقابلاً زیادہ تعداد خارج ہوتی ہے۔

## برقی-مقناطیسی اشعاع کا دھرا طرز عمل

روشنی کی ذراتی فطرت نے سائنسدانوں کے لیے ایک دوہری شکل پیدا کر دی۔ ایک طرف، اس کے ذریعے سیاہ جسم اشعاع اور ضیا برقی اثر کی قابل اطمینان وضاحت کی جاسکتی تھی تو دوسری طرف یہ روشنی کی معلوم لہر

## مسئلہ 2.6

اس اشعاع کے فوٹانوں کے ایک مول کی توانائی کا حساب لگائیے جس کی فریکوئنسی  $5 \times 10^{14} \text{ Hz}$  ہے۔

## حل

ایک فوٹان کی توانائی (E) عبارت سے ظاہر کی جاتی ہے۔

$$E = h\nu$$

$$(\text{دیا ہوا ہے}) \quad \nu = 5 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$$

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}$$

$$E = (6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}) \times (5 \times 10^{14} \text{ s}^{-1})$$

$$= 3.313 \times 10^{-19} \text{ J}$$

فوٹانوں کے ایک مول کی توانائی

سوڈیم سے الیکٹرانوں کا ایک مول خارج کرنے کے لیے درکار کم ترین توانائی

$$= (3.99 - 1.68) 10^5 \text{ J mol}^{-1}$$

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

ایک الیکٹران کے لیے کم ترین توانائی۔

$$= \frac{2.31 \times 10^5 \text{ J mol}^{-1}}{6.022 \times 10^{23} \text{ electrons mol}^{-1}}$$

$$= 3.84 \times 10^{-19} \text{ J}$$

یہ مطابقت رکھتی ہے، طول موج  $\lambda$  سے:

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

$$= \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ J s} \times 3.0 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}}{3.84 \times 10^{-19} \text{ J}}$$

(یہ ہری روشنی سے مطابقت رکھتی ہے)

### مسئلہ 2.9

ایک دھات کے لیے ویلر فریکوئنسی  $\nu_0 = 7.0 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$  ہے۔ اس الیکٹران کی حرکی توانائی کا حساب لگائیے۔ جو  $\nu = 1.0 \times 10^{15} \text{ s}^{-1}$  فریکوئنسی کے اشعاع کے دھات پر پڑنے سے خارج ہوتا ہے۔

حل

آئنسٹائن مساوات کے مطابق:

$$\text{حرکی توانائی} = \frac{1}{2} m_e v^2 = h(\nu - \nu_0)$$

$$= (6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}) \times (1.0 \times 10^{15} \text{ s}^{-1} - 7.0 \times 10^{14} \text{ s}^{-1})$$

$$= (6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}) (10.0 \times 10^{14} \text{ s}^{-1} - 7.0 \times 10^{14} \text{ s}^{-1})$$

$$= (6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}) \times (3.0 \times 10^{14} \text{ s}^{-1})$$

$$= 1.988 \times 10^{-19} \text{ J}$$

### 2.3.3 \* کوٹھی الیکٹران انرجی لیول کے لیے شہادتیں: ایٹمی طیف

#### (Evidence for the Quantized Electronic Energy Levels: Atomic Spectra)

روشنی کی رفتار اس میڈیم کی فطرت پر منحصر ہے، جس سے وہ گزرتی ہے۔ اس کے نتیجے میں، روشنی جب ایک میڈیم سے دوسرے میڈیم میں داخل

$$= (3.313 \times 10^{-19} \text{ J}) \times (6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1})$$

$$= 199.51 \text{ kJ mol}^{-1}$$

### مسئلہ 2.7

ایک 100 واٹ کا بلب، 400 nm طول موج کی ایک رنگ (monochromatic) روشنی خارج کرتا ہے۔ ایک سیکنڈ میں بلب سے خارج ہو رہے فوٹانوں کی تعداد معلوم کیجئے۔

حل

$$\text{بلب کی پاور} = 100 \text{ Watt} = 100 \text{ Js}^{-1}$$

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

$$= \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ J s} \times 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}}{400 \times 10^{-9} \text{ m}}$$

$$= 4.969 \times 10^{-19} \text{ J}$$

خارج ہونے والے فوٹانوں کی تعداد

$$\frac{100 \text{ J s}^{-1}}{4.969 \times 10^{-19} \text{ J}} = 2.012 \times 10^{20} \text{ s}^{-1}$$

### مسئلہ 2.8

جب 300 nm طول موج کا برق مقناطیسی اشعاع سوڈیم کی سطح پر پڑتا ہے۔ تو  $1.68 \times 10^5 \text{ J mol}^{-1}$  کی حرکی توانائی کے ساتھ الیکٹران خارج ہوتے ہیں۔ سوڈیم سے ایک الیکٹران خارج کرنے کے لیے کم از کم کتنی توانائی درکار ہوگی؟ وہ زیادہ سے زیادہ طول موج کیا ہوگی جو ایک فوٹو الیکٹران کو خارج کر سکے۔

حل

$$\text{ایک 300 nm فوٹان کی توانائی (E)}$$

$$h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

$$= \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ J s} \times 3.0 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}}{300 \times 10^{-9} \text{ m}}$$

$$6.625 \times 10^{-19} \text{ J}$$

فوٹانوں کے ایک مول کی توانائی

$$= 6.626 \times 10^{-19} \text{ J} \times 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

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

کرتا ہے تو خارج ہونے والے اشعاع کی طول موج (یا فریکوئنسی) کو ریکارڈ کر لیا جاتا ہے۔

ایک انجذابی طیف اخراجی طیف کے فوٹو گرافک ٹیبلو کی طرح ہے۔ ایک نمونے سے اشعاع کا ایک سلسلہ (Continuum) گزارا جاتا ہے جو مخصوص طول موج کا اشعاع جذب کر لیتا ہے۔ غائب ہوئے طول موج، جو مادہ کے ذریعے جذب کیے گئے اشعاع سے مطابقت رکھتے ہیں، چمکدار مسلسل طیف میں سیاہ خالی جگہیں چھوڑ دیتے ہیں۔

اخراجی یا انجذابی طیف کا مطالعہ طیف پیمائی (Spectroscopy) کہلاتا ہے۔ مرئی روشنی کا طیف، جیسا کہ اوپر بیان کیا جا چکا ہے، مسلسل تھا، کیونکہ اس طیف میں مرئی روشنی کے تمام طول موج (سرخ سے وائلٹ تک) کی نمائندگی ہو رہی تھی۔ گیس کی حالت (Gas Phase) میں ایٹموں کے انجذابی طیف، اس کے برخلاف، سرخ سے وائلٹ تک تمام طول موج کا مسلسل پھیلاؤ نہیں ظاہر کرتا بلکہ یہ صرف مخصوص طول موج کی روشنیاں ہی خارج کرتے ہیں اور ان کے درمیان سیاہ خالی جگہیں ہوتی ہیں۔ ایسے طیف، خطی طیف (Line Spectra) یا ایٹمی طیف کہلاتے ہیں کیونکہ خارج ہوئے اشعاع کی شناخت طیف میں چمکدار خطوط کے ظاہر ہونے کے ذریعے کی جاتی ہے (شکل 2.10)۔

ایلیکٹرونی ساخت کے مطالعے میں خطی اخراجی طیف (Line Emission Spectra) بہت دلچسپی کے حامل ہیں۔ ہر عنصر کا یکتا (Unique) خطی اخراجی طیف ہوتا ہے۔ ایٹمی طیف میں مخصوص خطوط کیمیائی تجزیہ میں غیر معلوم عناصر کو شناخت کرنے کے لیے استعمال کیے جاسکتے ہیں۔ جس طرح انگلیوں کے نشانات کسی شخص کی شناخت کرنے میں استعمال ہوتے ہیں۔ ایک معلوم ایٹم کے اخراجی طیف کے خطوط کا ایک غیر معلوم نمونے کے خطوط سے درست مقابلہ کر کے آخر الذکر کی شناخت کی جاسکتی ہے۔ روبرٹ ہنس (Rober Bunsen) (1811-1899)، ایک جرمن کیمیادان، وہ پہلے شخص تھے جنہوں نے خطی طیف کو عناصر کی شناخت کے لیے استعمال کیا۔

روبیڈیم (Rubidium's Rb)، سیزیم (Caesium' Cs)، تھلیئم (Thallium'Tl) انڈیم (Indium' In) گلیئم (Gallium' Ga) اور اسکینڈیم (Scandium' Sc) جیسے عناصر اس وقت دریافت ہوئے جب ان کی معدنیات (Minerals) کا اسپیکٹرو اسکوپک طریقوں

ہوتی یہ تو اپنے اصل راستے سے منحرف ہو جاتی ہے۔ یہ مشاہدہ کیا گیا ہے کہ جب سفید روشنی کی ایک شعاع کسی پریزم (Prism) میں سے گزاری جاتی ہے، تو مقابلتہ کم طول موج کی لہر زیادہ طول موج والی لہر کے مقابلے میں زیادہ منحرف ہوتی ہے۔ کیونکہ عام سفید روشنی، مرئی رینج کی تمام طول موج پر مشتمل ہوتی ہے، اس لیے سفید روشنی کی ایک شعاع، پریزم میں سے گزرنے پر رنگین پٹیوں (Coloured Bands) کے ایک سلسلے کی شکل میں پھیل جاتی ہے، جسے طیف (Spectrum) کہتے ہیں۔ سرخ رنگ کی روشنی، جس کا طول موج سب سے زیادہ ہے، سب سے کم منحرف ہوتی ہے، جبکہ وائلٹ (Violet) روشنی، جس کا طول موج سب سے کم ہے، سب سے زیادہ منحرف ہوتی ہے۔ سفید روشنی کے طیف کی رینج جسے ہم دیکھ سکتے ہیں، وائلٹ (Violet) سے (تعداد:  $7.50 \times 10^{14}$  Hz) سے سرخ (تعداد:  $4 \times 10^{14}$  hz)، تک ہوتی ہے۔ ایسے طیف کو مسلسل طیف (Continous Spectrum) کہتے ہیں۔ مسلسل اس لیے کہتے ہیں کیونکہ وائلٹ، نیلے میں ضم ہو جاتا ہے، نیلا، ہرے میں اور اسی طرح اور آگے بھی۔ اسی طرح کا ایک طیف اس وقت بھی بنتا ہے جب آسمان میں قوس و قزح بنتی ہے۔ یاد رکھیے کہ مرئی روشنی، برق مقناطیسی اشعاع کا ایک چھوٹا سا حصہ ہے (شکل 2.7)۔ جب برق مقناطیسی اشعاع، مادے سے باہمی دگر عمل کرتا ہے تو ایٹم اور سالمات توانائی جذب کر سکتے ہیں اور توانائی کی مقابلتہ اونچی حالت (High Energy State) پر پہنچ سکتے ہیں۔ مقابلتہ زیادہ توانائی کے ساتھ، یہ غیر مستحکم حالت میں ہوتے ہیں۔ اپنی عام حالت (مقابلتہ زیادہ مستحکم، مقابلتہ کم توانائی کی حالتیں) پر واپس آنے کے لیے، ایٹم اور سالمات، اشعاع خارج کرتے ہیں، جو برق مقناطیسی طیف کے مختلف خطوں سے تعلق رکھتا ہے۔

### اخراج اور انجذاب طیف (Emission and Absorption spectrum)

ایسی شے کے ذریعے خارج کیا گیا طیف جس نے توانائی جذب کی ہے، اخراج طیف (Emission Spectrum) کہلاتا ہے۔ ایٹم، سالمات اور آئین، جنہوں نے توانائی جذب کی ہوتی ہے، مشتعل (Excited) کہلاتے ہیں۔ ایک اخراج طیف پیدا کرنے کے لیے، ایک نمونے (Sample) کو گرم کر کے یا اشعاع ریزی (Irradiated) کر کے، توانائی مہیا کی جاتی ہے اور جب نمونہ جذب شدہ توانائی خارج

کے ناموں پر رکھے گئے ہیں۔ بالمر (Balmer) نے 1885 میں تجرباتی مشاہدات کی بنا پر دکھایا کہ اگر اسپیکٹر واسکوپک خطوط کو لہر عدد ( $\bar{\nu}$ ) کی شکل میں ظاہر کیا جائے، تو ہائیڈروجن طیف کے مرکزی خطوط (Visible Line) مندرجہ ذیل فارمولے کے تابع ہوتے ہیں:

$$(2.8) \quad \bar{\nu} = 109,677 \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \text{ cm}^{-1}$$

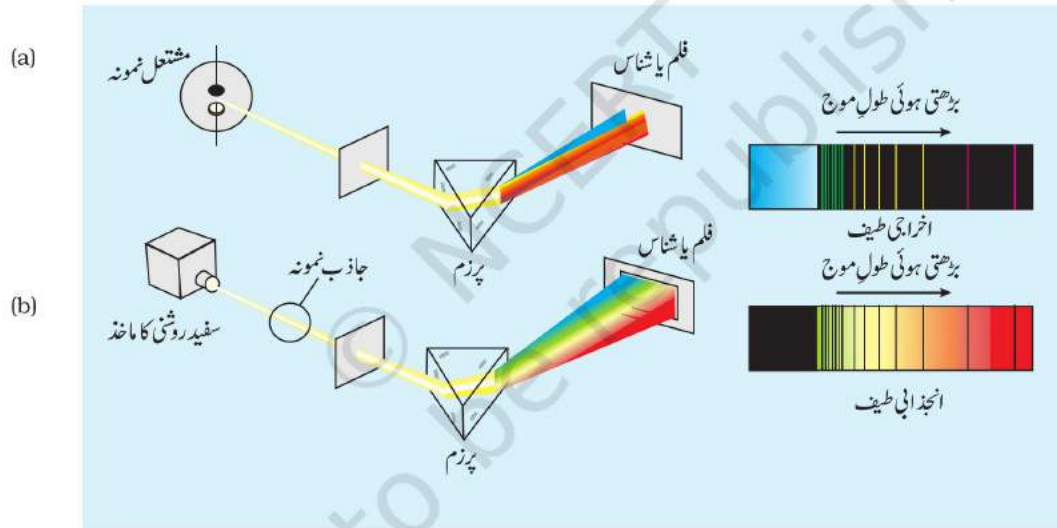
جہاں  $n$  ایک صحیح عدد (Integer) ہے جو 3 کے مساوی یا اس سے بڑا ہو سکتا ہے۔ یعنی  $n = 3, 4, 5, \dots$

اس فارمولہ سے بیان کیے جانے والے خطوط کا سلسلہ بالمر سلسلہ (Balmer Series) کہلاتا ہے۔ ہائیڈروجن کے طیف میں خطوط کا

(Spectroscopic Methods) سے تجزیہ کیا گیا۔ عنصر ہیلیم (Helium 'He) کی سورج میں موجودگی کی دریافت بھی اسپیکٹر واسکوپک طریقوں سے ہوئی۔

### ہائیڈروجن کا خطی طیف (Line Spectrum of Hydrogen)

جب گسی ہائیڈروجن سے ایک برقی ڈسچارج گزارا جاتا ہے، تو  $H_2$  سالمہ کا افتراق (Dissociation) ہو جاتا ہے اور توانائی کے اعتبار سے مشتعل ہائیڈروجن ایٹم، مجرد فریکوئنسی (Discrete Frequencies) کا برق مقناطیسی اشعاع خارج کرتے ہیں۔ ہائیڈروجن طیف خطوط کے کئی سلسلوں پر مشتمل ہوتا ہے۔ جن کے نام انھیں دریافت کرنے والوں

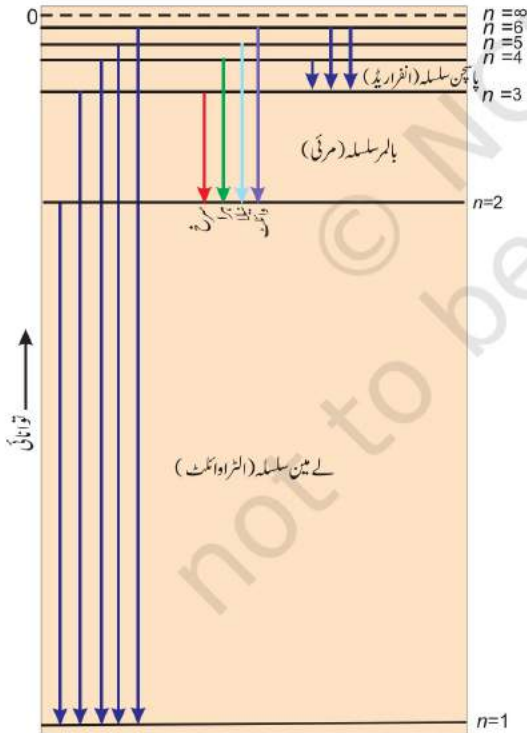


**شکل 2.10 (a) ایٹمی اخراجی مشتعل ہائیڈروجن ایٹموں (یا کسی دوسرے عنصر) کے نمونے سے خارج ہوئی روشنی کو ایک پرزم سے گذارا جاتا ہے اور مخصوص مجرد طول موج میں علیحدہ کر لیا جاتا ہے۔ اس طرح ایک طیف، جو علیحدہ ہوئی طول موج کی فوٹو گرافک ریکارڈنگ ہے، حاصل ہوتا ہے جو خطی طیف کہلاتا ہے۔ ایک مناسب سائز کے کسی بھی نمونے میں ایٹموں کی بہت بڑی تعداد ہوتی ہے۔ حالانکہ ایک واحد ایٹم کسی ایک خاص وقت پر صرف کسی ایک مشتعل حالت میں ہو سکتا ہے، ایٹموں کے مجموعہ میں تمام ممکنہ مشتعل حالتیں شامل ہوتی ہیں۔ ان ایٹموں کے مقابلاً کم توانائی حالتوں میں گرنے سے خارج ہونے والی روشنی طیف کے لیے ذمہ دار ہے۔ (b) ایٹمی انجذاب جب سفید روشنی غیر مشتعل ایٹمی ہائیڈروجن سے گذاری جاتی ہے اور پھر ایک جھری (Slit) اور پرزم (Prism) سے گذاری جاتی ہے تو ترسیل شدہ روشنی (Transmitted Light) کی شدت (Intensity)، انہیں طول موج پر جو (a) میں خارج ہوئی تھیں، کے مقابلے میں کم ہوتی ہے۔ ریکارڈ کیا ہوا انجذابی طیف بھی ایک خطی طیف ہوتا ہے اور اخراجی طیف کا فوٹو گرافک نگینہ ہوتا ہے۔**

(i) ہائڈروجن ایٹم میں الیکٹران، نیوکلیس کے گرد ایک متعین (Fixed) نصف قطر اور توانائی کے دائری راستے پر حرکت کر سکتے ہیں۔ یہ راستے مدار (Orbits)، سکونی حالتیں (Stationary States) یا منظور شدہ توانائی حالتیں (Allowed Energy State) کہلاتے ہیں۔ یہ مدار نیوکلیس کے گرد ہم مرکز شکل (Concentrically) میں مرتب ہوتے ہیں۔

### جدول 2.3: ایٹمی ہائڈروجن کے لیے اسپیکٹر واسکوپک خطوط

| سلسلہ  | $n_1$ | $n_2$     | اسپیکٹر واسکوپک خط |
|--------|-------|-----------|--------------------|
| لے مین | 1     | 2, 3, ... | الٹرا وائلٹ        |
| بالمر  | 2     | 3, 4, ... | مرئی               |
| پاسچن  | 3     | 4, 5, ... | انفراریڈ           |
| بریکٹ  | 4     | 5, 6, ... | انفراریڈ           |
| پی فنڈ | 5     | 6, 7, ... | انفراریڈ           |



شکل 2.11 ہائڈروجن ایٹم میں الیکٹران کا عبور (Transitions) (ڈائیگرام میں ٹرانزیشن کے لیے مین، بالمر اور پاسچن سلسلے دکھائے گئے ہیں)

بالمر سلسلہ ہی وہ واحد خطوط ہیں جو برق مقناطیسی طیف کے مرئی خطے میں ظاہر ہوتے ہیں۔ سوڈن کے ماہر طیف پیا جونس رڈبرگ (Johannes Rydberg) نے بتایا کہ ہائڈروجن طیف کے تمام خطوط کے سلسلے مندرجہ ذیل عبارت سے بیان کیے جاسکتے ہیں:

$$\bar{\nu} = 109,677 \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \text{ cm}^{-1} \quad (2.9)$$

$$n_1 = 1, 2, \dots ;$$

$$n_2 = n_1 + 1, n_1 + 2, \dots$$

قدر  $109,677 \text{ cm}^{-1}$  ہائڈروجن کے لیے رڈبرگ مستقل کہلاتی ہے۔ خطوط کے پہلے پانچ سلسلے، جو  $n_1 = 1, 2, 3, 4, 5$  سے مطابقت رکھتے ہیں، بالترتیب لیمن (Lyman)، بالمر (Balmer)، پاسچن (Paschen)، بریکٹ (Brackett) اور پی فنڈ (P fund) سلسلے کہلاتے ہیں۔ جدول 2.3 میں ہائڈروجن طیف کے لیے ترسیل کے یہ سلسلے دکھائے گئے ہیں۔

تمام عناصر میں ہائڈروجن ایٹم کا خطی طیف سب سے سادہ ہوتا ہے۔ بھاری ایٹموں کے لیے خطی طیف زیادہ سے زیادہ پیچیدہ ہوتا جاتا ہے۔ لیکن کچھ خاصیتیں ہیں جو تمام خطی طیف میں مشترک ہیں: (i) ہر عنصر کا خطی طیف یکتا ہوتا ہے۔ اور (ii) ہر عنصر کے خطی طیف میں ایک باقاعدگی (Regularity) پائی جاتی ہے۔ اب جو سوال پیدا ہوتے ہیں، وہ ہیں: ان مشترک خاصیتوں کی کیا وجوہات ہیں؟ کیا اس کا کچھ تعلق ایٹم کی الیکٹرانی ساخت سے ہے؟ یہ وہ سوال ہیں، جن کے جواب حاصل کرنے کی ضرورت ہے۔ ہم بعد میں معلوم کریں گے کہ ان سوالوں کے جواب ان عناصر کی الیکٹرانی ساخت کو سمجھنے کی کنجی فراہم کرتے ہیں۔

### 2.4 ہائڈروجن ایٹم کے لیے بوہر ماڈل

نیل بوہر (Niels Bohr) وہ پہلے شخص تھے، جنہوں نے ہائڈروجن ایٹم کی ساخت اور اس کے طیف کی مقداری شکل میں وضاحت کی۔ حالانکہ ان کا نظریہ، جدید کوانٹم میکینکس نہیں ہے، پھر بھی یہ ایٹم کی ساخت اور طیف کے کئی نکاتوں کو استدلالی بنانے کے لیے استعمال کیا جاسکتا ہے۔ ہائڈروجن ایٹم کے لیے بوہر ماڈل مندرجہ ذیل بنیادی مفروضات (Postulates) پر مبنی ہے:



**نیلز بوہر (Niels Bohr)**  
(1885-1962)

نیلز بوہر نے، ڈنمارک کے طبیعیات دان تھے، 1911 میں کوپن ہیگن یونیورسٹی (University of Copenhagen) سے ڈاکٹریٹ حاصل کی۔ اس کے بعد انہوں نے ایک سال انگلینڈ میں جے۔جے۔ تھامسن اور ارنیسٹ ردفورڈ کے ساتھ گزارا۔ 1913 میں وہ کوپن ہیگن واپس آگئے اور پھر زندگی کا بقیہ حصہ وہیں گزارا۔ 1920 میں انہیں انسٹی ٹیوٹ آف تھیورٹیکل فزکس کا ڈائریکٹر نامزد کیا گیا۔ پہلی عالمی جنگ کے بعد بوہر نے ایٹمی توانائی کے پرانے استعمال کے لیے بڑی محنت سے کام کیا۔ 1957 میں انہیں پہلا "Atoms for Peace" (امن کے لیے ایٹم) انعام ملا۔ بوہر کو 1922 میں طبیعیات کا نوبل انعام دیا گیا۔

(Integral Multiple) ہو۔ اسی لیے صرف کچھ متعین مدار ہی منظور شدہ ہیں۔

سکونی حالتوں کی توانائی کو وضع (Derive) کرنے کی، بوہر کے ذریعے استعمال کی گئی، تفصیلات کافی پیچیدہ ہیں اور ان سے اعلیٰ درجات میں بحث جائے گی۔ پھر بھی، ہائڈروجن ایٹم کے بوہر کے نظریے کے مطابق:

(a) الیکٹران کی سکونی حالتوں کو عدد دیے جاتے ہیں:  $n = 1, 2, 3, \dots$  یہ صحیح اعداد (Integral Numbers) پر پھیل کو اٹم نمبر (Principal Quantum Numbers) کہلاتے ہیں (سیکشن 2.6.2)۔

(b) سکونی حالتوں کے نصف قطر مندرجہ ذیل طریقے سے ظاہر کیے جاتے ہیں:

$$r_n = n^2 a_0$$

جہاں:  $a_0 = 52.9 \text{ pm}$  اس لیے پہلی سکونی حالت کا نصف قطر بوہر نصف قطر کہلاتا ہے جو کہ  $52.9 \text{ pm}$  ہے۔ عام طور سے ہائڈروجن ایٹم میں الیکٹران اس مدار میں پایا جاتا ہے (یعنی کہ  $n = 1$ )۔ جیسے جیسے  $n$  بڑھتا جاتا ہے،  $r$  بھی بڑھتا جائے گا۔ دوسرے لفظوں میں الیکٹران نیوکلئس سے دور پایا جائے گا۔

(c) الیکٹران سے منسلک سب سے اہم خاصیت، اس کی سکونی حالت کی توانائی ہے۔ یہ مندرجہ ذیل عبارت سے ظاہر کی جاتی ہے:

(ii) ایک مدار میں الیکٹران کی توانائی وقت کے ساتھ تبدیل نہیں ہوتی۔ لیکن ایک الیکٹران، ایک چلی سکونی حالت سے اوپری سکونی حالت میں حرکت کرے گا، جب وہ توانائی کی مطلوبہ مقدار جذب کرے گا یا جب الیکٹران اوپری سکونی حالت سے چلی سکونی حالت میں حرکت کرتا ہے تو توانائی خارج ہوتی ہے (مساوات 2.6)۔  
توانائی کی تبدیلی مسلسل طور پر نہیں ہوتی۔

### زاویائی معیار حرکت

جس طرح خطی تحریک (Linear Momentum) کیت 'm' اور خطی رفتار 'v' کا حاصل ضرب ہے، بالکل اسی طرح زاویائی تحریک، استمراری گردش (Moment of Inertia) اور زاویائی رفتار  $\omega$  (Angular Velocity) کا حاصل ضرب ہے۔ ایک  $m_e$  کیت کے الیکٹران کے لیے، جو نیوکلئس کے گرد،  $r$  نصف قطر کے دائری راستے پر حرکت کر رہا ہے،

$$I \times \omega = \text{زاویائی معیار حرکت (Angular Momentum)}$$

$$I = m_e r^2, \omega = v / r \text{ (جہاں } v \text{ خطی رفتار ہے)}$$

$$I \times \omega = m_e r^2 \times v / r = m_e v r = \text{زاویائی معیار حرکت}$$

(iii) ”سکونی حالتوں کے درمیان، جن کا توانائی کا فرق  $\Delta E$  ہے، جب ٹرانزیشن (Transition) ہوتا ہے تو جذب یا خارج ہونے والے اشعاع کی فریکوئنسی کو اس طرح ظاہر کیا جاتا ہے:

$$(2.10) \quad \nu = \frac{\Delta E}{h} = \frac{E_2 - E_1}{h}$$

جہاں  $E_1$  اور  $E_2$ ، چلی اور اوپری منظور شدہ توانائی حالتوں کی توانائیاں ہیں۔ یہ عبارت عام طور سے بوہر کے فریکوئنسی کے قاعدے کے طور پر جانی جاتی ہے۔

(iv) ایک دی ہوئی سکونی حالت میں ایک الیکٹران کا زاویائی معیار حرکت مساوات (2.11) کے ذریعے ظاہر کیا جاسکتا ہے۔

$$(2.11) \quad m_e v r = n \frac{h}{2\pi} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

اس طرح ایک الیکٹران صرف انہیں مداروں میں حرکت کر سکتا ہے، جن کے لیے اس کا زاویائی معیار حرکت  $h/2\pi$  کا صحیح عددی ضعف

(d) بوہر نظریہ کا اطلاق ان آئینوں پر بھی ہو سکتا ہے، جن میں ہائیڈروجن ایٹم کی طرح صرف ایک الیکٹران ہوتا ہے۔ مثال کے طور پر  $\text{He}^+$ ،  $\text{Li}^{2+}$ ،  $\text{Be}^{3+}$  اور اسی طرح اور اس قسم کے آئینوں سے منسلک (جو ہائیڈروجن جیسی انواع بھی کہلاتے ہیں) سکونی حالتوں کی توانائیاں مندرجہ ذیل عبارت کے ذریعے ظاہر کی جاتی ہیں:

$$(2.14) \quad E_n = -2.18 \times 10^{-18} \left( \frac{Z^2}{n^2} \right) \text{J}$$

اور نصف قطر اس عبارت سے ظاہر کیے جاتے ہیں:

$$(2.15) \quad r_n = \frac{52.9(n^2)}{Z} \text{pm}$$

جہاں  $Z$  ایٹمی عدد ہے اور ہیلیم و لیٹھیم ایٹموں کے لیے اس کی قدر، بالترتیب 2 اور 3 ہے۔ مندرجہ بالا مساوات سے یہ ظاہر ہو جاتا ہے کہ  $Z$  میں اضافے کے ساتھ توانائی کی قدر اور زیادہ منفی ہو جاتی ہے اور نصف قطر کی قدر اور کم ہو جاتی ہے۔ جس کا مطلب ہے کہ الیکٹران نیوکلیس کے ساتھ زیادہ مضبوطی سے بندھا ہوا ہوگا۔

(e) ان مداروں میں حرکت کر رہے الیکٹرانوں کی رفتاروں کا حساب لگانا بھی ممکن ہے۔ حالانکہ بالکل درست مساوات یہاں نہیں دی جارہی ہے، کیفیت کی طور پر، الیکٹران کی رفتار کی عددی قدر میں، نیوکلیس پر مثبت برقی چارج میں اضافہ کے ساتھ، اضافہ ہوتا ہے اور پرنسپل کوئٹم نمبر میں اضافہ کے ساتھ، کمی ہوتی ہے۔

#### 2.4.1 ہائیڈروجن کے خطی طیف کی وضاحت

##### (Explanation of Line Spectrum of Hydrogen)

ہائیڈروجن ایٹم کے مشاہدہ کیے گئے خطی طیف کی (جسے سیکشن 2.3.3 میں بیان کیا گیا ہے) بوہر ماڈل استعمال کرتے ہوئے، مقداری شکل میں وضاحت کی جاسکتی ہے۔ مفروضہ 2 کے مطابق، اشعاع (توانائی) کا انجذاب ہوتا ہے اگر الیکٹران مقابلاً چھوٹے پرنسپل کوئٹم نمبر کے مدار سے بڑے پرنسپل کوئٹم نمبر کے مدار میں حرکت کرے، جبکہ اشعاع (توانائی) خارج ہوتی ہے اگر الیکٹران مقابلاً اونچے مدار سے نیچے مدار میں حرکت کرتا ہے۔ دونوں مداروں کے درمیان توانائی فاصلہ (Energy Gap) مساوات (2.16) سے ظاہر کیا جاتا ہے:

$$(2.13) \quad E_n = -R_H \left( \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

جہاں  $R_H$  ریڈبرگ مستقل کہلاتا ہے اور اس کی قدر  $2.18 \times 10^{-18} \text{J}$  ہے۔ سب سے نیچلی حالت، (جو کہ گراؤنڈ اسٹیٹ (Ground State) بھی کہلاتی ہے) کی توانائی ہے:

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

$n=2$  کے لیے سکونی حالت کی توانائی ہوگی:

$$E_2 = -2.18 \times 10^{-18} \left( \frac{1}{2^2} \right) = -0.545 \times 10^{-18} \text{J}$$

شکل 2.11 میں ہائیڈروجن ایٹم کی مختلف سکونی حالتوں کی توانائیاں یا انرجی لیول دکھائے گئے ہیں۔ یہ اظہار انرجی لیول ڈائیگرام کہلاتا ہے۔

#### ہائیڈروجن ایٹم کے لیے منفی الیکٹران توانائی ( $E_n$ ) کا کیا مطلب ہے؟

ہائیڈروجن ایٹم میں الیکٹران کی توانائی کی علامت تمام ممکنہ مدار کے لیے منفی ہے (مساوات 2.13)۔ یہ منفی علامت کیا ظاہر کرتی ہے؟ اس منفی علامت کا مطلب ہے کہ ایٹم میں الیکٹران کی توانائی، ایک حالت سکون (rest) میں آزاد الیکٹران کی توانائی کے مقابلے میں کم ہوتی ہے۔ حالت سکون میں ایک آزاد (free) الیکٹران، نیوکلیس سے لامتناہی فاصلے پر ہوتا ہے اور اس کے لیے توانائی کی قدر صفر، مخصوص کی گئی ہے۔ ریاضیاتی طور پر، یہ مساوات (2.13) میں  $n = \infty$  رکھنے سے مطابقت رکھتا ہے، اس طرح کہ  $E_{\infty} = 0$  الیکٹران جیسے جیسے نیوکلیس کے قریب تر ہوتا جاتا ہے (جیسے جیسے  $n$  کم ہوتا جاتا ہے)  $E_n$  اپنی مطلق قدر (Absolute Value) میں بڑھتی جاتی ہے اور مزید منفی ہوتی جاتی ہے۔ سب سے زیادہ منفی توانائی کی قدر  $n = 1$  سے دی جاتی ہے، جو سب سے زیادہ مستحکم مدار سے مطابقت رکھتی ہے۔ ہم اسے گراؤنڈ اسٹیٹ (Ground State) کہتے ہیں۔

جب الیکٹران نیوکلیس کے اثر سے آزاد ہوتا ہے تو توانائی کو صفر لیا جاتا ہے۔ اس صورت میں الیکٹران سے،  $n = \infty$  پرنسپل کوئٹم نمبر کی سکونی حالت منسلک کی جاتی ہے۔ جب الیکٹران نیوکلیس کے زیر کشش ہوتا ہے اور مدار  $n$  میں پایا جاتا ہے، تو توانائی خارج ہوتی ہے اور اس کی توانائی کم ہو جاتی ہے۔ مساوات (2.13) میں منفی علامت کی موجودگی کی یہی وجہ ہے اور یہ صفر توانائی کی حوالہ حالت اور  $n = \infty$  کی مناسبت سے اس کے استحکام (Stability) کو ظاہر کرتی ہے۔

کیا

بہت بڑی تعداد حاصل ہوتی ہے۔ اسپیکٹرواسکوپ خطوط کی چمک یا شدت، جذب ہونے یا خارج ہونے والے، یکساں طول موج یا فریکوئنسی کے فوٹانوں کی تعداد پر منحصر ہے۔

### مسئلہ 2.10

ہائڈروجن ایٹم میں  $n=5$  حالت سے  $n=2$  حالت میں ٹرانزیشن کے دوران خارج ہونے والے فوٹان کی طول موج اور فریکوئنسی کیا ہوں گے؟

حل

کیونکہ،  $n_i = 5$  اور  $n_f = 2$  اس لیے یہ ٹرانزیشن، بالمر سلسلہ کے مرکزی خطے میں اسپیکٹرواسکوپ خط دیتا ہے۔ مساوات (2.17) سے

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

$$= -4.58 \times 10^{-19} \text{ J}$$

یہ ایک اخراجی توانائی ہے۔

فوٹان کی فریکوئنسی (توانائی کو اس کی عددی قدر کی شکل میں لیتے ہوئے) مندرجہ ذیل طریقے سے ظاہر کی جاتی ہے۔

$$\nu = \frac{\Delta E}{h}$$

$$= \frac{4.58 \times 10^{-19} \text{ J}}{6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}}$$

$$= 6.91 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

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

### مسئلہ 2.11

$\text{He}^+$  کے پہلے مدار سے منسلک توانائی کا حساب لگائیے۔ اس مدار کا نصف قطر کیا ہے؟

حل

$$E_n = -\frac{(2.18 \times 10^{-18} \text{ J}) Z^2}{n^2} \text{ atom}^{-1}$$

$$E = 1, Z = 2: \text{ لیے } \text{He}^+$$

$$E_1 = -\frac{(2.18 \times 10^{-18} \text{ J})(2^2)}{1^2} = -8.72 \times 10^{-18} \text{ J}$$

(2.16)

$$\Delta E = E_f - E_i$$

مساوات (2.13) اور (2.16) کو ملانے پر

$$\Delta E = \left( -\frac{R_H}{n_f^2} \right) - \left( -\frac{R_H}{n_i^2} \right) \quad (\text{جہاں } n_i \text{ اور } n_f \text{ بالترتیب آغازی}$$

(Initial) اور اختتامی (Final) مداروں کو ظاہر کرتے ہیں۔

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

(2.17)

فوٹان کے انجذاب اور اخراج سے منسلک فریکوئنسی ( $\nu$ ) کو مساوات

(2.18) کی مدد سے معلوم کیا جاسکتا ہے۔

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

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

$$(2.19) \quad = 3.29 \times 10^{15} \left( \frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right) \text{ Hz}$$

اور لہر عدد ( $\bar{\nu}$ ) کی شکل میں:

$$(2.20) \quad \bar{\nu} = \frac{\nu}{c} = \frac{R_H}{hc} \left( \frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right)$$

$$= \frac{3.29 \times 10^{15} \text{ s}^{-1}}{3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}} \left( \frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right)$$

$$(2.21) \quad = 1.09677 \times 10^7 \left( \frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right) \text{ m}^{-1}$$

انجذابی طیف کی صورت میں  $n_f > n_i$  اور قوسین (Paranthesis)

میں دیا ہوا رکن (Term) مثبت ہے اور توانائی جذب ہو رہی ہے۔ دوسری

طرف، اخراجی طیف کی صورت میں:  $n_f < n_i$ ،  $\Delta E$  منفی ہے اور

توانائی خارج ہو رہی ہے۔

عبارت (2.17) اس عبارت جیسی ہے جو ریڈرگ نے اس وقت

دستیاب تجرباتی اعداد و شمار کو استعمال کر کے آزمائشی طور (empirically)

پرواضح (Derive) کی تھی (مساوات 2.9)۔ مزید، ہر ایک اسپیکٹرواسکوپ

خط، چاہے وہ انجذابی طیف میں ہو یا اخراجی طیف میں، ہائڈروجن ایٹم

میں ہونے والے کسی مخصوص ٹرانزیشن (Transition) سے منسلک کیا

جاسکتا ہے۔ اگر ہائڈروجن ایٹم کی بہت بڑی تعداد ہو تو مختلف ممکنہ

ٹرانزیشن کا مشاہدہ کیا جاسکتا ہے اور اس لیے اسپیکٹرواسکوپ خطوط کی بھی

- 1- مادہ کا دہرا طرز عمل
- 2- ہائزبرگ کا عدم یقینی اصول

### 2.5.1 مادہ کا دہرا طرز عمل (Dual Behaviour of Matter)

#### Matter

1924 میں فرانسیسی طبیعیات داں، ڈی۔ براگلی (De Broglie) نے تجویز پیش کی کہ اشعاع کی طرح، مادے کو بھی دوہرے طرز عمل کا اظہار کرنا چاہیے، یعنی کہ ذرہ اور لہر جیسی، دونوں قسم کی خاصیتیں ظاہر کرنا چاہئیں۔ اس کا مطلب ہے کہ جیسے فونان کا معیار حرکت بھی ہوتا ہے اور طولی موج بھی، اسی طرح الیکٹرانوں کا معیار حرکت بھی ہونا چاہیے اور طولی موج بھی۔ اس مماثلت (Analogy) سے، ڈی۔ براگلی نے ایک مادی ذرہ کے طولی موج ( $\lambda$ ) اور معیار حرکت ( $p$ ) کے درمیان مندرجہ ذیل رشتہ دیا:

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{p} \quad (2.22)$$

جہاں  $m$  ذرہ کی کمیت ہے،  $v$  اس کی رفتار ہے اور  $p$  اس کا معیار حرکت ہے۔ ڈی۔ براگلی کی پیشین گوئی تجربہ سے اس وقت ثابت ہوئی جب ایک الیکٹران بیم کے انحراف (Diffraction) کا مشاہدہ کیا گیا۔ اس معلومات کا استعمال الیکٹران مائیکروسکوپ بنانے میں کیا گیا، جو بالکل اسی طرح الیکٹران کی لہریاتی خصوصیت پر منحصر ہے، جس طرح کہ عام

#### لوئس ڈی براگلی (1892-1987)



لوئس ڈی براگلی (Louis de Broglie)، ایک فرانسیسی طبیعیات داں نے 1910 کے شروعاتی برسوں میں بی۔اے کے طالب علم کی حیثیت سے تاریخ کا مطالعہ کیا۔ پہلی عالمی جنگ کے دوران جب ان کی تفرری ریڈیو

ترسیل میں ہوئی تو انھیں سائنس میں دلچسپی پیدا ہوئی۔ انھوں نے پیرس یونیورسٹی (Paris University) سے 1924 میں سائنس میں ڈاکٹریٹ کی ڈگری (Dr. Sc) حاصل کی۔ وہ 1932 سے ملازمت سے سبکدوش ہونے تک (1962)، پیرس یونیورسٹی میں نظریاتی طبیعیات کے پروفیسر رہے۔ انھیں 1929 میں طبیعیات کا نوبل انعام دیا گیا۔

مدار کا نصف قطر مساوات (2.15) سے دیا جاتا ہے:

$$r_n = \frac{(0.0529 \text{ nm})n^2}{Z}$$

کیونکہ:  $n = 1, Z = 2$

$$r_n = \frac{(0.0529 \text{ nm})1^2}{2} = 0.02645 \text{ nm}$$

### 2.4.2 بوہر ماڈل کی حدود

#### (Limitations of Bohr's Model)

بوہر کا ہائڈروجن ایٹم کا ماڈل یقیناً ردِ فورڈ کے نیوکلیائی ماڈل سے بہتر تھا، کیونکہ یہ ایٹم کے استحکام اور ہائڈروجن ایٹم اور ہائڈروجن جیسے آئنوں کے خطی طیفوں کی وضاحت کرنے میں کامیاب تھا۔ لیکن بوہر ماڈل اتنا سادہ تھا کہ مندرجہ ذیل نکات کی وضاحت نہیں کر سکا:

(i) یہ ہائڈروجن ایٹم طیف کی ان باریک تفصیلات کی وضاحت کرنے میں ناکام رہا ڈبلٹ (Doublet) یعنی کہ دو نزدیکی خطوط (جو طیف پیمائی کی اور بہتر تکنیکوں کے استعمال سے سامنے آئیں۔ یہ ماڈل، ہائڈروجن کے علاوہ اور کسی عنصر کے طیف کی وضاحت کر سکنے میں کامیاب نہیں رہا، جیسے ہیلیم ایٹم، جس میں صرف 2 الیکٹران ہوتے ہیں۔ مزید، بوہر کا نظریہ، مقناطیسی میدان کی موجودگی میں (Zeeman Effect) یا برقی میدان (Stark Effect) کی موجودگی میں اسپیکٹرواسکوپک خطوط کی علیحدگی (Splitting) کی بھی وضاحت نہیں کر سکا۔

(ii) یہ ایٹموں کی کیمیائی بندشوں کے ذریعے، سالمات تشکیل دینے کی صلاحیتوں کی وضاحت نہیں کر سکا۔

دوسرے لفظوں میں، اوپر دیے ہوئے نکات کو سامنے رکھتے ہوئے، ہمیں ایک بہتر نظریہ کی ضرورت ہے جو پیچیدہ ایٹموں کی ساخت کی اہم خاصیتوں کی وضاحت کر سکے۔

### 2.5 ایٹم کے کوانٹم میکینکس ماڈل کی سمت

#### (Towards Quantum Mechanical Model of the Atom)

بوہر ماڈل کی خامیوں کے پیش نظر، ایٹموں کے لیے ایک زیادہ مناسب اور عمومی ماڈل تیار کرنے کی کوششیں کی گئیں۔ دو اہم انکشافات، جنھوں نے ایسے ماڈل کی تشکیل میں اہم حصہ لیا وہ تھے:

$$= 812 \text{ ms}^{-1}$$

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}}{(9.1 \times 10^{-31} \text{ kg})(812 \text{ m s}^{-1})}$$

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

#### مسئلہ 2.14

ایک فوٹان کی کمیت معلوم کیجیے، جس کا طول موج  $3.6 \text{ \AA}$  ہے

$$\text{حل: } \lambda = 3.6 \text{ \AA} = 3.6 \times 10^{-10} \text{ m}$$

روشنی کی رفتار = فوٹان کی رفتار

$$m = \frac{h}{\lambda v} = \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}}{(3.6 \times 10^{-10} \text{ m})(3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1})}$$

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

#### 2.5.2 ہائزنبرگ کا عدم یقینی اصول (Heisenberg's Uncertainty Principle)

##### Uncertainty Principle

ایک جرمن طبیعیات داں، ورنر ہائزنبرگ (Werner Heisenberg) نے 1927 میں عدم یقینی اصول (Uncertainty Principle) بیان کیا، جو مادے اور اشعاع کی دہری طبع کا نتیجہ ہے۔ اس کا بیان ہے کہ ”ایک الیکٹران کا بالکل درست مقام اور بالکل درست معیار حرکت (یا رفتار)، ہمہ وقت (simultaneously) معلوم کرنا ناممکن ہے۔“

ریاضیاتی شکل میں اسے مساوات (2.23) کے ذریعے بیان کیا جاسکتا ہے۔

$$(2.23) \quad \Delta x \times \Delta p_x \geq \frac{h}{4\pi}$$

$$\Delta x \times \Delta(mv_x) \geq \frac{h}{4\pi} \quad \text{یا}$$

$$\Delta x \times \Delta v_x \geq \frac{h}{4\pi m} \quad \text{یا}$$

جہاں  $\Delta x$  ذرے کے مقام میں عدم یقینی ہے اور  $\Delta p_x$  (یا  $\Delta v_x$ ) ذرے کے معیار حرکت (یا رفتار) میں عدم یقینی ہے۔ اگر ایک الیکٹران کا مقام زیادہ درجہ کی درستگی صحت کے ساتھ معلوم ہے ( $\Delta x$  چھوٹا ہے) تو

مائیکروسکوپ (خوردبین) میں روشنی کی لہر فطرت کا استعمال کیا جاتا ہے۔ ایک الیکٹران مائیکروسکوپ، جدید سائنسی تحقیق میں استعمال ہونے والا ایک موثر آلہ ہے کیونکہ اس کے ذریعے تقریباً  $15$  ملین گنا تکبیر (Magnification) حاصل کی جاسکتی ہے۔

یہ نوٹ کرنا بہت اہم ہے کہ ڈی۔ براگلی کے مطابق، حرکت کرتی ہوئی ہر ایک شے میں لہر خاصیت پائی جاتی ہے۔ عام اشیاء سے منسلک طول موج اتنے چھوٹے ہیں (ان کی زیادہ کمیت کی وجہ سے) کہ ان کی لہر خاصیت شناس نہیں کی جاسکتی۔ الیکٹران اور دوسرے ذیلی ایٹمی ذرات (جن کی کمیت بہت کم ہوتی ہے) سے منسلک طول موج کو تجربات کے ذریعے شناس کیا جاسکتا ہے۔ مندرجہ ذیل مسئلہ سے حاصل ہونے والے نتائج اس تکنیک کو کیفیتی طور سے ثابت کرتے ہیں۔

#### مسئلہ 2.12

$0.1 \text{ kg}$  کمیت کی ایک گیند کی طول موج کیا ہوگی، جبکہ وہ  $10 \text{ ms}^{-1}$  کی رفتار سے حرکت کر رہی ہو۔

حل

ڈی براگلی مساوات (2.22) کے مطابق

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}}{(0.1 \text{ kg})(10 \text{ m s}^{-1})}$$

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

#### مسئلہ 2.13

ایک الیکٹران کی کمیت  $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$  ہے۔ اگر اس کی حرکی توانائی  $3.0 \times 10^{-25} \text{ J}$  ہے تو اس کے طول موج کا حساب لگائیے۔

حل

کیونکہ

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

$$v = \left( \frac{2 \text{K.E.}}{m} \right)^{1/2} = \left[ \frac{2 \times 3.0 \times 10^{-25} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2}}{(9.1 \times 10^{-31} \text{ kg})} \right]^{1/2}$$

اور اگر ہمیں یہ بھی معلوم ہو کہ اُس لمحہ وقت پر اس کی رفتار کیا ہے اور اس پر کون سی قوتیں کام کر رہی ہیں، تو ہم بتا سکتے ہیں کہ کچھ دیر بعد، ایک دوسرے لمحہ وقت پر، وہ جسم کہاں ہوگا۔ اس لیے ہم یہ نتیجہ اخذ کرتے ہیں کہ ایک شے کا مقام اور اس کی رفتار، اس شے کا خط حرکت متعین کرتے ہیں۔ کیونکہ ایک ذیلی ایٹمی شے جیسے ایک الیکٹران، کے لیے یہ ممکن نہیں ہے، کہ کسی دیے ہوئے لمحہ وقت پر، اس کا مقام اور اس کی رفتار، ہمہ وقت (Simultaneously) ایک اختیاری (Arbitrary) درستی صحت (Precision) کے ساتھ معلوم کی جاسکے، اس لیے ایک الیکٹران کے خط حرکت کی بات کرنا بھی ممکن نہیں ہے۔

ہائزنبرگ کے عدم یقینی اصول کا اثر صرف خوردبینی اشیا (Microscopic Objects) کے لیے ہی اہم ہے اور کلاں اشیا (Macro Objects) کے لیے قابلِ نظر انداز ہے۔ اسے مندرجہ ذیل مثال سے سمجھا جاسکتا ہے۔

اگر عدم یقینی اصول کا اطلاق ایک ایسی شے پر کیا جائے، جس کی کمیت، مان لیجیے، ایک ملی گرام ( $10^{-6}$  kg) کے قریب ہے، تو

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

$$\Delta v \cdot \Delta x = \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}}{4 \times 3.1416 \times 10^{-6} \text{ kg}} \approx 10^{-28} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

حاصل ہوئی  $\Delta v \cdot \Delta x$  کی قدر بہت زیادہ چھوٹی ہے لہذا غیر اہم ہے۔ اس لیے ہم کہہ سکتے ہیں کہ ملی گرام ٹاپ کی یا اس سے بھاری اشیا کے ساتھ منسلک عدم یقینی حقیقی قابلِ لحاظ اثر نہیں ڈالتیں۔

دوسری طرف، ایک الیکٹران جیسے خوردبینی ذرہ کے لیے، حاصل ہونے والی  $\Delta v \cdot \Delta x$  کی قدر اس سے کہیں زیادہ ہے اور عدم یقینی حقیقت میں موثر ہیں۔ مثال کے طور پر، ایک الیکٹران، جس کی کمیت  $9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$  ہے، کے لیے، ہائزنبرگ عدم یقینی اصول کے مطابق:

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

$$= \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}}{4 \times 3.1416 \times 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}}$$

$$= 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

الیکٹران کی رفتار غیر یقینی ہوگی [ $\Delta(v_x)$  بڑا ہوگا]۔ دوسری طرف اگر الیکٹران کی رفتار درستی صحت کے ساتھ معلوم ہے، [ $\Delta(v_x)$  چھوٹا ہے] تو الیکٹران کا مقام غیر یقینی ہوگا ( $\Delta x$  بڑا ہوگا)۔ اس لیے اگر ہم الیکٹران کا مقام اور اس کی رفتار معلوم کرنے کے لیے کوئی طبعی پیمائش کریں تو نتیجہ میں حاصل ہونے والی تصویر ہمیشہ دھندلی اور غیر واضح ہوگی۔

عدم یقینی اصول کو ایک مثال کے ذریعے سب سے اچھی طرح سمجھا جاسکتا ہے۔ فرض کیجیے کہ آپ کو ایک کاغذ کی موٹائی ایسی میٹر چھڑ سے ناپنے کے لیے کہا گیا ہے، جس پر نشانات لگے ہوئے نہیں ہیں۔ ظاہر ہے کہ آپ جو نتائج حاصل کریں گے وہ بہت زیادہ غیر درست اور بے معنی ہوں گے۔ کچھ بھی درستی صحت حاصل کرنے کے لیے، آپ کو چاہیے کہ آپ ایسا آلہ استعمال کریں، جس پر کاغذ کی موٹائی سے چھوٹی اکائیوں کے نشانات لگے ہوں۔ اس مماثلت کے مطابق، ایک الیکٹران کا مقام معلوم کرنے کے لیے ہمیں ایسی میٹر چھڑ استعمال کرنا لازمی ہے جس میں لگے ہوئے نشانات کی اکائیاں، الیکٹران کے ابعاد (Dimension) سے چھوٹی ہوں۔ (یہ بات ذہن میں رکھیں کہ الیکٹران کو ایک نقطہ چارج مانا جاتا ہے اور اس لیے اس کا کوئی ابعاد نہیں ہیں)۔ ایک الیکٹران کا مشاہدہ کرنے کے لیے ہمیں اسے روشنی یا برق مقناطیسی اشعاع سے منور کرنا پڑے گا۔ ضروری ہے کہ استعمال کی جانے والی روشنی کا طول موج الیکٹران کے ابعاد سے چھوٹا ہو۔ ایسی روشنی کے زیادہ معیار حرکت والے فوٹان  $[p = \frac{h}{\lambda}]$ ، الیکٹرانوں سے ٹکرا کر ان کی توانائی تبدیل کر دیں گے۔ اس عمل کے دوران، ہم بے شک، الیکٹران کے مقام کا حساب تو لگا سکیں گے، لیکن تصادم کے بعد الیکٹران کی رفتار کے بارے میں بہت کم جان سکیں گے۔

### عدم یقینی کے اصول کی اہمیت (Significance of Uncertainty Principle)

ہائزنبرگ کے عدم یقینی کے اصول کا ایک اہم نتیجہ یہ ہے کہ یہ الیکٹران اور اس جیسے دوسرے ذرات کے متعین راستوں اور خطوط حرکت (Trajectories) کی موجودگی کو خارج کرتا ہے۔ ایک شے کا خط حرکت، مختلف لمحات پر، اس کے مقام اور اس کی رفتار کے ذریعے معلوم کیا جاتا ہے۔ اگر ہمیں یہ معلوم ہو کہ ایک خاص لمحہ وقت پر ایک جسم کہاں ہے

ورنر ہائزنبرگ (1901-1976) نے 1923 میں میونخ یونیورسٹی سے طبیعیات میں پی۔ایچ۔ڈی۔ کی سند حاصل کی۔ اس کے بعد انہوں نے ایک برس گوٹنجن (Göttingen) میں میکس بورن کے ساتھ اورتین برس کوپن ہیگن میں نیلس بوہر کے ساتھ کام کرتے ہوئے گزارے۔ وہ 1927 سے 1941 تک لیپزگ (Leipzig) یونیورسٹی میں طبیعیات کے پروفیسر رہے۔ عالمی جنگ II کے دوران ہائزنبرگ کی اینم بم پر جرمن ریسرچ کے انچارج رہے۔ جنگ کے بعد انہیں گوٹنجن میں میکس پلانک انسٹی ٹیوٹ فار فزکس کا ڈائریکٹر نامزد کیا گیا۔ وہ ایک ماہر کوہ پیما بھی تھے۔ ہائزنبرگ کو 1932 میں طبیعیات کا نوبل انعام دیا گیا۔



### مسئلہ 2.16

ایک گولف گیند کی کمیت 40g اور چال 45 m/s ہے۔ اگر چال 2% کی درستی صحت کے ساتھ ناپی جاسکتی ہے، تو اس کے مقام میں عدم یقینی کا حساب لگائیے۔

حل

چال میں عدم یقینی ہے، 2%، یعنی کہ

$$45 \times \frac{2}{100} = 0.9 \text{ m s}^{-1}$$

مساوات: (2.2) استعمال کرتے ہوئے

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

$$= \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}}{4 \times 3.14 \times 40 \text{ g} \times 10^{-3} \text{ kg g}^{-1} (0.9 \text{ m s}^{-1})}$$

$$= 1.46 \times 10^{-3} \text{ m}$$

یہ تقریباً ایک ایٹمی نیوکلیس کے قطر سے تقریباً  $10^{18}$  گنا چھوٹی ہے۔ جیسا کہ اوپر بیان کیا جا چکا ہے، بڑے ذرات کے لیے، عدم یقینی اصول، پیمائشوں کی درستی صحت کے لیے کوئی بامعنی حدود نہیں قائم کرتا۔

بوہر ماڈل کی ناکامی کے اسباب (Reasons for the

Failure of the Bohr Model)

اب ہم بوہر ماڈل کی ناکامی کے اسباب سمجھ سکتے ہیں۔ بوہر ماڈل میں ایک الیکٹران کو ایک چارج شدہ ذرہ مانا جاتا ہے۔ جو نیوکلیس کے گرد دائری مداروں میں حرکت کر رہا ہے۔ بوہر ماڈل میں الیکٹران کی لہر فطرت کا لحاظ نہیں رکھا جاتا۔ مزید یہ کہ مدار ایک بہ خوبی معرف راستہ ہے اور اس

اس کا مطلب ہے کہ اگر کوئی شخص الیکٹران کا مقام، صرف  $10^{-8} \text{ m}$  کی عدم یقینی کے ساتھ، معلوم کرنا چاہتا ہے، تو اس کی رفتار میں عدم یقینی  $\Delta v$  ہوگی:

$$\frac{10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}}{10^{-8} \text{ m}} \approx 10^{+4} \text{ m s}^{-1}$$

جو اتنی زیادہ ہے کہ بوہر کے مداروں (متعین) میں گھومتے ہوئے الیکٹرانوں کی کلاسیکی تصویر درست نہیں ہو سکتی۔ اس کا مطلب ہے کہ الیکٹرانوں کے مقام اور ان کی رفتار کے بالکل درست پیمانوں کو، احتمال (Probability) کے ان بیانات سے تبدیل کرنا ہوگا۔ جو الیکٹران کے لیے دیے ہوئے مقام یا معیار حرکت کا ہے۔ ایٹم کے کوانٹم میکینیکل ماڈل میں یہی ہوتا ہے۔

### مسئلہ 2.15

ایک ایٹم میں  $0.1 \text{ \AA}$  کے فاصلے کے اندر ایک الیکٹران کا مقام متعین کرنے کے لیے ایک خوردبین استعمال کیا جاتا ہے، جس میں مناسب فوٹان استعمال کیے جاتے ہیں۔ اس کی رفتار کی پیمائش میں کتنی عدم یقینی شامل ہوگی؟

حل

$$\Delta x \Delta p = \frac{h}{4\pi} \text{ or } \Delta x m \Delta v = \frac{h}{4\pi}$$

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

$$\Delta v = \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}}{4 \times 3.14 \times 0.1 \times 10^{-10} \text{ m} \times 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}}$$

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

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

ایک اسٹریائی طبیعیات دان، ارون شرو  
ڈنگر (Erwin Schrodinger) نے

1910 میں نظریاتی طبیعیات میں وینا  
یونیورسٹی (University of Vienna)

میں پی۔ایچ۔ڈی کی سند  
حاصل کی۔ 1927 میں شروڈنگر نے

برلن یونیورسٹی میں میکس پلانک  
(Max Planck) کی درخواست پر ان

کی جگہ لی۔ 1933 میں شروڈنگر  
نے برلن چھوڑ دیا کیونکہ وہ ہٹلر اور نازی پالیسیوں کے

خلاف تھے اور 1936 میں آسٹریا واپس لوٹ آئے۔ آسٹریا میں  
جرمنی کی فوجی لٹروائی کے بعد شروڈنگر کو زبردستی

پروفیسر شپ سے ہٹا دیا گیا۔ وہ پھر ڈبلن، آئرلینڈ  
(Dublin-Ireland) چلے گئے اور وہاں 7 سال تک رہے۔

1933 میں انھیں پی۔ایم۔ایم۔ ڈیراک (P.A.M. Dirac) کے  
ساتھ نشہ کہ طور پر طبیعیات کے نوبل انعام سے نوازا گیا۔ کر



ارون شروڈنگر  
(1857-1961)

کوآٹم میکینکس کی بنیادی مساوات شروڈنگر نے دی اور اس کے لیے  
انھیں 1933 میں نوبل انعام سے نوازا گیا۔ یہ مساوات جس میں، جیسا  
کہ ڈی براگلی نے تجویز کیا تھا، مادے کی لہر ذرہ دوئی (Duality)  
شامل ہے، کافی پیچیدہ ہے اور اسے حل کرنے کے لیے اعلیٰ ریاضی کی  
معلومات درکار ہے۔ آپ مختلف نظاموں کے لیے اس کے حل اعلیٰ  
جماعتوں میں سیکھیں گے۔

ایک ایسے نظام کے لیے (جیسا کہ ایک ایٹم یا ایک سالمہ، جس کی  
توانائی وقت کے ساتھ تبدیل نہیں ہوتی)، شروڈنگر مساوات اس طرح لکھی  
جاتی ہے:  $\hat{H}\psi = E\psi$  جہاں  $\hat{H}$  ایک ریاضیاتی آپریٹر (Operator)  
ہے جو ہمیلٹونین (Hamiltonian) کہلاتا ہے۔ شروڈنگر نے اس آپریٹر  
کو نظام کی کل توانائی کی عبارت سے تشکیل دینے کی ایک ترکیب بتائی۔  
نظام کی کل توانائی میں تمام ذیلی ذرات (ایلیکٹران، نیوکلیس) کی حرکی  
توانائیاں، ایلیکٹرانوں اور نیوکلیوں کے درمیان کشش مضمر  
(Attractive Potential) اور ایلیکٹرانوں نیز نیوکلیوں کے درمیان،  
علیحدہ علیحدہ، دافع مضمر (Repulsive Potential) شامل ہیں۔ اس  
مساوات کا حل  $E$  اور  $\psi$  دیتا ہے۔

راستہ کی مکمل طور پر تعریف صرف اسی وقت کی جاسکتی ہے، جبکہ بالکل ایک  
ہی وقت پر ایلیکٹران کا مقام اور اس کی رفتار دونوں معلوم ہوں۔ یہ  
ہائزنبرگ کے عدم یقینی اصول کے مطابق ممکن نہیں ہے۔ اس لیے  
ہائڈروجن ایٹم کا بوہر ماڈل نہ صرف مادے کے دھڑے طرز عمل  
کو نظر انداز کرتا ہے، بلکہ ہائزنبرگ کے عدم یقینی اصول کی  
تغلیظ بھی کرتا ہے۔ بوہر ماڈل کی ان بنیادی خامیوں کے پیش نظر،  
بوہر ماڈل کی توسیع دوسرے عناصر کے لیے کرنے کی کوئی وجہ نہیں تھی۔ دراصل،  
ایٹم کی ساخت کے اس ادراک کی ضرورت تھی جو مادہ کے لہر ذرہ دہرے پن  
کو سمجھا سکے اور ہائزنبرگ کے عدم یقینی اصول سے ہم آہنگ ہو۔ یہ کوآٹم  
میکینکس (Quantum Mechanics) کے ظہور سے ممکن ہو سکا۔

## 2.6 ایٹم کا کوآٹم میکینکس ماڈل (Quantum Mechanical Model of Atom)

کلاسیکی مکانک، جو نیوٹن کے حرکت کے قوانین پر مبنی ہے، تمام کلاسیکی  
جیسے گرتا ہوا پتھر، مدار میں چکر لگاتے ہوئے سیارے، وغیرہ کی حرکت کو  
کامیابی کے ساتھ بیان کرتی ہے، جن کا طرز عمل صرف ذرات کی طرح  
کا ہوتا ہے، جیسا کہ پچھلے باب میں بیان کیا گیا ہے۔ لیکن کلاسیکی میکینکس  
اس وقت ناکام ہو جاتی ہے، جب اس کا اطلاق خوردبینی اشیا جیسے  
ایلیکٹران، ایٹم، سالمات وغیرہ پر کیا جاتا ہے۔ اس کی خاص وجہ یہ ہے کہ  
کلاسیکی مکانک، خاص طور پر ذیلی ایٹمی ذرات کے لیے مادہ کے دہرے  
طرز عمل اور عدم یقینی اصول کو نظر انداز کر دیتی ہے۔ سائنس کی وہ شاخ جو  
مادے کے اس دہرے طرز عمل کا لحاظ رکھتی ہے، کوآٹم میکینکس کہلاتی ہے۔  
کوآٹم میکینکس ایک نظریاتی سائنس ہے، جس میں ان خوردبینی اشیا  
کا، جو موج اور ذرہ دونوں طرح کی خاصیتوں کا اظہار کرتی ہیں، مطالعہ کیا  
جاتا ہے۔ یہ حرکت کے ان قوانین کو متعین کرتی ہے جو ان اشیا پر لاگو  
ہوتے ہیں۔ جب کوآٹم کا اطلاق کلاسیکی اشیا پر کیا جاتا ہے۔ (جن کے لیے  
لہریاتی خاصیتیں غیر اہم ہیں) تو وہی نتائج حاصل ہوتے ہیں جو کلاسیکی  
مکانک سے حاصل ہوتے ہیں۔

کوآٹم میکینکس کو 1926 میں ورنر ہائزنبرگ اور ارون شروڈنگر  
نے، علیحدہ علیحدہ کام کرتے ہوئے فروغ دیا۔ لیکن یہاں ہم اس کوآٹم  
میکینکس سے بحث کریں گے جو موج حرکت کے تصورات پر مبنی ہے۔

سکشن 2.6.3 اور 2.6.4 میں)، ہائڈروجن یا ہائڈروجن جیسی انواع کے برخلاف، جن کی توانائیاں صرف کوٹھی عدد  $n$  پر منحصر ہیں، کثیر الیکٹرانی ایٹموں کی توانائیاں کوٹھی اعداد  $n$  اور  $l$  پر منحصر ہیں۔

### ایٹم کے کوٹھی میکینیکل ماڈل کی اہم خاصیتیں

ایٹم کا کوٹھی میکینیکل ماڈل، ایٹم کی ساخت کی وہ تصویر ہے۔ جو ایٹموں پر شرودنگر مساوات کے اطلاق سے ابھرتی ہے۔ ایٹم کے کوٹھی میکینیکل ماڈل کی اہم خصوصیات مندرجہ ذیل ہیں:

1- ایٹموں میں الیکٹرانوں کی توانائی کوٹھی ہوتی ہے (یعنی کہ اس کی صرف کچھ مخصوص قدریں ہو سکتی ہیں)، جبکہ ایٹم میں الیکٹران نیوکلئس سے بندھے ہوتے ہیں۔

2- کوٹھی الیکٹرانز لیبول کی موجودگی الیکٹرانوں کی لہر جیسی خاصیتوں کا براہ راست نتیجہ ہے اور یہ شرودنگر مساوات کے تسلیم شدہ حل (Allowed Solutions) ہیں۔

3- ایک ایٹم میں ایک الیکٹران کا قطعی مقام (Exact Position) اور اس کی قطعی رفتار، دونوں ہمہ وقت (Simultaneously) نہیں معلوم کیے جاسکتے (ہائزبرگ عدم یقینی اصول)۔ اس لیے، ایٹم میں ایک الیکٹران کا راستہ کبھی بھی درستی صحت کے ساتھ نہیں معلوم کیا جاسکتا۔ اسی وجہ سے، جیسا کہ آپ آگے دیکھیں گے، ہم صرف ایک ایٹم میں، اس کے مختلف نقاط پر الیکٹران کے پائے جانے کے احتمال کی بات کرتے ہیں۔

4- ایک ایٹمی ارٹھل، کسی ایٹم میں الیکٹران کے لیے لہر تفاعل  $\psi$  ہے۔ جب بھی کسی الیکٹران کو ایک لہر تفاعل کے ذریعے بیان کیا جاتا ہے، تو ہم کہتے ہیں کہ الیکٹران اس ارٹھل کو گھیرے ہوئے یا اس ارٹھل میں ہے۔ کیونکہ ایک الیکٹران کے لیے ایسے بہت سے لہر-تفاعلات ممکن ہیں، اس لیے ایک ایٹم میں کئی ایٹمی ارٹھل ہوتے ہیں۔ یہ "ایک الیکٹران ارٹھل لہر تفاعل" یا ارٹھل ایٹموں کی الیکٹران ساخت کی بنیاد تشکیل دیتے ہیں۔ ہر ارٹھل میں، الیکٹران کی ایک متعین توانائی ہوتی ہے۔ ایک ارٹھل میں دو سے زیادہ الیکٹران نہیں ہو سکتے۔ ایک کثیر الیکٹران ایٹم میں الیکٹران مختلف ارٹھل میں، توانائی کی بڑھتی ہوئی ترتیب میں، بھرے ہوتے ہیں۔ اس لیے ایک کثیر الیکٹران ایٹم کے ہر الیکٹران کے لیے ایک ارٹھل لہر-تفاعل ہونا چاہیے جو اس ارٹھل کی خاصیت ہو جس میں الیکٹران پایا

### ہائڈروجن ایٹم اور شرودنگر مساوات (Hydrogen Atom and the Schrodinger Equation)

جب ہائڈروجن ایٹم کے لیے شرودنگر مساوات حل کی جاتی ہے، تو حل وہ تمام ممکنہ انرجی لیول مہیا کرتا ہے جہاں الیکٹران پائے جاسکتے ہیں اور ہر انرجی لیول سے منسلک الیکٹران سے مطابقت رکھنے والا لہر-تفاعل (Wave Function) بھی حاصل ہوتا ہے۔ یہ کوٹھی توانائی حالتیں اور ان کے نظیری لہر-تفاعل، جن کی خاصیتیں تین کوٹھی اعداد کے ایک سیٹ سے بیان کی جاتی ہیں (پرنسپل کوٹھی نمبر  $n$ ، سمت راسی (Azimuthal) کوٹھی عدد  $l$  اور مہٹا طبعی کوٹھی عدد  $m_l$ ) جو شرودنگر مساوات کے حل میں قدرتی نتائج کے طور پر حاصل ہوتے ہیں۔ جب ایک الیکٹران کسی بھی توانائی حالت میں ہوتا ہے، تو اس توانائی حالت کے نظیری لہر تفاعل الیکٹران کے بارے میں تمام معلومات رکھتا ہے۔ لہر تفاعل ایک ریاضیاتی تفاعل ہے، جس کی قدر ایٹم میں الیکٹران کے کوآرڈینیٹ (Coordinates) پر مبنی ہے اور اس کے کوئی طبعی معنی نہیں ہوتے۔ ہائڈروجن یا ہائڈروجن جیسی انواع (جن میں ایک الیکٹران ہوتا ہے) کے لیے لہر تفاعل ایٹمی ارٹھل (Atomic Orbitals) کہلاتے ہیں۔ ایسے موج-تفاعلات جو ایک الیکٹران نوع سے متعلق ہوتے ہیں، ایک الیکٹران نظام کہلاتے ہیں۔ ایک ایٹم کے اندر کسی ایک نقطے پر الیکٹران کے پائے جانے کا احتمال، اس نقطے پر  $|\psi|^2$  کے متناسب ہوتا ہے۔ ہائڈروجن ایٹم کے کوٹھی میکینیکل نتائج، کامیابی کے ساتھ، ہائڈروجن ایٹم طیف کے تمام پہلوؤں کی پیشین گوئی کرتے ہیں اور ساتھ ہی ان مظاہر کی وضاحت بھی کرتے ہیں جن کی وضاحت بوہر ماڈل نہیں کر سکا تھا۔

کثیر-الیکٹران ایٹموں پر شرودنگر مساوات کے اطلاق میں ایک دشواری پیش آتی ہے: کثیر الیکٹران ایٹم کے لیے شرودنگر مساوات کو بالکل درستی کے ساتھ حل نہیں کیا جاسکتا۔ اس مشکل پر تقریبی طریقوں (Approximate Methods) کو استعمال کر کے قابو پایا جاسکتا ہے۔ جدید کمپیوٹروں کی مدد سے کی گئی ایسی تحسیبات سے ظاہر ہوتا ہے کہ ہائڈروجن کے علاوہ دوسرے ایٹموں کے ارٹھل، اوپر بیان کیے گئے ہائڈروجن ارٹھل سے بنیادی طور پر مختلف نہیں ہوتے۔ خاص فرق نیوکلئی چارج میں اضافے کے نتائج کی وجہ سے ہوتا ہے۔ اس کی وجہ سے تمام ارٹھل کچھ سکڑ جاتے ہیں۔ مزید، جیسا کہ آپ آگے دیکھیں گے (ذیلی

$$n = 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ \dots\dots\dots$$

$$\text{شیل} = K \ L \ M \ N \ \dots\dots\dots$$

$n$  میں اضافہ کے ساتھ  $l$  کے سائز میں اضافہ ہوتا ہے۔ دوسرے لفظوں میں الیکٹران نیوکلئس سے زیادہ فاصلے پر پایا جائے گا۔ کیونکہ منفی چارج شدہ الیکٹران کو مثبت چارج شدہ نیوکلئس سے دور لے جانے میں توانائی درکار ہوگی، اس لیے  $n$  میں اضافہ کے ساتھ،  $l$  کی توانائی میں اضافہ ہوگا۔

سمت راس کوٹمی عدد 'l' (Azimuthal Quantum Number)   
 (Orbital Angular Momentum) یا ذیلی کوٹمی عدد (Subsidiary Quantum Number) بھی کہلاتا ہے۔

یہ مدراجہ کی سہ ابعادی شکل کو معرف کرتا ہے۔  $n$  کی ایک دی ہوئی قدر کے لیے،  $l$  کی  $n$  قدریں ہو سکتی ہیں، جن کی وسعت 0 سے  $(n-1)$  تک ہوتی ہے۔ یعنی کہ  $n$  کی ایک دی ہوئی قدر کے لیے  $l$  کی ممکنہ قدریں ہیں:  $l = 0, 1, 2, \dots, (n-1)$    
 مثال کے طور پر، اگر  $n = 1$  ہے تو  $l$  کی قدر صرف 0 ہے۔  $n=2$  کے لیے،  $l$  کی ممکنہ قدریں 0 اور 1 ہیں  $n=3$  کے لیے،  $l$  کی ممکنہ قدریں 0، 1 اور 2 ہیں۔

ہر ایک شیل ایک یا اس سے زیادہ ذیلی شیل یا سب لیول (Sub Level) پر مشتمل ہوتا ہے۔ ایک پرنسپل شیل (Principal Shell) میں ذیلی شیل کی تعداد  $n$  کے مساوی ہوتی ہے۔ مثال کے طور پر پہلے شیل ( $n=1$ ) میں صرف ایک تحت شیل ہوتا ہے، جو  $l = 0$  سے مطابقت رکھتا ہے۔ دوسرے شیل ( $n = 2$ ) میں دو ذیلی شیل ( $l = 0, 1$ ) ہوتے ہیں، تیسرے شیل ( $n = 3$ ) میں 3 ذیلی شیل ( $l = 0, 1, 2$ ) ہوتے ہیں، اور اسی طرح ہر ذیلی شیل کو ایک راس سمت کوٹمی عدد ( $l$ ) دیا جاتا ہے۔  $l$  کی مختلف قدروں سے مطابقت رکھنے والے ذیلی شیل مندرجہ ذیل علامتوں سے ظاہر کیے جاتے ہیں۔

$$l : 0 \ 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ \dots$$

$$s \ p \ d \ f \ g \ h \ \dots$$

جدول 2.4 میں ایک دیے ہوئے پرنسپل کوٹم نمبر کے لیے  $l$  کی مباح (Permissible) اقدار اور نظیری ذیلی شیل ترسیم دی گئی ہے۔

جائے۔ ایک ایٹم میں الیکٹران کے بارے میں تمام معلومات اس کے  $l$  اور  $n$  کوٹم نمبروں سے حاصل کرنا ممکن ہو جاتا ہے۔

5۔ ایک ایٹم کے اندر کسی ایک نقطہ پر الیکٹران کے پائے جانے کا احتمال، اس نقطہ پر  $l$  اور  $n$  کے مربع کے راست تناسب ہے، یعنی کہ  $|l|^2$  کو بہ طور احتمال کثافت (Probability density) جانا جاتا ہے اور یہ ہمیشہ مثبت ہوتی ہے۔ ایک ایٹم میں مختلف نقاط پر  $|l|^2$  کی قدر کے ذریعے، نیوکلئس کے ارد گرد اس خطے کی پیشین گوئی کرنا ممکن ہے جہاں الیکٹران کے پائے جانے کا احتمال سب سے زیادہ ہے۔

### 2.6.1 اور کوٹم نمبر (Orbitals and Quantum Numbers)

ایک ایٹم میں  $l$  اور  $n$  کی ایک بڑی تعداد ممکن ہے۔ کیفیت طور پر (Qualitatively) ان  $l$  اور  $n$  میں امتیاز ان کے سائز، شکل اور تشریق (Orientation) کے ذریعے کیا جاسکتا ہے۔ ایک مقابلاً کم سائز کے  $l$  اور  $n$  کا مطلب ہے کہ الیکٹران کا نیوکلئس کے نزدیک پائے جانے کا امکان زیادہ ہے۔ اسی طرح سے شکل اور تشریق کا مطلب ہے کہ الیکٹران کا کسی ایک سمت میں، دوسری سمتوں کے مقابلے میں، پائے جانے کا احتمال زیادہ ہے۔ ایٹمی  $l$  اور  $n$  میں امتیاز، کوٹمی اعداد کے ذریعے کیا جاتا ہے۔ ہر  $l$  اور  $n$  کو تین کوٹمی عدد دیے جاتے ہیں، جنہیں  $l$ ،  $n$  اور  $m_l$  نام دیے جاتے ہیں۔

پرنسپل کوٹم نمبر  $n$ ، ایک مثبت صحیح عدد ہے اور اس کی قدریں ہو سکتی ہیں!  $n = 1, 2, 3, \dots$    
  $n$  پرنسپل کوٹم نمبر  $l$  کا سائز اور بڑی حد تک اس کی توانائی کا تعین کرتا ہے۔ ہائڈروجن ایٹم اور ہائڈروجن جیسے انواع کے لیے ( $Li^{2+}$ ،  $He^{+}$ ، وغیرہ)  $l$  اور  $n$  کی توانائی اور اس کا سائز صرف  $n$  پر منحصر ہے۔

پرنسپل کوٹم نمبر، شیل (Shell) کی بھی شناخت کرتا ہے۔  $n$  کی قدر میں اضافہ کے ساتھ، تسلیم شدہ  $l$  اور  $n$  کی تعداد میں اضافہ ہوتا ہے۔ اور یہ تعداد  $n^2$  سے ظاہر کی جاتی ہے۔  $n$  کی ایک دی ہوئی قدر کے تمام  $l$  اور  $n$  کا ایک واحد شیل تشکیل دیتے ہیں اور یہ مندرجہ ذیل حروف سے ظاہر کیے جاتے ہیں:

کیا

اس لیے  $l = 0$  کے لیے  $m_l$  کی مباح قدر صرف  $m_l = 0$  ہے۔  
 $m_l = -2, -1, 0, +1$  کے لیے:  $2(0)+1=2$  (ایک s اوربل)  $l = 2$  کے لیے:  $2(2)+1=5$  (پانچ d اوربل) یہ نوٹ کرنا چاہیے کہ  $m_l$  کی قدریں  $l$  سے اخذ کی جاتی ہیں اور  $l$  کی قدر  $n$  سے اخذ کی جاتی ہے۔  
 اس لیے، ایٹم میں ہر اوربل  $l, n$  اور  $m_l$  کی قدروں کے ایک سیٹ کے ذریعے معرف کیا جاتا ہے۔ ایک اوربل جو:  $n = 2, l = 1, m_l = 0$  سے بیان کیا جاتا ہے وہ دوسرے شیل کے  $p$  ذیلی شیل میں ایک اوربل ہے۔ مندرجہ ذیل چارٹ ذیلی شیل اور اس سے منسلک اوربل کی تعداد کے درمیان رشتہ ظاہر کرتا ہے۔

| 5   | 4   | 3   | 2   | 1   | 0   | $l$ کے لیے قدر |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------------|
| $h$ | $g$ | $f$ | $d$ | $p$ | $s$ | ذیلی شیل ترسیم |
| 11  | 9   | 7   | 5   | 3   | 1   | اوربل کی تعداد |

الیکٹران اسپن 's': ایک ایٹمی اوربل کو لیبل کرنے والے یہ تین کوٹھی اعداد  $(n, l, m_l)$  اس کی توانائی، اور تشریق (Orientation) کی تعریف کرنے کے لیے بھی بہ خوبی استعمال کیے جاسکتے ہیں۔ لیکن یہ تینوں اعداد، کثیر الیکٹرونی نظاموں میں حاصل ہونے والے خطی طیف کی وضاحت کرنے کے لیے کافی نہیں ہیں، کیونکہ کچھ خطوط دراصل ڈبلٹ (Doublet) (دو خطوط جو ایک دوسرے کے بہت قریب ہیں)، ٹرپلٹ

#### جدول 2.4 ذیلی شیل علامتیں

| ذیلی شیل ترسیم | $l$ | $n$ |
|----------------|-----|-----|
| 1s             | 0   | 1   |
| 2s             | 0   | 2   |
| 2p             | 1   | 2   |
| 3s             | 0   | 3   |
| 3p             | 1   | 3   |
| 3d             | 2   | 3   |
| 4s             | 0   | 4   |
| 4p             | 1   | 4   |
| 4d             | 2   | 4   |
| 4f             | 3   | 4   |

مقناطیسی اوربل کوٹھم نمبر (Magnetic Orbital Quantum)

$m_l$  کوآرڈینیٹ محوروں کے معیاری سیٹ (Standard Set of Coordinate Axes) کے لحاظ سے اوربل کی مکانی تشریق (Spatial Orientation) کے بارے میں معلومات فراہم کرتا ہے۔ کسی بھی ذیلی شیل کے لیے (جو  $l$  قدر سے معرف کیا جاتا ہے)،  $m_l$  کی  $2l + 1$  قدریں ممکن ہیں اور یہ دی جاتی ہیں:

$$m_l = -l, -(l-1), -(l-2), \dots, 0, 1, \dots, (l-2), (l-1), l$$

#### اربٹ، اوربل اور اس کی اہمیت

اربٹ اور اوربل ہم معنی نہیں ہیں۔ ایک اربٹ، جیسا کہ بوہر نے تجویز کیا تھا: نیوکلئیس کے گرد ایک دائری راستہ ہے، جس پر الیکٹران حرکت کرتا ہے۔ بازنبرگ کے عدم یقینی قانون کے مطابق الیکٹران کے اس راستہ کو بالکل درست طور پر بیان کرنا ناممکن ہے۔ بوہر کے اربٹ کا، اس لیے کوئی اصل معنی نہیں ہے اور ان کی موجودگی کا کبھی بھی تجربے کے ذریعے مظاہرہ نہیں کیا جاسکتا۔ دوسری طرف، ایک ایٹمی اوربل ایک کوٹھم میکینیکل تصور ہے اور ایک ایٹم میں الیکٹران کے لہر تفاعل سے متعلق ہے۔ اس کی خاصیتیں تین کوٹھی اعداد  $(n, l, m_l)$  سے ظاہر کی جاتی ہیں اور اس کی قدر الیکٹران کے کوآرڈینیٹ سیٹ پر منحصر ہے۔ بذات خود  $\psi$  کے کوئی طبعی معنی نہیں ہوتے۔ یہ لہر۔ تفاعل کا مربع، یعنی کہ  $|\psi|^2$  ہے، جس کے طبعی معنی ہیں۔ ایک ایٹم میں کسی بھی نقطے پر  $|\psi|^2$ ، اس نقطہ پر احتمال کثافت کی قدر ہے۔ احتمال کثافت  $|\psi|^2$  احتمال فی اکائی حجم ہے اور  $|\psi|^2$  اور ایک چھوٹے حجم (جو حجم عنصر کہلاتا ہے) کا حاصل ضرب ہے جس سے اس حجم میں الیکٹران کے پائے جانے کا احتمال حاصل ہوتا ہے (ایک چھوٹے حجم عنصر کو متعین کرنے کی وجہ یہ ہے کہ اسپیس (Space) میں ایک خطے سے دوسرے خطے تک  $|\psi|^2$  تبدیل ہوتا رہتا ہے لیکن ایک چھوٹے حجم عنصر میں اس کی قدر کو مستقل مانا جاسکتا ہے)۔ پھر دیے ہوئے حجم میں الیکٹران کے پائے جانے کے کل احتمال کا حساب  $|\psi|^2$  اور اس سے مطابقت رکھنے والے حجم عنصر کے تمام حاصل ضرب کو جمع کر کے لگایا جاسکتا ہے۔ بس اس طرح سے ایک اوربل میں الیکٹران کی احتمالی تقسیم (Probable Distribution) حاصل کرنا ممکن ہے۔

(iii)  $m_l$  ارٹل کی تشریق مقرر کرتا ہے۔  $l$  کی ایک دی ہوئی قدر کے لیے  $m_l$  کی  $(2l + 1)$  قدریں ہوتی ہیں، اتنی ہی جتنی کہ ارٹل کی تعداد فی ذیلی شیل ہوتی ہے۔ اس کا مطلب ہے کہ ارٹل کی تعداد ان طریقوں کی تعداد کے مساوی ہے جتنی طرح سے ان کی تشریق کی جاسکتی ہے۔

(iv)  $m_s$  الیکٹران کی اسپن کی تشریق سے متعلق ہے۔

(Triplets) (تین خطوط جو بہت قریب قریب ہیں) وغیرہ کی شکل میں ظاہر ہوتے ہیں۔ یہ ان چند مزید انرجی لیول کی موجودگی تجویز کرتا ہے، جن کی پیشین گوئی تین کوآٹمی اعداد کرتے ہیں۔

1925 میں، جارج اوہلن بیک (George Uhlenbeck) اور سیمویل گاؤڈاسٹ (Samuel Goudsmit) نے ایک چوتھے کوآٹمی عدد کی موجودگی تجویز کی، جو الیکٹران اسپن کوآٹمی عدد ( $m_s$ ) کے طور پر جانا جاتا ہے۔ ایک الیکٹران اپنے محور پر گھومتا ہے، بالکل اسی طرح، جس طرح زمین سورج کے گرد چکر لگاتے ہوئے، اپنے محور پر گھومتی ہے۔ دوسرے لفظوں میں ایک الیکٹران کا برقی چارج اور کمیت کے ساتھ ساتھ ذاتی اسپن زاویائی کوآٹم نمبر (Intrinsic Spin Angular Quantum Number) بھی ہوتا ہے۔ الیکٹران کا اسپن زاویائی معیار ایک سمتیہ مقدار ہے جس کی منتخب کیے گئے محور کی نسبت سے، دو تشریقات (Orientations) ہو سکتی ہیں۔ ان دو تشریقات میں امتیاز، اسپن کوآٹمی عدد  $m_s$  کے ذریعے کیا جاتا ہے، جس کی دو قدریں:  $+\frac{1}{2}$  اور  $-\frac{1}{2}$  ہو سکتی ہیں۔ یہ الیکٹران کی دو اسپن حالتیں (Spin States) کہلاتی ہیں اور عام طور سے دو تیروں کے ذریعے ظاہر کی جاتی ہیں:  $\uparrow$  (اسپن اوپر) اور  $\downarrow$  (اسپن نیچے)۔ ایسے دو الیکٹران جن کی  $m_s$  قدریں مختلف ہوں (ایک  $+\frac{1}{2}$  اور دوسری  $-\frac{1}{2}$ ) مخالف اسپن (Opposite Spin) کے الیکٹران کہلاتے ہیں۔ ایک ارٹل میں دو سے زیادہ الیکٹران نہیں پائے جاسکتے اور ان دونوں الیکٹرانوں کی اسپن بھی ایک دوسرے کے مخالف ہونا چاہیے۔

خلاصہ کے طور پر، یہ چار کوآٹمی اعداد مندرجہ ذیل اطلاعات فراہم کرتے ہیں:

(i)  $n$  شیل کی تعریف بیان کرتا ہے ارٹل کا سائز متعین کرتا ہے اور بڑی حد تک ارٹل کی توانائی بھی متعین کرتا ہے۔

(ii)  $n^{\text{th}}$  شیل میں  $n$  ذیلی شیل ہوتے ہیں۔  $l$  ذیلی شیل کی شناخت کرتا ہے اور ارٹل کی شکل متعین کرتا ہے (دیکھیے سیکشن 2.6.2)۔ ایک ذیلی شیل میں ہر ایک قسم کے  $(2l + 1)$  ارٹل ہوتے ہیں، یعنی کہ، ایک  $s$  ارٹل ( $l = 0$ )، تین  $p$  ارٹل ( $l = 1$ ) اور پانچ  $d$  ارٹل ( $l = 2$ )، فی ذیلی شیل کچھ حد تک  $l$  بھی، ایک کثیر الیکٹران ایٹم میں ارٹل کی توانائی متعین کرتا ہے۔

### مسئلہ 2.17

پرنسپل کوآٹم نمبر  $n = 3$  سے منسلک ارٹل کی کل تعداد کیا ہوگی؟

حل

$n = 3$  کے لیے  $l$  کی ممکنہ قدریں: 0, 1, 2 ہیں۔ اس لیے ایک  $3s$  ارٹل ( $m_l = 0$  اور  $n = 3, l = 0$ ) ہوگا، تین  $3p$  ارٹل ( $m_l = -1, 0, +1$  اور  $n = 3, l = 1$ ) ہوں گے اور پانچ  $3d$  ارٹل ( $m_l = -2, -1, 0, +1, +2$  اور  $n = 3, l = 2$ ) ہوں گے۔

اس لیے ارٹل کی کل تعداد:  $1 + 3 + 5 = 9$ ۔  
یہی قدر مندرجہ ذیل رشتے کو استعمال کر کے بھی حاصل کی جاسکتی ہے:  
 $n^2 = 3^2 = 9$  ارٹل کی تعداد

### مسئلہ 2.18

$f, d, p, s$  علامتوں کو استعمال کرتے ہوئے مندرجہ ذیل کوآٹمی اعداد کے ارٹل بیان کیجیے۔

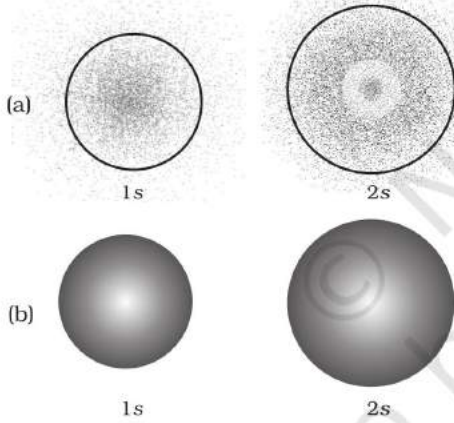
- (a)  $n = 2, l = 1$ , (b)  $n = 4, l = 0$ ,  
(c)  $n = 5, l = 3$ , (d)  $n = 3, l = 2$

حل

| ارٹل | $l$ | $n$ |     |
|------|-----|-----|-----|
| $2p$ | 1   | 2   | (a) |
| $4s$ | 0   | 4   | (b) |
| $5f$ | 3   | 5   | (c) |
| $3d$ | 2   | 3   | (d) |

بڑھنا شروع کر دیتی ہے۔ ایک چھوٹے میکزیما (Maxima) پر پہنچنے کے بعد  $r$  کی قدر میں مزید اضافہ ہونے پر، یہ پھر کم ہونے لگتی ہے اور صفر کے قریب پہنچ جاتی ہے۔ وہ نقطہ جس میں احتمال کثافت تفاعل کم ہو کر صفر ہو جاتا ہے، نوڈل سطحیں (Nodel Surface) یا صرف نوڈ کہلاتا ہے۔ عمومی شکل میں، یہ معلوم ہوا ہے کہ  $ns$ -اربل کے  $(n - 1)$  نوڈ ہوتے ہیں، یعنی کہ نوڈ کی تعداد میں، پرنپل کوآرڈینٹ نمبر  $n$  میں اضافے کے ساتھ اضافہ ہوتا ہے۔ دوسرے لفظوں میں،  $2s$ -اربل کے لیے نوڈ کی تعداد ایک ہوگی،  $3s$  کے لیے دو ہوگی اور اسی طرح آگے بھی۔

اس احتمال کثافت تغیر کو چارج۔ بادل ڈائیگراموں [شکل 2.13(a)] کے ذریعے سمجھا جاسکتا ہے۔ ان ڈائیگراموں میں، ایک خطے میں نقطوں (Dots) کی کثافت اس خطے میں الیکٹران احتمال کثافت کو ظاہر کرتی ہے۔



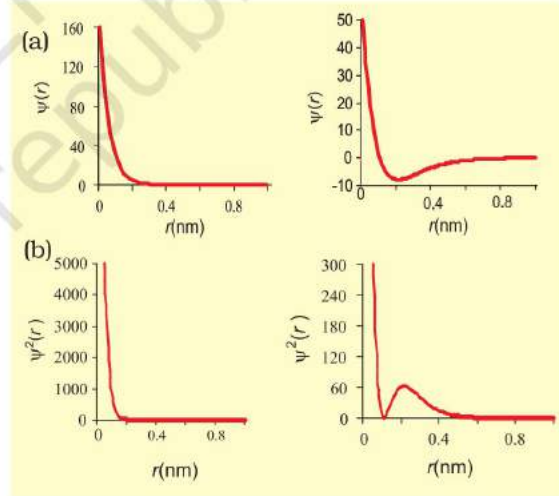
شکل 2.13 (a)  $1s$  اور  $2s$  ایٹمی اربل کے احتمال کثافت پلاٹ نقطوں کی کثافت، اس خطے میں الیکٹران کے پائے جانے کی احتمال کثافت کو ظاہر کرتی ہے (b)  $1s$  اور  $2s$  اربل کے لیے باؤنڈری سطح ڈائیگرام

مختلف اربل کے لیے مستقل احتمال کثافت کے باؤنڈری۔ سطح ڈائیگرام (Bondary Surface Diagrams) اربل کی شکل کو بہتر طریقے سے ظاہر کرتے ہیں۔ اس اظہار میں ایک اربل کے لیے اسپیس (Space) میں ایک ایسی باؤنڈری سطح یا حدود نما سطح (Contour Surface) کھینچی جاتی ہے، جس پر احتمال کثافت  $|\psi|^2$  کی قدر مستقل ہوتی ہے۔ اصولی طور پر ایسی کئی باؤنڈری سطحیں ممکن ہو سکتی ہیں۔ لیکن،

## 2.6.2 ایٹمی اربل کی شکلیں (Shapes of Atomic Orbitals)

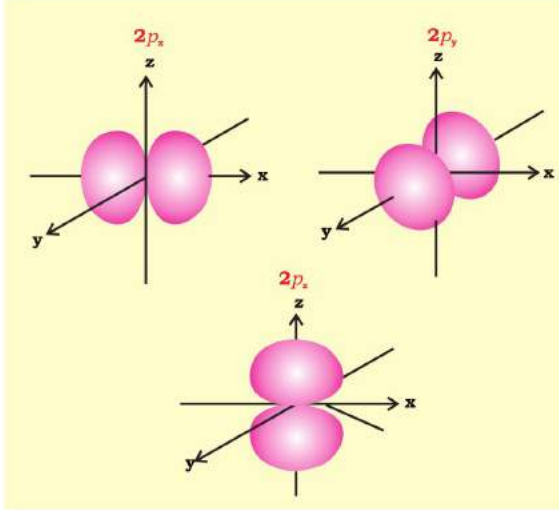
کسی ایٹم میں ایک الیکٹران کے لیے اربل لہر تفاعل  $\psi$  کے کوئی طبعی معنی نہیں ہیں۔ یہ صرف الیکٹران کے کوآرڈینیٹ کا ایک ریاضیاتی تفاعل ہے۔ تاہم مختلف اربل کے لیے، ان سے مطابقت رکھنے والے لہر تفاعلات کے گراف  $r$  کے تفاعل کے طور پر (نیوکلیس سے فاصلہ) مختلف ہوتے ہیں۔ [شکل 2.12(a)] میں  $1s$  ( $n = 1, l = 0$ ) اور  $2s$  ( $n = 2, l = 0$ ) اربل کے لیے ایسے گراف دیے گئے ہیں۔

جرمن طبیعیات دان، میکس بورن کے مطابق، ایک نقطہ پر لہر تفاعل کا مربع، اس نقطہ پر الیکٹران کی احتمال کثافت دیتا ہے۔  $\psi^2$  میں  $r$  کے تفاعل کے طور پر تغیر شکل 2.12 (b) میں دکھایا گیا ہے ( $1s$  اور  $2s$  اربل کے لیے)۔ یہاں بھی آپ دیکھ سکتے ہیں کہ  $1s$  اور  $2s$  کے لیے منحنی (curves) مختلف ہیں۔



شکل 2.12 (a) اربل لہر تفاعل  $\psi(r)$  کا گراف (b)  $1s$  اور  $2s$  اربل کے لیے الیکٹران کے نیوکلیس سے فاصلہ  $r$  کے تفاعل کے طور پر، احتمال کثافت  $\psi^2(r)$  کا تغیر۔

یہ نوٹ کیا جاسکتا ہے کہ  $1s$  اربل کے لیے، احتمال کثافت نیوکلیس پر سب سے زیادہ (Maximum) ہوتی ہے اور جیسے جیسے ہم اس سے دور جاتے ہیں، یہ تیزی سے کم ہوتی جاتی ہے۔ دوسری طرف،  $2s$  اربل کے لیے، احتمال کثافت پہلے تیزی سے کم ہوتی ہوئی صفر ہو جاتی ہے اور پھر



شکل 2.14 تین 2p اوربٹل کے لیے باؤنڈری سطح ڈائیگرام

اور توانائی متماثل ہیں۔ لیکن ان کے Lobes کی تشریق مختلف ہوتی ہے۔ کیونکہ یہ مانا جاسکتا ہے کہ Lobes x, y, اور z محوروں میں سے کسی ایک محور کی سمت میں ہوں گے، اس لیے انھیں  $2p_x$ ,  $2p_y$ , اور  $2p_z$  سے ظاہر کیا جاتا ہے۔ لیکن یہ سمجھ لینا چاہیے کہ  $m_l$  کی اقدار (1, 0, 1) اور x, y, z سمتوں میں کوئی سادہ رشتہ نہیں ہے۔ ہمارے لیے اتنا یاد رکھنا کافی ہے کہ، کیونکہ  $m_l$  کی تین ممکنہ قدریں ہیں، اس لیے تین p اوربٹل ہیں، جن کے محور باہم عمود (Mutually Perpendicular) ہیں۔ s اوربٹل کی طرح پرنسپل کوآٹم نمبر میں اضافہ کے ساتھ p اوربٹل کی توانائی اور ان کے سائز میں بھی، اضافہ ہوتا ہے، اس لیے مختلف p اوربٹل کی مزید، s اوربٹل کی طرح، p اوربٹل کے لیے بھی احتمال کثافت تفاعل بھی، صفر اور لامتناہی فاصلے کے علاوہ بھی، نیوکلیس سے فاصلہ بڑھنے کے ساتھ، صفر قدر سے گزرتا ہے۔ نوڈ کی تعداد (n - 2) سے دی جاتی ہے، یعنی کہ 3p اوربٹل کے لیے نصف قطری نوڈ (Radial Node) کی تعداد 1 ہوگی، 4p کے لیے دو اور اسی طرح آگے بھی۔

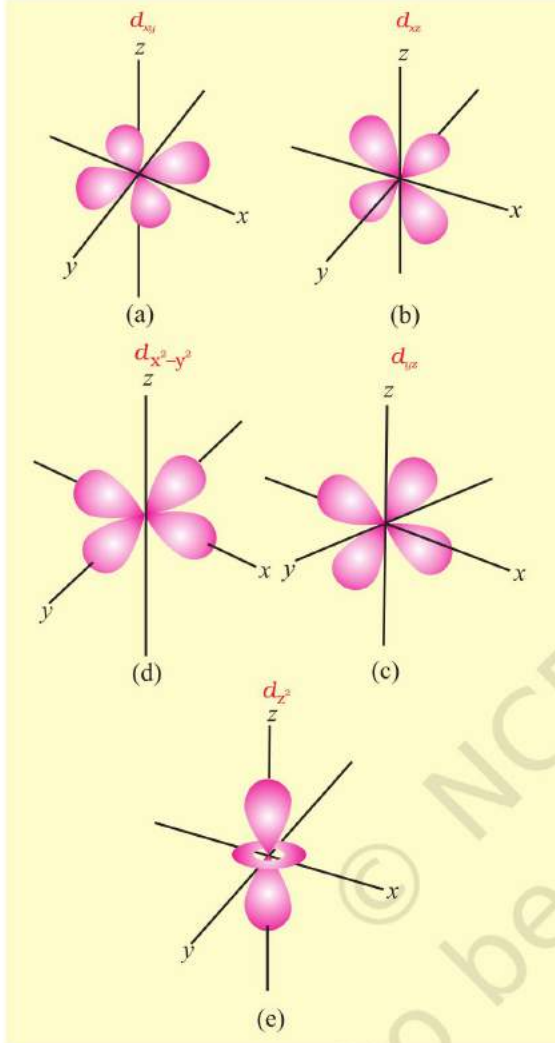
2 کے لیے، اوربٹل، d-اوربٹل کے طور پر جانا جاتا ہے۔ پرنسپل کوآٹم نمبر کی کم از کم قدر 3 ہو سکتی ہے، کیونکہ 1 کی قدر n - 1 سے زیادہ

ایک دیے ہوئے اوربٹل کے لیے، مستقل احتمال کثافت \* کی صرف اسی باؤنڈری سطح ڈائیگرام کو اوربٹل کی شکل کا اچھا اظہار مانا جاتا ہے جو ایسے خطے یا حجم کو گھیرتی ہے، جس میں الیکٹران کے پائے جانے کا احتمال بہت زیادہ ہو، جیسے 90% - 1s اور 2s اوربٹل کے لیے باؤنڈری سطح ڈائیگرام شکل 2.13(b) میں دیے گئے ہیں۔ کوئی بھی یہ سوال کر سکتا ہے کہ ہم ایسی باؤنڈری سطح ڈائیگرام کیوں نہیں کھینچتے، جس میں الیکٹران کے پائے جانے کا احتمال 100% ہو؟ اس سوال کا جواب یہ ہے کہ نیوکلیس سے کسی بھی متناہی (Finite) فاصلے پر احتمال کثافت  $|\psi|^2$  کی ہمیشہ کچھ نہ کچھ قدر ہوتی ہے، چاہے وہ کتنی ہی چھوٹی کیوں نہ ہو۔ اس لیے یہ ممکن نہیں ہے کہ ایک متناہی سائز کا ایسی باؤنڈری سطح ڈائیگرام کھینچا جاسکے، جس میں الیکٹران کے پائے جانے کا احتمال 100% ہو۔ s اوربٹل کے لیے باؤنڈری سطح ڈائیگرام دراصل ایک کرہ (Sphere) ہے، جس کا مرکز نیوکلیس ہے۔ دو ابعاد میں یہ کرہ ایک دائرہ کی طرح معلوم ہوتا ہے۔ یہ ایسے خطے کو گھیرتا ہے، جس میں الیکٹران کے پائے جانے کا احتمال تقریباً 90% ہے۔

اس لیے، ہم دیکھتے ہیں کہ 1s اور 2s اوربٹل کی شکل کروی ہوتی ہے۔ دراصل، تمام s-اوربٹل کروی طور پر متشاکل (Spherically Symmetric) ہوتے ہیں۔ یعنی کہ ایک دیے ہوئے فاصلے پر الیکٹران کے پائے جانے کا احتمال تمام سمتوں میں مساوی ہے۔ یہ بھی مشاہدہ کیا گیا ہے کہ n میں اضافہ کے ساتھ s اوربٹل کے سائز میں اضافہ ہوتا ہے، یعنی کہ:  $1s < 2s < 3s < 4s$  اور جیسے جیسے پرنسپل کوآٹم نمبر بڑھتا ہے، الیکٹران نیوکلیس سے اتنے ہی زیادہ فاصلے پر پایا جاتا ہے۔

تین 2p اوربٹل کے لیے ( $l = 1$ ) باؤنڈری سطح ڈائیگرام شکل 2.14 میں دکھایا گیا ہے۔ ان ڈائیگراموں میں نیوکلیس مبدا (Origin) پر ہے۔ یہاں s اوربٹل کے برخلاف، باؤنڈری سطح ڈائیگرام، کروی نہیں ہیں۔ اس کی جگہ ہر ایک p-اوربٹل دو حصوں پر مشتمل ہوتا ہے جو Lobes کہلاتے ہیں۔ یہ نیوکلیس سے ہو کر گزر رہے مستوی کے دونوں طرف ہوتے ہیں۔ احتمال کثافت تفاعل مستوی پر وہاں صفر ہوتا ہے جہاں دونوں Lobes ایک دوسرے کو چھوتے ہیں۔ تینوں اوربٹل کے لیے، سائز شکل

\* ایک دی ہوئی سطح پر اگر احتمال کثافت  $|\psi|^2$  مستقل ہے تو اس سطح پر  $|\psi|^2$  بھی مستقل ہے۔  $|\psi|^2$  اور  $|\psi|$  کے لیے سرحدی سطح متماثل (Identical) ہیں۔



شکل 2.15 پانچ 3d اوربٹل کی ہائونڈری سطح ڈائیگرام

مستحکم حالت کے نظری ہے اور اسے گراؤنڈ اسٹیٹ (Ground State) کہتے ہیں، اور اس اوربٹل میں پایا جانے والا الیکٹران، نیوکلئس سے سب سے زیادہ مضبوطی سے بندھا ہوتا ہے۔ ہائڈروجن ایٹم میں ایک الیکٹران اگر  $2p$  یا  $2s$  یا مزید اونچے اوربٹل میں پایا جاتا ہے تو وہ مشتعل حالت (Excited State) میں ہے۔

ایک کثیر الیکٹرونی ایٹم میں الیکٹران کی توانائی، ہائڈروجن ایٹم میں الیکٹران کی توانائی کے برخلاف، نہ صرف یہ کہ اس کے پرنسپل کوئٹم شیل پر منحصر ہے بلکہ اس کے سمت راس کوٹھی عدد (ذیلی شیل) پر بھی منحصر ہے۔

نہیں ہو سکتی۔  $l = 2$  کے لیے پانچ  $m_l$  قدریں ہیں  $(-2, -1, 0, 1, 2)$  اور اس لیے پانچ  $d$ -اوربٹل ہوں گے۔  $d$ -اوربٹل کے لیے ہائونڈری سطح ڈائیگرام شکل 2.15 میں دکھایا گیا ہے۔

پانچ  $d$ -اوربٹل کو نام دیے جاتے ہیں:  $d_{xy}$ ،  $d_{yz}$ ،  $d_{xz}$ ،  $d_{x^2-y^2}$  اور  $d_{z^2}$  سے منسوب کیا جاتا ہے۔ پہلے چار  $d$ -اوربٹل کی شکلیں ایک جیسی ہوتی ہیں، جبکہ پانچویں،  $d_{z^2}$  کی شکل باقی سب سے مختلف ہوتی ہے، لیکن پانچویں  $d$ -اوربٹل کی توانائی مساوی ہوتی ہے۔ وہ  $d$ -اوربٹل جن کے لیے  $n$  کی قدر 3 سے زیادہ ہے  $(4d, 5d, \dots)$  ان کی شکلیں بھی  $3d$  اوربٹل جیسی ہوتی ہیں لیکن وہ توانائی اور سائز کے لحاظ سے مختلف ہوتے ہیں۔

نصف قطری نوڈ کے علاوہ (یعنی کہ، احتمال کثافت تقابل صفر ہے)،  $np$  اور  $nd$  اوربٹل کے لیے احتمال کثافت تقابل، مستوی  $(s)$  پر، نیوکلئس (مبدأ) سے گزرتے ہوئے، صفر ہوتے ہیں۔ مثال کے طور پر  $p_z$  اوربٹل کے لیے،  $xy$ -مستوی ایک نوڈل مستوی ہے،  $d_{xy}$  اوربٹل کے لیے، دو نوڈل مستوی ہیں جو مبدأ سے گزرتے ہیں اور  $z$ -محور والے  $xy$ -مستوی کی تنصیف کرتے ہیں۔ یہ زاویائی نوڈ (Angular Nodes) کہلاتے ہیں اور زاویائی نوڈ کی تعداد  $l$  سے دی جاتی ہے، یعنی کہ  $p$  اوربٹل کے لیے ایک زاویائی نوڈ ہوگا،  $d$  اوربٹل کے لیے دو زاویائی نوڈ ہوں گے، اور اسی طرح آگے بھی۔ نوڈ کی کل تعداد  $(n - 1)$  سے دی جاتی ہے یعنی کہ  $l$  زاویائی نوڈ اور  $(n - l - 1)$  نصف قطری نوڈ کی حاصل جمع۔

### 2.6.3 اوربٹل کی توانائیاں (Energies of Orbitals)

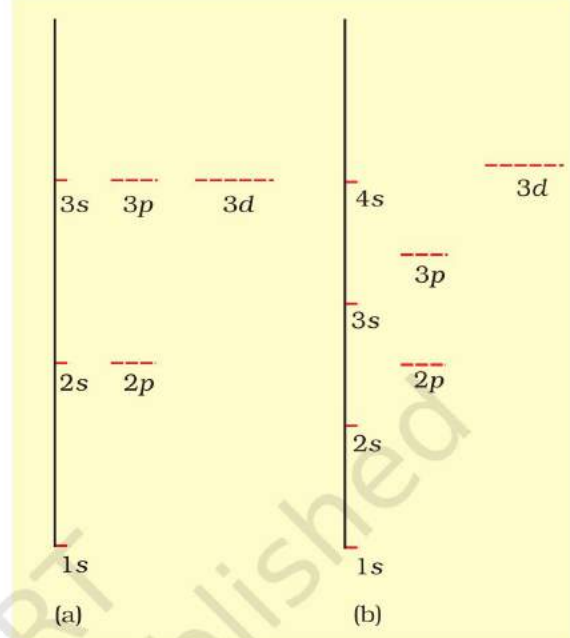
ہائڈروجن ایٹم میں ایک الیکٹران کی توانائی مکمل طور پر صرف پرنسپل کوئٹم نمبر سے متعین ہوتی ہے۔ اس لیے اوربٹل کی توانائی مندرجہ ذیل طور پر بڑھتی ہے:

$$1s < 2s = 2p < 3s = 3p = 3d < 4s = 4p = 4d = 4f < \dots \quad (2.23)$$

اور شکل 2.16 میں دکھائی گئی ہے۔ حالانکہ  $2s$  اور  $2p$  اوربٹل کی شکلیں مختلف ہیں، لیکن ایک الیکٹران جب  $2s$  اوربٹل میں ہوتا ہے تو اس کی توانائی اتنی ہی ہوتی ہے جتنی کہ  $2p$  اوربٹل میں ہوتی ہے۔ ایسے اوربٹل جن کی توانائی یکساں ہوتی ہے، فاسد (Degenerate) کہلاتے ہیں۔ ایک ہائڈروجن ایٹم میں  $1s$  جیسا کہ پہلے بتایا جا چکا ہے، سب سے زیادہ

ہیں۔ عمومی طور پر، باہری شیل کے الیکٹرانوں کے، اندرونی شیل کے الیکٹرانوں کے ساتھ دافع باہمی عمل زیادہ اہم ہیں۔ دوسری طرف، ایک الیکٹران کے کششی باہمی عملوں میں، نیوکلئیس پر پائے جانے والے مثبت چارج ( $Z_e$ ) میں اضافہ کے ساتھ، اضافہ ہوتا ہے۔ اندرونی شیل میں الیکٹرانوں کی موجودگی کی وجہ سے، باہری شیل کا الیکٹران، نیوکلئیس کے پورے مثبت چارج ( $Z_e$ ) کو محسوس نہیں کرتا بلکہ، نیوکلئیس پر موجود مثبت چارج کی اندرونی شیل کے الیکٹرانوں کے ذریعے کئے گئے جزوی حجاب (Screening) کی وجہ سے، اس میں کمی آجاتی ہے۔ اسے اندرونی شیل کے الیکٹرانوں کے ذریعے کیا گیا باہری شیل کے الیکٹرانوں کا نیوکلئیس سے حجاب کہتے ہیں نیوکلئیس کا الیکٹران کے ذریعے محسوس کیا گیا نیٹ (Net) مثبت چارج موثر نیوکلئائی چارج (Effective Nuclear Charge) کہلاتا ہے ( $Z_{eff} e$ ) نیوکلئیس سے اندرونی شیل کے الیکٹرانوں کے ذریعے کیے گئے باہری الیکٹرانوں کے حجاب کے باوجود، باہری شیل کے الیکٹرانوں کے ذریعے محسوس کی جانے والی قوت کشش میں، نیوکلئائی چارج میں اضافہ کے ساتھ اضافہ ہوتا ہے۔ دوسرے لفظوں میں نیوکلئیس اور الیکٹران کے مابین باہمی عمل کی توانائی (یعنی کہ ارٹل کی توانائی) میں ایسی عدد ( $Z$ ) میں اضافہ کے ساتھ، کمی آتی ہے (یعنی کہ یہ زیادہ منفی ہوجاتی ہے)۔

کششی اور دافع، دونوں باہمی عمل، شیل اور اس ارٹل کی شکل پر منحصر ہیں، جس میں الیکٹران پایا جاتا ہے۔ مثال کے طور پر، شکل میں کروی ہونے کی وجہ سے،  $s$  ارٹل الیکٹرانوں کا نیوکلئیس سے حجاب،  $p$  ارٹل کے مقابلے میں، زیادہ موثر طور پر کرتا ہے۔ اسی طرح، دونوں کی شکلیں مختلف ہونے کی وجہ سے،  $p$  ارٹل نیوکلئیس سے الیکٹرانوں کا حجاب،  $d$  ارٹل کے مقابلے میں، زیادہ موثر طور پر کرتے ہیں، حالانکہ یہ سب ارٹل ایک ہی شیل میں پائے جاتے ہیں۔ مزید، کروی شکل کی وجہ سے،  $s$  ارٹل کے الیکٹران،  $p$  ارٹل کے مقابلے میں، نیوکلئیس کے قریب زیادہ وقت گزارتے ہیں اور  $p$  ارٹل کے الیکٹران،  $d$  ارٹل کے مقابلے میں، نیوکلئیس کے قریب زیادہ وقت گزارتے ہیں۔ دوسرے لفظوں میں، ایک دیے ہوئے شیل کے لیے پرنسپل کوآئٹم نمبر، ارٹل کے ذریعے محسوس کیا گیا  $Z_{eff}$ ، اس سمت کوآئٹم عدد ( $l$ ) میں اضافہ کے ساتھ، کم ہوتا ہے۔ یعنی کہ  $s$  ارٹل،  $p$  ارٹل کے مقابلے میں زیادہ سختی سے نیوکلئیس سے بندھا ہو گا اور  $p$  ارٹل،  $d$  ارٹل کے مقابلے میں



شکل 2.16 انرجی لیول ڈائیگرام (a) ہائیڈروجن ایٹم کے کچھ الیکٹرانوں کے لیے (b) کثیر الیکٹران ایٹموں کے کچھ الیکٹرانوں کے لیے۔ نوٹ کیجیے کہ ہائیڈروجن ایٹم کے لیے مختلف سمت۔ راس کوآئٹمی عددوں کے لیے بھی، یکساں پرنسپل کوآئٹم نمبر کی قدر والے ارٹل کی توانائیاں یکساں ہیں۔ لیکن کثیر الیکٹران ایٹموں کے لیے یکساں پرنسپل کوآئٹم نمبر والے ارٹل کی توانائیاں، مختلف سمت راسی کوآئٹمی عددوں کے لیے مختلف ہیں۔

یعنی کہ ایک دیے ہوئے پرنسپل کوآئٹم عدد کے لیے  $s, p, d, f$  سب کی توانائیاں مختلف ہوں گی۔ ایک کثیر الیکٹران ایٹم میں مختلف ذیلی شیل کی توانائیاں مختلف ہونے کی اصل وجہ الیکٹرانوں کے درمیان باہم دفع (Mutual Repulsion) ہے۔ ہائیڈروجن ایٹم میں صرف ایک ہی برقی باہم دگر عمل ہوتا ہے جو منفی چارج شدہ الیکٹران اور مثبت چارج شدہ نیوکلئیس کے مابین ہوتا ہے۔ کثیر الیکٹران ایٹموں میں، الیکٹران اور نیوکلئیس کے درمیان کشش کی موجودگی کے ساتھ ساتھ ہر ایک الیکٹران کے ایٹم میں موجود دوسرے تمام الیکٹرانوں کے ساتھ دافع ارکان بھی ہوتے ہیں۔ اس لیے اس کثیر الیکٹران ایٹم میں ایک الیکٹران کے استحکام کی وجہ یہ ہے کہ کل کششی باہم عمل، دافع عملوں کے مقابلے میں زیادہ

اصول کا بیان ہے: ایٹم کی گراؤنڈ اسٹیٹ (Ground State) میں، آرہٹل بڑھتی ہوئی توانائی کی ترتیب میں بھرے جاتے ہیں۔ دوسرے لفظوں میں، الیکٹران سب سے پہلے اس آرہٹل میں جاتے ہیں جس کی توانائی، دستیاب آرہٹل میں سب سے کم ہوتی ہے اور مقابلتاً زیادہ توانائی کے آرہٹل میں صرف اسی وقت داخل ہوتے ہیں جب مقابلتاً کم توانائی والے آرہٹل بھر جاتے ہیں۔

آرہٹل کی توانائیوں کے بڑھنے کی ترتیب اور اس لیے وہ ترتیب جس میں آرہٹل بھرے جاتے ہیں، مندرجہ ذیل ہے:

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

یہ ترتیب شکل 2.17 میں دیے گئے طریقے سے یاد کی جاسکتی ہے۔ اوپری سرے سے شروع کرتے ہوئے، تیروں کی سمت، آرہٹل کے بھرے جانے کی ترتیب بتاتی ہے، یعنی کہ اوپری دائیں سرے سے نچلے بائیں سرے تک۔

**جدول 2.5: بڑھتی ہوئی توانائی کے ساتھ آرہٹل کی ترتیب،  $(n + 1)$  قاعدے کی بنیاد پر**

| آرہٹل | $n$ کی قدر | $l$ کی قدر | $(n + 1)$ کی قدر |
|-------|------------|------------|------------------|
| 1s    | 1          | 0          | $1 + 0 = 1$      |
| 2s    | 2          | 0          | $2 + 0 = 2$      |
| 2p    | 2          | 1          | $2 + 1 = 3$      |
| 3s    | 3          | 0          | $3 + 0 = 3$      |
| 3p    | 3          | 1          | $3 + 1 = 4$      |
| 4s    | 4          | 0          | $4 + 0 = 4$      |
| 3d    | 3          | 2          | $3 + 2 = 5$      |
| 4p    | 4          | 1          | $4 + 1 = 5$      |

**پالی کا استثنیٰ اصول (Pauli Exclusion Principle)**

مختلف آرہٹل میں بھرے جانے والے الیکٹرانوں کی تعداد، آسٹرین سائنس داں وولف گانگ پالی (Wolfgang Pauli) (1926)

نیو کلیس سے زیادہ بہتر بندھا ہو گا۔ s آرہٹل کی توانائی، p آرہٹل کی توانائی کے مقابلے میں کم ہوگی (زیادہ منفی ہوگی) اور p آرہٹل کی توانائی d آرہٹل کی توانائی کے مقابلے میں کم ہوگی اور اسی طرح کیونکہ نیو کلیس کے حجاب کی حد مختلف آرہٹل کے لیے مختلف ہوگی، یہ ایک ہی شیل کے اندر (یا یکساں پرنسپل کوآٹم نمبر) مختلف آرہٹل کی توانائی کی علیحدگی (Splitting) کی سمت لے جاتا ہے۔ یعنی کہ آرہٹل کی توانائی، جیسا کہ پہلے بیان کیا جاچکا ہے،  $n$  اور  $l$  کی قدروں پر منحصر ہے۔ ریاضیاتی اعتبار سے آرہٹل کی توانائیوں کا  $n$  اور  $l$  پر انحصار کافی پیچیدہ ہے لیکن ایک سادہ قاعدہ  $n$  اور  $l$  کی مجموعی قدر کا ہے۔ جس آرہٹل کے لیے  $(n + 1)$  کی قدر مقابلتاً کم ہوگی، اس کی توانائی بھی مقابلتاً کم ہوگی۔ اگر دو آرہٹل کی  $(n + 1)$  قدر یکساں ہے تو جس آرہٹل کی  $n$  قدر مقابلتاً کم ہے اس کی توانائی بھی مقابلتاً کم ہوگی۔ جدول 2.5،  $(n + 1)$  قاعدے کو ظاہر کرتا ہے اور شکل 2.16 میں کثیر الیکٹرونی ایٹموں کے انرجی لیول دکھائے گئے ہیں۔ یہ نوٹ کیا جاسکتا ہے کہ کثیر الیکٹرونی ایٹموں کے لیے، ایک خاص شیل کے مختلف ذیلی شیل کی توانائیاں مختلف ہوتی ہیں۔ لیکن، ہائیڈروجن ایٹم میں ان کی توانائیاں یکساں ہوتی ہیں۔ آخر میں یہ ذکر بھی کیا جاسکتا ہے کہ یکساں ذیلی شیل میں آرہٹل کی توانائیاں ایٹمی عدد ( $Z_{eff}$ ) میں اضافہ کی ساتھ کم ہوتی ہیں۔ مثال کے طور پر ہائیڈروجن ایٹم کے 2s آرہٹل کی توانائی،  $2s$  کے آرہٹل کی توانائی سے زیادہ ہے اور  $2s$  کی توانائی سوڈیم سے زیادہ ہے اور اسی طرح آگے بھی یعنی کہ:  $E_{2s}(H) > E_{2s}(Li) > E_{2s}(Na) > E_{2s}(K)$

#### 2.6.4 ایک ایٹم میں آرہٹل کا بھرنے کا اصول (Filling of Orbitals in Atom)

مختلف ایٹموں کے آرہٹل میں الیکٹرانوں کا بھرنے آف باؤ اصول کے مطابق انجام پاتا ہے، جو کہ پالی (Pauli) کے استثنیٰ اصول (Exclusion Principle) ہنڈ (Hund) کے از حد تضاعف (Maximum Multiplicity) اور آرہٹل کی نسبتی توانائیوں (Relative Energies) کے قاعدے پر مبنی ہے۔

**آف باؤ اصول (Aufbau Principle)**

جرمن زبان میں لفظ آف باؤ (Aufbau) کا مطلب ہے ”تعمیر کرنا“۔ آرہٹل کے تعمیر کرنے سے مطلب ہے ان میں الیکٹرانوں کا بھرنے۔ اس

ہو سکتی ہے، اسی طرح آگے بھی۔ اس کا خلاصہ ایسے کیا جاسکتا ہے:  
پرنسپل کوئنٹم نمبر  $n$  کے شیل میں الیکٹرانوں کی زیادہ سے زیادہ تعداد  $2n^2$  ہو سکتی ہے۔

### ازحد تضاعف کا قاعدہ (Hund's Rule of Maximum Multiplicity)

یہ قاعدہ ان اوربٹل میں الیکٹران بھرنے کے لیے ہے جو ایک ہی ذیلی شیل سے تعلق رکھتے ہیں (یعنی کہ مساوی توانائی کے اوربٹل، جو کہ فاسد اوربٹل کہلاتے ہیں)۔ اس کا بیان ہے: یکساں ذیلی شیل ( $d, p$  یا  $f$ ) سے تعلق رکھنے والے اوربٹل میں الیکٹرانوں کے جوڑے اس وقت تک نہیں بنتے جب تک کہ اس ذیلی شیل سے تعلق رکھنے والے ہر ایک اوربٹل میں ایک ایک الیکٹران نہ آجائے، یعنی کہ وہ واحد الیکٹران سے بھرا ہوا نہ ہو۔

کیونکہ تین  $p$ ، پانچ  $d$  اور سات  $f$  اوربٹل ہوتے ہیں، اس لیے  $d, p$  اور  $f$  اوربٹل میں الیکٹرانوں کے جوڑے بننا، بالترتیب، چوتھے، چھٹے اور آٹھویں الیکٹران کے داخلے کے ساتھ شروع ہوں گے۔ یہ دیکھا گیا ہے کہ آدھے بھرے ہوئے اور پورے بھرے ہوئے اوربٹل کے فاسد سیٹ، اپنے تشاکل (Symmetry) کی وجہ سے، مزید استحکام حاصل کر لیتے ہیں (دیکھیے سیکشن 2.6.7)۔

### 2.6.5 ایٹموں کا الیکٹرانیک تشکل

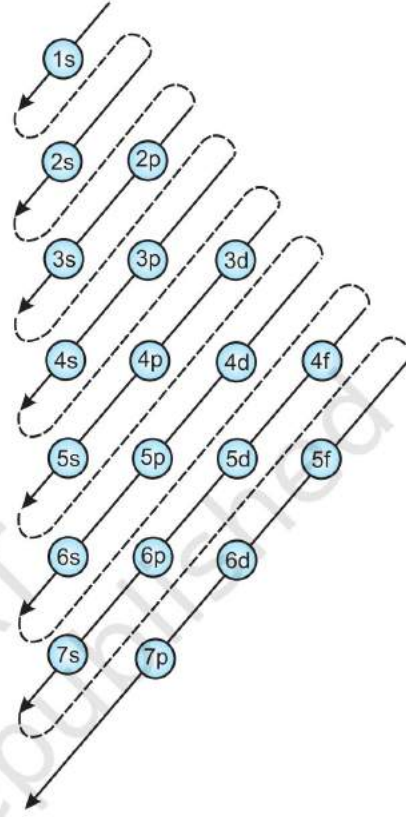
#### (Electronic Configuration of Atoms)

ایک ایٹم کے اوربٹل میں الیکٹرانوں کی تقسیم، الیکٹرانیک تشکل (Electronic Configuration) کہلاتی ہے۔ اگر ہم ان بنیادی قاعدوں کو اپنے ذہن میں رکھیں، جن کے مطابق مختلف ایٹمی اوربٹل بھرے جاتے ہیں، تو مختلف ایٹموں کے الیکٹرانیک تشکل بہ آسانی لکھے جاسکتے ہیں۔

مختلف ایٹموں کے الیکٹرانیک تشکل کا اظہار دو طریقوں سے کیا جاسکتا ہے۔ مثال کے طور پر:

$$s^a p^b d^c \dots \dots \dots \text{ترسیم (i)}$$

(ii) اوربٹل ڈائیگرام



شکل 2.17 اوربٹل کے بھرنے کی ترتیب

کے دیے ہوئے استثنیٰ اصول سے محدود ہو جاتی ہے۔ اس اصول کے مطابق: ایک ایٹم میں کوئی بھی دو الیکٹرانوں کا چار کوئنٹم اعداد کا سیٹ یکساں نہیں ہو سکتا۔ پالی کے استثنیٰ اصول کو ایسے بھی بیان کیا جاسکتا ہے: ”ایک ہی اوربٹل میں صرف 2 الیکٹران ہی رہ سکتے ہیں اور ان الیکٹرانوں کی اسپن بھی ایک دوسرے کے مخالف ہونا لازمی ہے“۔ اس کا مطلب ہے کہ ان دو الیکٹرانوں کے، تین کوئنٹم نمبر:  $n, l, m_l$  کی قدریں یکساں ہو سکتی ہیں لیکن اسپن کوئنٹم نمبر کی قدر کا مخالف ہونا لازمی ہے۔ ایک اوربٹل میں رہ سکنے والے الیکٹرانوں کی تعداد پر پالی کی لگائی گئی یہ حد، ایک ذیلی شیل کی الیکٹران رکھ سکنے کی گنجائش کا حساب لگانے میں مددگار ثابت ہوتی ہے۔ مثال کے طور پر ذیلی شیل  $1s$  ایک اوربٹل پر مشتمل ہے، اس لیے  $1s$  ذیلی شیل میں پائے جاسکنے والے الیکٹرانوں کی زیادہ سے زیادہ تعداد 2 ہو سکتی ہے،  $p$  اور  $d$  ذیلی شیل میں الیکٹرانوں کی زیادہ سے زیادہ تعداد 6 اور 10 (بالترتیب)

|    |                      |                      |                      |                      |                      |
|----|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Li | $\uparrow\downarrow$ | $\uparrow$           |                      |                      |                      |
| Be | $\uparrow\downarrow$ | $\uparrow\downarrow$ |                      |                      |                      |
| B  | $\uparrow\downarrow$ | $\uparrow\downarrow$ | $\uparrow$           |                      |                      |
| C  | $\uparrow\downarrow$ | $\uparrow\downarrow$ | $\uparrow$           | $\uparrow$           |                      |
| N  | $\uparrow\downarrow$ | $\uparrow\downarrow$ | $\uparrow$           | $\uparrow$           | $\uparrow$           |
| O  | $\uparrow\downarrow$ | $\uparrow\downarrow$ | $\uparrow\downarrow$ | $\uparrow$           | $\uparrow$           |
| F  | $\uparrow\downarrow$ | $\uparrow\downarrow$ | $\uparrow\downarrow$ | $\uparrow\downarrow$ | $\uparrow$           |
| Ne | $\uparrow\downarrow$ | $\uparrow\downarrow$ | $\uparrow\downarrow$ | $\uparrow\downarrow$ | $\uparrow\downarrow$ |
|    | 1s                   | 2s                   | 2p                   |                      |                      |

عنصر سوڈیم ( $\text{Na}, 1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ ) سے آرگن ( $\text{Ar}, 1s^2 2s^2 2p^6 3s^1 3p^6$ ) تک الیکٹرونی تشکل اسی نمونے پر ہوتے ہیں جو لیتھیم سے نیون تک ہے، صرف اس فرق کے ساتھ کہ اب 3s اور 3p اورٹل بھرے جارہے ہیں۔ اس عمل کو سادہ بنایا جاسکتا ہے اگر ہم پہلے دو خولوں میں بھرے جانے والے الیکٹروٹوں کی کل تعداد کو عنصر نیون (Ne) کے نام سے ظاہر کریں۔ عناصر سوڈیم سے آرگن تک کا الیکٹرونی تشکل اس طرح لکھا جاسکتا ہے: ( $\text{Na}, [\text{Ne}] 3s^1$ ) سے ( $\text{Ar}, [\text{Ne}] 3s^2 3p^6$ ) تک۔ وہ الیکٹروٹ جو مکمل طور پر بھرے ہوئے شیل میں ہوتے ہیں، کور (Core) الیکٹروٹ کہلاتے ہیں اور وہ الیکٹروٹ جو سب سے بڑے، پرنسپل کوآٹم نمبر والے الیکٹروٹ شیل میں شامل کیے جاتے ہیں، گرفت الیکٹروٹ (Valence Electron) کہلاتے ہیں۔ مثال کے طور پر، وہ الیکٹروٹ جو Ne میں ہیں، کور الیکٹروٹ ہیں اور Na سے Ar تک میں جو الیکٹروٹ ہیں، گرفت الیکٹروٹ ہیں۔ پوٹاشیم (K) اور کیشیم (Ca) میں، کیونکہ 4s اورٹل کی توانائی میں 3d اورٹل سے کم ہے، اس لیے اس میں، بالترتیب ایک اور دو الیکٹروٹ ہوتے ہیں۔ اسکینڈیم (Sc) سے ایک نیا نمونہ شروع ہوتا ہے۔ 3d اورٹل، جس کی توانائی 4p اورٹل سے کم ہے، پہلے بھرنا شروع ہوتا ہے۔ اس لیے اگلے دس عناصر: اسکینڈیم (Sc)، ٹائیٹنیم (Ti)، وینے ڈیم (V)، کرومیم (Cr) مینگنیز (Mn)، آئرن (Fe)، کوبالٹ (Co)، نیکل (Ni) کا پر (Cu) اور زنک (Zn) میں پانچ 3d اورٹل ایک ایک کر کے بھرتے جاتے ہیں۔ ہمیں حیرت ہو سکتی ہے کہ کرومیم اور کا پر میں 3d اورٹل میں 5 اور 10 الیکٹروٹ ہیں، جب کہ ان کے مقام کے مطابق، 2 الیکٹروٹ 4s اورٹل میں اور 3d

پہلی ترتیم میں ذیلی شیل متعلقہ حرفی علامت سے ظاہر کیا جاتا ہے اور اس ذیلی شیل میں پائے جانے والے الیکٹروٹوں کی تعداد اوپری دائیں کونے پر لکھی جاتی ہے، جیسے a, b, c وغیرہ۔ مختلف شیل کے لیے یکساں ذیلی شیل میں فرق کرنے کے لیے متعلقہ ذیلی شیل سے پہلے پرنسپل کوآٹم نمبر لکھا جاتا ہے۔ دوسری ترتیم میں، ذیلی شیل ایک بکس کے ذریعے ظاہر کیا جاتا ہے اور مثبت اسپن کا الیکٹروٹ ایک سیدھے تیر ( $\uparrow$ ) کے ذریعے اور منفی اسپن کا الیکٹروٹ ایک الٹے تیر ( $\downarrow$ ) کے ذریعے ظاہر کیا جاتا ہے۔ دوسری ترتیم کا پہلی ترتیم کے مقابلے میں فائدہ یہ ہے کہ اس کے ذریعے چاروں کوآٹم نمبر کا اظہار ہو جاتا ہے۔

ہائڈروجن ایٹم میں صرف ایک ہی الیکٹروٹ ہوتا ہے، جو اس اورٹل میں جاتا ہے، جس کی توانائی سب سے کم ہوتی ہے، یعنی کہ 1s۔ ہائڈروجن ایٹم کا الیکٹروٹ تشکل ہے 1s<sup>1</sup> جس کا مطلب ہے کہ اس کے 1s اورٹل میں ایک الیکٹروٹ ہے۔ ہیلیم (He) کا دوسرا الیکٹروٹ بھی 1s اورٹل کو گھیر سکتا ہے۔ اس کا تشکل ہے: 1s<sup>2</sup> جیسا کہ اوپر بیان کیا جا چکا ہے کہ دونوں الیکٹروٹ ایک دوسرے سے مخالف اسپن کی وجہ سے مختلف ہوتے ہیں، جیسا کہ اورٹل ڈائیگرام سے دیکھا جاسکتا ہے۔



لیتھیم (Li) کے تیسرے الیکٹروٹ کو، پالی انتی اصول کی وجہ سے 1s اورٹل میں جانے کی اجازت نہیں ہے، اس لیے یہ اس کے بعد دستیاب اورٹل، یعنی کہ 2s اورٹل میں جاتا ہے۔ Li کا الیکٹروٹ تشکل ہے: 1s<sup>2</sup> 2s<sup>1</sup>۔ 2s اورٹل میں ایک اور الیکٹروٹ کے لیے جگہ ہے۔ اس لیے ہیلیم (Be) ایٹم کا تشکل ہے: 1s<sup>2</sup> 2s<sup>2</sup> (عناصر کے الیکٹروٹ تشکل کے لیے دیکھیے جدول 2.6)۔

اگلے چھ عناصر بوران ( $\text{B}, 1s^2 2s^2 2p^1$ )، کاربن ( $\text{C}, 1s^2 2s^2 2p^2$ )، نائٹروجن ( $\text{N}, 1s^2 2s^2 2p^3$ )، آکسیجن ( $\text{O}, 1s^2 2s^2 2p^4$ )، فلورین ( $\text{F}, 1s^2 2s^2 2p^5$ ) اور نیون ( $\text{Ne}, 1s^2 2s^2 2p^6$ ) میں 2p اورٹل بتدریج بھرتا جاتا ہے۔ یہ عمل نیون ایٹم کے ساتھ مکمل ہو جاتا ہے۔ ان عناصر کی اورٹل تصویر مندرجہ ذیل طور پر ظاہر کی جاسکتی ہے۔

سالمات کیوں تشکیل دیتے ہیں؟ کچھ عناصر ”دھاتیں“ کیوں ہیں جب کہ دیگر غیر دھاتیں ہیں؟ ہیلیم اور آرگن جیسے عناصر متعامل (Reactive) کیوں نہیں ہیں جبکہ ہیلوجن (Halogens) جیسے عناصر متعامل ہیں؟ ان سوالوں کے جواب الیکٹرانی تشکل کے ذریعے بہ آسانی واضح ہو جاتے ہیں۔ ڈالٹن کا ایٹمی ماڈل ان سوالوں کا کوئی جواب نہیں فراہم کرتا۔ اس لیے جدید کیمیائی معلومات کے مختلف پہلوؤں میں درک حاصل کرنے کے لیے، ایٹم کی الیکٹرانی ساخت کو تفصیل کے ساتھ سمجھنا بہت ضروری ہے۔

### 2.6.6 مکمل بھرے ہوئے اور نصف بھرے ہوئے ذیلی شیل کا

(Stability of Completely Filled)

and Half Filled Subshell)

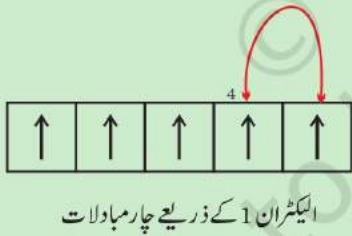
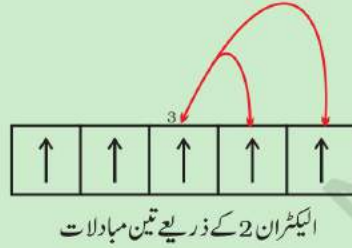
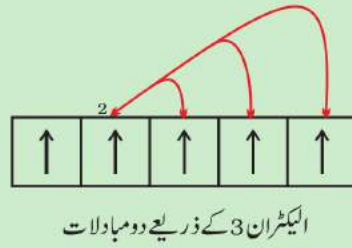
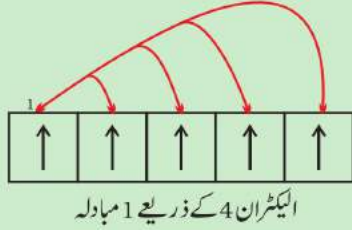
ایٹم کا گراؤنڈ اسٹیٹ الیکٹرانی تشکل ہمیشہ کم ترین کل الیکٹرانی توانائی سے مطابقت رکھتا ہے۔ زیادہ تر ایٹموں کے الیکٹرانی تشکل سیکشن 2.6.5 میں دے گئے بنیادی قاعدوں کے مطابق ہوتے ہیں۔ لیکن کچھ خاص عناصر میں، جیسے Cu یا Cr جہاں ذیلی شیل (3d اور 4s) کی توانائیوں میں معمولی سا فرق ہوتا ہے، ایک الیکٹران مقابلاً کم توانائی کے ذیلی شیل (4s) سے مقابلاً زیادہ توانائی کے ذیلی شیل میں چلا جاتا ہے، بشرطیکہ اس کے نتیجے میں، مقابلاً زیادہ توانائی کے ذیلی شیل کے تمام ارٹل مکمل یا نصف بھر جائیں۔ اس لیے Cu اور Cr کے گرفت الیکٹرانی تشکل، بالترتیب،  $3d^5 4s^1$  اور  $3d^5 4s^1$  ہیں،  $3d^4 4s^2$ ،  $3d^9 4s^2$  نہیں۔ یہ معلوم ہوا ہے کہ ان الیکٹرانی تشکل سے مزید استحکام وابستہ ہے۔

ارٹل میں 4 اور 9 الیکٹران ہونے چاہیے تھے۔ وجہ یہ ہے کہ مکمل طور پر بھرے ہوئے اور آدھے بھرے ہوئے ارٹل میں مزید استحکام ہوتا ہے (یعنی کہ مقابلاً کم توانائی)۔ اس لیے  $f^{14}$ ،  $f^7$ ،  $d^{10}$ ،  $d^5$ ،  $p^6$ ،  $p^3$  وغیرہ تشکل، جو یا تو آدھی بھری ہیں یا مکمل بھری ہیں، مقابلاً زیادہ مستحکم ہیں۔ کرومیم اور کاپر، اس لیے،  $d^5$  اور  $d^{10}$  تشکل اختیار کرتے ہیں۔ (سیکشن 2.6.7) [انتباہ: استثنا بھی پائے جاتے ہیں۔]

3d ارٹل کے سیر شدہ (Saturation) ہو جانے کے بعد، گلیمیم (Ga) سے 4p ارٹل کا بھرنا شروع ہوتا ہے، جو کرپٹان (Kr) پر مکمل ہوتا ہے۔ روبیڈیم (Rb) سے لے کر زینان (Xe) تک، یعنی کہ، اگلے 18 عناصر میں 5s، 4d اور 5p ارٹل اسی نمونے کے مطابق بھرے جاتے ہیں، جو اوپر بیان کیے گئے،  $4s$ ،  $3d$  اور  $4p$  ارٹل میں تھا۔ پھر 6s ارٹل کی باری آتی ہے۔ سیزیم (Caesium, Cs) اور بیریم (Ba) میں اس ارٹل میں، بالترتیب ایک اور دو الیکٹران ہوتے ہیں۔ پھر ٹھینم (La) سے مرکری (Hg) تک 4f اور 5d میں الیکٹران بھرے جاتے ہیں۔ یورینیم (U) کے بعد تمام عناصر مختصر دور حیات (Life Period) والے ہیں اور مصنوعی طریقوں سے تیار کیے جاتے ہیں۔ معلوم عناصر کے الیکٹرانی تشکل (جیسا کہ اسپیکٹر واسکوپک طریقوں سے معلوم کئے گئے ہیں) جدول 2.6 میں دیے گئے ہیں۔

ہم پوچھ سکتے ہیں کہ آخر الیکٹرانی تشکل جاننے کا فائدہ یا استعمال کیا ہے؟ کیمسٹری کو سمجھنے کی جدید طرز رسائی دراصل، کیمیائی طرز عمل کو سمجھنے اور اس کی وضاحت کرنے کے لیے، تقریباً پوری طرح سے الیکٹرانی تقسیم پر منحصر ہے۔ مثال کے طور پر ایسے سوالات کہ دو یا دو سے زیادہ ایٹم مل کر

### مکمل بھرے ہوئے اور نصف بھرے ہوئے ذیلی شیل کے استحکام کی وجوہات



شکل 2.18  $d^5$  تشکل کے لیے ممکنہ مبادلہ

مکمل بھرے ہوئے اور نصف بھرے ہوئے ذیلی شیل، مندرجہ ذیل وجوہات کی بناء پر مستحکم ہوتے ہیں:

1- الیکٹرانوں کی متشاکل تقسیم: یہ اچھی طرح معلوم ہے کہ تشاکل، استحکام کی طرف لے جاتا ہے۔ نصف بھرے ہوئے اور مکمل بھرے ہوئے ذیلی شیل میں الیکٹرانوں کی متشاکل تقسیم پائی جاتی ہے۔ اس لیے یہ زیادہ مستحکم ہیں۔ یکساں ذیلی شیل (یہاں  $3d$ ) میں الیکٹرانوں کی توانائی مساوی ہوتی ہے اور مکانی تقسیم (Spatial Distribution) مختلف ہوتی ہے، نتیجتاً ایک دوسرے کے لیے ان کی شیلڈنگ متوازن ہوتی ہے اور الیکٹران نیوکلئس کی طرف زیادہ قوت سے کشش کا اظہار کرتے ہیں۔

2- مبادلہ توانائی: جب بھی دو یا دو سے زیادہ یکساں اسپن والے الیکٹران، ایک ذیلی شیل کے فاسدارٹھل میں موجود ہوتے ہیں تو استحکامی اثر پیدا ہوتا ہے۔ یہ الیکٹران اپنا مقام آپس میں تبدیل کرنے کی طرف مائل ہوتے ہیں اور اس مبادلے کی وجہ سے خارج ہونے والی توانائی مبادلہ توانائی (Exchange Energy) کہلاتی ہے۔ ممکنہ مبادلوں کی تعداد اس وقت سب سے زیادہ ہوتی ہے، جب کہ ذیلی شیل نصف بھرا ہو یا مکمل بھرا ہو (شکل 2.18)۔ اس کے نتیجے میں مبادلہ توانائی سب سے زیادہ ہوتی ہے اور اس لیے استحکام بھی۔

آپ نوٹ کر سکتے ہیں کہ مبادلہ توانائی ہی ہنڈ قاعدے کی بنیاد ہے، جس کے مطابق وہ الیکٹران جو مساوی توانائی کے ارٹھل میں داخل ہوتے ہیں، جہاں تک ممکن ہو، ان کی اسپن متوازی ہوتی ہیں۔ دوسرے لفظوں میں، مکمل بھرے ہوئے اور نصف بھرے ہوئے ذیلی شیل کی مزید استحکام کی وجوہات ہیں: (i) متوازن کم شیلڈنگ (ii) متوازن کم کولمب دافع توانائی (iii) متوازن زیادہ مبادلہ توانائی۔ مبادلہ توانائی کے بارے میں تفصیلات آپ آئندہ درجات میں پڑھیں گے۔

## جدول 2.6 عناصر کے الیکٹرانی تشکل

© NCERT  
not to be republished

\* استثنائی الیکٹرانی تشکل والے عناصر

© NCERT  
not to be republished

\*\* ایٹمی عدد 112 اور اس سے زیادہ ایٹمی عدد والے عناصر کے بارے میں رپورٹیں تو حاصل ہوئی ہیں لیکن ابھی ان کی نہ تو تصدیق ہو سکی ہے اور نہ ہی انہیں نام دیے گئے ہیں۔

### خلاصہ

ایٹم عناصر کے بلڈنگ بلاک ہیں۔ یہ عنصر کے وہ سب سے چھوٹے اجزاء ہیں جو کیمیائی طور پر تعامل کرتے ہیں۔ 1808 میں ڈالٹن کے ذریعے تجویز کیے گئے پہلے ایٹمی نظریہ کے مطابق ایٹم کو مادہ کا بنیادی ناقابل تقسیم ذرہ مانا گیا۔ انیسویں صدی کے اختتام کے قریب، تجربات سے یہ ثابت ہوا کہ ایٹم قابل تقسیم ہیں اور تین بنیادی ذرات الیکٹران، پروٹان اور نیوٹران پر مشتمل ہیں: ذیلی ایٹمی ذرات کی دریافت نے، ایٹم کی ساخت کی وضاحت کرنے کے لیے مختلف ایٹمی ماڈلوں کی تجاویز پیش کرنے کی راہ دکھائی۔

تھامسن نے 1898 میں تجویز پیش کی کہ ایٹم مثبت برق کے یکساں کرہ پر مشتمل ہے، جس میں الیکٹران پیوست ہوتے ہیں۔ اس ماڈل کو جس میں سمجھا جاتا ہے کہ ایٹم کی کمیت پورے ایٹم میں یکساں طور پر پھیلی ہوئی ہے، 1909 میں ردرفورڈ کے الفا ذرہ انتشار تجربہ نے غلط ثابت کر دیا۔ ردرفورڈ نے نتیجہ اخذ کیا کہ ایٹم میں اس کے مرکز پر ایک بہت چھوٹا مثبت چارج شدہ نیوکلیس ہے، جس کے ارد گرد الیکٹران مدورار بٹ میں گھوم رہے ہیں۔ ردرفورڈ کا ماڈل، جو شمسی نظام سے مشابہت رکھتا ہے، یقیناً تھامسن ماڈل سے بہتر تھا لیکن یہ ایٹم کے استحکام کی وضاحت نہیں کر سکا، یعنی کہ، الیکٹران نیوکلیس میں گر کیوں نہیں جاتے۔ اس کے علاوہ یہ ایٹم کی الیکٹران ساخت کے بارے میں بھی کچھ نہیں بتا سکا، یعنی کہ الیکٹران نیوکلیس کے ارد گرد کس طرح تقسیم ہوتے ہیں اور ان کی کیا توانائیاں ہوتی ہیں۔ ردرفورڈ ماڈل کی ان خامیوں کو 1913 میں، نیلس بوہر نے اپنے ہائڈروجن ماڈل کو پیش کر کے دور کیا۔ بوہر ماڈل کا بنیادی مفروضہ تھا کہ الیکٹران نیوکلیس کے گرد مدورار بٹ میں گھومتے ہیں۔ کچھ خاص ار بٹ ہی پائے جاتے ہیں اور ہر ایک ار بٹ ایک مخصوص توانائی سے مطابقت رکھتا ہے۔ بوہر نے مختلف ار بٹ میں الیکٹران کی توانائی کا حساب لگایا اور ہر ار بٹ کے لیے الیکٹران اور نیوکلیس کے درمیانی فاصلے کی پیشین گوئی کی۔ حالانکہ بوہر ماڈل ہائڈروجن ایٹم کے طیف کی اطمینان بخش وضاحت کر سکا لیکن کثیر الیکٹران ایٹموں کے طیف کی وضاحت کرنے میں ناکام رہا۔ اس کی وجہ جلد ہی دریافت ہوئی۔ بوہر ماڈل میں الیکٹران کو ایک چارج شدہ ذرہ مانا جاتا ہے، جو نیوکلیس کے گرد، بہ خوبی معروف مدورار بٹ میں حرکت کر رہا ہے۔ بوہر کے نظریہ میں الیکٹران کی لہر فطرت کو نظر انداز کر دیا جاتا ہے۔ ایک ار بٹ ایک واضح طور پر معروف راستہ ہے اور اس راستہ کی مکمل تعریف صرف اسی وقت کی جاسکتی ہے جب ایک الیکٹران کی رفتار اور اس کا مقام بالکل، ہمہ وقت، معلوم ہو۔ یہ ہائزبرگ عدم یقینی اصول کے مطابق ممکن نہیں ہے۔ اس لیے بوہر کا ہائڈروجن ایٹم کا ماڈل نہ صرف الیکٹران کی دوہری فطرت کو نظر انداز کرتا ہے بلکہ ہائزبرگ عدم یقینی اصول کی بھی تردید کرتا ہے۔

ارون شرودنگر نے 1926 میں، اسپیس (Space) میں الیکٹرانوں کی تقسیم اور ایٹم میں منظور شدہ انرجی لیول (Allowed Energy Levels) بیان کرنے کے لیے ایک مساوات تجویز کی جو شرودنگر مساوات کہلاتی ہے۔ یہ مساوات ڈی براگلی کے لہر۔ دہری فطرت کے تصور کو اپنے اندر سموئے ہوئے ہے اور ہائزبرگ عدم یقینی اصول سے بھی ہم آہنگ (consistent) ہے۔ جب، ہائڈروجن ایٹم میں الیکٹران کے لیے شرودنگر مساوات حل کی جاتی ہے تو ہمیں وہ ممکنہ توانائی حالتیں حاصل ہوتی ہیں، جن میں الیکٹران رہ سکتا ہے اور ساتھ ہی ساتھ ان توانائی حالتوں سے مطابقت رکھنے والے لہر تفاعلات  $\psi$  بھی حاصل ہوتے ہیں۔ (جو دراصل ریاضیاتی تفاعلات ہیں)

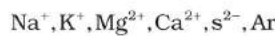
ہمیں دراصل ہر الیکٹران کے لیے ہر ایک توانائی حالت سے منسلک لہر تفاعلات حاصل ہوتے ہیں۔ یہ کوٹھی توانائی حالتیں اور ان سے مطابقت رکھنے والے موج۔ تفاعلات، جن کی خاصیتیں تین کوٹھی اعداد (پرنسپل کوٹھم نمبر  $n$ ، سمت راس کوٹھی عدد  $l$  اور مقناطیسی کوٹھی عدد  $m_l$ ) سے ظاہر کی جاتی ہیں، شرودنگر مساوات کے حل کے قدرتی نتائج کی شکل میں سامنے آتے ہیں۔ ان تین کوٹھی اعداد کی قدروں پر گتے والی پابندیاں بھی اسی حل کا قدرتی نتیجہ ہیں۔ ہائڈروجن ایٹم کا کوٹھم میکائیٹکی ماڈل ہائڈروجن ایٹم طیف کے تمام پہلوؤں کی کامیابی کے ساتھ پیشین گوئی کرتا ہے اور ساتھ ہی ساتھ کچھ ایسے مظاہر کی وضاحت بھی کرتا ہے، جن کی وضاحت بوہر ماڈل نہیں کر سکا تھا۔

ایٹم کے کوٹم میکائیگی ماڈل کے مطابق، وہ ایٹم جس میں الیکٹرانوں کی ایک تعداد ہو، الیکٹرانوں کی تقسیم اس طرح ہوتی ہے کہ الیکٹران شیل میں بٹے ہوتے ہیں، یہ سمجھا جاتا ہے کہ یہ شیل خود، ایک یا اس سے زیادہ ذیلی شیل پر مشتمل ہوتے ہیں اور ہر ایک ذیلی شیل، ایک یا اس سے زیادہ ارٹل پر مشتمل ہوتا ہے اور ان ارٹل میں الیکٹران پائے جاتے ہیں۔ جبکہ ہائڈروجن یا ہائڈروجن جیسے نظاموں میں (مثلاً  $\text{He}^+$ ،  $\text{Li}^{2+}$  وغیرہ) ایک دیے ہوئے شیل کے تمام ارٹل کی توانائی یکساں ہوتی ہے، ایک کثیر الیکٹران ایٹم میں ارٹل کی توانائی  $n$  اور  $l$  کی قدروں پر منحصر ہے۔ ایک ارٹل کے لیے  $(n + l)$  کی اگر مقابلاً کم ہوگی تو اس کی توانائی بھی مقابلاً کم ہوگی۔ اگر دو ارٹل کی  $(n + l)$  قدر یکساں ہے، تو جس ارٹل کی  $n$  قدر مقابلاً کم ہوگی، اس کی توانائی بھی کم ہوگی۔ ایک ایٹم میں ایسے کئی ارٹل ممکن ہیں اور ان ارٹل میں الیکٹران، توانائی کی بڑھتی ہوئی ترتیب کے ساتھ، پالی کے اصول استثنیٰ (ایک ایٹم میں کن ہی دو الیکٹرانوں کا چاروں کوئی اعداد کا سیٹ یکساں نہیں ہو سکتا) اور ہنڈ کے ازحد تصاعف کے قاعدے (یکساں ذیلی شیل سے تعلق رکھنے والے ارٹل میں الیکٹرانوں کے جوڑے اس وقت تک نہیں بنتے جب تک کہ اس ذیلی شیل سے تعلق رکھنے والے ہر ایک ارٹل میں ایک ایک الیکٹران نہ آجائے) کے مطابق بھرے جاتے ہیں۔ یہ ایٹم کی الیکٹران ساخت کی بنیاد تشکیل دیتا ہے۔

### مشقیں

- 2.1 (i) کتنے الیکٹرانوں کا مجموعی وزن 1 کلوگرام ہوگا؟ حساب لگائیے۔  
(ii) الیکٹرانوں کے 1 مول کی کمیت اور ان کے برقی چارج کا حساب لگائیے۔
- 2.2 (i) میتھین کے 1 مول میں پائے جانے والے الیکٹرانوں کی تعداد کا حساب لگائیے۔  
(ii)  $^{14}\text{C}$  کے 7mg میں نیوٹرونوں (a) کی کل تعداد (b) کل کمیت معلوم کیجیے۔ (فرض کیجیے  $1.675 \times 10^{-27} \text{ kg}$  ایک نیوٹران کی کمیت۔)
- 2.3 (iii) معلوم کیجیے: STP پر  $\text{NH}_3$  کے 34 ملی گرام میں (a) پروٹونوں کی کل تعداد (b) پروٹونوں کی کل کمیت۔ کیا درجہ حرارت اور دباؤ کو تبدیل کرنے سے جواب تبدیل ہو جائے گا؟  
مندرجہ ذیل نیوکلیس میں کتنے نیوٹران اور کتنے پروٹون ہوں گے:  
 $^{13}_6\text{C}$ ,  $^{16}_8\text{O}$ ,  $^{24}_{12}\text{Mg}$ ,  $^{56}_{26}\text{Fe}$ ,  $^{88}_{38}\text{Sr}$
- 2.4 دیے ہوئے ایٹمی عدد (Z) اور ایٹمی کمیت (A) کے لیے ایٹم کی مکمل علامت لکھئے:  
(i)  $A = 35$ ,  $Z = 17$   
(ii)  $A = 233$ ,  $Z = 92$   
(iii)  $A = 9$ ,  $Z = 4$
- 2.5 سوڈیم لیٹ سے خارج ہونے والی روشنی کی طول موج (nm) 580 ہے۔ اس پٹی روشنی کی فریکوئنسی ( $\nu$ ) معلوم کیجیے۔
- 2.6 اس ہر ایک فوٹون کی توانائی معلوم کیجیے جو  
(i)  $3 \times 10^{15} \text{ Hz}$  فریکوئنسی کی روشنی سے مطابقت رکھتا ہے۔  
(ii) جس کا طول موج  $0.50 \text{ \AA}$  ہے۔
- 2.7 اس روشنی کی موج کی فریکوئنسی، طول موج اور موج عدد معلوم کیجیے، جس کا دوری وقت  $2.0 \times 10^{-10} \text{ s}$  ہے۔

- 2.8 اس روشنی کے فوٹانوں کی تعداد کیا ہوگی، جس کا طول موج 4000 pm ہے اور جو 1J توانائی مہیا کرتی ہے۔
- 2.9  $4 \times 10^{-7} \text{ m}$  طول موج کا ایک فوٹان دھاتی سطح سے نکلتا ہے۔ دھات کا کام تفاعل 2.13 eV ہے۔
- 2.10 حساب لگائیے: (i) فوٹان کی توانائی (eV) (ii) اخراج کی حرکی توانائی (iii) فوٹو الیکٹران کی رفتار ( $1 \text{ eV} = 1.6020 \times 10^{-19} \text{ J}$ )
- 2.11 242 nm طول موج کا برق مقناطیسی اشعاع، سوڈیم ایٹم کی آئین کاری کے لیے کافی ہے۔ سوڈیم کی آئین کاری توانائی کا حساب لگائیے۔
- 2.12 ایک 25 واٹ کا بلب 0.57 lm کے طول موج کی ایک رنگ پیلی روشنی خارج کرتا ہے۔ کوانٹائی سیکنڈ کے اخراج کی شرح کا حساب لگائیے۔
- 2.13 جب ایک دھاتی سطح پر 6800 Å طول موج کا اشعاع پڑتا ہے تو دھاتی سطح سے صفر رفتار کے الیکٹران خارج ہوتے ہیں۔ دھات کی ویلیز فریکوئنسی ( $\nu_0$ ) اور کام تفاعل ( $W_0$ ) کا حساب لگائیے۔
- 2.14 خارج ہونے والی اس روشنی کا طول موج کیا ہوگا جسے ہائیڈروجن ایٹم میں ایک الیکٹران، انرجی لیول  $n = 4$  سے انرجی لیول  $n = 2$  کے عبور (Transition) کرنے کے دوران خارج کرتا ہے۔
- 2.15 ایک H ایٹم کی آئین کاری کے لیے کتنی توانائی درکار ہے، اگر الیکٹران  $n = 5$  آرہٹ میں ہے۔ اپنے جواب کا مقابلہ H ایٹم کی آئیونائزیشن اینتھالپی سے کیجیے۔ ( $n = 1$  مدار سے الیکٹران خارج کرنے کے لیے درکار توانائی)
- 2.16 اخراجی خطوط (Emission Lines) کی زیادہ سے زیادہ تعداد کیا ہوگی، جبکہ ایک H ایٹم کا مشتمل الیکٹران  $n = 6$  سے گراؤنڈ اسٹیٹ میں آتا ہے۔
- 2.17 (i) ہائیڈروجن ایٹم میں پہلے آرہٹ سے منسلک توانائی  $-2.18 \times 10^{-16} \text{ J atom}^{-1}$  ہے۔ پانچویں آرہٹ سے منسلک توانائی کیا ہوگی؟
- (ii) ہائیڈروجن ایٹم کے لیے بوہر کے پانچویں آرہٹ کے نصف قطر کا حساب لگائیے۔
- 2.18 ایٹمی ہائیڈروجن کے بالمر سلسلے میں سب سے زیادہ طول موج والے ٹرانزیشن کے موج عدد کا حساب لگائیے۔
- 2.19 ہائیڈروجن کے الیکٹران کو پہلے بوہر آرہٹ سے پانچویں بوہر آرہٹ میں منتقل کرنے کے لیے درکار توانائی، جول میں، کیا ہوگی؟ اور جب الیکٹران گراؤنڈ اسٹیٹ میں واپس آتا ہے تو خارج ہونے والی روشنی کا طول موج کیا ہوگا؟ گراؤنڈ اسٹیٹ الیکٹران توانائی  $-2.18 \times 10^{-16} \text{ ergs}$  ہے۔
- 2.20 ہائیڈروجن ایٹم میں الیکٹران توانائی  $E_n = (-2.18 \times 10^{-18}) / n^2 \text{ J}$  سے ظاہر کی جاتی ہے۔ ایک الیکٹران کو  $n=2$  آرہٹ سے مکمل طور پر خارج کرنے کے لیے درکار توانائی کا حساب لگائیے۔ اس ٹرانزیشن کو عمل میں لانے کے لیے روشنی کا طول موج، سینٹی میٹر میں، زیادہ سے زیادہ کتنا ہو سکتا ہے؟
- 2.21 اس الیکٹران کے طول موج کا حساب لگائیے جو  $2.05 \times 10^7 \text{ ms}^{-1}$  کی رفتار سے حرکت کر رہا ہے۔
- 2.22 ایک الیکٹران کی کمیت  $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$  ہے۔ اگر اس کی حرکی توانائی  $3.0 \times 10^{-25} \text{ J}$  ہے تو اس کے طول موج کا حساب لگائیے۔
- 2.23 مندرجہ ذیل میں کون سی انواع، ہم الیکٹرانائی (Isoelectronic) ہیں (یعنی جن میں الیکٹرانوں کی تعداد یکساں ہے)؟



- (i) 2.23 مندرجہ ذیل آئنوں کا الیکٹرانی تشکل لکھیے: (a)  $H^-$  (b)  $Na^+$  (c)  $O^{2-}$  (d)  $F^-$
- (ii) 2.24 ان عناصر کے ایٹمی اعداد کیا ہیں جن کے سب سے باہری الیکٹران ظاہر کیے جاتے ہیں: (a)  $3s^1$  (b)  $2p^3$  (c)  $3p^5$
- (iii) 2.25 مندرجہ ذیل تشکل سے کون سے ایٹم ظاہر کیے جاتے ہیں: (a)  $[He] 2s^1$  (b)  $[Ne] 3s^2 3p^3$  (c)  $[Ar] 4s^2 3d^1$
- 2.26 کسی عنصر کے ایک ایٹم میں 29 الیکٹران اور 35 نیوٹران ہیں، معلوم کیجیے (i) پروٹونوں کی تعداد (ii) عنصر کا الیکٹران تشکل
- 2.27 انواع:  $H_2^+$ ،  $H_2$  اور  $O_2^+$  میں الیکٹرانوں کی تعداد بتائیے۔
- (i) 2.28 ایک ایٹمی آرٹل کے لیے:  $n = 3$  ہے۔  $l$  اور  $m_l$  کی ممکنہ قدریں کیا ہیں۔
- (ii) 2.29  $3d$  آرٹل کے الیکٹران کے لیے کوٹمی اعداد ( $l$  اور  $m_l$ ) کی فہرست تیار کیجیے۔
- (iii) 2.29 مندرجہ ذیل میں سے کون سے آرٹل ممکن ہیں:  $3f$  اور  $2p$ ،  $2s$ ،  $1p$
- 2.29  $d, p, s$  ترسیم کا استعمال کرتے ہوئے مندرجہ ذیل کوٹمی اعداد والے آرٹل بیان کیجیے:
- (a)  $n = 1, l = 0$  (b)  $n = 3, l = 1$  (c)  $n = 4, l = 2$  (d)  $n = 4, l = 3$
- 2.30 وجہ بتاتے ہوئے وضاحت کیجیے کہ مندرجہ ذیل میں سے کوٹمی اعداد کے کون سے سیٹ ممکن نہیں ہیں۔
- (a)  $n = 0, l = 0, m_l = 0, m_s = +\frac{1}{2}$
- (b)  $n = 1, l = 0, m_l = 0, m_s = -\frac{1}{2}$
- (c)  $n = 1, l = 1, m_l = 0, m_s = +\frac{1}{2}$
- (d)  $n = 2, l = 1, m_l = 0, m_s = -\frac{1}{2}$
- (e)  $n = 3, l = 3, m_l = -3, m_s = +\frac{1}{2}$
- (f)  $n = 3, l = 1, m_l = 0, m_s = +\frac{1}{2}$
- 2.31 کسی ایٹم میں کتنے الیکٹرانوں کے مندرجہ ذیل کوٹمی اعداد ہو سکتے ہیں:
- (a)  $n = 4, m_s = -\frac{1}{2}$  (b)  $n = 3, l = 0$
- 2.32 دکھائیے کہ ہائڈروجن ایٹم کے لیے بوہر آرٹ کا محیط (Circumfrance)، آرٹ میں گھومتے ہوئے الیکٹران سے منسلک ڈی براگلی طول موج کا ایک صحیح عددی ضعف (Integral Multiple) ہے۔
- 2.33 ہائڈروجن طیف میں کس ٹرانزیشن کا طول موج  $H_e^+$  طیف کے  $n = 4$  سے  $n = 2$  تک بالمر ٹرانزیشن کے طول موج کے مساوی ہوگا۔
- 2.34 عمل:  $H_e^+(g) \rightarrow He^{2+}(g) + e^-$  کے لیے درکار توانائی کا حساب لگائیے۔ گراؤنڈ اسٹیٹ میں ہائڈروجن ایٹم کے لیے آئن کاری توانائی  $2.18 \times 10^{-18} \text{ J atm}^{-1}$  ہے۔
- 2.35 اگر کاربن ایٹم کا قطر  $0.15 \text{ nm}$  ہے، تو ان کاربن ایٹموں کی تعداد معلوم کیجیے جو  $20 \text{ cm}$  لمبائی کے اسکیل کے ساتھ ایک سیدھے خط میں ایک ایک کر کے رکھے جاسکتے ہیں۔
- 2.36 کاربن کے  $2 \times 10^8$  ایٹم پہلو پہلو پر ترتیب دیے گئے ہیں۔ اگر پوری ترتیب کی لمبائی  $2.4 \text{ cm}$  ہے تو کاربن ایٹم کا نصف قطر معلوم کیجیے۔

- 2.37 زنک ایٹم کا قطر  $2.6 \text{ \AA}$  ہے۔ حساب لگائیے (a) pm میں زنک ایٹم کا نصف قطر (b) اگر زنک ایٹموں کو ایک ایک کر کے لمبائی میں ترتیب دیا جائے تو  $1.6 \text{ cm}$  لمبائی میں پائے جانے والے زنک ایٹموں کی تعداد۔
- 2.38 کسی ذرہ کا ساکن برقی چارج  $2.5 \times 10^{16} \text{ C}$  ہے۔ اس میں موجود الیکٹرانوں کی تعداد معلوم کیجیے۔
- 2.39 ملیکن کے تجربے میں، تیل کے قطروں پر موجود ساکن برقی چارج  $X$ ۔ شعاعوں کو چمکا کر حاصل کیا گیا ہے۔ اگر تیل کے قطروں پر ساکن برقی چارج  $-1.282 \times 10^{-18} \text{ C}$  ہے تو اس میں موجود الیکٹرانوں کی تعداد کا حساب لگائیے۔
- 2.40 رد فورڈ کے تجربے میں عام طور سے  $\alpha$ -ذرات کی بمباری کے لیے، سونا، پلیٹینم وغیرہ جیسے بھاری ایٹموں کے پتلے ورق استعمال کیے جاتے ہیں۔ اگر ایلومینیم وغیرہ جیسے ہلکے ایٹموں کے پتلے ورق استعمال کیے جائیں تو نتیجوں میں کیا فرق دیکھنے میں آئے گا؟
- 2.41 علامتیں  $^{79}\text{Br}$  اور  $^{35}\text{Br}$  لکھی جاسکتی ہیں جبکہ علامتیں  $^{35}_{79}\text{Br}$  قابل قبول نہیں ہیں۔ مختصراً جواب دیجیے۔
- 2.42 ایک عنصر کا کیمیائی عدد 81 ہے، اس میں پروٹونوں کے مقابلے میں 31.7% زیادہ نیوٹران ہیں۔ اسے ایٹمی علامت عطا کیجیے۔
- 2.43 ایک آئین، جس کا کیمیائی عدد 37 ہے، اس میں ایک اکائی چارج ہے۔ اگر آئین میں الیکٹرانوں کے مقابلے میں 11.1% زیادہ نیوٹران ہیں تو آئین کی علامت معلوم کیجیے۔
- 2.44 کیمیائی عدد 56 والے ایک آئین، پر 3 اکائی مثبت چارج پایا جاتا ہے اور اس میں الیکٹرانوں کے مقابلے میں نیوٹرانوں کی تعداد 30.4% زیادہ ہے۔ اس آئین کی علامت بتائیے۔
- 2.45 مندرجہ ذیل قسم کے اشعاع کو فریکوئنسی کی صعودی ترتیب (Increasing order) میں لکھیے: (a) مائیکروویو ادوں سے خارج ہوا اشعاع (b) ٹریٹک گنگل کی غبر روشنی (c) FM ریڈیو کا اشعاع (d) بیرونی اسپیس سے آنے والی کاسمک شعاعیں (e)  $X$ -شعاعیں۔
- 2.46 ناٹروجن لیزر  $337.1 \text{ nm}$  طول موج کا اشعاع پیدا کرتا ہے۔ اگر خارج ہونے والے فوٹونوں کی تعداد  $5.6 \times 10^{24}$  ہے تو اس لیزر کی پاور کا حساب لگائیے۔
- 2.47 سائن بورڈوں میں عام طور سے نیون گیس استعمال کی جاتی ہے۔ اگر یہ  $616 \text{ nm}$  پر تیزی سے اخراج کرتی ہے تو حساب لگائیے: (a) اخراج کی فریکوئنسی (b) اس اشعاع کے ذریعے 30s میں طے کیا گیا فاصلہ (c) کوٹم کی توانائی (d) موجود کوٹموں کی تعداد جبکہ یہ  $2 \text{ J}$  توانائی پیدا کرتی ہے۔
- 2.48 فلکیاتی مشاہدوں میں بہت دور کے ستاروں سے آنے والے گنگل عام طور پر کمزور ہوتے ہیں۔ اگر ایک فوٹان شناس  $600 \text{ nm}$  کے اشعاع سے کل  $3.15 \times 10^{-18} \text{ J}$  توانائی موصول کرتا ہے تو شناس کے ذریعے موصول کیے جانے والے فوٹانوں کی تعداد کا حساب لگا ہے۔
- 2.49 جو سالمات اشتعالی حالت میں ہوتے ہیں، ان کے دور حیات، اکثر پلس شدہ اشعاع ماخذ کو، جن کا وقفہ نیوٹرون کی رینج میں ہوتا ہے، استعمال کر کے معلوم کیے جاتے ہیں۔ اگر اشعاع ماخذ کا وقفہ  $2 \text{ ns}$  ہے اور اس وقفہ میں پلس ماخذ سے خارج ہونے والے فوٹانوں کی تعداد  $2.5 \times 10^{15}$ ، تو ماخذ کی توانائی کا حساب لگائیے۔
- 2.50 سب سے زیادہ لمبی طول موج کا ڈبلیٹ انجذابی ٹرانزیشن  $589$  اور  $589.6$  نیومیٹر پر دیکھا گیا ہے۔ ایک ٹرانزیشن کی فریکوئنسی اور دونوں مشتعل حالتوں کے درمیان توانائی فرق کے حساب لگائیے۔
- 2.51 سیزیم ایٹم کا کام تفاعل  $1.9 \text{ eV}$  ہے۔ حساب لگائیے (a) دہلیز طول موج (b) اشعاع کی دہلیز فریکوئنسی اگر سیزیم ایٹم پر  $500 \text{ nm}$  طول موج کی اشعاع ریزی کی جائے تو خارج ہونے والے فوٹو الیکٹران کی حرکی توانائی اور رفتار کا حساب لگائیے۔

2.52 سوڈیم دھات پر مختلف طول موج کی اشعاع ریزی کی جاتی ہے تو مندرجہ ذیل نتائج حاصل ہوتے ہیں: حساب لگائیے (a) دہلیز طول موج اور (b) پلانک مستقلہ

$$\lambda \text{ (nm)} \quad 500 \quad 450 \quad 400$$

$$v \times 10^{-8} \text{ (cms}^{-1}\text{)} \quad 2.55 \quad 4.35 \quad 5.35$$

2.53 چاندی دھات سے، ضیا برقی اثر تجربے کے دوران، فوٹو الیکٹرانوں کا اخراج 0.35V کا ولٹیج لگا کر روکا جاسکتا ہے۔ جب کہ استعمال کیے جانے والے اشعاع کا طول موج 256.7 nm ہے۔ چاندی دھات کے لیے کام تفاعل کا حساب لگائیے۔

2.54 اگر 150 pm طول موج کا ایک فوٹان ایک ایٹم سے ٹکراتا ہے اور اس ایٹم کا ایک اندرونی بندھا ہوا الیکٹران  $1.5 \times 10^7 \text{ ms}^{-1}$  کی رفتار سے خارج ہوتا ہے، تو اس توانائی کا حساب لگائیے، جس سے وہ الیکٹران نیوکلئس سے بندھا ہوا تھا۔

2.55 پانچن سلسلہ میں اخراج عبور آرہٹ  $n=3$  پر رک جاتے ہیں اور آرہٹ  $n$  سے شروع ہوتے ہیں اور انھیں ظاہر کیا جاسکتا ہے:

$$-v = 3.29 \times 10^{15} \text{ (Hz)} [1/3^2 - 1/n^2]$$

اگر عبور 1285 nm پر دیکھنے میں آتا ہے تو  $n$  کی قدر کا حساب لگائیے۔ طیف کا خط معلوم کیجیے۔

2.56 اس اخراجی ٹرانزیشن کا طول موج معلوم کیجیے جو اس آرہٹ سے شروع ہوتا ہے، جس کا نصف قطر 1.3225 nm ہے اور 211.6 pm نصف قطر والے آرہٹ پر ختم ہوتا ہے۔ اس سلسلے کا نام بتائیے، جس سے یہ ٹرانزیشن تعلق رکھتا ہے اور طیف کا خط بتائیے۔

2.57 ڈی بگراگی کے ذریعے تجویز کئے گئے مادہ کے دہرے برتاؤ نے الیکٹران مائیکروسکوپ کی دریافت کی راہ دکھائی۔ یہ مائیکروسکوپ اکثر حیاتیاتی سالمات اور دوسرے قسم کے مادوں کے بہت زیادہ تکبیر شدہ عکس حاصل کرنے کے لیے استعمال ہوتا ہے۔ اگر اس مائیکروسکوپ میں الیکٹران کی رفتار  $1.6 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$  ہے، تو اس الیکٹران سے منسلک ڈی بگراگی طول موج کا حساب لگائیے۔

2.58 الیکٹران انصراف مائیکروسکوپ کی طرح نیوٹران انصراف مائیکروسکوپ کا استعمال بھی سالمات کی ساخت معلوم کرنے کے لیے ہوتا ہے۔ اگر یہاں استعمال ہونے والی طول موج 800 pm ہے تو نیوٹران سے منسلک مخصوص رفتار کا حساب لگائیے۔

2.59 اگر بوہر کے پہلے آرہٹ میں الیکٹران کی رفتار  $2.19 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$  ہے تو اس سے منسلک ڈی بگراگی طول موج کا حساب لگائیے۔

2.60 1000 V کے برقی مضمر فرق میں حرکت کرتے ہوئے پروٹان سے منسلک رفتار  $4.37 \times 10^5 \text{ ms}^{-1}$  ہے۔ اگر 0.1 kg کمیت کی ہاک کی گیند اسی رفتار سے حرکت کر رہی ہو تو اس رفتار سے منسلک طول موج کا حساب لگائیے۔

2.61 اگر ایک الیکٹران کا مقام  $\pm 0.002 \text{ nm}$  کی درستگی صحت کے ساتھ ناپا جاتا ہے تو الیکٹران کے معیار حرکت میں عدم یقینی کا حساب لگائیے۔ فرض کیجیے الیکٹران کا معیار حرکت  $h/4\pi m \times 0.05 \text{ nm}$  ہے۔ اس قدر کی تعریف کرنے میں کیا کوئی مسئلہ ہے؟

2.62 چھ الیکٹرانوں کے کوآٹم نمبر ذیل میں دیے گئے ہیں۔ انھیں بڑھتی ہوئی توانائی کی ترتیب میں رکھئے۔ کیا ان میں سے کسی مجموعے (مجموعوں) کی توانائی یکساں ہے۔

1.  $n = 4, l = 2, m_l = -2, m_s = -1/2$

2.  $n = 3, l = 2, m_l = 1, m_s = +1/2$

3.  $n = 4, l = 1, m_l = 0, m_s = +1/2$

4.  $n = 3, l = 2, m_l = -2, m_s = -1/2$

5.  $n = 3, l = 1, m_l = -1, m_s = +1/2$

6.  $n = 4, l = 1, m_l = 0, m_s = +1/2$

- 2.63 برومین ایٹم میں 35 الیکٹران ہوتے ہیں۔ اس میں سے 6، الیکٹران 2p اور 6، الیکٹران 3p اور 5 الیکٹران 4p اور 6 الیکٹران 5d میں ہوتے ہیں۔ ان میں سے کون سے الیکٹران سب سے کم موثر نیوکلیائی چارج محسوس کرتے ہیں۔
- 2.64 مندرجہ ذیل اورٹل کے جوڑوں میں کون سا اورٹل مقابلاً زیادہ نیوکلیائی چارج محسوس کرے گا؟
- (i) 2s اور 3s، (ii) 4d اور 4f، (iii) 3d اور 3p
- 2.65 Al اور Si میں غیر جفتی الیکٹران 3p اورٹل میں ہوتے ہیں۔ کون سے الیکٹران نیوکلیس سے مقابلاً زیادہ موثر نیوکلیائی چارج محسوس کریں گے۔
- 2.66 مندرجہ ذیل میں غیر جفتی الیکٹرانوں کی نشاندہی کیجئے:
- (a) p (b) si (c) Cr (d) Fe (e) Kr
- 2.67 (a)  $n=4$  سے کتنے ذیلی شیل منسلک ہیں۔ (b)  $n=4$  کے لیے ان ذیلی شیل میں کتنے الیکٹران ہوں گے، جن کی  $m_s$  قدر  $(-\frac{1}{2})$  ہے۔