باب بارہ

ایٹم

(ATOMS)

© NCERT not to be republished

12.1 تعارف (INTRODUCTION)

انیسویں صدی تک مادے کے ایٹمی فریضے (atomic hypothesis) کے حق میں کافی مواد اکٹھا ہو چکا تھا۔1897 میں گیسوں سے برقی ڈسچارج پر انگریز طبیعیات داں جے. جے. تھامسن (1940–1856) کے ذریعے کیے گئے تجربات نے یہ انکشاف کیا کہ مختلف عناصر کے ایٹموں میں منفی چارج شدہ اجزائے ترکیبی (negatively charged constituents) ہوتے ہیں (الیکٹران) جو تمام ایٹموں کے لیے متماثل (Indentical) ہیں۔لیکن ایٹم مجموعی طور پر تعدیلی (بے برق Neutral) ہوتے ہیں اس لیے ایک ایٹم میں کچھ مثبت چارج ہونا لازمی ہے جو الیکٹرانوں کے منفی چارج کی تعدیل کر سکے۔لیکن ایٹم کے اندر مثبت چارج اور الیکٹرانوں کی ترتیب (انتظام) کیسے ہوتی ہے؟ دوسرے الفاظ میں ایٹم کی ساخت کیا ہے۔

ایٹم کا پہلا ماڈل جے. جے. تھامسن نے 1898 میں تجویز کیا۔اس ماڈل کے مطابق ایٹم کا مثبت چارج ایٹم کے پورے حجم پر ہموار طور پر پھیلا ہوتا ہے اور منفی چارج شدہ الیکٹران اس میں اس طرح پیوست ہوتے ہیں جیسے ایک تربوز میں بیج ہوتے ہیں۔ یہ ماڈل ایٹم کی جیسی تصویر پیش کرتا ہے اس مناسبت سے اسے ایٹم کا پلم پڈنگ (Plum pudding) (کشمشی کھیر) ماڈل کہا گیا۔لیکن ایٹموں کے اس کے بعد کیے گئے مطالعے سے، جیسا کہ اس باب میں بیان کیا گیا ہے، یہ واضح ہوا کہ ایٹم میں الیکٹرانوں اور مثبت چارج کی تقسیم اس سے بالکل مختلف ہوتی ہے جیسی اس ماڈل نے تجویز کی ہے۔

ارنسٹ رورفورڈ (1937–1871) نیوزی لینڈ میں پیدا ہوئے۔ برطانوی طبیعیات داں،جنھوں نے ریڈیو ایکٹیو(تابکار) اشعاع پر رہ نمایانہ کام کیا۔انھوں نے الفا- کرنیں اور بیٹا- کرنیں دریافت کیں۔ فیرڈرک سوڈی کے ساتھ انھوں نے تابکاری کا جدید نظریہ پیش کیا۔انھوں نے تھوریم کے ظہور (emanation) کا مطالعہ کیا اور ایک نئی اعلیٰ (noble) گیس، ریڈون کا ایک ہم جا (isotope) دریافت کیا، جواب تھورون (thoron) کہلاتی ہے۔ دھات کی پنّی (metal foil) سے ذرات کا انتشار کراکر انھوں نے ایٹمی نیوکلیس دریافت کیا اور ایٹم کا سیاری ماڈل تجویز کیا۔انھوں نے نیوکلیس کے تقریبی سائز کا تخمینہ بھی لگایا۔

ارنسٹ رورفورڈ (1937–1871)

ہم جانتے ہیں کہ تکثیف شدہ مادہ(condensed matter)(ٹھوس اور رقیق) اور کثیف گیسیں، ہر درجہ حرارت پر، برق مقناطیسی اشعاع خارج کرتی ہیں جس میں مختلف طولِ لہر کی مسلسل تقسیم پائی جاتی ہے حالانکہ ان کی شدت مختلف ہوتی ہیں۔ یہ سمجھا جاتا ہے کہ اس اشعاع کی وجہ ایٹموں اور مالیکیولوں کے اہتزازات ہیں جو کہ ہر ایٹم یا مالیکیول کے اس کے پڑوسی ایٹموں یا مالیکیولوں سے باہمی عمل کے ذریعے پیدا ہوتے ہیں۔اس کے برخلاف لو پر گرم کی گئی لطیف گیسوں سے یا شعلہ ٹیوب میں برقی طریقے سے اشتعال شدہ گیسوں سے خارج ہوئی روشنی، جیسے جانی پہچانی نیون سائن کی روشنی میں یا پارہ ابخرات روشنی میں صرف کچھ مخصوص مجردطولِ لہر ہی پائے جاتے ہیں۔طیف چمکدار خطوط کا ایک سلسلہ معلوم ہوتا ہے۔ایسی گیسوں میں،ایٹموں کے درمیان اوسط فاصلہ زیادہ ہوتا ہے۔اس لیے یہ سمجھا جاسکتا ہے کہ خارج ہوا اشعاع انفرادی ایٹموں کی وجہ سے ہے اور ایٹموں اور مالیکیولوں کے درمیان باہم عمل کی وجہ سے نہیں ہے۔

انیسویں صدی کے شروع میں ہی یہ بھی پورے وثوق کے ساتھ معلوم ہوگیا تھا کہ ہر عنصر کے ساتھ اشعاع کا ایک مخصوص طیف منسلک ہے،مثلاً ہائیڈروجن کے طیف میں ہمیشہ خطوط کا ایک سیٹ ملتا ہے جس میں خطوط کے درمیان ہمیشہ ایک متعین اضافی فاصلہ ہوتا ہے۔اس حقیقت نے یہ تجویز کیا کہ ایک اٹیم کی اندرونی ساخت اور اس کے ذریعے خارج کیے گئے طیف میں ایک قریبی رشتہ ہے۔ 1885 میں جوہن جیکب بالمر(Johann Jakob Balmer)(1825–1898) نے ایک سادہ آزمائش (Empirical) فارمولا دیا جس کے ذریعے ایٹمی ہائیڈروجن سے خارج ہوئے خطوط کے ایک گروپ کے طولِ لہر حاصل کیے جاسکتے تھے۔ کیونکہ ہائیڈروجن تمام ان عناصر میں جنھیں ہم جانتے ہیں،سب سے سادہ عنصر ہے،ہم اس باب میں ہائیڈروجن کے طیف کا تفصیلی مطالعہ کریں گے۔

ارنسٹ ردرفورڈ(Ernst Rutherford) (1871–1937)، جو جے۔جے تھامسن کے ریسرچ طالب علم رہ چکے تھے، کچھ تاب کار عناصر سے خارج ہوئے ذرات کے ساتھ تجربات کرنے میں مشغول تھے۔1906 میں انھوں نے ایٹمی ساخت کی چھان بین کرنے کے لیے،ان ذرات کے ایٹموں سے انتشار کا ایک کلاسیکی تجربہ تجویز کیا۔یہ تجربہ بعد میں، 1911 کے قریب ہنس گیگر [Hans Geiger (1882–1945)] اور ارنسٹ مارسڈین [Ernst Marsden (1899–1970)] نے کیا (ارنسٹ مارسڈین کی عمر اس وقت صرف 20 برس تھی اور ابھی انھوں نے بیچلر ڈگری بھی حاصل نہیں کی تھی)۔اس تجربے کی تفصیل سے حصہ 12.2 میں بحث کی گئی ہے۔اس تجربے کے نتائج کی وضاحت سے ایٹم کے ردرفورڈ سیاری ماڈل (جو ایٹم کا نیوکلیائی ماڈل بھی کہلاتا ہے) کی بنیاد پڑی۔اس ماڈل کے مطابق ایٹم کا تمام مثبت چارج اور ایٹم کی کمیت کا زیادہ تر حصہ ایک خفیف حجم میں مرتکز ہوتا ہے، جو نیوکلیس کہلاتا ہے،اور الیکٹران نیوکلیس کے گرد اسی طرح طواف کرتے ہیں جیسے سیارے سورج کے گرد طواف کرتے ہیں۔

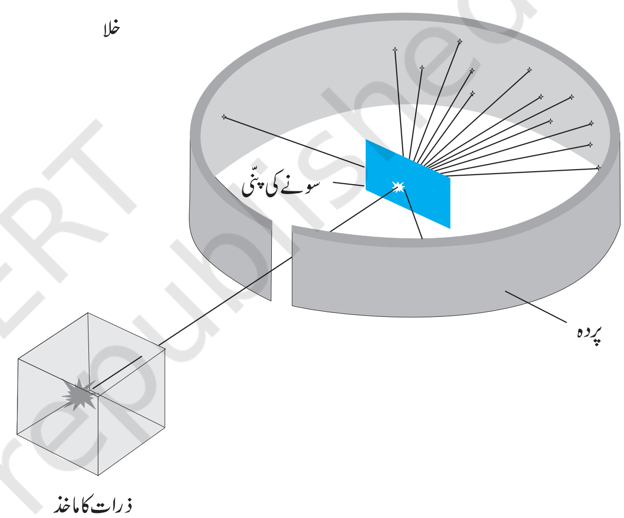
ردرفورڈ نیوکلیائی ماڈل اس جانب ایک اہم قدم تھا،جس طور پر ہم آج ایٹم کو سمجھتے ہیں۔لیکن اس ماڈل کے ذریعے یہ

© NCERT not to be republished

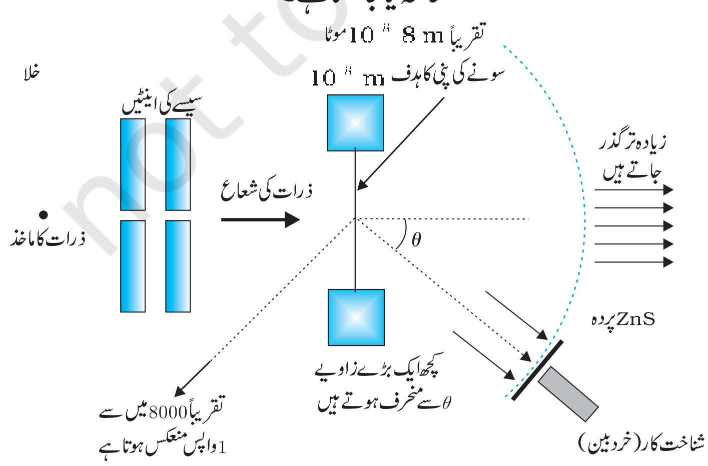
وضاحت نہیں کی جاسکی کہ ایٹم صرف مجرد طولِ لہر کی روشنی ہی کیوں خارج کرتے ہیں۔ ہائیڈروجن جیسا سادہ ایٹم، جو صرف ایک الیکٹران اور ایک پروٹان پر مشتمل ہے، مخصوص طولِ لہر کا پیچیدہ طیف کیسے خارج کرسکتا ہے؟ ایٹم کی کلاسیکی تصویر میں الیکٹران نیوکلیس کے گرد بڑی حد تک اسی طرح طواف کرتے ہیں جیسے سیارے سورج کے گرد طواف کرتے ہیں۔ لیکن پھر بھی، ہم دیکھیں گے کہ اس ماڈل کو تسلیم کرنے میں کچھ بڑی دشواریاں ہیں۔

12.2 الفا–ذرہ انتشار اور ردرفورڈ کا اٹیم نیوکلیائی ماڈل (ALPHA-PARTICLE SATTERING AND RUTHERFORD'S NUCLEAR MODEL OF ATOM)

1911 میں، ارنسٹ ردرفورڈ کے تجویز کرنے پر ایچ گیگر اور ای. مارسڈین نے کچھ تجربات کیے۔ انھوں نے ایک تجربے میں، جیسا کہ شکل 12.1 میں دکھایا گیا ہے، تابکار ماخذ $^{214}_{83}Bi$ سے خارج ہونے والے 5.5 Mev، ذرات کی شعاع کو سونے کی بنی تپلی دھاتی پنی پر ڈالا۔ شکل 12.2 میں اس تجربے کا خاکہ ڈائیگرام دکھایا گیا ہے۔ تابکار ماخذ $^{214}_{83}Bi$ سے خارج ہوئے ذرات کو سیسے کی اینٹوں کے درمیان سے گذار کر ایک پتلی شعاع میں متوازی کرلیا گیا تھا۔ شعاع کو 2.1×10^{-7} m موٹائی کی سونے کی تپلی پنی پر ڈالا گیا۔ منتشر ہوئے ذرات کا ایک گھمائے جاسکنے والے شناخت کار کے ذریعے مشاہدہ کیا گیا۔ یہ شناخت کار زنک سلفائڈ پردہ اور ایک خوردبین پر مشتمل تھا۔ منتشر ہوئے ذرات نے پردہ سے ٹکرانے پر روشنی کے مختصر شعلے پیدا کیے یا روشنی کی جھلک نظر آئی۔ ان شعلوں کو خوردبین کے ذریعے دیکھا جاسکتا ہے اور منتشر ہوئے ذرات کی تعداد کی تقسیم کا بطور زاویہ انتشار کے تفاعل کے مطالعہ کیا جاسکتا ہے۔



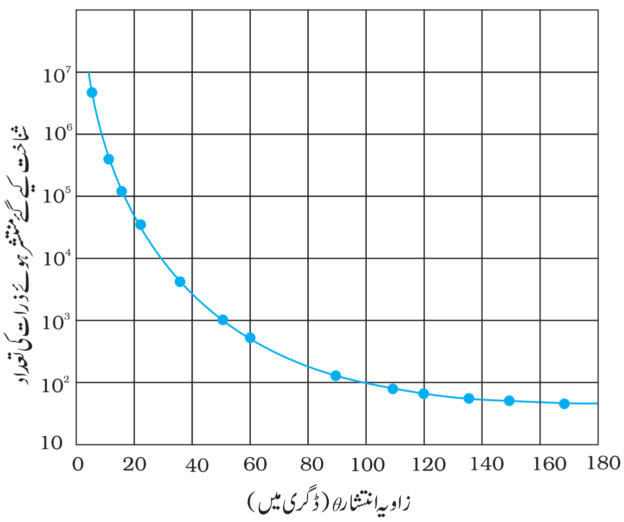
شکل 12.1 گیگر–مارسڈین کا انتشار تجربہ–پورا تجرباتی سامان ایک خلا کیے ہوئے چیمبر میں رکھا ہوا ہے (شکل میں نہیں دکھایا گیا ہے)



شکل 12.2: گیگر–مارسڈین کے تجربہ کا خاکہ ڈائیگرام

© NCERT not to be republished

ایک دیے ہوئے وقفہ وقت میں مختلف زاویوں پر منتشر ہوئی α–ذرات کی کل تعداد کا ایک مخصوص گراف شکل 12.3 میں دکھایا گیا ہے۔ اس شکل میں نقاط (dots) آنکڑوں کے نقطوں کو ظاہر کرتے ہیں اور مسلسل منحنی (ٹھوس منحنی solid curve) اس مفروضے پر مبنی نظری پیشین گوئی ہے کہ ہدف کے ایٹم میں ایک خفیف (small)، کثیف (dense)، مثبت چارج شدہ (positively charged) نیوکلیس ہے۔ بہت سے α–ذرات سونے کی پنّی میں سے سیدھے گذر جاتے ہیں۔ اس کا مطلب ہے کہ ان کا کسی سے کوئی تصادم نہیں ہوتا۔ واقعۃً α–ذرات میں سے صرف 0.14%، 1° سے زیادہ منتشر ہوتے ہیں اور تقریباً 8000 میں سے 1، 90° سے زیادہ سے منحرف ہوتا ہے۔ ردرفورڈ نے دلیل پیش کی کہ α–ذرہ کو پیچھے کی جانب منفرج کرنے کے لیے ضروری ہے کہ اس پر ایک بڑی دفاعی قوت لگے۔ یہ قوت مہیا ہوسکتی ہے اگر ایٹم کی کمیت کا بڑا حصہ اور اس کا مثبت چارج اس کے مرکز پر مضبوطی سے مرتکز ہو۔ تب ایک آنے والا α–ذرہ، مثبت چارج کے بے حد قریب، بنا اس کے اندر داخل ہوئے، آسکتا ہے اور اتنا نزدیکی آمنا سامنا ایک بڑے انفراج کی شکل میں ظاہر ہوگا۔ یہ مطابقت نیوکلیائی ایٹم کے فریضے (hypothesis) کے حق میں تھی۔ اسی وجہ سے ردرفورڈ کو نیوکلیس دریافت کرنے کا اعزاز دیا جاتا ہے۔



شکل 12.3: نقطے (dots) ایک پتلی سونے کی پنی کے لیے α–ذرہ انتشار کے آنکڑے ہیں جو گیگر اور مارسڈین نے شکل 12.1 اور شکل 12.2 میں دکھائے گئے تجربات سے حاصل کیے تھے۔ ٹھوس منحنی (مسلسل خط منحنی solid curve) اس مفروضے پر مبنی نظری پیشین گوئی ہے کہ ایٹم میں ایک خفیف، کثیف، مثبت چارج شدہ نیوکلیس ہوتا ہے۔

ایٹم کے ردرفورڈ کے نیوکلیس ماڈل میں ایٹم کا کل مثبت چارج اور ایٹم کی زیادہ تر کمیت نیوکلیس میں مرتکز ہوتے ہیں اور الیکٹران اس سے کچھ فاصلے پر ہوتے ہیں۔ الیکٹران نیوکلیس کے گرد اسی طرح مداروں میں حرکت کرتے ہیں جیسے سیارے سورج کے گرد حرکت کرتے ہیں۔ ردرفورڈ کے تجربے نے تجویز کیا کہ نیوکلیس کا سائز تقریباً 10^{-15} m سے 10^{-14} m تک ہے۔ حرکی نظریہ (kinetic theory) کے مطابق ایٹم کا معلوم کیا گیا سائز 10^{-10} m تھا جو نیوکلیس کے اِس سائز کا تقریباً 10000 سے 100,000 گنا زیادہ تھا (درجہ XI کی طبیعیات کی درسی کتاب کا حصہ 11.6 باب 11 دیکھیے)۔ اس لیے معلوم ہوتا ہے کہ الیکٹران نیوکلیس سے اتنے فاصلے پر ہوں گے جو خود نیوکلیس کے سائز کا 10,000 سے 100000 گنا ہوگا۔ اس لیے ایٹم کا زیادہ تر حصہ خالی جگہ ہے، اس لیے یہ سمجھنا آسان ہے کہ زیادہ تر ذرات ایک پتلی دھات کی پنی سے سیدھے کیوں گذر گئے۔ لیکن جب ایک ذرہ نیوکلیس کے قریب آجاتا ہے تو وہاں کا طاقت ور برقی میدان اسے ایک بڑے زاویے سے منتشر کردیتا ہے۔ ایٹمی الیکٹران کیونکہ بہت ہلکے (مقابلتاً بہت کم کمیت کے) ہوتے ہیں اس لیے وہ ذرہ پر کوئی قابل لحاظ اثر نہیں ڈالتے۔

شکل 12.3 میں دکھائے گئے انتشار آنکڑوں کا تجزیہ، ردرفورڈ کے ایٹم کے نیوکلیائی ماڈل کو استعمال کرکے، کیا جاسکتا

© NCERT not to be republished

ہے۔کیونکہ سونے کی پنی بہت پتلی ہے یہ فرض کیا جاتا ہے کہ پنی میں سے گذرتے ہوئے ایک ذرہ ایک سے زیادہ مرتبہ منتشر نہیں ہوگا۔اس لیے ایک ذرہ کے خط راہ کی تحسیب کے لیے اس کا ایک واحد نیوکلیس سے منتشر ہونے کو ہی لیا جانا کافی ہے۔الفا ذرات، ہیلیم کے نیوکلیس ہیں، جن میں 2 اکائی، 2e، مثبت چارج ہوتا ہے اور جن کی کمیت ہیلیم ایٹم کی کمیت ہوتی ہے۔سونے کے نیوکلیس کا چارج Ze ہے، جہاں Z ایٹم کا ایٹمی عدد ہے۔سونے کے لیے Z = 79، کیونکہ سونے کا نیوکلیس ایک ذرہ سے تقریباً 50 گنا زیادہ بھاری ہے، اس لیے یہ فرض کر لینا بڑی حد تک درست ہے کہ انتشار کے پورے عمل کے دوران یہ ساکن رہتا ہے۔ان مفروضوں کے ساتھ، نیوٹن کا حرکت کا دوسرا قانون اور ذرہ اور مثبت چارج شدہ نیوکلیس کے درمیان برق۔سکونی دفاعی قوت کا کولمب کا قانون استعمال کرتے ہوئے ایک ذرہ کے خط راہ کی تحسیب کی جاسکتی ہے۔

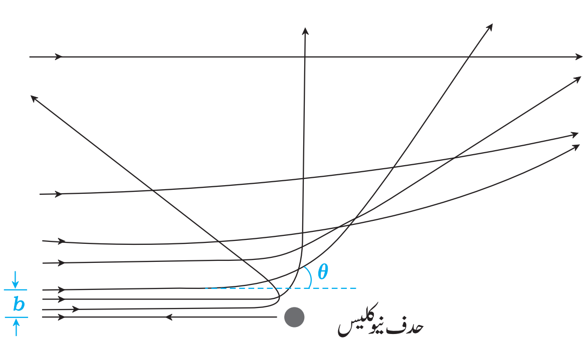
اس قوت کی عددی قدر ہے:

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{(2e)(Ze)}{r^2} \qquad (12.1)$$

جہاں r، α-ذرہ اور نیوکلیس کا درمیانی فاصلہ ہے۔قوت کی سمت، α-ذرہ اور نیوکلیس کو ملانے والے خط کی جانب ہے۔ایک α-ذرہ جیسے جیسے نیوکلیس کے قریب پہنچتا ہے اور نیوکلیس سے دور ہوتا ہے، α-ذرہ پر لگ رہی قوت کی عددی قدر اور سمت لگاتار تبدیل ہوتی رہتی ہے۔

12.2.1 الفا-ذرہ کا خط راہ (Alpha-particle trajectory)

ایک α-ذرہ کے ذریعے اختیار کیا گیا خط راہ تصادم کے ٹکر-پیرامیٹر b (impact parameter) کے تابع ہے۔ٹکر-پیرامیٹر، نیوکلیس کے مرکز سے α-ذرہ کے آغازی رفتار سمتیہ کا عمودی فاصلہ ہے شکل (12.4)۔α-ذرات کی ایک دی ہوئی شعاع میں ٹکر پیرامیٹروں b کی ایک تقسیم پائی جاتی ہے، اس طرح شعاع مختلف سمتوں میں مختلف احتمال کے ساتھ منتشر ہوتی ہے (شکل 12.4) (ایک شعاع میں تمام ذرات کی حرکی توانائی تقریباً یکساں ہوتی ہے)۔یہ دیکھا گیا ہے کہ وہ α-ذرہ جو نیوکلیس کے نزدیک ہوتا ہے (چھوٹا ٹکر پیرامیٹر) اس کا انتشار زیادہ ہوتا ہے۔بالکل سیدھے تصادم (سر سے سر ٹکرانا) (Head on collision) کی صورت میں ٹکر-پیرامیٹر اقل ترین ہوتا ہے اور α-ذرہ ٹکرا کر واپس پلٹ جاتا ہے (rebounds back) ($\theta \cong \pi$)۔بڑے تصادم-پیرامیٹر کے لیے α-ذرہ تقریباً بغیر منحرف ہوئے چلا جاتا ہے اور انفراج قلیل ہوتا ہے ($\theta \cong 0$)۔یہ حقیقت کہ واقع ذرات کی صرف ایک قلیل کسر ہی واپس پلٹتی ہے، اس



شکل 12.4: حدف نیوکلیس کے کولمب میدان میں α-ذرات کا خط راہ- ٹکر-پیرامیٹر b اور زاویہ انتشار θ بھی دکھائے گئے ہیں۔

بات کی نشاندہی کرتی ہے کہ ایسے α-ذرات کی تعداد بہت کم ہے جن کا سیدھا تصادم ہو رہا ہے۔اور اس سے اخذ کیا جاسکتا

© NCERT not to be republished

ہے کہ ایٹم کی کمیت ایک قلیل حجم میں مرتکز ہے۔اس لیے ردرفورڈ انتشار، نیوکلیس کے سائز کی بالائی حد معلوم کرنے کا ایک زوردار طریقہ ہے۔

مثال 12.1: ایٹم کے ردرفورڈ کے نیوکلیائی ماڈل میں نیوکلیس (نصف قطر تقریباً $10^{-15}\ m$)، سورج کے متماثل ہے، جس کے گرد الیکٹران ایک مدار (نصف قطر $\approx 10^{-10}\ m$) میں حرکت کرتا ہے، جیسے زمین سورج کے گرد مدار میں گھومتی ہے۔اگر شمسی نظام کے ابعاد میں بھی وہی مناسبت ہوتی جو ایٹم کے ابعاد میں ہے تو زمین اصل میں سورج سے جتنی دور ہے اس کے مقابلے میں کم دور ہوتی یا زیادہ؟ زمین کے مدار کا نصف قطر تقریباً $1.5 \times 10^{11}\ m$ ہے۔سورج کا نصف قطر $7 \times 10^{8}\ m$ لیا جاتا ہے۔

حل: الیکٹران کے مدار کے نصف قطر کی نیوکلیس کے نصف قطر سے نسبت ہے: $\frac{10^{-10}\ m}{10^{-15}\ m} = 10^{5}$ یعنی کہ الیکٹران کے مدار کا نصف قطر، نیوکلیس کے نصف قطر سے تقریباً 10^5 گنا بڑا ہے۔اگر سورج کے گرد زمین کے مدار کا نصف قطر، سورج کے نصف قطر کا 10^5 گنا ہوتا، تو زمین کے مدار کا نصف قطر ہوتا: $10^5 \times 7 \times 10^8\ m = 7 \times 10^{13}\ m$، یہ زمین کے اصل مداری قطر کا تقریباً 100 گنا ہے۔اس لیے زمین سورج سے بہت زیادہ دور ہوتی۔

اس کا مطلب ہے کہ ایک ایٹم میں خالی فضا کی کسر ہمارے شمسی نظام سے کہیں زیادہ ہوتی ہے۔

مثال 12.1

مثال 12.2: ایک گیگر–مارسڈین تجربہ میں 7.7 MeV کے α–ذرہ کا نیوکلیس سے قریب ترین نزدیکی فاصلہ (distance of closest approach) کیا ہوگا، اس سے پہلے کہ وہ حالتِ سکون میں آئے اور اپنی سمت مخالف کرے۔

حل: کلیدی تصور یہاں یہ ہے کہ انتشار کے پورے عمل کے دوران، ایک α–ذرہ اور سونے کے نیوکلیس پر مشتمل نظام کی کل میکانیکی توانائی کی بقا ہوتی ہے۔نظام کی آغازی میکانیکی توانائی E_i ہے، یعنی ذرہ اور نیوکلیس کے باہمی عمل کرنے سے پہلے، اور یہ اختتامی توانائی E_f کے مساوی ہے جب کہ α–ذرہ ایک لمحے کے لیے رکتا ہے۔آغازی توانائی E_i، آنے والے α–ذرہ کی حرکی توانائی ہی ہے۔اختتامی توانائی E_f، نظام کی برقی وضعی توانائی U ہی ہے۔وضعی توانائی U مساوات (12.1) سے تحسیب کی جاسکتی ہے۔

فرض کیجیے کہ α–ذرہ اپنے رکنے کے نقطہ پر ہے تو ذرہ کے مرکز اور سونے کے نیوکلیس کے مرکز کے درمیان فاصلہ d ہے۔تب ہم توانائی کی بقا: $E_i = E_f$ کو لکھ سکتے ہیں۔

$$K = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{(2e)(Ze)}{d} = \frac{2Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 d}$$

اس لیے قریب ترین نزدیکی فاصلہ d دیا جاتا ہے:

مثال 12.2

$$d = \frac{2Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 K}$$

قدرتی طور پر پیدا ہونے والے α-ذرات کی اعظم حرکی توانائی 7.7 MeV یا 1.2×10^{-12} J پائی گئی ہے۔کیونکہ $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9.0 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$، اس لیے $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C لیتے ہوئے

$$d = \frac{(2)(9.0 \times 10^9 \text{Nm}^2/\text{C}^2)(1.6 \times 10^{-19}\text{C})^2 Z}{1.2 \times 10^{-12}\text{J}}$$

$$= 3.84 \times 10^{-16} \text{ Z m}$$

پنّی کے مادے،سونے کا ایٹمی عدد ہے $Z = 79$، اس لیے

$d\text{ (Au)} = 3.0 \times 10^{-14}$ m = 30 fm (یعنی کہ فرضی) $1 \text{ fm} = 10^{-15}$ m

اس لیے سونے کے نیوکلیس کا نصف قطر 3.0×10^{-14} m ہے۔یہ تجربے سے حاصل کیے گئے نتائج سے ہم آہنگ نہیں ہے، کیونکہ سونے کے نیوکلیس کا،اصل میں،نصف قطر 6fm ہے۔اس تناقص (discrepancy) کی وجہ یہ ہے کہ کم ترین نزدیکی کا فاصلہ،سونے کے نیوکلیس کے نصف قطر اور α-ذرہ کے نصف قطر کے حاصل جمع سے،قابلِ لحاظ طور پر،زیادہ ہوتا ہے۔اس لیے α-ذرہ سونے کے نیوکلیس کے کبھی بھی تماس میں نہیں آتا اور تماس میں آئے بغیر ہی اپنی سمت مخالف سمت میں کر لیتا ہے۔

مثال 12.2

طبیعیات

سمولیٹ روورفورڈ کا انتشار کا تجربہ
http://www-outreach.phy.cam.ac.uk/camphy/nucleus/nucleus_exp.htm

12.2.2 الیکٹران مدار (Electron orbits)

ردرفورڈ کا ایٹم کا نیوکلیائی ماڈل،جس میں کلاسیکی تصورات شامل ہیں،ایٹم کی تصویر ایک ایسے برقی طور پر تعدیلی کرّے کی شکل میں پیش کرتا ہے جس کے مرکز پر بہت خفیف، بھاری کمیت والا اور مثبت چارج شدہ نیوکلیس ہے اور اس نیوکلیس کے گرد اپنے حرکی طور پر مستحکم مداروں میں الیکٹران طواف کر رہے ہیں۔طواف کرتے ہوئے الیکٹرانوں اور نیوکلیس کے درمیان کام کر رہی کشش کی برق-سکونی قوت،انھیں ان کے مداروں میں قائم رکھنے کے لیے درکار مرکز جو قوت (F_c) مہیا کرتی ہے۔اس لیے ایک ہائیڈروجن ایٹم میں حرکی طور پر مستحکم مدار کے لیے

$$F_e = F_c$$

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r^2} \qquad (12.2)$$

اس لیے، مدار کے نصف قطر اور الیکٹران کی رفتار میں رشتہ ہے:

$$r = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 mv^2} \qquad (12.3)$$

ہائیڈروجن ایٹم میں الیکٹران کی حرکی توانائی (K) اور برقی سکونی وضعی توانائی (U) ہیں:

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r} \quad \text{اور} \quad U = -\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r}$$

© NCERT not to be republished

U) کی منفی علامت ظاہر کرتی ہے کہ برق سکونی قوت r– سمت میں ہے)۔اس لیے ہائیڈروجن ایٹم میں الیکٹران کی کل توانائی E ہے:

$$E = K + U = \frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r} - \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r}$$

$$= -\frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r} \qquad (12.4)$$

الیکٹران کی کل توانائی منفی ہے۔اس کا مطلب ہے کہ الیکٹران نیوکلیس سے بندھا ہوا ہے۔اگر E مثبت ہوتی تو الیکٹران نیوکلیس کے گرد ایک بند مدار میں گردش نہیں کرتا۔

مثال 12.3 تجربہ سے یہ معلوم ہوا ہے کہ ایک ہائیڈروجن ایٹم کو ایک الیکٹران اور ایک پروٹان میں علاحدہ کرنے کے لیے 13.6 eV توانائی درکار ہے۔ایک ہائیڈروجن ایٹم میں ایک الیکٹران کے مدار کے نصف قطر اور الیکٹران کی رفتار کا حساب لگائیے۔

حل ہائیڈروجن ایٹم میں الیکٹران کی کل توانائی ہے:

$$-13.6 \text{ eV} = -13.6 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} = -2.2 \times 10^{-18} \text{ J}$$

اس لیے مساوات (12.4) سے حاصل ہوتا ہے:

$$-\frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r} = -2.2 \times 10^{-18} \text{ J}$$

اس سے مدار کا نصف قطر ملتا ہے:

$$r = -\frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 E} = -\frac{(9 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2)(1.6 \times 10^{\ 19}\text{C})^2}{(2)(-2.2 \times 10^{-18} \text{ J})}$$

$$= 5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$$

$m = 9.1 \times 10^{-31}$ kg رکھتے ہوئے، مساوات (12.3) سے طواف کرتے ہوئے الیکٹران کی رفتار کا حساب لگایا جاسکتا ہے۔

$$v = \frac{e}{\sqrt{4\pi\varepsilon_0 mr}} = 2.2 \times 10^6 \text{ m/s.}$$

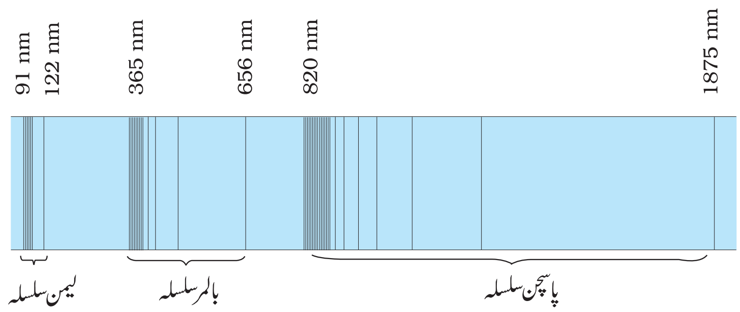
مثال 11.3

© NCERT not to be republished

12.3 ایٹمی طیف (ATOMIC SPECTRA)

جیسا کہ حصہ 12.1 میں نشاندہی کی جاچکی ہے، ہر عنصر کا اپنا ایک خاص اس اشعاع کا طیف ہوتا ہے جو وہ خارج کرتا ہے۔ جب ایک ایٹمی گیس یا ابخرات کو کم دباؤ پر مشتعل کیا جاتا ہے، عام طور سے اس میں سے ایک برقی کرنٹ گزار کے، خارج ہوئے اشعاع کا ایک طیف حاصل ہوتا ہے جس میں کچھ خاص طولِ لہر ہی شامل ہوتے ہیں۔اس قسم کے طیف کو اخراجی خطی طیف کہتے ہیں اور یہ ایک گہرے پس منظر میں چمکدار خطوط پر مشتمل ہوتا ہے۔ایٹمی ہائیڈروجن کے ذریعے خارج کیا گیا طیف

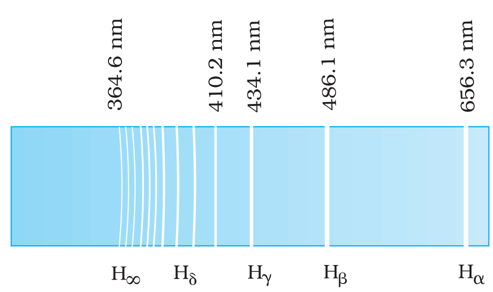
شکل12.5 میں دکھایا گیا ہے۔اس لیے ایک مادہ کے اخراجی خطی طیف(emission line spectrum) کا مطالعہ ایک گیس کو شناخت کرنے کے لیے بطور انگلیوں کے نقوش(fingerprint) کام کرتا ہے۔ جب ایک گیس سے سفید روشنی گذرتی ہے اور ہم ایک طیف پیما استعمال کرتے ہوئے ترسیل شدہ روشنی کا تجزیہ کرتے ہیں تو ہمیں طیف میں کچھ گہرے (سیاہ) خطوط ملتے ہیں۔یہ سیاہ خطوط، درستی صحت کے ساتھ ان طولِ لہر سے مطابقت رکھتے ہیں جو گیس کے اخراجی خطی طیف میں پائے گئے تھے۔ یہ گیس کے مادہ کا انجذاب طیف(absorption spectrum) کہلاتا ہے۔



شکل12.5:ہائیڈروجن کے طیف میں اخراجی خطوط

12.3.1 طیفی سلسلہ (Spectral series)

ہم امید کرسکتے ہیں کہ ایک خاص عنصر کے ذریعے خارج کی گئی روشنی کے تعددوں میں کوئی باقاعدہ نمونہ ہوگا۔ ہائیڈروجن سادہ ترین ایٹم ہے،اس لیے اس کا طیف بھی سب سے زیادہ سادہ ہوتا ہے۔لیکن مشاہدہ کیے گئے طیف میں پہلی نظر میں طیفی خطوط میں کسی ترتیب یا باقاعدگی کی جھلک نظر نہیں آتی۔لیکن ہائیڈروجن طیف کے کچھ خاص سیٹوں کے خطوط کا درمیانی فاصلہ ایک باقاعدہ طریقے سے کم ہوتا ہے(شکل12.5)۔ان میں سے ہر ایک سیٹ ایک طیفی سلسلہ کہلاتا ہے۔1885 میں،ایسے پہلے سلسلے کا مشاہدہ ایک سوئیڈن کے اسکول کے استاد جوہن جیکب بالمر(1825–1898) نے کیا۔ یہ سلسلہ ہائیڈروجن ایٹم کے بصری علاقے(visible region) میں تھا۔ یہ سلسلہ بالمر سلسلہ کہلاتا ہے (شکل12.6)۔سب سے زیادہ طولِ لہر والے خط کا طولِ لہر 656.3 nm تھا جو سرخ علاقے میں تھا اور یہ خط H_α کہلاتا ہے،اس کے بعد والا خط، جس کا طول لہر نیلے علاقے میں 486.1nm تھا، H_β کہلاتا ہے،تیسرا خط،طول لہر 434.1nm،اودے علاقے میں، H_γ کہلاتا ہے اور اسی طرح اور بھی۔ جیسے جیسے طول لہر کم ہوتا جاتا ہے خطوط ایک دوسرے کے زیادہ نزدیک معلوم ہوتے ہیں اور ان کی شدت بھی کم ہوتی جاتی ہے۔ بالمر نے مشاہدہ کی گئی طول لہر کے لیے ایک سادہ آزمائشی فارمولا معلوم کیا:



شکل12.6:ہائیڈروجن کے اخراجی طیف میں بالمر سلسلہ

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad (12.5)$$

جہاں λ،طولِ لہر ہے،R ایک مستقلہ ہے جو رڈبرگ مستقلہ کہلاتا ہے اور n کی کوئی صحیح عددی قدر، جیسے 3، 4، 5وغیرہ ہوسکتی ہے۔R کی قدر $1.097 \times 10^7\ m^{-1}$ ہے۔ یہ مساوات بالمر فارمولا بھی کہلاتی ہے۔

© NCERT not to be republished

مساوات(12.5) میں $n=3$ لیتے ہوئے، ہم H_α خط کا طولِ لہر حاصل کرتے ہیں:

$$\frac{1}{\lambda} = 1.097 \times 10^7 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}\right) \text{ m}^{-1}$$

$$= 1.522 \times 106 \text{ m}^{-1}$$

$$\lambda = 656.3 \text{ nm}$$

$n = 4$ کے لیے H_β خط کا طول لہر حاصل کیا جا سکتا ہے اور اسی طرح آگے بھی۔ $n = \infty$ کے لیے حاصل سلسلے کی حد $\lambda = 364.6\text{nm}$ پر حاصل ہوتی ہے۔ یہ بالمر سلسلے میں سب سے کم طولِ لہر ہے۔ اس حد کے آگے کوئی واضح خط نہیں دکھائی دیتا اور صرف ایک دھندلا مسلسل طیف دکھائی دیتا ہے۔

ہائیڈروجن کے طیف کے دیگر سلسلے اس کے بعد دریافت ہوئے۔ یہ اپنے دریافت کرنے والوں کے نام پر لیمن، پاسچن، بریکٹ اور پی فنڈ سلسلے کہلاتے ہیں۔ یہ ان فارمولوں سے ظاہر کیے جاتے ہیں:

لیمن سلسلہ

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad n = 2,3,4... \tag{12.6}$$

پاسچن سلسلہ

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad n = 4,5,6... \tag{12.7}$$

بریکٹ سلسلہ

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad n = 5,6,7... \tag{12.8}$$

پی فنڈ سلسلہ

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad n = 6,7,8... \tag{12.9}$$

لیمن سلسہ بالا بنفشئی علاقے میں ہے اور پاسچن اور بریکٹ سلسلے زیریں سرخ علاقے میں ہیں۔ بالمر فارمولا، مساوات(12.5)، روشنی کے تعدد کی شکل میں بھی لکھا جا سکتا ہے۔ یاد کریں

$$c = \nu\lambda$$

یا $$\frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{c}$$

اس لیے مساوات(12.5) ہو جاتی ہے:

$$\nu = Rc\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) \tag{12.10}$$

صرف چند عناصر (ہائیڈروجن، ایک بار آئن شدہ ہیلیم یا دہرہ آئن شدہ لیتھیم) ہی ایسے ہیں، جن کے طیف

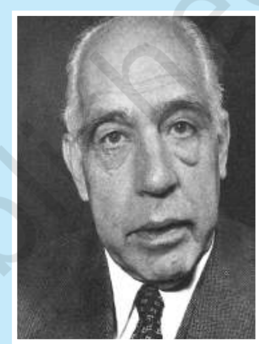
© NCERT not to be republished

مساوات(12.5) تا مساوات(12.9) جیسے سادہ فارمولوں سے ظاہر کیے جا سکتے ہیں۔

مساواتیں 12.5 تا 12.9 اس لیے کار آمد ہیں کیونکہ ان سے وہ طول لہر حاصل کیے جا سکتے ہیں جو ہائیڈروجن ایٹم خارج کرتے ہیں یا جذب کرتے ہیں۔لیکن یہ نتائج آزمائشی ہیں اور ایسی کوئی وجہ ان سے نہیں معلوم ہوتی کہ ہائیڈروجن طیف میں صرف کچھ مخصوص تعددہی کیوں مشاہدے میں آتے ہیں۔

12.4 ہائیڈروجن ایٹم کا بوہر ماڈل (BOHR MODEL OF THE HYDROGEN ATOM)

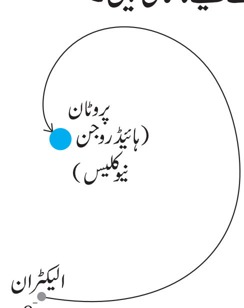
ردرفورڈ کے تجویز کردہ ایٹم ماڈل میں یہ فرض کیا جاتا ہے کہ ایٹم جو ایک مرکزی نیوکلیس اور طواف کرتے ہوئے الیکٹرانوں پر مشتمل ہے، مستحکم ہے بالکل سورج۔سیارہ نظام کی طرح، جس کی یہ تقلید کرتا ہے۔لیکن ان دونوں صورتوں میں کچھ بنیادی اختلافات ہیں۔سیاری نظام تو مادی کششی قوت کے ذریعے قائم رہتا ہے جب کہ نیوکلیس۔الیکٹران نظام میں، چارج شدہ اشیا پر مشتمل ہونے کی وجہ سے قوت کے کولمب کے قانون کے ذریعے باہم عمل ہوتا ہے۔ہم جانتے ہیں کہ ایک شے جو ایک دائرہ میں حرکت کر رہی ہوتی ہے مسلسل اسراع پذیر ہوتی ہے۔اسراع کی طبع مرکز جو ہوتی ہے۔کلاسیکی برق۔مقناطیسی نظریہ کے مطابق ایک اسراع پذیر چارج شدہ ذرہ برق۔مقناطیسی لہروں کی شکل میں اشعاع خارج کرتا ہے۔اس لیے ایک اسراع پذیر الیکٹران کی توانائی مسلسل کم ہوتی رہنی چاہیے۔الیکٹران اندر کی جانب چکری (spiral) راستہ اختیار کرے گا اور بالآخر نیوکلیس میں گر جائے گا (شکل 12.7)۔اس لیے، ایسا ایٹم مستحکم نہیں ہو سکتا۔مزید، کلاسیکی برق۔مقناطیسی نظریہ کے مطابق، طواف کرتے ہوئے الیکٹرانوں کے ذریعے خارج کی گئی برق۔مقناطیسی لہروں کا تعدد طواف کے تعدد کے مساوی ہے۔جیسے جیسے الیکٹران اندر کی جانب چکری راستے پر آگے بڑھیں گے، ان کی زاویائی رفتاریں اور اس لیے ان کے تعدد بھی مسلسل تبدیل ہوتے رہیں گے اور خارج ہوئی روشنی کا تعدد بھی تبدیل ہوگا۔اس لیے انھیں ایک مسلسل طیف خارج کرنا چاہیے، جو کہ اصل مشاہدہ کیے گئے خطی طیف سے تضاد ہے۔صاف ظاہر ہے کہ ردرفورڈ کا ماڈل اس کہانی کا صرف ایک حصہ ہی بیان کرتا ہے، جس سے اخذ کیا جا سکتا ہے کہ کلاسیکی تصورات ایٹمی ساخت کی وضاحت کرنے کے لیے ناکافی ہیں۔



نیلس ہنرک ڈیوڈ بوہر (1885 – 1962)
(Niels Henrik David Bohr

ڈنمارک کے طبیعیات داں تھے جنھوں نے ہائیڈروجن ایٹم کے طیف کی، کوانٹم تصورات پر مبنی، وضاحت کی۔انھوں نے نیوکلیائی انشقاق کا ایک نظریہ پیش کیا جو نیوکلیس کے آب۔قطرہ ماڈل پر مبنی تھا۔ بوہر نے کوانٹم میکانیات کے تصوراتی مسائل کی وضاحت کرنے میں بھی مدد کی، خاص طور پر اتمامی اصول (complementary principle) تجویز کیے۔

نیلس ہنرک ڈیوڈ بوہر (1885 – 1962)



شکل 12.7: ایک اسراع پذیر الیکٹران کو چکری راستہ اختیار کرتے ہوئے، لازمی طور پر، نیوکلیس میں پہنچ جانا چاہیے کیونکہ وہ مسلسل توانائی کا زیاں کرتا ہے۔

© NCERT not to be republished

مثال 12.4: کلاسیکی برق۔مقناطیسی نظریہ کے مطابق، ایک ہائیڈروجن ایٹم میں طواف کرتے ہوئے الیکٹران کے ذریعے خارج کی گئی روشنی کا آغازی تعدد تحسیب کیجیے۔

حل: مثال 12.3 سے ہم جانتے ہیں کہ ایک ہائیڈروجن ایٹم میں ایک پروٹان کے گرد 5.3×10^{-11} m نصف قطر کے مدار میں حرکت کرتے ہوئے الیکٹران کی رفتار 2.2×10^{-6} m/s ہے۔اس لیے پروٹان کے گرد حرکت کرتے ہوئے الیکٹران کا تعدد ہے:

$$\nu = \frac{v}{2\pi r} = \frac{2.2 \times 10^{6} \text{ m s}^{-1}}{2\pi\left(5.3 \times 10^{-11} \text{ m}\right)}$$

$$= 6.6 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

کلاسیکی برق۔مقناطیسی نظریہ کے مطابق ہم جانتے ہیں کہ طواف کرتے ہوئے الیکٹران کے ذریعے خارج کی گئی برق۔مقناطیسی لہروں کا تعدد، اس کے نیوکلیس کے گرد طواف کے تعدد مساوی ہے۔اس لیے خارج ہوئی روشنی کا آغازی تعدد 6.6×10^{15} Hz ہے۔

یہ نیلس بوہر (1885–1962) تھے جنھوں نے اس ماڈل میں کچھ ترمیم کی۔انھوں نے اس میں اس وقت نئے تشکیل پارہے کوانٹم فریضے کے کچھ تصورات شامل کیے۔نیلس بوہر نے 1912 میں کئی مہینے تک ردرفورڈ کی تجربہ گاہ میں تعلیم حاصل کی اور انھیں ردرفورڈ کے نیوکلیائی ماڈل کے درست ہونے کا پورا یقین ہوگیا۔اس کش مکش کے سامنے آنے پر، جسے اوپر بیان کیا گیا ہے، بوہر نے 1913 میں یہ نتیجہ اخذ کیا کہ باوجود اس کے کہ برق۔مقناطیسی نظریہ بڑے پیمانے کے مظاہر کی وضاحت کرنے میں کامیاب ہے، ایٹمی پیمانے کے عملوں پر اس کا اطلاق نہیں کیا جاسکتا۔یہ واضح ہوگیا کہ ایٹموں کی ساخت اور ایٹموں کی ساخت کے ایٹمی طیف سے رشتے کو سمجھنے کے لیے کلاسیکی میکانیات اور برق۔مقناطیسیت کے اصلولوں سے بڑی حد تک انقلابی انحراف کی ضرورت ہوگی۔بوہر نے کلاسیکی اور شروعاتی کوانٹم نظریات کو مجتمع کیا اور تین دعووں (postulates) کی شکل میں اپنا نظریہ پیش کیا، یہ ہیں:

(i) بوہر کا پہلا دعویٰ تھا کہ ایک ایٹم میں ایک الیکٹران کچھ مخصوص مستحکم مداروں میں، بغیر اشعاعی توانائی کا اخراج کیے، گردش کرے گا، جو کہ برق۔مقناطیسی نظریہ سے تضاد تھا۔اس دعوے کے مطابق، ہر ایٹم کے لیے کچھ معین مستحکم حالتیں ہیں جن میں وہ رہ سکتا ہے۔اور ایسی ہر ممکنہ حالت کی ایک معین کل توانائی ہے۔یہ ایٹم کی سکونی حالتیں کہلاتی ہیں۔

(ii) بوہر کا دوسرا دعویٰ ان مستحکم مداروں کی تعریف کرتا ہے۔اس دعوے کا بیان ہے کہ الیکٹران صرف انھیں مداروں میں نیوکلیس کے گرد طواف کرتے ہیں جن کا زاویائی معیارِ حرکت، $\frac{h}{2\pi}$ کا کوئی صحیح عددی ضعف ہوتا ہے، جہاں h ($= 6.6 \times 10^{-34}$ J s) پلانک کا مستقلہ ہے۔اس لیے طواف کررہے الیکٹران کا زاویائی معیارِ حرکت (L) کوانٹمیایا ہوا ہے۔یعنی کہ:

not to be republished © NCERT

$$L = nh/2\pi \tag{12.11}$$

(iii) بوہر کے تیسرے دعوے نے پلانک اور آئن اسٹائن کے ذریعے تشکیل دیے گئے شروعاتی کوانٹم تصورات کو ایٹمی نظریہ میں شامل کیا۔ اس کا بیان ہے کہ الیکٹران اپنے مخصوص معین غیر اشعاعی مداروں میں زیادہ توانائی والے مدار سے مقابلتاً کم توانائی والے مدار میں منتقل ہوسکتا ہے۔ جب وہ ایسا کرتا ہے تو ایک فوٹان خارج ہوتا ہے جس کی توانائی، آغازی اور اختتامی حالتوں کے توانائی فرق کے مساوی ہوتی ہے۔ اس لیے خارج ہوئے فوٹان کا تعدد دیا جاتا ہے:

$$h\nu = E_i - E_f \tag{12.12}$$

جہاں E_i آغازی حالت کی توانائی اور E_f اختتامی حالت کی توانائی ہے اور $E_i > E_f$

ایک ہائیڈروجن ایٹم کے لیے، مساوات (12.4) مختلف توانائی حالتوں (energy states) کی توانائیاں معلوم کرنے کے لیے ریاضیاتی عبارت مہیا کرتی ہے۔ لیکن اس مساوات میں الیکٹران کے مدار کا نصف قطر r چاہیے۔ r کا حساب لگانے کے لیے، الیکٹران کے زاویائی معیارِ حرکت کے بارے میں بوہر کا دوسرا دعویٰ— کوانٹمیانے کی شرط— استعمال کی جاتی ہے۔ زاویائی معیارِ حرکت L دیا جاتا ہے:

$$L = mvr$$

کوانٹمیانے کا بوہر کا دوسرا دعویٰ [مساوات 12.11] بتاتا ہے کہ زاویائی معیارِ حرکت کی تسلیم شدہ قدریں $h/2\pi$ کی صحیح عددی اضعاف ہیں۔

$$L_n = mv_n r_n = \frac{nh}{2\pi} \tag{12.13}$$

جہاں n ایک صحیح عدد ہے، r_n ممکنہ n^{th} مدار کا نصف قطر ہے اور v_n، n^{th} مدار میں الیکٹران کے حرکت کرنے کی چال ہے۔ تسلیم شدہ مداروں سے n کی قدر کے مطابق ...1,2,3 عدد منسلک کیے جاسکتے ہیں، جسے مدار کا خاص کوانٹم عدد (principal quantum number) کہتے ہیں۔

مساوات (12.13) سے، v_n اور r_n میں رشتہ ہے:

$$v_n = \frac{e}{\sqrt{4\pi\varepsilon_0 m r_n}}$$

اسے مساوات (12.13) کے ساتھ ملانے پر ہمیں v_n اور r_n کے لیے مندرجہ ذیل ریاضیاتی عبارتیں حاصل ہوتی ہیں:

$$v_n = \frac{1}{n}\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\frac{1}{(h/2\pi)} \tag{12.14}$$

$$r_n = \left(\frac{n^2}{m}\right)\left(\frac{h}{2\pi}\right)^2 \frac{4\pi\varepsilon_0}{e^2} \tag{12.15}$$

مساوات (12.14) ظاہر کرتی ہے کہ n^{th} مدار میں مداری چال n کے ضریب سے کم ہوجاتی ہے۔ مساوات (12.15) استعمال کرکے اندرونی ترین مدار (n=1) کا سائز حاصل کیا جاسکتا ہے:

© NCERT not to be republished

$$r_1 = \frac{h^2 \varepsilon_0}{\pi m e^2}$$

یہ بوہر نصف قطر کہلاتا ہے اور اسے a_0 سے ظاہر کرتے ہیں۔ اس لیے:

$$a_0 = \frac{h^2 \varepsilon_0}{\pi m e^2} \qquad (12.16)$$

h، m، ε_0 اور e کی قدریں رکھنے پر، حاصل ہوتا ہے: $a_0 = 5.29 \times 10^{-11}$ m

مساوات (12.15) سے یہ بھی دیکھا جاسکتا ہے کہ مداروں کے نصف قطر n^2 سے بڑھتے ہیں۔

ہائیڈروجن ایٹم کی سکونی حالتوں میں الیکٹران کی کل توانائی، مساوات (12.4) میں مداری نصف قطر کی قدر رکھ کر حاصل کی جاسکتی ہے:

$$E_n = -\left(\frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0}\right)\left(\frac{m}{n^2}\right)\left(\frac{2\pi}{h}\right)^2\left(\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\right)$$

یا

$$E_n = -\frac{me^4}{8n^2\varepsilon_0^2h^2} \qquad (12.17)$$

عددی قدریں رکھنے پر، حاصل ہوتا ہے:

$$E_n = -\frac{2.18 \times 10^{-18}}{n^2} \text{J} \qquad (12.18)$$

ایٹمی توانائیاں اکثر جول کے بجائے الیکٹران وولٹ (eV) میں ظاہر کی جاتی ہیں۔ کیونکہ $1\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19}$ J اس لیے مساوات (12.18) لکھی جاسکتی ہے:

$$E_n = -\frac{13.6}{n^2} \text{ eV} \qquad (12.19)$$

ایک مدار میں حرکت کرتے ہوئے الیکٹران کی کل توانائی کی منفی علامت کا مطلب ہے کہ الیکٹران نیوکلیس سے بندھا ہوا ہے۔ اس لیے ہائیڈروجن ایٹم کے الیکٹران کو اس کے نیوکلیس (یا ہائیڈروجن ایٹم میں پروٹان) سے لامتناہی فاصلے پر لے جانے کے لیے توانائی درکار ہوگی۔

مساوات (12.17) تا مساوات (12.19) مشتق کرنے میں یہ مفروضہ استعمال کیا گیا ہے کہ الیکٹرانی مدار دائری ہوتے ہیں، حالانکہ وہ مدار جو مربع مقلوب قوت کے تحت آتے ہیں، عموی طور پر بیضوی (elliptical) ہوتے ہیں۔ (سیارے، سورج کی مربع مقلوب مادی کششی قوت کے تحت بیضوی مداروں میں حرکت کرتے ہیں) لیکن جرمن طبیعیات داں آرنالڈ سمر فیلڈ (Arnold Sommerfeld) (1868–1951) نے یہ دکھایا کہ جب دائری مدار کی پابندی ہٹادی جاتی ہے، تب بھی یہ مساواتیں بیضوی مداروں کے لیے بھی درست رہتی ہیں۔

© NCERT not to be republished

ایک ایٹم میں الیکٹران کا مدار بہ مقابلہ الیکٹران کی حالت (مدار چہ تصویر)
(ORBIT VS STATE (ORBITAL PICTURE) OF ELECTRON IN ATOM)

طبیعیات کے نصاب میں کبھی نہ کبھی ہم ایٹم کے بوہر ماڈل سے ضرور متعارف ہوتے ہیں۔ اس ماڈل کا کوانٹم میکانیات کی تاریخ میں ایک مقام حاصل ہے اور خاص طور پر ایک ایٹم کی ساخت کی وضاحت کرنے میں یہ بہت اہم ہے۔ الیکٹرانوں کے لیے، جب بوہر نے معین توانائی مداروں کا انقلابی تصور پیش کیا جو کہ اسراع پذیر ذرے کے لیے اشعاع کرنے کو لازمی قرار دینے والی کلاسیکی تصویر سے تضاد تھا، تب سے بوہر کا یہ تصور ایک سنگِ میل کی حیثیت رکھتا ہے۔ بوہر نے معین مداروں میں حرکت کرتے ہوئے الیکٹرانوں کے معیارِ حرکت کے کوانٹمیانے کا تصور بھی پیش کیا۔ اس طرح یہ ماڈل ایٹم کی ساخت کی ایک نیم کلاسیکی تصویر تھی۔

اب کوانٹم میکانیات کے ارتقا کے ساتھ ہم ایٹم کی ساخت کو بہتر طور پر سمجھ سکتے ہیں۔ شروڈِنگر لہر مساوات کے حل، ایک ایٹم میں، پروٹانوں کی کششی قوتوں کی وجہ سے، بندھے ہوئے الیکٹرانوں کے ساتھ ایک لہر- جیسا بیان منسلک کرتے ہیں۔

بوہر ماڈل میں الیکٹران کا ایک مدار، ایک الیکٹران کے نیوکلیس کے گرد حرکت کرنے کا دائری راستہ ہے۔ لیکن کوانٹم میکانیات کے مطابق، ایک ایٹم میں الیکٹرانوں کی حرکت سے ہم کوئی متعین رستہ منسلک نہیں کرسکتے۔ ہم صرف نیوکلیس کے گرد فضا کے کسی خاص علاقے میں الیکٹران کے پائے جانے کے احتمال کی بات کرسکتے ہیں۔ یہ احتمال، ایک-الیکٹران لہر تفاعل سے اخذ کی جاسکتی ہے، جسے مدار چہ (orbital) کہتے ہیں۔ یہ تفاعل صرف الیکٹران کے کوآرڈینیٹس کے تابع ہے۔

اس لیے یہ ضروری ہے کہ ہم دونوں ماڈلوں کے درمیان باریک فرق کو سمجھ سکیں۔

- بوہر کا ماڈل صرف ایک-الیکٹران ایٹموں/آئنوں کے لیے درست ہے، ہر مدار کو دی گئی ایک توانائی کی قدر، اس ماڈل میں، صرف خاص کوانٹم عدد n کے تابع ہے۔ ہم جانتے ہیں کہ ایک الیکٹران کی ساکن حالت سے منسلک توانائی صرف ایک-الیکٹران ایٹموں/آئنوں کے لیے ہی صرف n کے تابع ہوتی ہے کثیر الیکٹران ایٹموں/آئنوں کے لیے یہ درست نہیں ہے۔
- ہائیڈروجن- جیسے ایٹموں/آئنوں کے لیے شروڈنگر لہر مساوات کا حاصل کیا گیا حل، جو لہر تفاعل کہلاتا ہے، نیوکلیس کے گرد مختلف علاقوں میں الیکٹران کے پائے جانے کے احتمال کے بارے میں اطلاعات فراہم کرتا ہے۔ یہ مدار چہ، بوہر ماڈل میں ایک الیکٹران کے لیے معرف کیے گئے مدار سے کوئی مشابہت نہیں رکھتا۔

مثال 12.5 ایک 10kg کا سیارچہ زمین کے گرد ہر 2 گھنٹے میں ایک دائری چکر لگاتا ہے اور اس کے دائری مدار کا نصف قطر 800km ہے۔ یہ فرض کرتے ہوئے کہ بوہر کے زاویائی معیارِ حرکت کا دعویٰ کے سیارچوں پر بھی اسی طرح اطلاق ہوتا ہے جیسے ہائیڈروجن ایٹم میں الیکٹران پر ہوتا ہے، سیارچے کے مدار کا کوانٹم عدد معلوم کیجیے۔

حل مساوات (12.3) سے ہمارے پاس ہے:

$$m\, v_n r_n = \frac{nh}{2\pi}$$

مثال 12.5

مثال 12.5

یہاں $m = 10$ kg اور $r_n = 8 \times 10^6$ m، دائری چکر لگاتے ہوئے سیارچے کا دوری وقت T، 2h ہے۔ یعنی کہ $T = 7200$ s

اس لیے رفتار v_n ہوگی: $v_n = \frac{2\pi\, r_n}{T}$

سیارچے کے مدار کا کوانٹم عدد n:

$$n = (2\pi\, r_n)^2 \times \frac{m}{(T \times h)}$$

قدریں رکھنے پر

$$n = (2\pi \times 8 \times 10^6\ m)^2 \times \frac{10}{(7200\ s \times 6.64 \times 10^{-34}\ J\ s)}$$

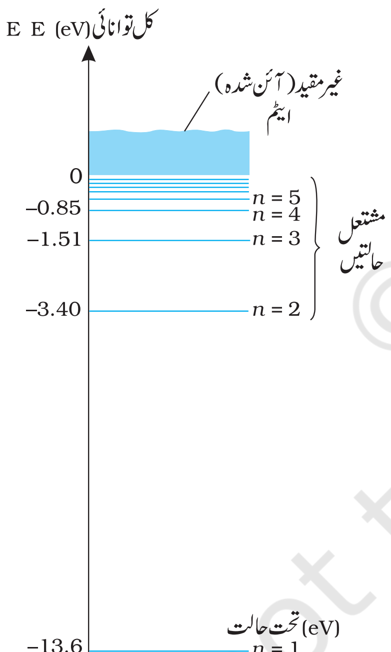
$$= 5.3 \times 10^{45}$$

نوٹ کریں کہ سیارچے کی حرکت کے لیے کوانٹم عدد بہت زیادہ بڑا ہے۔ دراصل اتنے بڑے کوانٹم اعداد کے لیے کوانٹمیانے کی شرائط کے نتائج کلاسیکی طبیعیات کے نتائج جیسے ہوتے ہیں۔

12.4.1 توانائی منازل (Energy levels)

ایک ایٹم کی توانائی سب سے کم (سب سے بڑی منفی قدر) اس وقت ہوتی ہے جب الیکٹران اس مدار میں طواف کررہا ہوتا ہے جو نیوکلیس سے سب سے زیادہ نزدیک ہے، یعنی کہ، وہ مدار جس کے لیے n = 1 ہے۔ n = 2,3,... کے لیے توانائی E کی مطلق قدر مقابلتاً خفیف ہوتی ہے، اس لیے باہری مداروں میں توانائی بتدریج زیادہ ہوتی جاتی ہے۔ ایٹم کی سب سے نچلی حالت، جو تحتی حالت (ground state) کہلاتی ہے، وہ ہے جو کم ترین توانائی کی ہے، جس میں الیکٹران سب سے کم نصف قطر کے مدار میں طواف کررہا ہوتا ہے اور یہ نصف قطر، بوہر نصف قطر a_0 ہے۔ اس حالت (n = 1) کی توانائی، 13.6 eV– ہے۔ اس لیے ہائیڈروجن ایٹم کی تحت حالت سے ایک الیکٹران کو آزاد کرانے کے لیے درکار کم ترین توانائی 13.6 eV+ ہے۔ یہ ہائیڈروجن ایٹم کی آئن کاری توانائی کہلاتی ہے۔ بوہر ماڈل کی یہ پیشین گوئی، آئن کاری کی تجرباتی قدر سے بخوبی ہم آہنگ ہے۔

کمرہ درجہ حرارت پر، زیادہ تر ہائیڈروجن ایٹم تحت حالت میں ہوتے ہیں۔ جب ایک ہائیڈروجن ایٹم کو توانائی ملتی ہے، الیکٹرانوں کے آپسی تصادم جیسے عملوں کے ذریعے، تو ہوسکتا ہے ایٹم کو اتنی توانائی حاصل ہوجائے جو الیکٹران کو مقابلتاً اعلیٰ توانائی حالتوں میں پہنچانے کے لیے کافی ہو۔ تب کہا جاتا ہے کہ ایٹم ایک مشتعل حالت (excited state) میں ہے۔ مساوات (12.19) سے، n = 2 کے لیے، توانائی E_2، 3.40 eV– ہے۔ اس کا مطلب ہے کہ ایک ہائیڈروجن ایٹم میں الیکٹران کو اس کی پہلی مشتعل حالت میں مشتعل کرنے کے لیے درکار توانائی مساوی ہے $E_2 - E_1 = -3.40\ eV - (-13.6)\ eV = 10.2\ eV$ اسی



شکل 12.8: ہائیڈروجن ایٹم کے لیے توانائی منزل ڈائیگرام – ایک ہائیڈروجن ایٹم میں، کمرہ درجہ حرارت پر، الیکٹران اپنا زیادہ تر وقت تحت حالت میں گذارتا ہے۔ ایک ہائیڈروجن ایٹم میں تحت حالت الیکٹران کی آئن کاری کرنے کے لیے 13.6 eV توانائی مہیا کرنا ضروری ہے۔ (افقی خطوط منظور شدہ توانائی حالتوں کو معین کرتے ہیں)۔

© NCERT not to be republished

طرح: $E_3 = -1.51$ eV اور $E_3 - E_1 = 12.09$ eV یا ہائیڈروجن ایٹم کو اس کی تحت حالت ($n = 1$) سے دوسری مشتعل حالت ($n = 3$) میں مشتعل کرنے کے لیے 12.09 eV توانائی درکار ہوگی اور اسی طرح اور آگے بھی۔ ان مشتعل حالتوں سے الیکٹران ایک مقابلتاً کم توانائی کی حالت میں دوبارہ واپس گر سکتا ہے، اور اس عمل کے دوران وہ ایک فوٹان خارج کرتا ہے۔ اس لیے جیسے جیسے ہائیڈروجن ایٹم کے اشتعال میں اضافہ ہوتا ہے (یعنی کہ n میں اضافہ ہوتا ہے)، مشتعل ایٹم سے الیکٹران کو آزاد کرانے کے لیے درکار کم ترین توانائی کم ہوتی جاتی ہے۔

ایک ہائیڈروجن ایٹم کی ساکن حالتوں کے لیے، مساوات (12.19) سے تحسیب کی گئی، توانائی منزل ڈائیگرام* شکل (12.8) میں دکھائی گئی ہے۔ خاص کوانٹم عدد n، ساکن حالتوں کو، توانائی کی عروجی ترتیب (ascending order) میں لیبل کرتا ہے۔ اس ڈائیگرام میں، سب سے اعلا توانائی حالت، مساوات ($r = \infty$) کے مطابق ہے اور اس کی توانائی 0 eV ہے۔ یہ ایٹم کی اس وقت کی توانائی ہے جب الیکٹران نیوکلیس مکمل طور پر ہٹا لیا گیا ہے ($r = \infty$) اور حالتِ سکون میں ہے۔ مشاہدہ کیجیے کہ جیسے جیسے n میں اضافہ ہوتا جاتا ہے، مستقل حالتیں کیسے ایک دوسرے سے نزدیک تر ہوتی جاتی ہیں۔

12.5 ہائیڈروجن ایٹم کے خطی طیف

(THE LINE SPECTRA OF THE HYDROGEN ATOM)

بوہر کے ماڈل کے تیسرے دعویٰ کے مطابق جب ایک ایٹم مقابلتاً اعلا توانائی حالت سے، جس کا کوانٹم عدد n_i ہے، مقابلتاً ادنیٰ توانائی حالت میں، جس کا کوانٹم عدد n_f ($n_f < n_i$) ہے، عبور (transition) کرتا ہے تو توانائی کا فرق، تعدد ν_{if} کا ایک فوٹان لے جاتا ہے، اس طرح کہ:

$$h\nu_{if} = E_{ni} - E_{nf} \tag{12.20}$$

E_{nf} اور E_{ni} کے لیے مساوات (12.16) استعمال کرنے پر حاصل ہوتا ہے:

$$h\nu_{if} = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2}\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right) \tag{12.21}$$

یا

$$\nu_{if} = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^3}\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right) \tag{12.22}$$

مساوات (12.21)، ہائیڈروجن ایٹم کے طیف کے لیے رڈبرگ فارمولا ہے۔ اس رشتے میں اگر ہم $n_f = 2$ اور $n_i = 3, 4, 5, ...$ لیں تو یہ بالمر سلسلے کے لیے حاصل کی گئی مساوات (12.10) جیسی شکل میں تحلیل ہو جاتا ہے۔ رڈبرگ مستقلہ کو بہ آسانی شناخت کیا جا سکتا ہے:

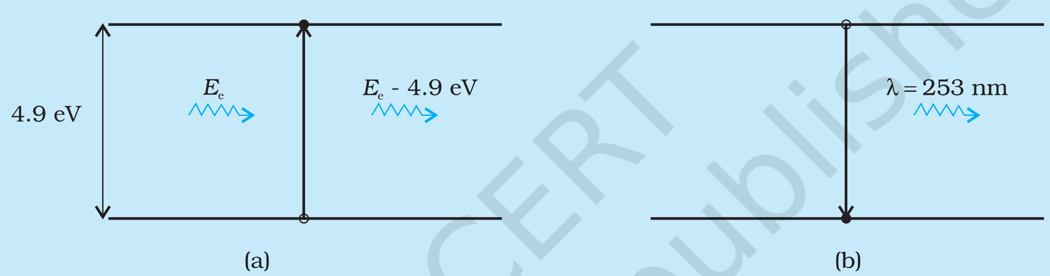
---

* $E = 0$ eV سے اوپر، ایک الیکٹران کی کل توانائی کچھ بھی ہو سکتی ہے۔ ایسی صورتوں میں الیکٹران آزاد ہوتا ہے۔ اس لیے $E = 0$ eV سے اوپر توانائی حالتوں کا ایک تسلسل (continuum) ہوتا ہے، جیسا کہ شکل 12.8 میں دکھایا گیا ہے۔

© NCERT not to be republished

فرینک-ہرٹز تجربہ
(FRANCK – HERTZ EXPERIMENT)

1914 میں جیمس فرینک اور گوستاو ہرٹز نے مجرد توانائی منازل کی تجرباتی تصدیق کی۔انھوں نے ایسے پارہ کے ابخارات کے طیف کا مطالعہ کیا جب مختلف حرکی توانائیوں کے الیکٹران ابخارات سے گذارے گئے تھے۔ الیکٹران توانائی کو،الیکٹرانوں پر مختلف طاقت کے برقی میدان لگا کر،تبدیل کیا گیا۔ الیکٹران،پارہ کے ایٹموں سے تصادم کرتے ہیں اور پارہ کے ایٹموں کو توانائی منتقل کرسکتے ہیں۔ یہ صرف اسی وقت ممکن ہے جب الیکٹران کی توانائی،پارہ کے ایک الیکٹران سے گھری ہوئی توانائی منزل کی توانائی اوراس سے اوپر کی خالی منزل کی توانائی کے درمیان فرق سے زیادہ ہو(شکل دیکھیے)۔مثلاً Hg کی ایک گھری ہوئی توانائی منزل اوراس سے اونچی خالی توانائی منزل میں فرق 4.9 eV ہے۔اب اگر ایک الیکٹران جس کی توانائی 4.9 eV یا اس سے زیادہ ہے،پارہ سے گذرتا ہے تو پارہ کے ایٹم کا ایک الیکٹران یہ توانائی بمباری کررہے الیکٹران سے جذب کرسکتا ہے اور مقابلتاً اونچی منزل میں مشتعل ہوکر پہنچ سکتا ہے[شکل (a)]۔تصادم کرنے والے الیکٹران کی حرکی توانائی میں اتنی مقدار کی کمی ہوجائے گی۔



پھر مشتعل الیکٹران اشعاع کا اخراج کرکے تحت حالت میں واپس گرجائے گا[شکل (b)]۔خارج ہوئے اشعاع کا طولِ لہر ہے:

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6.625\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{4.9\times1.6\times10^{-19}} = 253\ \text{nm}$$

براہِ راست پیمائش کے ذریعے فرینک اور ہرٹز نے معلوم کیا کہ پارہ کے اخراجی طیف میں ایک خط ایسا ہوتا ہے جو اس طولِ لہر سے مطابقت رکھتا ہے۔ایٹموں میں مجرد توانائی منازل اور فوٹان اخراج کے بوہر کے بنیادی تصورات کی یہ تجرباتی تصدیق کرنے کے لیے فرینک اور ہرٹز کو 1925 میں نوبل انعام دیا گیا۔

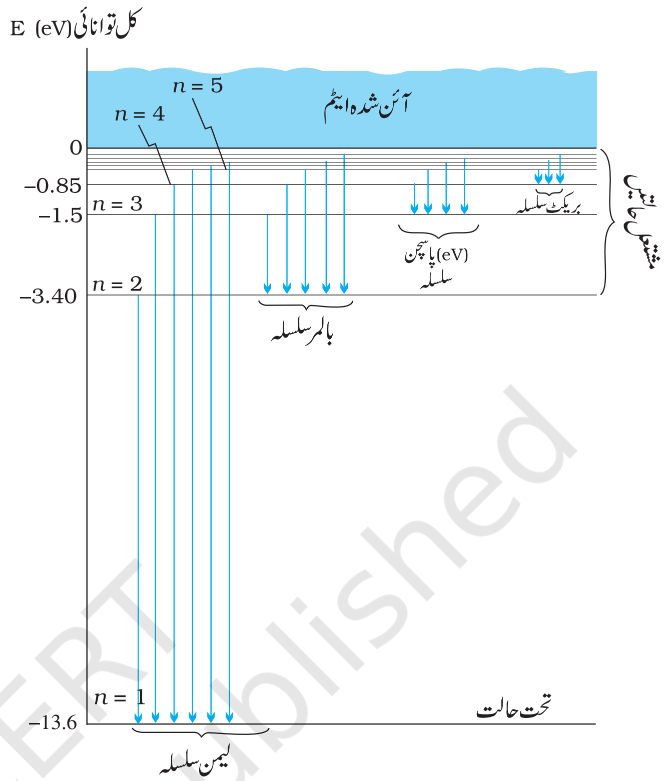
$$R = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^3 c} \qquad (12.23)$$

اگر ہم مساوات (12.23) میں مختلف مستقلوں کی قدریں رکھیں،تو حاصل ہوتا ہے

$$R = 1.03 \times 10^7\ m^{-1}$$

یہ قدر،آزمائشی بالمر فارمولے سے حاصل کی گئی قدر $(1.097\times10^7 m^{-1})$ کے بہت نزدیک ہے۔رڈبرگ مستقلہ کی نظری اور تجرباتی قدروں کی اس ہم آہنگی نے بوہر ماڈل کی ایک تصدیق فراہم کردی۔

کیونکہ n_i اور n_f دونوں صحیح اعداد ہیں،اس لیے یہ فوراً ہی ظاہر ہوجاتا ہے کہ روشنی کا اشعاع مختلف مجرد تعددوں میں ہوتا ہے۔ہائیڈروجن طیف میں بالمر سلسلہ $n_f = 2$ اور $n_i = 3, 4, 5,...$ سے مطابقت رکھتا ہے۔بوہر



شکل 12.9: خطی طیف، توانائی منازل کے درمیان عبوروں سے پیدا ہوتے ہیں۔

ماڈل سے حاصل ہونے والے نتائج نے ہائیڈروجن ایٹم کے طیف میں دوسرے سلسلوں کی موجودگی تجویز کی جو اِن عبوروں کے مطابق ہیں:

$n_f = 1$ اور $n_i = 2, 3, 4, \ldots$ ، $n_f = 3$ اور $n_i = 4, 5, 6, \ldots$

اور $n_f = 4, 5$ وغیرہ اوراسی طرح اورآگے بھی۔ یہ سلسلے طیفی تحقیقات کے دوران شناخت کرلیے گئے اورلیمن، بالمر، پاسچن، بریکٹ اور پی فنڈ سلسلے کہلاتے ہیں۔ ان سلسلوں سے مطابقت رکھنے والے الیکٹرانی عبور شکل 12.9 میں دکھائے گئے ہیں۔

ایٹمی طیفوں میں مختلف خطوط تب پیدا ہوتے ہیں جب الیکٹران ایک مقابلتاً اعلیٰ توانائی حالت سے مقابلتاً ادنیٰ توانائی حالت میں کودتے ہیں اور فوٹان خارج ہوتے ہیں۔ لیکن جب ایک ایٹم ایسا فوٹان خارج ہوتے ہیں۔ لیکن جب ایک ایٹم ایسا فوٹان جذب کرتا ہے جس کی توانائی، بالکل درست طور پر، اتنی ہے جتنی ایک مقابلتاً ادنیٰ توانائی کے الیکٹران کو ایک مقابلتاً اعلیٰ توانائی حالت میں عبور کرنے کے لیے درکار ہے، تو یہ عمل انجذاب کہلاتا ہے۔ اس لیے اگر تعددوں کے ایک لگاتار سلسلے کے فوٹانوں کو ایک لطیف کی گئی (rarefied) گیس سے گذارا جائے اور پھر ایک طیف پیما کے ذریعے تجزیہ کیا جائے تو مسلسل طیف میں گہرے انجذابی خطوط کا سلسلہ نظر آتا ہے۔ یہ گہرے خطوط ان تعددوں کی نشاندہی کرتے ہیں جو گیس کے ایٹموں نے جذب کی ہیں۔

ہائیڈروجن ایٹم طیف کی، بوہر کے ماڈل کے ذریعے مہیا کی گئی وضاحت ایک شاندار کامیابی تھی، جس نے جدید کوانٹم نظریے کی جانب حوصلہ افزائی کی۔ 1922 میں بوہر کو طبیعیات کا نوبل انعام دیا گیا۔

مثال 12.6 رڈبرگ فارمولا استعمال کرتے ہوئے، ہائیڈروجن طیف کے لیمن سلسلے کے پہلے چار طیفی خطوط کے طول لہر کا حساب لگائیے۔

حل رڈبرگ فارمولا ہے

$$\frac{hc}{\lambda_{if}} = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2}\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right)$$

لیمن سلسلے کے پہلے چار خطوط کے طولِ لہر، $n_i = 2, 3, 4, 5, \ldots$ سے $n_f = 1$ پر عبور سے مطابقت رکھتے ہیں۔ ہم جانتے ہیں کہ

$$\frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} = 13.6 \text{ eV} = 21.76 \times 10^{-19} \text{ J}$$

مثال 12.6

© NCERT not to be republished

مثال 12.6

اس لیے

$$\lambda_{i1} = \frac{hc}{21.76 \times 10^{-19}\left(\frac{1}{1} - \frac{1}{n_i^2}\right)} \text{m}$$

$$= \frac{6.625 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8} \times n_i^2}{21.76 \times 10^{-19} \times (n_i^2 - 1)} \text{m} = \frac{0.9134\ n_i^2}{(n_i^2 - 1)} \times 10^{-7} \text{m}$$

$$= \frac{913.4\ n_i^2}{(n_i^2 - 1)}\ \text{Å}$$

$n_i = 2,3,4,5,$ رکھنے پر حاصل ہوتا ہے

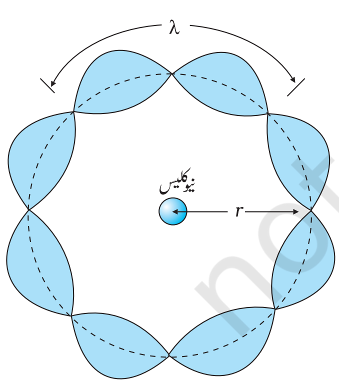
$\lambda_{21} = 1218$ Å, $\lambda_{31} = 1028$ Å, $\lambda_{41} = 974.3$ Å اور $\lambda_{51} = 951.4$ Å

12.6 کوانٹمیانے کے بوہر کے دوسرے دعویٰ کی ڈی برائے کی وضاحت

(DE BROGLIE'S EXPLANATION OF BOHR'S SECOND POSTULATE OF QUANTISATION)

بوہر نے اپنے ایٹم کے ماڈل میں جتنے دعوے کیے، شاید ان میں سب سے زیادہ حیرت میں ڈالنے والا ان کا دوسرا دعویٰ ہے۔اس کا بیان ہے کہ نیوکلیس کے گرد مدار میں چکر لگانے والے الیکٹران کا زاویائی معیارِ حرکت کوانٹمیایا ہوا ہے۔(یعنی کہ: $L_n = \frac{nh}{2\pi}$، جہاں $n = 1, 2, 3 \ldots$)۔زاویائی معیارِ حرکت کی صرف ایسی ہی قدریں کیوں ممکن ہیں جو $\frac{h}{2\pi}$ کی صحیح عددی اضعاف ہیں؟ فرانسیسی طبیعیات داں لوئی ڈی برائے نے، بوہر کے ذریعے یہ ماڈل تجویز کیے جانے کے 10 سال بعد 1923 میں، اس معمے کو حل کیا۔

ہم نے باب 11 میں ڈی برائے فریضہ کے بارے یں مطالعہ کیا ہے کہ مادی ذرات، جیسے الیکٹرانوں کی، لہری طبع بھی ہوتی ہے۔سی۔جے۔ڈیویسن اور ایل۔ایچ۔جرمر نے بعد میں، 1927 میں، الیکٹرانوں کی لہری طبع کی تجرباتی تصدیق کی۔لوئی ڈی برائے نے دلیل پیش کی کہ الیکٹران کو، اس کے دائری مدار میں، جیسا کہ بوہر نے تجویز کیا ہے، ایک ذرہ-لہر کی شکل میں سمجھنا چاہیے۔ایک ڈوری پر سفر کرتی ہوئی لہروں کی مماثلت سے، ذراتی-لہریں بھی گمک شرائط کے ساتھ مقیم لہریں بنا سکتی ہیں۔درجہ XI کی طبیعیات کی درسی کتاب کے باب 15 میں ہم سیکھ چکے ہیں کہ جب ایک تنی ہوئی ڈوری کے کسی درمیانی نقطے پر ضرب لگائی جاتی ہے تو بہت سے طولِ لہر مشتعل ہوتے ہیں۔لیکن صرف وہی طولِ لہر باقی رہ پاتے ہیں جن کے نوڈ سروں پر ہوتے ہیں اور جو ڈوری میں مقیم لہریں تشکیل دیتے ہیں۔اس کا مطلب ہوا کہ ایک ڈوری میں مقیم لہریں تب ہی تشکیل پاتی ہیں جب ایک لہر کے ذریعے ڈوری کے ایک سرے سے دوسرے سرے تک جانے اور پھر پہلے سرے پر واپس آنے میں طے کیا گیا کل فاصلہ ایک طولِ لہر یا دو طولِ لہر یا طولِ لہر کا کوئی صحیح عددی ضعف ہوتا ہے۔دیگر طولِ لہر والی لہریں منعکس ہونے پر آپس میں تداخل کرتی ہیں اور جلد ہی ان کی وسعت صفر ہو جاتی ہے۔ایک الیکٹران جو نصف قطر r_n کے



شکل 12.10: ایک دائری مدار پر ایک مقیم لہر دکھائی گئی ہے جہاں چار ڈی برائے طولِ لہر مدار کے محیط پر پوری طرح سماتے ہیں۔

n^{th} دائری مدار میں حرکت کر رہا ہے، اس کے ذریعے طے کیا گیا کل فاصلہ مدار کا محیط، $2\pi r_n$ ہے۔ اس لیے

$$2\pi r_n = n\lambda, \qquad n = 1, 2, 3... \tag{12.24}$$

شکل 12.10 میں $n = 4$ کے لیے ایک دائری مدار میں مقیم ذراتی-لہر دکھائی گئی ہے۔ کیونکہ $n = 4$، اس لیے $2\pi r_n = 4\lambda$، جہاں λ، n^{th} مدار میں حرکت کرتے ہوئے الیکٹران کا ڈی براۓ طولِ لہر ہے۔ باب 11 سے، ہم جانتے ہیں: $\lambda = \frac{h}{p}$، جہاں P الیکٹران کے معیارِ حرکت کی عددی قدر ہے۔ اگر الیکٹران کی چال، روشنی کی چال کے مقابلے میں بہت کم ہے، تو معیارِ حرکت mv_n ہے۔ اس لیے؛ $\lambda = \frac{h}{mv_n}$، مساوات (12.24) سے حاصل ہوتا ہے۔

$$2\pi r_n = \frac{nh}{mv_n} \quad \text{یا} \quad mv_n r_n = \frac{nh}{2\pi}$$

یہ وہ کوانٹم شرط ہے جو بوہر نے الیکٹران کے زاویائی معیارِ حرکت کے لیے تجویز کی تھی [مساوات (12.13)]۔ حصہ 12.5 میں ہم دیکھ چکے ہیں کہ یہ مساوات ہائیڈروجن ایٹم کے مجرد مداروں اور توانائی منازل کی وضاحت کی بنیاد ہے۔ اس طرح ڈی-براۓ فریضہ نے مدار میں چکر لگاتے ہوئے الیکٹران کے زاویائی معیارِ حرکت کے کوانٹمیانے کے بوہر کے دوسرے دعویٰ کی وضاحت فراہم کی۔ کوانٹمیاۓ ہوئے الیکٹران مدار اور توانائی حالتیں، الیکٹران کی لہری طبع کی وجہ سے ہیں اور صرف گمک دار مقیم لہریں ہی باقی رہ سکتی ہیں۔

بوہر کا ماڈل، جس میں کلاسیکی خط راہ تصویر (سیارے کی طرح الیکٹران کا نیوکلیس کے گرد مدار میں حرکت کرنا) شامل ہے، ہائیڈروجن جیسی ساخت والے* (Hydrogenic) ایٹموں کی موٹی موٹی خاصیتوں کی درست پیشین گوئی کرتا ہے، خاص طور پر خارج ہونے والے اشعاع یا منتخب کردہ جذب ہونے والے اشعاع کے تعدد کی۔ لیکن ماڈل کی کئی خامیاں بھی ہیں۔ ان میں سے کچھ ہیں:

(i) بوہر کے ماڈل کا اطلاق صرف ہائیڈروجن جیسی ساخت والے ایٹموں پر ہی کیا جا سکتا ہے۔ اس کی توسیع صرف دو الیکٹرانوں والے ایٹموں، جیسے ہیلیم، کے لیے بھی نہیں کی جا سکتی۔ دو سے زیادہ الیکٹرانوں والے ایٹموں کا تجزیہ کرنے کی کوشش، بوہر کے ہائیڈروجن جیسے ایٹموں کے خطوط پر، کی گئی مگر کوئی کامیابی نہیں حاصل ہو سکی۔ دراصل دشواری یہ ہے کہ ہر ایک الیکٹران نہ صرف مثبت چارج شدہ نیوکلیس سے باہم عمل کرتا ہے بلکہ دوسرے الیکٹرانوں سے بھی باہم عمل کرتا ہے۔ بوہر ماڈل کی تشکیل میں مثبت چارج شدہ نیوکلیس اور الیکٹران کے مابین برقی قوتیں تو شامل کی گئی ہیں لیکن الیکٹرانوں کے درمیان برقی قوتیں شامل نہیں ہیں جو کثیر-الیکٹران ایٹموں میں لازمی طور پر پائی جاتی ہیں۔

---

*ہائیڈروجن جیسی ساخت والے (Hydrogenic) ایٹم وہ ایٹم ہیں جو Ze + مثبت چارج کے ایک نیوکلیس اور ایک واحد الیکٹران پر مشتمل ہوتے ہیں، جہاں Z پروٹان عدد ہے۔ اس کی مثالیں ہیں ہائیڈروجن ایٹم، یک آئن شدہ ہیلیم ایٹم، دوہرا آئن شدہ لیتھیم اور ایسی ہی آگے بھی۔ ان ایٹموں میں مقابلتاً زیادہ پیچیدہ الیکٹران-الیکٹران باہم عمل نہیں پائے جاتے۔

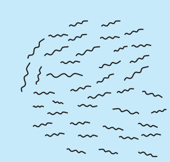
© NCERT not to be republished

(ii) حالانکہ بوہر کا ماڈل ہائیڈروجن جیسی ساخت والے ایٹموں کے ذریعے خارج کی گئی روشنی کے تعددوں کی درست پیشین گوئی کرتا ہے،لیکن ماڈل طیف میں ان تعددوں کی نسبتی شدتوں کی وضاحت کرنے میں ناکام ہے۔ہائیڈروجن کے اخراجی طیف میں دکھائی دینے والے کچھ تعددوں کی شدت کمزور ہوتی ہے اور کچھ کی مضبوط- کیوں؟ تجرباتی مشاہدات ظاہر کرتے ہیں کہ کچھ عبور دوسروں کے مقابلے میں فوقیت رکھتے ہیں۔بوہر کا ماڈل شدت کی تبدیلیوں کی وضاحت نہیں کرسکا۔

بوہر کا ماڈل ایٹم کی ایک نفیس تصویر پیش کرتا ہے اور ملتف [پیچیدہ (Complex)] ایٹموں کے لیے اسے عمومی شکل نہیں دی جاسکتی۔ملتف ایٹموں کے لیے ہمیں کوانٹم میکانیات پر مبنی ایک نیا انقلابی نظریہ استعمال کرنا ہوگا، جو ایٹمی ساخت کی زیادہ مکمل تصویر مہیا کرتا ہے۔

لیزر روشنی
(LASER LIGHT)

ایک بھیڑ بھاڑ والا بازار یا ریلوے پلیٹ فارم تصور کیجیے جہاں لوگ ایک دروازے سے داخل ہوتے ہیں اور پھر ہر سمت میں پھیل جاتے ہیں۔ان کے قدموں میں کوئی ترتیب نہیں پائی جاتی اور ان کے درمیان کوئی فیز ہم رشتگی نہیں ہوتی۔دوسری طرف سپاہیوں کی ایسی بڑی تعداد تصور کیجیے جو باقاعدہ قواعد (پریڈ) کررہے ہیں۔ان کے قدموں میں عمدہ ہم رشتگی ہے۔نیچے دی ہوئی شکل دیکھیے



(a) ایک بلب سے آرہی روشنی

(b) لیزر روشنی

یہ فرق ویسا ہی ہے جیسا کہ ایک عام روشنی کے ماخذ، جیسے موم بتی یا بلب، سے آرہی روشنی اور لیزر سے خارج ہورہی روشنی میں ہوتا ہے۔مخفف LASER کی مکمل شکل ہے۔ (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) (اشعاع کے مہیج شدہ اخراج کے ذریعے روشنی کی افزائش)۔1960 میں، جب سے اسے بنایا گیا ہے یہ سائنس اور ٹکنالوجی کے تمام علاقوں میں داخل ہوچکا ہے۔اس کا استعمال طبیعیات، کیمسٹری، حیاتی سائنس، علم ادویات، علم جراحی، انجینئرنگ وغیرہ میں کیا جارہا ہے۔ کچھ ادنیٰ پاور، جیسے 0.5 mW کے لیزر بھی ہیں، جو پنسل لیزر کہلاتے ہیں اور جو نشان دہ (pointers) کے بطور استعمال ہوتے ہیں۔مختلف پاور والے لیزر بھی ہیں جو آنکھ یا معدے کے غدود کی نازک جراحی کے لیے مناسب ہیں۔اور پھر ایسے لیزر بھی ہیں جو لوہے کو کاٹ سکتے ہیں اور اسے ویلڈ (weld) کرسکتے ہیں۔

روشنی ایک ماخذ سے لہروں کے پیکٹوں کی شکل میں خارج ہوتی ہے۔ایک عام ماخذ سے نکل رہی روشنی میں کئی طول لہر کا آمیزہ ہوتا ہے۔مختلف لہروں میں کوئی فیز رشتہ نہیں ہوتا۔اس لیے ایسی روشنی، اگر اسے ایک روزن سے بھی گذار دیا جائے پھر بھی، بہت تیزی سے پھیل جاتی ہے اور فاصلہ کے ساتھ شعاع کا سائز بہت تیزی سے بڑھتا جاتا ہے۔لیزر روشنی کی صورت میں، ہر پیکٹ کا طولِ لہر تقریباً یکساں ہوتا ہے۔اور لہروں کے پیکٹ کی اوسط لمبائی بھی مقابلتاً بہت زیادہ ہوتی ہے۔اس کا مطلب ہے کہ مقابلتاً زیادہ وقفہ وقت تک بہتر فیز ہم رشتگی قائم رہتی ہے۔اس کے نتیجے میں لیزر بیم کی غیر مرکوزیت میں قابلِ لحاظ کمی آجاتی ہے۔

اگر ایک ماخذ میں N ایٹم ہیں اور ہر ایک شدت I کی روشنی خارج کررہا ہے تو ایک عام ماخذ سے پیدا ہوئی روشنی کی کل شدت NI کے متناسب ہوگی۔جب کہ ایک لیزر ماخذ میں یہ N^2I کے متناسب ہے۔یہ مانتے ہوئے کہ N بہت بڑا ہے، ہم دیکھتے ہیں کہ ایک لیزر سے خارج ہوئی روشنی ایک

© NCERT not to be republished

عام ماخذ سے خارج ہوئی روشنی کے مقابلے میں بہت زیادہ طاقت ور ہوسکتی ہے۔
جب اپولو مشن کے خلاباز چاند پر گئے تو انھوں نے چاند کی سطح پر ایک آئینہ رکھ دیا، جس کا منہ زمین کی جانب تھا۔ تب زمین کے سائنس دانوں نے ایک طاقت ور لیزر بیم بھیجی جو چاند پر رکھے آئینے سے منعکس ہوکر زمین پر واپس پہنچی۔ منعکس ہوئی لیزر بیم کے سائز اور زمین سے چاند پر جانے اور پھر زمین پر واپس آنے میں لگنے والے کل وقت کی پیمائش کی گئی۔ اس سے مندرجہ ذیل بے حد درست پیمائش کی جاسکیں: (a) ایک لیزر بیم کی بے حد خفیف غیر مرکوزیت (b) چاند کا زمین سے فاصلہ۔

خلاصہ

1۔ ایٹم کلی طور پر برقی اعتبار سے تعدیلی ہوتا ہے اور اس لیے اس میں مثبت اور منفی چارج کی مساوی مقدار ہوتی ہے۔

2۔ تھامسن کے ماڈل میں، ایٹم مثبت چارجوں کا ایک کرّوی بادل ہے جس میں الیکٹران پیوست ہوتے ہیں۔

3۔ ردرفورڈ کے ماڈل میں، ایٹم کی زیادہ ترکیت اور اس کا تمام مثبت چارج ایک بہت چھوٹے (مخصوص طور پر ایک ایٹم کے سائز کا دس ہزارواں حصہ) نیوکلیس میں مرتکز ہوتا ہے اور الیکٹران اس کے گرد طواف کرتے ہیں۔

4۔ ردرفورڈ کے ماڈل کے ساتھ، ایٹم کی ساخت کی وضاحت کرنے میں، دو خاص دشواریاں ہیں: (a) اس کی پیشین گوئی ہے کہ ایٹم غیر مستحکم ہے کیونکہ نیوکلیس کے گرد طواف کرتے ہوئے اسراع پذیر الیکٹرانوں کو ایک چکری راستہ اختیار کرتے ہوئے نیوکلیس میں گر جانا چاہیے۔ یہ مادہ کے استحکام سے تضاد ہے۔ (b) یہ مختلف عناصر کے ایٹموں کے مخصوص خطی طیفوں کی وضاحت نہیں کرسکتا۔

5۔ ہر عنصر کے ایٹم مستحکم ہوتے ہیں اور اپنا خصوصی طیف خارج کرتے ہیں۔ یہ طیف علاحدہ علاحدہ متوازی خطوط کے ایک سیٹ پر مشتمل ہوتا ہے اور خطی طیف کہلاتا ہے۔ یہ ایٹمی ساخت کے بارے میں کارآمد معلومات مہیا کرتا ہے۔

6۔ ایٹمی ہائیڈروجن مختلف سلسلوں پر مشتمل خطی طیف خارج کرتی ہے۔ ایک سلسلے کے کسی بھی خط کے تعدد کو دو ارکان کے حاصل تفریق کے ذریعے ظاہر کیا جاسکتا ہے۔

لیمن سلسلہ: $\nu = Rc\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2}\right)$; $n = 2, 3, 4, ...$

بالمر سلسلہ: $\nu = Rc\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right)$; $n = 3, 4, 5, ...$

پاسچن سلسلہ: $\nu = Rc\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2}\right)$; $n = 4, 5, 6, ...$

© NCERT not to be republished

بریکٹ سلسلہ: $\nu = Rc\left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2}\right)$ $n = 5, 6, 7, ...$

پی فنڈ سلسلہ: $\nu = Rc\left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2}\right)$ $n = 6, 7, 8, ...;$

7۔ ایٹموں کے ذریعے خارج کیے گئے خطی طیف اور ایٹموں کے استحکام کی وضاحت کرنے کے لیے، نیلس بوہر نے ہائیڈروجن جیسی ساخت والے (واحد الیکٹران) ایٹموں کے لیے ایک ماڈل تجویز کیا۔ انھوں نے تین دعوے پیش کیے اور کوانٹم میکانیات کی بنیاد ڈالی۔

(a) ایک ہائیڈروجن ایٹم میں، ایک الیکٹران، مخصوص متحکم مداروں (جو ساکن مدار کہلاتے ہیں) میں طواف کرتا ہے اور اس دوران اشعاعی توانائی کا اخراج نہیں کرتا۔

(b) ساکن مدار وہ ہیں جن کے لیے زاویائی معیارِ حرکت، $\frac{h}{2\pi}$ کا ایک صحیح عددی ضعف ہے (بوہر کی کوانٹمیانے کی شرط)۔ یعنی کہ، $L = \frac{nh}{2\pi}$، جہاں n ایک صحیح عدد ہے جو خاص کوانٹم عدد کہلاتا ہے۔

(c) تیسرے دعویٰ کا بیان ہے کہ الیکٹران اپنے متعین غیر اشعاعی مداروں میں سے کسی ایک مدار سے اس سے ادنیٰ توانائی کے کسی دوسرے مدار میں عبور کر سکتا ہے۔ جب وہ ایسا کرتا ہے تو ایک فوٹان خارج ہوتا ہے، جس کی توانائی آغازی اور اختتامی حالتوں کی توانائیوں کے مابین فرق کے مساوی ہوتی ہے۔ تب خارج ہوئے فوٹان کا تعدد (ν) دیا جاتا ہے:

$$h\nu = E_i - E_f$$

ایک ایٹم جس تعدد کا اشعاع خارج کرتا ہے اسی یکساں تعدد کا اشعاع جذب بھی کرتا ہے، ایسی صورت میں الیکٹران n کی مقابلتاً زیادہ قدر والے مدار میں منتقل ہو جاتا ہے۔

$$E_i + h\nu = E_f$$

8۔ زاویائی معیارِ حرکت کے کوانٹمیانے کی شرط کے نتیجے میں، الیکٹران نیوکلیس کے گرد کچھ مخصوص نصف قطر کے مداروں میں ہی چکر لگاتا ہے۔ ہائیڈروجن ایٹم کے لیے یہ نصف قطر ہیں:

$$r_n = \left(\frac{n^2}{m}\right)\left(\frac{h}{2\pi}\right)^2 \frac{4\pi\varepsilon_0}{e^2}$$

کل توانائی بھی کوانٹم شدہ ہوتی ہے

$$E_n = -\frac{me^4}{8n^2\varepsilon_0^2 h^2}$$

$$= -13.6 \text{ eV}/n^2$$

$n = 1$ حالت، تحتی حالت کہلاتی ہے۔ ہائیڈروجن ایٹم میں تحتی حالت توانائی -13.6 eV ہے۔ n کی مقابلتاً بڑی قدریں $(n > 1)$، مشتعل حالتوں سے مطابقت رکھتی ہیں۔ ایٹم ان مقابلتاً اعلا حالتوں میں،

© NCERT not to be republished

دوسرے ایٹموں یا الیکٹرانوں سے تصادم کے ذریعے یا ایک مناسب تعدد کے فوٹان کے اجذاب کے ذریعے، مشتعل ہوتے ہیں۔

9۔ ڈی برائے کے مفروضے نے، کہ الیکٹرانوں کا طول لہر $\lambda = \frac{h}{mv}$ ہوتا ہے، بوہر کے کوانٹم شدہ مداروں کی وضاحت فراہم کی، جس میں لہر۔ذرہ دوئی کو شامل کیا گیا۔ مدار، دائری مقیم لہروں سے مطابقت رکھتے ہیں، جن میں مدار کا محیط، طولِ لہر کے مکمل عدد کے مساوی ہوتا ہے۔

10۔ بوہر ماڈل کا اطلاق صرف ہائیڈروجن جیسی ساخت والے ایٹموں پر کیا جاسکتا ہے (واحد الیکٹران ایٹموں پر)۔ اس کی توسیع دو الیکٹران والے ایٹموں، جیسے ہیلیم، کے لیے بھی نہیں کیا جاسکتی۔ یہ ماڈل ہائیڈروجن ایٹموں سے خارج ہوئے تعددوں کی نسبتی شدتوں کی وضاحت کرنے میں بھی ناکام ہے۔

قابل غور نکات

1۔ تھامسن اور ردرفورڈ، دونوں کے ماڈل ایک غیر مستحکم ایٹم تشکیل دیتے ہیں۔ تھامسن کا ماڈل برق۔سکونی اعتبار سے غیر مستحکم ہے، جب کہ ردرفورڈ کا ماڈل مدار میں چکر لگا رہے الیکٹران کے برق۔مقناطیسی اشعاع کی وجہ سے غیر مستحکم ہے۔

2۔ بوہر نے زاویائی معیارِحرکت کی کیوں کوانٹم سازی کی (دوسرا دعویٰ) اور کسی مقدار کی کیوں نہیں؟ نوٹ کریں، h کے ابعاد، زاویائی معیارِحرکت کے ابعاد ہیں اور دائری مداروں کے لیے زاویائی معیارِحرکت ایک نہایت موزوں مقدار ہے۔ اب دوسرا دعویٰ کتنا قدرتی ہے۔

3۔ ہائیڈروجن اٹیم کے بوہر کے ماڈل میں مداری تصویر، عدم یقینی کے اصول سے ہم آہنگ نہیں تھی۔ اس کو جدید کوانٹم میکانیات سے تبدیل کردیا گیا، جہاں بوہر کے مدار وہ علاقے ہیں جن میں الیکٹرانوں کے پائے جانے کا احتمال زیادہ ہے۔

4۔ شمسی نظام میں پائی جانے والی صورت میں سیارہ۔سیارہ مادی کشش قوتیں، سورج کے ذریعے سیارہ پر لگ رہی امدی کشش قوت کے مقابلے میں بہت خفیف ہوتی ہیں (کیونکہ سورج کی کمیت، کسی بھی سیارے کی کمیت سے بہت زیادہ ہے)۔ اس کے برخلاف الیکٹران۔الیکٹران، برقی قوت باہم عمل کی عددی قدر الیکٹران۔نیوکلیس برقی قوت کے مقابلے کی ہوتی ہے، کیونکہ چارج اور فاصلے یکساں عددی قدر کے درجے کے ہوتے ہیں۔ یہی وجہ ہے کہ بوہر کے سیارہ جیسے الیکٹران والے ماڈل کا اطلاق کثیر الیکٹران ایٹموں پر نہیں کیا جاسکتا۔

© NCERT not to be republished

5۔ بوہر نے ایسے مخصوص مداروں کا دعویٰ پیش کر کے جن میں الیکٹران اشعاع نہیں کرتے، کوانٹم نظریہ کی بنیاد ڈالی۔ بوہر کے ماڈل میں صرف ایک کوانٹم عدد n شامل ہے۔ نیا نظریہ جو کوانٹم میکانیات کہلاتا ہے، بوہر کے دعویٰ کے حق میں ہے۔لیکن کوانٹم میکانیات میں (زیادہ عمومی شکل میں منظور شدہ)، ایک دی ہوئی توانائی منزل ہوسکتا ہے صرف ایک ہی کوانٹم حالت کے متطابق نہ ہو۔مثلاً ایک حالت چار کوانٹم اعداد (n، l، m اور s) سے متعین ہوتی ہے،لیکن خالص کولمب مضمر کے لیے (جیسے کہ ہائیڈروجن ایٹم میں)، توانائی صرف n کے تابع ہے۔

6۔ عام کلاسیکی توقع کے برخلاف، بوہر ماڈل میں اپنے مدار میں طواف کرنے کا الیکٹران کا تعدد، طیفی خط کے تعدد سے منسلک نہیں ہے۔ آخرالذکر دو مداری توانائیوں کے فرق کا h سے حاصل تقسیم ہے۔ بڑے کوانٹم اعداد کے مابین (n سے $n-1$، n، بہت بڑا) عبوروں کے لیے دونوں منطبق ہوجاتے ہیں، جیسا کہ امید تھی۔

7۔ بوہر کا نیم کلاسیکی ماڈل، جو کلاسیکی طبیعیات کے کچھ پہلوؤں اور جدید طبیعیات کے کچھ پہلوؤں پر مشتمل تھا، سادہ ترین ہائیڈروجن ایٹموں کی بھی حقیقی تصویر نہیں پیش کرتا۔ حقیقی تصویر کوانٹم میکانیاتی معاملہ ہے جو بوہر کے ماڈل سے کئی بنیادی اختلاف رکھتی ہے۔لیکن اگر بوہر کا ماڈل بالکل صحیح طور پر درست نہیں ہے تو ہم اس کی بات ہی کیوں کرتے ہیں؟ بوہر ماڈل کے پھر بھی کارآمد ہونے کی وجوہات ہیں:

(i) ماڈل صرف تین دعوؤں پر مبنی ہے لیکن ہائیڈروجن طیف کی تقریباً تمام عمومی خاصیتوں کی وضاحت کر دیتا ہے۔

(ii) ماڈل ایسے کئی تصورات پر مشتمل ہے، جنھیں ہم کلاسیکی طبیعیات میں سیکھ چکے ہیں۔

(iii) ماڈل یہ مظاہر کرتا ہے کہ ایک نظری طبیعیات داں کو کس طرح راہ میں پیش آنے والے کچھ مسائل کو پوری طرح انداز کرتے ہوئے اس امید میں آگے بڑھنا چاہیے کہ وہ کچھ پیش گوئیاں کر سکے۔ اگر نظریہ یا ماڈل کی بنیاد پر کی گئی پیشین گوئیوں کی تصدیق تجربات سے ہوجاتی ہے تو ایک نظری سائنس داں کو یہ امید رکھنا چاہیے کہ اس نے راہ میں آنے والے جن مسائل کو نظرانداز کر دیا تھا ان کی وضاحت ہوجائے گی یا ان کی عقلی توجیہ کی جاسکے گی۔

© NCERT not to be republished

مشق

12.1 ہر بیان کے آخر میں جو اشارے دیے گئے ہیں، ان میں سے درست متبادل منتخب کیجیے:

(a) تھامسن ماڈل میں ایٹم کا سائز، ردرفورڈ ماڈل میں ایٹمی سائز سے.................. ہے۔ (بہت زیادہ بڑا / کچھ مختلف نہیں / بہت کم)

(b) .... کی تحتی حالت میں الیکٹران مستحکم توازن میں ہوتے ہیں، جب کہ .... میں الیکٹران ہمیشہ ایک کل قوت محسوس کرتے ہیں۔ (تھامسن کے ماڈل/ ردرفورڈ کے ماڈل)

(c) .... پر مبنی کلاسیکی ایٹم یقینی طور پر دفعتہً ڈھے جائے گا۔ (تھامسن ماڈل/ ردرفورڈ ماڈل)

(d) ایک .... میں ایٹم کی تقریباً مسلسل کمیت تقسیم پائی جاتی ہے، جب کہ ایک .... میں بہت زیادہ غیر ہموار کمیت تقسیم پائی جاتی ہے۔ (تھامسن ماڈل/ ردرفورڈ ماڈل)

(e) .... میں ایٹم کے مثبت چارج شدہ حصے میں زیادہ تر کمیت ہوتی ہے۔ (ردرفورڈ ماڈل/ دونوں ماڈلوں)

12.2 فرض کیجیے کہ آپ کو α-ذرہ انتشار تجربے کو، سونے کی پنی کی جگہ ٹھوس ہائیڈروجن کی چادر استعمال کرتے ہوئے دہرانے کا موقع ملتا ہے۔ (ہائیڈروجن 14K سے نیچے کے درجات حرارت پر ٹھوس ہوتی ہے)۔ آپ کن نتائج کی امید کرتے ہیں؟

12.3 طیفی خطوط کے پاسچن سلسلے میں پائے جانے والا سب سے کم طولِ لہر کیا ہے؟

12.4 ایک ایٹم میں دو توانائی منازل کو علاحدہ کرنے والا فرق 2.3 eV ہے۔ جب ایٹم بالائی منزل سے نچلی منزل میں عبور کرتا ہے تو خارج ہونے والے اشعاع کا تعدد کیا ہوگا؟

12.5 ہائیدروجن ایٹم کی تحتی حالت توانائی 13.6 eV– ہے۔ اس حالت میں الیکٹران کی حرکی اور وضعی توانائیاں کیا ہیں؟

12.6 ایک ہائیڈروجن ایٹم جو آغازی حالت میں تحتی منزل پر ہے، ایک فوٹان جذب کرتا ہے، جو اسے $n = 4$ منزل تک مشتعل کر دیتا ہے۔ فوٹان کا طولِ لہر اور تعدد معلوم کیجیے۔

12.7 (a) بوہر ماڈل استعمال کرتے ہوئے ایک ہائیڈروجن ایٹم میں $n = 1,2,3$ منازل میں الیکٹران کی چال کا حساب لگائیے۔ (b) ان میں سے ہر ایک منزل میں مداری دور کا حساب لگائیے۔

12.8 ایک ہائیڈروجن ایٹم کے سب سے اندرونی الیکٹران مدار کا نصف قطر 5.3×10^{-11} m ہے۔ $n = 2$ اور $n = 3$ مداروں کے نصف قطر کیا ہیں؟

12.9 ایک 12.5 eV الیکٹران بیم کو، کمرہ درجہ حرارت پر گیسی ہائیڈروجن پر، بمباری کرنے کے لیے استعمال کیا جاتا ہے۔ طولِ لہر کے کون سے سلسلے خارج ہوں گے؟

12.10 بوہر ماڈل کے مطابق، وہ کوانٹم عدد معلوم کیجیے جو سورج کے گرد، ایک 1.5×10^{11} m نصف قطر کے مدار میں، 3×10^{4} m/s کی مداری چال کے ساتھ، زمین کے طواف کو معین کرتا ہے۔

(زمین کی کمیت = 6.0×10^{24} kg)۔

© NCERT not to be republished

مزید مشق

12.11 مندرجہ ذیل سوالات کے جواب دیجیے۔ان سے آپ کو تھامسن ماڈل اور ردرفورڈ ماڈل کے مابین فرق کو بہتر طور پر سمجھنے میں مدد ملے گی۔

(a) ایک پتلی سونے کی پنی سے منتشر ہوئے α-ذرات کے اوسط زاویہ انفراج کی تھامسن ماڈل کے ذریعے پیشین گوئی کی گئی قدر، ردرفورڈ ماڈل کے ذریعے پیشین گوئی کی گئی قدر سے بہت کم ہوگی، تقریباً اتنی ہی ہوگی یا بہت زیادہ ہوگی؟

(b) کیا تھامسن ماڈل کے ذریعے پیشین گوئی کی گئی الٹی سمت میں انتشار کے احتمال کی قدر، ردرفورڈ ماڈل کے ذریعے پیشین گوئی کی گئی اس قدر سے بہت کم ہوگی، تقریباً اتنی ہی ہوگی یا بہت زیادہ ہوگی؟

(c) اگر دیگر عوامل کو معین رکھا جائے تو تجربہ سے یہ معلوم ہوا ہے کہ خفیف موٹائی t کے لیے، درمیانی زاویوں پر منتشر ہوئے α-ذرات کی تعداد t کے متناسب ہوتی ہے۔ t پر اس خطی انحصار سے کیا اشارہ ملتا ہے؟

(d) کس ماڈل میں، ایک پتلی پنی سے α-ذرہ کے انتشار میں اوسط زاویہ انتشار کا حساب لگانے میں کثیر انتشار (multiple scattering) کو نظرانداز کرنا سراسر غلط ہے؟

12.12 ہائیڈروجن ایٹم میں الیکٹران اور پروٹان کے مابین مادی کشش، ان کے درمیان کولمب کشش کے مقابلے میں، تقریباً 10^{-40} کے ضریب سے، کمزور ہے۔ اس حقیقت کو سمجھنے کا ایک متبادل طریقہ یہ ہے کہ الیکٹران اور پروٹان کو مادی کشش سے بندھا ہوا تصور کرتے ہوئے ایک ہائیڈروجن ایٹم کے پہلے مدار کے نصف قطر کا تخمینہ لگایا جائے آپ کو جواب دلچسپ معلوم ہوگا۔

12.13 جب ایک ہائیڈروجن ایٹم n منزل سے $n-1$ منزل میں غیر مشتعل ہوتا ہے تو خارج ہوئے اشعاع کے تعدد کے لیے ایک ریاضیاتی عبارت حاصل کیجیے۔ n کی بڑی قدر کے لیے دکھایئے کہ تعدد، مدار میں الیکٹران کے طواف کرنے کے کلاسیکی تعدد کے مساوی ہے۔

12.14 کلاسیکی طور پر، ایک الیکٹران ایک ایٹم کے کسی بھی مدار میں نیوکلیس کے گرد چکر لگا سکتا ہے۔ پھر ایٹم کا مخصوص سائز کس سے متعین ہوتا ہے؟ ایک ایٹم اپنے مخصوص سائز کے مقابلے میں ایک ہزار گنا بڑا کیوں نہیں ہے؟ اس سوال نے بوہر کو اس وقت تک کافی پریشان کیا، جب تک وہ اپنے مشہور ماڈل تک نہیں پہنچے تھے اور جس کے بارے میں آپ اس باب میں سیکھ چکے ہیں۔ انھوں نے اپنی دریافت پر پہنچنے سے پہلے جو کیا ہوگا اس کی تمثیلی شکل میں آیئے ہم قدرت کے بنیادی مستقلوں سے مندرجہ ذیل طریقے سے کھیلتے ہیں اور دیکھتے ہیں کہ کیا ہم کوئی ایسی مقدار حاصل کر سکتے ہیں جس کی لمبائی کے ابعاد ایٹم کے معلوم سائز ($\sim 10^{-10}$m) کے موٹے طور پر مساوی ہوں۔

© NCERT not to be republished

(a) اساسی مستقلوں e، m_e اور c سے ایک لمبائی کے ابعاد کی مقدار تشکیل کیجیے۔ اس کی عددی قدر معلوم کیجیے۔

(b) آپ دیکھیں گے کہ (a) میں حاصل ہوئی لمبائی ایٹمی سائز سے عددی قدر کے کئی درجے کم ہے۔ مزید یہ کہ اس میں c شامل ہے۔ لیکن ایٹموں کی توانائیاں زیادہ تر غیر اضافیتی علاقے میں ہوتی ہیں جہاں c کے کوئی کردار ادا کرنے کی امید نہیں کی جاتی۔ ہوسکتا ہے اسی وجہ سے بوہر نے سوچا ہو کہ c کو خارج کردیا جائے اور صحیح ایٹمی سائز حاصل کرنے کے لیے کسی اور مقدار کو تلاش کیا جائے۔ اب، پلانک مستقلہ کہیں اور پہلے ہی ظاہر ہو چکا تھا۔ بوہر کی بہترین ادراک کی صلاحیت اس میں مضمر ہے کہ انھوں نے یہ پہچان لیا کہ h، m_e اور e صحیح ایٹمی سائز دیں گے۔ h، m_e اور e سے لمبائی کے ابعاد کی ایک مقدار تشکیل کیجیے اور تصدیق کیجیے کہ اس کی عددی قدر، درست عددی قدر کے درجے کی ہے۔

12.15 ہائیڈروجن ایٹم کی پہلی مشتعل حالت میں ایک الیکٹران کی کل توانائی 3.4 eV– ہے۔

(a) اس حالت میں الیکٹران کی حرکی توانائی کیا ہے؟

(b) اس حالت میں الیکٹران کی وضعی توانائی کیا ہے؟

(c) اگر وضعی توانائی کے صفر کے انتخاب کو بدل دیا جائے تو مندرجہ بالا جوابوں میں سے کون سا جواب بدل جائے گا؟

12.16 اگر بوہر کا کوانٹم سازی کا دعویٰ (زاویائی معیارِ حرکت = $\frac{nh}{2\pi}$) قدرت کا ایک بنیادی قانون ہے تو اسے سیاری حرکت کے لیے بھی اتنا ہی درست ہونا چاہیے۔ پھر ہم کیوں سورج کے گرد سیاروں کے مداروں کی کوانٹم سازی کی بات کبھی نہیں کرتے؟

12.17 ایک میونی ہائیڈروجن ایٹم (muonic hydrogen atom) (یعنی ایسا ایٹم جس میں تقریباً $207m_e$ کمیت کا ایک منفی چارج شدہ میوآن (μ)، پروٹان کے گرد مدار میں چکر لگاتا ہے) کا پہلا بوہر نصف قطر اور اس کی تحتی حالت توانائی حاصل کیجیے۔

© NCERT not to be republished