باب گیارہ

اشعاع اور مادے کی دوہری طبع

(DUAL NATURE OF RADIATION AND MATTER)

5265CH11

© NCERT not to be republished

11.1 تعارف (INTRODUCTION)

برق مقناطیسیت کی میکسویل کی مساواتوں اور 1887 میں ہرٹز کے ذریعے کیے گئے برق۔مقناطیسی لہروں کے پیدا کرنے اور شناخت کرنے کے تجربات نے روشنی کی لہر طبع کو مستحکم بنیاد پر قائم کردیا۔تقریباً اسی زمانے میں، انیسویں صدی کے خاتمہ کے قریب، ایک ڈسچارج ٹیوب میں لی گئی کم دباؤ والی گیسوں میں سے برق کی ایصالیت (برقی ڈسچارج) کی تجرباتی تحقیق نے کئی تاریخی دریافتوں کی راہ دکھائی۔1895 میں رونجن (Roentgen) کے ذریعے کی گئی x کرنوں کی دریافت اور 1897 میں جے.جے. تھامسن (J.J. Thomson) کی الیکٹران کی دریافت، ایٹمی شناخت کی تفہیم میں اہم سنگ میل تھیں۔ یہ معلوم ہوا کہ کافی کم دباؤ، تقریباً پارہ کالم کا 0.001mm، پر ایک ڈسچارج ٹیوب میں بھری گیس پر برقی سطح سے دونوں برقیروں کے درمیان ایک ڈسچارج پیدا ہوتا ہے۔منفیرہ (cathode) کے سامنے لگے ہوئے شیشے پر ایک درخشاں دمک (fluorescent glow) دکھائی دیتی ہے۔شیشے پر پیدا ہونے والی دمک کا رنگ شیشے کی قسم پر منحصر ہے، سوڈا شیشے کے لیے یہ دمک پیلاہٹ لیے ہوئے ہرے رنگ کی ہوتی ہے۔اس درخشانیت کے پیدا کرنے کا ذمہ دار اس اشعاع (radiation) کو مانا گیا جو منفیرہ سے آتا ہوا معلوم ہو رہا تھا۔ یہ منفیرہ کرنیں (cathode rays) ولیم کروُکس

(William Crookes) نے 1870 میں دریافت کیں۔ انھوں نے ہی بعد میں، 1879 میں، تجویز کیا کہ یہ کرنیں تیزی سے حرکت کرتے ہوئے منفی چارج شدہ ذرات کے دھاروں پر مشتمل ہیں۔ برطانوی طبیعیات داں، جے۔جے۔ تھامسن، نے اس فرضیہ (hypothesis) کی تصدیق کردی۔ ڈسچارج ٹیوب کے سروں پر عمودی برقی اور مقناطیسی میدان لگا کر، جے۔جے۔ تھامسن نے، سب سے پہلے، تجربہ کے ذریعے منفیرہ۔ کرنوں کے ذرات کی چال اور نوعی چارج (Specific Charge) [چارج کی کمیت سے نسبت (e/m)] کی قدریں معلوم کیں۔ یہ معلوم ہوا کہ یہ کرنیں روشنی کی چال (3×10^8 m/s) کی تقریباً 0.1 گنا سے 0.2 گنا تک کی چال سے سفر کرتی ہیں۔ e/m کی موجودہ تسلیم شدہ قدر 1.76×10^{11} C/kg ہے۔ مزید یہ معلوم ہوا کہ، (e/m) کی قدر منفیرہ (مخروج emitter) میں استعمال کیے گئے مادہ/ دھات یا ڈسچارج ٹیوب میں بھری گئی گیس کی طبع کے غیر تابع ہے۔ اس مشاہدہ سے منفیرہ کرن ذرات کی آفاقیت تجویز پائی۔

اسی زمانے میں، 1887 میں، یہ معلوم ہوا کہ کچھ دھاتیں، بالا بنفشئی روشنی سے اشعاع شدہ ہونے پر منفی چارج شدہ ذرات خارج کرتی ہیں، جن کی رفتار خفیف ہوتی ہے۔ ان ذرات کی (e/m) قدر، منفیرہ کرن ذرات کی (e/m) قدر کے یکساں تھی۔ ان مشاہدات سے یہ ثابت ہوگیا کہ یہ تمام ذرات، حالانکہ مختلف صورتوں میں پیدا ہوتے ہیں، اپنی طبع کے لحاظ سے متماثل ہیں۔ جے۔جے۔ تھامسن نے 1887 میں ان ذرات کو 'الیکٹران (electron)'' کا نام دیا اور تجویز کیا کہ یہ ذرات مادے کے آفاقی، بنیادی اجزا ہیں۔ گیسوں کے ذریعے برق کی ایصالیت پر کی گئی نظری اور تجرباتی تحقیق کے ذریعے کی گئی، جے۔جے۔ تھامسن کی اس عصر آفریں دریافت کے لیے انھیں 1906 کے طبیعیات کے نوبل انعام سے نوازا گیا۔ 1913 میں، امریکن طبیعیات داں آر۔ اے۔ ملیکن (R.A. Millikan) (1868–1953) نے اپنا رہنمایانہ تیل-قطرہ (oil-drop) تجربہ کیا، جس کے ذریعے، انھوں نے ایک الیکٹران کے چارج کی، درستگی صحت کے ساتھ، پیمائش کی۔ انھوں نے معلوم کیا کہ ایک تیل کے قطرے پر پایا جانے والا چارج ہمیشہ ایک بنیادی چارج، 1.602×10^{-19} C کا صحیح عددی ضعف (integral multiple) ہوتا ہے۔ ملیکن کے تجربے سے یہ ثابت ہوگیا کہ برقی چارج کوانٹم سازی شدہ (quantised) ہوتا ہے۔ چارج (e) اور نوعی چارج (e/m) کی قدروں سے، الیکٹران کی کمیت (m) معلوم کی جاسکتی ہے۔

11.2 الیکٹران اخراج (ELECTRON EMISSION)

ہم جانتے ہیں کہ دھاتوں میں آزاد الیکٹران ہوتے ہیں (منفی چارج شدہ ذرات) جو کہ ان کی ایصالیت کے ذمہ دار ہیں۔ لیکن، یہ آزاد الیکٹران عام طور سے دھات کی سطح سے باہر نہیں نکل سکتے۔ اگر ایک الیکٹران دھات سے باہر نکلنے کی کوشش کرتا ہے تو دھات کی سطح پر ایک مثبت چارج آجاتا ہے اور وہ الیکٹران کو واپس دھات میں کھینچ لیتا ہے۔ اس طرح یہ آزاد الیکٹران آئنوں کی کششی قوت کی وجہ سے دھات کی سطح کے اندر ہی رکے رہتے ہیں۔ نتیجتاً، یہ الیکٹران دھات کی سطح

© NCERT not to be republished

سے تب ہی باہر آسکتے ہیں جب ان کے پاس اتنی توانائی ہو جو اس کشش کھینچاؤ پر قابو پانے کے لیے کافی ہو۔ اس لیے ایک الیکٹران کو دھات سے باہر کھینچ سکنے کے لیے اسے توانائی کی ایک خاص کم از کم مقدار مہیا کرانا ضروری ہے۔ یہ کم ترین توانائی جو ایک الیکٹران کو دھات کی سطح سے باہر کھینچنے کے لیے الیکٹران کو دی جانا لازمی ہے، دھات کا کام فنکشن (work function) کہلاتی ہے۔ اسے عام طور سے ϕ_o سے ظاہر کیا جاتا ہے اور eV (Electran volt) میں ناپا جاتا ہے۔ ایک الیکٹران وولٹ، الیکٹران کے ذریعے حاصل کی گئی وہ توانائی ہے جو وہ 1 volt کے مضمر فرق سے اسراع کرائے جانے پر حاصل کرتا ہے، اس طرح: $1\ \text{eV} = 1.602 \times 10^{-19}\ \text{J}$

توانائی کی یہ اکائی ایٹمی اور نیوکلیائی طبیعیات میں عام طور سے استعمال کی جاتی ہے۔ کام فنکشن ϕ_o، دھات کی خاصیتوں اور سطح کی طبع کے تابع ہے۔ کچھ دھاتوں کے کام فنکشن کی قدریں جدول 11.1 میں دی گئی ہیں۔ یہ قدریں تقریبی ہیں کیونکہ یہ سطح ملاوٹوں (surface impurities) کے لیے بہت حساس ہیں۔

جدول 11.1 سے نوٹ کریں کہ پلاٹنم کا ورک فنکشن سب سے زیادہ ہے $(\phi_o = 5.65\ \text{eV})$ اور سیزیم (Cesium) کے لیے اس کی قدر سب سے کم ہے $(\phi_o = 2.14\ \text{eV})$۔

دھات کے سطح سے الیکٹران کے اخراج کے لیے درکار توانائی، آزاد الیکٹرانوں کو مندرجہ ذیل طریقوں میں سے کسی بھی طریقے کے ذریعے مہیا کی جاسکتی ہے:

جدول 11.1 کچھ دھاتوں کے ورک فنکشن (WORK FUNCTIONS OF SOME METALS)

ورک فنکشن ϕ_o (eV)	دھات	ورک فنکشن ϕ_o (eV)	دھات
4.28	Al	2.14	Cs
4.49	Hg	2.30	K
4.65	Cu	2.75	Na
4.70	Ag	3.20	Ca
5.15	Ni	4.17	Mo
5.65	Pt	4.25	Pb

(i) حر بجلیائی اخراج (Thermionic emission): مناسب طور پر گرم کرنے کے ذریعے، آزاد الیکٹرانوں کو اتنی توانائی مہیا کی جاسکتی ہے جو ان کے دھات کی سطح سے باہر آسکنے کے لیے کافی ہو۔

(ii) فیلڈ اخراج (Field emission): ایک دھات پر بہت طاقت ور برقی میدان لگا کر ($10^8\ \text{V m}^{-1}$ کے درجہ کا)، الیکٹرانوں کو دھات سے باہر کھینچا جاسکتا ہے، جیسا کہ اسپارک پلگ (Spark plug) میں کیا جاتا ہے۔

(iii) نوری-برقی اخراج (Photo electric emission): جب ایک مناسب تعدد کی روشنی ایک دھات کی

© NCERT not to be republished

سطح کو روشن کرتی ہے، تو دھات کی سطح سے الیکٹرانوں کا اخراج ہوتا ہے۔ یہ نور (روشنی) سے خارج ہوئے الیکٹران نوری الیکٹران (Photoelectron) کہلاتے ہیں۔

11.3 نوری-برقی اثر (PHOTOELECTRIC EFFECT)

11.3.1 ہرٹز کے مشاہدات (Hertz's observations)

نوری-برقی اخراج کا مظہر 1887 میں ہنرک ہرٹز (Heinrich Hertz) (1857-1894) نے دریافت کیا۔ اس کا مشاہدہ ہرٹز نے برق-مقناطیسی لہروں کے اپنے تجربات کے دوران کیا۔ ایک اسپارک ڈسچارج کے ذریعے برق-مقناطیسی لہروں کے پیدا کرنے کے لیے ہرٹز نے جو تجربات کیے، اس تجرباتی تحقیق کے دوران ہرٹز نے مشاہدہ کیا کہ جب ایک آرک لیمپ کی بالا بنفشئی روشنی کے ذریعے مخروج (Emitter) چادر کو روشن کیا جاتا ہے تو شناخت کار لوپ (Detector loop) کے گرد اعلیٰ وولٹیج اسپارک میں اضافہ ہو جاتا ہے۔

دھات کی سطح پر روشنی ڈالنے سے کسی نہ کسی طور پر چارج شدہ ذرات، جنھیں اب ہم الیکٹران کے بہ طور جانتے ہیں، کے اخراج میں مدد ملتی ہے۔ جب ایک دھات کی سطح پر روشنی پڑتی ہے تو سطح کے قریب کے کچھ الیکٹران واقع اشعاع سے اتنی توانائی جذب کر لیتے ہیں جو اس سطح کے مادے کے مثبت آئنوں کی کشش کی مخالفت کر سکنے کے لیے درکار ہوتی ہے۔ اس طرح، واقع روشنی سے درکار توانائی حاصل کر لینے کے بعد الیکٹران دھات کے سطح سے باہر نکل کر ارد گرد فضا میں چلے جاتے ہیں۔

11.3.2 ہال وِیکس اور لینارڈ کے مشاہدات (Hallwachs' and Lenard's observations)

1896-1902 کے دوران وِلہیلم ہال وِیکس (Wilhelm Hallwachs) اور فلپ لینارڈ (Philipp Lenard) نے نوری-برقی اخراج کے مظہر کی تفصیلی تحقیق کی۔

لینارڈ (1862-1947) نے مشاہدہ کیا کہ جب بالا بنفشئی شعاعوں کو ایک خلا کی ہوئی شیشے کی ٹیوب، جس میں دو برقیرہ (Electrodes) بند ہیں، کی مخروج چادر پر پڑنے دیا جاتا ہے تو سرکٹ میں کرنٹ بہنے لگتا ہے (شکل 11.1)۔ جیسے ہی بالا بنفشئی اشعاع کو روکا جاتا ہے، کرنٹ کا بہنا بھی فوراً ہی بند ہو جاتا ہے۔ یہ مشاہدات نشاندہی کرتے ہیں کہ جب بالا بنفشئی اشعاع مخروج چادر C پر پڑتا ہے تو اس سے الیکٹران خارج ہوتے ہیں جو مثبت، جمع کار چادر (Collector A plate) کی جانب، برقی میدان کے ذریعے، کشش ہوتے ہیں۔ اس طرح خلا کی ہوئی شیشے کی ٹیوب میں الیکٹرانوں کے بہنے سے کرنٹ بہنے لگتا ہے۔ اس لیے مخروج کی سطح پر پڑ رہی روشنی باہری سرکٹ میں کرنٹ بہنے کا سبب ہے۔ ہال وِیکس اور لینارڈ نے مطالعہ کیا کہ یہ فوٹو کرنٹ جمع کار چادر کے مضمر اور واقع روشنی کے تعدد اور اس کی شدت کے ساتھ کس طور پر تبدیل ہوتا ہے۔

1888 میں ہال وِیکس نے اس مطالعے کو مزید آگے بڑھایا اور ایک الیکٹروسکوپ سے ایک منفی چارج شدہ زنک

© NCERT not to be republished

پلیٹ منسلک کی۔ انھوں نے مشاہدہ کیا کہ جب زنک کی پلیٹ کو بالا بنفشئی روشنی سے روشن کیا جاتا ہے تو وہ اپنا چارج ضائع کر دیتی ہے۔ مزید یہ کہ جب ایک غیر چارج شدہ زنک پلیٹ پر بالا بنفشئی روشنی ڈالی جاتی ہے تو وہ مثبت چارج شدہ ہو جاتی ہے۔ مثبت چارج شدہ زنک پلیٹ کے مثبت چارج میں، اس پر بالا بنفشئی روشنی ڈالنے سے، اور اضافہ ہو جاتا ہے۔ ان مشاہدات سے انھوں نے یہ نتیجہ اخذ کیا کہ بالا بنفشئی روشنی کے عمل پذیر ہونے سے زنک پلیٹ سے منفی چارج شدہ ذرات خارج ہوتے ہیں۔

1897 میں الیکٹران کی دریافت کے بعد یہ واضح ہو گیا کہ واقع روشنی، مخروج پلیٹ سے الیکٹرانوں کا اخراج کرتی ہے۔ منفی چارج شدہ ہونے کی وجہ سے، خارج ہوئے یہ الیکٹران، برقی میدان کے ذریعے، جمع کار پلیٹ کی جانب کشش ہوتے ہیں۔ ہال وَیکس اور لینارڈ نے یہ مشاہدہ بھی کیا کہ بالا بنفشئی شعاعوں کے مخروج پلیٹ پر پڑنے سے اس وقت کوئی الیکٹران بھی خارج نہیں ہوتا جب واقع روشنی کا تعدد ایک خاص اقل ترین قدر سے کم ہوتا ہے، جو کہ دہلیز تعدد (Threshold frequency) کہلاتا ہے۔ یہ اقل ترین تعدد، مخروج پلیٹ کے مادہ کی طبع کے تابع ہے۔

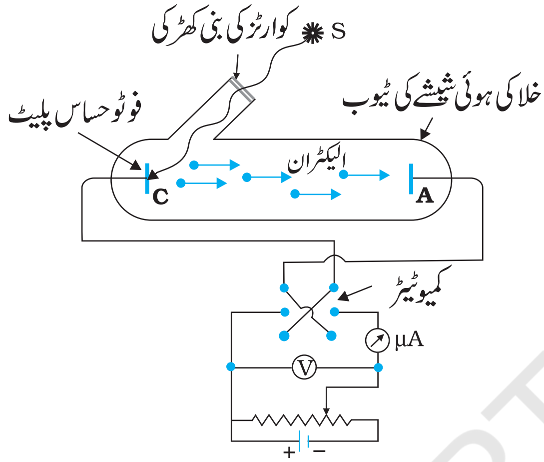
یہ معلوم ہوا کہ کچھ خاص دھاتوں، جیسے زنک، کیڈمیم، میگنیشیم وغیرہ میں صرف بالا بنفشئی روشنی، جس کی طولِ موج مختصر ہوتی ہے، سے ہی سطح سے الیکٹران کا اخراج ہوتا ہے۔ لیکن کچھ کھار (alkali) دھاتوں، جیسے لیتھیم، سوڈیم، پوٹاشیم، سیزیم اور روبیڈیم وغیرہ میں بصری روشنی کے ذریعے بھی یہ اخراج ہوتا ہے۔ یہ تمام فوٹو حساس اشیا روشنی کے پڑنے پر الیکٹرانوں کا اخراج کرتے ہیں۔ الیکٹرانوں کی دریافت کے بعد، ان الیکٹرانوں کو ''فوٹو الیکٹران'' کہا جانے لگا۔ اس مظہر کو نوری۔برقی اثر کہتے ہیں۔

11.4 نوری۔برقی اثر کا تجرباتی مطالعہ (EXPERIMENTAL STUDY OF PHOTOELECTRIC EFFECT)

شکل 11.1 میں نوری۔برقی اثر کا تجرباتی مطالعہ کرنے کے لیے تجرباتی سامان کی ترتیب کا ایک خاکہ پیش کیا گیا ہے۔ یہ ایک خلا کی ہوئی شیشے/کوارٹز کی ٹیوب پر مشتمل ہے، جس میں ایک باریک فوٹو حساس پلیٹ C اور ایک اور دھات کی پلیٹ A ہوتی ہے۔ ماخذ 'S' سے نکل رہی کافی کم طولِ موج کی یک رنگی روشنی کھڑکی W سے گزر کر فوٹو حساس پلیٹ C (مخروج) پر پڑتی ہے۔ شیشے کی ٹیوب میں کوارٹز کی بنی ہوئی ایک شفاف کھڑکی چسپاں کر دی (مہر بند طریقے سے) جاتی ہے، جس سے بالا بنفشئی شعاعیں گزر سکتی ہیں اور فوٹو حساس پلیٹ، پر اشعاع کر سکتی ہیں۔ پلیٹ C سے الیکٹران خارج ہوتے ہیں، اور بیٹری کے ذریعے C اور A پلیٹوں کی قطبیت کو بدلا جا سکتا ہے۔ اس لیے پلیٹ A کو مخروج C کی مناسبت سے درکار مثبت یا منفی مضمر پر قائم رکھا جا سکتا ہے جب جمع کار پلیٹ A، مخروج پلیٹ C کی مناسبت سے مثبت ہوتی ہے تو الیکٹران اس کی جانب کشش ہوتے ہیں۔ الیکٹرانوں کا اخراج سرکٹ میں برقی کرنٹ کا بہاؤ پیدا کرتا ہے۔ مخروج اور جمع کار پلیٹوں کے درمیان مضمر فرق کو ایک وولٹ میٹر (V) کے ذریعے ناپا جاتا ہے اور اس کے نتیجے میں سرکٹ میں بہنے والے فوٹو کرنٹ کو

© NCERT not to be republished

ایک مائیکروایم میٹر (uA) کے ذریعے ناپا جاتا ہے۔جمع کار پلیٹ A کے مخروج پلیٹ C کی مناسبت سے، مضمر کو تبدیل کر کے برقی-نوری کرنٹ کو کم یا زیادہ کیا جاسکتا ہے۔ واقع روشنی کی شدت اور اس کے تعدد کو بھی تبدیل کیا جاسکتا ہے اور مخروج C اور جمع کار A کے مابین مضمر فرق کو بھی تبدیل کیا جاسکتا ہے۔

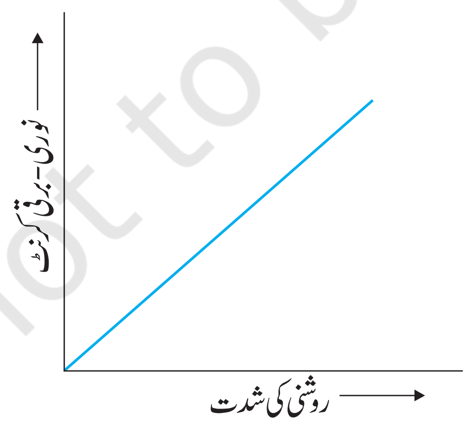


شکل 11.1: نوری-برقی اثر کے مطالعہ کے لیے تجرباتی سامان کی ترتیب

ہم شکل 11.1 میں دکھائے گئے تجرباتی سامان کی ترتیب کے ذریعے (a) اشعاع کی شدت (b) واقع اشعاع کا تعدد (c) A اور C کے درمیان مضمر فرق (d) پلیٹ C کے مادہ کی طبع، کے ذریعے فوٹو کرنٹ میں ہونے والی تبدیلی کا مطالعہ کرسکتے ہیں۔ مخروج C پر پڑنے والی روشنی کے راستے میں رنگین فلٹر یا رنگین شیشہ رکھ کر مختلف تعدد کی روشنی استعمال کی جاسکتی ہے۔ روشنی کی شدت کو روشنی کے ماخذ کا مخروج سے فاصلہ تبدیل کرکے، تبدیل کیا جاسکتا ہے۔

11.4.1 فوٹو کرنٹ پر روشنی کی شدت کا اثر (Effect of intensity of light on photocurrent)

جمع کار A کو، مخروج C کی مناسبت سے، ایک مثبت مضمر پر قائم رکھا جاتا ہے تاکہ C سے خارج ہونے والے الیکٹران، جمع کار A کی جانب کشش ہوسکیں۔ واقع روشنی کے تعدد اور مضمر کو معین رکھتے ہوئے، روشنی کی شدت کو تبدیل کیا جاتا ہے اور ہر بار اس کے نتیجے میں بہنے والے نوری-برقی کرنٹ کی پیائش کی جاتی ہے۔ یہ دیکھا گیا کہ فوٹو کرنٹ میں واقع روشنی کی شدت کے ساتھ خطی طور پر اضافہ ہوتا ہے، جیسا کہ شکل 11.2 میں گرافی شکل میں دکھایا گیا ہے۔ فوٹو کرنٹ، فی سیکنڈ خارج ہونے والے فوٹو الیکٹرانوں کی تعداد کے راست مناسب ہے۔ اس کا مطلب ہوا کہ ایک سیکنڈ میں خارج ہونے والے فوٹو الیکٹرانوں کی تعداد، واقع روشنی کی شدت کے راست متناسب ہے۔



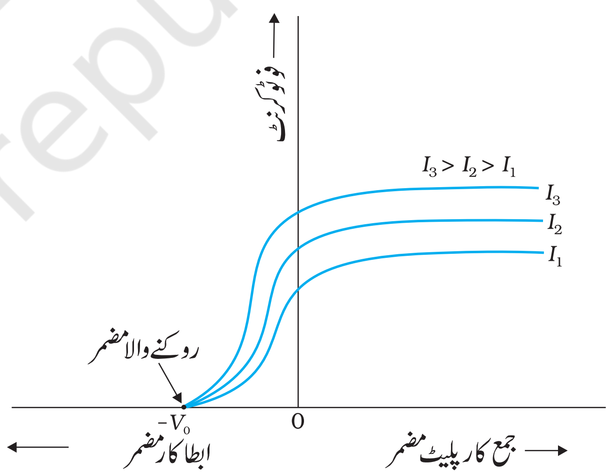
شکل 11.2: روشنی کی شدت کے ساتھ نوری-برقی کرنٹ کی تبدیلی

© NCERT not to be republished

11.4.2 نوری-برقی کرنٹ پر مضمر کا اثر (Effect of potential on photoelectric current)

ہم پہلے پلیٹ A کو پلیٹ C کی مناسبت سے کسی مثبت مضمر پر رکھتے ہیں اور پلیٹ C کو ایک معین تعدد "υ" اور معین شدت I_1 کی روشنی سے روشن کرتے ہیں۔ پھر ہم پلیٹ A کے مثبت مضمر کو بتدریج تبدیل کرتے ہیں اور ہر بار اس کے نتیجے میں بہنے والے فوٹو کرنٹ کی پیائش کرتے ہیں۔ یہ معلوم ہوتا ہے کہ مثبت (اسراع کار) مضمر میں اضافہ کرنے سے نوری-برقی کرنٹ میں اضافہ ہوتا ہے۔ایک منزل پر پلیٹ A کے کسی مخصوص مثبت مضمر کے لیے، خارج ہوئے تمام الیکٹران پلیٹ A پر جمع ہوجاتے ہیں اور نوری-برقی کرنٹ اعظم یا سیر شدہ ہوجاتا ہے۔اب اگر ہم پلیٹ A کے اسراع کار مضمر میں مزید اضافہ کریں تو فوٹو کرنٹ میں اضافہ نہیں ہوتا۔ نوری-برقی کرنٹ کی یہ اعظم قدر سیر شدگی کرنٹ (Saturation Current) کہلاتی ہے۔سیر شدگی کرنٹ اس صورت سے مطابقت رکھتا ہے جب مخروج پلیٹ سے خارج ہونے والے تمام الیکٹران جمع کار پلیٹ A پر پہنچ جاتے ہیں۔

اب ہم پلیٹ A پر پلیٹ C کی مناسبت سے منفی (ابطا کار) مضمر لگاتے ہیں اور اسے بتدریج مزید منفی بناتے جاتے ہیں۔ جب قطبیت مخالف ہوجاتی ہے تو الیکٹران دفاع ہونے لگتے ہیں اور مناسب توانائی والے الیکٹران ہی جمع کار A تک پہنچ پاتے ہیں۔اب فوٹو کرنٹ تیزی سے کم ہونے لگتا ہے، یہاں تک کہ پلیٹ A پر منفی مضمر V_o کی، بہ خوبی معرف، فاصل قدر پر صفر ہوجاتا ہے۔ واقع اشعاع کے ایک مخصوص تعدد کے لیے پلیٹ A کا وہ کم ترین منفی (ابطا کار) مضمر V_o جس پر فوٹو کرنٹ رک جاتا ہے یا صفر ہوجاتا ہے قطع مضمر (Cutoff potential) یا روکنے والا مضمر (Stoppping potential) کہلاتا ہے۔



شکل 11.3: واقع اشعاع کی مختلف شدتوں کے لیے جمع کار پلیٹ مضمر کے ساتھ فوٹو کرنٹ کی تبدیلی

اس مشاہدہ کی فوٹو الیکٹرانوں کی شکل میں توضیح واضح ہے۔دھات سے خارج ہونے والے تمام الیکٹرانوں کی توانائی یکساں نہیں ہوتی۔نوری-برقی کرنٹ اس وقت صفر ہوجاتا ہے جب روکنے والے مضمر کی قدر اتنی ہوتی ہے کہ سب سے زیادہ توانائی والے الیکٹران کو بھی دفع کرنے کے لیے کافی ہو، جس کی اعظم حرکی توانائی (K_{max}) ہے:

$$K_{max} = e\,V_o \qquad (11.1)$$

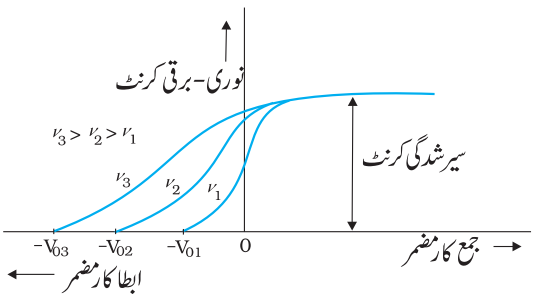
ہم اسی مشاہدہ کو واقع اشعاع کے یکساں تعدد لیکن مقابلتاً اعلیٰ شدت I_2 اور I_3 $(I_3>I_2>I_1)$ کے لیے دہرا سکتے ہیں۔اب ہم پاتے ہیں کہ سیر شدگی کرنٹ بھی مقابلتاً اعلیٰ قدروں پر حاصل ہوتا ہے۔اس سے ظاہر ہوتا ہے کہ واقع اشعاع

© NCERT not to be republished

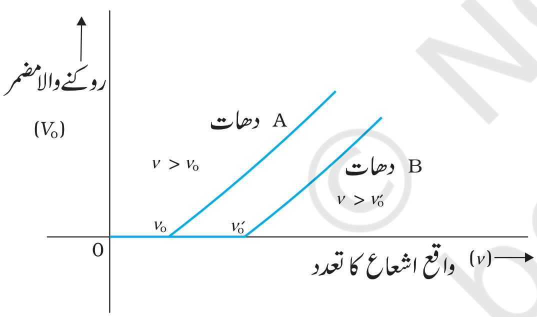
کی شدت کے راست متناسب ہونے کی وجہ سے فی سیکنڈ زیادہ الیکٹران خارج ہوتے ہیں۔لیکن روکنے والا مضمر وہی رہتا ہے جو I_1 شدت کے واقع اشعاع کے لیے تھا،جیسا کہ شکل 11.3 میں گرافی شکل میں دکھایا گیا ہے۔اس لیے، واقع اشعاع کے دیے ہوئے تعدد کے لیے، روکنے والا مضمر اس کی شدت کے غیر تابع ہے۔ دوسرے الفاظ میں،فوٹو الیکٹرانوں کی اعظم حرکی توانائی، روشنی کے ماخذ اور مخروج پلیٹ کے مادے کے تابع ہے لیکن واقع اشعاع کی شدت کے غیر تابع ہے۔

11.4.3 روکنے والے مضمر پر واقع اشعاع کے تعدد کا اثر (Effect of frequency of incident radiation on stopping potential)

اب ہم واقع اشعاع کے تعدد ν_0 اور روکنے والے مضمر V_0 کے درمیان رشتے کا مطالعہ کرتے ہیں۔ ہم مختلف تعددوں کی یکساں شدت کی روشنی کی شعاعوں کو مناسب طور پر ترتیب دیتے ہیں اور جمع کار پلیٹ کے مضمر کے ساتھ فوٹو کرنٹ کی تبدیلی کا مطالعہ کرتے ہیں۔اس طرح حاصل ہونے والی تبدیلی شکل 11.4 میں دکھائی گئی ہے۔مختلف تعدد کے واقع اشعاع کے لیے ہمیں روکنے والے مضمر کی مختلف قدریں حاصل ہوتی ہیں لیکن سیر شدگی کرنٹ کی یکساں قدر حاصل ہوتی ہے۔ خارج ہونے والے الیکٹرانوں کی توانائی واقع اشعاع کے تعدد کے تابع ہے۔ واقع اشعاع کے مقابلتاً زیادہ تعدد کے لیے روکنے والا مضمر مقابلتاً زیادہ منفی ہوتا ہے۔شکل 11.4 سے نوٹ کریں کہ روکنے والے مضمر کی ترتیب ہے: $V_{03}>V_{02}>V_{01}$ اگر تعدد کی ترتیب: $\nu_3>\nu_2>\nu_1$ ہو۔ اس کا مطلب ہوا واقع روشنی کا تعدد جتنا زیادہ ہوگا،فوٹو الیکٹرانوں کی حرکی توانائی بھی اتنی زیادہ ہوگی۔ نتیجتاً، انھیں مکمل طور پر روکنے کے لیے ہمیں زیادہ ابطائی مضمر درکار ہوگا۔اگر ہم واقع اشعاع کے تعدد اور مختلف دھاتوں کے لیے اس کے مطابق روکنے والے مضمر کے مابین گراف کھینچیں تو ہمیں ایک مستقیم خط حاصل ہوتا ہے،جیسا کہ شکل 11.5 میں دکھایا گیا ہے۔



شکل 11.4: واقع اشعاع کے مختلف تعدد کے لیے،جمع کار پلیٹ کے مضمر کے ساتھ نوری-برقی کرنٹ کی تبدیلی



شکل 11.5: ایک دیے ہوئے فوٹو حساس مادے کے لیے، واقع اشعاع کے تعدد ν کے ساتھ روکنے والے مضمر V_0 کی تبدیلی

گراف سے ظاہر ہوتا ہے:

(i) ایک دیے ہوئے فوٹو حساس مادے کے لیے، روکنے والا مضمر V_0 ، واقع اشعاع کے تعدد کے ساتھ خطّی طور پر تبدیل ہوتا ہے۔

(ii) ایک ایسا اقل ترین قطع تعدد ν_0 پایا جاتا ہے،جس کے لیے روکنے والا مضمر صفر ہے۔

ان مشاہدات سے دو باتیں اخذ کی جاسکتی ہیں:

(i) فوٹو الیکٹرانوں کی اعظم حرکی توانائی، واقع اشعاع کے تعدد کے ساتھ خطی طور پر تبدیل ہوتی ہے لیکن واقع اشعاع کی شدت کے غیر تابع ہے۔

(ii) واقع اشعاع کے اس تعدد ν کے لیے، جو قطع تعدد ν_0 سے کم ہو، کوئی نوری- برقی اخراج ممکن نہیں ہے چاہے شدت بہت زیادہ بھی ہو۔

یہ اقل ترین، قطع تعدد ν_0، دہلیز تعدد (threshold frequency) کہلاتا ہے۔ یہ مختلف مادوں کے لیے مختلف ہوتا ہے۔

مختلف فوٹو حساس مادے روشنی پڑنے پر مختلف ردِعمل ظاہر کرتے ہیں۔ سیلینیم (Selenium)، زِنک یا تانبہ (Copper) کے مقابلے میں زیادہ حساس ہے۔ ایک ہی فوٹو حساس مادہ مختلف طولِ موج کی روشنیوں کے ساتھ مختلف قسم کا ردِعمل ظاہر کرتا ہے۔ مثلاً تانبہ پر اگر بالا بنفشئی روشنی ڈالی جاتی ہے تو نوری- برقی اثر ظاہر ہوتا ہے لیکن تانبہ پر ہی اگر ہری یا سرخ روشنی ڈالی جاتی ہے تو یہ اثر نہیں ہوتا۔

نوٹ کریں کہ مندرجہ بالا تمام تجربوں سے، یہ پتہ چلتا ہے کہ اگر واقع اشعاع کا تعدد، دہلیز تعدد سے زیادہ ہوتا ہے تو نوری- برقی اخراج فوراً بغیر کسی ظاہری پس وقت (Time lag) کے شروع ہو جاتا ہے، چاہے واقع اشعاع بہت ہی دھیما (کم شدت کا) ہو۔ اب ہم یہ جانتے ہیں کہ اخراج شروع ہونے میں 10^{-9} s یا اس سے بھی کم درجہ کا وقت لگتا ہے۔

اب ہم اس حصہ میں بیان کیے گئے تجربات اور مشاہدات کی اہم خاصیتوں کا خلاصہ پیش کرتے ہیں۔

(i) ایک دیے ہوئے فوٹو حسّاس مادّے اور واقع اشعاع کے ایک تعدد کے لیے (تعدد دہلیز تعدد سے زیادہ ہو)، نوری- برقی کرنٹ، واقع روشنی کی شدت کے راست مناسب ہے (شکل 11.2)۔

(ii) ایک دیے ہوئے فوٹو حسّاس مادّے اور واقع اشعاع کے ایک دیے ہوئے تعدد کے لیے، سیر شدگی کرنٹ، واقع اشعاع کی شدت کے راست متناسب پایا گیا ہے جب کہ روکنے والے مضمر کو واقع اشعاع کی شدت کے غیر تابع پایا گیا ہے (شکل 11.3)۔

(iii) ایک دیے ہوئے فوٹو حسّاس مادّے کے لیے، واقع اشعاع کا ایک خاص اقل قطع تعدد (minimum cut off frequency) پایا جاتا ہے، جو دہلیز تعدد کہلاتا ہے، جس سے کم قدر کے تعدد کے لیے فوٹو الیکٹرانوں کا کوئی اخراج نہیں ہوتا، چاہے واقع روشنی کی شدت کتنی بھی زیادہ ہو۔ دہلیز تعدد سے زیادہ تعدد پر، روکنے والا مضمر یا مساوی طور پر، خارج ہوئے الیکٹرانوں کی اعظم حرکی توانائی (Maximum Kinetic energy)، واقع اشعاع کے تعدد کے ساتھ خطّی طور پر بڑھتی ہے لیکن واقع اشعاع کی شدت کے غیر تابع ہے۔ (شکل 11.5)۔

(iv) نوری- برقی اخراج ایک فوری طور پر ہونے والا عمل ہے، جس میں کوئی ظاہری پس- وقت (Time lag) شامل نہیں ہوتا (10^{-9} s یا اس سے کم)، چاہے واقع اشعاع کی شدت کو بہت زیادہ کم بھی کر دیا جائے۔

© NCERT not to be republished

11.5 نوری-برقی اثر اور روشنی کا لہر نظریہ (PHOTOELECTRIC EFFECT AND WAVE THEORY OF LIGHT)

انیسویں صدی کے اختتام تک روشنی کی لہری طبع بہ خوبی مسلّم ہو گئی تھی۔ تداخل، انصراف اور تقطیب کے مظاہر کی روشنی کی لہر تصویر کے ذریعے قدرتی طور پر اور اطمینان بخش وضاحت کی جا چکی تھی۔ اس تصویر کے مطابق، روشنی ایک برق-مقناطیسی لہر ہے جو برقی اور مقناطیسی میدانوں پر مشتمل ہے اور لہر فضا کے جتنے علاقے میں پھیلی ہوتی ہے، اس پورے علاقے پر توانائی کی یکساں تقسیم ہوتی ہے۔ آیئے اب دیکھتے ہیں کہ روشنی کی یہ لہر تصویر، پچھلے حصہ میں بیان کیے گئے نوری-برقی اخراج کے مشاہدات کی وضاحت کر سکتی ہے یا نہیں۔

روشنی کی لہر تصویر کے مطابق، دھات کی سطح کے آزاد الیکٹران (جن پر اشعاع کی شعاع پڑتی ہے) اشعاع شدہ توانائی کو لگاتار جذب کرتے رہتے ہیں۔ اشعاع کی شدت جتنی زیادہ ہوگی، برقی اور مقناطیسی میدانوں کی وسعت (amplitude) اتنی زیادہ ہوگی۔ نتیجتاً، شدت جتنی زیادہ ہوگی، ہر الیکٹران کے ذریعے جذب کی گئی توانائی اتنی ہی زیادہ ہونی چاہیے۔ اس تصویر کے مطابق، سطح کے فوٹو الیکٹرانوں کی اعظم حرکی توانائی میں، شدت میں اضافہ کے ساتھ، اضافہ کی توقع کی جاتی ہے۔ مزید یہ توقع بھی کی جاتی ہے کہ اشعاع کا تعدد چاہے کچھ بھی ہو، اشعاع کی درکار شدت والی شعاع (اگر درکار وقت تک پڑتی رہے) کو الیکٹرانوں کو اتنی توانائی مہیا کر دینی چاہیے کہ اس کی قدر دھات کی سطح سے باہر نکلنے کے لیے درکار اقل توانائی سے زیادہ ہو۔ اس لیے ایک، دہلیز تعدد نہیں پایا جانا چاہیے۔ لہر نظریہ پر مبنی یہ توقعات، حصہ 11.4.3 کے آخر میں دیے گئے مشاہدات (i)، (ii) اور (iii) کی تنسیخ کرتی ہیں۔

مزید، ہمیں یہ بھی نوٹ کرنا چاہیے کہ لہر تصویر میں، الیکٹران کے ذریعے توانائی کا اجذاب (absorption) اشعاع کے پورے لہر محاذ پر لگاتار ہوتا ہے۔ کیونکہ الیکٹرانوں کی ایک بڑی تعداد توانائی جذب کرتی ہے اس لیے جذب شدہ توانائی فی الیکٹران فی اکائی وقت کی قدر بہت خفیف حاصل ہوتی ہے۔ واضح تحسیبات کے تخمینہ کے مطابق ایک واحد الیکٹران کو بھی اتنی توانائی جذب کرنے میں جو ورک فنکشن کا مقابلہ کرنے اور دھات سے باہر نکلنے کے لیے کافی ہو، کئی گھنٹے یا اس سے بھی زیادہ وقت لگ سکتا ہے۔ لہر تصویر کی بنیاد پر اخذ کیا گیا یہ نتیجہ بھی، مشاہدہ (iv) کہ، نوری-برقی اخراج فوری (بغیر کسی پس وقت کے) ہوتا ہے، سے براہِ راست تضاد رکھتا ہے۔ مختصراً یہ کہ لہری تصویر، نوری-برقی اخراج کی سب سے بنیادی خاصیتوں کی وضاحت کرنے میں ناکام ہے۔

11.6 آئنسٹائن کی نوری-برقی مساوات: اشعاع کا توانائی کوانٹم (EINSTEIN'S PHOTOELECTRIC EQUATION: ENERGY QUANTUM OF RADIATION)

1905 میں آئنسٹائن (1955-1879) نے نوری-برقی اثر کی وضاحت کرنے کے لیے، برق-مقناطیسی اشعاع کی ایک بالکل انقلابی طور پر نئی تصویر تجویز کی۔ اس تصویر کے مطابق، نوری-برقی اخراج اشعاع سے توانائی کے لگاتار اجذاب کے ذریعے نہیں

© NCERT not to be republished

ہوتا۔ اشعاع توانائی (Radiation energy) مجرّد اکائیوں (Discrete units) پر مشتمل ہوتی ہے، جنھیں اشعاع کی توانائی کے کوانٹا (Quanta of energy of radiation) کہا جاتا ہے۔ اشعاع ہوئی توانائی کے ہر کوانٹم کی توانائی $h\nu$ ہوتی ہے، جہاں h، پلانک کا مستقلہ ہے اور ν روشنی کا تعدد ہے۔ اگر یہ جذب ہوا توانائی کا کوانٹم، دھات کی سطح سے الیکٹران کو باہر نکلنے کے لیے درکار کم ترین توانائی (ورک فنکشن ϕ_o) سے زیادہ ہوتا ہے تو الیکٹران خارج ہوتا ہے اور اس کی اعظم حرکی توانائی ہوتی ہے:

$$K_{mas} = h\nu - \phi_o \tag{11.2}$$

زیادہ سختی سے بندھے ہوئے الیکٹران اس اعظم قدر سے کم حرکی توانائی کے ساتھ نکلیں گے۔ نوٹ کریں کہ ایک دیے ہوئے تعدد کی روشنی کی شدت فی سیکنڈ واقع فوٹانوں کی تعداد سے متعین ہوتی ہے۔ شدت بڑھانے سے فی سیکنڈ خارج ہونے والے الیکٹرانوں کی تعداد میں اضافہ ہوگا۔ لیکن، خارج ہوئے الیکٹرانوں کی اعظم حرکی توانائی ہر فوٹان کی توانائی سے متعین ہوگی۔

مساوات (11.2) ''آئن اسٹائن کی نوری-برقی مساوات'' کہلاتی ہے۔ اب ہم دیکھتے ہیں کہ یہ مساوات کتنے سادہ اور خوبصورت طریقے سے، تحت حصہ 11.4.3 کے آخر میں دیے گئے نوری-برقی اثر پر کیے گئے مشاہدات کی وضاحت کرتی ہے۔

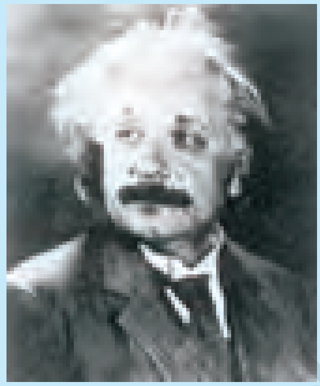
- مساوات (11.2) کے مطابق، K_{mas}، ν کے خطی طور پر تابع ہے اور اشعاع کی شدت کے غیر تابع ہے، جو کہ مشاہدے سے اتفاق کرتا ہے۔ ایسا اس لیے ہوا کیونکہ آئن اسٹائن کے ذریعے پیش کی گئی تصویر میں، نوری-برقی اثر کے ظاہر ہونے کی وجہ ایک واحد الیکٹران کے ذریعے اشعاع کے واحد کوانٹم کا جذب ہونا ہے۔ اشعاع کی شدت (جو کہ توانائی کوانٹا کی تعداد فی اکائی رقبہ فی اکائی وقت کے متناسب ہے) اس بنیادی عمل سے قطعی غیر متعلق ہے۔
- کیونکہ K_{mas} کو لازمی طور پر غیر منفی ہونا چاہیے، مساوات (11.2) سے اخذ کیا جاسکتا ہے کہ نوری-برقی اخراج صرف اسی صورت میں ممکن ہے، جب

$$h\nu > \phi_o$$

یا $\nu > \nu_o$، جہاں

$$\nu_o = \frac{\phi_o}{h} \tag{11.3}$$

مساوات (11.3) ظاہر کرتی ہے کہ کام فنکشن ϕ_o جتنا زیادہ ہوگا، فوٹو الیکٹران خارج کرنے کے لیے درکار اقل ترین یا دہلیز تعدد ν_o بھی اتنا زیادہ ہوگا۔ اس لیے دھات کی سطح کے لیے ایک دہلیز تعدد $\nu_o (= \frac{\phi_o}{h})$ پایا جاتا ہے، جس سے کم تعدد کے اشعاع کے ذریعے نوری-برقی اخراج ہونا ممکن نہیں ہے، چاہے واقع اشعاع کی شدت کتنی بھی زیادہ کیوں نہ ہو اور یہ اشعاع چاہے کتنی دیر بھی سطح پر پڑتی رہے۔



البرٹ آئنسٹائن (1879-1955)
آئنسٹائن، آج تک کے عظیم ترین طبیعیات دانوں میں سے ایک ہیں، اُلم (Ulm) جرمنی میں پیدا ہوئے۔ 1905 میں انھوں نے تین، بالکل نئی راہ دکھانے والے، پرچے شائع کرائے۔ پہلے پرچے میں انھوں نے ''روشنی کے کوانٹا'' (جو اب فوٹان کہلاتے ہیں) کا نظریہ پیش کیا اور اس نظریہ کو نوری-برقی اثر کی خاصیتوں کی وضاحت کرنے کے لیے استعمال کیا۔ دوسرے پرچے میں انھوں نے براؤنی حرکت کے لیے ایک نظریہ پیش کیا، جس کی تجرباتی تصدیق چند سال بعد ہوئی اور مادہ کی ایٹمی تصویر کے لیے ایک قابل قبول شہادت مہیا کی۔ تیسرے پرچے نے خصوصی اضافیت کے نظریہ کو جنم دیا۔ 1916 میں انھوں نے عمومی اضافیت کا نظریہ شائع کروایا۔ اس کے بعد کے آئنسٹائن کے کچھ اہم کام ہیں: مہیج شدہ اخراج (Stimulated emission) کا نظریہ، جو پلانک کے سیاہ جسم اشعاع کے قانون کو متبادل طریقے سے مشتق کرنے میں شامل تھا، کائنات کا ساکن ماڈل، جس نے جدید تکونیات (Cosmology) کی ابتدا کی، بھاری بوسانوں کی گیس کی کوانٹم شماریات اور میکانیات کے بنیادی قوانین کا مبصرانہ تجزیہ 1921 میں انھیں ان کے نظری طبیعیات اور نوری-برقی اثر کے سلسلے میں کیے گئے کام کے لیے طبیعیات کے نوبل انعام سے نوازا گیا۔

البرٹ آئنسٹائن (1879-1955)

© NCERT not to be republished

- اس تصویر میں، اشعاع کی شدت، جیسا کہ اوپر بیان کیا جا چکا ہے، توانائی کوانٹا کی تعداد فی اکائی رقبہ فی اکائی وقت کے متناسب ہے۔ دستیاب توانائی کوانٹا کی تعداد جتنی زیادہ ہوگی، توانائی کوانٹا کو جذب کرنے والے الیکٹرانوں کی تعداد بھی اتنی زیادہ ہوگی اور اس لیے دھات سے باہر نکلنے والے الیکٹرانوں کی تعداد بھی اتنی ہی زیادہ ہوگی ($\nu > \nu_o$ کے لیے)۔ اس طرح یہ وضاحت ہو جاتی ہے کہ $\nu > \nu_o$ کے لیے نوری-برقی کرنٹ کیوں شدت کے متناسب ہے۔
- آئن اسٹائن کے ذریعے پیش کی گئی تصویر میں، نوری-برقی اثر میں شامل، بنیادی عمل، ایک الیکٹران کے ذریعے روشنی کے ایک کوانٹم کا جذب کیا جانا ہے۔ یہ ایک فوری عمل ہے۔ اس لیے، شدت چاہے کتنی بھی ہو، یعنی کہ اشعاع کے کوانٹا کی تعداد فی اکائی رقبہ فی اکائی سیکنڈ چاہے کچھ بھی ہو، نوری-برقی اخراج فوری عمل ہے۔ کم شدت کا مطلب اخراج میں دیر ہونا نہیں ہے، کیونکہ بنیادی طریقہ وہی ہے۔ شدت سے صرف یہ تعین ہوتا ہے کہ کتنے الیکٹران اس بنیادی عمل میں شامل ہو سکتے ہیں (ایک واحد الیکٹران کے ذریعے روشنی کے ایک کوانٹم کا جذب کیا جانا) اور اس لیے شدت صرف برقی-نوری کرنٹ کو متعین کر سکتی ہے۔

مساوات (11.1) استعمال کرتے ہوئے، نوری-برقی مساوات (11.2) کو لکھا جا سکتا ہے:

$$e\,V_o = h\nu - \phi_o \quad (\nu > \nu_o \text{ کے لیے})$$

یا

$$V_o = \left(\frac{h}{e}\right)\nu - \frac{\phi_0}{e} \qquad (11.4)$$

یہ ایک اہم نتیجہ ہے۔ یہ پیشن گوئی کرتا ہے کہ V_o برخلاف ν منحنی ایک مستقیم خط ہوگا، جس کی ڈھلان $\frac{h}{e}$ ہوگی اور یہ مادے کی طبع کے غیر تابع ہوگا۔ 1906 سے 1916 کے درمیان میلیکن (Millikan) نے نوری-برقی اثر پر سلسلے وار تجربات کیے۔ ان کی کوشش یہ تھی کہ آئن اسٹائن کی نوری-برقی مساوات کو غلط ثابت کیا جا سکے۔ انھوں نے سوڈیم کے لیے حاصل کیے گئے خط، جو کہ شکل 11.5 میں دکھائے گئے خط جیسا تھا، کی ڈھلان کی پیائش کی۔ e کی معلوم قدر استعمال کرتے ہوئے انھوں نے پلانک مستقلہ h کی قدر معلوم کی۔ ان کے ذریعے حاصل کی گئی h کی قدر، اس سے پہلے ایک بالکل مختلف تناظر میں معلوم کی گئی h کی قدر ($= 6.626 \times 10^{-34}$ J s) کے نزدیک تھی۔ اس طرح 1916 میں میلیکن نے آئن اسٹائن کی نوری-برقی مساوات کو غلط ثابت کرنے کے بجائے درست ثابت کر دیا۔

روشنی کے کوانٹا کا مفروضہ استعمال کرتے ہوئے نوری-برقی اثر کی کامیاب وضاحت کر سکنے اور h اور ϕ_o کی قدروں کی تجرباتی پیائش سے ایسی قدریں حاصل کرنے جو دوسرے تجربات سے حاصل ہوئی ان قدروں سے اتفاق رکھتی تھیں، کی بنا پر آئن اسٹائن کے ذریعے پیش کی گئی نوری-برقی اثر کی تصویر کو تسلیم کر لیا گیا۔ میلیکن نے بہت درستی صحت کے ساتھ، بہت سی کھار دھاتوں کے لیے، اشعاع تعدد کی ایک بڑی سعت پر، نوری-برقی مساوات کی تصدیق کی۔

© NCERT not to be republished

11.7 روشنی کی ذراتی طبع: فوٹان

(PARTICLE NATURE OF LIGHT: THE PHOTON)

اس طرح نوری-برقی اثر نے اس تعجب خیز حقیقت کا ثبوت فراہم کیا کہ روشنی، مادے کے ساتھ باہم عمل کے دوران اس طرح برتاؤ کرتی ہے کہ جیسے وہ توانائی کے کوانٹا یا پیکٹوں پر مشتمل ہو، جن میں سے ہر ایک کی توانائی $h\nu$ ہو۔

کیا روشنی کے توانائی کے کوانٹم کو ایک ذرہ سے منسلک کیا جا سکتا ہے؟ آئن اسٹائن اس اہم نتیجے پر پہنچے کہ روشنی کوانٹم کو معیارِ حرکت $(h = \frac{\nu}{c})$ سے بھی منسلک کیا جا سکتا ہے۔ توانائی اور ساتھ ہی ساتھ معیارِ حرکت کی ایک متعین قدر اس بات کی مضبوط علامت ہے کہ روشنی کوانٹم کو ایک ذرے سے منسلک کیا جا سکتا ہے۔ روشنی کے ذرہ جیسے برتاؤ کی مزید تصدیق، 1924 میں، اے-ایچ-کومپٹن (A.H. Compton) (1892-1962) کے ذریعے، الیکٹرانوں سے x-کرنوں کے انتشار پر کیے گئے تجربات سے ہوئی۔ 1921 میں آئن اسٹائن کو ان کے نظری طبعیات اور نوری-برقی اثر کے سلسلے میں کیے گئے تحقیقی کام کے لیے طبعیات کے نوبل انعام سے نوازا گیا۔ 1923 میں ملیکین کو ان کے برق کے بنیادی چارج اور نوری-برقی اثر پر کیے گئے کام کے لیے طبعیات کا نوبل انعام دیا گیا۔

ہم برق-مقناطیسی اشعاع کی فوٹان تصویر کا خلاصہ مندرجہ ذیل شکل میں پیش کر سکتے ہیں:

(i) اشعاع کے مادّہ کے ساتھ باہم عمل کے دوران، اشعاع اس طرح برتاؤ کرتا ہے، جیسے کہ وہ ذرّات کا بنا ہوا ہو، جو فوٹان کہلاتے ہیں۔

(ii) ہر فوٹان کی توانائی $E\ (= h\nu)$ ہوتی ہے اور معیارِ حرکت $P\left(= \frac{h\nu}{c}\right)$ ہوتا ہے، جہاں C روشنی کی چال ہے۔

(iii) ایک مخصوص تعدد ν یا طولِ لہر λ کی روشنی کے تمام فوٹانوں کی توانائی $E\left(h\nu = \frac{hc}{\lambda}\right)$ یکساں ہوتی ہے اور معیارِ حرکت $P\left(= \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}\right)$ بھی یکساں ہوتا ہے، چاہے اشعاع کی شدت کچھ بھی ہو۔ ایک دیے ہوئے طولِ لہر کی روشنی کی شدت میں اضافہ کرنے سے صرف ایک دیے ہوئے رقبے سے گزرنے والے فوٹانوں کی تعداد میں فی سیکنڈ اضافہ ہوتا ہے، جب کہ ہر فوٹان کی توانائی یکساں ہوتی ہے۔ اس لیے، فوٹان توانائی، اشعاع کی شدّت کے غیر تابع ہے۔

(iv) فوٹان برقی طور پر تعدیلی (نیوٹرل) ہوتے ہیں اور برقی اور مقناطیسی میدانوں سے منفرج نہیں ہوتے۔

(v) ایک فوٹان-ذرہ تصادم (Collision) میں (جیسے کہ فوٹان-الیکٹران تصادم)، کل توانائی اور کل معیارِ حرکت کی بقا ہوتی ہے۔ لیکن ایک تصادم میں ہو سکتا ہے کہ فوٹانوں کی تعداد کی بقا نہ ہو۔ فوٹان جذب ہو سکتا ہے اور ایک نیا فوٹان بھی پیدا ہو سکتا ہے۔

مثال 11.1: ایک لیزر کے ذریعے 6.0×10^{14} Hz تعدد کی ایک یک رنگی روشنی پیدا کی جاتی ہے۔ خارج ہوئی پاور 2.0×10^{-3} W ہے۔ (a) روشنی کی شعاع میں ایک فوٹان کی توانائی کتنی ہے؟ (b) ماخذ کے ذریعے، اوسطاً، کتنے فوٹان فی سیکنڈ خارج کیے جا رہے ہیں؟

حل:

(a) ہر فوٹان کی توانائی E ہے:

$$E = h\nu = (6.63\times10^{-34}\ \text{J s})\ (6.0\times10^{14}\ \text{Hz})$$

$$= 3.98\times10^{-19}\ \text{J}$$

(b) اگر ماخذ کے ذریعے ایک سیکنڈ میں خارج کیے گئے فوٹانوں کی تعداد N ہے، تو شعاع میں ترسیل ہوئی پاور P، N گنا توانائی فی فوٹان E کے مساوی ہوگی، اس طرح: P=NE، تب

$$N = \frac{P}{E} = \frac{2.0\times10^{-3}\ \text{W}}{3.98\times10^{-19}\ \text{J}}$$

$$= 5.0\times10^{15}\ \text{(فوٹان فی سیکنڈ)}$$

مثال 11.1

مثال 11.2: سینزیم کا کام فنکشن 2.14eV ہے۔ معلوم کیجیے: (a) سینزیم کے لیے دہلیز تعدد اور (b) واقع روشنی کی طولِ لہر، جب کہ فوٹو کرنٹ، ایک روکنے والے مضمر 0.60V کے ذریعے صفر ہو جاتا ہے۔

حل:

(a) قطع یا دہلیز تعدد کے لیے، واقع اشعاع کی توانائی $h\nu_o$، کام فنکشن ϕ_o کے مساوی ہونا چاہیے:

$$\nu_o = \frac{\phi_0}{h} = \frac{2.14\,\text{eV}}{6.63\times10^{-34}\,\text{J s}} = \frac{2.14\times1.6\times10^{-19}\,\text{J}}{6.63\times10^{-34}\,\text{J s}} = 5.16\times10^{14}\ \text{Hz}$$

اس لیے ان تعددوں کے لیے جن کی قدر اس دہلیز تعدد سے کم ہے، کوئی فوٹو الیکٹران خارج نہیں ہوتا۔

(b) فوٹو کرنٹ اس وقت صفر ہو جاتا ہے جب خارج ہوئے الیکٹرانوں کی اعظم حرکی توانائی، ابطائی مضمر کا کے ذریعے وضعی توانائی eV_o کے مساوی ہو جاتی ہے۔ آئن اسٹائن کی نوری برقی مساوات ہے:

$$eV_0 = h\nu - \phi_0 = \frac{hc}{\lambda} - \phi_0$$

$$\lambda = \frac{hc}{(eV_0 + \phi_0)}$$

$$= \frac{(6.63\times10^{-34}\,\text{J s})\times(3\times10^{8}\,\text{m/s})}{(0.60\,\text{eV} + 2.14\,\text{eV})}$$

$$= \frac{19.89\times10^{-26}\,\text{J m}}{(2.74\,\text{eV})}$$

$$\lambda = \frac{19.89\times10^{-26}\,\text{J m}}{2.74\times1.6\times10^{-19}\,\text{J}} = 454\ \text{nm}$$

مثال 11.2

© NCERT not to be republished

مثال 11.3 بصری علاقے میں روشنی کا طولِ لہر، بنفشئی (اودے) رنگ کے لیے تقریباً 390nm ہے اور پیلے -ہرے رنگ کے لیے تقریباً 550nm (اوسط طولِ لہر) ہے اور لال رنگ کے لیے تقریباً 760nm ہے۔

(a) فوٹانوں کی توانائیاں (eV میں) کیا ہیں بصری طیف کے (i) بنفشئی سرے پر (ii) پیلے-ہرے رنگ کے اوسط طولِ لہر کے لیے (iii) لال سرے پر؟ [$1\ eV = 1.6\times10^{-19}$ J اور $h = 6.63\times10^{-34}$ J s]

(b) جن کے کام فنکشن کی فہرست جدول 11.1 میں دی گئی ہے، ان میں سے کس فوٹو حساس مادے سے، (a) کے (i)، (ii) اور (iii) کے نتائج استعمال کرتے ہوئے، آپ ایک ایسا نوری-برقی آلہ بنا سکتے ہیں جو بصری روشنی کے ذریعے کام کرتا ہو؟

حل:

(a) واقع فوٹان کی توانائی، $E = h\nu = \dfrac{hc}{\lambda}$

$$E = \frac{(6.63\times10^{-34}\,\text{J s})\,(3\times10^{8}\ m/s)}{\lambda}$$

$$= \frac{1.989\times10^{-25}\ \text{J m}}{\lambda}$$

(i) بنفشئی روشنی کے لیے: $\lambda_1 = 390\,nm$ (کم طولِ لہر والا سرا)

واقع فوٹان توانائی، $E_1 = \dfrac{1.989\times10^{-25}\ \text{J m}}{390\times10^{-9}\ \text{m}}$

$$= 5.10\times10^{-19}\,\text{J}$$

$$= \frac{5.10\times10^{-19}\,\text{J}}{1.6\times10^{-19}\ \text{J/eV}}$$

$$= 3.19\ \text{eV}$$

(ii) پیلی-ہری روشنی کے لیے: $\lambda_2 = 550\,nm$ (اوسط طولِ لہر)

واقع فوٹان توانائی، $E_2 = \dfrac{1.989\times10^{-25}\ \text{J m}}{550\times10^{-9}\ \text{m}}$

$$= 3.62\times10^{-19}\ \text{J} = 2.26\ \text{eV}$$

(iii) لال روشنی کے لیے: $\lambda_3 = 760\,nm$ (زیادہ طولِ لہر والا سرا)

واقع فوٹان توانائی، $E_3 = \dfrac{1.989\times10^{-25}\ \text{J m}}{760\times10^{-9}\ \text{m}}$

$$= 2.62\times10^{-19}\ \text{J} = 1.64\ \text{eV}$$

(b) ایک نوری برقی آلے کے کام کر سکنے کے لیے ہمیں اتنی واقع روشنی توانائی درکار ہوگی جو آلے کے مادے کے کام فنکشن ϕ_0 کے مساوی ہو یا اس سے زیادہ ہو۔ اس لیے، بنفشئی روشنی (E=3.19eV کے ساتھ)

مثال 11.3

© NCERT not to be republished

مثال 11.3

کے ساتھ نوری برقی آلہ فوٹو حساس مادوں Na $(\phi_0 = 2.75\ \text{eV})$ ، K $(\phi_0 = 2.30\ \text{eV})$ اور Cs $(\phi_0 = 2.75\ \text{eV})$ کے ساتھ کام کرے گا۔ یہ سینزیم کے لیے پیلی-ہری روشنی (E= 2.26 eV کے ساتھ) کے ساتھ بھی کام کرے گا لیکن یہ ان میں سے کسی بھی فوٹو حساس مادے کے لیے لال روشنی کے ساتھ کام نہیں کرے گا۔

11.8 مادے کی لہری طبع (WAVE NATURE OF MATTER)

روشنی (عمومی طور پر، برق-مقناطیسی اشعاع) کی دوہری (لہری-ذراتی) طبع، ہم نے اب تک جو اس باب اور پچھلے ابواب میں سیکھا ہے، اس سے واضح طور پر سامنے آجاتی ہے۔ روشنی کی لہری طبع، تداخل، انصراف اور تقطیب کے مظاہر میں ظاہر ہوتی ہے۔ دوسری طرف، نوری-برقی اثر اور کامپٹن اثر، جن میں توانائی اور معیارِ حرکت کا تبادلہ شامل ہے، اشعاع اس طور پر برتاؤ کرتا ہے جیسے کہ وہ ذرات کے گچھے-فوٹانوں، کا بنا ہوا ہو۔ ایک تجربے کو سمجھنے کے لیے، ذراتی بیان زیادہ مناسب ہے یا لہری، یہ تجربہ کی طبع پر منحصر ہے۔ مثلاً، آنکھ کے ذریعے کسی شے کو دیکھنے کے جانے پہچانے مظہر میں دونوں بیانات اہم ہیں۔ آنکھ کے لینس کے ذریعے روشنی کو اکٹھا کرنے اور فوکس کرنے کے عمل لہری تصویر کے ذریعے بہ خوبی بیان کیے جاسکتے ہیں، لیکن چھڑوں اور مخروطوں (پردہ چشم کے) کے ذریعے روشنی کے انجذاب کے لیے روشنی کی فوٹان تصویر درکار ہوگی۔

قدرتی طور پر ایک سوال پیدا ہوتا ہے: اگر اشعاع کی دوہری (لہری-ذراتی) طبع ہے، تو کیا ایسا نہیں ہوسکتا کہ قدرت کے بنیادی ذرات (الیکٹران، پروٹان وغیرہ) بھی لہر-جیسا کردار ظاہر کریں؟ 1924 میں فرانسیسی طبعیات داں لوئس وکٹر ڈی بروگ لی، (Louis Victor de Broglie)، جس کا تلفظ بروئے (Broy) ہے، (1892-1987) نے ایک پرعزم فرضیہ (Hypotesis) پیش کیا کہ متحرک ذرات کو مناسب صورتوں میں، لہر جیسی خصوصیات کا اظہار کرنا چاہیے۔ ان کا استدلال یہ تھا کہ قدرت متشاکل (Symmetrical) ہے اور دو بنیادی طبعی اشیا-مادہ اور توانائی-کا کردار بھی متشاکل ہی ہونا چاہیے۔ اگر اشعاع دہرے پہلوؤں کو ظاہر کرتا ہے، تو مادہ کو بھی ایسا ہی کرنا چاہیے۔ ڈی بروئے نے تجویز کیا کہ معیارِ حرکت p سے حرکت کرتے ہوئے ذرہ کے ساتھ منسلک طولِ لہر λ دی جاتی ہے:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} \tag{11.5}$$

جہاں m ذرہ کی کمیت ہے اور v اس کی چال ہے۔ مساوات (11.5) ڈی بروئے رشتہ کہلاتی ہے اور مادی لہر کا طولِ لہر λ ، ڈی بروئے طولِ لہر کہلاتا ہے۔ مادے کا دوہرا رخ، ڈی بروئے رشتہ میں صاف طور سے ظاہر ہوتا ہے۔ مساوات (11.5) کی بائیں جانب، λ ایک لہر کی خاصیت ہے جب کہ اس کی دائیں جانب معیارِ حرکت p ذرہ کی مخصوص خاصیت ہے۔ پلانک مستقلہ h ان دونوں خاصیتوں میں رشتہ قائم کرتا ہے۔

مادے کے ایک ذرہ کے لیے مساوات (11.5) بنیادی طور پر ایک فریضہ ہے جس کی درستگی صرف تجربے کے ذریعے ہی جانچی جاسکتی ہے۔لیکن ایک دلچسپ بات یہ ہے کہ ایک فوٹان بھی اس رشتہ کو مطمئن کرتا ہے۔ایک فوٹان کے لیے،جیسا کہ ہم پہلے دیکھ چکے ہیں:

$$p = h\nu / c \tag{11.6}$$

اس لیے

$$\frac{h}{p} = \frac{c}{\nu} = \lambda \tag{11.7}$$

یعنی کہ مساوات (11.5) سے دی جانے والی ایک فوٹان کی ڈی. برائے طولِ لہر،اس برق۔مقناطیسی اشعاع کے طولِ لہر کے مساوی ہے جس کا وہ فوٹان،توانائی اور معیارِ حرکت کا کوانٹم ہے۔

مساوات (11.5) سے واضح ہے کہ، λ مقابلتاً بھاری ذرہ کے لیے (بڑی کمیت m) یا مقابلتاً زیادہ توانائی والے ذرّے (بڑی v) کے لیے مقابلتاً خفیف ہوگی۔مثلاً 0.12 kg کمیت کی، $20\ \text{ms}^{-1}$ کی چال سے حرکت کرتی ہوئی گیند کی ڈی برائے طول لہر کا آسانی سے حساب لگایا جاسکتا ہے:

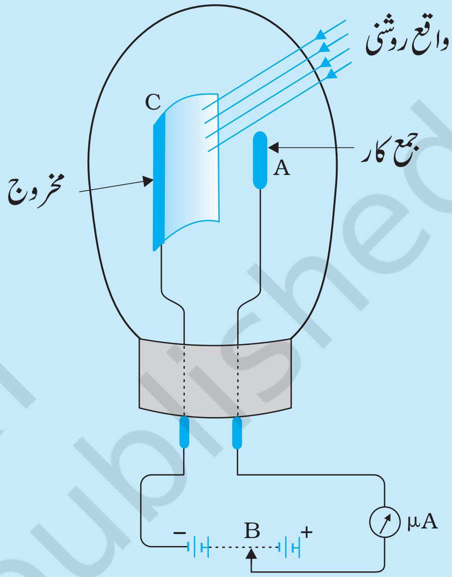
فوٹوسیل (PHOTOCELL)

ایک فوٹوسیل،نوری برقی اثر کا تکنیکی استعمال ہے۔یہ ایسا آلہ ہے جس کی برقی خاصیتیں روشنی سے متاثر ہوتی ہے۔اسے کبھی کبھی ''برقی چشم'' بھی کہا جاتا ہے۔ایک فوٹوسیل،نیم۔استوانی فوٹو۔حساس دھات کی بنی پلیٹ C (مخروج) اور ایک تار کے لوپ A (جمع کار) پر مشتمل ہوتا ہے،جو ایک خلا کیے ہوئے شیشے یا کوارٹز کے بلب میں رکھے ہوتے ہیں۔اسے ایک باہری سرکٹ سے جوڑ دیا جاتا ہے،جس میں ایک اعلا ٹینشن بیٹری B اور ایک مائیکرو ایم میٹر (μA) لگا ہوتا ہے،جیسا کہ شکل میں دکھایا گیا ہے۔کبھی کبھی پلیٹ C کے بجائے،بلب کے اندر کی طرف ایک فوٹو حساس مادے کی پتلی تہہ کا لیپ کر دیا جاتا ہے۔بلب کے ایک حصے کو صاف رہنے دیا جاتا ہے تاکہ اس سے روشنی اندر داخل ہوسکے۔

جب ایک مناسب طول لہر کی روشنی مخروج C پر پڑتی ہے تو فوٹو الیکٹران خارج ہوتے ہیں۔یہ فوٹو الیکٹران جمع کار A کی جانب کھینچتے ہیں۔چند مائیکرو ایمپیر کے درجہ کا فوٹو کرنٹ،عام طور سے ایک فوٹوسیل سے حاصل کیا جاسکتا ہے۔

ایک فوٹوسیل،روشنی کی شدت میں تبدیلی کو فوٹو کرنٹ کی تبدیلی میں بدلتا ہے۔یہ کرنٹ کنٹرول نظاموں اور روشنی ناپنے والے آلات کو چلانے میں استعمال کیا جاسکتا ہے۔لیڈ سلفائڈ کا زیریں سرخ اشعاع کے لیے حساس ایک فوٹوسیل الیکٹرانک جلن سرکٹوں (electronic ignition circuits) میں استعمال کیا جاتا ہے۔

سائنسی کاموں میں فوٹو سیل تب استعمال کیے جاتے ہیں جب روشنی کی شدت کو ناپنا ہوتا ہے۔فوٹو گرافی کے کیمروں کے روشنی میٹروں میں واقع روشنی کی شدت ناپنے کے لیے فوٹو سیل کا استعمال کیا جاتا ہے۔دروازے کی روشنی کے برقی سرکٹ میں لگے ہوئے فوٹو سیل خود کھلنے والے دروازوں میں استعمال ہوتے ہیں۔ایک شخص جو دروازے کے نزدیک آ رہا ہوتا ہے ایک روشنی کی اس شعاع کو روک سکتا ہے جو کہ ایک فوٹو سیل پر واقع ہوتی ہے۔فوٹو کرنٹ میں ہونے والی یہ یکا یک تبدیلی ایک موٹر کو چلانے کے لیے استعمال کی جا سکتی ہے جو دروازہ کھولتا ہے یا الارم بجاتا ہے۔یہ اس شمار کرنے والے آلے کو کنٹرول کرنے میں بھی استعمال ہوتے ہیں جو روشنی کی شعاع کے راستے میں، شعاع سے گذر رہے کسی بھی شخص یا شے کی وجہ سے آنے والی رکاوٹوں کو شمار کرتا ہے۔اس طرح فوٹو سیل ایک جلسہ گاہ میں داخل ہونے والے افراد کو شمار کرنے میں مدد کرتا ہے، بشرطیکہ وہ ایک ایک کرکے داخل ہو رہے ہوں۔ٹریفک کے قوانین کی خلاف ورزی کرنے والوں کی شناخت کرنے میں بھی یہ سیل استعمال ہوتے ہیں۔جب بھی اشعاع (نہ دکھائی دینے والی) کی کوئی شعاع پکڑی جائے الارم بجایا جا سکتا ہے۔



ایک فوٹو سیل

چور الارموں میں (نہ دکھائی دینے والی) بالا بنفشئی روشنی کو دروازے میں لگے ایک فوٹو سیل پر لگا تار ڈالا جاتا رہتا ہے۔جب کوئی شخص دروازے میں داخل ہوتا ہے تو وہ فوٹو سیل پر پڑ رہی شعاع کے راستے میں حائل ہوتا ہے۔فوٹو کرنٹ میں ہونے والی اس اچانک تبدیلی کو ایک برقی گھنٹی کو بجانا شروع کرنے کے لیے استعمال کیا جا سکتا ہے۔آگ۔الارم میں، عمارت کے مختلف مناسب مقامات پر کئی فوٹو سیل لگا دیے جاتے ہیں۔آگ لگنے پر، روشنی کی شعاعیں ان فوٹو سیلوں پر پڑتی ہیں۔جس سے ایک برقی گھنٹی یا ایک سائرن کا سرکٹ مکمل ہو جاتا ہے اور خطرے کا الارم بجنے لگتا ہے۔

متحرک تصویروں میں آواز کی باز پیدائش کے لیے اور ٹیلی ویژن کیمرہ میں اسپیکنگ یا ٹیلی کاسٹنگ کے لیے فوٹو سیل استعمال ہوتے ہیں۔کارخانوں میں انھیں دھات کی چادروں میں معمولی خامیوں یا سوراخوں کو شناخت کرنے کے لیے استعمال کیا جاتا ہے۔

$$p = m\,v = 0.12\ \text{kg} \times 20\ \text{ms}^{-1} = 2.40\ \text{kg ms}^{-1}$$

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{6.63\times10^{-34}\ \text{J s}}{2.40\ \text{kg m s}^{-1}} = 2.76 \times 10^{-34}\ \text{m}$$

یہ طولِ لہر اتنی خفیف ہے کہ اس کی پیمائش کسی طور پر بھی ممکن نہیں ہے۔ یہی وجہ ہے کہ ہماری روزمرہ زندگی کی کلاں بینی اشیا لہر جیسی خاصیتیں نہیں ظاہر کرتیں۔ لیکن دوسری طرف، تحت ایٹمی علاقے میں، ذرات کا لہری کردار اہمیت رکھتا ہے اور قابلِ پیمائش ہے۔

ایک الیکٹران لیجیے (کمیت m، چارج e)، جسے ایک مضمر V کے ذریعے حالتِ سکون سے اسراع کرایا گیا ہے۔ الیکٹران کی حرکی توانائی K، برقی میدان کے ذریعے اس پر کیے گئے کام (eV) کے مساوی ہے:

$$K = e\,V \qquad (11.8)$$

اب $K = \frac{1}{2}\, m\, v^2 = \frac{p^2}{2m}$ یا

$$p = \sqrt{2\, m\, K} = \sqrt{2\, m\, eV} \qquad (11.9)$$

اب الیکٹران کی ڈی براۓ طولِ لہر ہے:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2\, mK}} = \frac{h}{\sqrt{2\, meV}} \qquad (11.10)$$

h، m اور e کی عددی قدریں رکھنے پر، ہمیں حاصل ہوتا ہے:

$$\lambda = \frac{1.227}{\sqrt{V}}\ \text{nm} \qquad (11.11)$$

جہاں V، اسراع کار مضمر کی، وولٹ میں، عددی قدر ہے۔ 120V کے اسراع کار مضمر کے لیے، مساوات (11.11) $\lambda = 0.112$ nm دیتی ہے۔ یہ طولِ لہر اسی درجہ کا ہے جس درجہ کی کرسٹلوں میں ایٹمی مستویوں کے درمیان خالی جگہ ہوتی ہے۔ اس سے یہ پتہ چلتا ہے کہ ایک الیکٹران سے منسلک مادی لہروں کی تصدیق X- کرن انصراف کے مشابہ، کرسٹل انصراف تجربات کے ذریعے کی جاسکتی ہے۔ ہم اگلے حصے میں ڈی براۓ فریضہ کی تجرباتی تصدیق بیان کریں گے۔ 1929 میں ڈی براۓ کو، الیکٹرانوں کی لہری طبع دریافت کرنے کے لیے، طبیعیات کا نوبل انعام دیا گیا ہے۔

لوئس وکٹر ڈی براۓ (1892–1987) فرانسیسی طبیعیات داں تھے، جنھوں نے مادے کی لہری طبع کا انقلابی تصور پیش کیا۔ اس تصور کو اِروِن شروڈنگر نے کوانٹم میکانیات، جو لہر میکانیات بھی کہلاتی ہے، کی مکمل تھیوری کی شکل دی۔ 1929 میں انھیں ان کی الیکٹران کی لہری طبع کی دریافت کے لیے نوبل انعام دیا گیا۔

لوئس وکٹر ڈی براۓ (1892–1987)

مادّہ- لہر تصویر نے ہائیزن برگ کے عدم یقینی کے قانون کو بھی بخوبی اپنے اندر شامل کرلیا۔ اس اصول کے مطابق، ایک الیکٹران (یا کسی اور ذرے) کے مقام اور معیارِ حرکت کی ایک ہی وقت پر بالکل درست پیمائش کرسکنا ممکن نہیں ہے۔ ہمیشہ مقام کو متعین کرنے میں کچھ عدم یقینی (Δx) اور معیارِ حرکت کو متعین کرنے میں کچھ عدم (Δp) ہوگی۔ Δx اور Δp کا حاصل ضرب* $\hbar$ کے درجہ کا ہوگا ($\hbar = h/2\pi$)، یعنی کہ

$$\Delta x\, \Delta p \approx \hbar \qquad (11.12)$$

مساوات (11.12) سے یہ امکان ہوسکتا ہے کہ Δx صفر ہو، لیکن پھر Δp کو لاانتہائی ہونا لازمی ہے تاکہ حاصل ضرب غیر صفر ہو۔ اسی طرح اگر Δp صفر ہے تو Δx لاانتہائی ہونا لازمی ہے۔ عام طور سے، Δx اور Δp دونوں غیر صفر ہوتے ہیں، اس طرح کہ ان کا حاصل ضرب $\hbar$ کے درجہ کا ہو۔

---

*ایک زیادہ دقیق تحسیب سے حاصل ہوتا ہے: $\Delta x\ \Delta \geq \hbar/2$

© NCERT not to be republished

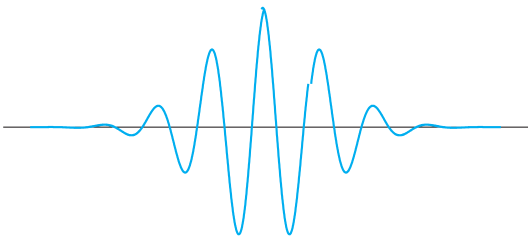
اب، اگر ایک الیکٹران کا معیارِحرکت p متعین ہے (یعنی کہ $\Delta p = 0$)، ڈی. برائے رشتہ کے ذریعے، اس کا طول موج λ بھی متعین ہوگا۔ متعین (واحد) طول لہر کی ایک لہر پوری فضا میں پھیل جاتی ہے۔ بورن (Born) کی اغلبیت (امکان Probability) توضیح کے مطابق اس کا مطلب ہے کہ الیکٹران فضا کے کسی متناہی علاقے میں مقام بند (localized) نہیں ہے۔ یعنی کہ اس کی مقام عدم یقینی لامتناہی ہے، ($\Delta x \to \infty$) جو کہ عدم یقینی اصول سے مطابقت رکھتا ہے۔

عمودی طور پر، الیکٹران سے منسلک مادہ۔لہر پوری فضا میں پھیلی ہوئی نہیں ہوتی۔ یہ ایک لہر پیکٹ (wave packet) ہوتا ہے جو فضا کے کچھ متناہی علاقے میں پھیلا ہوتا ہے۔ ایسی صورت میں، Dx لامتناہی نہیں ہے بلکہ اس کی کچھ متناہی قدر ہے، جو کہ لہر پیکٹ کی توسیع پر منحصر ہے۔ مزید، آپ کو یہ بھی سمجھنا چاہیے کہ ایک ایسا لہر پیکٹ جس کی متناہی توسیع ہو، اس کی واحد طول لہر نہیں ہوگی۔ یہ پیکٹ ان طول لہر پر مشتمل ہوگا جو ایک مرکزی طول لہر کے گرد پھیلی ہوں گی۔

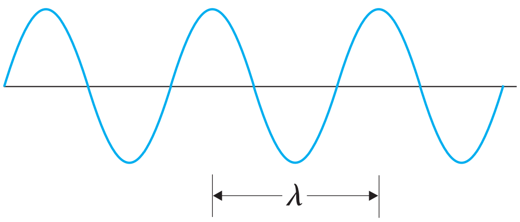
ڈی برائے رشتے کے مطابق، پھر ایک الیکٹران کے معیارِحرکت میں بھی کچھ پھیلاؤ ہوگا۔ ایک عدم یقینی Dp۔عدم یقینی اصول سے بھی ایسی ہی توقع کی جاتی ہے۔ یہ دکھایا جاسکتا ہے کہ لہر بیان اور ڈی برائے رشتے کے ساتھ، بورن کی اغلباتی توضیح کے ذریعے ہائیزن برگ کے عدم یقینی اصول کو ہو بہو حاصل کیا جاسکتا ہے۔

باب 12 میں آپ دیکھیں گے کہ، ایک ایٹم میں الیکٹران کے زاویائی معیارِحرکت کی کوانٹم سازی کے بوہر کے مسلمات (poshlates) کو ڈی برائے رشتہ درست قرار دیتا معلوم ہوتا ہے۔

شکل 11.6 میں ایک خاکہ ڈائیگرام دکھائی گئی ہے: (a) مقام بند لہر پیکٹ کی اور (b) معین طول لہر کی توسیعی لہر کی۔



(a)



(b)

شکل 11.6 (a): ایک الیکٹران کا لہر پیکٹ بیان۔لہر پیکٹ ایک مرکزی طول لہر کے گرد طول لہر کی توسیع سے مطابقت رکھتا ہے (اور اس لیے ڈی برائے رشتے کے مطابق معیارحرکت میں توسیع سے مطابقت رکھتا ہے)۔ نتیجتاً، اس سے مقام میں ایک عدم یقینی (Δx) اور معیارحرکت میں ایک عدم یقینی (Δp) منسلک ہیں۔
(b) ایک الیکٹران کے معین معیارِحرکت سے مطابقت رکھنے والی مادی لہر کی پوری فضا میں توسیع ہوتی ہے۔ اس صورت میں $\Delta \pi = 0$ اور $D\ x \to \infty$

مثال 11.4 (a) 5.4×10^6 m/s کی چال سے حرکت کرتے ہوئے الیکٹران (b) 150g کمیت کی 30.0 m/s سے حرکت کرتی ہوئی گیند، سے منسلک ڈی. برائے طولِ لہر کیا ہوگی؟

حل

(a) الیکٹران کے لیے

کمیت $m = 9.11 \times 10^{-31}$ kg، چال $v = 5.4 \times 10^6$ m/s تب

معیارِحرکت $p = m\ v = 9.11 \times 10^{-31}\ (\text{kg}) \times 5.4 \times 10^6\ (\text{m/s})$

$$p = 4.92 \times 10^{-24}\ \text{kg m/s}$$

ڈی برائے طول لہر $\lambda = \dfrac{h}{p}$

$$= \frac{6.63 \times 10^{-34}\ \text{J s}}{4.92 \times 10^{-24}\ \text{kg m/s}}$$

مثال 11.4

© NCERT not to be republished

$\lambda = 0.135$ nm

(b) گیند کے لیے:

کمیت $m' = 0.150$ kg، چال $v' = 30.0$ m/s

معیارِ حرکت $p' = m'\,v' = 0.150\ (kg) \times 30.0\ (m/s)$

ڈی. برائے طول لہر $\lambda' = h/p'$

$$= \frac{6.63 \times 10^{-34}\ J\,s}{4.50 \times\ kg\,m/s}$$

$$\lambda = 1.47 \times 10^{-34}\ m$$

الیکٹران کا ڈی برائے طول لہر، X- کرنوں کے طول لہر کے درجہ کا ہے۔ جب کہ گیند کا طول لہر پروٹان کے سائز کا بھی 10^{-19} گنا ہے، جو کسی طور پر بھی قابلِ پیمائش نہیں ہے۔

مثال 11.4

مثال 11.5 ایک الیکٹران، ایک x- ذرہ اور ایک پروٹان کی حرکی توانائی یکساں ہے۔ ان میں سے کس ذرہ کا ڈی برائے طول لہر سب سے کم ہوگا؟

حل

ایک ذرے کے لیے:

ڈی برائے طول لہر $\lambda = h/p$

حرکی توانائی $= K = \dfrac{p^2}{2m}$

تب $\lambda = h/\sqrt{2mK}$

یکساں حرکی توانائی K کے لیے، ذرہ سے منسلک ڈی برائے طول لہر اس کی کمیت کے مربع جذر کے مقلوب متناسب ہوگا۔ ایک پروٹان $\left({}^1_1H\right)$ کی کمیت الیکٹران کی کمیت کا 1836 گنا ہوتی ہے اور ایک α- ذرہ $\left({}^4_2He\right)$ کی کمیت پروٹان کی کمیت کی چار گنا ہوتی ہے۔

اس لیے α- ذرہ کا ڈی برائے طول لہر سب سے کم ہوگا۔

مثال 11.5

مادّی لہروں کی احتمالی توضیح
(PROBABILITY INTERPRETATION TO MATTER WAVES)

یہاں کچھ دیر کے لیے یہ غور کرنا بہتر ہوگا کہ آخر ایک ذرہ، جیسے الیکٹران، سے منسلک مادی لہر کا مطلب کیا ہے۔ درحقیقت، مادے اور اشعاع کی دہری طبع کا مکمل طور پر اطمینان بخش طبعی ادراک ابھی تک نہیں حاصل ہو سکا ہے۔ کوانٹم میکانیات کے عظیم بانیان (نیلس بوہر، البرٹ آئن اسٹائن اور بہت سے دیگر افراد) اس تصور اور اس سے منسلک دیگر تصورات میں بہت عرصے تک الجھے رہے۔ ابھی بھی، کوانٹم میکانیات کی گہری طبعی ادراک فعال تحقیق کا علاقہ ہے۔ اس کے باوجود جدید کوانٹم میکانیات میں، مادی لہروں کا تصور، ریاضیاتی طور پر بہت کامیابی کے ساتھ شامل کیا جا چکا ہے۔ اس تعلق سے ایک اہم سنگ میل اس وقت آیا جب میکس بورن (1970-1882) نے مادی لہروں کی وسعت (amplitude) کے لیے ایک احتمالی توضیح پیش کی۔ اس توضیح کے مطابق، ایک نقطہ پر مادی لہر کی شدت (وسعت کا مربع)، اس نقطہ پر ذرہ کی احتمالی کثافت (Probability density) معین

© NCERT not to be republished

کرتی ہے۔احتمالی کثافت کا مطلب ہے احتمالی فی اکائی حجم۔اس لیے اگر ایک نقطہ پر لہر کی وسعت A ہے، $|A|^2\ \Delta V$ اس کا احتمال ہے کہ وہ ذرہ اس نقطہ کے گرد ایک خفیف حجم ΔV میں پایا جائے گا۔اس لیے اگر کسی علاقے میں مادی لہر کی یہ شدت زیادہ ہو،تو اس علاقے میں ذرہ کے پائے جانے کا احتمال زیادہ ہے، بمقابلے اس علاقے کے جہاں شدت کم ہے۔

مثال 11.6 ایک ذرہ ایک الیکٹران کے مقابلے میں تین گنا زیادہ تیزی سے حرکت کر رہا ہے۔اس ذرہ کے ڈی براۓ طول لہر کی،الیکٹران کے طول لہر سے نسبت 1.813×10^{-4} ہے۔ذرہ کی کمیت معلوم کیجیے اور ذرہ کی شناخت کیجیے۔

حل

ایک حرکت کرتے ہوئے ذرہ کا ڈی براۓ طولِ لہر،جس کی کمیت m اور رفتار v ہو، ہے:

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

کمیت $m = h/\lambda v$

$$m_e = \frac{h}{l_e\, v_e}$$

اب ہمیں دیا ہوا ہے: $\frac{\lambda}{\lambda_e} = 1.813 \times 10^{-4}$ اور $\frac{v}{v_e} = 3$

تب

ذرہ کی کمیت $m = m_e \left(\frac{\lambda_e}{\lambda}\right)\left(\frac{v_e}{v}\right)$

$$m = (9.11\times10^{-31}\ \text{kg}) \times (1/3) \times (1/1.813 \times 10^{-4})$$

$$m = 1.675 \times 10^{-27}\ \text{kg}$$

اس لیے،اس کمیت والا ذرہ یا تو پروٹان ہوسکتا ہے یا نیوٹران۔

مثال 11.6

مثال 11.7 اس الیکٹران سے منسلک ڈی براۓ طول لہر کیا ہوگا جسے 100 وولٹ کے مضمر فرق سے اسراع کرایا گیا ہے؟

حل اسراع کا مضمر $V = 100\ V$

ڈی براۓ طولِ لہر $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{1.227}{\sqrt{V}}\ \text{nm}$

$$\lambda = \frac{1.227}{\sqrt{100}}\ \text{nm} = 0.123\ \text{nm}$$

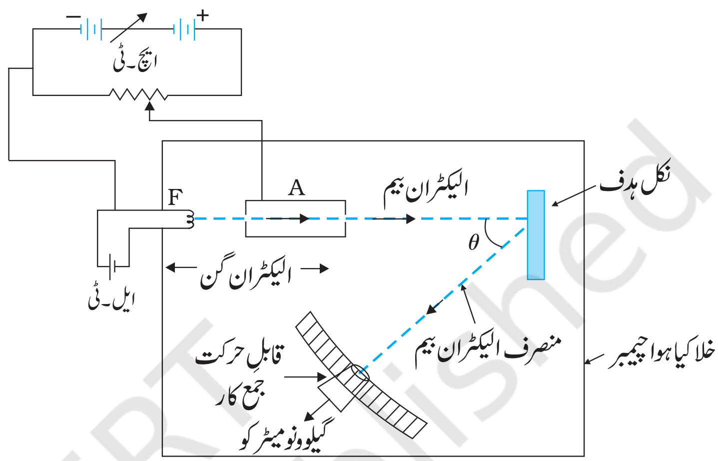
اس صورت میں الیکٹران سے منسلک ڈی براۓ طول لہر،X- کرنوں کے طول لہر کے درجہ کا ہے۔

مثال 11.7

© NCERT not to be republished

11.9 ڈیویسن اور جرمر تجربہ (DAVISSON AND GERMER EXPERIMENT)

الیکٹران کی لہری طبع کی تجرباتی تصدیق سب سے پہلے سی.جی.ڈیویسن (C.G. Davisson) اور ایل.ایچ.جرمر نے 1927 میں کی اور پھر 1928 میں، انفرادی طور پر، جے.جی.تھامسن نے بھی کی، جنھوں نے کرسٹلوں کے ذریعے الیکٹرانوں کی شعاعوں کے منتشر ہونے میں انصراف اثرات کا مشاہدہ کیا۔ ڈیویسن اور تھامسن کو کرسٹلوں کے ذریعے الیکٹرانوں کے انصراف کی دریافت کے لیے مشترکہ طور پر 1937 کا طبیعیات کا نوبل انعام دیا گیا۔



شکل 11.7: ڈیویسن-جرمر الیکٹران-انصراف تجرباتی ترتیب

ڈیویسن اور جرمر کے ذریعے استعمال کیے گئے تجرباتی سامان اور اس کی ترتیب کا خاکہ شکل 11.7 میں دکھایا گیا ہے۔ یہ ایک الیکٹران گن پر مشتمل ہے جس میں بیریم آکسائڈ کی تہہ لگے ٹنگسٹن کا فلامنٹ F شامل ہوتا ہے، جسے ایک کم وولٹیج پاور سپلائی سے گرم کیا جاتا ہے (L.T. یا بیٹری) فلامنٹ کے ذریعے خارج کیے گئے الیکٹرانوں کو ایک اعلا وولٹیج پاور سپلائی (H.T. یا بیٹری) سے ایک مناسب مضمر/وولٹیج لگا کر درکار رفتار تک اسراع کرایا جاتا ہے۔ انھیں ایک ایسے استوانے میں سے گزارا جاتا ہے جس کے محور پر باریک سوراخ ہوتے ہیں، اس طرح ایک باریک متوازیت شدہ (collimated) بیم حاصل ہو جاتی ہے۔ بیم کو نکل کرسٹل کی سطح پر ڈالا جاتا ہے۔ الیکٹران، کرسٹل کے ایٹموں کے ذریعے تمام ممکنہ سمتوں میں منتشر ہو جاتے ہیں۔ ایک دی ہوئی سمت میں منتشر ہوئی الیکٹران بیم کی شدت، الیکٹران شناخت کار (جمع کار) کے ذریعے ناپی جاتی ہے۔ شناخت کار کو ایک دائری پیمانے پر حرکت دی جا سکتی ہے اور اسے ایک حساس گلوونومیٹر سے جوڑ دیا جاتا ہے جو کرنٹ ریکارڈ کرتا ہے۔ گلوونومیٹر کا انفراج، جمع کار میں داخل ہو رہی الیکٹران بیم کی شدت کے متناسب ہوتا ہے۔ پورے تجرباتی سامان کو ایک خلا کیے ہوئے چیمبر میں بند کر دیا جاتا ہے۔ شناخت کار کو دائری پیمانے کے مختلف مقامات پر لے جا کر زاویہ انتشار (angle of scattering) کی مختلف قدروں کے لیے منتشر ہوئی الیکٹران شعاع کی شدت ناپی جاتی ہے۔ زاویہ انتشار θ، واقع اور منتشر ہوئی الیکٹران بیموں کے درمیان زاویہ ہے۔ منتشر ہوئی الیکٹران بیموں کی شدت کی زاویہ انتشار کے ساتھ تبدیلی مختلف اسراع کار وولٹیجوں کے لیے حاصل کی جاتی ہے۔

اس تجربہ میں اسراع کار کی وولٹیج 44V سے 68V تک تبدیل کی گئی تھی۔ (I) اسراع کار وولٹیج 54V کے لیے، زاویہ انتشار، θ=50° پر منتشر ہوئی الیکٹران بیم کی شدت (I) میں ایک مضبوط فراز (strong peak) دیکھا گیا۔

ایک خاص سمت میں فراز کے ظاہر ہونے کی وجہ کرسٹل کے، باقاعدہ فاصلوں پر قائم ایٹموں کی مختلف تہوں سے منتشر

© NCERT not to be republished

Development of electron microscope
http://nobelprize.org

ہوئے الیکٹرانوں کا تعمیری تداخل ہے۔ الیکٹران انصراف تجربے میں کی گئی پیمائشوں کے ذریعے مادی لہروں کے طول لہر کی قدر 0.165 nm معلوم کی گئی۔

V=54V استعمال کرتے ہوئے، مساوات (11.11) سے الیکٹرانوں سے منسلک ڈی برائے طول لہر λ دی جاتی ہے:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{1.227}{\sqrt{V}}\ \text{nm}$$

$$\lambda = \frac{1.227}{\sqrt{54}}\ \text{nm} = 0.167\ \text{nm}$$

اس طرح، ڈی برائے طول لہر کی نظری قدر اور تجربے سے معلوم کی گئی قدر میں بہترین اتفاق پایا جاتا ہے۔ اس لیے ڈیویسن۔جرمر تجربہ سے الیکٹرانوں کی لہری طبع اور ڈی برائے رشتے کی بخوبی تصدیق ہوجاتی ہے۔ اس سے 1989 میں، روشنی کی لہری طبع کو ظاہر کرنے والے تجربے جیسے ایک دہری۔سلٹ تجربے کے ذریعے الیکٹرانوں کی بیم کی لہریں طبع کا تجرباتی مظاہرہ کیا جاچکا ہے۔ مزید، 1994 میں کیے گئے ایک تجربے میں آیوڈین مالیکیولوں کی بیم سے تداخل فرنجیں حاصل کی گئیں، جب کہ آیوڈین کے مالیکیول کی کمیت الیکٹرانوں کے مقابلے میں تقریباً دس لاکھ گنا زیادہ ہوتی ہے۔

ڈی۔برائے فریضے نے کوانٹم میکانیات کی ارتقا میں بنیادی کردار ادا کیا ہے۔ اس نے الیکٹران نوریات کے میدان کی جانب بھی رہنمائی کی ہے۔ الیکٹرانوں کی لہر خاصیتوں کا استعمال الیکٹران خوردبین ڈیزائن کرنے میں بھی کیا گیا ہے۔ الیکٹران خوردبین کی تجزیاتی طاقت نوری خوردبین کے مقابلے میں کہیں زیادہ ہوتی ہے۔

خلاصہ

1۔ ایک دھات کی سطح سے باہر آنے کے لیے الیکٹران کو درکار اقل توانائی، دھات کا کام فنکشن کہلاتی ہے۔ الیکٹران کے دھات کی سطح سے اخراج کے لیے درکار توانائی (ورک فنکشن ϕ_0 سے زیادہ) مناسب طور پر گرم کرکے یا مضبوط برقی میدان لگا کر یا سطح پر مناسب تعدد کی روشنی کا اشعاع کرا کے مہیا کی جاسکتی ہے۔

2۔ نوری برق اثر، مناسب تعدد کی روشنی کا دھاتوں کی سطح پر اشعاع کرا کے الیکٹرانوں کے خارج ہونے کا مظہر ہے۔ کچھ دھاتیں بالا بنفشئی روشنی سے ہی یہ اثر ظاہر کرتی ہیں اور کچھ دھاتوں میں بصری روشنی سے بھی یہ مظہر ظاہر ہوتا ہے۔ نوری۔برقی اثر میں روشنی توانائی کی برقی توانائی میں تبدیلی شامل ہے۔ یہ توانائی کی بقا کے قانون کی پابندی کرتا ہے۔ نوری۔برقی اخراج ایک فوری ہونے والا عمل ہے اور اس کی کچھ مخصوص خاصیتیں ہیں۔

3۔ نوری۔برقی کرنٹ تابع ہے: (i) واقع روشنی کی شدت کے (ii) دونوں برقیروں کے درمیان لگائے گئے مضمر فرق کے (iii) مخروج کے مادہ کی طبع کے۔

4۔ روکنے والا مضمر V_0 تابع ہے۔ (i) واقع روشنی کے تعدد کے اور (ii) مخروج کے مادہ کی طبع کے۔ واقع روشنی کے ایک دیے ہوئے تعدد کے لیے یہ اس کی شدت کے تابع نہیں ہے۔ روکنے والے مضمر کا خارج ہونے

© NCERT not to be republished

والے الیکٹرانوں کی اعظم حرکی توانائی سے سیدھا رشتہ ہے: $eV_0 = \frac{1}{2} m v^2_{max} = K_{max}$

5۔ ایک مخصوص تعدد ν_0 (دہلیز تعدد)، جو دھات کی خاصیت ہے، سے کم تعدد پر کوئی نوری۔برقی اخراج نہیں ہوتا ، چاہے شدت کتنی بھی زیادہ ہو۔

6۔ کلاسیکی لہر نظریہ، نوری برقی اثر کی اہم خاصیتوں کی وضاحت نہیں کر سکا۔ اس کلاسیکی نظریہ کی یہ تصویر کہ اشعاع سے لگاتار توانائی کا اجذاب ہوتا ہے، K_{max} کے اشعاع کی شدت کے غیر تابع ہونے V_0 کے پائے جانے اور اس عمل کے فوری ہونے کی طبع کی وضاحت نہیں کر سکی۔ آئن اسٹائن نے ان خاصیتوں کی وضاحت، روشنی کی فوٹان تصویر کی بنیاد پر کی۔ اس فوٹان تصویر کے مطابق، روشنی توانائی کے مجرد پیکٹوں پر مشتمل ہوتی ہے جو کہ کوانٹا یا فوٹان کہلاتے ہیں۔ ہر فوٹان میں توانائی $E(=h\nu)$ ہوتی ہے اور معیارِ حرکت $p = \frac{h}{\lambda}$ ہوتا ہے، جو کہ واقع روشنی کے تعدد کے تابع ہیں، اس کی شدت کے نہیں۔ ایک دھات کی سطح سے نوری۔برقی اخراج ایک الیکٹران کے ذریعے ایک فوٹان جذب کیے جانے سے ہوتا ہے۔

7۔ آئن اسٹائن کی نوری۔برقی مساوات، ایک دھات کے الیکٹران کے ذریعے ایک فوٹان کے جذب کیے جانے پر، توانائی کے بقا کے قانون کے اطلاق کے مطابق ہے۔ اعظم حرکی توانائی، $\left(\frac{1}{2}\right) m v^2_{max}$، فوٹان توانائی $(h\nu)$ نفی حدف دھات کے کام فنکشن $\phi_0 \left(= h\nu_0\right)$ کے مساوی ہے:

$$\frac{1}{2} m v^2_{max} = V_0 e = h\nu - \phi_0 = h(\nu - \nu_0)$$

یہ نوری۔برقی مساوات، نوری۔برقی اثر کی تمام خاصیتوں کی وضاحت کر دیتی ہے۔ میلیکن کے ذریعے کی گئی نہایت درست پیائشوں نے نوری۔برقی مساوات کی تصدیق کر دی اور ان پیائشوں سے پلانک مستقلہ h کی ایک درست قدر بھی معلوم کی جا سکی۔ اس سے برق۔مقناطیسی اشعاع کی طبع کے ذراتی یا فوٹان بیان، جسے آئن اسٹائن نے متعارف کرایا تھا، کے تسلیم کیے جانے کی راہیں ہموار ہوئیں۔

8۔ اشعاع کی دوہری طبع ہے: لہری اور ذراتی۔ تجربہ کی طبع سے یہ تعین کیا جاتا ہے کہ اس تجربے کے نتیجے کو سمجھنے کے لیے ایک لہری بیان زیادہ مناسب ہے یا ذراتی بیان۔ یہ دلیل پیش کرتے ہوئے کہ قدرت میں اشعاع اور مادہ کو طبع کے لحاظ سے متشاکل ہونا چاہیے، لوئی وکٹر ڈی برائے نے مادے (مادی ذرات) کے ساتھ ایک لہر جیسا کردار منسلک کیا۔ متحرک مادی ذرات کے ساتھ منسلک لہریں، مادی لہریں یا ڈی برائے لہریں کہلاتی ہیں۔

9۔ ایک متحرک ذرہ سے منسلک ڈی برائے طول لہر (λ)، اس کے معیارِ حرکت p سے رشتہ رکھتا ہے: $\lambda = \frac{h}{p}$ مادہ کی دوئی (dualism)، ڈی برائے رشتے کا جزو لاینفک ہے، جس میں ایک لہری تصور (λ) اور ایک ذراتی تصور (p) شامل ہیں۔ ڈی برائے طولِ لہر، مادہ کے ذرے کے چارج اور طبع کے غیر تابع ہے۔ اس کی قابل لحاظ

© NCERT not to be republished

پیائش (کرسٹلوں میں ایٹموں کے مستویوں کے درمیان کی دوری کے درجہ کی) صرف تحت ایٹمی ذرات، جیسے الیکٹران، پروٹان وغیرہ، کے لیے ہی ممکن ہے (ان کی کمیتوں اور اس لیے معیارِ حرکت کے خفیف ہونے کی بنا پر)— لیکن ہمارا اپنی روزمرہ زندگی میں جن کلاں بنی اشیا سے واسطہ پڑتا ہے، ان کے لیے اس کی قدر بہت ہی خفیف ہے جو قابلِ پیائش نہیں ہے۔

10۔ ڈیویسن اور جرمر، اور جی. پی. تھامسن کے ذریعے کیے گئے الیکٹران انصراف تجربات اور اس کے بعد کیے گئے کئی دوسرے تجربات نے الیکٹرانوں کی لہری۔ طبع کی تصدیق کر دی ہے اور اسے تسلیم کروا دیا ہے۔ مادی ڈی لہروں کا برائے فریضہ، بوہر کے سکونی مداروں کے تصور کی حمایت کرتا ہے۔

طبعی مقدار	علامت	ابعاد	اکائی	ریمارک
پلانک کا مستقلہ	h	$[ML^2 T^{-1}]$	J s	$E = h\nu$
روکنے والا مضمر	V_0	$[ML^2 T^{-3} A^{-1}]$	V	$eV_0 = K_{max}$
کام فنکشن	ϕ_0	$[ML^2 T^{-2}]$	J; eV	$K_{max} = E - \phi_0$
دہلیز تعدد	ν_0	$[T^{-1}]$	Hz	$\nu_0 = \phi_0 / h$
ڈی. برائے طولِ لہر	λ	[L]	m	$\lambda = \dfrac{h}{p}$

قابل غور نکات

1۔ ایک دھات کے آزاد الیکٹران ان معنوں میں آزاد ہوتے ہیں کہ وہ ایک مستقلہ مضمر میں دھات کے اندر حرکت کرتے ہیں (یہ صرف ایک تقریبیت ہے)۔ وہ دھات سے باہر نکلنے کے لیے آزاد نہیں ہیں۔ انھیں دھات سے باہر نکلنے کے لیے توانائی چاہیے ہوتی ہے۔

2۔ ایک دھات کے تمام آزاد الیکٹرانوں کی توانائی یکساں نہیں ہوتی۔ ایک جار میں بھری گیس کے مالیکیولوں کی طرح، ایک دیے ہوئے درجہ حرارت پر ان کی بھی ایک توانائی تقسیم ہوتی ہے۔ یہ تقسیم اس میکسویل کی عام تقسیم سے مختلف ہے جو آپ نے گیسوں کے حرکی نظریہ کے مطالعے میں سیکھی ہے۔ اس کے بارے میں آپ آئندہ درجات میں سیکھیں گے۔ لیکن یہ فرق اس وجہ سے ہے کہ الیکٹران پالی کے استثنٰی اصول کی پابندی کرتے ہیں۔

3۔ ایک دھات کے آزاد الیکٹرانوں کی توانائی تقسیم کی وجہ سے، مختلف الیکٹرانوں کو دھات سے باہر نکل سکنے کے لیے توانائی کی مختلف مقدار چاہیے ہوتی ہے۔ زیادہ توانائی والے الیکٹرانوں کو دھات سے باہر نکلنے کے لیے مقابلتاً کم توانائی والے الیکٹرانوں کے مقابلے میں، کم اضافی توانائی چاہیے ہوتی ہے۔ کام فنکشن وہ کم ترین درکار توانائی ہے جو کسی بھی الیکٹران کو دھات سے باہر نکلنے کے لیے درکار ہوگی۔

© NCERT not to be republished

4۔ نوری-برقی اثرات کے مشاہدات سے یہ اخذ کیا جاسکتا ہے کہ مادہ-روشنی کے باہم عمل میں،توانائی کا انجذاب، $h\nu$ کی مجرد اکائیوں میں ہوتا ہے۔اس کا یہ مطلب نہیں ہے کہ روشنی ایسے ذرات پر مشتمل ہے،جن میں سے ہرایک کی توانائی $h\nu$ ہے۔

5۔ روکنے والے مضمر پر کیے گئے مشاہدات (اس کا شدت کے غیر تابع ہونا اور تعدد کے تابع ہونا)،نوری-برقی اثر کی لہری-تصویر اور فوٹان-تصویر میں فرق کرنے کے لیے بہت اہم ہیں۔

6۔ $\lambda = \frac{h}{p}$ کے ذریعے دی جانے والے ایک مادی لہر کے طول لہر کی طبعی اہمیت ہے؛اس کی فیز رفتار v_p کی کوئی طبعی اہمیت نہیں ہے۔لیکن مادی لہر کی گروپ رفتار طبعی طور پر بامعنی ہے اور ذرہ کی رفتار کے مساوی ہے۔

مشق

11.1 معلوم کیجیے

(a) اعظم تعدد اور

(b) 30kev توانائی کے الیکٹرانوں سے پیدا ہوئی X-شعاعوں کا اقل طول لہر

11.2 سیزیم دھات کا کام تفاعل 2.14 eV ہے۔جب 6×10^{14} Hz تعدد کی روشنی دھات کی سطح پر واقع ہوتی ہے تو الیکٹرانوں کا فوٹو اخراج ہوتا ہے۔کیا ہے:

(a) خارج ہوئے الیکٹرانوں کی اعظم حرکی توانائی،

(b) روکنے والا مضمر،اور

(c) خارج ہونے والے فوٹو الیکٹرانوں کی اعظم چال؟

11.3 ایک تجربے میں نوری برقی قطع وولٹیج 1.5 V ہے۔خارج ہوئے الیکٹرانوں کی اعظم حرکی توانائی کیا ہے؟

11.4 ایک ہیلیم-نیون لیزر سے 632.8nm کی یک رنگی روشنی پیدا کی جاتی ہے۔خارج ہونے والی پاور 9.42 mW ہے۔

(a) روشنی کی بیم کے ہر فوٹان کی توانائی اور اس کا معیارِ حرکت معلوم کیجیے۔

(b) اس شعاع سے اشعاع ہو رہے حدف،اوسطاً، کتنے الیکٹران فی سیکنڈ پہنچیں گے؟(مان لیجیے کہ شعاع کا تراشی رقبہ یکساں ہے جو حدف کے رقبے سے کم ہے)۔اور

(c) ایک ہائیڈروجن ایٹم کو کتنی رفتار سے حرکت کرنا پڑے گی کہ اس کا معیارِ حرکت اس فوٹان کے معیارِ حرکت جتنا ہو جائے؟

11.5 زمین پر پہنچنے والی سورج کی روشنی کا توانائی فلکس 1.388×10^3 W/m^2 ہے۔زمین پر کتنے فوٹان (تقریباً) فی مربع میٹر فی سیکنڈ واقع ہو رہے ہیں؟مان لیجیے کہ سورج کی روشنی میں فوٹان کا اوسط طول لہر 550nm ہے۔

© NCERT not to be republished

11.6 نوری-برقی اثر کے ایک تجربے میں قطع وولٹیج برخلاف واقع روشنی کے طول لہر کے گراف کا ڈھلان 4.12×10^{-15} V s ہے۔ پلانک کے مستقلہ کی قدر کا حساب لگائیے۔

11.7 ایک 100W کا سوڈیم لیمپ تمام سمتوں میں ہموار طور پر توانائی کا اشعاع کرتا ہے۔ لیمپ ایک ایسے بڑے کُرے کے مرکز پر رکھا ہوا ہے جو اس پر واقع تمام سوڈیم روشنی کو جذب کر لیتا ہے۔ سوڈیم روشنی کا طولِ لہر 589nm ہے۔ (a) سوڈیم روشنی سے منسلک توانائی فی فوٹان کتنی ہے؟ (b) کرہ کو کس شرح سے فوٹان مہیا کیے جا رہے ہیں؟

11.8 ایک دھات کے لیے دہلیز تعدد 3.3×10^{14} Hz ہے۔ اگر دھات پر 8.2×10^{14} Hz تعدد کی روشنی واقع ہو تو نوری-برقی اخراج کے لیے قطع وولٹیج کی پیشن گوئی کیجیے۔

11.9 ایک دھات کا کام فنکشن 4.2eV ہے۔ کیا اس دھات سے 330nm کے واقع اشعاع کے لیے نوری-برقی اخراج ہوگا؟

11.10 ایک دھات کی سطح پر 7.21×10^{14}Hz تعدد کی روشنی واقع ہے۔ سطح سے 6.0×10^{5} m/s اعظم چال کے الیکٹران خارج ہوتے ہیں۔ الیکٹرانوں کے فوٹو اخراج کے لیے دہلیز تعدد کیا ہے؟

11.11 ایک آرگون لیزر سے 488 nm طولِ لہر کی روشنی پیدا ہوتی ہے جسے نوری-برقی اثر میں استعمال کیا جاتا ہے۔ جب اس طیف خط سے روشنی مخروج پر واقع ہوتی ہے تو فوٹو الیکٹرانوں کا روکنے والا (قطع) مضمر 0.38V ہے۔ اس مادے کا کام فنکشن معلوم کیجیے جس سے مخروج بنایا گیا ہے۔

11.12 56 V کے مضمر فرق کے ذریعے اسراع کرائے گئے الیکٹرانوں کا

(a) معیارِ حرکت اور

(b) ڈی بروگل طول لہر معلوم کیجیے۔

11.13 ایک الیکٹران جس کی حرکی توانائی 120 eV ہے

(a) اس کا معیارِ حرکت

(b) اس کی چال

(c) اس کا ڈی برائے طول لہر کیا ہیں؟

11.14 سوڈیم کے طیفی اخراج خط سے حاصل ہوئی روشنی کا طول لہر 589 nm ہے۔ وہ حرکی توانائی معلوم کیجیے جس پر

(a) ایک الیکٹران اور

(b) ایک نیوٹران کے یکساں ڈی برائے طولِ لہر ہوں گے۔

11.15 ڈی برائے طول موج کیا ہے

(a) 0.040 kg کمیت کی ایک گولی کا جو 1.0 km/s کی رفتار سے حرکت کر رہی ہے؟

(b) 0.060 kg کمیت کی ایک گیند کا جو 1.0 m/s کی رفتار سے حرکت کر رہی ہے؟

(c) 1.0×10^{-9} kg کمیت کے ایک دھول کے ذرے کا جو 2.2m/s کی رفتار سے حرکت کر رہا ہے؟

© NCERT not to be republished

11.16 ایک الیکٹران اور ایک فوٹان دونوں کا طول لہر 1.00 nm ہے۔ معلوم کیجیے:

(a) ان کے معیار حرکت

(b) فوٹان کی توانائی اور

(c) الیکٹران کی حرکی توانائی

11.17 (a) ایک نیوٹران کی کس حرکی توانائی کے لیے اس سے منسلک ڈی برائے طول لہر 1.40×10^{-10} m ہوگا؟

(b) مادے کے ساتھ حرارتی توازن رکھنے والے ایک نیوٹران کی ڈی-برائے طول لہر بھی معلوم کیجیے، جس کی اوسط حرکی توانائی، 300 K درجہ حرارت پر $\frac{3}{2}kT$ ہے۔

11.18 دکھایئے کہ برق-مقناطیسی اشعاع کا طول لہر اس کے کوانٹم (فوٹان) کے ڈی برائے طول لہر کے مساوی ہے۔

11.19 200 K پر ہوا میں ایک نائیٹروجن کے مالیکیول کا ڈی برائے طولِ لہر کیا ہے؟ مان لیجیے کہ مالیکیول، اس درجہ حرارت پر مالیکیولوں کی جذر-اوسط-مربع-رفتار سے حرکت کر رہا ہے۔ (نائیٹروجن کی ایٹمی کمیت 14.0076 u ہے)۔

مزید مشق

11.20 (a) اس چال کا تخمینہ لگایئے جس سے ایک خلا کی ہوئی ٹیوب کے گرم کیے ہوئے مخروج سے خارج ہوئے الیکٹران اس جمع کار سے ٹکراتے ہیں جسے مخروج کی مناسبت سے 500V کے مضمر فرق پر رکھا گیا ہے۔ الیکٹرانوں کی خفیف شروعاتی چالوں کو نظر انداز کر دیجیے۔ الیکٹرون کا نوعی چارج، یعنی کہ اس کی e/m نسبت، 1.76×10^{11} C kg^{-1} دی ہوئی ہے۔

(b) آپ نے (a) میں جو فارمولا استعمال کیا ہے اسی کو استعمال کرتے ہوئے 10 MV کے جمع کار مضمر کے لیے الیکٹران کی چال حاصل کیجیے۔ کیا آپ دیکھتے ہیں کہ کوئی غلطی ہے؟ فارمولے میں کیا اصلاح کی جانی چاہیے؟

11.21 (a) ایک یک توانائی والی الیکٹران بیم پر، جس میں شامل الیکٹرانوں کی چال 5.20×10^{6} m s^{-1} ہے، بیم رفتار کی عمودی سمت میں 1.30×10^{-4} T کا مقناطیسی میدان لگایا گیا ہے۔ بیم کے ذریعے بنائے گئے دائرے کا نصف قطر کیا ہوگا جب کہ الیکٹران کے لیے e/m، 1.76×10^{11}C kg^{-1} کے مساوی ہے؟

(b) کیا آپ نے (a) میں جو فارمولا استعمال کیا ہے وہ فارمولا ایک 20 MeV الیکٹران بیم کے راستے کے نصف قطر کا حساب لگانے کے لیے بھی درست ہوگا؟ اگر نہیں، تو اس میں کیا اصلاح کی جائے؟

[نوٹ: مشق (b) 11.20 اور مشق (b) 11.21 آپ کو اضافیتی میکانیات میں لے جاتی ہیں، جو اس کتاب کے دائرہ سے باہر ہے۔ ان کو یہاں صرف اس بات پر زور دینے کے لیے شامل کیا گیا ہے کہ آپ یہ سمجھ سکیں کہ

© NCERT not to be republished

جو فارمولے آپ حصہ (a) میں استعمال کرتے ہیں وہ بہت اعلیٰ چالوں یا توانائیوں پر درست نہیں ہیں۔ کتاب کے آخر میں دیے ہوئے جوابات دیکھیے تو آپ یہ جان سکیں گے کہ بہت اعلیٰ چال یا توانائی کا کیا مطلب ہے]

11.22 ایک الیکٹران گن، جس کا جماع کار 100 V مضمر پر ہے، ای کروی بلب پر الیکٹران فائر کرتی ہے۔ بلب میں کم دباؤ (~ پارے کے 10^{-2} mm) پر ہائیڈروجن گیس بھری ہوئی ہے۔ 2.83×10^{-4} T کا ایک مقناطیسی میدان الیکٹرانوں کے راستے کو 12.0 cm نصف قطر کے دائری مدار میں موڑ دیتا ہے۔ (راستہ کو دیکھا جا سکتا ہے کیونکہ راستے پر گیس کے آئن الیکٹرانوں کو کشش کر کے بیم کو فوکس کرتے ہیں اور الیکٹرانوں کو اسیر بنا کر (capturing) روشنی خارج کرتے ہیں، اس طریقہ کو 'باریک بیم ٹیوب' طریقہ کہتے ہیں) ان آنکڑوں سے e/m معلوم کیجیے۔

11.23 (a) X- کرن ٹیوب اشعاع کا لگاتار طیف پیدا کرتی ہے، جس کا کم طول لہر سرا 0.45 Å ہے۔ اشعاع میں شامل فوٹان کی اعظم حرکی توانائی کتنی ہے؟

(b) اپنے (a) کے جواب سے اندازہ لگایئے کہ ایسی ٹیوب کے لیے کس درجے کی اسراع کار وولٹیج (الیکٹرانوں کے لیے) درکار ہوگی۔

11.24 الیکٹرانوں کے پوزی ٹرانوں کے ساتھ اعلیٰ-توانائی تصادم کے ایک اسراع کار تجربے میں، ایک واقعہ کی وضاحت ایک 10.2 BeV کل توانائی کے الیکٹران-پوزی ٹران جوڑے کی مساوی توانائی کی دو-γ کرنوں میں فنا ہونے (annihilation) کے بطور کی جاتی ہے۔ ہر-γ کرن سے منسلک طولِ لہر کیا ہے؟ $(1 \text{BeV} = 10^9 \text{ eV})$

11.25 مندرجہ ذیل دو اعداد کا تخمینہ لگانا دلچسپی کا باعث ہوگا۔ پہلا عدد آپ کو بتائے گا کہ ریڈیو انجینئریوں کو فوٹان کے بارے میں کیوں زیادہ فکر مند ہونے کی ضرورت نہیں ہے۔ دوسرے عدد سے آپ کو معلوم ہوگا کہ ہماری آنکھ کبھی بھی فوٹانوں کو شمار کیوں نہیں کر سکتی چاہے روشنی اتنی مدھم بھی کیوں نہ ہو کہ بمشکل شناخت کی جا سکے۔

(a) ایک 10 KW پاور کے وسطی لہر ترسیل کار (Medium Wave Transmitter) کے ذریعے، جو 500m طول لہر کی لہریں خارج کر رہا ہے، فی سیکنڈ خارج ہوئے فوٹانوں کی تعداد

(b) اس سفید روشنی کی کم ترین شدت سے مناسبت رکھنے والی ہماری آنکھ میں داخل ہونے والے فوٹان کی تعداد فی سکنڈ، جس کا انسانی آنکھ احساس کر سکتی ہے ($\sim 10^{-10}$ W m^{-2})۔ دیدہ چشم کا رقبہ تقریباً 0.4 cm^2 اور سفید روشنی کا اوسط تعدد تقریباً 6×10^{14} Hz لیجیے۔

11.26 مولیبڈینم دھات کے بنے ہوئے ایک فوٹو سیل کا اشعاع، 100 W مرکری ماخذ سے آرہی 2271 Å طول لہر کی بالا بنفشئی روشنی کے ذریعے کرایا جاتا ہے۔ اگر روکنے والا مضمر 1.3 V- ہے تو دھات کے کام فنکشن کا حساب لگایئے۔ ایک He-Ne لیزر سے پیدا کی گئی 6328 Å طول لہر کی سرخ روشنی، جس کی اعلیٰ شدت

© NCERT not to be republished

$(\sim10^5\ W\ m^{-2})$ ہو، کا فوٹو سیل پر کیا اثر پڑے گا؟

11.27 ایک نیون لیمپ سے حاصل ہوئے، 640.2 nm، $(1nm = 10^{-9}\ m)$ طول لہر کے یک رنگی اشعاع سے سینزیم لگے ٹنگسٹن سے بنے فوٹو حساس مادے کو اشعاع کرایا جاتا ہے۔ روکنے والی وولٹیج 0.54 V ناپی گئی ہے۔ اس ماخذ کو ایک لوہے کے بنے ماخذ سے بدل دیا جاتا ہے اور اس کا 427.2 nm خط اسی فوٹو سیل کا اشعاع کرتا ہے۔ نئے روکنے والی وولٹیج کی پیشن گوئی کیجیے۔

11.28 ایک مرکری لیمپ، نوری-برقی اخراج کے تعدد کے تابع ہونے کا مطالعہ کرنے کے لیے ایک کارگر ماخذ ہے کیونکہ یہ طیفی خطوط کی بڑی تعداد مہیا کرتا ہے جن کی سعت بصری طیف کے UV سرے سے لال سرے تک ہوتی ہے۔ روبیڈیم فوٹو سیل کے ساتھ کیے گئے ہمارے تجربے میں ایک مرکری ماخذ کے مندرجہ ذیل خطوط استعمال کیے گئے:

$$\lambda_1=3650\ Å,\ \lambda_2=4047Å, \lambda_3=4358\ Å, \lambda_4=5461\ Å, \lambda_5=6907\ Å,$$

ان کے روکنے والے مضمرات، بالترتیب، ناپے گئے:

$$V_{01} = 1.28\ V, V_{02} = 0.95\ V, V_{03} = 0.74\ V, V_{04} = 0.16\ V, V_{05} = 0\ V$$

پلانک کے مستقلہ کی قدر اور اس مادّہ کے لیے دہلیز تعدد اور کام فنکشن معلوم کیجیے۔

[نوٹ: آپ محسوس کریں گے کہ ان آنکڑوں سے h کی قدر معلوم کرنے کے لیے، آپ کو e معلوم ہونا چاہیے (جسے آپ 1.6×10^{-19} C لے سکتے ہیں)۔ میلیکن نے Na، Li، K وغیرہ پر اس طرح کے تجربات کیے۔ میلیکن نے خود e کی قدر معلوم کی (تیل-قطرہ تجربے کے ذریعے) اور پھر h کی قدر حاصل کی۔ اس طرح آئن اسٹائن کی نوری-برقی مساوات کی تجرباتی تصدیق بھی ہوگئی اور اس کے ساتھ ساتھ h کی قدر کا تخمینہ لگانے کا ایک نیا طریقہ بھی حاصل ہوگیا۔]

11.29 مندرجہ ذیل دھاتوں کے کام تفاعل دیے ہوئے ہیں: Na:2.75eV، K:2.30eV، Mo:4.17eV، Ni:5.15eV۔ ان میں سے کون سی دھات کا بنا فوٹو سیل اس 1m کے فاصلے پر رکھے He–Cd لیزر سے آرہے 3300 Å طول لہر کے اشعاع سے نوری برقی اخراج نہیں کرے گا؟ کیا ہوگا اگر لیزر کو نزدیک لے آیا جائے اور سیل سے 50 cm دور رکھا جائے؟

11.30 $10^{-5}\ W\ m^{-2}$ کی روشنی، $2\ cm^2$ سطحی رقبہ کے سوڈیم فوٹو سیل پر پڑتی ہے۔ یہ فرض کرتے ہوئے کہ سوڈیم کی اوپری پانچ سطحیں واقع توانائی جذب کرتی ہیں، اشعاع کی لہری تصویر کے مطابق نوری-برقی اخراج کے لیے درکار وقت کا تخمینہ لگائیے۔ دھات کا کام فنکشن 2 eV کے قریب دیا ہوا ہے۔ آپ کے جواب کے کیا مضمرات ہیں؟

11.31 کرسٹل انصراف تجربات، X- کرن یا مناسب وولٹیج کے ذریعے اسراع کرائے گئے الیکٹرانوں کو استعمال

© NCERT not to be republished

کر کے کیے جاسکتے ہیں۔کس پروب (Probe) کی توانائی مقابلتاً زیادہ ہے۔[مقداری مقابلے کے لیے، پروب کا طولِ لہر Å 1 لے لیجیے جو ایک لیٹس (Lattice) میں ایٹموں کے مابین فاصلے کا درجہ ہے۔ (m_e=9.11 × 10^{-31} kg)

11.32 (a) 150 eV حرکی توانائی کے نیوٹران کا ڈی برائے طول لہر معلوم کیجیے۔جیسا کہ آپ مشق 11.31 میں دیکھ چکے ہیں، یہ توانائی کرسٹل انصراف تجربات کے لیے مناسب ہے۔کیا یکساں توانائی کی ایک نیوٹران بیم بھی اتنی ہی مناسب ہوگی؟ وضاحت کیجیے۔ (m_n = 1.675 × 10^{-27} kg)۔

(b) کمرہ درجۂ حرارت (27°C) پر حرّی نیوٹرانوں سے منسلک ڈی برائے طول لہر حاصل کیجیے۔پھر وضاحت کیجیے کہ ایک تیز رفتار نیوٹران بیم کو، نیوٹران انصراف تجربات کے لیے استعمال کے قابل بنانے کے لیے، پہلے ماحول کے ساتھ حرّی توازن میں لانا کیوں ضروری ہے؟

11.33 ایک الیکٹران خوردبین، 50 kV وولٹیج کے ذریعے اسراع کرائے گئے الیکٹران استعمال کرتی ہے۔ان الیکٹرانوں سے منسلک ڈی برائے طول لہر معلوم کیجیے۔اگر دیگر عوامل (جیسے عددی روزن وغیرہ) کو یکساں مان لیا جائے تو الیکٹران مائکروسکوپ کی جز تجزیاتی طاقت اس نوری خوردبین کے مقابلے میں کیسی ہوگی جو پیلی روشنی استعمال کرتی ہے؟

11.34 ایک پروب کا طول لہر موٹے طور پر اس ساخت کے سائز کا ناپ ہے جس کی وہ کچھ تفصیل کے ساتھ چھان بین کرسکتا ہے۔پروٹانوں اور نیوٹرانوں کی کوارک ساخت 10^{-15} m یا اس سے کم کے لمبائی کے بے حد خفیف پیمانے پر ظاہر ہوتی ہے۔اس ساخت کی چھان بین سب سے پہلے 1970 کے اوائل میں کی گئی، جس میں اسٹین فورڈ، امریکا میں لگے خطی اسراع کار سے پیدا کی گئی اعلا توانائی الیکٹران بیم استعمال کی گئی تھیں۔ اندازہ لگایئے کہ ان الیکٹران بیموں کی توانائی کس درجے کی رہی ہوگی؟
(0.511 MeV= الیکٹران کی سکونی کمیت توانائی)۔

11.35 کمرہ درجہ حرارت (27°C) اور 1 atm دباؤ پر ہیلیم گیس کے He ایٹم سے منسلک مخصوص ڈی برائے طول لہر معلوم کیجیے اور انھیں شرائط کے ساتھ دو ایٹموں کے درمیان اوسط فاصلے سے اس کا مقابلہ کیجیے۔

11.36 27°C پر ایک دھات کے ایک الیکٹران سے منسلک مخصوص ڈی برائے طول لہر کا حساب لگایئے اور ایک دھات میں دو الیکٹرانوں کے درمیان اوسط فاصلے سے اس کا مقابلہ کیجیے۔یہ اوسط فاصلہ تقریباً 2×10^{-10} m دیا ہوا ہے۔

[نوٹ: مشق 11.35 اور مشق 11.36 سے یہ بات سامنے آتی ہے کہ عام شرائط کے ساتھ، گیسی مالیکیولوں سے منسلک لہر پیکٹ غیر انطباقی 'غیر ہم پوش (non over lapping) ہوتے ہیں جب کہ ایک دھات میں الیکٹران لہر پیکٹ ایک دوسرے کے ساتھ بہت زیادہ ہم پوش ہوتے ہیں۔اس سے تجویز ہوتا ہے کہ جب کہ

© NCERT not to be republished

ایک گیس میں مالیکیولوں کو ایک دوسرے سے علاحدہ طور پر پہچانا جاسکتا ہے، ایک دھات کے الیکٹرانوں کو ایک دوسرے سے علاحدہ طور پر نہیں پہچانا جاسکتا۔ یہ علاحدہ نہ پہچان سکنے کی خاصیت کے کئی بنیادی مضمرات ہیں جن کے بارے میں آپ زیادہ اعلیٰ طبیعیات کے نصاب میں سیکھیں گے]

11.37 مندرجہ ذیل سوالات کے جواب دیجیے:

(a) یہ سمجھا جاتا ہے کہ پروٹانوں اور نیوٹرانوں کے اندر کوارکوں کے کسری چارج ہوتے ہیں [(+2/3)e;(−1/3)e] تو یہ میلیکن تیل قطرہ تجربے میں کیوں نہیں ظاہر ہوتے؟

(b) اجتماع e / m میں کیا ایسی خاص بات ہے؟ ہم سادہ طور پر e اور m کی الگ الگ بات کیوں نہیں کرتے؟

(c) گیس عام دباؤ پر کیوں حاجز ہوتی ہیں اور بہت کم دباؤ پر ایصال کرنا کیوں شروع کردیتی ہیں؟

(d) ہر دھات کا ایک معین کام فنکشن ہوتا ہے۔ اگر واقع اشعاع یک رنگی ہو تو سب فوٹو الیکٹران یکساں توانائی کے ساتھ باہر کیوں نہیں نکلتے؟ فوٹو الیکٹرانوں کی ایک توانائی تقسیم کیوں پائی جاتی ہے؟

(e) ایک الیکٹران کی توانائی اور اس کے معیارِ حرکت کے اس سے منسلک مادی لہر کے تعدد اور طول لہر سے مندرجہ ذیل رشتے ہیں:

$$E = h\,\nu,\; p = \frac{h}{\lambda}$$

لیکن λ کی قدر طبعی طور پر اہمیت رکھتی ہے، ν کی قدر (اور اس لیے فیز چال $\lambda\,\nu$ کی قدر) کی کوئی طبعی اہمیت نہیں ہے۔ کیوں؟

ضمیمہ (APPENDIX)

11.1 لہر-ذرہ قلابازی کی تاریخ (The history of wave-particle flip-flop)

روشنی کیا ہے؟ یہ سوال بنی نوع انسان کو بہت عرصے سے پریشان کرتا رہا ہے۔ لیکن سائنسی اور صنعتی زمانے کے آغاز سے ہی، تقریباً چار صدی پہلے سے سائنس دانوں نے منظّم تجربات کرنے شروع کردیے تھے۔ تقریباً اسی زمانے سے، روشنی کس چیز کی بنی ہوئی ہے، کے بارے میں نظریاتی ماڈل بھی بنائے گئے۔ سائنس کی کسی بھی شاخ میں ایک ماڈل بناتے وقت یہ لازمی ہوتا ہے کہ یہ دیکھ لیا جائے کہ وہ اس وقت تک ہمارے تجرباتی طور پر مشاہدہ کیے گئے تمام حقائق کی وضاحت کرسکے۔ اس لیے یہ مناسب ہوگا کہ روشنی کے بارے میں سترھویں صدی تک جو مشاہدات کیے گئے تھے ان کا خلاصہ پیش کیا جائے۔

روشنی کی جو خاصیتیں اس وقت تک معلوم ہو چکی تھیں،ان میں سے کچھ ہیں!(a)روشنی کی مستقیم اشاعت (b) مستوی اور کروی سطحوں سے انعکاس(c)دوواسطوں کی سرحد پر انعطاف(d) مختلف رنگوں میں انکسار(e) بہت اعلیٰ رفتار۔ پہلے چار مظاہر کے لیے مناسب قوانین وضع کیے گئے تھے۔مثلاً،اسنیل نے اپناانعطاف کا قانون 1621 میں وضع کیا۔گیلیلیو کے زمانے سے ہی کئی سائنسدانوں نے روشنی کی چال ناپنے کی کوششیں کی تھیں۔لیکن وہ کامیاب نہیں ہو سکے۔انھوں نے صرف یہی نتیجہ اخذ کیا کہ روشنی کی چال ان کے ذریعے کی جانی والی پیمائش کی حد سے زیادہ ہے۔

سترھویں صدی میں روشنی کے دو ماڈل بھی تجویز کیے گئے۔سترھویں صدی کی شروع کی دہائیوں میں ڈیسکارتیس نے تجویز کیا کہ روشنی ذرات پر مشتمل ہے جب کہ 60–1650 کے قریب ہائی جینس نے تجویز پیش کی کہ روشنی لہروں پر مشتمل ہے۔ڈیسکارتیس کی تجویز صرف ایک فلسفیانہ ماڈل تھی جو کسی تجربے یا سائنسی دلیل سے عاری تھی۔اس کے فوراً بعد ہی، 70–1660 کے قریب نیوٹن نے ڈیسکارتیس کے ذراتی ماڈل کی توسیع کی، جو ذریچہ نظریہ کہلاتا ہے۔نیوٹن نے ایک سائنسی نظریہ قائم کیا اور اس کے ذریعے روشنی کی مختلف خاصیتوں کی وضاحت کی۔یہ دونوں ماڈل، روشنی بطور لہریں اور روشنی بطور ذرات، ایک طرح سے ایک دوسرے کی ضد ہیں۔لیکن دونوں ماڈلوں کے ذریعے روشنی کی تمام اس قت تک معلوم، خاصیتوں کی وضاحت کی جا سکی۔ان میں سے کسی ایک کو منتخب کرنے کا کوئی ذریعہ نہیں تھا۔

اگلی چند صدیوں میں ان ماڈلوں کے ارتقا کی تاریخ بہت دلچسپ ہے۔1669 میں بارتھولی نیس نے کچھ کرسٹلوں میں روشنی کے دوہرے انعکاس کو دریافت کیا اور ہائی جینس نے، جلد ہی، 1678 میں روشنی کے لہری نظریہ کی بنیاد پر اس کی وضاحت پیش کر دی۔اس کے باوجود، تقریباً اگلے سو سال تک نیوٹن کے ذراتی ماڈل پر اعتماد ظاہر کیا جاتا رہا اور ذراتی ماڈل کو لہری ماڈل پر ترجیح دی جاتی رہی۔اس کی ایک وجہ تو ذراتی ماڈل کی سادگی تھی اور ساتھ ہی ساتھ نیوٹن سے اس کے ہم عصر سائنس دانوں کا مرعوب ہونا تھا۔

پھر 1801 میں، ینگ نے اپنا دو-سلٹ تجربہ کیا اور تداخل فرنجوں کا مشاہدہ کیا۔اس مظہر کی وضاحت صرف لہری نظریہ کی بنیاد پر ہی کی جا سکی۔یہ احساس بھی ہوا کہ انصراف ایک دوسرا ایسا مظہر ہے، جس کی وضاحت صرف لہری نظریہ ہی کر سکتا ہے۔دراصل، یہ روشنی کے راستے میں ہر نقطہ سے ثانوی لہرچوں کے نکلنے کے ہائی جینس کے تصور کا قدرتی نتیجہ تھا۔ان تجربات کی وضاحت کرنا، یہ فرض کرتے ہوئے ممکن نہیں تھا کہ روشنی ذرات پر مشتمل ہے۔1810 کے قریب ایک اور مظہر تقطیب، دریافت ہوا۔'' لہر نظریہ اس کی بھی وضاحت کرنے میں کامیاب رہا۔اس لیے ہائی جین کے لہر نظریہ نے مرکزی حیثیت اختیار کر لی اور نیوٹن کا ذراتی نظریہ پس پردہ چلا گیا۔یہ صورت حال بھی تقریباً ایک صدی تک جاری رہی۔

انیسویں صدی میں روشنی کی رفتار معلوم کرنے کے لیے مزید بہتر تجربے کیے گئے۔مقابلتاً زیادہ درستی صحت کے ساتھ کیے گئے تجربوں کے ذریعے خلا میں روشنی کی چال کی قدر 3×10^8 m/s حاصل ہوئی۔1860 کے آس پاس میکسویل نے اپنی برق-مقناطیسیت کی مساواتیں تجویز کیں۔اور یہ احساس ہو گیا کہ اس وقت تک معلوم ہوئے تمام برق-مقناطیسی مظاہر کی وضاحت میکسویل کی ان چار مساواتوں کے ذریعے کی جا سکتی ہے۔جلد ہی میکسویل نے یہ بھی دکھایا کہ برقی اور مقناطیسی میدانوں کی اشاعت خالی فضا (خلا) میں بھی، برق-مقناطیسی لہروں کی شکل میں ہو سکتی ہے۔میکسویل نے ان لہروں کی چال کا حساب لگایا اور 2.998×10^8 m/s کی نظری قدر حاصل کی۔اس قدر کی تجرباتی قدر سے نزدیکی ہم آہنگی سے یہ تجویز کیا جا سکا کہ روشنی برق-مقناطیسی لہروں پر مشتمل ہے۔1887 میں ہرٹز نے ان لہروں کو پیدا کرنے اور شناخت کرنے کا مظاہرہ کیا۔اس سے روشنی کا لہری نظریہ ایک مضبوط بنیاد پر قائم ہو گیا۔ہم کہہ سکتے ہیں کہ جب کہ 18 ویں صدی ذراتی ماڈل کی صدی تھی، انیسویں صدی روشنی کے لہری ماڈل کی صدی تھی۔

© NCERT not to be republished

1900–1850 تک کے دور میں، طبیعیات کے ایک بالکل مختلف علاقے، حرارت اور اس سے متعلق مظاہر پر بہت سے تجربات کیے گئے۔ حرکی نظریہ اور حرحرکیات جیسے نظریہ اور ماڈل پیش کیے گئے جنھوں نے ان مختلف مظاہر کی، سوائے ایک مظہر کے، کامیابی کے ساتھ وضاحت کی۔

ہر جسم، کسی بھی درجۂ حرارت پر، تمام طول لہر کا اشعاع خارج کرتا ہے۔ وہ اس پر پڑ رہے اشعاع کو جذب بھی کرتا ہے۔ وہ جسم جو اس پر پڑ رہے تمام اشعاع کو جذب کر لیتا ہے، ایک سیاہ جسم (Black body) کہلاتا ہے۔ یہ طبیعیات میں ایک مثالی تصور ہے جیسے کہ نکتہ کمیت اور ہموار یکساں حرکت کے تصورات ہیں۔ ایک سیاہ جسم سے خارج ہونے والے اشعاع کی شدت کا برخلاف طول لہر گراف سیاہ جسم طیف کہلاتا ہے۔ اس زمانے کا کوئی نظریہ بھی سیاہ جسم طیف کی مکمل وضاحت نہیں کر سکا۔

1900 میں پلانک نے ایک انوکھا تصور پیش کیا۔ انھوں نے کہا کہ اگر ہم یہ فرض کر لیں کہ اشعاع لہروں کی شکل میں لگاتار خارج ہوتے رہنے کے بجائے توانائی کے پیکٹوں کی شکل میں خارج ہوتا ہے تب ہم سیاہ جسم طیف کی وضاحت کر سکتے ہیں خود پلانک نے ان کوانٹا کو یا پیکٹوں کو اخراج یا اجذاب کی خاصیت سمجھا، روشنی کی خاصیت نہیں۔ انھوں نے ایک فارمولا مشتق کیا جو پورے طیف سے ہم آہنگ تھا۔ یہ لہری اور ذراتی تصویروں کا ایک ایسا آمیزہ تھا جسے سمجھنا مشکل تھا— اشعاع ذرات کے بطور خارج ہوتا ہے، لہر کی شکل میں اس کی اشاعت ہوتی ہے اور پھر ذرات کی شکل میں جذب ہوتا ہے۔ اس سے طبیعیات داں مشکل میں پھنس گئے۔ کیا ہمیں صرف ایک مظہر کی وضاحت کر سکنے کے لیے، روشنی کی ذراتی تصویر کو دوبارہ قبول کر لینا چاہیے؟ پھر تداخل اور انصراف کے مظاہر کا کیا ہوگا، ذراتی ماڈل کے ذریعے جن کی وضاحت نہیں کی جا سکتی؟

لیکن جلد ہی، 1905 میں آئن اسٹائن نے روشنی کی ذراتی تصویر فرض کرتے ہوئے نوری۔ برقی اثر کی وضاحت کی۔ 1907 میں دبائی (Debye) نے ایک قلمی (crystalling) ٹھوس کے لیٹس ارتعاشات (lattice Vibrations) کے لیے ذراتی تصویر استعمال کرتے ہوئے ٹھوس اشیا کی ادنیٰ (low) درجۂ حرارت پر نوعی حرارتوں کی وضاحت کی۔ ان یہ دونوں مظاہر حالانکہ طبیعیات کے ایک دوسرے سے بالکل مختلف میدانوں سے تعلق رکھتے تھے، لیکن ان کی وضاحت صرف ذراتی ماڈل کے ذریعے ہی کی جا سکتی تھی، لہری ماڈل کے ذریعے نہیں۔ 1923 میں، کامپٹن کے ذریعے کیے گئے ایٹوں سے X– کرنوں کے انتشار کے تجربات بھی ذراتی۔ تصویر کے حق میں گئے۔ اس سے یہ مسئلہ اور بھی پیچیدہ ہو گیا۔

اس لیے 1923 تک طبیعیات دانوں کے سامنے مندرجہ ذیل سوالات تھے: (a) کچھ ایسے مظاہر ہیں، جیسے مستقیم اشاعت، انعکاس اور انعطاف، جن کی وضاحت ذراتی ماڈل سے بھی کی جا سکتی ہے اور لہر ماڈل سے بھی۔ (b) کچھ ایسے مظاہر سامنے آئے تھے، جیسے تداخل اور انصراف، جن کی وضاحت صرف لہر ماڈل کے ذریعے ہو سکتی تھی اور ذراتی ماڈل ان کی وضاحت نہیں کر سکتا تھا۔ (c) کچھ ایسے مظاہر سامنے آ چکے تھے، جیسے سیاہ جسم اشعاع، نوری برقی اثر، کامپٹن انتشار، جن کی وضاحت صرف ذراتی ماڈل کے ذریعے کی جا سکتی تھی لیکن لہر ماڈل ان کی وضاحت میں ناکام تھا۔ ان دنوں کسی نے اس صورت حال کو ان الفاظ میں بخوبی بیان کیا: روشنی، پیر، بدھ اور جمعہ کے دن ذرات کی طرح برتاؤ کرتی ہے اور منگل، جمعرات اور سنیچر کے دن لہر کی طرح اور اتوار کے دن ہم روشنی کی بات نہیں کرتے۔

1924 میں، ڈی برائے نے اپنا لہر–ذرہ دوئی کا نظریہ تجویز کیا، جس میں انھوں نے کہا کہ صرف روشنی کے فوٹانوں کی ہی نہیں بلکہ مادے کے ذرات جیسے الیکٹرانوں اور ایٹوں کا بھی دہرا کردار ہوتا ہے، وہ بھی کبھی ذرہ کی طرح برتاؤ کرتے ہیں اور کبھی لہر کی طرح۔ انھوں نے ایک فارمولا دیا، جس کے ذریعے ان کی کمیت، رفتار، معیار حرکت (ذرات کی خاصیتیں) اور طول لہر اور تعدد کے (لہر کی خصوصیات) درمیان رشتہ قائم کیا۔ 1927 میں تھامسن اور ڈیویسن اور جرمر نے علاحدہ علاحدہ کیے گئے تجربات کے ذریعے دکھایا کہ الیکٹران لہروں کی طرح برتاؤ کرتے ہیں اور ان کی طول لہر، ڈی برائے کے فارمولے سے

حاصل کی گئی طول لہر سے ہم آہنگ تھی۔ان کے تجربات قلمی ٹھوسوں سے الیکٹرانوں کے انصراف پر کیے گئے تھے،جن میں ایٹموں کی باضابطہ ترتیب ایک گریٹنگ کی طرح کام کرتی تھی۔جلد ہی،دوسرے ذرات جیسے پروٹانوں اور نیوٹرانوں پر بھی انصراف تجربات کیے گئے اوران تجربات نے بھی ڈی-برائے فارمولے کی تصدیق کی۔اس طرح لہر-ذرہ دوئی کوطبیعیات کے ایک مسلمہ اصول کے طور پر منظور کرلیا گیا۔اب ایک ایسا اصول تھا،طبیعیات دانوں نے سوچا،جواو پرنشان دہی کیے گئے تمام مظاہر کی وضاحت کرسکتا تھا چاہے وہ روشنی سے متعلق مظاہر ہوں یاذرات کہی جانے والی اشیا سے متعلق ہوں۔

لیکن لہر-ذرہ دوئی کے لیے کوئی بنیادی نظری اساس نہیں تھی۔ڈی برائے کی تجویز صرف ایک کیفیتی دلیل تھی جو قدرت کے تشاکل پر مبنی تھی۔لہر-ذرہ دوئی،زیادہ سے زیادہ،ایک اصول تھا،ایک صحت مند بنیادی نظریہ کا نتیجہ نہیں تھا— یہ درست ہے کہ جو تجربات بھی کیے گئے ان کے نتائج ڈی برائے فارمولے سے ہم آہنگ تھے۔لیکن طبیعیات داں اس طرح کام نہیں کرتے۔ایک طرف تو تجویز کیے گئے ماڈلوں کی تجرباتی تصدیق ہونی چاہیےاور دوسری طرف ان کی ایک صحت مند نظری بنیاد بھی ہونا چاہیے۔یہ بنیاد اگلی دو دہائیوں میں فراہم ہوئی۔ڈِراک (Dirac) نے1928 میں اپنااشعاع کا نظریہ پیش کیا اور1930 تک ہائیزنبرگ اور پالی نے اسے مضبوط بنیادفراہم کی۔1940 کی دہائی کے آخری برسوں میں تو موناگا،شونگراور فائن مین نے اس نظریہ میں پائی گئی خامیوں کودور کیااور اسےاورنفیس شکل دی۔یہ تمام نظریات لہر-ذرہ دوئی کوایک نظری اساس فراہم کرتے ہیں۔

حالانکہ یہ قصہ ابھی جاری ہے،یہ اورزیادہ پیچیدہ ہوتا جارہا ہےاوراس نوٹ کے دائرہ سے باہر ہے۔لیکن ابھی تک جوکچھ ہوا ہم نے اس تصویر کی اہم بناوٹ پیش کردی اوراس وقت ہمیں اسی سے مطمئن ہوجانا چاہیے۔اب طبیعیات کے موجودہ نظریات کا یہ قدرتی نتیجہ سمجھا جاتا ہے کہ اشعاع اور ساتھ ہی مادے کے ذرات بھی لہری اور ذراتی دونوں خاصیتیں ظاہر کرتے ہیں۔کسی تجربے میں کوئی ایک خاصیت ظاہر ہوتی ہےاوراور دوسرے تجربے میں کوئی دوسری اور کبھی کبھی ایک ہی تجربے کےمختلف حصوں میں بھی مختلف خاصیت ظاہر ہوتی ہے۔

© NCERT not to be republished