۱.۱۳ دوبروی و ماهیت فیزیکی نور

در پی شناخت ماهیت نور که دانشمندان فیزیک، طی اوایل قرن بیستم در جست و جوی آن بودند، ماهیت ذره ای یا فوتونی نور امری مسلم به نظر می رسید. چنین ذره ای که دارای تکانه[۱] و انرژی بود، اثراتی مانند پراش و تداخل را از خود نشان می‌داد.

در ۱۹۲۴م. لوئی دوبروی، فیزیکدان فرانسوی، در پایان نامهء دکتری خود پیشنهاد کرد، همانگونه که امواج نور در شرایط خاصی مانند ذره رفتار می کنند؛ ذرات نیز می توانند رفتار موجی از خود نشان دهند. وی بیان کرد که ذرات زیراتمی خواص موجی دارند که طول موج ایجاد شده با تکانهء آنها رابطه ای عکس دارد، یعنی هر قدر تکانهء ذره بیشتر باشد، طول موج آن کوتاه تر است. این رابطه که بصورت

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

نشان داده می شود، ارتباط بین این دو ویژگی ذرات را نشان می دهد که h ثابت پلانک است. باید بدانید در آن زمان، ماهیت الکترون‌ها ناشناخته بود و تصور می شد الکترون‌ها ذرات باردار صلبی هستند که بر گرد هسته می چرخند و دوبروی بیان داشت که آنها می توانند مانند نور از خود رفتار ذره ای نشان دهند و اثرات پراش یا تداخل داشته باشند[۳].

شکل ۱.۱۳: لوئی دوبروی

تأیید نظریهء دوبروی چند سال بعد، از لحاظ تجربی انجام گردید: در ۱۹۲۷م. کلینتون دی‌ویسون[۲] و لستر ژرمر[۳] فیزیکدانان آمریکایی، نشان دادند که باریکه‌ی الکترونها هنگامی که از سطح یک کریستال نیکلی منعکس می شود، مشابه اشعه ی ایکس و دیگر امواج الکترومغناطیس دارای الگوی پراش است[۱]. این الگوی مشاهده شده، مشابه با پراش نور گذرنده از یک توری است و بنابراین دارای خاصیتی از امواج الکترومغناطیس می باشد. یک سال بعد نیز سر جورج تامسون[۴] انگلیسی آزمایشی انجام داد که تنها بر اساس پراش باریکه‌ی الکترون‌ها قابل تعبیر بود.

فرضیه دوبروی نخستین دلیل منطقی برای مدل اتمی بوهر محسوب شد، که پیامد مهم آن تلقی می شد. بعلاوه ایده ی دوبروی نه تنها برای ذرات بنیادی مثل الکترون درست است، بلکه در مورد هر جسم متحرک نیز صادق می باشد. پس توپی که روی زمین می غلتد نیز حرکت موجی دارد و البته طول موج آن حدود $۱۰^{-۳۴}$ متر خواهد شد که بسیار ناچیز است. درمورد الکترون‌ها این مورد حدود $۱۰^{-۱۰}$ متر است که البته در مقیاس زیراتمی ناچیز نخواهد بود.

[۱] Momentum
[۲] Clinton Joseph Davisson (1881-1958)
[۳] Lester Halbert Gremer (1896-1971)
[۴] George Paget Thomson (1892-1975)

شکل ۲.۱۳: دی‌ویسون (چپ) و ژرمر

مثال. تک الکترونی شتاب گرفته و انرژی جنبشی‌اش به $۵\,\mathrm{MeV}$ می رسد. تکانهٔ نسبیتی، طول موج دوبروی و سرعت آن را بیابید. اگر فوتونی دارای همین انرژی باشد، تکانهٔ نسبیتی، طول موج دوبروی و سرعت آن چقدر خواهد شد؟

حل. چون انرژی کل الکترون برابر مجموع انرژی حالت سکون $E_۰$ و انرژی جنبشی E_k آن است چنین داریم:

$$\begin{aligned}
E_۰ &= mc^۲ \\
&= \left(۹٫۱۱ \times ۱۰^{-۳۱}\right)\left(۳ \times ۱۰^{+۸}\right)^۲\ \mathrm{J} \\
&= ۸٫۲ \times ۱۰^{-۱۴}\,\mathrm{J} \\
E_k &= ۵ \times ۱۰^۶ \times ۱٫۶۰۲ \times ۱۰^{-۱۹}\,\mathrm{J} \\
&= ۸٫۰۱ \times ۱۰^{-۱۳}\,\mathrm{J} \\
E &= E_۰ + E_k \\
&= ۸٫۸۳ \times ۱۰^{-۱۳}\,\mathrm{J} \\
p &= \frac{\sqrt{E^۲ - E_۰^۲}}{c} \\
&= ۲٫۹۳ \times ۱۰^{-۲۱}\,\frac{\mathrm{kg\,m}}{\mathrm{s}} \\
\lambda &= \frac{h}{p} \\
&= ۲٫۲۶ \times ۱۰^{-۱۳}\,\mathrm{m} \\
&= ۲۲۶\,\mathrm{fm} \\
v &= \frac{pc^۲}{E} \\
&= ۲٫۹۸۷ \times ۱۰^۸\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \\
&= ۰٫۹۹۶c
\end{aligned}$$

برای فوتونی با همین انرژی، چون $m = ۰$ پس

$$\begin{aligned}
p &= \frac{E}{c} \\
&= \frac{۸٫۸۳ \times ۱۰^{-۱۳}}{۲ \times ۱۰^{۸}} \frac{\mathrm{kg\,m}}{\mathrm{s}} \\
&= ۲٫۹۴ \times ۱۰^{-۲۱} \frac{\mathrm{kg\,m}}{\mathrm{s}} \\
\lambda &= \frac{h}{p} \\
&= \frac{۶٫۶۳ \times ۱۰^{-۳۴}}{۲٫۹۴ \times ۱۰^{-۲۱}} \mathrm{m} \\
&= ۲٫۲۵۲۵۵ \times ۱۰^{-۱۳} \mathrm{m} \\
&= ۲۲۵ \,\mathrm{fm} \\
v &= \frac{pc^{۲}}{E} \\
&= c
\end{aligned}$$