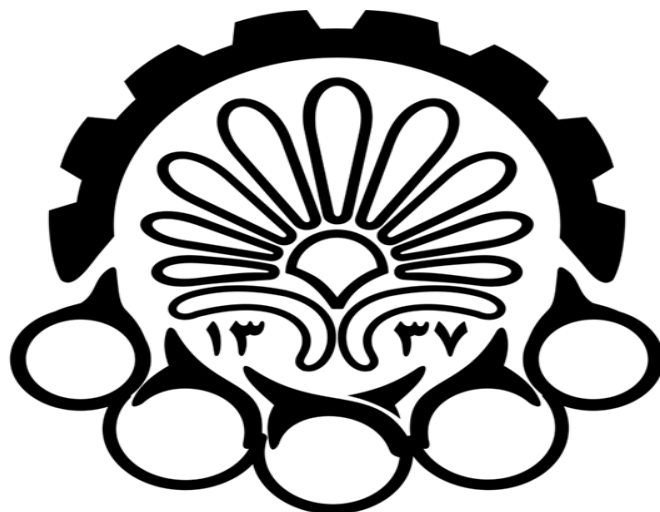


به نام خداوند جان و خرد

آزمایشگاه فیزیک چهار (عدم قطعیت هایزنبرگ)



دانشگاه صنعتی امیر کبیر
(پلی تکنیک تهران)

تهیه و تنظیم گزارش : امیر محمد عبدالله پور

شکوه شریعتمداریان

امیر رضا حکیمی

هدف آزمایش: محاسبه عدم قطعیت تکانه برای شکاف های متفاوت و تایید اصل عدم قطعیت

تئوری آزمایش : ورنر هایزنبرگ در سال ۱۹۲۵ میلادی با پایه گذاری مکانیک ماتریسی نشان داد که تصورات فیزیک کلاسیک درباره حرکت ذرات در مدارهای دقیق، در مقیاس زیراتمی کاربردی ندارد. در نظریه کوانتومی جدید، رفتار ذرات به جای مسیرهای مشخص، با تبدیل فوری و فرکانس های جهش کوانتومی توصیف می شود که به طور ذاتی از تعیین همزمان مکان و سرعت دقیق الکترون ناتوان است.

هسته اصلی این تئوری، «اصل عدم قطعیت» است. این اصل بیان می کند که نمی توان دو کمیت جفت شده (مانند مکان و تکانه) را همزمان با دقت بی نهایت اندازه گرفت؛ هرچه مکان ذره ای را دقیق تر تعیین کنیم، تکانه (اندازه حرکت) آن با خطای بیشتری همراه خواهد بود و بالعکس. درباره دلیل این پدیده دو تفسیر عمده وجود دارد: دیدگاه اول آن را ناشی از محدودیت های اندازه گیری و اثر خود فرآیند مشاهده بر ذره می داند، اما دیدگاه دوم (مورد تأیید افرادی چون بالنین) تأکید دارد که این عدم قطعیت، ویژگی ذاتی و بنیادین خود طبیعت است، نه صرفاً ضعف ابزارهای ما.

از منظر ریاضیات کوانتومی، ذرات به شکل «بسته های موج» مدل سازی می شوند. برای داشتن مکان دقیق، باید امواج متعددی ترکیب شوند تا یک بسته موج بسیار فشرده شکل بگیرد؛ اما چون هر موج تکانه متفاوتی دارد، تکانه کل سیستم کاملاً نامشخص می شود. در مقابل، موجی که تکانه کاملاً دقیقی دارد، در تمام فضا گسترده است و هیچ مکان مشخصی ندارد.

بنابراین، عمل اندازه گیری همواره باعث فروریزش تابع موج شده و آشفتگی ایجاد می کند. حاصل ضرب خطای مکان و خطای تکانه همواره از یک حد پایه که با ثابت پلانک (h) مرتبط است، بزرگتر یا مساوی است و هرگز صفر نمی شود. این رابطه به صورت زیر بیان می گردد:

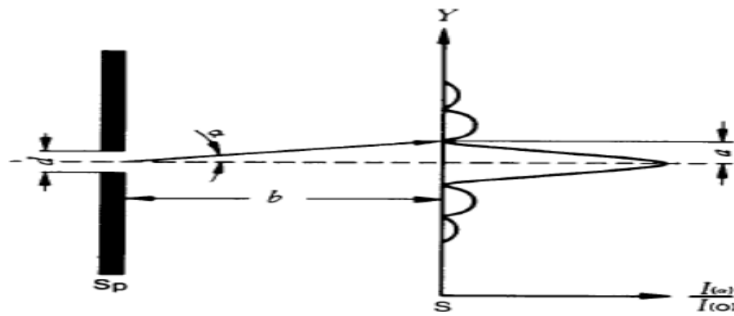
$$\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

شرح آزمایش: فرض کنید پرتویی از فوتون ها به سمت یک تک شکاف با عرض (d) تابانده می شود. در این پیکربندی، میزان عدم قطعیت مکان ذرات در امتداد شکاف، معادل همان پهنای شکاف در نظر گرفته می شود:



$$\Delta y = d$$

پیش از رسیدن به شکاف، مسیر حرکت فوتون‌ها صرفاً در راستای محور X (یعنی عمود بر صفحه شکاف) است؛ اما به محض عبور از درون روزنه، این ذرات مؤلفه حرکتی جدیدی در راستای محور Y نیز پیدا می‌کنند. توزیع احتمال مربوط به مؤلفه سرعت در امتداد Y یعنی v_y با الگوی شدت نوری که بر روی پرده پراش تشکیل می‌شود، مشخص می‌گردد. برای محاسبه و تعریف میزان عدم قطعیت سرعت در این آزمایش، موقعیت اولین نقطه تاریک (نخستین کمینه) در الگوی پراش روی پرده مبنای کار قرار می‌گیرد.



شکل (۲) الگوی پراش برای یک تک شکاف



شکل (۳) مسیر پرتو (a)، مؤلفه های سرعت (b)

داریم :

$$\Delta v_y = c. \sin \alpha_1$$

در نتیجه برای عدم قطعیت تکانه داریم:

$$\Delta p_y = m. c. \sin \alpha_1$$

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

$$\Delta p_y = \frac{h}{\lambda} \sin \alpha_1$$

اگر عرض شکاف d کوچکتر باشد اولین حداقل الگوی پراش در زاویه های بزرگ α_1 رخ میدهد.

$$\tan(\alpha_1) = a/b$$

$$\Delta p_y = \frac{h}{\lambda} \sin(\arctan(a/b))$$

با استفاده از رابطه عدم قطعیت داریم

$$\Delta y \Delta p \geq h/4\pi$$

$$\Delta p_y = \frac{d}{\lambda} \sin(\arctan(a/b)) = 1$$

در گام نخست، عرض شکاف (d) را روی یک اندازه مشخص تنظیم نمایید. سپس با روشن کردن منبع لیزر و هدایت پرتو به سمت تک شکاف، تلاش کنید تا یک الگوی پراش واضح و مطلوب بر روی پرده تشکیل شود. در ادامه، فاصله بین شکاف تا پرده (که با b نشان داده می شود) و همچنین فاصله میان دو کمینه اول (2a) را با دقت اندازه گیری کنید. این مراحل را برای مقادیر گوناگونی از پهنای شکاف و فاصله های مختلف پرده مجدداً انجام داده و در نهایت، داده های به دست آمده را در جدول ۱ وارد نمایید.

d	b	a	$\frac{d}{\lambda} \sin(\arctan(a/b))$	خطا
0.05	80	14.78	1.46	0.46
0.05	100	18.03	1.424	0.424
0.05	120	22.325	1.47	0.47
0.21	80	2.38	1.018	0.018
0.21	100	3.005	0.997	0.003-
0.11	80	4.89	1.062	0.062
0.11	100	6.19	1.076	0.076
0.21	100	3.68	0.997	0.013-
0.11	120	7.465	1.081	0.081