

تداخل امواج نوری

دانستنی ها و تحقیقات نو در
خصوص آزمایش معروف (دو شکاف)

فیزیک دانان با انجام آزمایشات کاملاً جدیدی در خصوص نحوه تداخل امواج نور با استفاده از سه شکاف به جای دو شکاف که آزمایش آن مدت‌ها است شناخته شده است، موفق شده اند تا خواص جدید و ناشناخته ای را در حیطه فیزیک کوانتوم کشف و به دنیای فیزیک عرضه کنند.

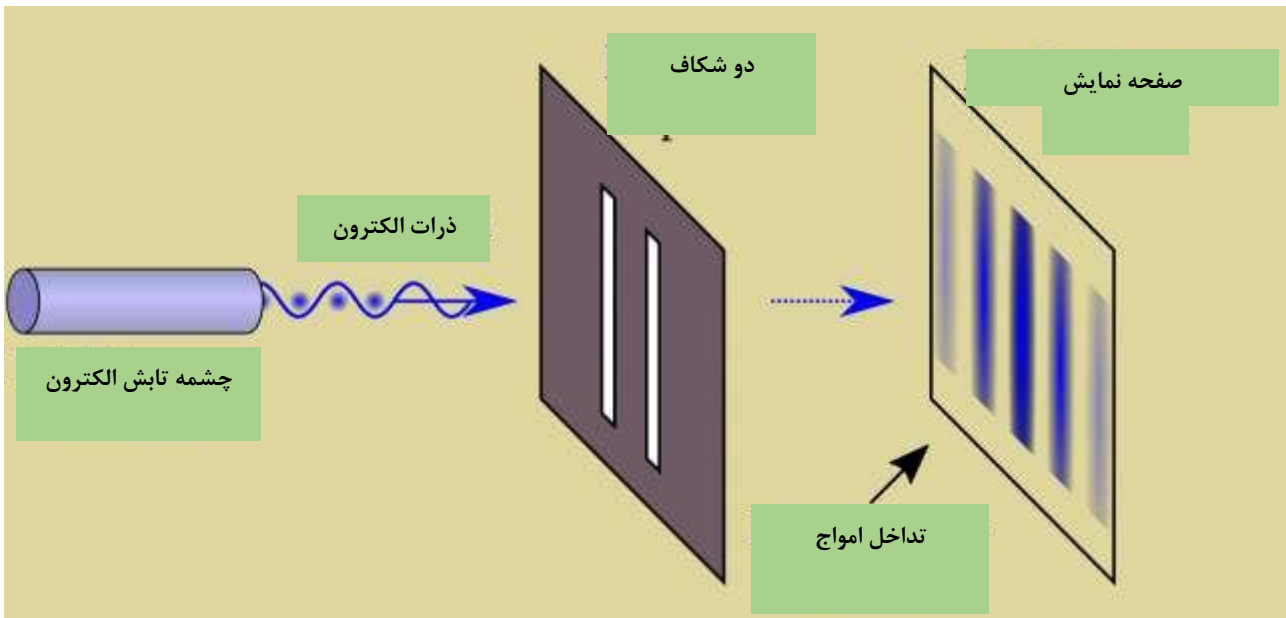
Urbasi Sinha

او یکی از فیزیک دانان سرشناس مرکز تحقیقات "رامان" در هندوستان به شمار رفته و نیز یکی از اعضاء فعال انستیتوی تحقیقات رایانه های کوانتومی در دانشگاه "واترلو" در شهر اونتاریو کانادا می باشد. فراتر از آن او عضو مرکز داده های کوانتومی دانشگاه "تورنتو" در کانادا می باشد. (۲۰۲۳)

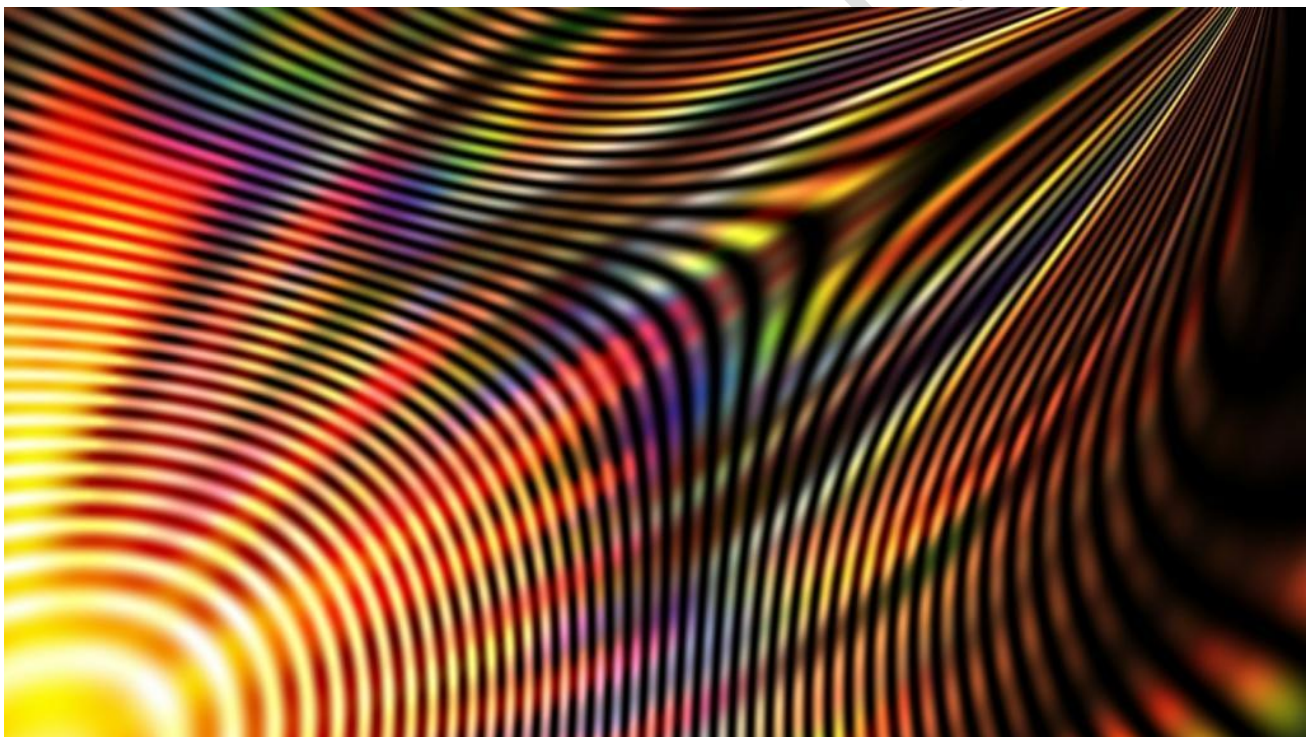
پژوهش و تکمیل: دکتر بهرام پروانه طهرانی

هنگامی که ذرات نور "فوتون" از میان سه شکاف (به جای دو شکاف) عبور داده می شوند، می توان با تجزیه و تحلیل نمودارهای ایجاد شده و بررسی دقیق خصوصیات تداخل امواج، به نکات جدیدی که تا کنون ناشناخته بودند، پی برد.

پروفسور ریچارد فینمن «Richard Feynman» یکی از برندگان شاخص جایزه نوبل در فیزیک نظری و کاربردی، انتظارات قابل توجه ای از پدیده تداخل امواج نور با استفاده از دو شکاف نازک و بررسی نکات ظریف اشکالی که پس از تداخل ایجاد می شدند داشت، به عنوان مثال: او می گفت "این پدیده راز شناخت / سرار کل محدوده فیزیک کوانتوم را در بر دارد". پدیده تداخل موجی دو شکاف برای اولین بار توسط دانشمند و فیزیک دان مشهور انگلیسی آقای توماس یانگ «Thomas Young» در سال ۱۸۰۱ (م) کشف و ابداع شد و در طول آن نور به سوی یک صفحه که در آن دو شکاف نازک جهت عبور نور تعبیه شده است تابیده می شود. پشت صفحه نامبرده صفحه دومی قرار دارد که تصاویر و یا سایه روشنهای نوری که از دو شکاف عبور کرده اند را به نمایش می گزارد. با کمال تعجب یانگ مشاهده کرد که بر روی صفحه نمایش پس از عبور نور، خطوطی عمودی و موازی در کنار یک دیگر (سایه و روشن) به نمایش در آمده است. بر خلاف آنچه که او انتظار داشت (دو خط عمودی روشن با سایه ای در میان آنها)، تعداد فراوانی خطوط موازی تشکیل شده است. این گونه تصاویر (تداخل امواج) فقط زمانی به وجود می آیند که ماده عبور کننده از میان شکاف ها دارای خاصیت موجی باشد (مانند امواج آب). ولیکن تا آن زمان طبق فرضیات متداول باور بر این بود که نور به صورت یک نواخت "ناگسسته" پخش می شود. چندی بعد آقای "آلبرت اینشتین" Albert Einstein این ذرات را فوتون نامید و مطالبی در مورد آنها به انتشار درآورد. معما در آن نهفته بود که تا آن زمان اصل را طبق آخرین تئوری های رایج در آن زمان بر این پایه قرار داده بودند که نور به صورت ناگسسته به صورت بسته هایی از انرژی منتشر می شود. لذا این پرسش مطرح شد که چگونه است که نور هر دو خاصیت انتشار به صورت ذره و هم موج را داشته باشد و این بر خلاف هر



نمادی از آزمایش دو شکاف که توسط یانگ با استفاده از پرتو الکترون ها به جای فوتون های نور انجام شد



تصویر واقعی تداخل امواج

گونه تصویری بود که در آن زمان مطرح بود. بلی در همان زمان ها بود که دنیای فیزیک به لرزه در آمد و فیزیک جدیدی به نام "فیزیک کوانتوم Quantum Physic" که آقای "ماکس پلانک Max Planck" بنیاد آن را گذارده بود، متولد شد.

اساس این شبهه در آن بود که در صورتی که نور یا ذرات بنیادی مانند الکترون ها به صورت امواج منتشر می شوند، لذا جهت انتشار به صورت موج، خواه ناخواه باید عاملی یا واسطه ای (مدیوم) آن را منتقل کند، مانند امواج آب که امواج از طریق آن منتقل می شوند. از جانب دیگر در صورتی که نور به شکل ذرات گسسته دارای انرژی منتقل می شود، دیگر احتیاجی به عاملی منتقل کننده نیست (مانند حرکت یک گلوله تفنگ). پس چگونه ممکن است که ذره ای هر دو مشخصه را در آن واحد داشته باشد. این واقعیت خلاف هر نوع ذهنیت فیزیکی و طبیعت عینی تعبیر می شد، چیزی که دلیل آن حتی تا به امروز نیز برای فیزیک دانان ناشناخته مانده و توجیه آن یکی از معما

همه حقوق این اثر محفوظ است. هرگونه تکثیر، تولید، بازنویسی، انتشار و اقتباس از تمام یا قسمتی از این اثر به هر شیوه از جمله فتوکپی، صوتی، تصویری و الکترونیکی، تنها منوط به اجازه کتبی و قبلی ناشر و نویسنده این اثر است.

های فیزیک کوانتوم به شمار می رود، ولیکن گرچه غیر قابل فهم، اما باید آن را در حال حاضر قبول نمود که نور و ذرات مشابه در آن واحد دارای هر دو مشخصه می باشند.

آزمایشی نسبتاً قدیمی و دانستنی های جدید

با در نظر گرفتن این واقعیت که آزمایش دو شکاف گرچه بسیار ساده قابل محک زدن می باشد، ولیکن از منظر دانش فیزیک کوانتوم به عنوان یکی از شاخص ترین تناقض های طبیعی به شمار می رود. این آزمایش تا کنون در انواع گوناگون با استفاده از ذرات مختلف مانند ذرات بنیادی (الکترون، پروتون، فوتون و غیره) امتحان شده و نتیجه همه آنها چنین است که باید قبول نمود که: ذرات تشکیل دهنده ماده در آن واحد، هم به صورت امواج و هم به صورت ذرات گسسته منتشر شده و دارای مشخصه دوگانه ای هستند! فیزیک دانان این پدیده گیج کننده را "دوگانگی موج-ذره Wave-Particle Dualism" نامگذاری کرده اند. فراتر از آن این پدیده در حیطه جهان کوانتومی نشان می دهد که: ذرات بنیادی قابلیت آن را دارند که در آن واحد حالات مختلف داشته و حتی با تقریب در چند مکان گوناگون مستقر باشند! چه گونه امکان دارد که ذره ای در آن واحد در دو یا چند جا وجود داشته باشد؟ چگونه ممکن است که در آن واحد ذره ای قادر به عبور از هر دو شکاف باشد؟ عقل حکم می کند که ذره باید فقط از یک شکاف عبور کند و نه در آن واحد از هر دو شکاف. چه بسا در صورتی که از یک شکاف عبور کند (آنچه عقلانی است)، باید تصویر روی صفحه نمایش فقط یک خط عمودی را نشان دهد. ولیکن برخلاف انتظار چنین نیست و انگاری یک ذره در آن واحد به تنهایی از هر دو شکاف عبور کرده و تصویری مانند تداخل امواج ناشی از دو منبع را به نمایش گزارده است. بلی چیزی که عقل سلیم فاقد درک آن بوده، ولی اتفاق می افتد!

حال پرسش این است که آیا جهانی که ما در ذهن خود به صورت عینی مشاهده می کنیم واقعی است؟ آیا باید با این ماهیت گیج کننده کنار آمده که دو یا چند جهان گوناگون در ابعاد بزرگ و بسیار کوچک وجود دارند؟ هنوز نمی دانیم!

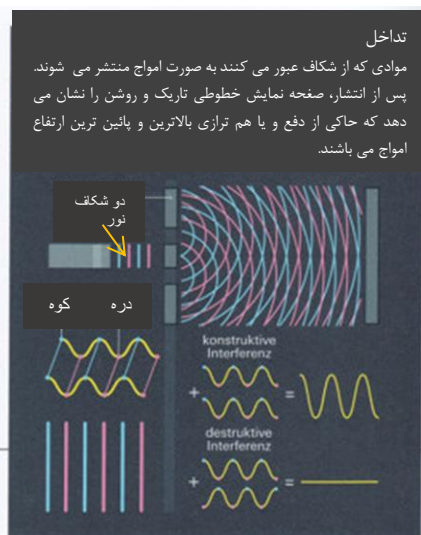
در سال ۲۰۱۸ (م) گروه پژوهشی ما در مرکز تحقیقات رامان در هندوستان اقدام به آزمایش جدیدی نمود. ما در حیطه این آزمایش ذراتی را با فرکانس و انرژی معمول برای ذرات میکرو (فرا ریز) از صفحه ای که به جای دو شکاف دارای سه شکاف بود عبور دادیم. در این مقطع به نظر می آید که این آزمایش و نتایج آن کار ساده ای است، اما آنچه ما به عنوان نتیجه به دست آوردیم نه تنها ساده بلکه حیرت انگیز بود. نتایج آزمایش به ما آموخت تا بتوان تئوری تداخل امواج مربوط به آزمایش دو شکاف را عمیق تر درک کرده و فراتر از آن پارامترها و اطلاعات چگونگی تداخل و پوشش امواج به تصویر کشیده شده را گسترش دهیم.

نتایج به دست آمده را می توان از طریق روش های علم پردازان (ریاضیات) و معادلات امواج به دست آورده که در علم پردازان آن را با حرف یونانی (پسی - Ψ Psi) نمایش می دهند. از طریق چنین معادلاتی می توان در طول آزمایش به صورت آماری و کاملاً احتمالی، موجودیت ذراتی را که در یک حالت خاص قرار دارند محاسبه نمود. نتایج آزمایش سه شکاف چنین بودند: به نظر می آید که فیزیک دانان هنگام محاسبه نتایج در آزمایش دو شکاف که با استناد به معادلات امواج به دست آمده اند، از دقت و تحلیل کافی بر خوردار نبوده و مطلب را خیلی ساده توجیه می کنند.

در آزمایش معمول دو شکاف، برای شکاف (A) و شکاف (B) در حالی که ذره ای از یکی از این شکاف ها عبور می کند و شکاف دیگر بسته است، می توان در این حالت نتیجه معادله موج مربوط به هر شکاف را برای شکاف اول (Ψa) و برای شکاف دوم (Ψb) به سادگی محاسبه کرد. حال در صورتی که هر دو شکاف باز باشند، عادت معمول متخصصین بر این است که نتیجه معادلات امواج برای دو شکاف باز را با یک دیگر جمع می کنند مانند $(\Psi a) + (\Psi b)$ ، در صورتی که استفاده از این روش جمع کردن نتایج، روشی اشتباه در محاسبه تداخل امواج بوده و نتایج را مختل می کند. گرچه این روش تا در صد بالایی نتایج نسبی قابل قبولی را ارائه می دهد، ولیکن نتایج محاسبات واقعی و دقیق مقایسه میان یک یا دو شکاف باز بسیار با یک دیگر متفاوت است. چه بسا بالاخره طبق قوانین و داده های گیج کننده فیزیک کوانتوم امکان عبور ذرات از هر دو شکاف ممکن است و روش جمع نمودن نتایج طبق آنچه که در بالا عنوان شد منجر به توصیف و نتایج غلط تداخل امواج (در حالت دو شکاف باز) می گردد و واقعیت فیزیکی را بازگو نمی کند.

چگونه دو تبدیل به سه می شود

آزمایش دو شکاف نمادی اصلی از پیچیدگی فیزیک کوانتوم را نمایش می دهد: دو گانگی موج-ذره می گوید که نور و ماده همزمان در هر دو حالت به صورت موج و ذره (ناگسسته) انتشار می یابند و فراتر از آن در تداخل با یکدیگر می توانند در آن واحد هم در اینجا باشند و هم در جای دیگر. حال با انجام آزمایش با سه شکاف واقعیت های جدیدی برای فیزیک دانان بر ملا شده است.



بدیهی است که فیزیک دانان مدتی است که به این واقعیت پی برده اند که با احتمال بالا می توان محاسبه تداخل امواج در آزمایش دو شکاف را دقیقتر و واقعی تر توجیح کنند، به نحوی که نظرات یکی از فیزیک دانان آمریکایی به نام "رافائل زورکین" - **Rafael Sorkin** و پارامتری را که او در اثر تحقیقات خود در سال ۱۹۹۴ (م) به دست آورده است را وارد محاسبات تداخل امواج نمودند. این فاکتور به نام (پارامتر زورکین) نامیده می شود. با این وجود هنوز محققینی هستند که می گویند حتی با در نظر گرفتن پارامتر زورکین تفاوت ها در دقت محاسبه و توجیح معادلات تداخل امواج بسیار ناچیز هستند که می توان از آن صرفنظر نمود، چه بسا در صورتی که تفاوت ها ارقام بزرگتری را نشان می دادند، به طور حتم فیزیک دانان متوجه آن می شدند. در مقابل، آزمایشات گروه ما با استفاده از سه شکاف نشان داد که اینطور نیست و در توجیح تداخل امواج نمی توان پارامتر زورکین را کاملاً کنار گذاشت و از آن صرفنظر نمود. کار تحقیقاتی گروه ما ثابت کرد که در آزمایش فوق با استفاده از سه یا چند شکاف به جای فقط دو شکاف، می توان به مراتب نتایج دقیق تری را بدست آورد و احتمال اشتباه در محاسبه و تفسیر تداخل امواج را با درصد بالایی تنزل داد.

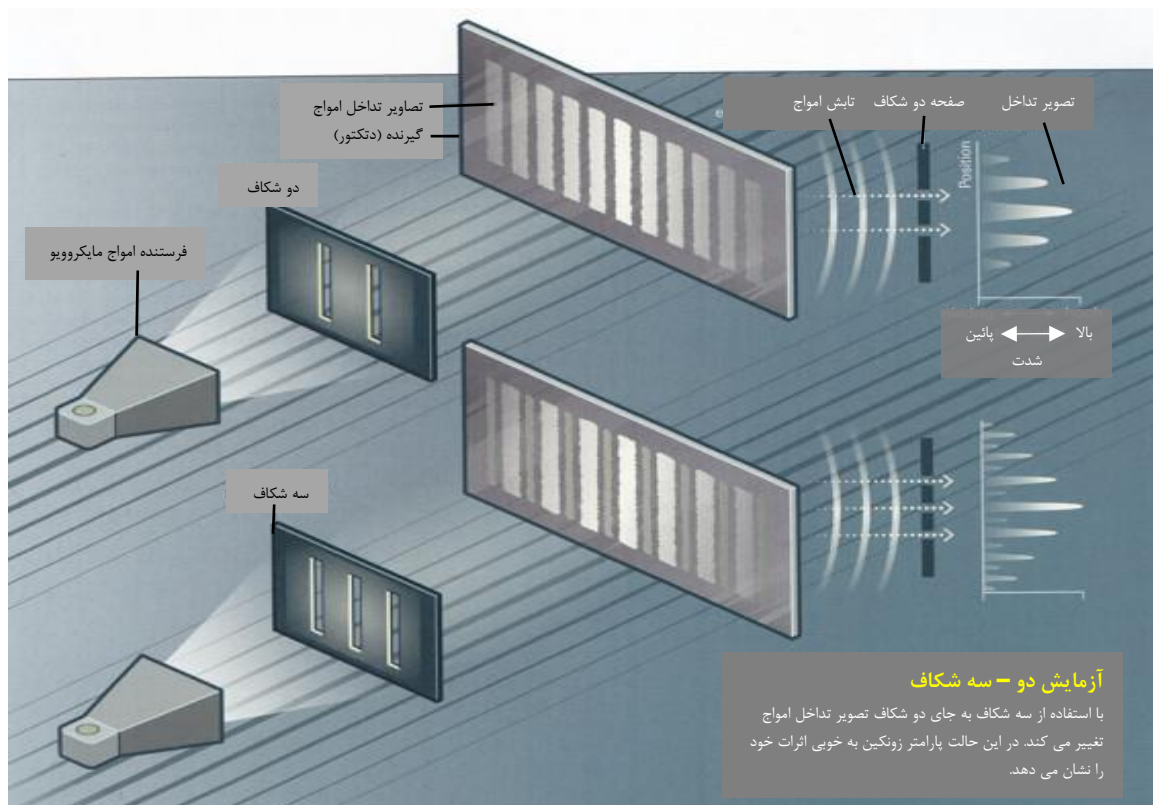
تکنولوژی پیشرفته در گندم زار (High-tech in Cornfield)

ده ها سال است که من بر روی آزمایش سه شکاف کار می کنم. به خوبی به یاد دارم که در سال ۲۰۱۰ (م) گروه ما با همکاری دانشگاه واترلو و دانشگاه اینسبروک در آلمان و دانشگاه های دیگر محور آزمایشات خود را با استفاده از نور مادون قرمز گزاردیم و نتایج را در ژورنال های علمی مانند مجله ساینس (**science Magazine**) به چاپ رساندیم.

ولیکن در طول آزمایشات با نور مادون قرمز، در قیاس آنچه تا آن زمان معمول بود، نتایج بهتری عایدمان نشد. لذا در سال ۲۰۱۴ (م) جهت آزمایشات را تغییر داده و به جای نور مادون قرمز از امواج مایکرو ویو (**Microwave**) استفاده کردیم. پس از بررسی نتایج و محاسبات متوجه شدیم که بر خلاف سابق، هنگام استفاده از امواج الکترو مغناطیسی با طول موج بسیار کم، ناگهان پارامتر زورکین قابل اندازه گیری می شود و لذا واقعیتی است که نمی توان از آن صرفنظر نمود.

جهت انجام آزمایشات با امواج مایکروویو زمینی واقع در یک گندم زار را انتخاب نمودیم. دلیل این انتخاب این است که بوته های گندم یا ذرت کلیه امواج مایکروویو را که به صورت طبیعی در محیط وجود دارند جذب کرده و از هرگونه اختلال و اعوجاج در نتایج دقیق آزمایشات جلوگیری می کنند. در اطراف ما هیچگونه دستگاه الکتریکی و یا دیواری که امواج را بازتاب نموده یا مختل کنند وجود نداشت. به جز آن منطقه انتخاب شده درون یک حوضه خنثی امواج ماکروویو تلفن همراه قرار داشت. بدین ترتیب همه پیش شرط های لازم جهت انجام آزمایش با دقت زیاد در اختیار ما قرار داشت.

جهت تولید امواج مایکروویو با تواتر های گوناگون از دو آنتن شیپوری شکل استفاده کرده که میان آنها یک صفحه بزرگ با سه شکاف با عرض ۱۰ سانتیمتر تعبیه شده بود قرار داشت. گیرنده یا دکتور امواج ارسالی را بر روی یک ریل متحرک قرار دادیم تا بتوان در فواصل مختلف تداخل امواج و تغییرات احتمالی آنها را پس از عبور از سه شکاف اندازه گیری کنیم. نتایج آزمایشات همه افراد گروه را متعجب نمود، چه بسا نتایج به دست آمده مانند آنچه تا آن زمان تفسیر می شد مجموعه ای از $(\Psi a) + (\Psi b)$ نبود و اکنون پارامتر زورکین خود را نشان داده و دقت نتایج و داده ها را به مقدار زیادی افزایش می داد.



در طول آزمایشات جهت جلوگیری و تنزل هرگونه اشتباهات اندازه گیری و حصول اطمینان از آنچه نتیجه گیری و بدست آمده بود، گروه ما اقدام به پوشاندن فواصل میان شکاف ها با استفاده از مواد مختلف نمود. هدف از این کار این بود که از هرگونه نفوذ ذرات فوتون از شکافی به شکاف دیگر جلوگیری نماییم. همه با تعجب مشاهده می کردیم، که هرچه پوشش و مانع میان شکاف ها بزرگتر یا کوچکتر بودند، به همان نحو پارامتر زورکین نیز تغییر می کرد و نشان می داد که اثرات پارامتر زورکین تا چه میزانی نفوذ و یا پرش ذرات، از شکافی به شکاف دیگر (**Interaction of particles**) را تحت تاثیر قرار می دهد. گروه ما بالاخره ثابت کرد که برخلاف نظرات جاری فیزیک دانان، صرفنظر نمودن از پارامتر تصحیح کننده زورکین اشتباه محض بوده و باید در تفسیر آزمایش دو یا چند شکاف مد نظر قرار گیرد. بلی این نیز زلزله ای بود که اساس فیزیک کوانتوم را به تکان درآورد و همان جمله ای است که یکی از نوابغ فیزیک کوانتوم در گذشته، آقای «Richard Feynman» از آن یاد کرده بود: "این پدیده راز شناخت اسرار کل محدوده فیزیک کوانتوم را در بر دارد".

نتیجه گیری

نتایج به دست آمده روند بررسی جهان بیرونی مانند سحابی ها و کهکشانها و سیاه چاله ها و بسیاری دیگر را تحت تاثیر قرار خواهد داد، به نحوی که محققین قادر به شناخت و فهم بسیار دقیق تر راز هستی و گسترش مدل های دقیق آفرینش و خلق جهان گردند.

پژوهش و تکمیل: دکتر بهرام پروانه طهرانی