

فیزیکدان ها درهم تنیدگی بیت دو حالته و سه حالته  
کوانتومی را نشان می دهند.

امیسا ناطق

۱۳۸۷/۱/۲۶

## ۱.۰ چکیده

برای نخستین بار، فیزیکدان ها یک بیت دو حالته کوانتومی<sup>۱</sup> را با یک بیت سه حالته کوانتومی<sup>۲</sup> درهم تنیدند - حالت سه بعدی یک بیت دو حالته کوانتومی دو بعدی. ترکیب بیت دو حالته کوانتومی - بیت سه حالته کوانتومی توانست باعث بهتر شدن و مزایایی در محاسبات کوانتومی شود؛ مانند افزایش امنیت و بازدهی بیشترگیت های کوانتومی، همچنین آزمایشات جدیدی در مکانیک کوانتومی را مقدور ساخت.

## ۲.۰ مقدمه

محققان بسیاری به دنبال امکان های درهم تنیدن یک بیت دو حالته کوانتومی و یک بیت سه حالته کوانتومی بوده اند، با امید به اینکه بتوانند ابزارهای مفید و ارزشمندی برای بهبود محاسبات کوانتومی و کشف پدیده های کوانتومی جدید ایجاد کنند. محققان همچنین در چند مورد کار خود را گسترش داده اند. برای مثال توانستند از یک زوج از حالت های درهم تنیده شده بیت دو حالته کوانتومی - بیت سه حالته کوانتومی برای ایجاد درهم تنیدن بیت سه حالته کوانتومی - بیت سه حالته کوانتومی استفاده کنند که ابتدا به درهم تنیدن دو بیت دو حالته کوانتومی نیاز دارد. در این مقاله برای درک بیشتر مطالب نیازمند چند تعریف هستیم که به طور مختصر در زیر به شرح آنها پرداختیم:

فوتون: نور در بسته های انرژی منتقل می شود، هر بسته را یک فوتون می گویند. یعنی فوتون کوچکترین واحد انتقال انرژی (کوانتای نور) می باشد.

جفت فوتون: دو فوتون درهم تنیده را جفت فوتون می گویند. یعنی دو فوتونی که حالت آنها دقیقاً مشخص نیست و به صورت ترکیب خطی از پایه های فضا می باشد.

qubit Qubit = quantum bit واحد اطلاعات کوانتومی است<sup>۳</sup>.

اطلاعات با یک بردار حالت<sup>۴</sup> در یک سیستم مکانیک کوانتومی دو سطحی که معادل فضای برداری دو بعدی روی اعداد مختلط است، توصیف می شوند.

Qutrit: یک واحد اطلاعات کوانتومی است. یک حالت کوانتومی با نمایش زیر:

$$(\alpha | 0 \rangle + \beta | 1 \rangle + \gamma | 2 \rangle) \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2}} \quad (1)$$

همان طور که بیت دو حالته کوانتومی قابل مقایسه (متناظر) با بیت (۰ و ۱، ارقام مبنای ۲، بیت دو حالته) کلاسیک است، بیت سه حالته کوانتومی قابل مقایسه (متناظر) با بیت سه حالته

qubit<sup>۱</sup>  
qutrit<sup>۲</sup>  
quantum information<sup>۳</sup>  
state vector<sup>۴</sup>

(<sup>۵</sup> و <sup>۱</sup> و <sup>۲</sup>، ارقام مبنای ۳) است، بیت سه حالته کوانتومی یک سیستم سه سطحی با سه حات پایه <sup>۵</sup> و <sup>۱</sup> و <sup>۲</sup> می باشد. تفاوت بیت دو حالته کوانتومی با بیت دو حالته و یا تفاوت بیت سه حالته کوانتومی با بیت سه حالته در این است که بیت دو حالته <sup>۵</sup> و <sup>۱</sup> است ولی بیت دو حالته کوانتومی <sup>۵</sup> و <sup>۱</sup> و درهم نهی آنها هم هست. بیت سه حالته <sup>۵</sup> و <sup>۱</sup> و <sup>۲</sup> است ولی بیت سه حالته کوانتومی <sup>۵</sup> و <sup>۱</sup> و <sup>۲</sup> و درهم نهی آنها هم هست.

میدان الکتریکی نوری :

$$E = E_{ox} \hat{x} \cos(\omega t - kx) + E_{oy} \hat{y} \sin(\omega t - kx) \quad (2)$$

پلاریزه کننده، میدان بالا در یک جهت را حفظ می کند و میدان در جهت دیگر را حذف می کند.

superposition qutrit: هر بیت سه حالته کوانتومی در حالتی است که ترکیب خطی بردارهای <sup>۵</sup> و <sup>۱</sup> و <sup>۲</sup> می باشد هنگامی که روی آن اندازه گیری انجام می هیم، در یکی از این حالت ها قرار می گیرد و در واقع بیت سه حالته کوانتومی از حالت برهم نهی خارج می شود و در یک حالت مشخص قرار می گیرد.

Quantum Entanglement: یک پدیده مکانیک کوانتومی است که در آن حالت های کوانتومی دو یا تعداد بیشتری شیء باید با ارجاع به یکدیگر توصیف شود حتی اگر اشیاء مجزا از نظر مکانی جدا از یکدیگر باشند. این کار باعث ارتباط و وابستگی بین ویژگی های فیزیکی قابل مشاهده سیستم ها می شود.

Boson: در فیزیک ذره ای، بوزون<sup>۵</sup> ها ذراتی با چرخش عدد حسابی<sup>۶</sup> هستند بر خلاف فرمیون<sup>۷</sup> ها که half-integer spin دارند.

## ۳.۰ ترجمه مقاله

تیم تحقیقاتی متشکل از فیزیکدان هایی از دانشگاه کوینزلند<sup>۸</sup>، دانشگاه بیرینگتون<sup>۹</sup> و دانشگاه واترلو<sup>۱۰</sup> نتایج خود را در آخرین شماره Physical Review Letters منتشر کرده اند. محققان توسط جفت فوتون ها<sup>۱۱</sup>، بیت های سه حالته کوانتومی را ساختند که حاصل، بیت های سه حالته کوانتومی دو-فوتونی شد، سپس این بیت های سه حالته کوانتومی را با بیت

---

<sup>۵</sup> Boson  
<sup>۶</sup> integer  
<sup>۷</sup> Fermion  
<sup>۸</sup> Queensland  
<sup>۹</sup> Bristol  
<sup>۱۰</sup> Waterloo  
<sup>۱۱</sup> biphotons

های دو حالته کوانتومی ساخته شده از یک فوتون<sup>۱۲</sup> توسط ترکیبی از وسایل و اندازه گیری های اپتیکی؛ درهم تنیده کردند. بیت سه حالته کوانتومی، همان طور که به نظر می رسد، یک اطلاعات کوانتومی است که مشابه با بیت های سه حالته کلاسیک می باشد. به علت طبیعت کوانتوم مکانیکی بیت سه حالته کوانتومی، بیت سه حالته کوانتومی می تواند دربر هم نهی<sup>۱۳</sup> سه حالت پایه اش وجود داشته باشد، همان طور که بیت دو حالته کوانتومی می تواند دربر هم نهی<sup>۱۴</sup> دو حالتش وجود داشته باشد. به علت طبیعت سه بعدی بیت سه حالته کوانتومی، بیت سه حالته کوانتومی می تواند حامل اطلاعات بسیار بیشتری از بیت دو حالته کوانتومی باشد (با یک رشته  $n$  - تایی از بیت های کلاسیک  $۱^n$  حالت، با یک رشته  $n$  - تایی از بیت دو حالته کوانتومی  $۲^n$  حالت و با یک رشته  $n$  - تایی از بیت سه حالته کوانتومی  $۳^n$  حالت می توان ایجاد کرد). محققان بسیاری به دنبال امکان های درهم تنیدن یک بیت دو حالته کوانتومی و یک بیت سه حالته کوانتومی بوده اند، با امید به اینکه بتوانند ابزارهای مفید و ارزشمندی برای بهبود محاسبات کوانتومی و کشف پدیده های کوانتومی جدید ایجاد کنند. اکنون نتایج نویسنده، چنین طرح های پیشنهادی تئوری را عملاً قابل آزمایش کرده است. نویسنده دیگر بنجامین لنیون<sup>۱۵</sup> از دانشگاه کوپنرلند<sup>۱۶</sup> به PhysOrg.com گفت: «از نظر من، قسمت عمده مقاله ما درباره این است که چگونه درهم تنیدن سیستم ها به یک بیت دو حالته کوانتومی، یک روش عالی برای اداره کردن سیستم هاست.» «در مثال ما، ما از این تکنیک (روش) استفاده می کنیم تا گستره تبدیلات روی بیت های سه حالته کوانتومی را به طور قابل توجهی افزایش دهیم - این حامل های اطلاعات کوانتومی در ابعاد بالا مزایای بسیاری دارند، اما از طرف دیگر؛ کار کردن با آن ها واقعاً مشکل است.» در مطالعات آنها، محققان نشان می دهند که درهم تنیدن بیت دو حالته کوانتومی - بیت سه حالته کوانتومی، منبع مفیدی برای پرداختن به بیت های سه حالته کوانتومی است که کار کردن با آن ها مشکل است. دانشمندان یک پلاریزه کننده غیرخطی بیت سه حالته کوانتومی ساخته اند که شامل ایجاد درهم تنیدن و اندازه گیری تخریب کننده بیت دو حالته کوانتومی است. نتیجه بدست آمده این است که یک حالت خاص بیت دو حالته کوانتومی را به طور موقت از بر هم نهی بیت های سه حالته کوانتومی جدا می کند. لنیون توضیح می دهد که این یک نمونه از (MINL) غیرخطی کردن توسط اندازه گیری<sup>۱۷</sup>، که به عنوان یک ابزار بسیار قدرتمند برای کار با بیت های دو حالته کوانتومی و پیاده سازی یک کامپیوتر کوانتومی نوری شناخته شده است. لنیون گفت: «اندازه گیری ها در خروجی مدارهای نوری که تنها از اجزای خطی (مانند شکافنده های نوری، شیفتر

<sup>۱۲</sup> photonic qubit

<sup>۱۳</sup> superposition

<sup>۱۴</sup> superposition

<sup>۱۵</sup> Benjamin Lanyon

<sup>۱۶</sup> Queensland

<sup>۱۷</sup> measurement-induced nonlinearity

دهنده های فازی و آینه ها) ساخته شده اند، می تواند منجر به غیرخطی شدن میدان نوری ورودی شود. یعنی در همه موارد به نظر می رسد فوتون ها روی یکدیگر تاثیر می گذارند.» این شگفت آور است، زیرا فوتون ها ذاتاً در این سیستم ها روی هم اثری ندارند، این اثر غیرخطی شدن توسط اندازه گیری (MINL) نامیده می شود. در رابطه با تحقیق ما، MINL باعث تکامل (تغییر) غیرخطی لازم برای ایجاد درهم تنیدن و حذف یک حالت منطقی از یک برهم نهی بیت سه حالت کوانتومی می شود.

او همچنین یک توضیح تصویری ارائه داد. او گفت: «در نظر بگیرید چند مسیر متفاوت برای اینکه فوتون ها بتوانند در مدار نوری از آن ها عبور کنند وجود داشته باشد.» «همانند آزمایش شکاف دوتایی با الکترون ها، فوتون ها یکباره در همه مسیرها حرکت می کنند، و در خروجی منجر به یک برهم نهی بزرگ می شود. اکنون یک اندازه گیری از تمام (یا بخشی از) حالت خروجی انجام می دهیم. نتایج خاص به این معنی است که از مسیرهای خاصی استفاده نشده است – و بنابراین از این طریق می توانیم از این مسیرها صرف نظر کنیم، به شرط داشتن اندازه گیری های معین. اندازه گیری های خیلی دقیق تر می توانند پیشینه مسیرهایی که منجر به درهم تنیدگی شده اند را تعیین کنند.» محققان همچنین در چند مورد کار خود را گسترش داده اند. برای مثال توانستند از یک زوج از حالت های درهم تنیده شده بیت دو حالت کوانتومی – بیت سه حالت کوانتومی برای ایجاد درهم تنیدن بیت سه حالت کوانتومی – بیت سه حالت کوانتومی استفاده کنند که ابتدا به درهم تنیدن دو بیت دو حالت کوانتومی نیاز دارد. منابع تک فوتونی باروشنایی بالا که در حال حاضر در حال پیدایش هستند، به این نوع آزمایشات در آینده کمک می کنند. محققان همچنین پیشنهاد داده اند که استفاده از MINL ها به عنوان یک روش پیاده سازی تنها محدود به فوتون ها نیست، بلکه می تواند برای هر نوع حامل اطلاعات کوانتومی بوزونیک<sup>۱۸</sup> به کار رود. دانشمندان پیش بینی می کنند، درهم تنیدن در ابعاد بالاتر موارد کاربردی از قبیل بهینه سازی امنیت در سیستم های اطلاعات کوانتومی و افزایش ظرفیت کانال در مخابرات کوانتومی دارند.

---

bosonic<sup>۱۸</sup>

# کتاب نامه

[1] [www.physorg.com](http://www.physorg.com)

[2] <http://en.wikipedia.org>