

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی برق

بررسی مبانی مخابرات کوانتومی و دستاوردهای آن

سمینار درس کوانتوم الکترونیک

استاد :

آقای دکتر محمدنژاد

دی ماه ۱۳۹۴



آن چه در این سمینار خواهید دید:





رشد گسترده‌ی تحقیقات در زمینه‌ی نیمه‌هادی‌ها حاصل پیشرفت‌های قابل توجه در ساخت نانوساختارهایی مانند چاه‌ها، سیم‌ها و نقطه‌های کوانتومی بوده است.

توجه به اسپینترونیک در سال‌های اخیر



استفاده از خواص اسپین به جای بار الکترون برای انتقال اطلاعات

ساخت ادوات اسپینترونیکی بسیار کوچکتر و نیرومندتر از تراشه‌های سیلیکونی جدید



طول همدوسی و زمان همدوسی اسپینی بسیار بزرگتر از طول و زمان همدوسی بار در ادوات مبتنی بر بار الکترون است.

فرار نبودن اطلاعات

توان مصرفی کم‌تر

پردازش اطلاعات با سرعت بیشتر

مزایا

2/25

مقدمه

اطلاعات کوانتومی مبانی مخابرات کوانتومی تله‌پورت کردن و فرآیند مخابرات کوانتومی مخابرات کوانتومی راه گیرنده و فرستنده مخابرات کوانتومی ساختار نوین



- ✓ اسپین خاصیت ذاتی الکترون است و همتا و معادل کلاسیک ندارد.
- ✓ یک پدیده‌ی کوانتومی منحصر به فرد است.
- ✓ مقدار آن ثابت و مستقل از جرم الکترون و سرعت زاویه‌ای است.

یکی از کاربردهای اصلی اسپین در مخابرات کوانتومی است.

مخابرات کوانتومی: ← انتقال حالت کوانتومی از یک نقطه به نقطه‌ی دیگر

اطلاعاتی که باید مخابره شوند، روی فوتون‌هایی سوار می‌شوند که می‌توانند هم در فضای آزاد و هم از طریق فیبرهای نوری کم تلفات ارسال شوند.

پردازش اطلاعات کوانتومی با پردازش اطلاعات کلاسیک متفاوت است، زیرا در حالت کوانتومی باید همدوسی کوانتومی در ذخیره‌سازی و پردازش اطلاعات حفظ شود.



تفاوت اساسی مخابرات کوانتومی در مقایسه با مخابرات کلاسیک نوع اطلاعات مخابره شونده است.

حالات کوانتومی قابل استفاده در مخابرات کوانتومی ← اسپین الکترون و پلاریزاسیون فوتون

در گیرنده و فرستنده سیستم مخابرات کوانتومی نیازمند پردازش اطلاعات کوانتومی هستیم



متناظر با حالت کلاسیک در پردازش اطلاعات کوانتومی نیز بیت‌ها و گیت‌های کوانتومی تعریف می‌شوند.



کیوبیت و تعبیر هندسی آن

پلاریزاسیون فوتون به عنوان کیوبیت

گیت‌های کوانتومی

یک کمیت دو حالتی دارای رفتار کوانتومی

کیوبیت

حالات ممکن

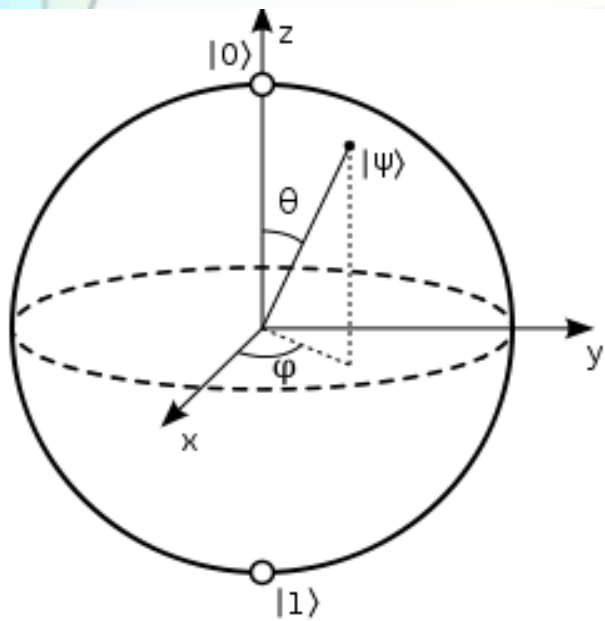
$|0\rangle$ و $|1\rangle$

اختلاف با بیت کلاسیک امکان شکل‌گیری ترکیب خطی از حالت‌ها به شکل $\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$

α و β نمایان‌گر احتمال وقوع حالت‌ها هستند و $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$

به صورت هندسی، حالت یک کیوبیت یک بردار در یک فضای دوبعدی اعداد مختلط است

قبل از اندازه‌گیری حالت، کیوبیت در هر دو حالت قرار دارد و به محض اندازه‌گیری، به یکی از دو حالت سقوط می‌کند.



حالات یک کیوبیت روی کره بلوخ

$$|\psi\rangle = \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)|0\rangle + \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)e^{j\phi}|1\rangle$$

حالت کلی برای یک کیوبیت

5/25

مقدمه

اطلاعات کوانتومی

مبانی مخابرات کوانتومی

تله‌پورت کردن و فرآیند مخابرات کوانتومی

مخابرات کوانتومی راه دور

گیرنده و فرستنده مخابرات کوانتومی

ساختار نوین



کیوبیت و تعبیر هندسی آن

پلاریزاسیون فوتون به عنوان کیوبیت

گیت‌های کوانتومی

در مخابرات کوانتومی از پلاریزاسیون فوتون به عنوان کیوبیت استفاده می‌شود

$$\begin{aligned} |0\rangle &\rightarrow |H\rangle \\ |1\rangle &\rightarrow |V\rangle \end{aligned}$$



تحقق کیوبیت با استفاده از پلاریزاسیون فوتون

$|H\rangle$ و $|V\rangle$ حالات فوتون برای پلاریزاسیون افقی و عمودی

نام پلاریزاسیون	حالت پلاریزاسیون	حالت کیوبیت
پلاریزاسیون خطی افقی	$ H\rangle$	$ 0\rangle$
پلاریزاسیون خطی عمودی	$ V\rangle$	$ 1\rangle$
پلاریزاسیون خطی $+45^\circ$ یا 225° درجه	$\frac{1}{\sqrt{2}}(H\rangle + V\rangle) = 45^\circ\rangle = 225^\circ\rangle$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle + 1\rangle)$
پلاریزاسیون خطی -45° یا 135° درجه	$\frac{1}{\sqrt{2}}(H\rangle - V\rangle) = -45^\circ\rangle = 135^\circ\rangle$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle - 1\rangle)$
پلاریزاسیون دایروی چپ‌گرد	$\frac{1}{\sqrt{2}}(H\rangle + i V\rangle) = L\rangle$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle + i 1\rangle)$
پلاریزاسیون دایروی راست‌گرد	$\frac{1}{\sqrt{2}}(H\rangle - i V\rangle) = R\rangle$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle - i 1\rangle)$

حالات پلاریزاسیونی مختلف

6/25



کیوبیت و تعبیر هندسی آن

پلاریزاسیون فوتون به عنوان کیوبیت

گیت‌های کوانتومی

گیت منطقی کلاسیک دستگاهی محاسباتی است که دارای تعداد معینی ورودی و خروجی بوده و محاسبه‌ای معین را در مدت زمانی معین و مستقل از ورودی انجام می‌دهد.

گیت کوانتومی مانند گیت کلاسیک است، با این تفاوت که ورودی و خروجی آن می‌توانند حالت درهم‌نهی از حالت‌های پایه‌ی محاسباتی را نیز اختیار کنند.

گیت کوانتومی یک عملگر تحول زمانی است که یک حالت کوانتومی را در مدت زمانی معین به وسیله‌ی نگاشتی یک به یک به حالت کوانتومی دیگری تبدیل می‌کند و توسط عملگر یکانی U در فضای برداری کیوبیت‌ها توصیف می‌شود.

نگاشت یک به یک ← عملیات برگشت‌پذیر ← تعیین کردن حالت ورودی با در دست داشتن حالت خروجی

اتلاف ناچیز توان و استفاده در کاربردهای با مصرف پایین

استفاده در کاربردهای نیازمند انجام محاسبات، بدون پاک شدن اطلاعات اولیه

مزایای مدارات برگشت‌پذیر

7/25

مقدمه

اطلاعات کوانتومی

مبانی مخابرات کوانتومی

تله‌پورت کردن و فرآیند مخابرات کوانتومی

مخابرات کوانتومی راه دور

گیرنده و فرستنده مخابرات کوانتومی

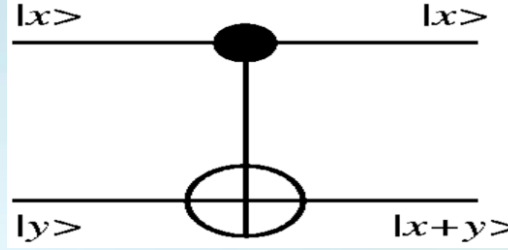
ساختار نوین



کیوبیت و تعبیر هندسی آن

پلاریزاسیون فوتون به عنوان کیوبیت

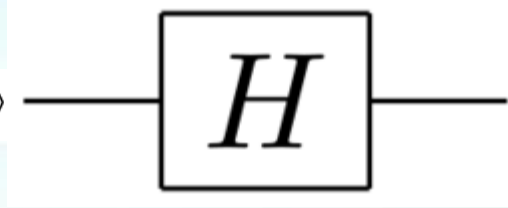
گیت‌های کوانتومی



$$CNOT = \begin{cases} |00\rangle \rightarrow |00\rangle \\ |01\rangle \rightarrow |01\rangle \\ |10\rangle \rightarrow |11\rangle \\ |11\rangle \rightarrow |10\rangle \end{cases}$$

گیت CNOT

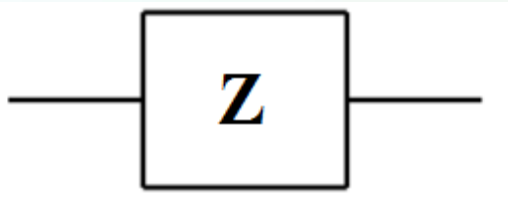
$$\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$



$$|H\rangle = \begin{cases} |0\rangle \rightarrow \frac{(|0\rangle + |1\rangle)}{\sqrt{2}} \\ |1\rangle \rightarrow \frac{(|0\rangle - |1\rangle)}{\sqrt{2}} \end{cases}$$

گیت هادامارد

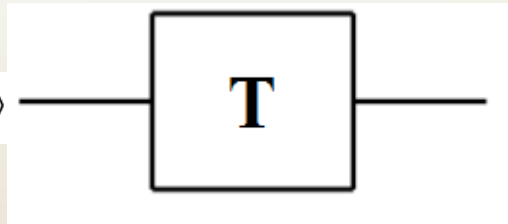
$$\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$



$$Z = \begin{cases} |0\rangle \rightarrow |0\rangle \\ |1\rangle \rightarrow -|1\rangle \end{cases}$$

گیت انتقال فاز

$$\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$



$$T = \begin{cases} |0\rangle \rightarrow e^{i\alpha} |0\rangle \\ |1\rangle \rightarrow e^{-i\alpha} |1\rangle \end{cases}$$

گیت چرخش

8/25

ساختار نوین

گیرنده و فرستنده
مخابرات کوانتومی

مخابرات کوانتومی راه
دور

تلهپورت کردن و فرآیند
مخابرات کوانتومی

مبانی مخابرات
کوانتومی

اطلاعات کوانتومی

مقدمه



درهم تنیدگی کوانتومی

مدل ریاضی درهم تنیدگی کوانتومی

ناهمدوسی

آزمایش EPR

دو سیستم کوانتومی نظیر دو فوتون در یک محیط ایزوله و مجزا از تاثیرات بیرونی با هم اندرکنش انجام می دهند و سپس از هم دور می شوند.

تا زمانی که این دو فوتون در شرایط انزوا از محیط بیرون باقی بمانند، هر اندازه هم که فاصله میان آن دو زیاد باشد باز هم یک سیستم واحد به شمار می آیند.

ویژگی های آزمایش EPR

هر اصلاح یا تغییری که به ذره شماره ۱ اعمال شود، زوج آن یعنی ذره شماره ۲ نیز دچار آن تغییرات می شود.

تغییرات ذره ۲ که ناشی از تغییرات اعمال شده به ذره ۱ است، وابسته به فاصله میان آنها نیست.

ذره ۲ به طور همزمان تغییرات ذره ۱ را حس می کند.

9/25

مقدمه

اطلاعات کوانتومی

مبانی مخابرات کوانتومی

تله پورت کردن و فرآیند مخابرات کوانتومی

مخابرات کوانتومی راه دور

گیرنده و فرستنده مخابرات کوانتومی

ساختار نوین



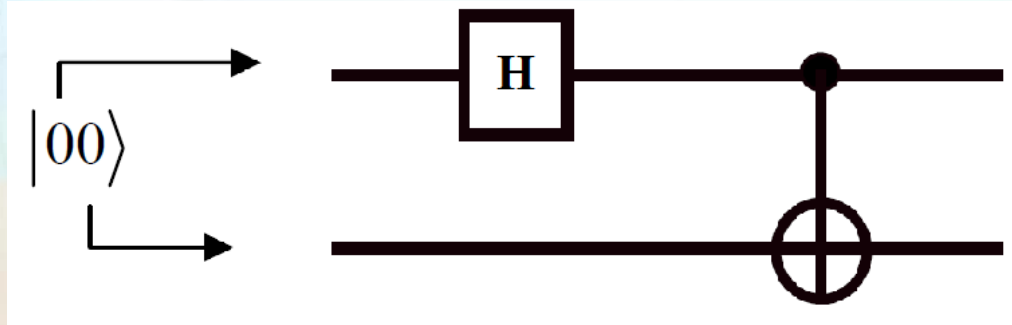
درهم تنیدگی کوانتومی

مدل ریاضی درهم تنیدگی کوانتومی

ناهمدوسی

مدل ریاضی یک زوج فوتون درهم تنیده با استفاده از گیت های کوانتومی

مدار کوانتومی با سری کردن گیت هادامارد و گیت CNOT



مدار کوانتومی تولید کننده ی زوج EPR

$$\begin{aligned} |00\rangle &\rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}} (|00\rangle + |11\rangle) = |\Phi^+\rangle; \\ |01\rangle &\rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}} (|01\rangle + |10\rangle) = |\Psi^+\rangle; \\ |10\rangle &\rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}} (|00\rangle - |11\rangle) = |\Phi^-\rangle; \\ |11\rangle &\rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}} (|01\rangle - |10\rangle) = |\Psi^-\rangle; \end{aligned}$$

حالات بل تولید شده با استفاده از مدار کوانتومی

10/25



درهم تنیدگی کوانتومی

مدل ریاضی درهم تنیدگی کوانتومی

ناهمدوسی

مکانیزم برگشت ناپذیر از برهم کنش بین یک سیستم و محیط اطراف آن



ایجاد مشخصات و رفتار جدید در سیستم نسبت به سیستم‌های ایزوله از محیط اطراف



از بین رفتن درهم تنیدگی بر اساس معادلات شرودینگر

ناهمدوسی در زمان بسیار کوتاه‌تری نسبت به اتلاف عمل می‌کند و بر آن مقدم است.

مهم‌ترین اثر ناهمدوسی



ناپدید شدن روابط فاز (به عنوان مثال تداخل) بین زیرسیستم‌های مشخص از فضای هیلبرت یک سیستم

11/25

مقدمه

اطلاعات کوانتومی

مبانی مخابرات
کوانتومی

تله‌پورت کردن و فرآیند
مخابرات کوانتومی

مخابرات کوانتومی راه
دور

گیرنده و فرستنده
مخابرات کوانتومی

ساختار نوین



مدل ریاضی درهم تنیدگی کوانتومی

ناهمدوسی

روش های مقابله با ناهمدوسی

ایزوله کردن سیستم کوانتومی از محیط غیرممکن است و در طول زمان سیستم

کوانتومی با محیط برهم کنش انجام می دهد. **راه حل** ← **کنترل زمان ناهمدوسی**

✓ تعریف الگوریتم های کوانتومی به نحوی که قبل از نشت اطلاعات به محیط اطراف به

دلیل ناهمدوسی، برنامه به پایان برسد.

۱- زمان ناهمدوسی بسیار سریع است.

مشکلات:

۲- الگوریتم های کوانتومی در این روش بسیار پیچیده یا طولانی می شوند.

محیط انتقال اطلاعات سیستم
در هم تنیده

ابعاد و اندازه ی کامپیوتر
کوانتومی از نظر میزان
برهم کنش با محیط

نوع ذره ی کوانتومی مورد
استفاده (مثال: نوع کیوبیت)

✓ طولانی کردن زمان ناهمدوسی
با ترکیب درست این موارد

12/25

مقدمه اطلاعات کوانتومی مبانی مخابرات کوانتومی تله پورت کردن و فرآیند مخابرات کوانتومی مخابرات کوانتومی راه گیرنده و فرستنده ی مخابرات کوانتومی ساختار نوین



مدل ریاضی درهم تنیدگی کوانتومی

ناهمدوسی

روش های مقابله با ناهمدوسی

✓ استفاده از کدهای تصحیح خطای کوانتومی

✓ استفاده از تعداد بیشتری از سیستم های کوانتومی مثل کیوبیت ها



محیط نمی تواند روی تمام کیوبیت ها تاثیر بگذارد و تعدادی از کیوبیت ها بدون ناهمدوسی به دستگاه اندازه گیری می رسند.

استفاده در کامپیوترهای کوانتومی

✓ پایین آوردن دما به منظور کاهش درهم کنش بین سیستم و محیط

سیستم کوانتومی	زمان ناهمدوسی (sec)	زمان انجام هر عمل در گیت	حداکثر تعداد عملیات قابل اجرا قبل از ناهمدوسی
الکترون های اتم طلا	10^{-8}	10^{-14}	10^6
اتم های تله ای ایندیوم	10^{-1}	10^{-14}	10^{13}
ریز کاواک نوری	10^{-5}	10^{-14}	10^9
اسپین الکترون	10^{-3}	10^{-7}	10^4
الکترون در نقطه ی کوانتومی	10^{-3}	10^{-6}	10^3
اسپین هسته ای	10^{-4}	10^{-3}	10^7

13/25



ناهمدوسی

روش های مقابله با ناهمدوسی

اندازه گیری عملی زمان ناهمدوسی

روش اکوی فوتون

استفاده از دو پالس لیزر

پالس ۱: ایجاد حالت کوانتومی

پالس ۲: اندازه گیری

اگر حالت برهم نهی حفظ شده باشد، در اثر پالس دوم، فوتون هایی با همان طول موج تحریک منتشر می شود.

با اندازه گیری زمان بین پالس ها، زمان ناهمدوسی را اندازه می گیرند.

زمان ناهمدوسی از زمان اعمال پالس تا زمانی که طول موج فوتون های دریافت شده تغییر نکرده است، محاسبه می شود.

14/25

مقدمه

اطلاعات کوانتومی

مبانی مخابرات
کوانتومی

تله پورت کردن و فرآیند
مخابرات کوانتومی

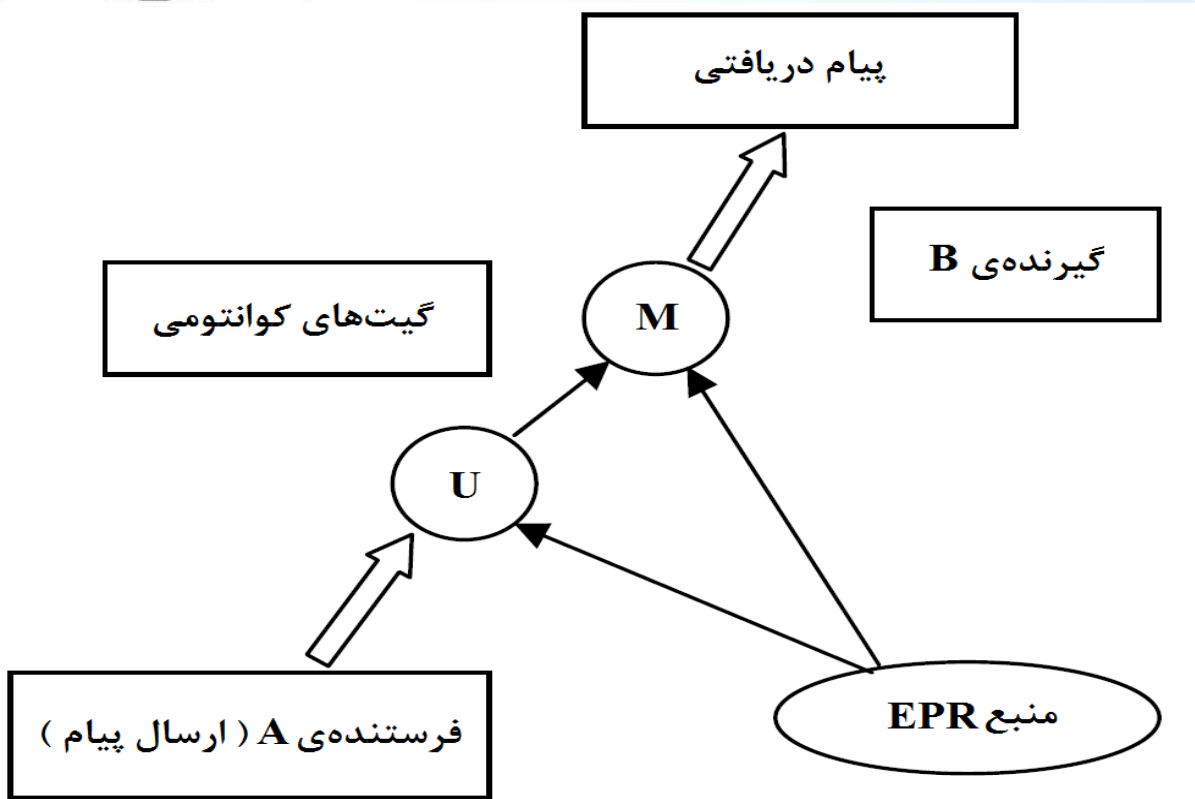
مخابرات کوانتومی راه
دور

گیرنده و فرستنده
مخابرات کوانتومی

ساختار نوین

تله پورت کردن: به معنای حمل یا بردن چیزی از نقطه ای به نقطه دیگر بدون ارتباط فیزیکی است.

سرعت تله پورت کردن فوتون ها از سرعت نور تجاوز می کند اما با توجه به شیوه کار در انتقال اطلاعات، این سرعت در کامپیوترهای کوانتومی به سرعت نور محدود می شود.



فرآیند مخابرات کوانتومی

- ✓ تولید یک زوج فوتون EPR و ارسال یکی برای A و دیگری برای B
- ✓ اعمال تغییرات (در پلاریزاسیون فوتون) توسط فرستنده A با استفاده از گیت U به فوتون خود
- ✓ اثر کردن تغییرات بر فوتون B
- ✓ ارسال نتایج اندازه گیری فرستنده A برای B با استفاده از یک کانال کلاسیک
- ✓ انجام تغییرات مورد نظر گیرنده B روی فوتون به منظور استخراج پیام ارسالی A



A_1A_2	B	U
00	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	I
01	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	X
10	$\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	Z
11	$\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	$Y = ZX$

نمایش فرآیند مخبرات کوانتومی با استفاده از گیت‌های کوانتومی



مخابرات کوانتومی راه دور

مفهوم تکرارکننده کوانتومی

توزیع و کنترل درهم تنیدگی در مقیاس جهانی

تنها سیستم مناسب فوتون ها هستند

اشکال

تلفات فوتون در کانال کوانتومی و محدود شدن فاصله ی قابل عبور برای تک فوتون به 100 کیلومتر در فیبرهای سیلیکایی

راه کار

تقسیم فواصل طولانی به فواصل کوتاه با حفظ درهم تنیدگی در این فواصل

17/25

مقدمه

اطلاعات کوانتومی

مبانی مخابرات
کوانتومی

تله پورت کردن و فرآیند
مخابرات کوانتومی

مخابرات کوانتومی راه
دور

گیرنده و فرستنده ی
مخابرات کوانتومی

ساختار نوین



مخابرات کوانتومی راه دور

مفهوم تکرار کننده کوانتومی

اجزای اصلی تکرار کننده کوانتومی

منبع تولید زوج فوتون درهم تنیده

پالایندگی درهم تنیدگی کوانتومی

مبادله کننده حالات درهم تنیده کوانتومی

تکرار کننده کوانتومی	تکرار کننده کلاسیک	
احتمال از بین رفتن اطلاعات کوانتومی	کاهش نسبت سیگنال به نویز در طول کانال انتقال	علت استفاده
ناهمدوسی کوانتومی	کاهش نسبت سیگنال به نویز	مشکل لینک
بسته به پدیده ناهمدوسی	بسته به نسبت سیگنال به نویز	تعداد تکرار کننده ها

18/25

مقدمه

اطلاعات کوانتومی

مبانی مخابرات
کوانتومی

تله پورت کردن و فرآیند
مخابرات کوانتومی

مخابرات کوانتومی راه
دور

گیرنده و فرستنده
مخابرات کوانتومی

ساختار نوین



گیرنده‌ی مخابرات کوانتومی

فرستنده‌ی مخابرات کوانتومی

استفاده از تکنولوژی سیلیکون و نیمه‌هادی‌های گروه III-V

انتقال اطلاعات ذخیره شده در اسپین الکترون از طریق تبادل اسپین با الکترون‌های محدود به یون‌های ناخالصی ^{31}P قرار گرفته در زیر گیت‌ها

عدم حمل اطلاعات به وسیله‌ی حفره به دلیل در هم‌نیده بودن با الکترون‌های باند هدایت

کنترل مورد نیاز از طریق اعمال ولتاژ به گیت‌ها و مدولاسیون فاکتور g الکترون محدود میان دو لایه‌ی سد

یک میدان الکرواستاتیک

انجام تصحیح خطا و پردازش اطلاعات کوانتومی روی اطلاعات ذخیره شده در اسپین الکترون‌ها

محدود کردن الکترون در ناحیه‌ی مورد نظر توسط لایه‌ی B (سدی با شکاف باند نسبتاً بزرگ)

19/25

مقدمه

اطلاعات کوانتومی

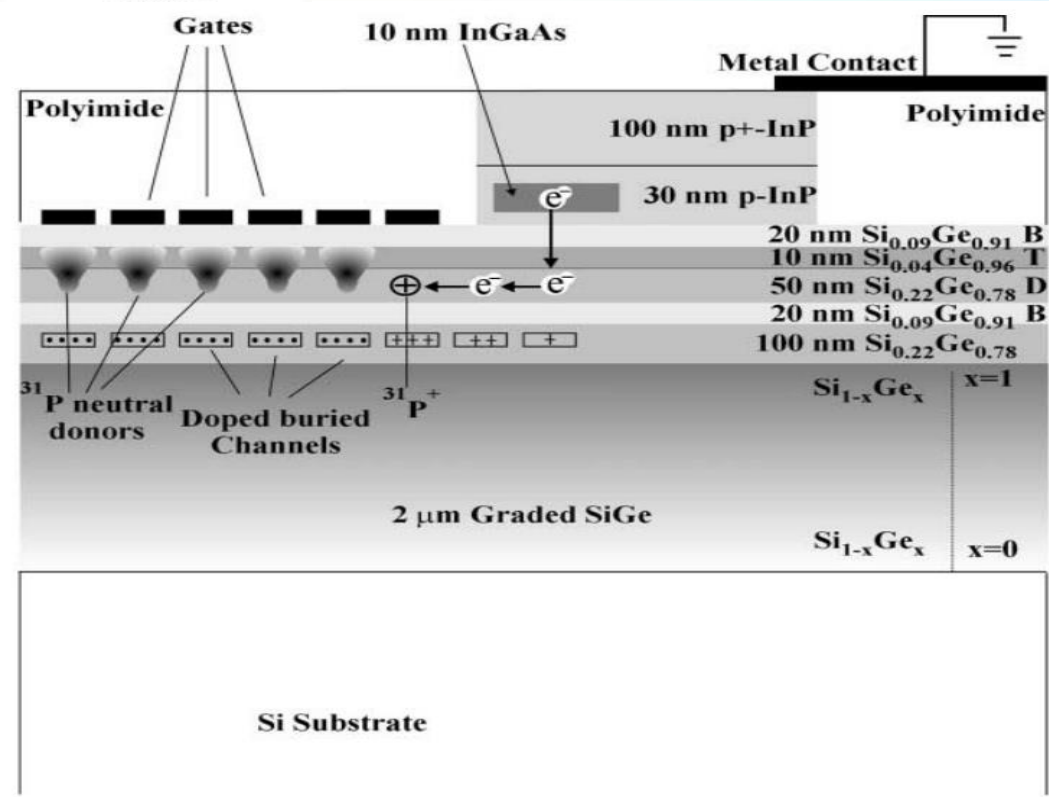
مبانی مخابرات کوانتومی

تله‌پورت کردن و فرآیند مخابرات کوانتومی

مخابرات کوانتومی راه دور

گیرنده و فرستنده مخابرات کوانتومی

ساختار نوین



یک مقطع عرضی مفهومی از آشکارساز نوری همدوس اسپینی



گیرنده‌ی مخابرات کوانتومی

فرستنده‌ی مخابرات کوانتومی

انتشار اطلاعات کوانتومی به صورت فوتون

انتقال اطلاعات به الکترون محدود به یون ناخالصی

جدا شدن الکترون از یون ناخالصی با اعمال یک پالس نسبتاً قوی به الکتروود گیت و انتقال الکترواستاتیکی به نقطه‌ی کوانتومی InGaAs

انتقال حفره به نقطه‌ی کوانتومی به همین ترتیب و بازترکیب الکترون - حفره

انتقال اطلاعات کوانتومی به فوتون گسیل شده به محض بازترکیب

تفاوت با گیرنده، استفاده از نقطه‌ی کوانتومی به جای چاه کوانتومی به منظور محدود کردن تابع موج در فضای کوچک و عدم حرکت آزادانه به محیط اطراف قبل از گسیل فوتون

یک مقطع عرضی از منتشر کننده فوتونی همدوس

20/25

ساختار نوین

گیرنده و فرستنده
مخابرات کوانتومی

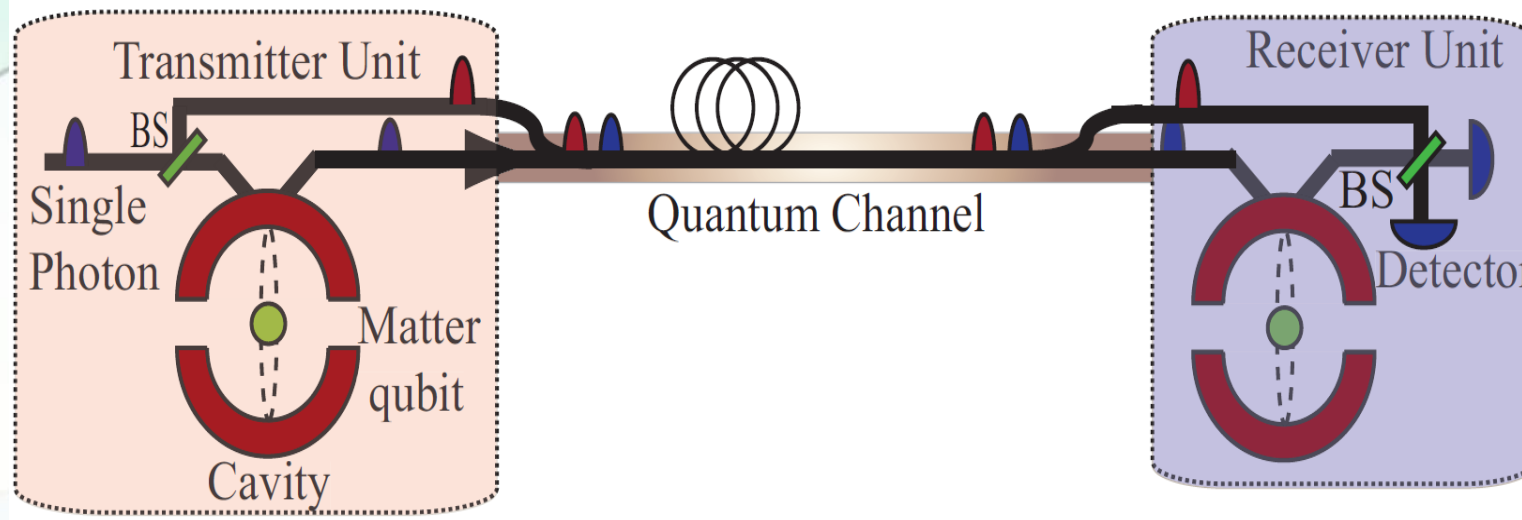
مخابرات کوانتومی راه
دور

تله‌پورت کردن و فرآیند
مخابرات کوانتومی

مبانی مخابرات
کوانتومی

اطلاعات کوانتومی

مقدمه



شماتیک طرح انتقال مستقیم اطلاعات از یک گرهی مخابراتی به گرهی دیگر با استفاده از واحدهای فرستنده و گیرنده

فرستنده و گیرنده شامل یک ماهیت کیوبیتی (به عنوان مثال اسپین الکترون) هستند که در یک کاواک قرار دارد.

فرستنده شامل منبع تک فوتون و گیرنده شامل آشکارساز تک فوتون است.

اتصال فرستنده و گیرنده از طریق فیبر نوری

تضعیف حالت کوانتومی به دلیل تلفات کوپلینگ و کانال و عدم بازدهی منبع و آشکارساز

مشکلات



استفاده از یک کد تصحیح خطا با قابلیت تحمل تلفات زیاد فوتونی

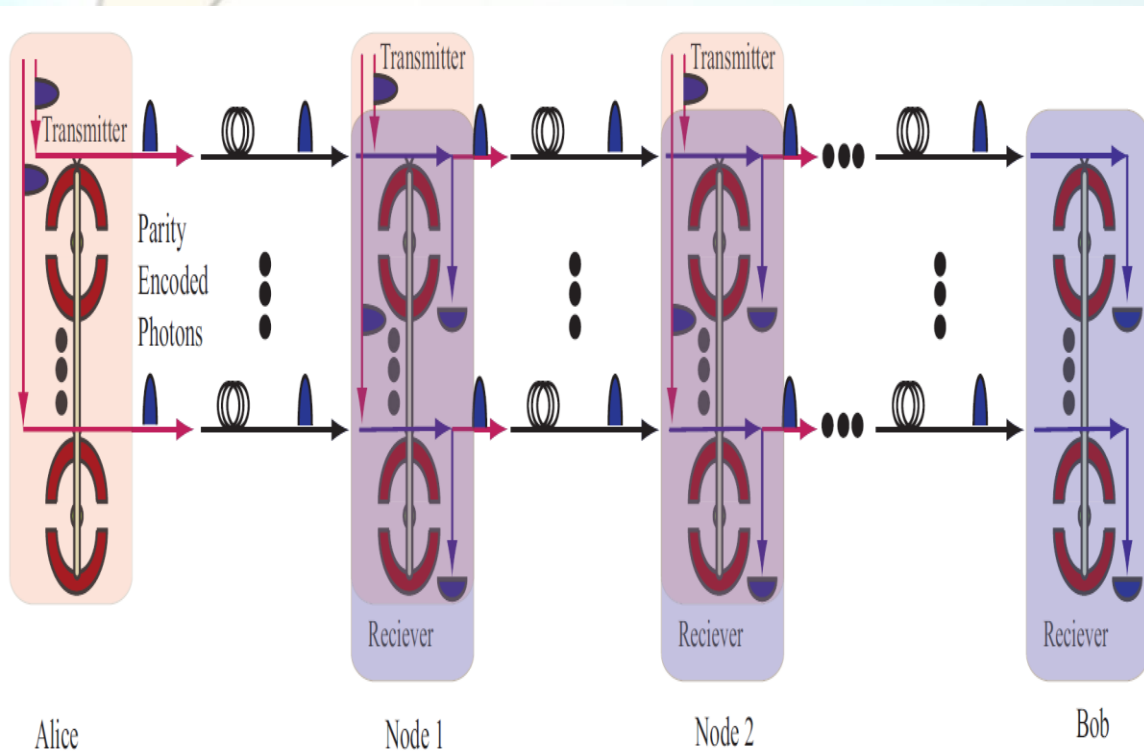
$$\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$



$$|\Psi\rangle^{(m,n)} = \alpha|+\rangle_1^{(m)} \dots |+\rangle_n^{(m)} + \beta|-\rangle_1^{(m)} \dots |-\rangle_n^{(m)}$$

N تعداد کیوبیت‌های منطقی

M تعداد کیوبیت‌های فیزیکی در هر کیوبیت منطقی



Alice

Node 1

Node 2

Bob

شماتیک طرح انتقال سیگنال کوانتومی با استفاده از کد توازن کوانتومی

Encode شدن اطلاعات روی حالت‌های فوتونی به ماهیت‌های کیوبیتی

بسیار پربازده

گیرنده به عنوان فرستنده عمل می‌نماید تا سیگنال را به گرهی بعدی بفرستد و بنابراین حالت کوانتومی در فواصل طولانی فرستاده می‌شود.

از بین رفتن درهم‌تنیدگی بلوک‌های دارای تلفات و انتقال اطلاعات بین گره‌ها از طریق بلوک‌های بدون تلفات

Decode شدن حالت‌های کوانتومی به مقادیر اصلی خود با استفاده از

ماهیت‌های کیوبیتی رها شده در طرف بلوک‌های گیرنده

22/25

ساختار نوین

گیرنده و فرستنده
مخابرات کوانتومی

مخابرات کوانتومی راه
دور

تله‌پورت کردن و فرآیند
مخابرات کوانتومی

مبانی مخابرات
کوانتومی

اطلاعات کوانتومی

مقدمه



$$p_f = 1 - [1 - (1 - p)^m]^n + [1 - p^m - (1 - p)^m]^n$$

p	m	n	R_G (Hz)	m'	n'	R'_G (Hz)
0.95	3	4	10^7	3	5	10^7
0.90	4	8	10^7	3	6	10^7
0.82	6	22	10^7	4	10	10^7
0.67	13	1500	10^7	6	18	10^7
0.60			10^7	8	25	10^7
0.55			10^7	9	31	10^7

تخمین n و m بر حسب p های مختلف

$$p = p_s p_d p_c^2 \exp[-\mathcal{L}/\mathcal{L}_0]$$

احتمال جفت شدن یک فوتون با کاواک احتمال آشکارسازی تک فوتون احتمال ارسال تک فوتون از منبع

احتمال دریافت بدون خطای حداقل یک کیوبیت منطقی

علاوه بر تلفات به عنوان منبع اصلی ایجاد خطا، در سیستم‌های واقعی خطاهای گیت‌ها نیز وجود دارند که در مدارات encoding و decoding و یا انتقال بین مواد و فوتون‌ها اتفاق می‌افتد.

فرض می‌شود که عملیات محلی نیاز به پالایش اطلاعات به منظور دستیابی مستقیم برای تعیین کارایی ندارند.

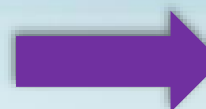
تمام عملیات گیت‌های محلی می‌توانند با زمان کلی 100 nsec انجام شوند که نشان دهنده‌ی نرخ ارتباطی 10^7 حالت کوانتومی است که در ثانیه فرستاده می‌شوند.

$\mathcal{L}$: فاصله‌ی میان گره‌های مجاور
 $\mathcal{L}_0$: طول تضعیف کانال

23/25



$$p_s = p_d = p_c = 0.97$$
$$p = 0.60$$



L = 10 Km

ساخت حالات بل encode شده در گرهی مرکزی و فرستادن نصف آنها به سمت چپ و نصف دیگر به سمت راست با استفاده از کد توازن



افزایش سرعت انتقال حالات و افزایش نرخ ارتباطی بالاتر به علت توزیع درهم‌تنیدگی کوانتومی بین گره‌های پایانی



عدم نیاز به حافظه‌های کوانتومی با طول عمر بالا

24/25



می‌توان از اسپین الکترون و پلاریزاسیون فوتون برای انتقال حالات کوانتومی استفاده نمود.

اطلاعات کوانتومی شامل کیوبیت‌ها و گیت‌های کوانتومی مورد بررسی قرار گرفتند.

درهم‌تنیدگی و مدل ریاضی آن، و نیز ناهمدوسی و روش‌های مقابله با آن بررسی شد.

تله‌پورت کردن و فرآیند مخابرات کوانتومی مبتنی بر آن نمایش داده شد.

مخابرات کوانتومی راه دور و مفهوم تکرارکننده‌ی کوانتومی مورد بررسی قرار گرفت.

یک نوع گیرنده و فرستنده‌ی مخابرات کوانتومی مبتنی بر تکنولوژی سیلیکان و نیمه‌هادی‌های گروه III-V معرفی شد.

ساختار نوینی برای مخابرات کوانتومی با نرخ ارتباطی بالا، سرعت بالا و نیز بدون نیاز به حافظه‌های کوانتومی با طول عمر بالا معرفی شد.

25/25

مقدمه	اطلاعات کوانتومی	مبانی مخابرات کوانتومی	تله‌پورت کردن و فرآیند مخابرات کوانتومی	مخابرات کوانتومی راه دور	گیرنده و فرستنده‌ی مخابرات کوانتومی	ساختار نوین
-------	------------------	------------------------	---	--------------------------	-------------------------------------	-------------

THANK You
For Your
TIME

THANK YOU
I AM DEPART SEATTLE
AM ARRIVE TORONTO
MEET DR. D.A. WILSON
MEET FED-EC
AM DEPART
LAX 11
1-4-11

1-4-11
5,