به نام خدا

مخابرات کوانتومی راه دور

مرکز تحقیقات نانوپترونیکس- آزمایشگاه کوانترونیکس

دانشکده مهندسي برق

دانشگاه علم و صنعت ایران

http://www.NRC.iust.ac.ir

مقدمه

- كوچكسازي و فشرده سازي اندازه فيزيكي نيمه هادي الكترونيك به زودي منجر به رسيدن به يك سد اساسي مي شود.
- قوانين فيزيكي پايه كه بر رفتار ترانزيستورها ناظراند مانع از كوچك شدن بيش از حد تراشه هاي كامپيوتري مي شوند.
- به عبارت ديگر، كوچك سازي قطعات الكترونيكي نيمه هادي، موجب شد كه رفتار موجي الكترون بر رفتار ذره اي الكترون غالب شود و اين مساله به ظهور قوانين مكانيک كوانتومي در قطعات نيمه هادي منجر شد .
- اين مسا له حاصل پيشرفتهاي قابل توجه در توانايي ساخت نانو ساختارهايي از قبيل چاههاي كوانتومي سيمهاي كوانتومي و نقطه هاي كوانتومي است .
- اسپينترونيك مي تواند بهترين راه حل ممكن را در رابط با مشكل مينيمم سازي ذكر شده ارائه كند.

مقدمه

با گذر از الكترونيك به اسپينترونك و تغيير ساختار و عملكرد ادوات نيمه هادي بر اساس حالات كوانتومي، نياز به تغيير در نوع و ساختار مخابرات نيز حس مي شود.

- رفتن به سمت مخابرات كوانتومي
- مخابرات كوانتومي داراي ويژگي ذاتي امنيت بالا است.
- فعاليت هاي تحقيقاتي در خصوص زيربخش هاي مختلف مخابرات كوانتومي در حال اجراست.

ساخت قطعات

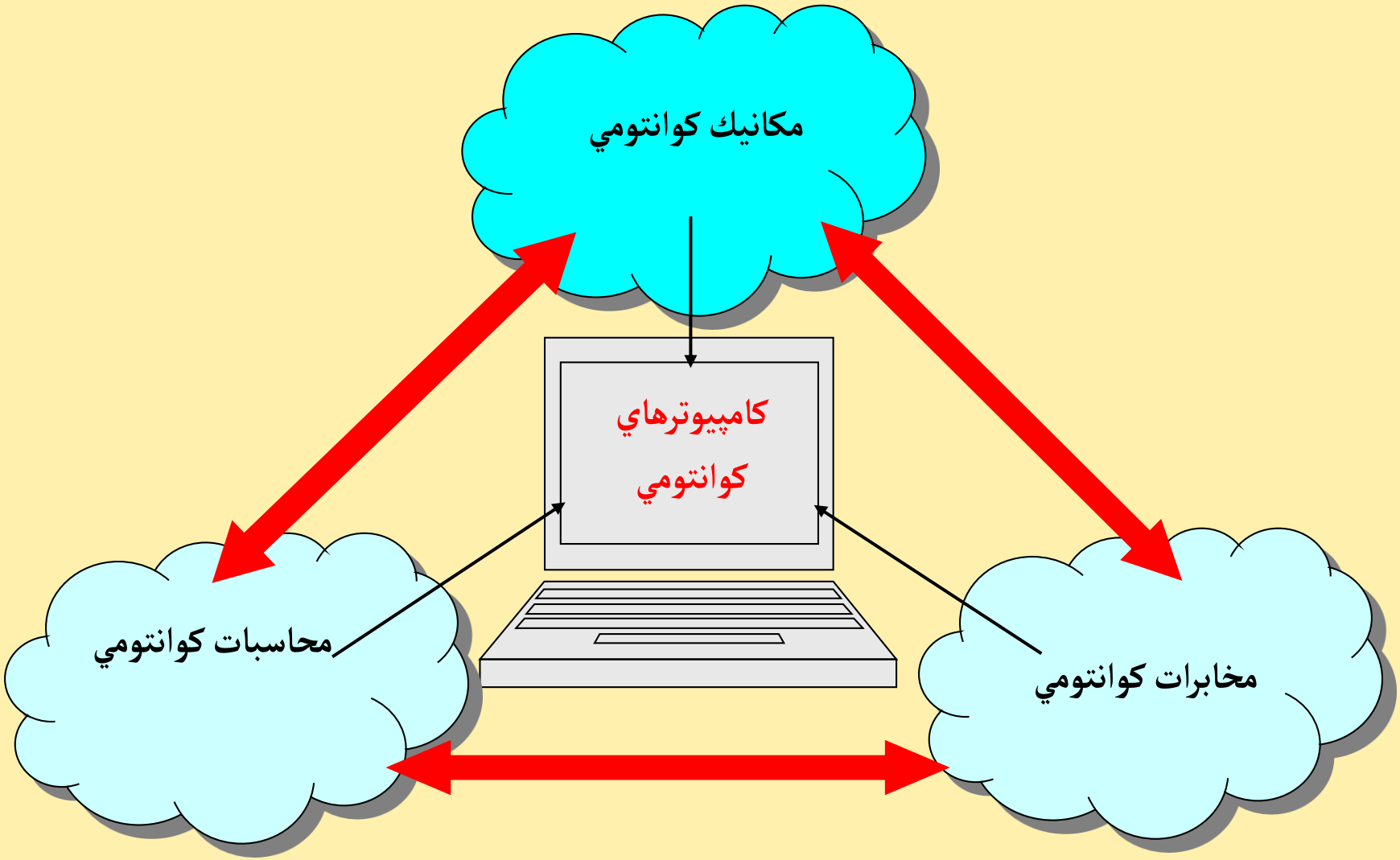
ساخت زير سيستم ها

طراحي الگريتم ها

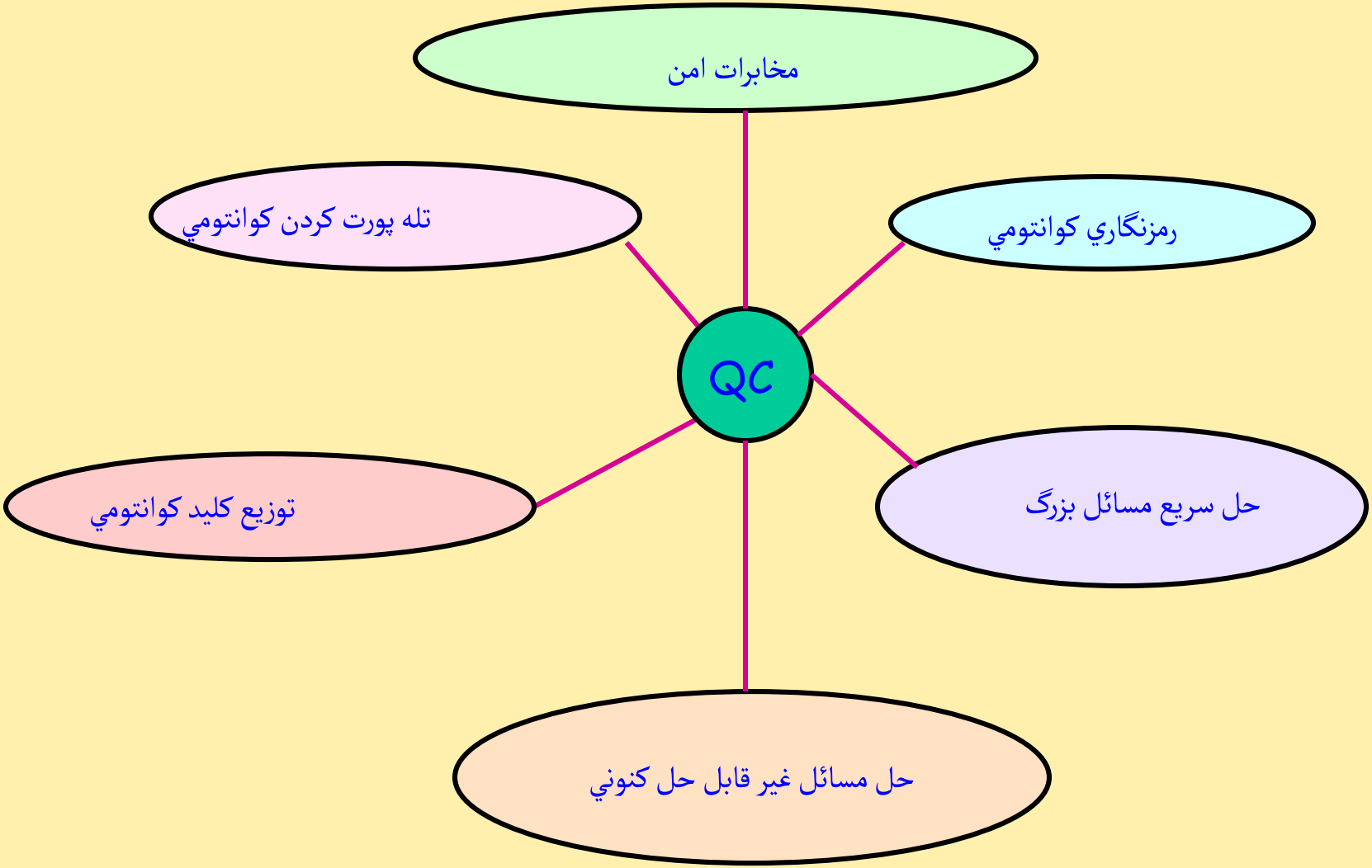
تست هاي آزمايشگاهي

- يكي از زمينه هاي تحقيقاتي در مخابرات كوانتومي موضوع مخابرات راه دور است كه پيش بيني مي شود حداقل تا ۱۵ سال آينده نيز تحقيقات در اين زمينه ادامه يابد.

مخابرات كوانتومي



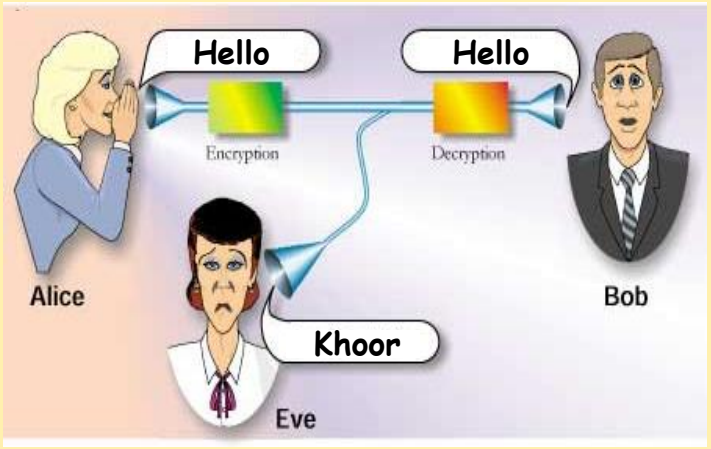
مخابرات كوانتومي



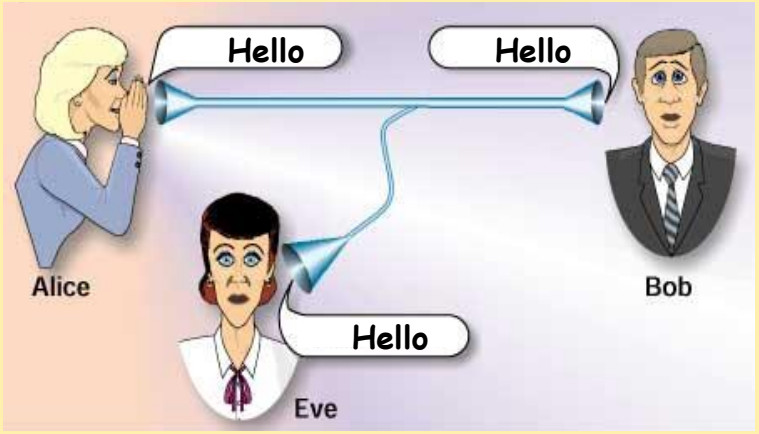
مخابرات کوانتومي

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

- سرعت تله پورت کردن فوتون‌ها 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.
- تله پورت کردن یا جابجایی بدون ارتباط فیزیکی، تا حدود زیادی مشابه داستانهای علمی تخیلی فضایی است که فردی از نقطه‌ای ناپدید و در نقطه ای دیگر ظاهر می شود، با این تفاوت که در آزمایشهای کنونی، "ماده" منتقل نمی‌شود، بلکه فقط فوتون‌ها و اطلاعاتی که بر روی آنها سوار شده، انتقال مي‌يابند.

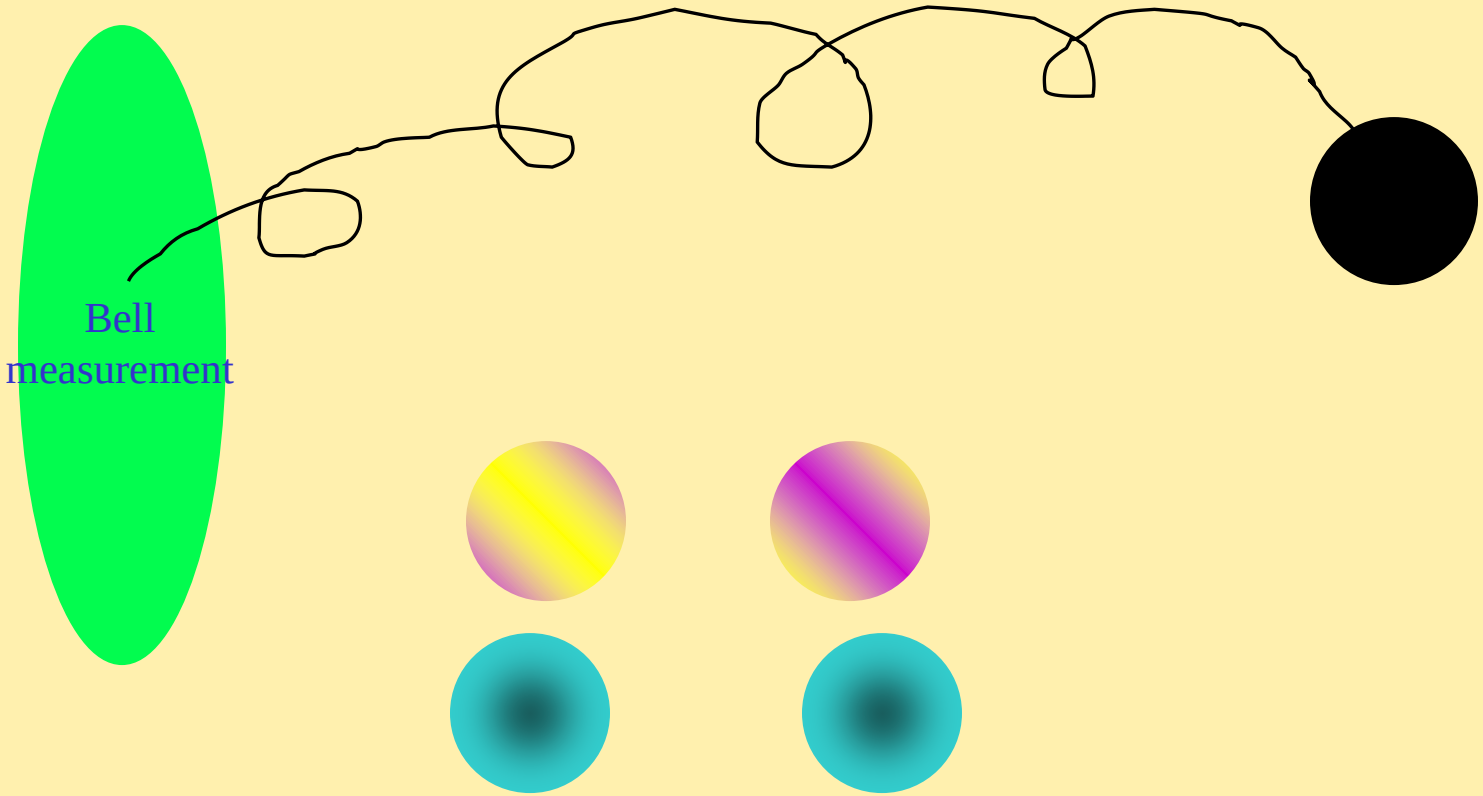


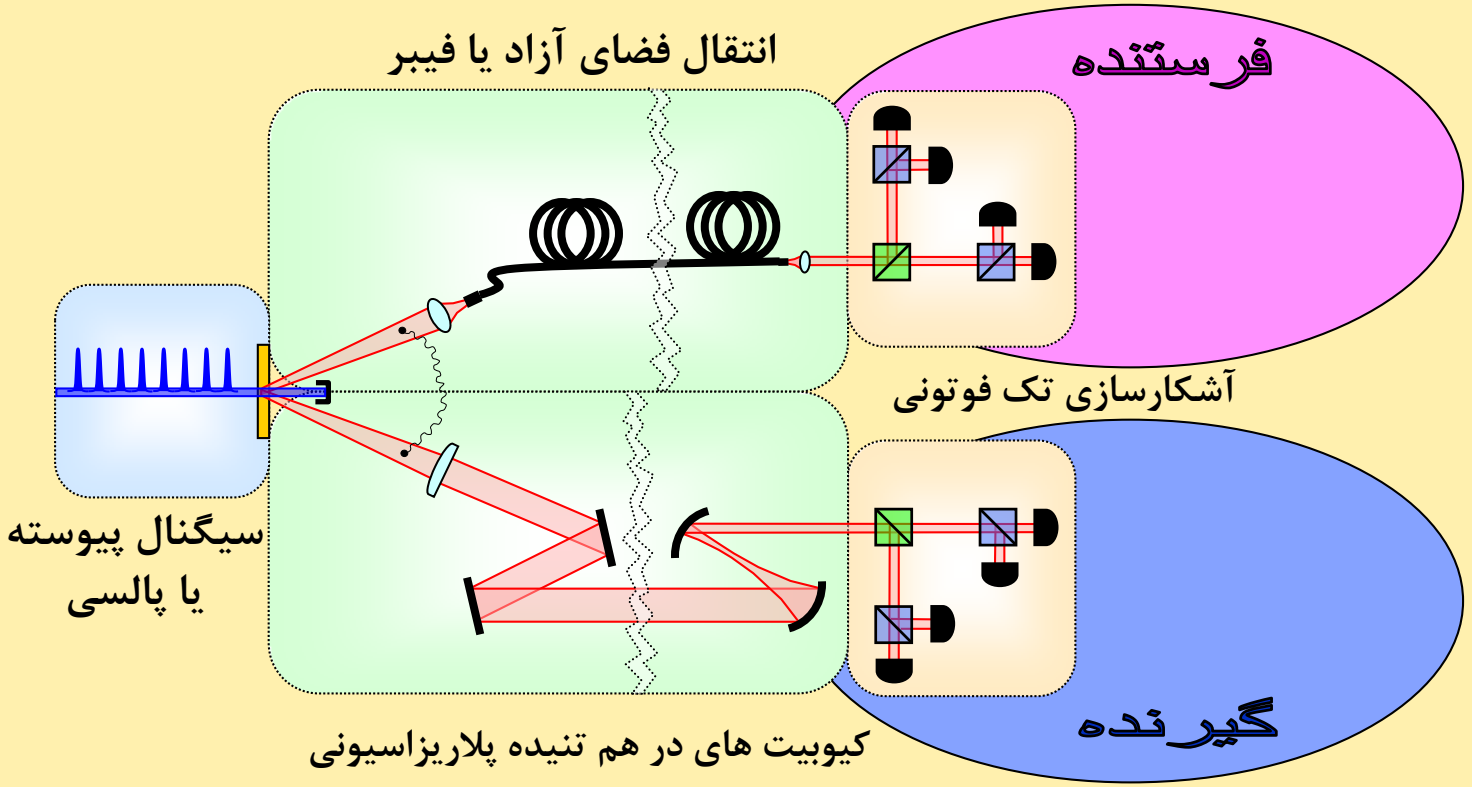
مخابرات امن



مخابرات نا امن

✪ انتقال حالت كوانتومي از يك نقطه به نقطه ديگر را مخابرات كوانتومي گويند.



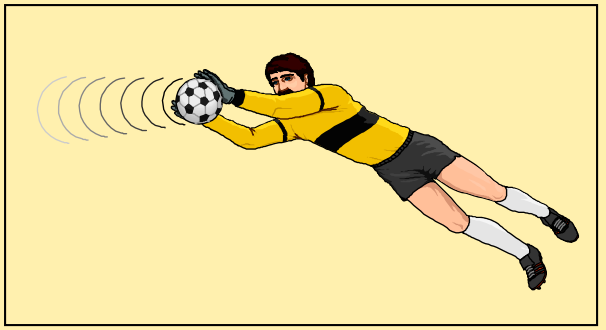


توليد انتشار آشكارسازي

نيازمندي‌هاي مخابرات كوانتومي

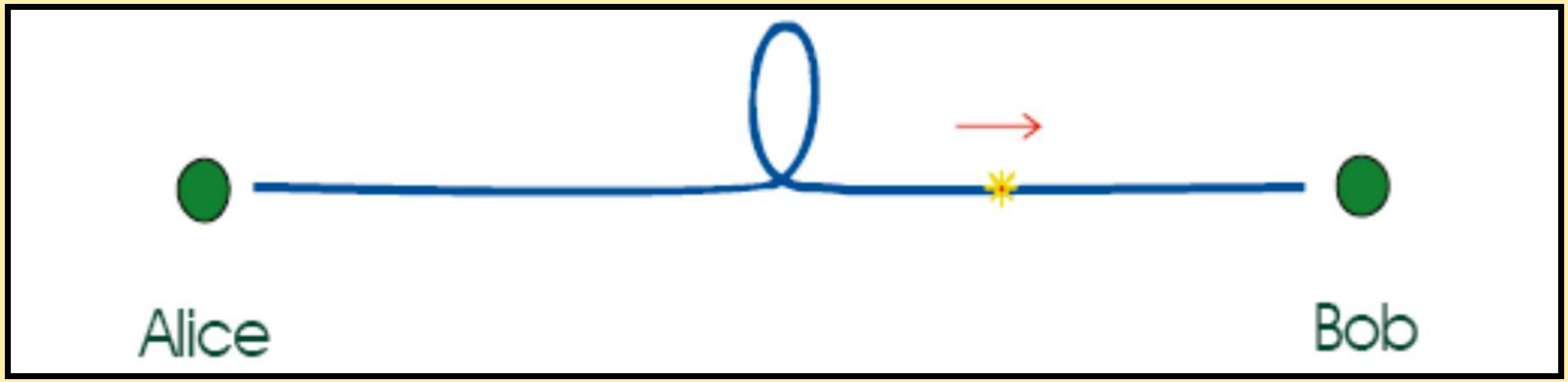
منبع تك فوتوني

كانال



آشكارساز تك فوتوني

تکرار کننده کوانتومي



- سیگنال کوانتومي قابل کپي شدن نیست.
- جذب و ناهمدوسي بصورت نمایي با فاصله زیاد مي شوند.

تكرار كننده كوانتومي

- هدف مخابرات كوانتومي ارسال حالات كوانتومي به فواصل دور است.

- چنين انتقالي پتانسيل بكارگيري در ارسال امن پيام هاي كلاسيك بوسيله رمزنگاري كوانتومي را فراهم مي آورد و از طرف ديگر به عنوان يك جزء اصلي در شبكه هاي كوانتومي مطرح است.

- مشكل اساسي مخابرات كوانتومي توليد حالت درهم تنيده خالص ميان فواصل دور است.

- تمام طرح هاي كنوني مخابرات كوانتومي مبتني بر كانال هاي فوتونيك است. بدليل جذب اپتيكي و ناهمدوسي و ديگر نويزهاي كانال، درهم تنيدگي ميان فواصل دور بر حسب فاصله بطور نمايي كاهش مي يابد.

تكرار كننده كوانتومي

- در تكرار كننده كوانتومي، درهمتنيدگي راه دور با توزيع حالات درهم تنيده روي فواصل كوتاه ايجاد مي شود.

- ابعاد فواصل كوتاه به نحوي تعيين مي شوند كه حالات درهم تنيده نويزي شده را بتوان پالايش كرد و با مبادله درهم تنيدگي اين فواصل را به هم متصل كرد.

- در نهايت حالات ايستگاه اول و آخر درهم تنيده خواهند بود و مي توان از اين حالات در هم تنيده براي مخابره حالات كوانتومي استفاده كرد.

- تكرار كننده كوانتومي مبتني بر توليد درهم تنيدگي با استفاده از آشكارسازي تك فوتوني است. در اين رهيافت، درهم تنيدگي با معيار صحت بالا توليد مي شود و پالايش درهم تنيدگي براي جبران اثر اتصال زوج هاي درهم تنيده ناقص مبادله شده نياز است.

تكرار كننده كوانتومي

- براي دستيابي به درهم تنيدگي با درجه بالا، مي توان از پالايش درهم تنيدگي استفاده كرد.

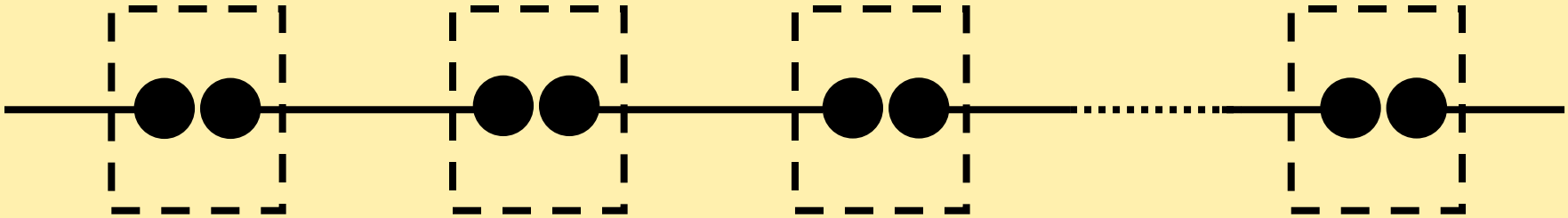
- اما اين به تنهايي مشكل مخابرات كوانتومي راه دور را حل نمي كند، زيرا ميرايي نمايي درهم تنيدگي در كانال، لزوم استفاده از تعداد بسيار زيادي از حالات درهم تنيده را ايجاب مي كند.

- براي غلبه بر ميرا شدن نمايي درهم تنيدگي، استفاده از تكرار كننده كوانتومي ضروري است. با استفاده از تكرار كننده كوانتومي مي توان به معيار صداقت در هم تنيدگي نزديك به ۱ دست يافت.

- تكرار كننده كوانتومي از يك پروتكل پالايش در هم تنيدگي براي سيستم مخابراتي استفاده مي كند.

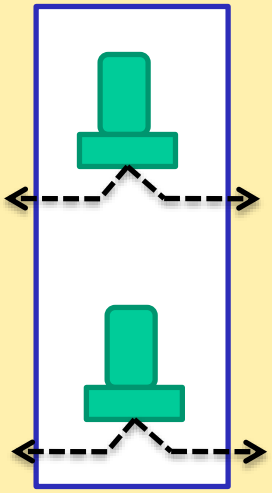
تكرار كننده كوانتومي

- ايده اصلي تكرار كننده كوانتومي تقسيم كانال به زير بخش هايي است كه بتوان بر تضعيف كانال غلبه كرد و درهم تنيدگي كوانتومي را در كانال حفظ كرد.
- ابتدا در هر زير بخش زوج فوتون درهم تنيده توليد و عمل پالايش درهم تنيدگي انجام مي شود.
- سپس با اتصال زير بخش هاي مجاور، از طريق مبادله در هم تنيدگي، در هم تنيدگي پالاش شده روي فاصله بزرگتري توزيع مي شود.
- بعد از اين مبادله، معيار درهم تنيدگي بر حسب فاصله كاهش مي يابد و ضرورت دارد كه دوباره پالايش صورت گيرد. اين عمل در هم تنيدگي، پالايش و مبادله همينطور ادامه مي يابد تا زوج در هم تنيده به مقصد برسد.



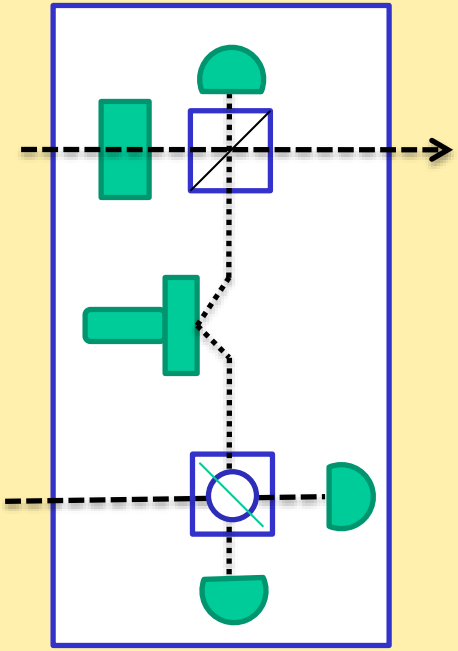
تکرار کننده کوانتومي

E



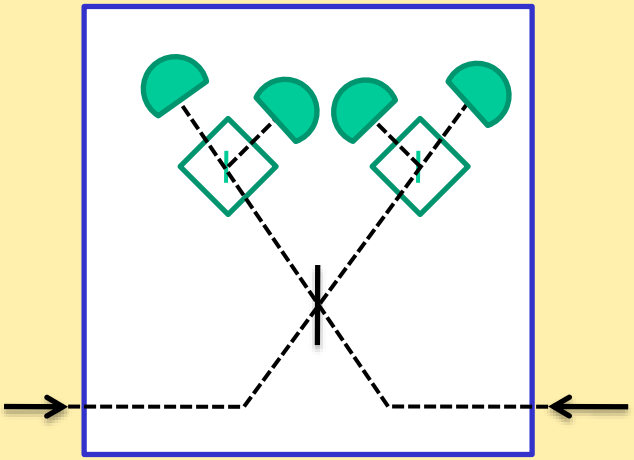
درهم‌تنیده‌گر

P



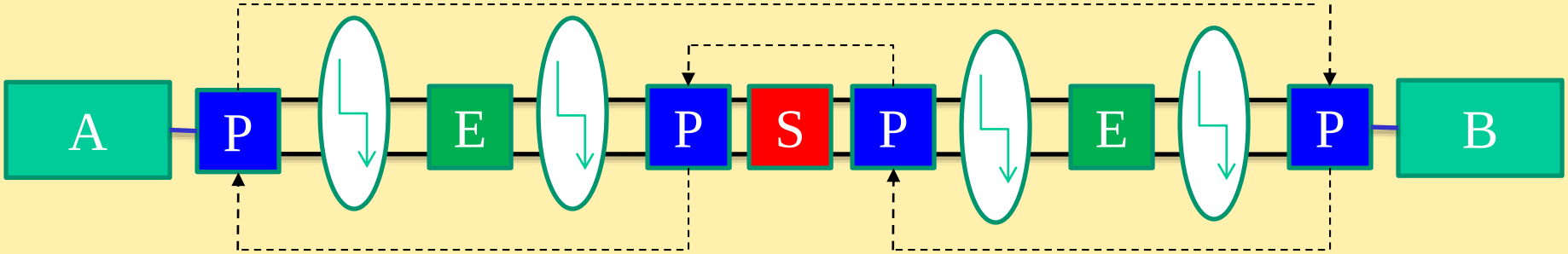
پالاینده درهم‌تنیدگي

S



مبادله گر درهم‌تنیدگي

تکرار کننده کوانتومي



E: درهم تنیده گر

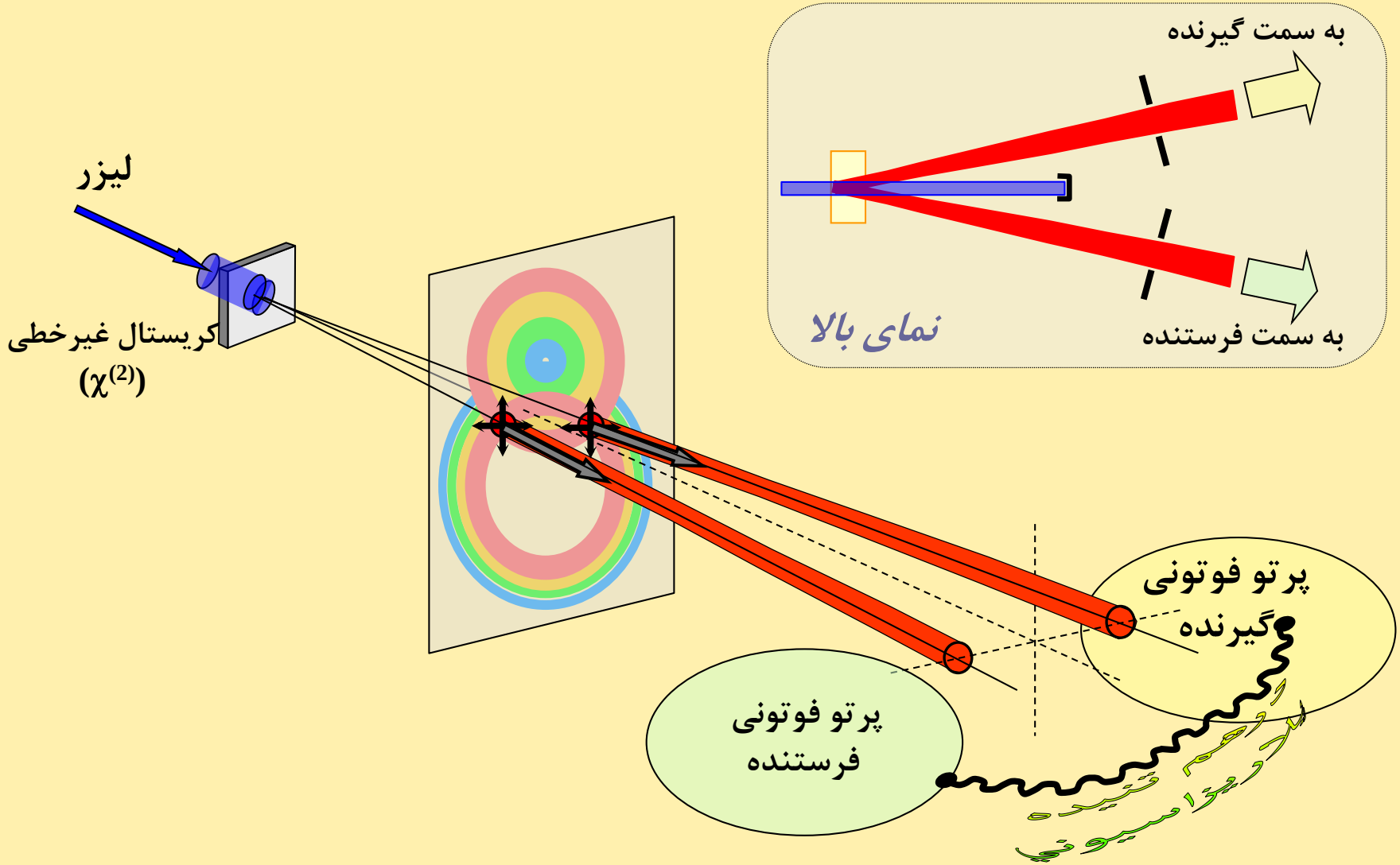
P: پالاینده درهم تنیدگي

S: مبادله گر درهم تنیدگي

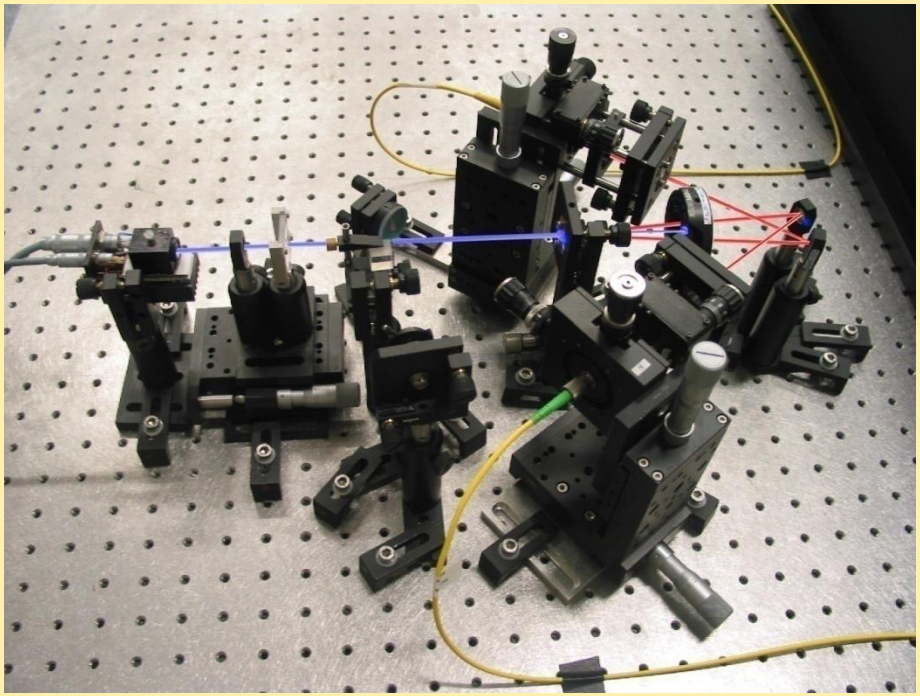
A: فرستنده

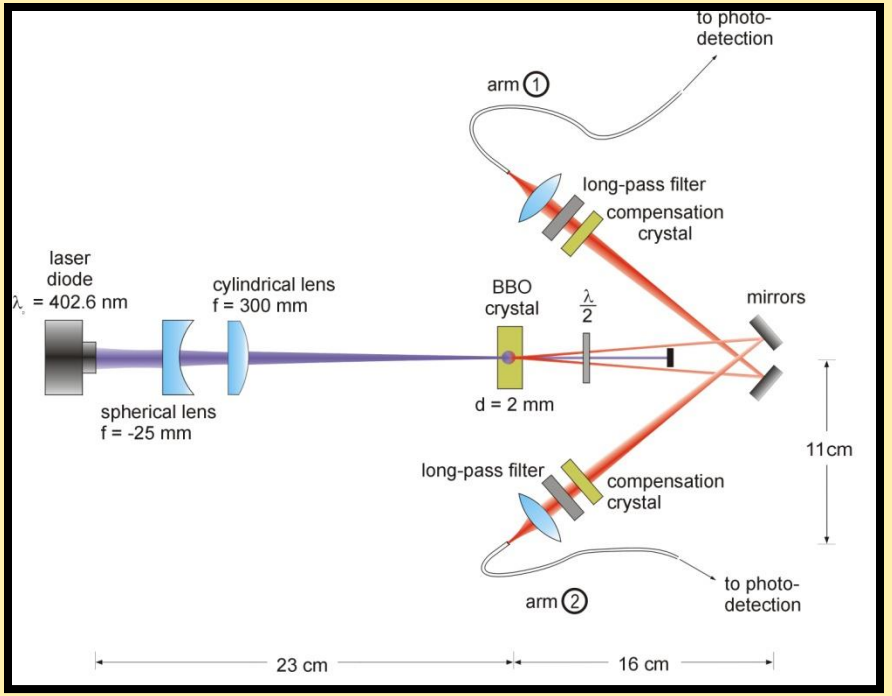
B: گیرنده

تولید حالات درهم تنیده

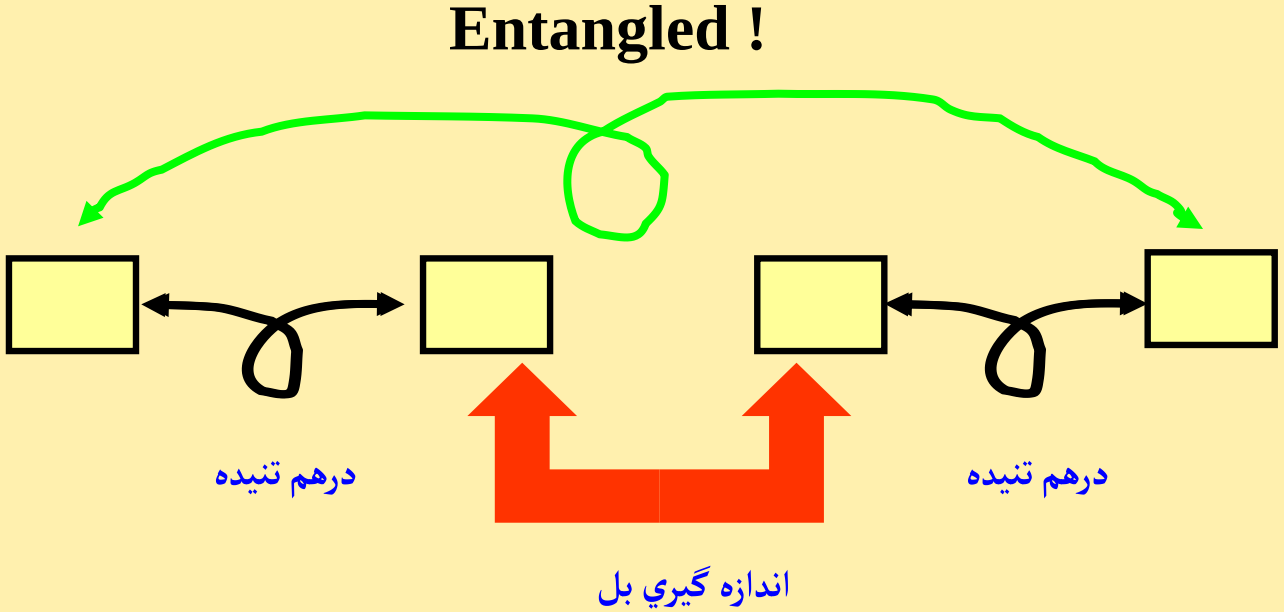


تولید حالات درهم تنیده



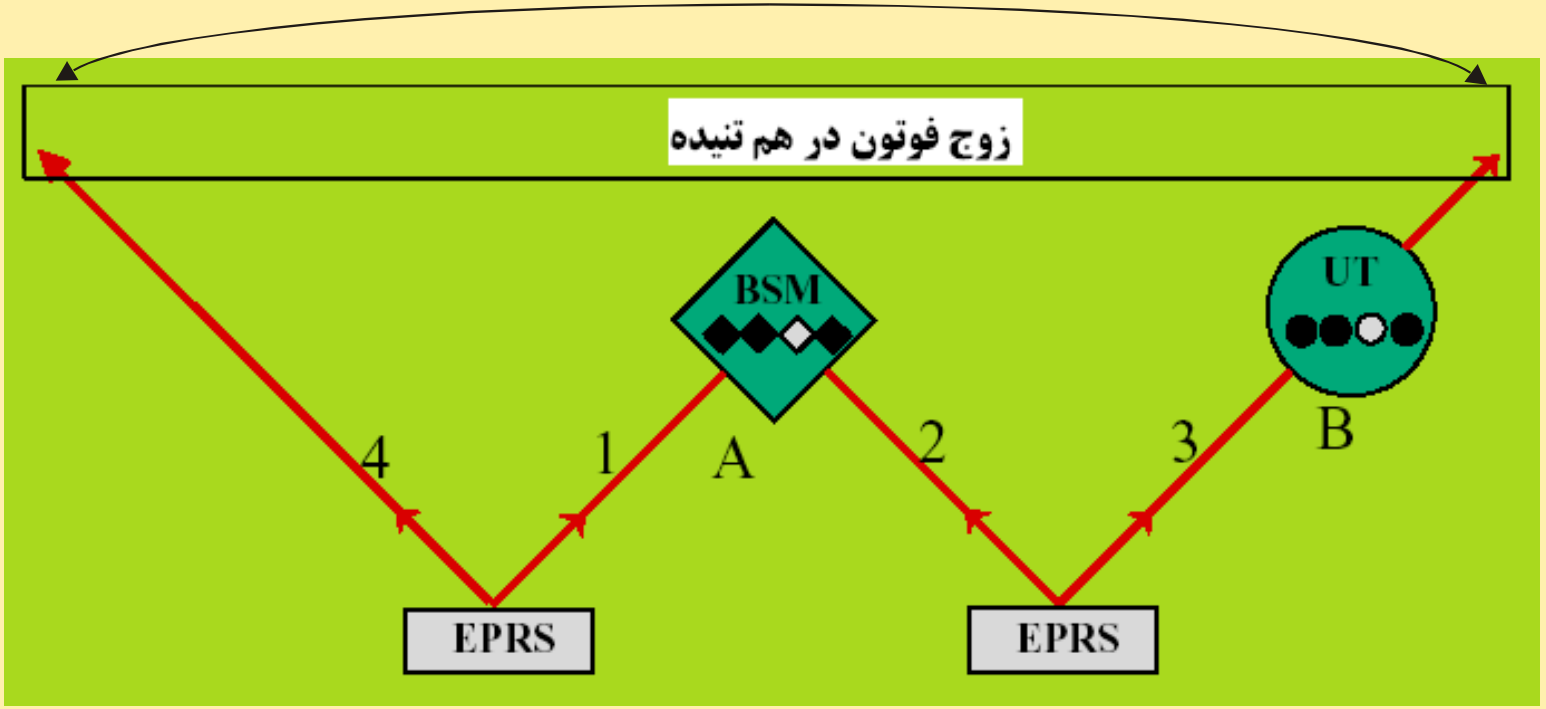


☜ ساختار تکرار کننده کوانتومي: تقسيم فاصله به فواصل کوتاهتر

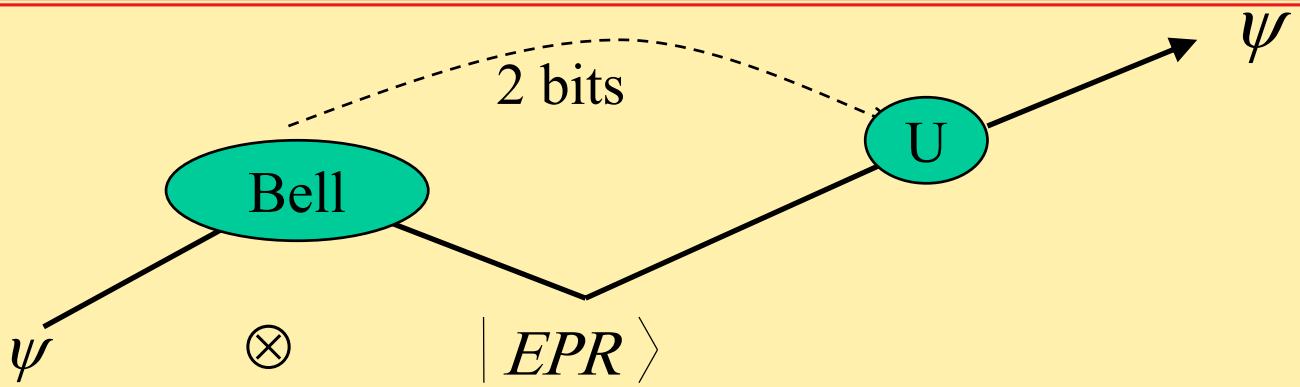


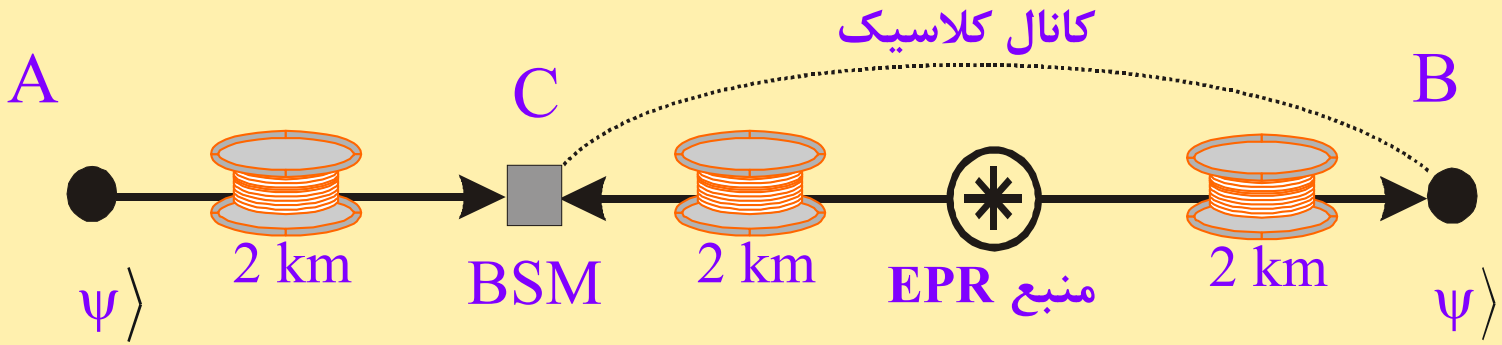
مبادله درهم تنيدگي

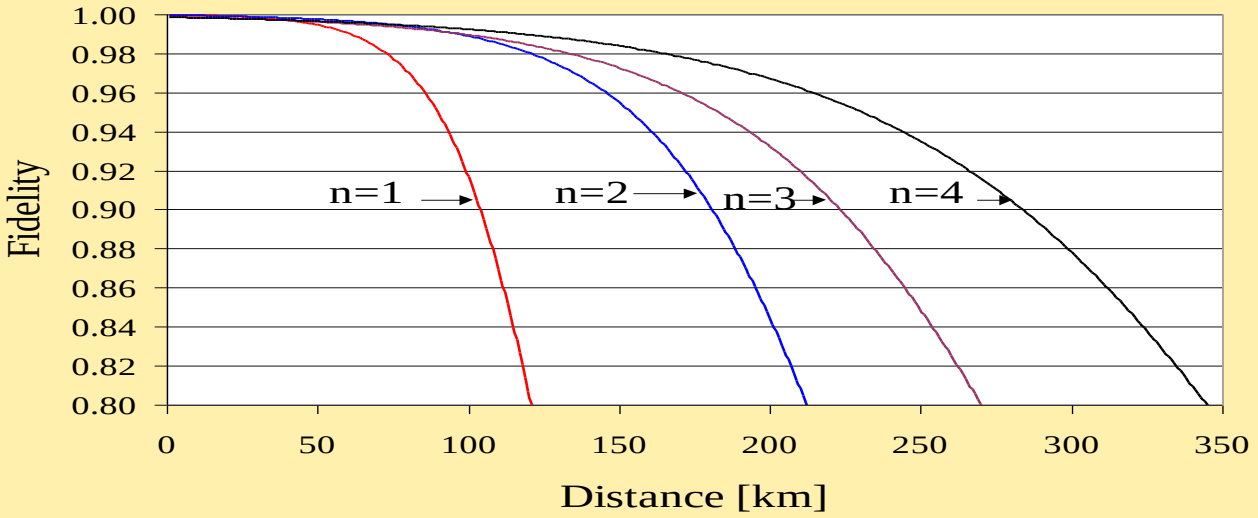
درهمتنیدگی فوتون‌هایی که هرگز برهمکنش نداشته اند

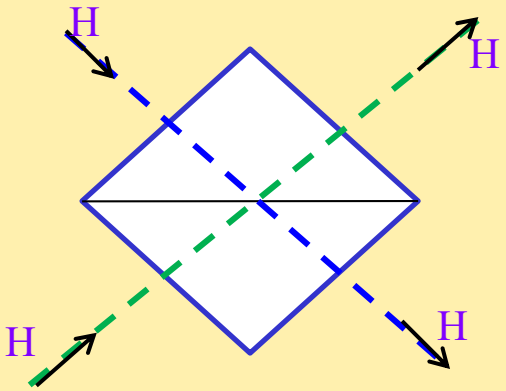


بواسطه اندازه گيري حالات بل (BSM) ، فوتون ۳ خصوصيات فوتون ۱ را مي گيرد ولي فوتون ۱ با فوتون ۴ درهم تنيده است پس فوتون هاي ۳ و ۴ در هم تنيده مي شوند ، اگر چه مستقيما برهم كنشي نداشته اند.

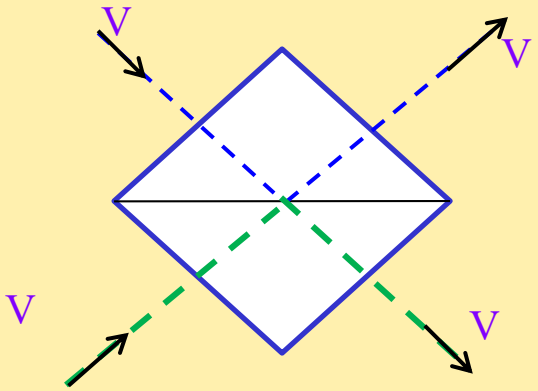

2 bits
Bell
U
ψ
ψ
⊗
|EPR⟩


کانال کلاسیک
A
C
B
2 km
2 km
2 km
BSM
منبع EPR
ψ⟩
ψ⟩

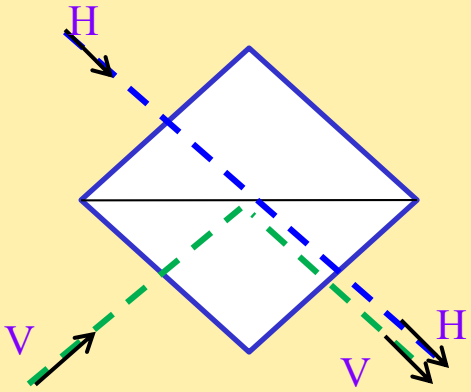

Fidelity
1.00
0.98
0.96
0.94
0.92
0.90
0.88
0.86
0.84
0.82
0.80
n=1
n=2
n=3
n=4
0
50
100
150
200
250
300
350
Distance [km]



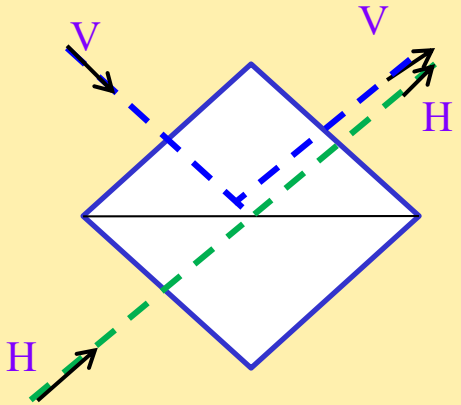
PBS



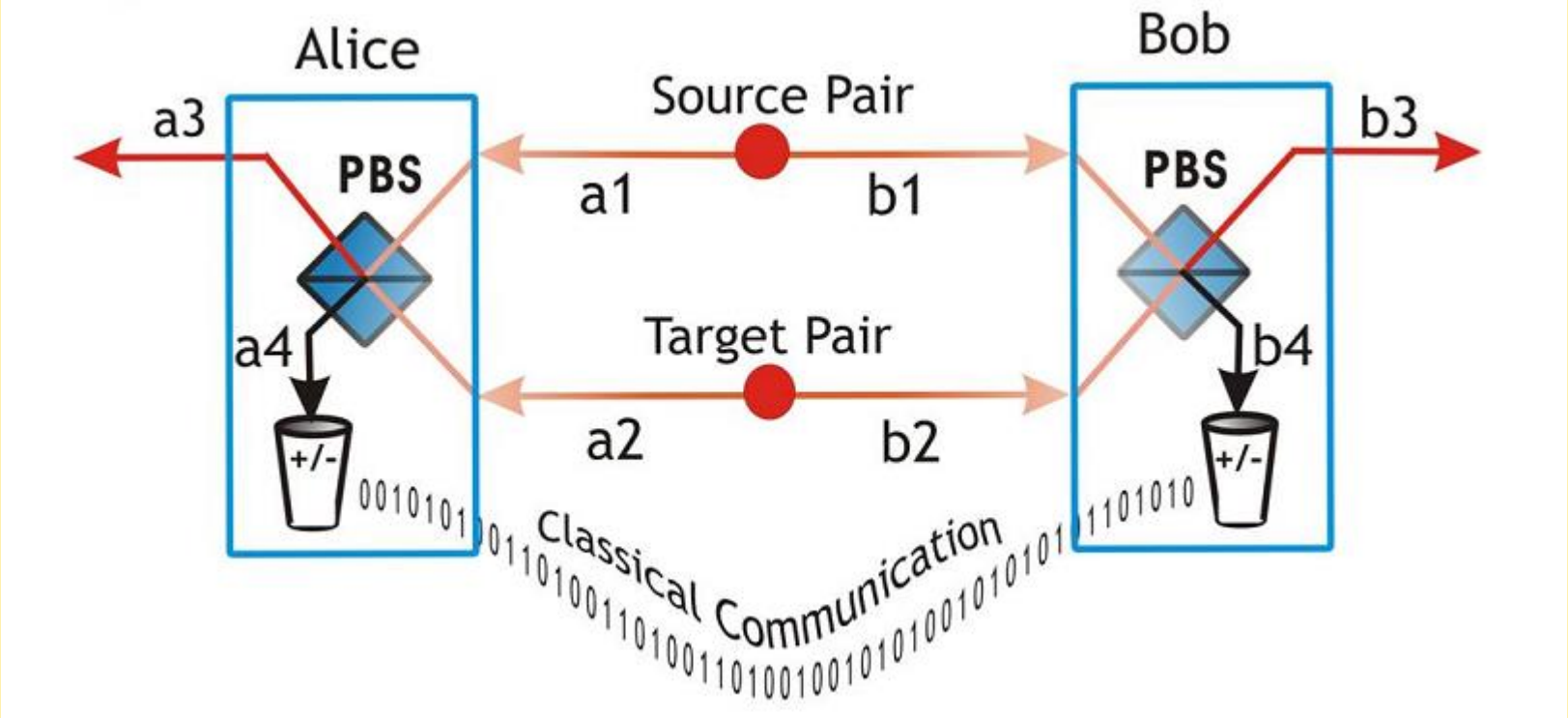
PBS



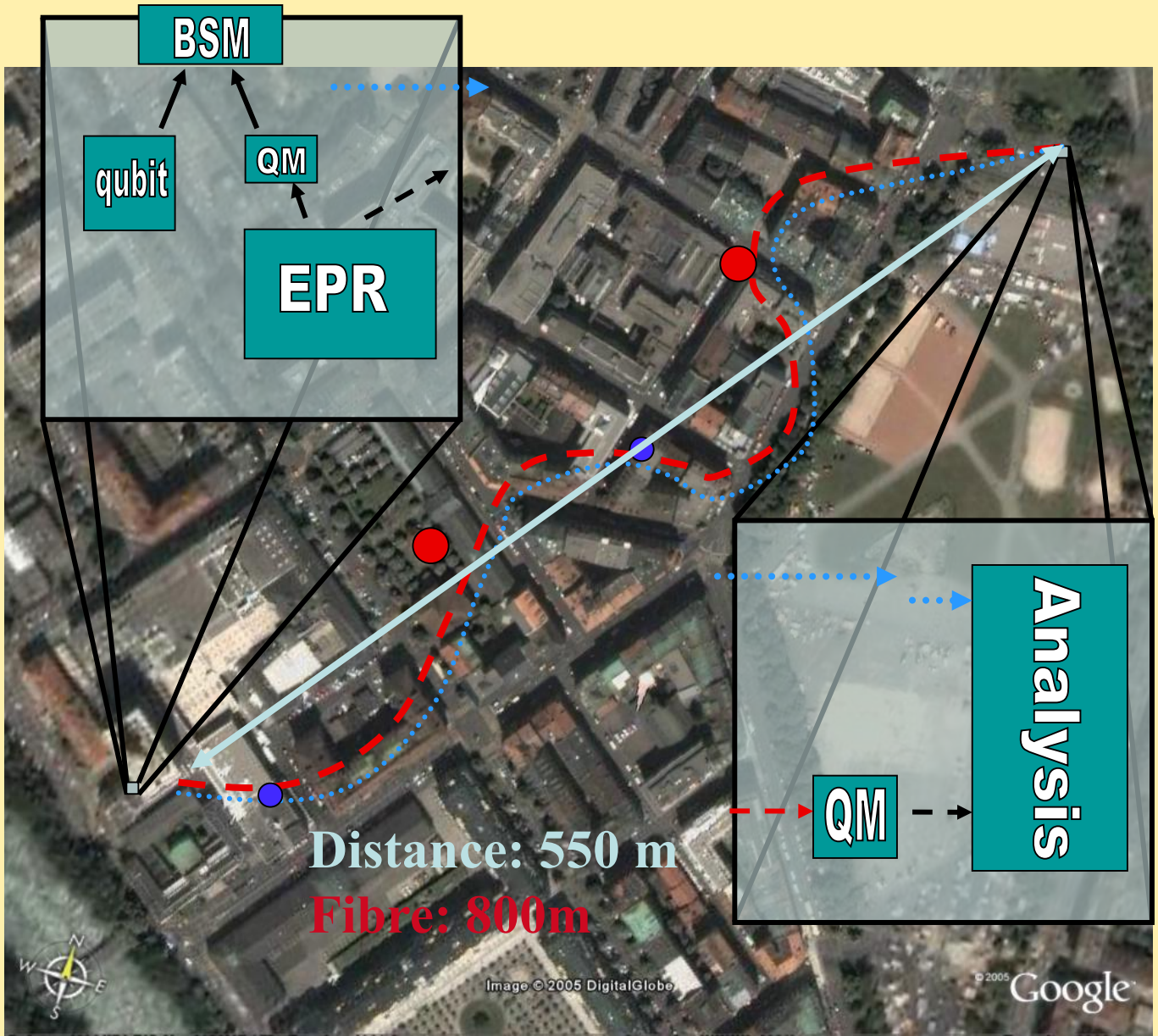
PBS



PBS


Alice
Bob
a3
Source Pair
b3
PBS
a1
b1
PBS
a4
Target Pair
b4
a2
b2
+/-
+/-
0010101
Classical Communication
11101010

مخابرات كوانتومي در عمل



1: EPR

2: Distribute

3: Create Qubit

4: Prepare BSM

5: BSM

6: Send result

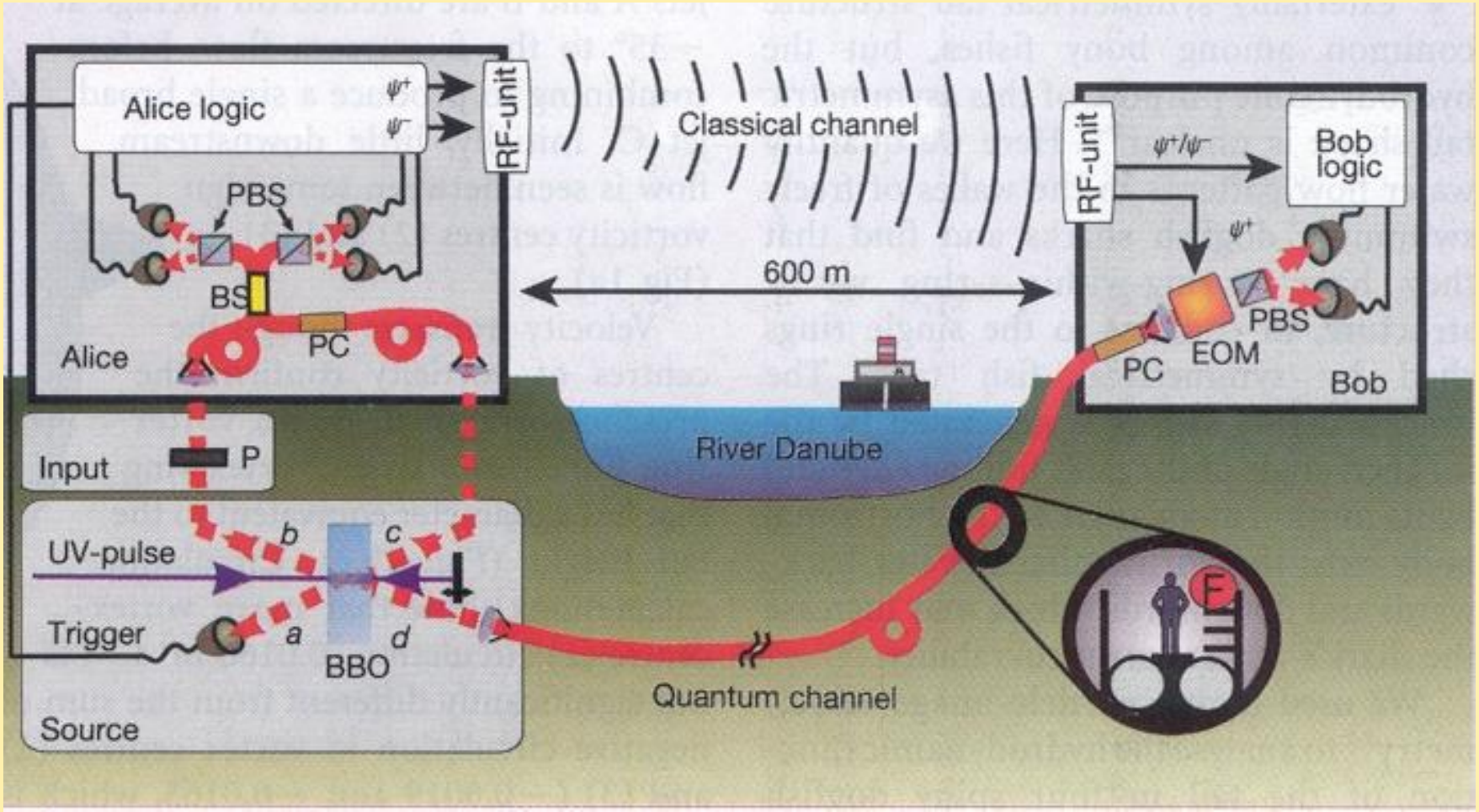
7: Store photon

8: Wait for BSM

9: Analysis

O. Landry *et al.*, quant-ph/0605010

مخابرات كوانتومي در عمل



R. Ursin, Nature 430, 849, 2004

ISS (International Space Station)
~400km from ground

چشم انداز مخابرات کوانتومي

OGS (ESA)
Tenerife - Spain

1400km distance

Calar Alto - Spain

با تشکر از صبر و حوصله شما