



Mezinárodní centrum pro informaci a neurčitost
Univerzita Palackého v Olomouci

Jak kvantovou interferencí korigovat šum světla ?

Radim Filip

katedra optiky University Palackého



**Petr Marek, Vladyslav Usenko, Miroslav Gavenda,
Kimin Park, Laszlo Ruppert, Andrey Rakhubovsky**



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

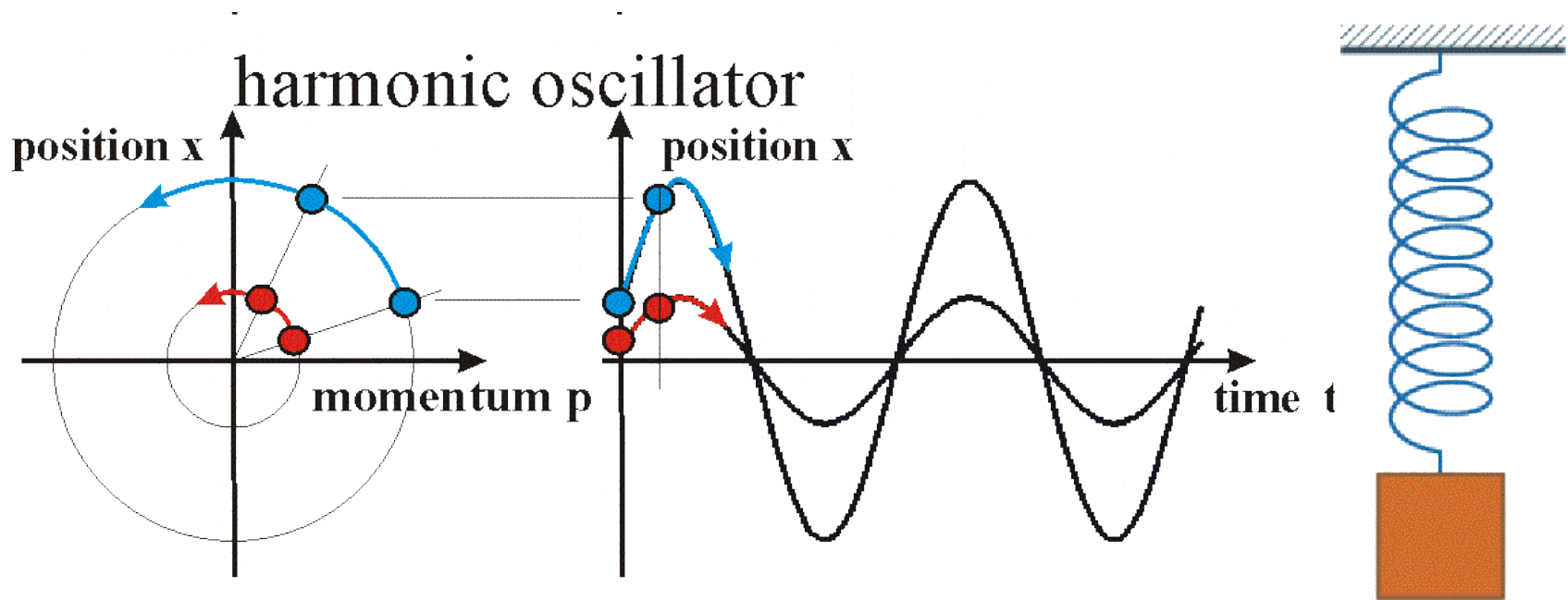


OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



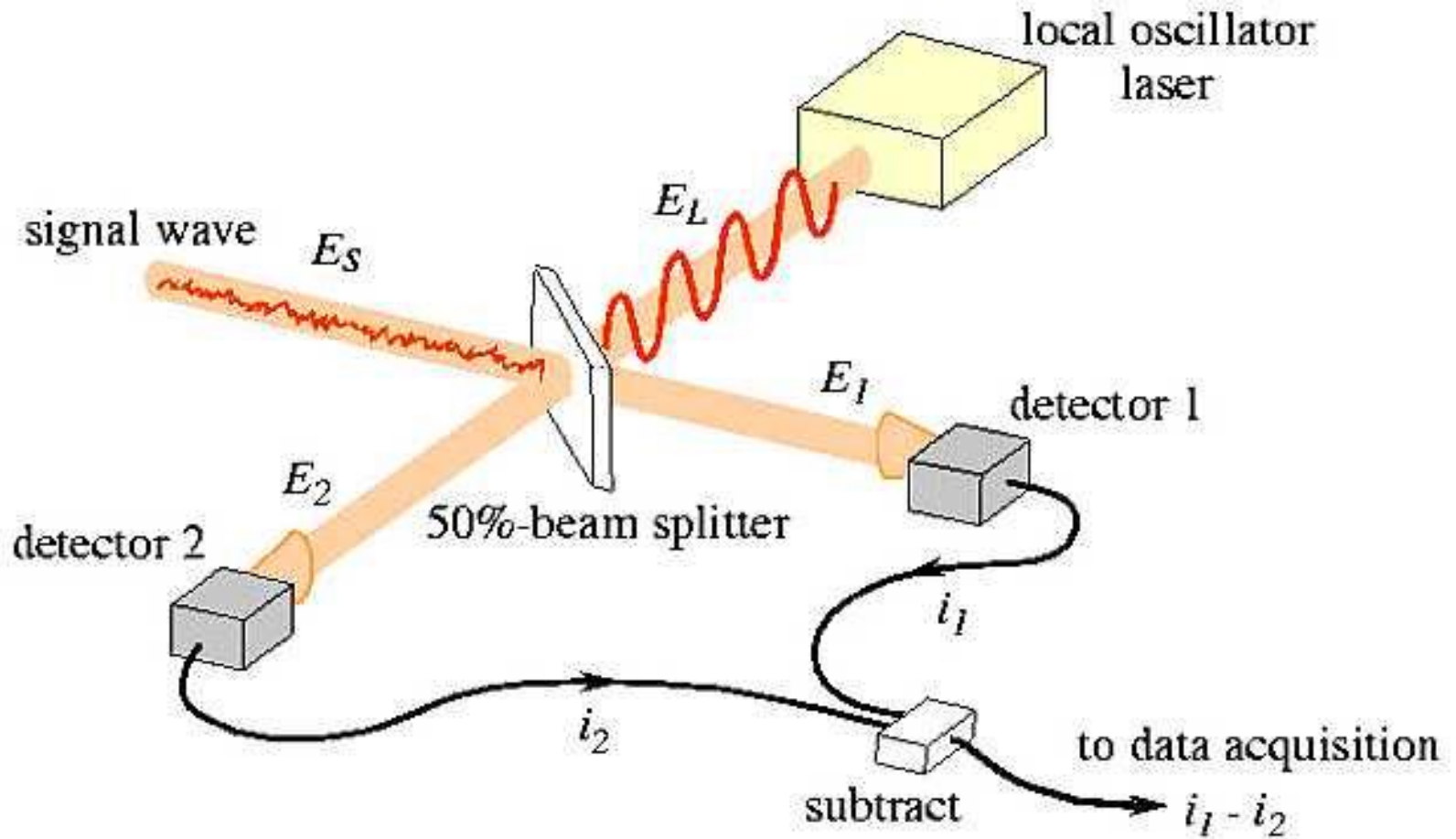
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

MÓD SVĚTLA = LINEÁRNÍ HARMONICKÝ OSCILÁTOR



QM: KVANTOVÝ LHO, $[X,P]=2i$

HOMODYNNÍ DETEKCE

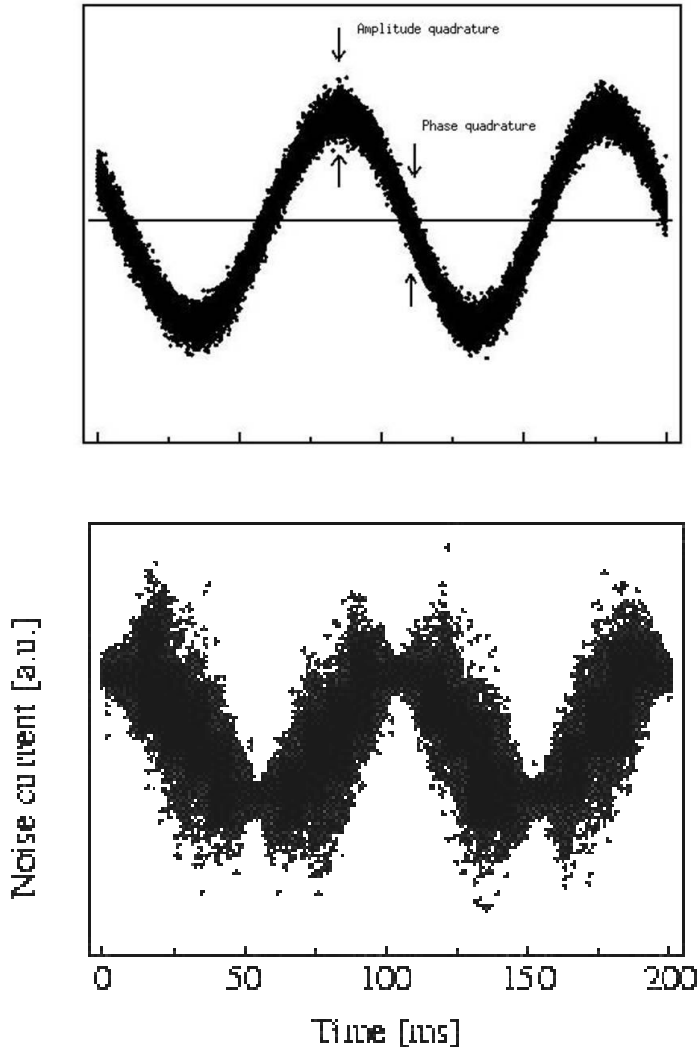


KVANTOVÝ ŠUM SVĚTLA

Kvantový šum intenzivního laserového záření je měřitelný **homodynní detekcí**.

Informace může být současně vložena do **amplitudové a fázové kvadratury** optického signálu, které hrají roli X a P.

Částečné „stlačení“ šumu pomocí **nelineárních procesů** v optických krystalech.



Koherentní stavy a kvantová optika



Otec koherentního stavu

Roy J. Glauber

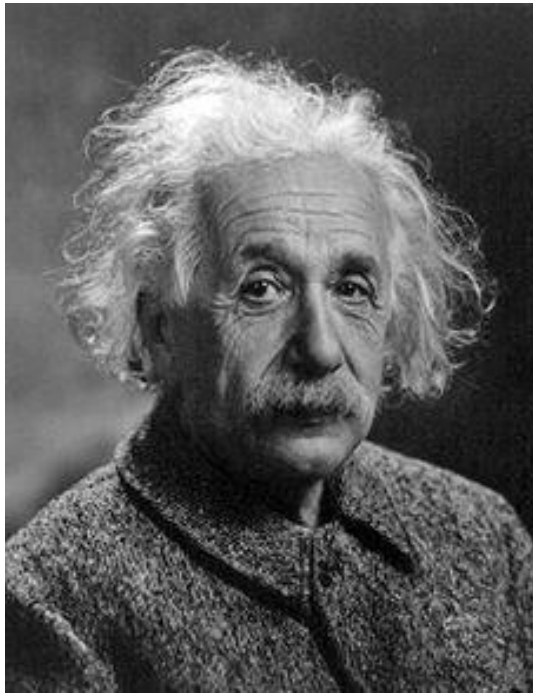
Nobelova cena v roce 2005

Kvantová optika:

zkoumá kvantový šum světla, jeho vlastnosti a aplikace.

- velmi citlivá měření, např. detekce gravitačních vln, měření pro nanotechnologie.
- manipulace látky (atomů, pevných látek) na kvantové úrovni.

KVANTOVÝ FYZIK DNEŠKA = KVANTOVÝ KONSTRUKTÉR

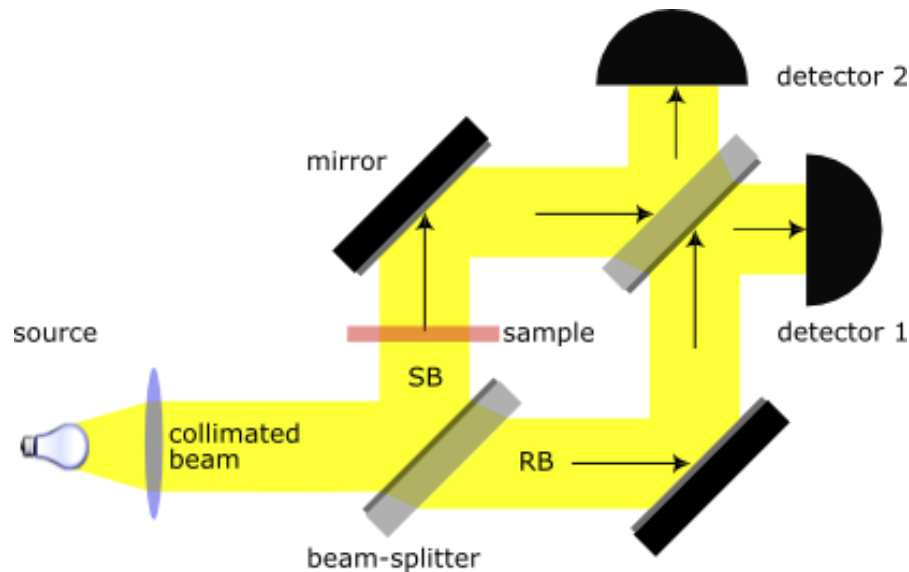


**KVANTOVÁ
FYZIKA**



KVANTOVÉ OPERACE

KLASICKÁ INTERFERENCE SVĚTLA



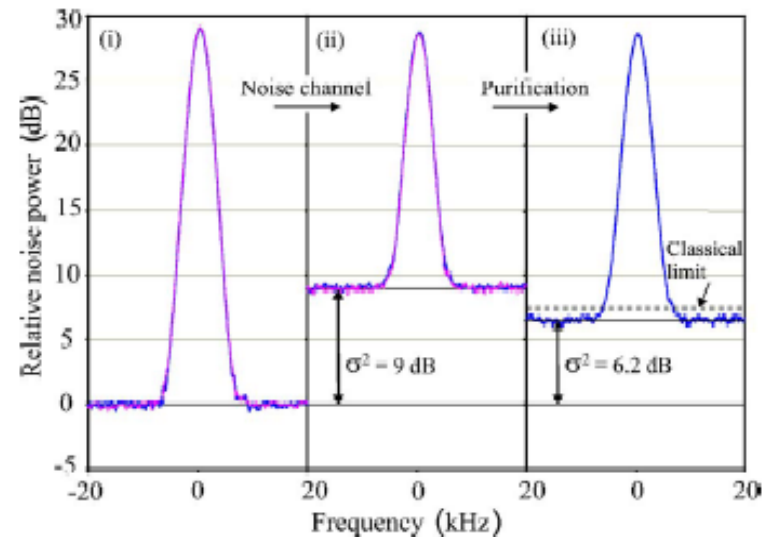
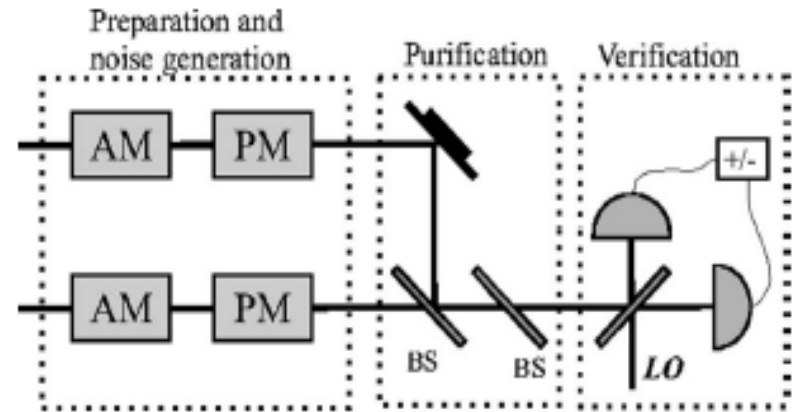
- 1891-1892: Ludwig Mach a Ludwig Zehnder
- MZ interferometr měří změnu fáze zavedenou vzorkem v jednom rameni.
- Využívá pouze klasické koherence záření, kvantová statistika není důležitá (vyjma gravitačních detektorů)

REDUKCE ŠUMU INTERFERENCÍ

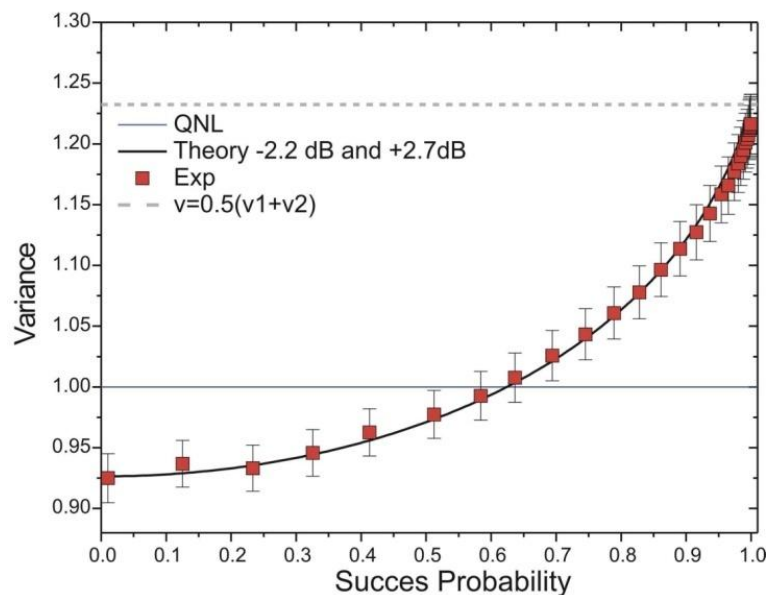
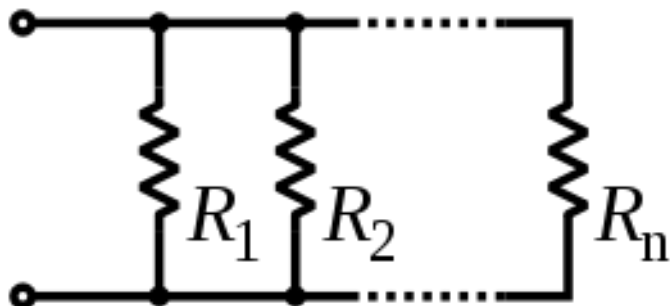
- Konstruktivní interference více kopií zašuměného signálu umožňuje snížit šum.

$$V = (V_1 + V_2) / 2$$

- Přidaný šum je redukován faktorem $1/N$, kde N je počet kopií.



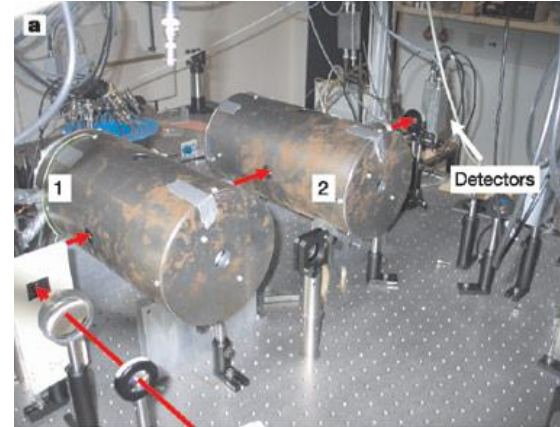
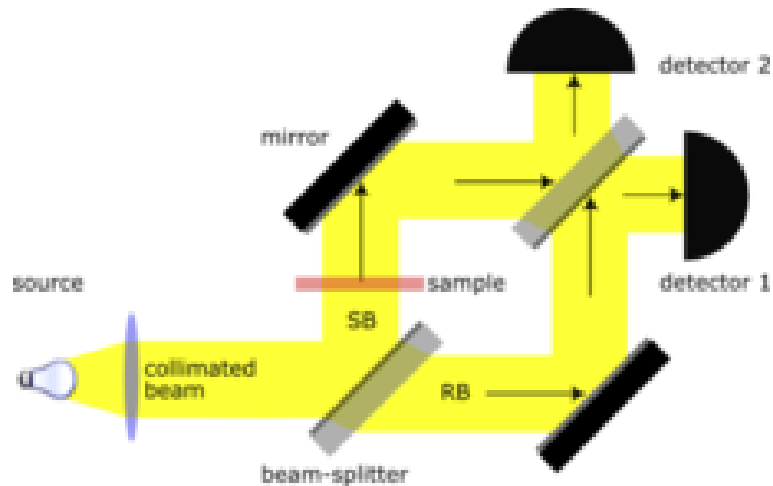
HARMONICKÝ PRŮMĚR KVANTOVÝCH ŠUMŮ



Kvantové šumy se mohou podmíněně skládat
i harmonicky:

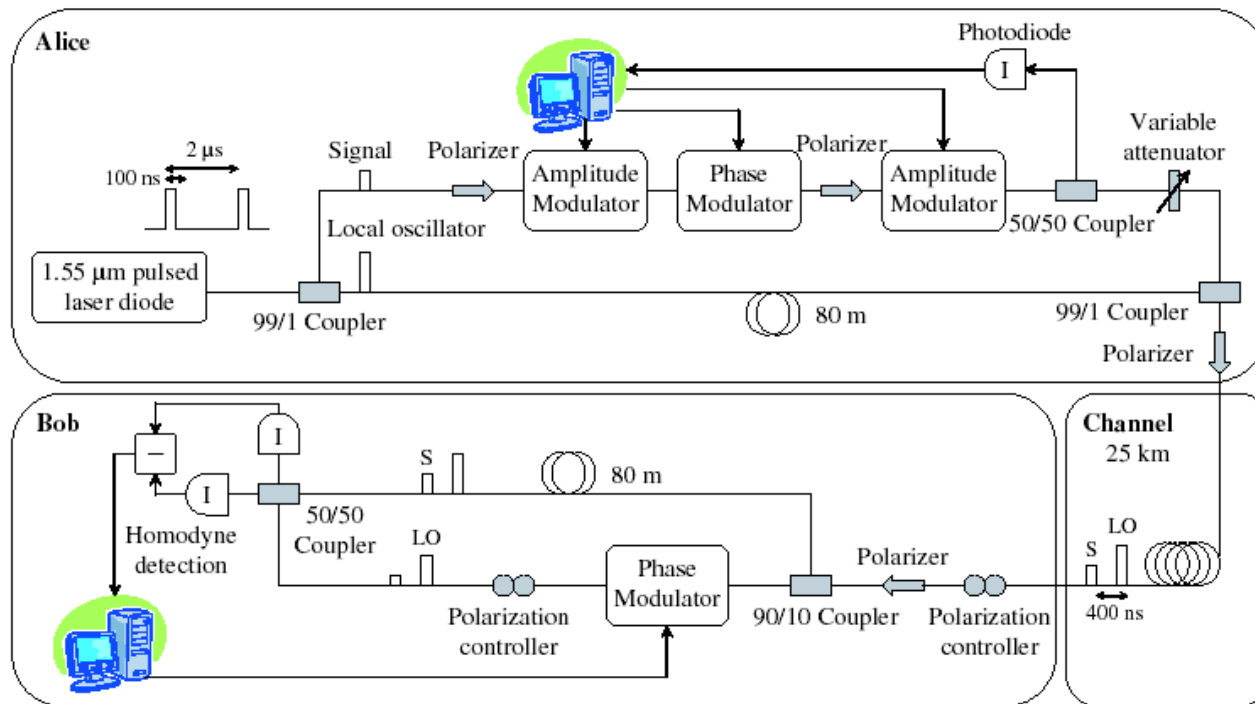
$$2/V = (1/V_1 + 1/V_2)$$

INTERFERENCE A REDUKCE ŠUMU V KVANTOVÉ PAMĚTI



- kvantová paměť by měla umožnit interferenci „bez“ časové synchronizace: **kvantové experimenty v kvantové paměti.**
- redukce šumu interferencí je možná přímo v atomové paměti.

KVANTOVÁ KRYPTOGRAFIE

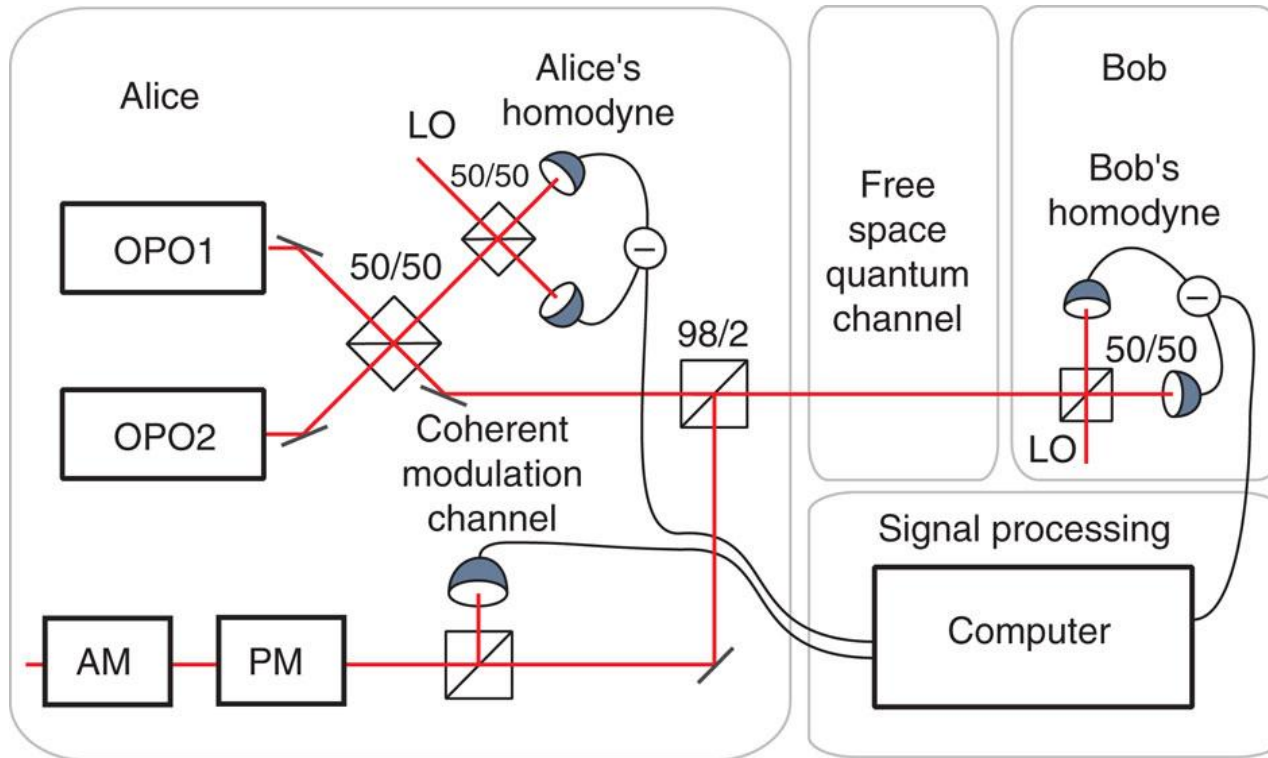


F. Grosshans, G. Van Assche, J. Wenger, R. Brouri, N. J. Cerf, Ph. Grangier, Nature 421, 238 (2003).

Pomocí redukce šumu interferencí, kvantová kryptografie s zašuměnou vícenásobnou přípravou signálu je stále bezpečná pro jakýkoliv ztrátový kanál.

R. Filip, Phys. Rev. A 77, 022310 (2008).

KVANTOVÁ KRYPTOGRAFIE

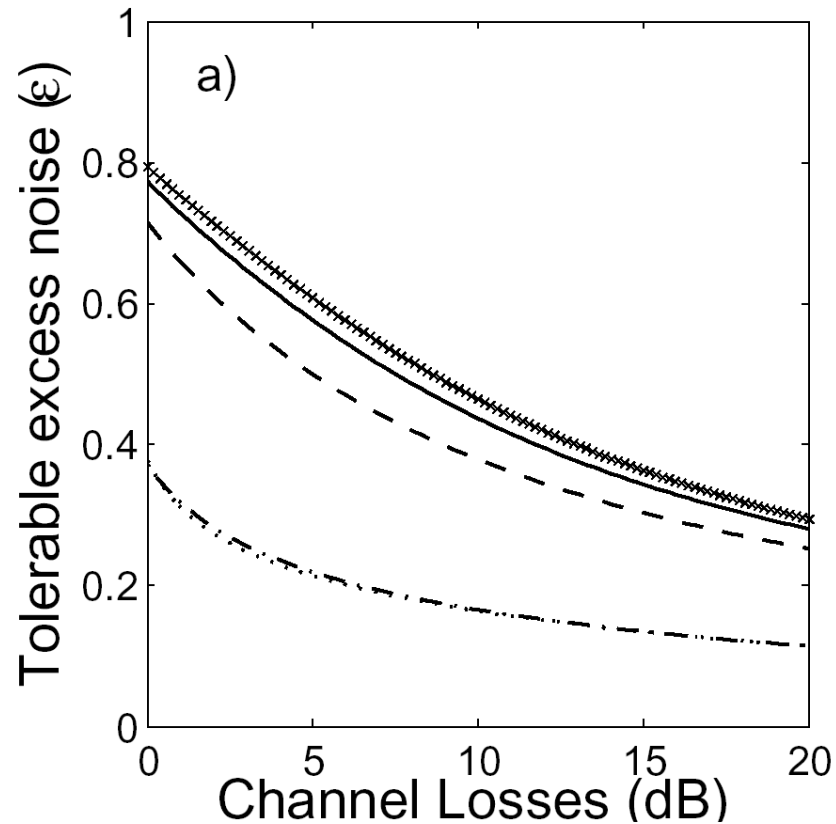
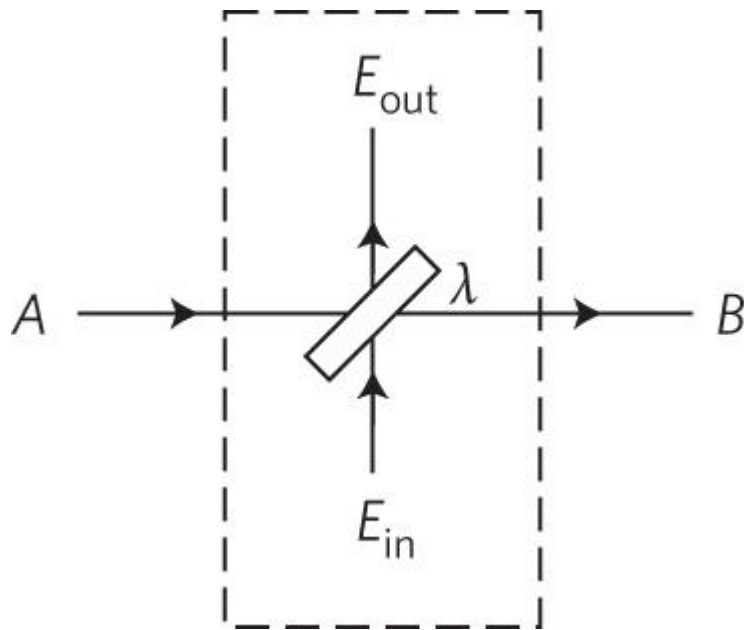


L.S. Madsen, V.C. Usenko, M. Lassen, R. Filip and U.L. Andersen, *Nature Communication* 3, 1083 (2012).

Kvantová kryptografie se stlačenými provázanými stavy je robustnější než s koherentními stavy světla.

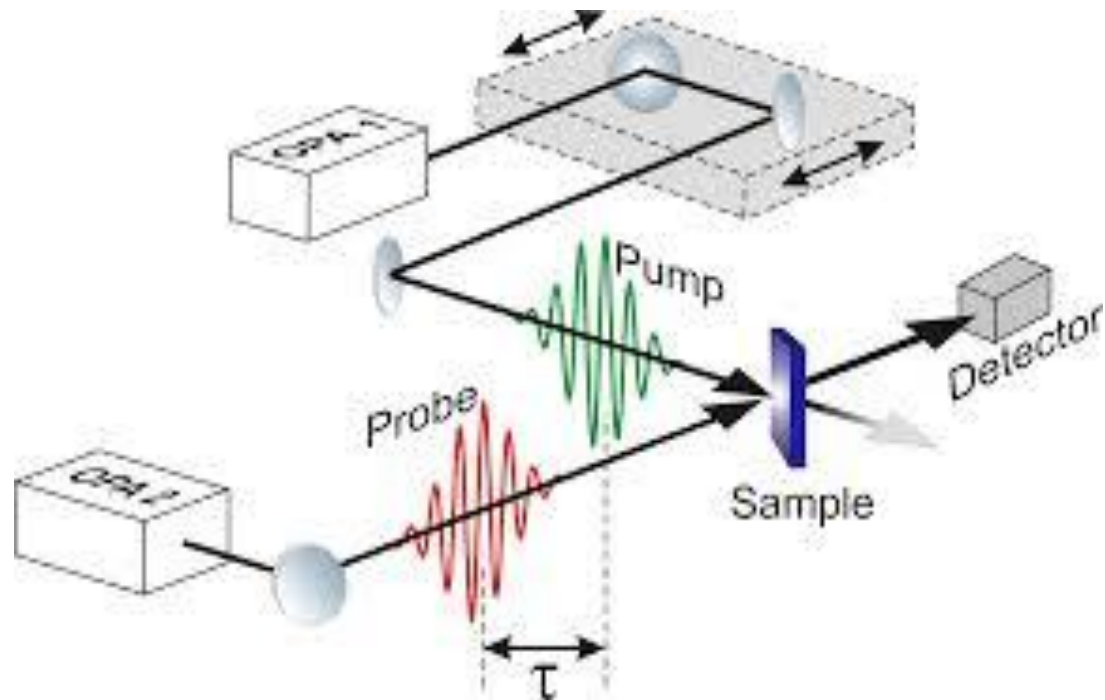
V.C. Usenko and R. Filip, *New J. Phys.* **13**, 113007 (2011).

KLASICKÝ ŠUM LIMITUJE



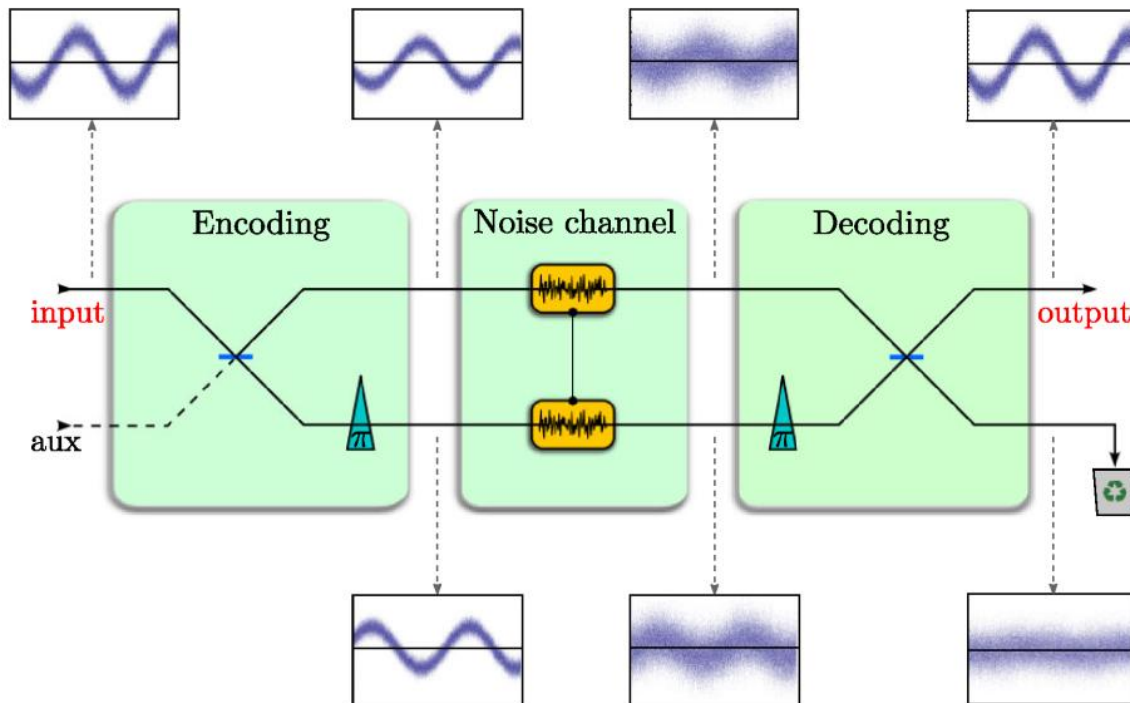
Odstraněním klasického šumu v přenosovém kanále je možné rozšířit **bezpečnost kvantové kryptografie na libovolnou vzdálenost.**

KLASICKÁ METODA PUMP-PROBE



Jestliže τ je malé, testovací puls měří změnu vzorku způsobenou čerpacím pulsem. Metoda využívá časové korelace mezi rychlými pulsy, vyvolané pomalou odezvou vzorku: korelační spektroskopie.

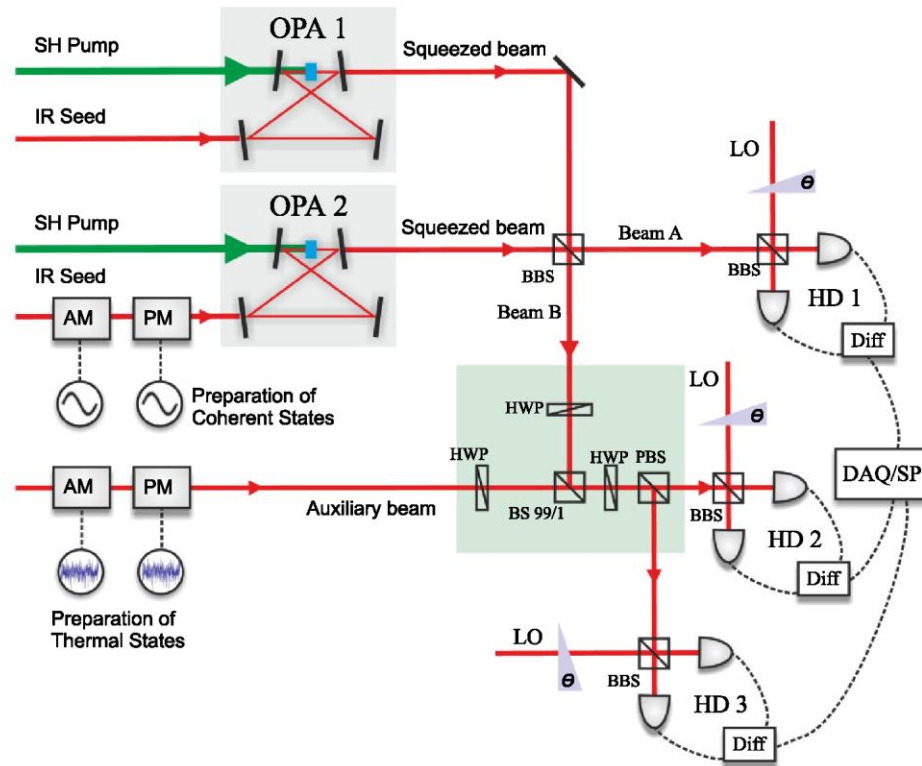
KLASICKÝ ŠUM PRINCIPIÁLNĚ NELIMITUJE



**Korelovaný šum v kanále je úplně eliminovaný
bez změny libovolného přenášeného kvantového stavu.**

M. Lassen, A. Berni, L.S. Madsen, R. Filip, U.L. Andersen, Phys. Rev. Lett 111, 180502, (2013).

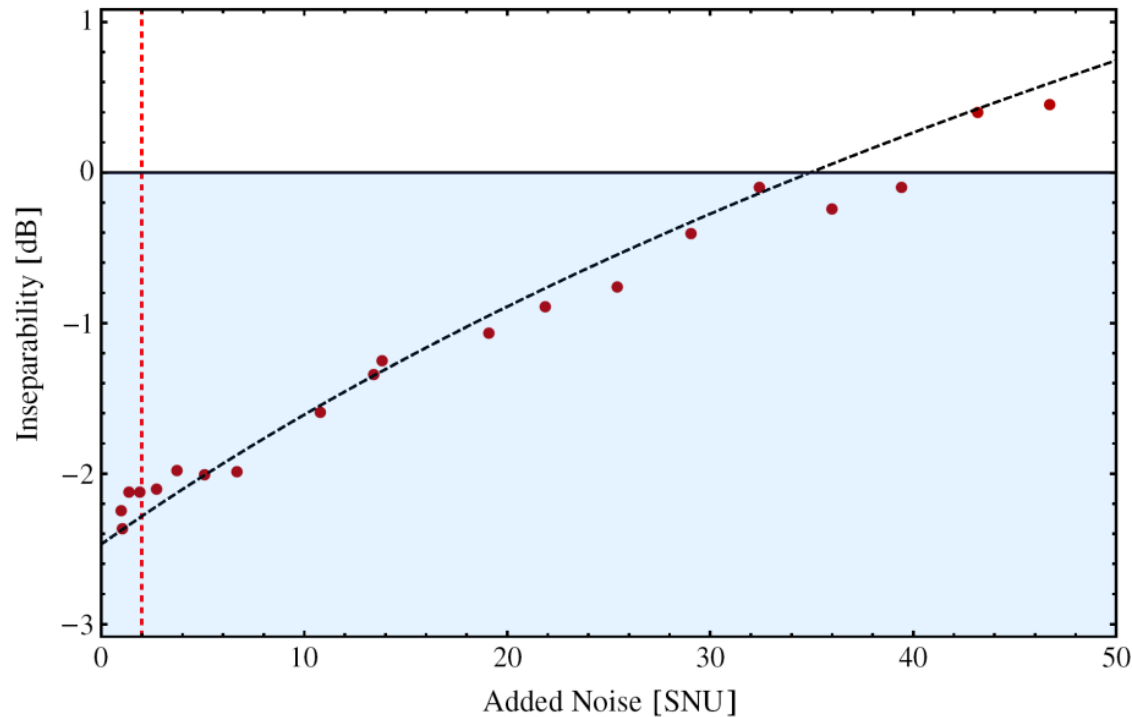
KLASICKÝ ŠUM PRINCIPIÁLNĚ NELIMITUJE



Experimentální test pro provázané stlačené stavy využité pro kvantovou kryptografií.

M. Lassen, A. Berni, L.S. Madsen, R. Filip, U.L. Andersen, Phys. Rev. Lett 111, 180502, (2013).

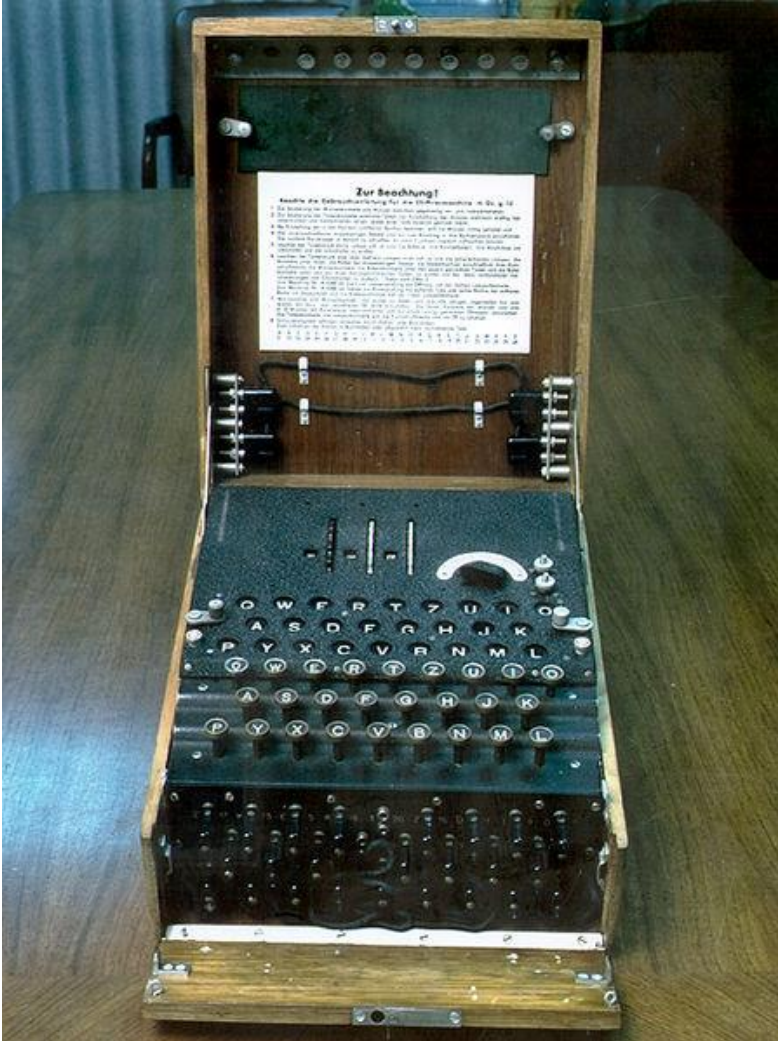
KLASICKÝ ŠUM PRINCIPIÁLNĚ NELIMITUJE



Eliminace korelovaného šumu závisí na kvalitě klasické interference kvantových stavů.

M. Lassen, A. Berni, L.S. Madsen, R. Filip, U.L. Andersen, Phys. Rev. Lett 111, 180502, (2013).

APLIKACE



- Kvantová kryptografie: první využití kvantového šumu.
- Únik informace je vždy doprovázen zvýšením kvantového šumu, který je možné měřit.
- Podmínkou je, aby celý přenos informace byl blízko hranice kvantového šumu. Jinak je bezpečnost ztracena.

BUDOUCNOST

- Další aplikace interference kvantového šumu ?
- Nové projevy šumu světla a látky ?
- Kvantová efekty s makroskopickými stavy světla (BRISQ2) ?
- **Otevřeno pro nové PhD studenty.**

