

Kvantové zpracování informace s jednotlivými fotony



Ivo Straka

Univerzita Palackého

6. června 2013



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

- 1 Zdroj fotonových párů
- 2 Jak hodnotit neklasické světlo
- 3 Kvantová logická hradla

Proč fotony?

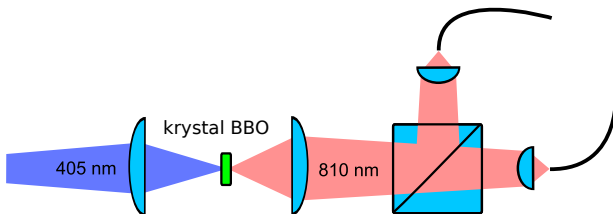
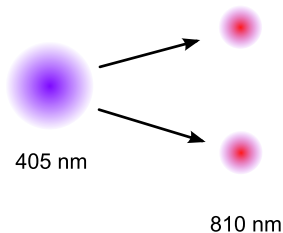
Pro:

- Rychlý přenos informace
- Nízká dekoherence
- Jednoduchá produkce entanglementu

Proti:

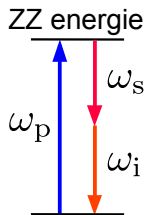
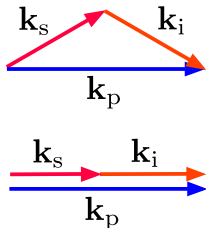
- Citlivá interakce
- Dlouhodobé ukládání informace
- Vysoká náročnost produkce více párů

Generace fotonových párů



Zákony zachování

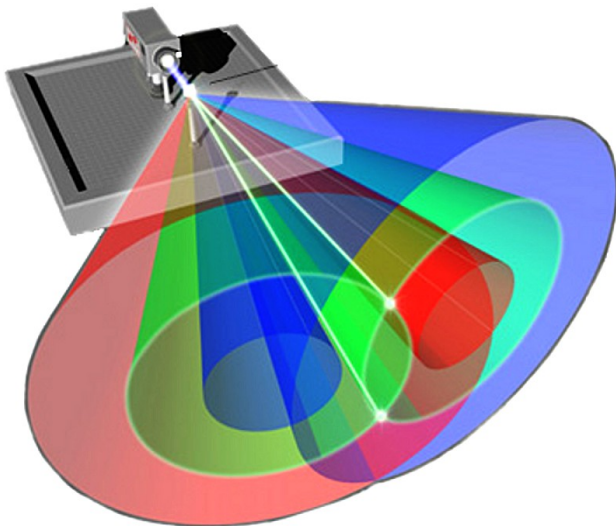
zákon zachování hybnosti



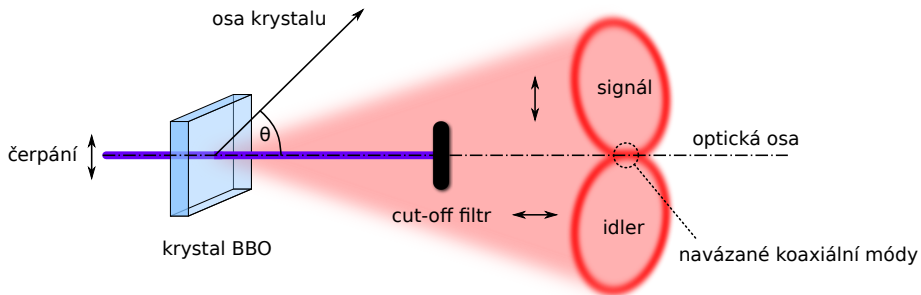
$$\omega_s = \omega_i = \frac{1}{2}\omega_p$$

$$2n_e(\omega_p, \theta) = n_0\left(\frac{\omega_p}{2}\right) + n_e\left(\frac{\omega_p}{2}, \theta\right)$$

Sestupná parametrická konverze



Sestupná parametrická konverze



Prostorový walk-off svazku

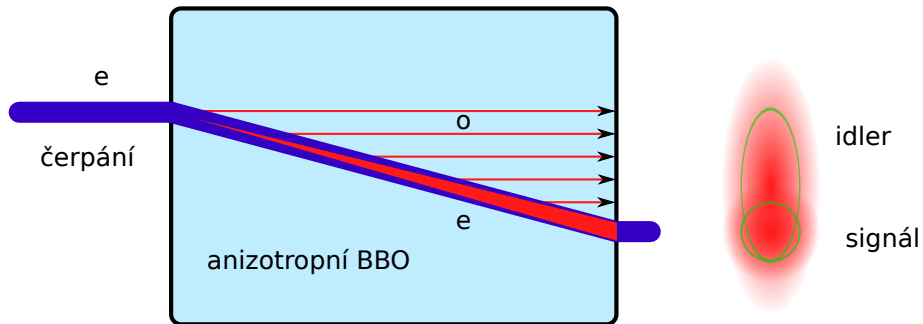


Schéma experimentu

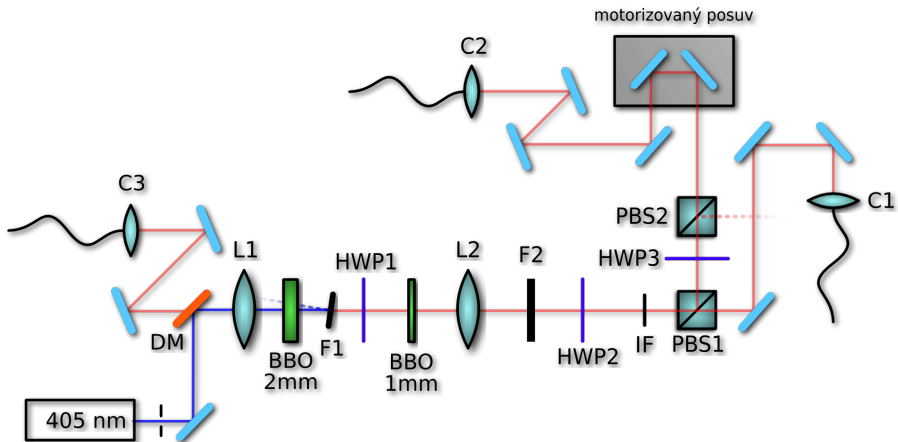
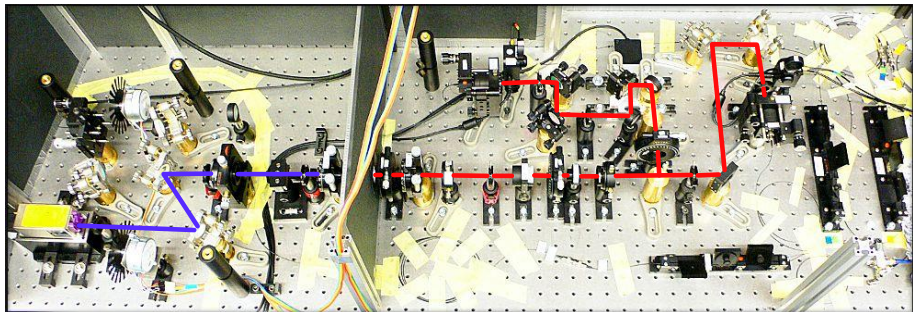


Foto experimentu



Jak hodnotit neklasické světlo?

Dva režimy:

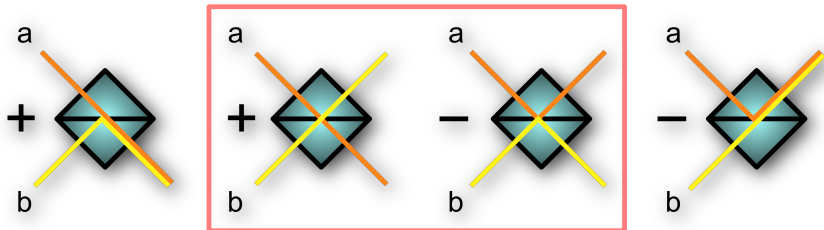
- ① Korelované fotonové páry
- ② Zdroj hlášeného jednoho fotonu

Měření:

- ① Hong-Ou-Mandelova interference
- ② Hanbury-Brown-Twissovo schéma

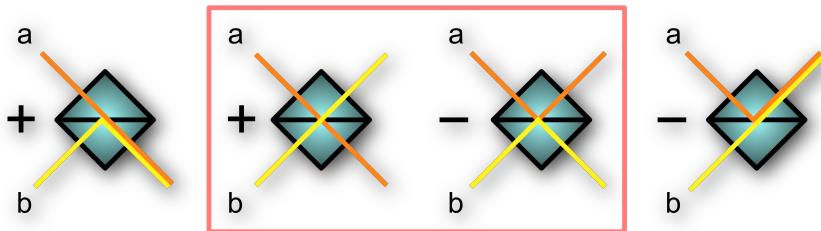


Hong-Ou-Mandelův jev

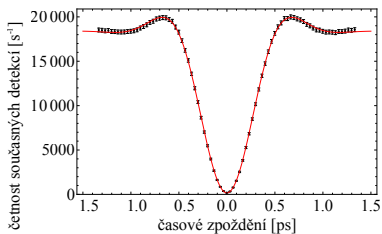


interference

Hong-Ou-Mandelův jev

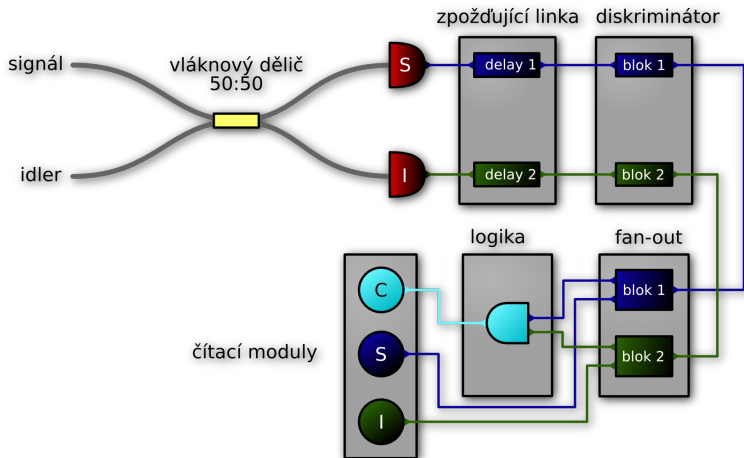


interference

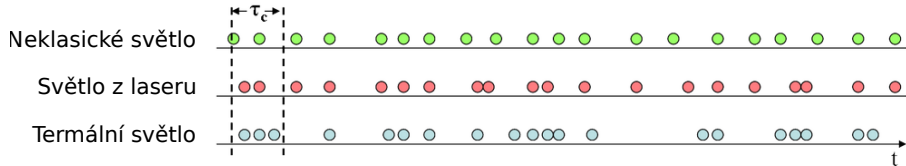
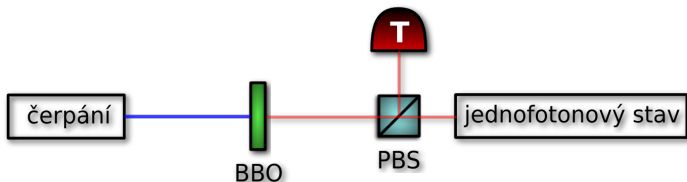


$$Vis = \frac{Max - Min}{Max}$$

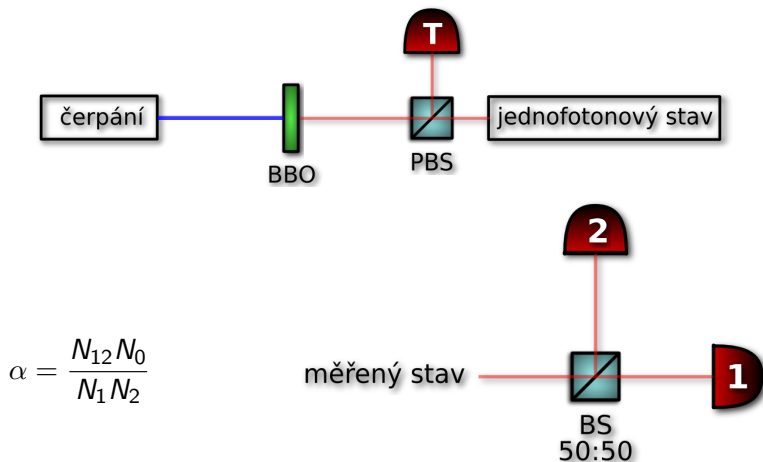
Hong-Ou-Mandelův jev



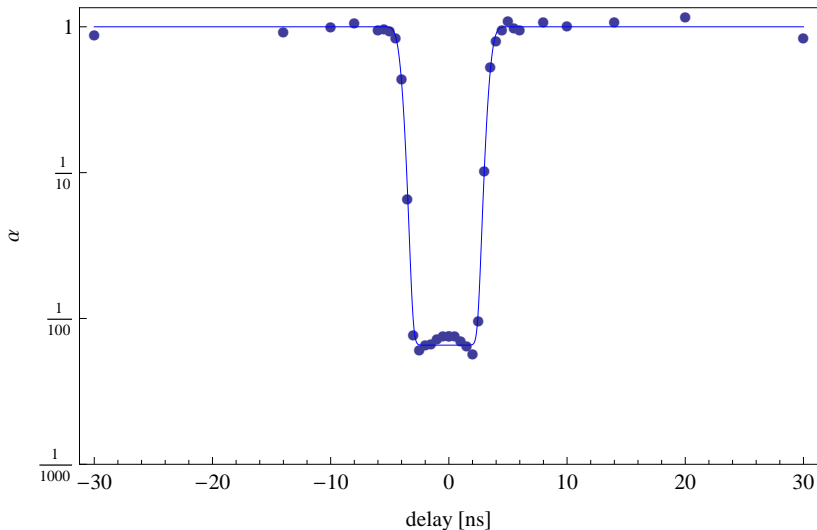
Zdroj jednoho fotonu



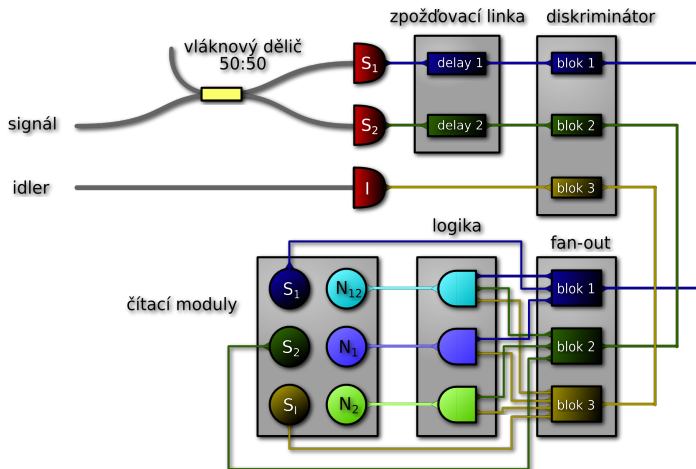
Antikorelační parametr



Antikorelační parametr



Měřicí schéma



Výsledky

čerpací výkon	89 mW
koincidence	42 000 s ⁻¹
signal	218 000 s ⁻¹
idler	140 000 s ⁻¹
visibilita	99 %
$\alpha(0)$	0.76 %

Kódování informace do jednotlivých fotonů

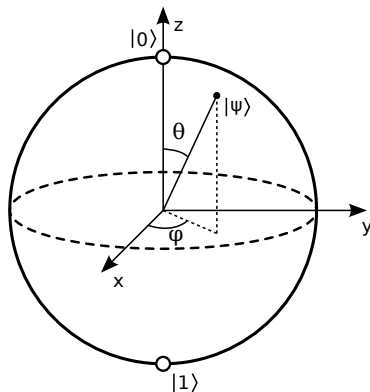
Kvantový bit:

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

$$\alpha = \cos \theta$$

$$\beta = e^{i\varphi} \sin \theta$$

- Prostorové kódování
- Polarizační kódování
- Time-biny



Kvantové Toffoliho hradlo

CCNOT hradlo (Toffoli)

Kont. bity		Cílový bit
$ 0\rangle$	$ 0\rangle$	$ 0\rangle \rightarrow 0\rangle$
$ 0\rangle$	$ 0\rangle$	$ 1\rangle \rightarrow 1\rangle$
$ 1\rangle$	$ 0\rangle$	$ 0\rangle \rightarrow 0\rangle$
$ 1\rangle$	$ 0\rangle$	$ 1\rangle \rightarrow 1\rangle$
$ 0\rangle$	$ 1\rangle$	$ 0\rangle \rightarrow 0\rangle$
$ 0\rangle$	$ 1\rangle$	$ 1\rangle \rightarrow 1\rangle$
$ 1\rangle$	$ 1\rangle$	$ 0\rangle \rightarrow 1\rangle$
$ 1\rangle$	$ 1\rangle$	$ 1\rangle \rightarrow 0\rangle$

CCZ hradlo

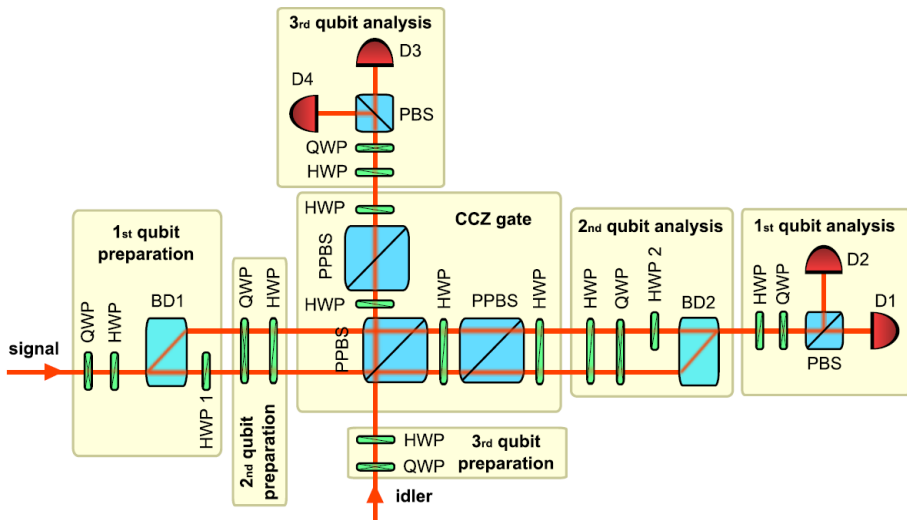
Kont. bity		Cílový bit
$ 0\rangle$	$ 0\rangle$	$ 0\rangle \rightarrow 0\rangle$
$ 0\rangle$	$ 0\rangle$	$ 1\rangle \rightarrow 1\rangle$
$ 1\rangle$	$ 0\rangle$	$ 0\rangle \rightarrow 0\rangle$
$ 1\rangle$	$ 0\rangle$	$ 1\rangle \rightarrow 1\rangle$
$ 0\rangle$	$ 1\rangle$	$ 0\rangle \rightarrow 0\rangle$
$ 0\rangle$	$ 1\rangle$	$ 1\rangle \rightarrow 1\rangle$
$ 1\rangle$	$ 1\rangle$	$ 0\rangle \rightarrow 0\rangle$
$ 1\rangle$	$ 1\rangle$	$ 1\rangle \rightarrow - 1\rangle$

Hadamardova brána:

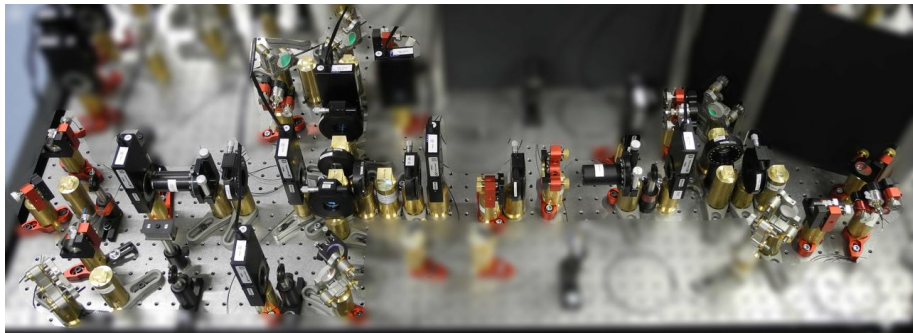
$$|0\rangle \rightarrow |0\rangle + |1\rangle$$

$$|1\rangle \rightarrow |0\rangle - |1\rangle$$

CCZ hradlo



CCZ hradlo



Limitující faktory hradel

- Hradlo nefunguje vždy
- Někdy je potřeba ancilla
- Technické nedokonalosti snižují fidelitu
- Stabilita

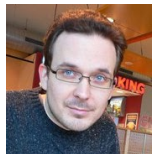
Shrnutí

- 1 Generace fotonových párů v nelineárním krystalu
- 2 Měření shlukování a neshlukování fotonů
- 3 Kvantové hradlo v praxi

Děkuji Vám za pozornost!



Miloslav Dušek
profesor



Miroslav Ježek
postdoc



Michal Mičuda
postdoc



Martina Miková
doktorandka



Ivo Straka
doktorand



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ