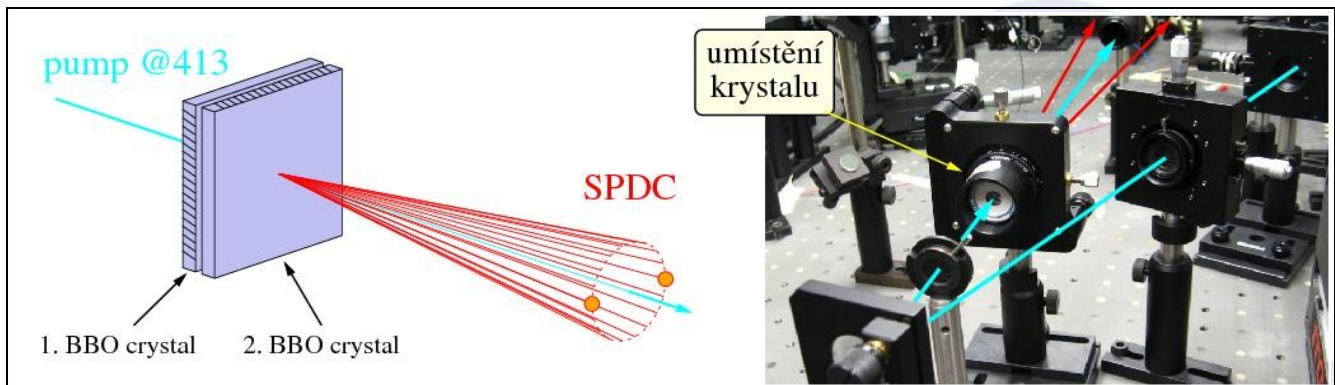




## Příprava dvoufotonových polarizačních KLM stavů

Naše laboratoř z oddělení optických a fotonických struktur se dlouhodobě zabývá studiem kvantových korelací mezi fotony, které jsou generovány v párech v procesu sestupné frekvenční parametrické konverze (SPDC). Využití procesu SPDC je velmi aktuální a pro generaci kvantově provázaných (korelovaných) vícefotonových stavů je používají rutinně obdobné špičkové mezinárodní laboratoře. Pro generaci fotonových párů se používají nelineární krystaly jako KTP, BBO nebo  $\text{LiIO}_3$ , které je nutné čerpat intenzivním laserovým svazkem pro dosažení dostatečné četnosti generace fotonových párů. První SPDC zdroje fotonových párů využívaly nejjednodušší sfázování interagujících optických svazků typu I, nebo typu II. Tato podmínka, odpovídající zákonům zachování energie a hybnosti při nelineárním procesu, je ovšem příliš omezující. Proto se v současné praxi používají nové zdroje buď založené na periodicky pólovaných materiálech nebo zdroje Kwiatova typu, které jsme v naší laboratoři začali používat v posledních letech.



Obrázek 1: Zdroj fotonových párů Kwiatova typu: Schéma páru krystalů (vlevo), a fotografie experimentu (vpravo).

Rozvoj metod pro kvantové počítání pomocí lineární optiky je v současné době nejvíce omezen tím, že všechny operace prováděné na kvantovém stavu mají pravděpodobnost úspěchu menší než 100%. Pokud je úspěšnost kvantového C-NOT hradla např. pouze 25% a daný výpočet vyžaduje 10 hradel, bude celková úspěšnost kvantového výpočtu pouze  $(0,25)^{10} \approx 10^{-6}$ . Přesto existuje možnost zvýšit tuto pravděpodobnost úspěchu jednotlivých kvantových operací, například pokud využijeme speciálně připravené pomocné stavy světla. Podle autorů tohoto návrhu jsou tyto speciální entanglované stavy označovány jako KLM stavy [1].

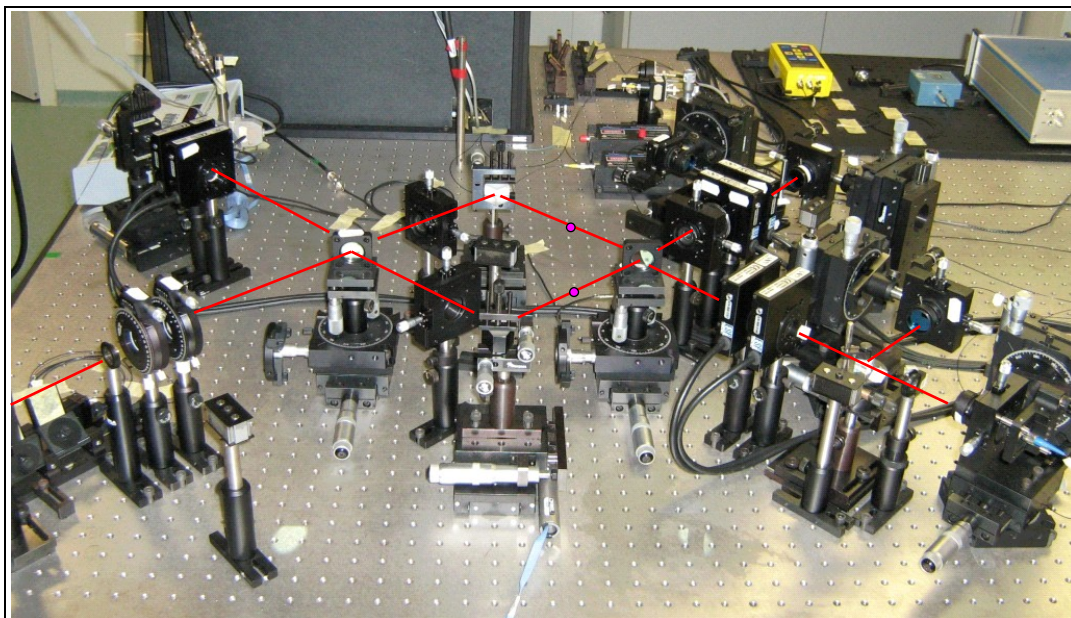
Podle našeho návrhu jsme v roce 2009 připravili optické schéma prototypu pro přípravu dvoufotonových polarizačních KLM stavů. Tyto stavy lze v laboratorní bázi (H – horizontální, V – vertikální lineární polarizace) ve dvou prostorových módech zapsat jako:

$$|\psi_{\text{KLM}}\rangle = \gamma|H_1V_1\rangle + \delta|H_1V_2\rangle - \gamma|H_2V_2\rangle,$$

kde  $\gamma$  a  $\delta$  jsou volné parametry, které přesně určují daný stav. Náš prototyp využívá jako zdroj fotonů SPDC v Kwiatově uspořádání podle obr. 1. Vlastní generace KLM stavů se provádí v uspořádání dvoufotonového interferometru Hongova-Ouova-Mandelova typu [2], jak ukazuje obr. 2. Dva fotony připraveného KLM stavu jsou v obrázku vyznačeny fialovými kolečky.

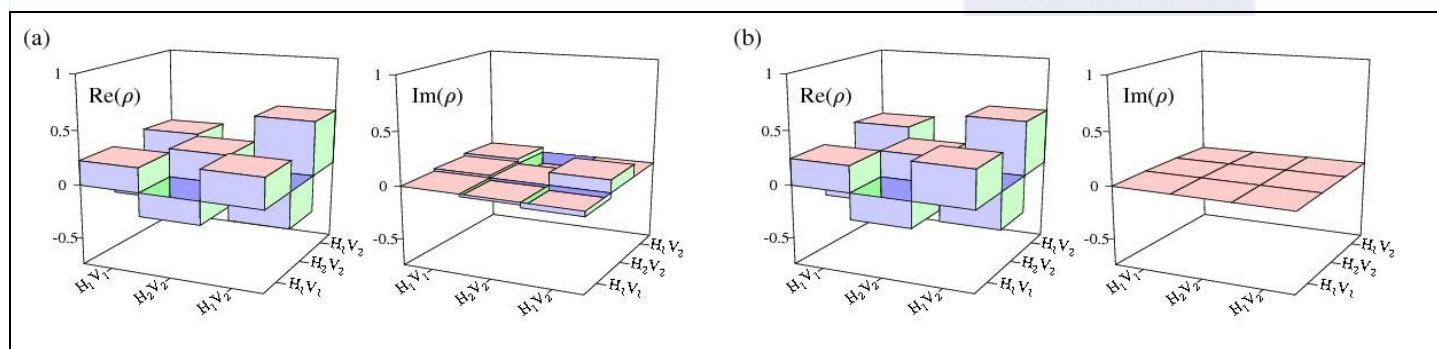
Funkci našeho prototypu jsme prověřili přípravou celé škály KLM stavů s různým poměrem  $\gamma/\delta$ , přičemž se cílový stav zkoumal metodou úplné dvoufotonové polarizační tomografie. K měření tomografie se využívá sestava za děličem v pravé části obr. 2. Funkčnost prototypu se ověřovala standardně výpočtem fidelity, která popisuje míru podobnosti generovaného stavu s požadovaným teoretickým stavem. Námi generované KLM stavy dosahovaly standardně fidelity nad 91% [3].



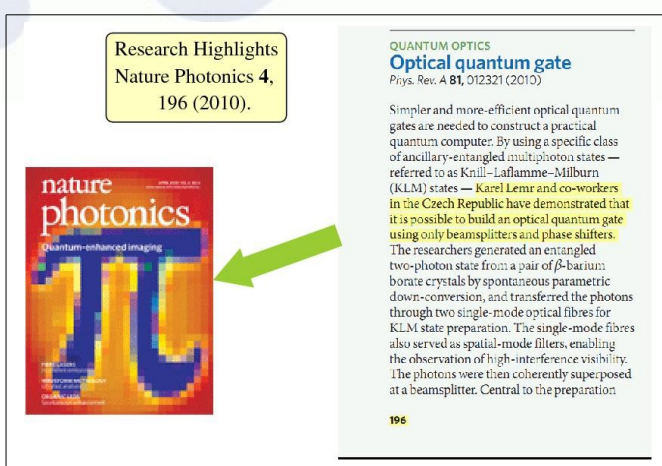


Obrázek 2: Prototyp zařízení pro generaci dvoufotonových polarizačních KLM stavů.

Kvantová mechanika používá pro popis kvantových stavů matici hustoty  $\rho$ , typický příklad tomograficky zjištěné matice hustoty jednoho KLM stavu, který jsme pomocí našeho prototypu připravili, je spolu s teoretickou maticí hustoty zobrazen v obr. 3.



Obrázek 3: Reálná a imaginární část matice hustoty KLM stavu s poměrem  $(\gamma/\delta)^2=0.48$ : (a) experiment, (b) teorie.



Obrázek 4: Zmínka o našem vědeckém úspěchu se dostala i do dubnového čísla prestižního časopisu Nature Photonics 2010.

- [1] E. Knill, R. Laflamme, and G. Milburn, Nature (London) 409, 46 (2001).
- [2] C. K. Hong, Z. Y. Ou, and L. Mandel, Phys. Rev. Lett. 59, 2044 (1987).
- [3] K. Lemr, A. Černocho, J. Soubusta, and J. Fiurášek. Phys. Rev. A 81, 012321 (2010).

