



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Účastník stáže: **Mgr. Martina Miková**
Datum konání stáže: **11.7. - 19.8.2013**
Navštívené pracoviště:

**Dánská Technická Univerzita (DTU),
Lyngby, Dánsko, Katedra fyziky,
Skupina Quantum Physics
and Information Technology (QPIT),**

Zahraniční garant: **prof. Ulrik Lund Andersen**

Obsah

- **seznámení s pracovištěm DTU a skupinou QPIT**
- **téma řešeného projektu - motivace**
- **stručný teoretický úvod**
- **experiment - návrh a realizace**
- **závěr**

DTU, skupina QPIT



- státní Dánská Technická Univerzita (DTU) - založena roku 1829 v Lyngby u Kodaně
- 19 kateder a přibližně 8 menších center
- Katedra fyziky má 6 oddělení, jedním z nich je sekce kvantové fyziky a informačních technologií (QPIT - Quantum Physics and Information Technology). Sekce byla založena prof. Ulrikem Lundem Andersenem v roce 2007.

Téma řešeného projektu - motivace

experimentální projekt orientovaný na rozlišení optické fáze pomocí slabých toků světla

(projekt, v rámci mé stáže a spolupráce katedry optiky PŘF UP a QPIT, DTU)

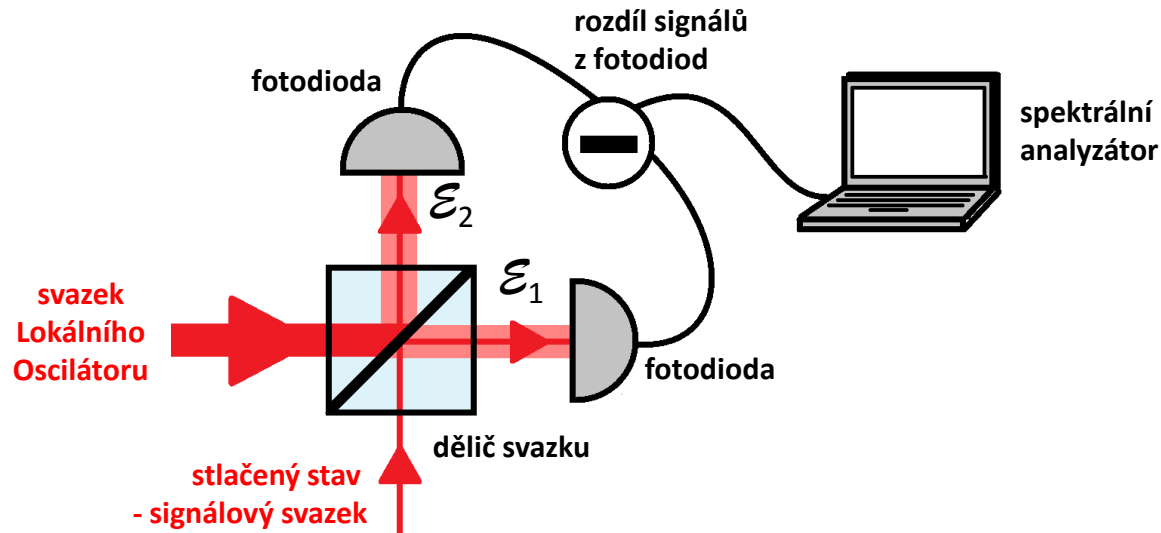
- Při využití koherentního stavu světla, s malým počtem fotonů, jsme schopni dosáhnout určité citlivosti (sensitivity) - minimální optické fáze, kterou jsme schopni experimentálně rozlišit.
- Když jsme limitováni malým počtem fotonů, výsledky našeho měření limituje kvantový šum.
- S využitím stlačeného stavu světla je možno dosáhnout lepšího rozlišení fáze, za určitých podmínek. Vhodně připravený stlačený stav světla může mít v jedné ze svých os potlačené fluktuační, na úkor druhé osy - tohoto faktu se dá využít ke zlepšení rozlišení optické fáze při zachování počtu fotonů.
- K realizaci takového experimentu bylo nejprve zapotřebí sestavit experimentální zařízení pro měření optické fáze.

Stručný teoretický úvod – homodynní detekce

Vyvážená homodynní detekce je metoda detekce frekvenčně/amplitudově modulovaného záření (kvadrurně stlačeného stavu) pomocí nelineární interakce, smícháním, se svazkem o nosné frekvenci (Lokálním Oscilátorem).

\mathcal{E} - amplituda elektrického pole
LO - lokální oscilátor
S - signálový svazek
 ϕ - relativní fáze mezi LO a S
1,2 - výstupy za děličem svazku
 $\mathcal{E}_S = \mathcal{E}_{SX} + i\mathcal{E}_{SY}$

X,Y kvadratury el.mag. pole



$$\mathcal{E}_1 = \frac{1}{2} (\mathcal{E}_{LO} e^{i\phi} + \mathcal{E}_S)$$

$$\mathcal{E}_2 = \frac{1}{2} (\mathcal{E}_{LO} e^{i\phi} - \mathcal{E}_S)$$

fotoproud generovaný fotodiodou je úměrný: $|\mathcal{E}|^2 = \mathcal{E}\mathcal{E}^*$

výsledek rozdílu signálů z fotodiód: $2\mathcal{E}_{LO} (\mathcal{E}_{SX} \cos\phi + \mathcal{E}_{SY} \sin\phi)$

jde vidět, že výstup vyvážené homodynní detekce je úměrný kvadratuře signálového pole, která je ve fázi s lokálním oscilátorem

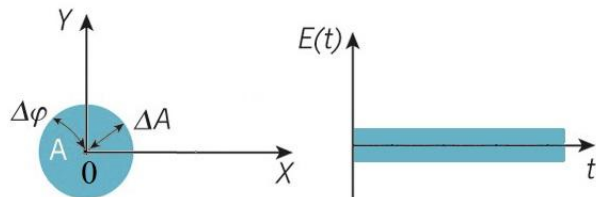
Stručný teoretický úvod - vakuum, koherentní stav, stlačení

X,Y kvadratury
el.mag. pole

vzdálenost $|0A|$
je amplituda
el.mag. pole

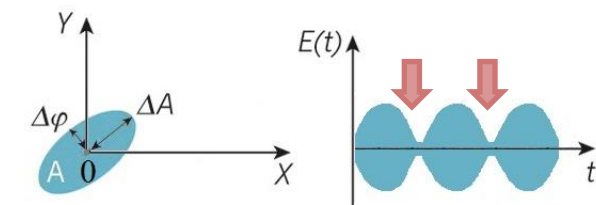
A - amplituda
úhel φ - fáze

velikost disku
reprezentuje
neurčitost stavu v
amplitudě a ve fázi
 $\Delta A, \Delta \varphi$



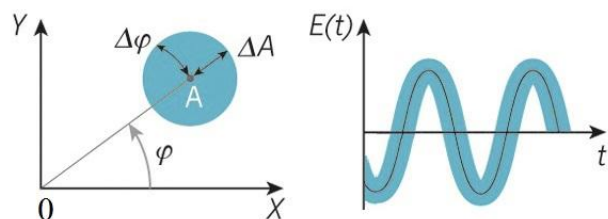
vakuum

$$\Delta A_{vac} = \Delta \varphi_{vac}$$



stlačené vakuum ve fázi

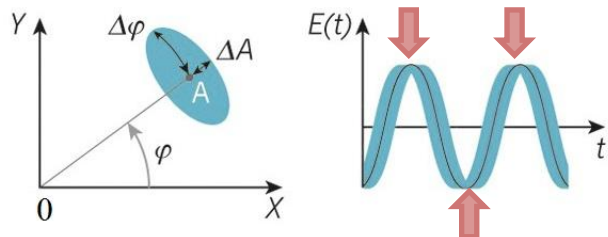
$$\Delta \varphi < \Delta \varphi_{vac} = \Delta A_{vac} < \Delta A$$



obecný koherentní stav

s amplitudou A a fází φ

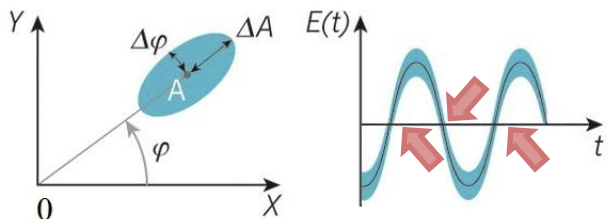
$$\Delta A = \Delta A_{vac} = \Delta \varphi = \Delta \varphi_{vac}$$



koherentní stav

stlačený v amplitudě

$$\Delta A < \Delta A_{vac} = \Delta \varphi_{vac} < \Delta \varphi$$



koherentní stav

stlačený ve fázi

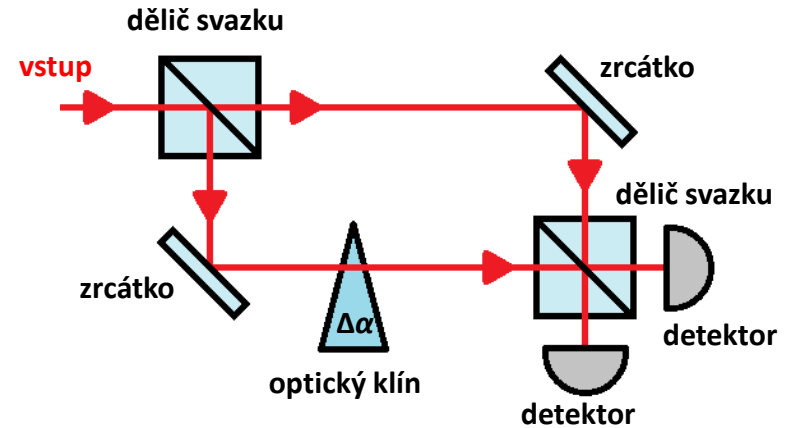
$$\Delta \varphi < \Delta \varphi_{vac} = \Delta A_{vac} < \Delta A$$

Stručný teoretický úvod – změna optické fáze

Machův-Zehnderův interferometr

n - index lomu prostředí
 n_0 - index lomu vzduchu
 x_0 - geometrická dráha světla
 x - optická délka v prostředí s indexem lomu n
 λ – vlnová délka světla
 $x = x_0 \cdot n$

Změna fáze $\Delta\alpha$ - sken interferenčních proužků probíhá změnou optické dráhy v jednom rameni.

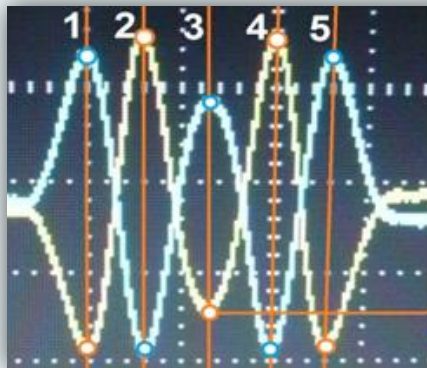


Natočení planoparalelní destičky o úhel $\Delta\delta = |\delta_2 - \delta_1|$

řízená změna fáze $\Delta\alpha$

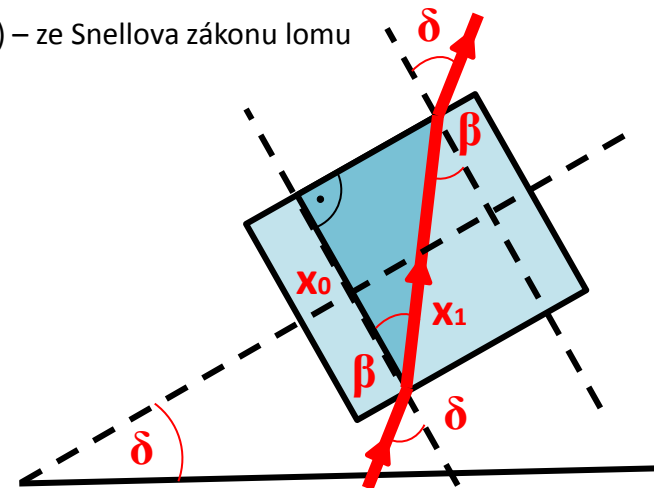
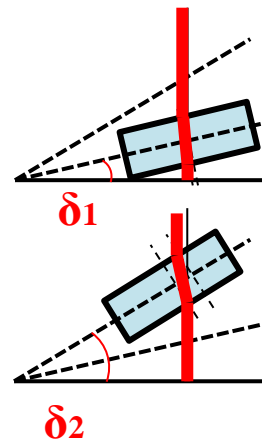
$$\Delta\alpha = 2\pi n x_0 / \lambda \left| 1/\cos(\beta_1) - 1/\cos(\beta_2) \right|$$

$\beta_1 = \arcsin(n_0/n \cdot \sin(\delta_1))$, $\beta_2 = \arcsin(n_0/n \cdot \sin(\delta_2))$ – ze Snellova zákona lomu

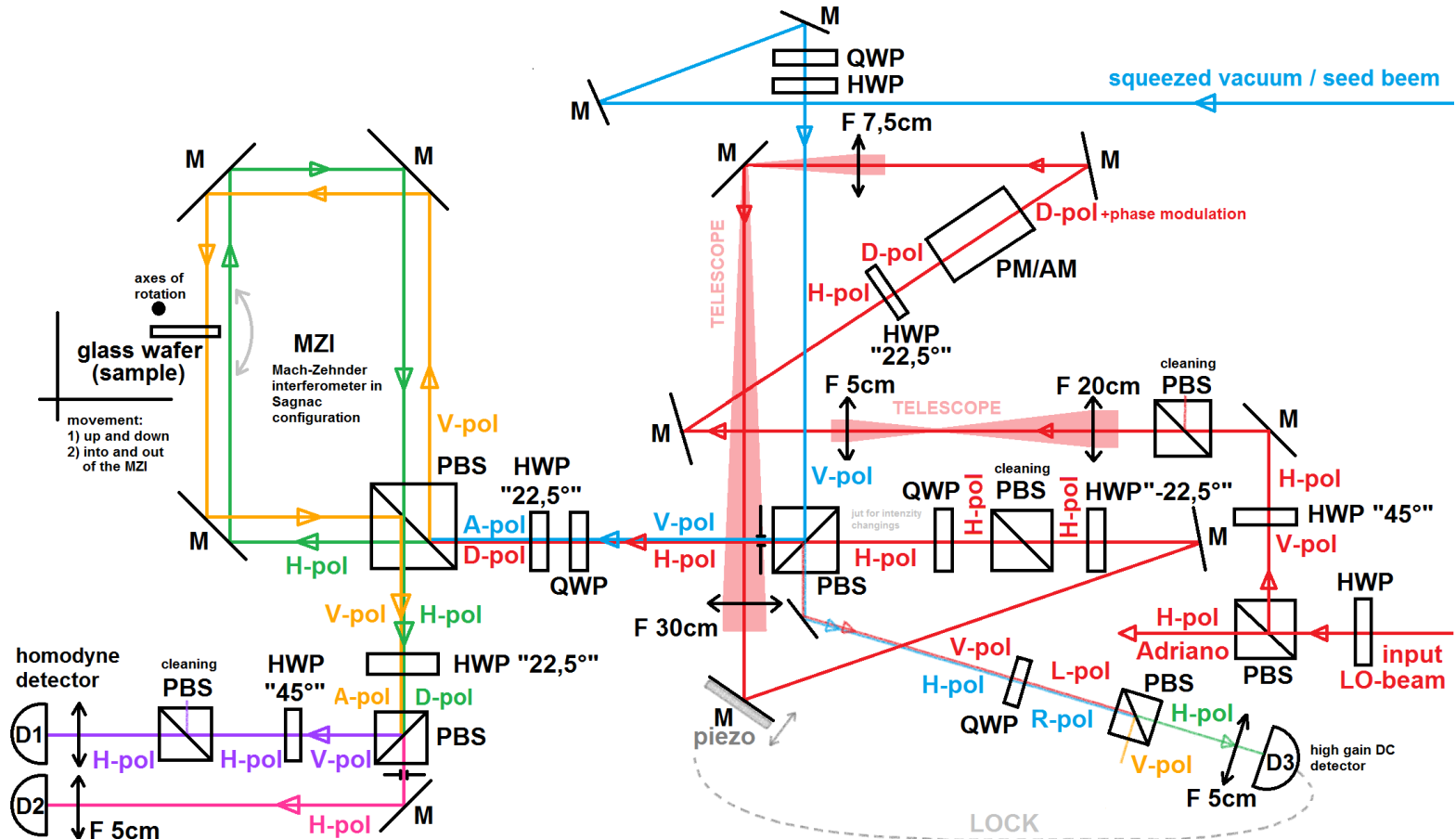


no.	pozice [°]
1	-6.538
2	-5.070
3	-2.075
4	0.918
5	2.395

kolmo na optický svazek

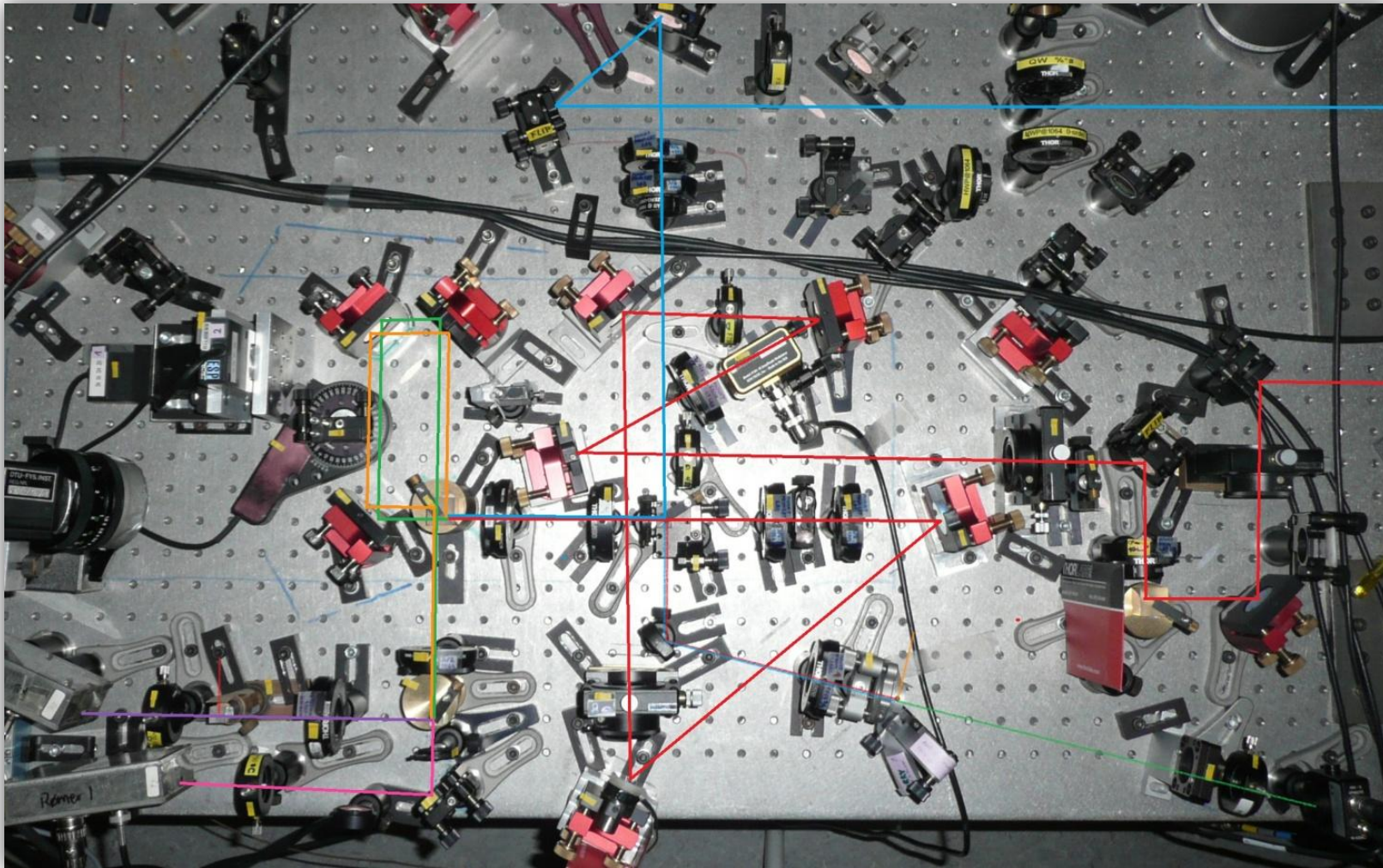


Experiment - návrh rozložení



LO - svazek lokálního oscilátoru; SEED - stlačené vakuum; MZI - Machův-Zehnderův interferometr; H - horizontální; V - vertikální; D - diagonální; A - anti iagonální; PBS - polarizační dělič svazku; QWP - čtvrtvlnná fázová destička; HWP - půlvlnná fázová destička; D1, D2, D3 - detektory; M - zrcátko; F - čočka;

Experiment – realizace



←
Vstup
stlačeného
vakua

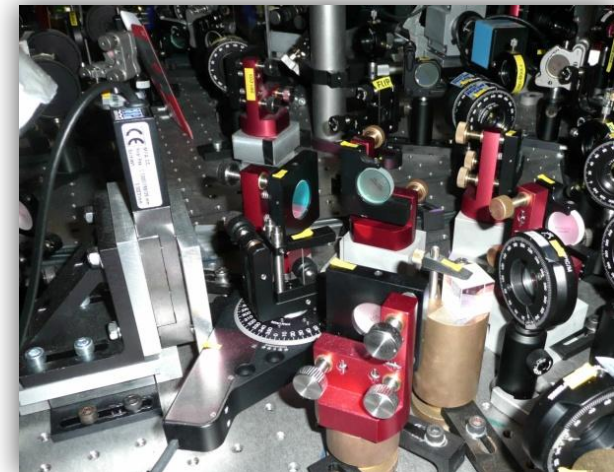
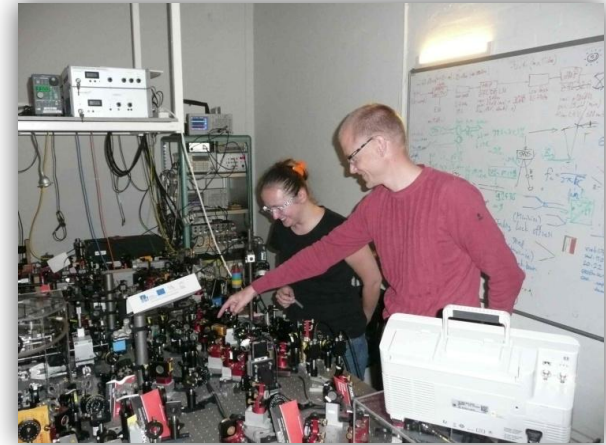
←
Vstup
lokálního
oscilátoru

Homodynní detektor ↗

Zpětnovazební detektor k udržení
konstantní fáze mezi oběma svazky ↗

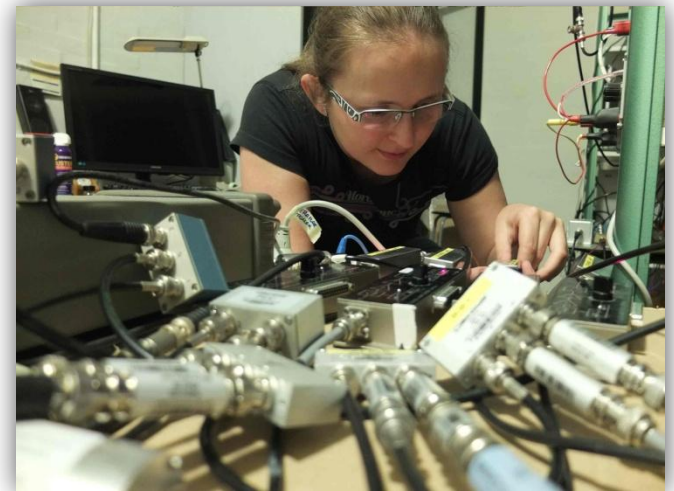
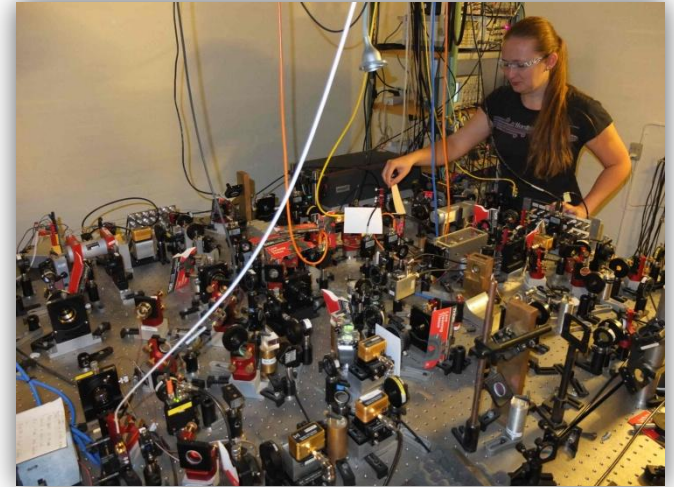
Závěr

- Sestrojeno a popsáno experimentální zařízení pro měření optické fáze.
- Nakalibrována skleněná destička sloužící k řízení změně fáze.
- Zautomatizovány měřicí a justážní procedury
- V součinnosti navržena a realizována finální fázová maska, která bude proměřena v realizovaném experimentu.



Závěr

- **na tuto stáž konanou
11.7. - 19.8.2013**
- **navázala moje další
stáž v QPIT v období
24.9. - 16.10.2013,
placená z jiných zdrojů KO a DTU**



Děkuji Vám za pozornost



QPIT + hosté

fotografováno Elisou Da Ros

Odkazy na převzané obrázky

- [1] http://en.wikipedia.org/wiki/File:DTU_03-05-06_06.jpg
- [2] Quantum Optics An Introduction, MARK FOX
- [3] http://www.nature.com/nature/journal/v491/n7423/fig_tab/491202a_F1.html
- <http://www.dtu.dk/>