

ÚSTAV



PŘÍSTROJOVÉ TECHNIKY

Akademie věd České republiky



Superkoherentní lasery pro rozvoj kvantových technologií

Ondřej Číp, Tuan M Pham, Martin Čížek, Lenka Pravdová,
Adam Lešundák, Jan Hrabina, Petr Jedlička,
Šimon Řeřucha a Josef Lazar (ÚPT AV ČR)

Petr Obšil, Lukáš Podhora a Lukáš Slodička (KO PřF UP)

Ondřej Havliš, Vl. Smotlacha a Josef Vojtěch (CESNET)

Statut: Veřejná Výzkumná Instituce (v.v.i.)

Sídlo: **Brno**

Rok založení: **1957**

Počet pracovníků: **240**

Současné hlavní směry výzkumu:

1. Elektronová mikroskopie a litografie
2. Magnetická rezonance a biomedicínské signály
- 3. Výzkum laserů a interferometrie – Oddělení Koherenční optiky**



Hlavní oblasti zaměření KO ÚPT:

- laserová spektroskopie:

- absorpční kyvety pro stabilizaci laserů
- metody zvyšování koherence laserů
- optické frekvenční hřebeny

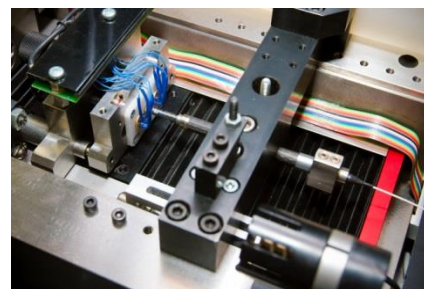
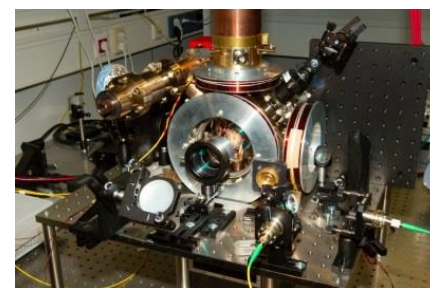
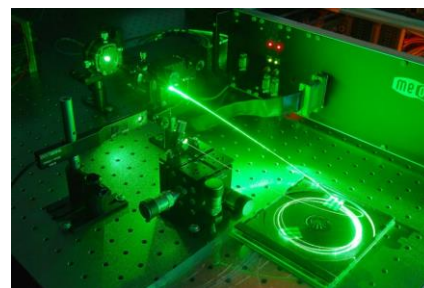
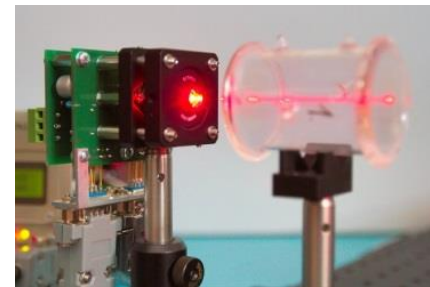
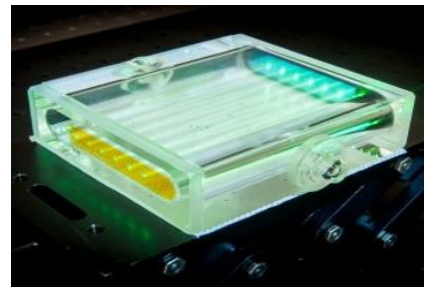
- normály optické frekvence

- laserová interferometrie:

- metody měření délek s rozlišením o velikosti atomů (nanometrologie)
- metody určení hodnoty indexu lomu vzduchu
- absolutní měření vzdáleností pomocí laserů

- laserové technologie:

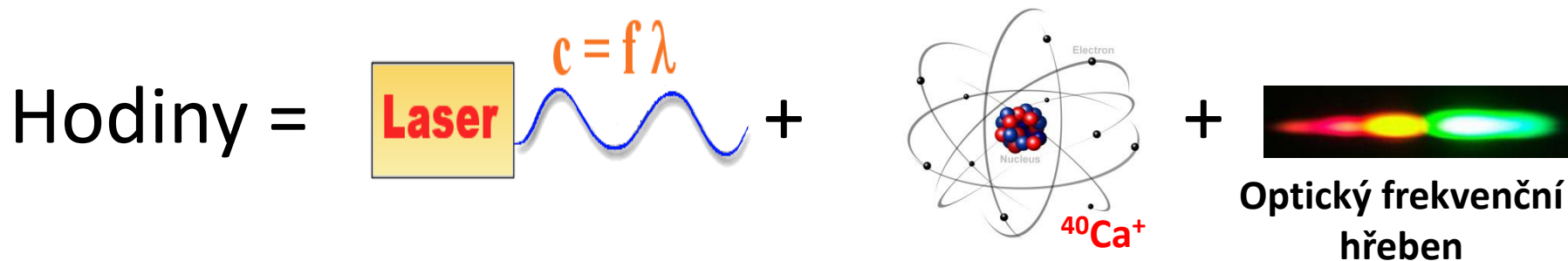
- depozice reflexních a AR vrstev
- výzkum svařování „nesvařitelných“ materiálů pomocí laserů



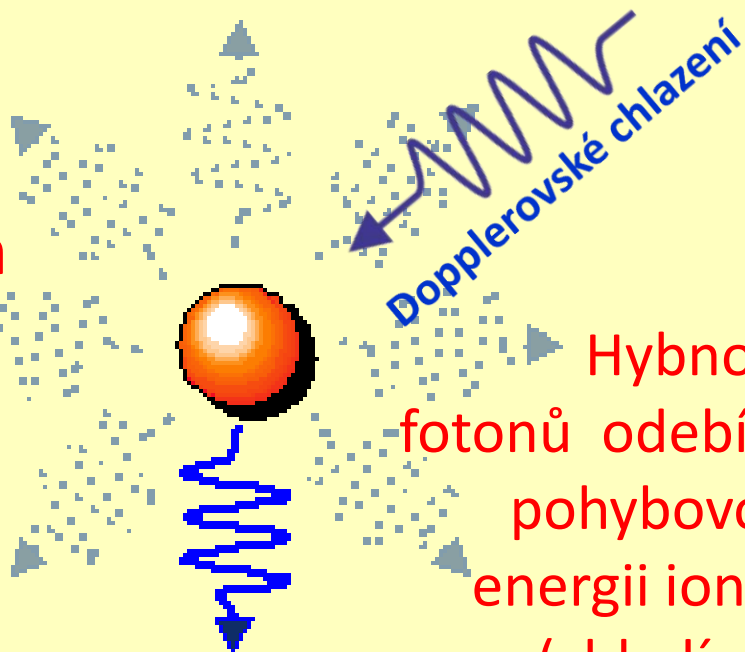
Přehled kvantových technologií:

- **simulátory kvantových systémů a kvantové počítače** (umožňují řešit problémy neřešitelné na současných počítačích, s uplatněním v chemii, farmakologii nebo materiálových vědách, např. návrh energeticky efektivních zařízení)
- **velmi přesné měření času** (navigace GPS a Galileo, obchodování na burzách) a magnetického a elektrického pole (lékařství)
- **senzory pro měření gravitace, 3D akcelerace a gyroskopů** (geologický průzkum, detekce tektonických poruch a zemětřesení, přesná inerciální navigace – nejen pro armádní využití)
- **kvantová komunikace a distribuce kryptografických klíčů** (super bezpečná autentizace přístupů ke kritickým informačním systémům – banky, government, zdravotní dokumentace, atd.)

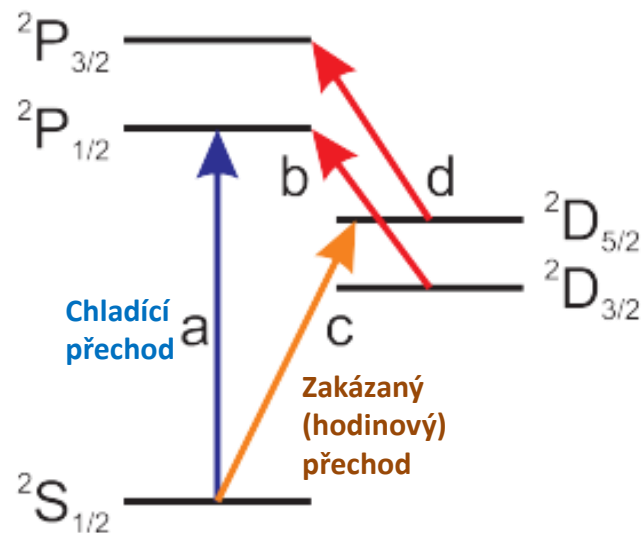
Hodiny = Oscilátor + Reference + Odečet



Emise
fotonů do
náhodných
směrů
(izotropní)



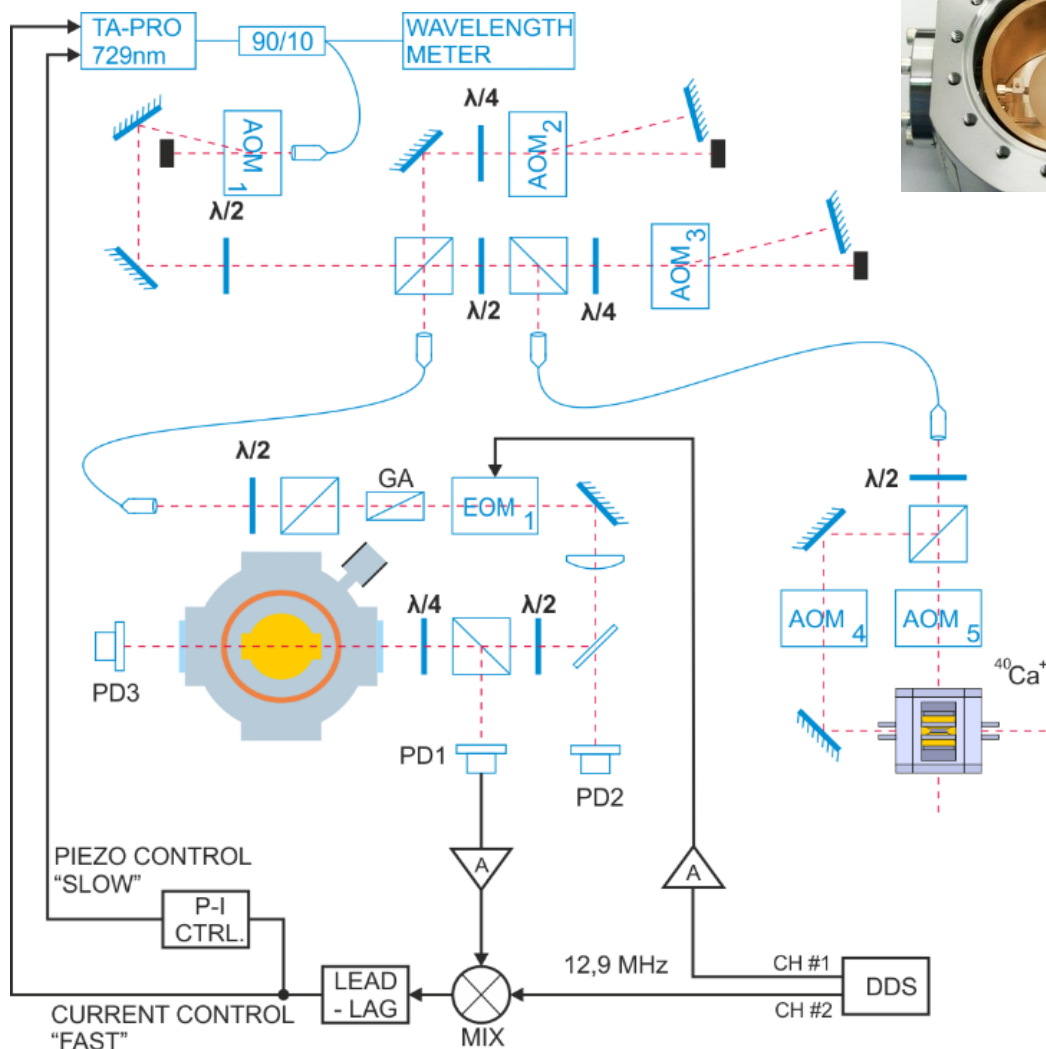
Hybnost
fotonů odebírá
pohybovou
energii iontu
(chladí se)



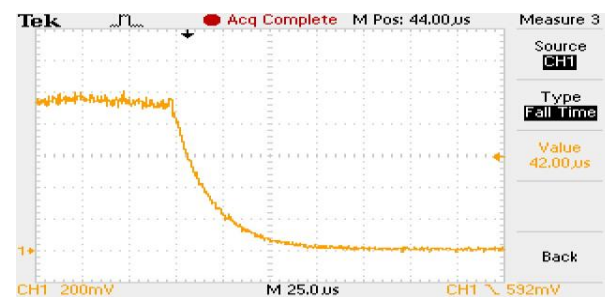
Doba života zakázaného přechodu Ca^+ je 2 s
na vlnové délce 729 nm (411 THz)
Stabilita pro 1 s je $< 1\text{E-}15$

Cíl: Zúžení šířky spektrální čáry z 400 kHz na 1 Hz (400 000x). Řešení: závěs laseru na super Q rezonátor

Schéma sestavy laseru



Uložení „Drákuly“ do rakve

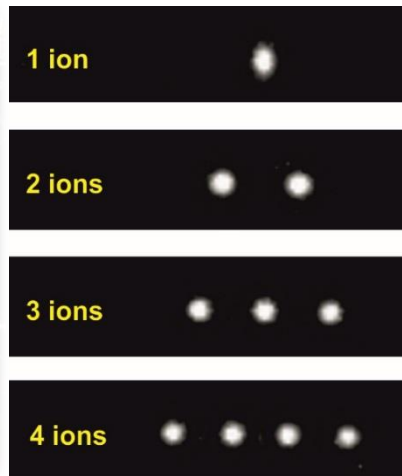
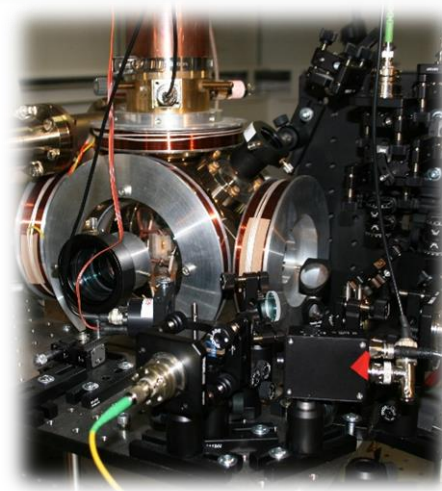


$$\Delta\nu_{FWHM} = \frac{1}{2\pi\tau} \quad \tau = 2.10^{-6} \text{ s}$$

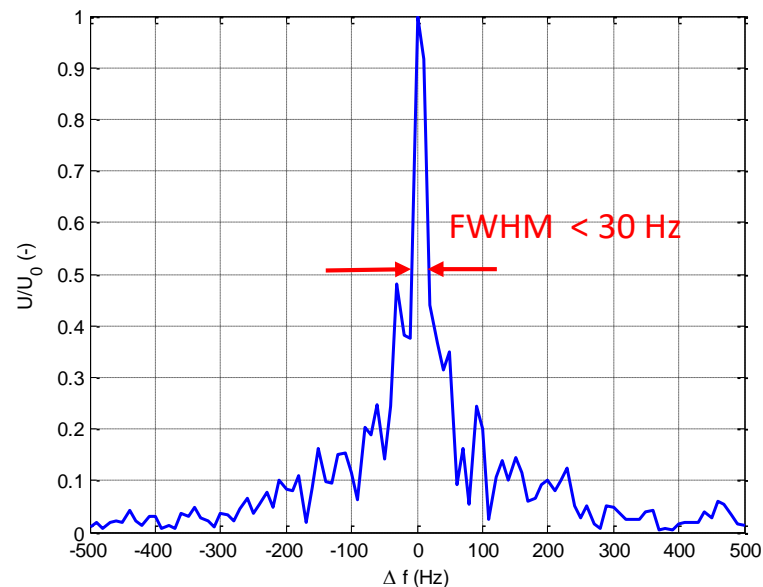
$$\Delta\nu_{FWHM} = \frac{1}{2\pi \cdot 42.10^{-6}} = \mathbf{8\,336\,Hz}$$

Společný projekt GAČR Centrum excellence:

- **Od roku 2014** - Společný projekt ÚPT a UPOL
- Chlazení iontu **vápníku $^{40}\text{Ca}^+$**
- Proběhla realizace aparatury a rutinně chytáme a Dopplerovsky chladíme zachycené ionty, pokračuje spektroskopie i kvantové experimenty
- **13. srpna 2015** byly v ÚPT poprvé v ČR zachyceny a laserově zchlazeny ionty $^{40}\text{Ca}^+$
- **Prosinec 2017** – dokončen hodinový laser na 729 nm

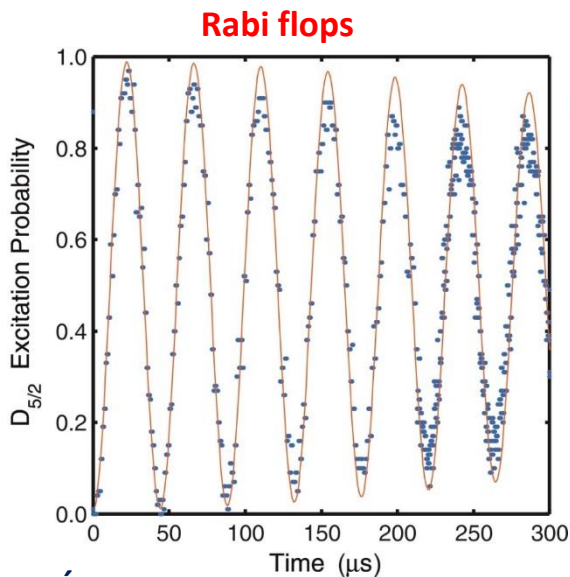


Podmínkou bylo zúžení šířky spektrální čáry laseru z 400 kHz na Hz úroveň (400 000x). Emisní spektrum:

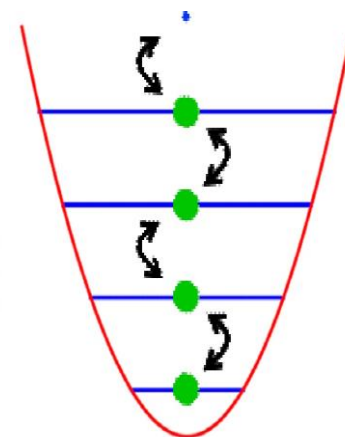


Společný projekt GAČR Centrum excellence:

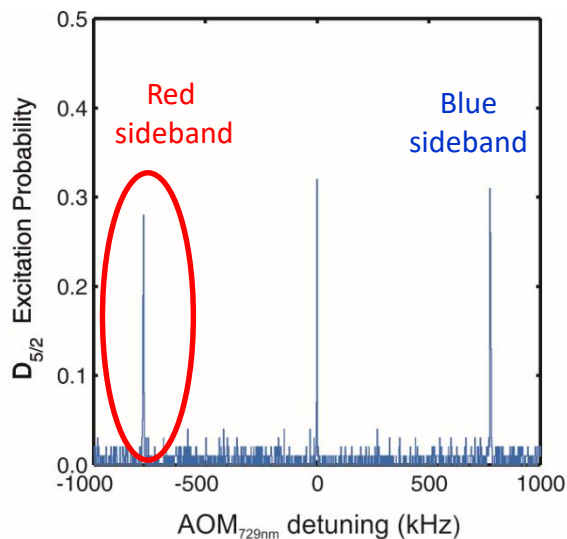
- **Březen 2018** – prokázána excitace zakázaného přechodu (Rabiho oscilace)
- **Duben 2018** – implementace tzv. sideband cooling a dosažení základního pohybového stavu
- **Srpen 2018** – implementace Ramsey excitace
- **Prosinec 2018** – experimentální provoz optických atomových hodin (laser 729nm zavěšen na Ca^+ ZP)



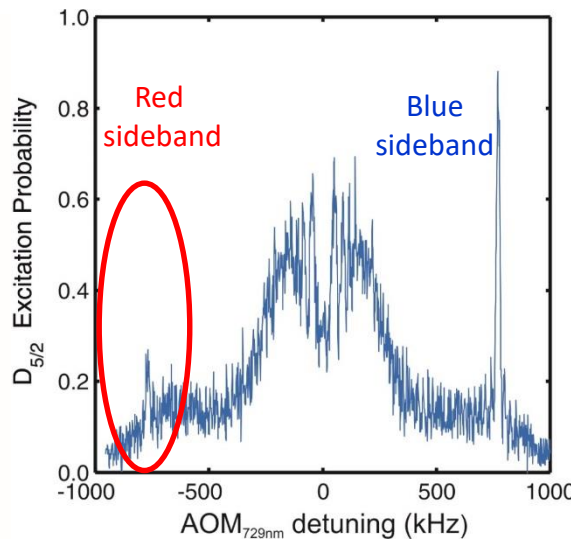
Pohybové stavy iontu



Před zchlazením



Po zchlazení na základní pohybový stav



Ramsey resonance:

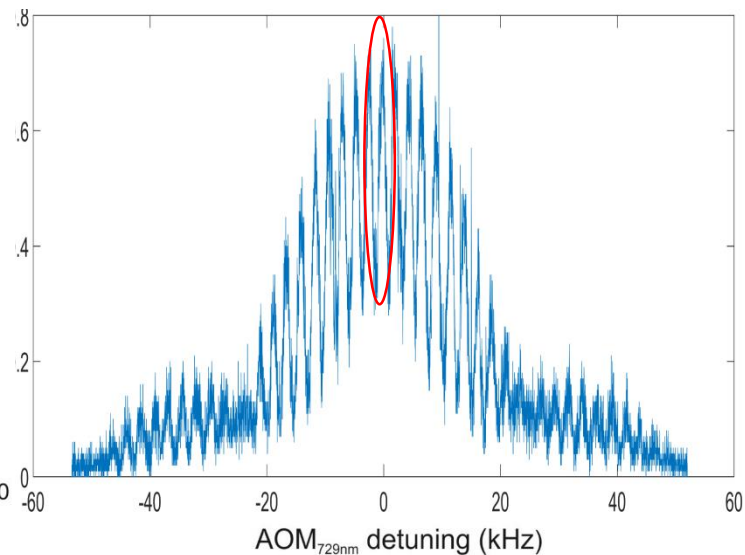
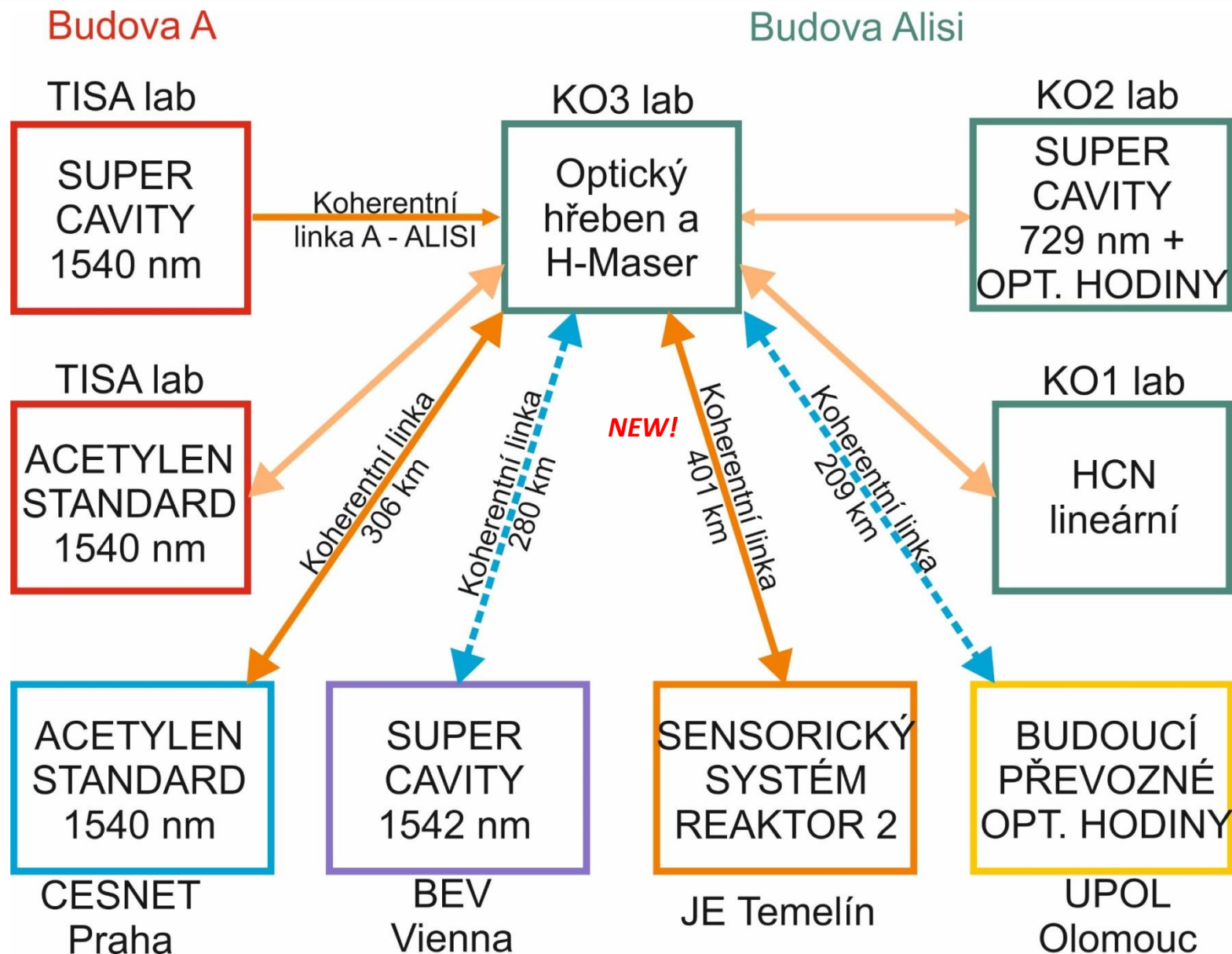
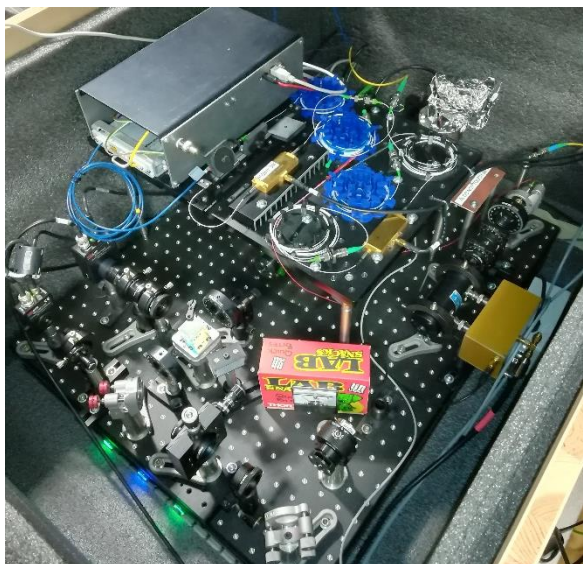
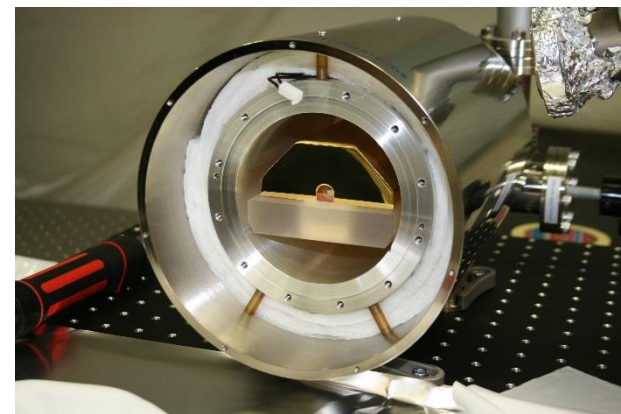
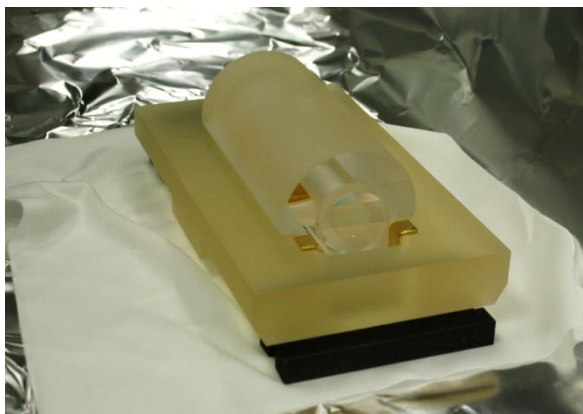


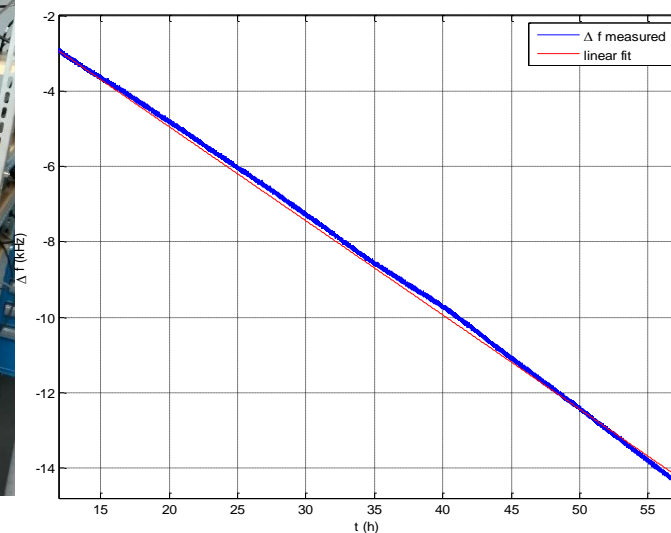
Schéma distribuce signálu z kvantových optických hodin



Červen 2018: Byl dokončen superkoherentní laser na vlnové délce 1540 nm, který ve spojení s optickým frekvenčním hřebenem, a vodíkovým maserem tvoří optickou referenci, která je použita pro distribuci budoucích optických hodin ÚPT po optických vláknech.

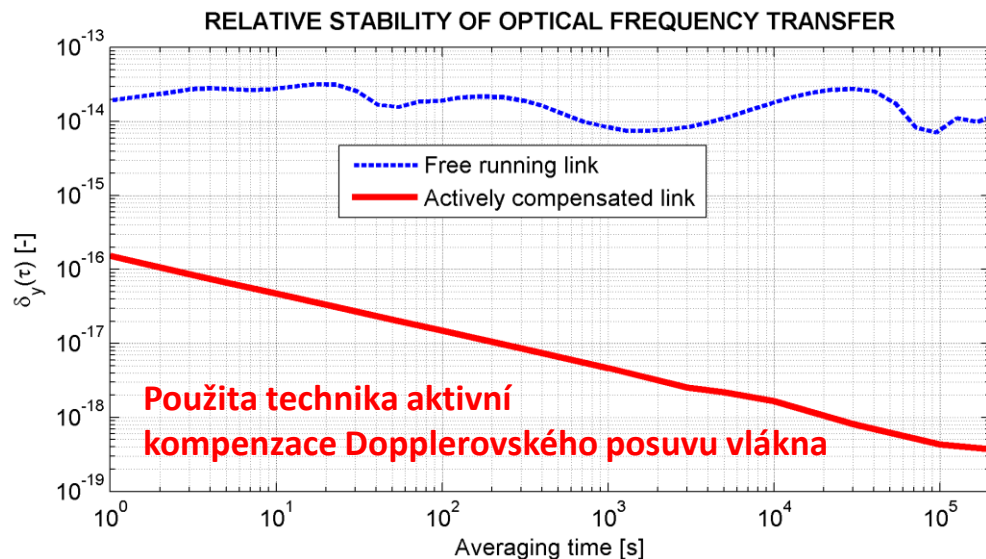
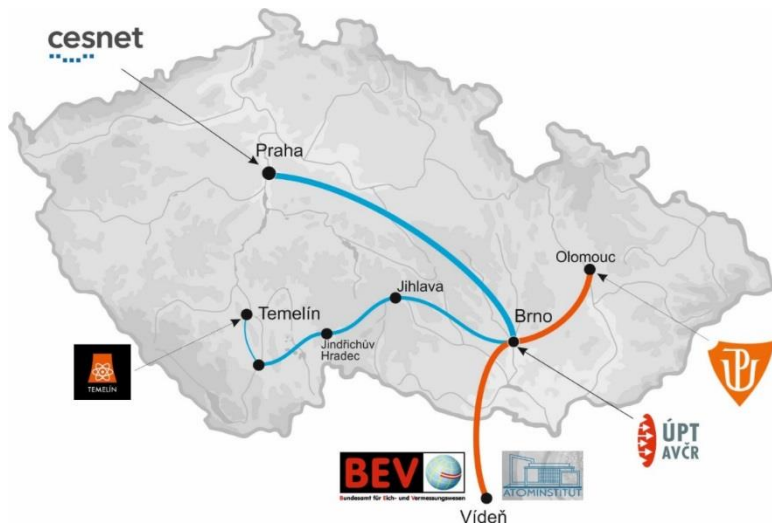


Dlouhodobý lineární drift: $-0,07 \text{ Hz} \cdot \text{s}^{-1}$!!!

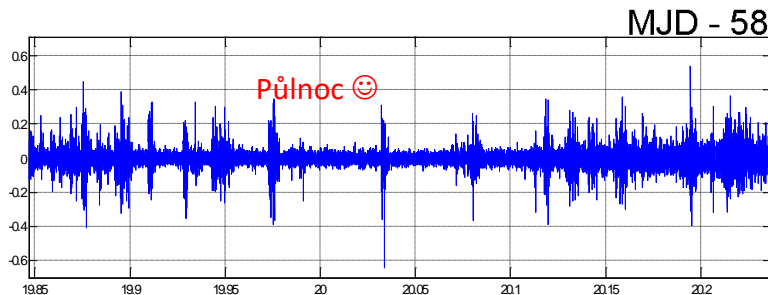
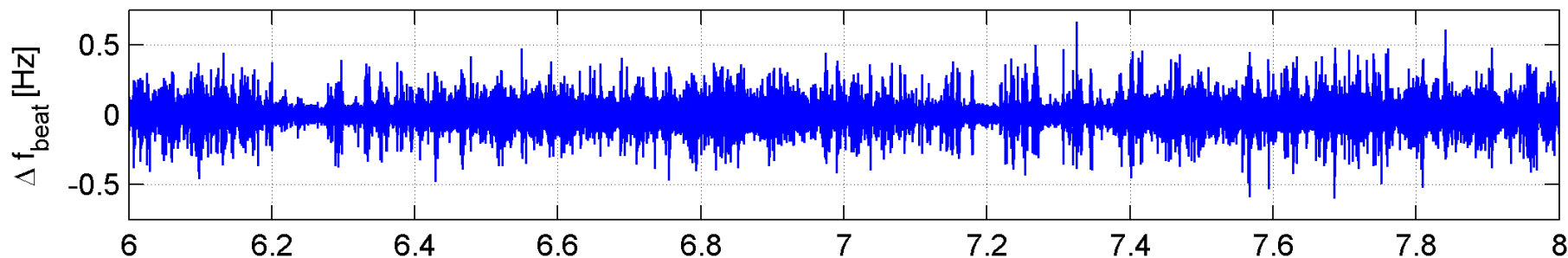


Přenos signálu z ÚPT do CESNET přes 306 km dlouhé vlákno

Říjen 2015: Sestavena linka Brno - Praha



ABSOLUTE IN-LOOP BEAT FREQUENCY DEVIATIONS (BRNO - PRAGUE)

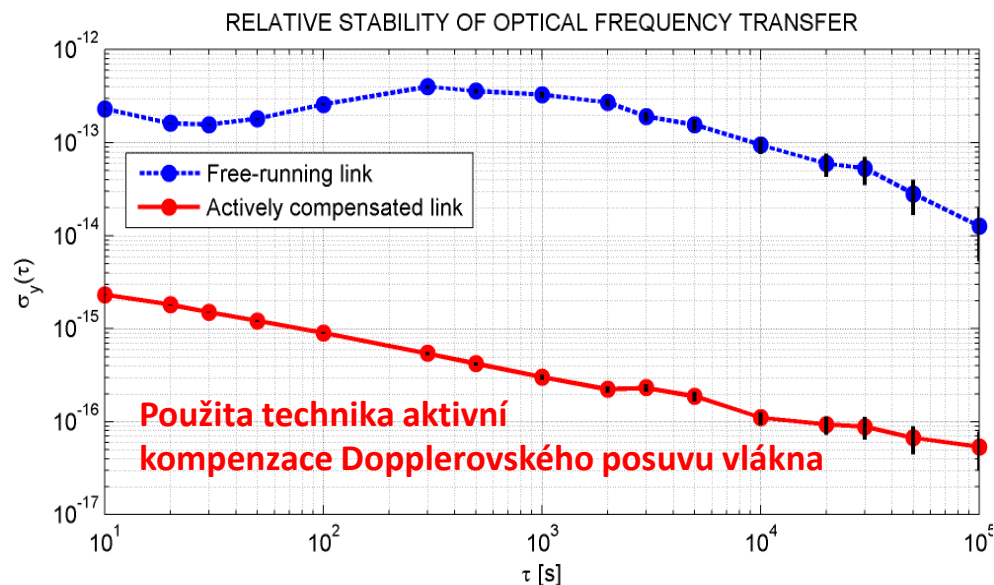
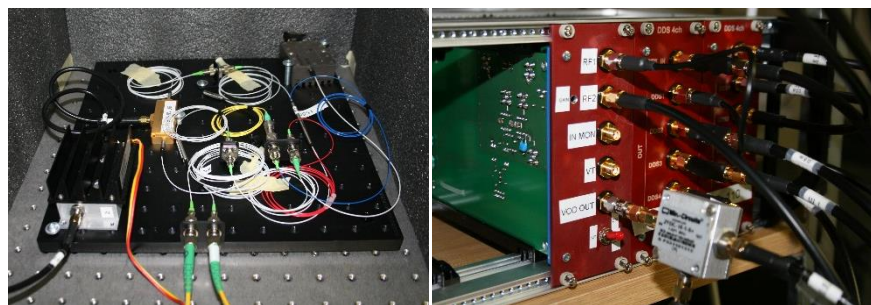


Změny frekvence in-loop beatu stabilizované linky:

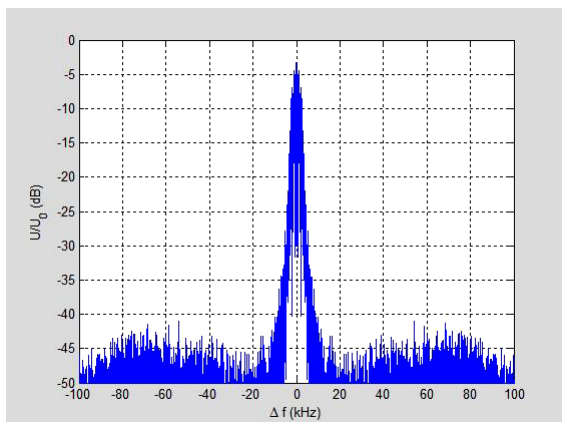
- jsou vidět např. rozjezdy MHD

- Linku lze takto využít pro detekci zemětřesení

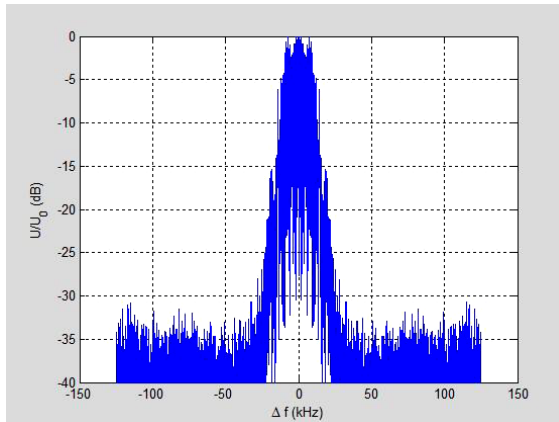
Říjen 2018: Ve spolupráci s CESNETem sestavena další fázově koherentní linka ÚPT – JE Temelín o délce 401 km. Linka bude sloužit pro dlouhodobé kalibrace sensorického systému v JE Temelín pomocí superstabilního laseru ÚPT vysílaného po této nové fotonické lince.



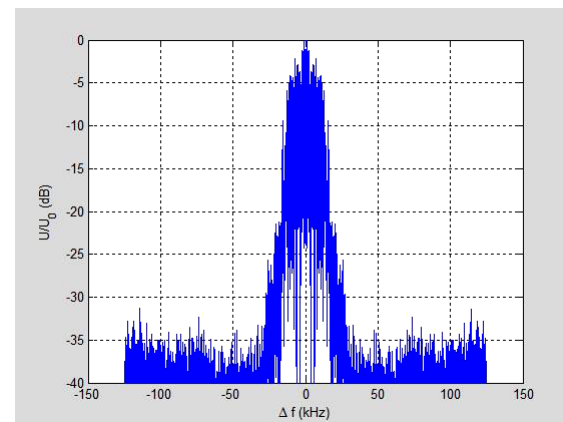
Linka do Prahy (betelná délka 306km)



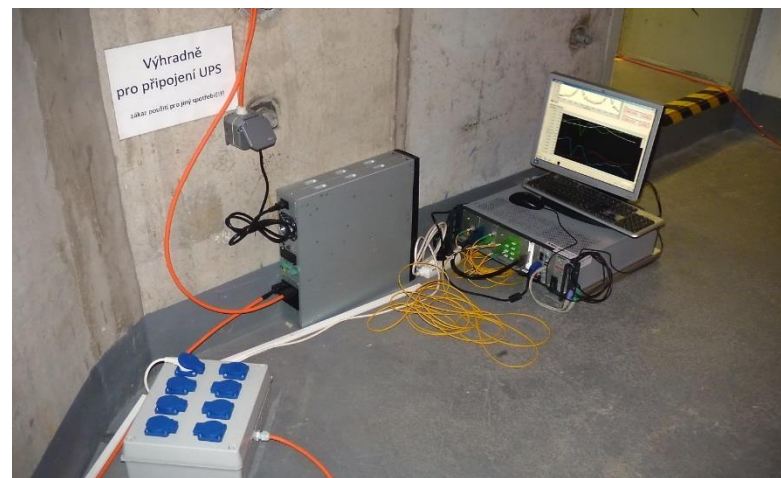
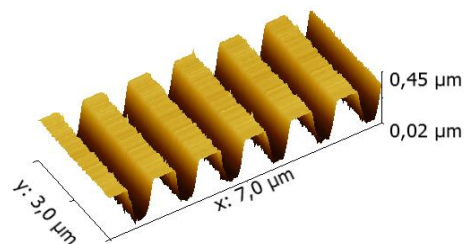
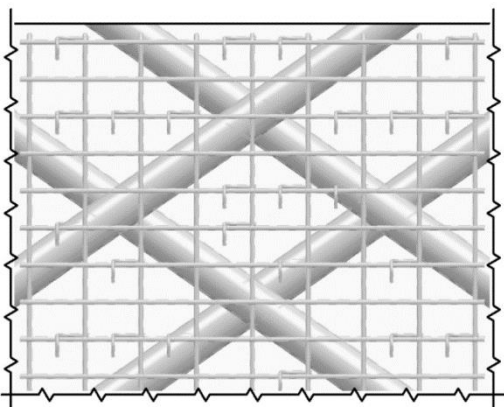
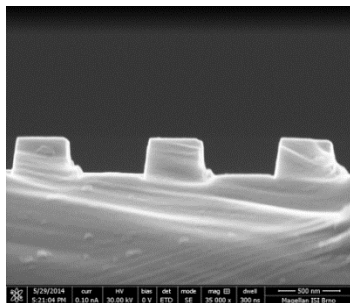
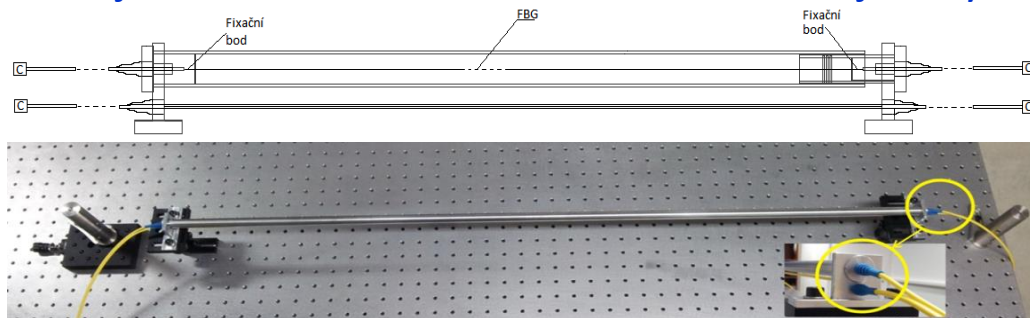
Themelín přes Jihlavského Ježka (401km)



Húúúú – Jede vláček Jihlaváček



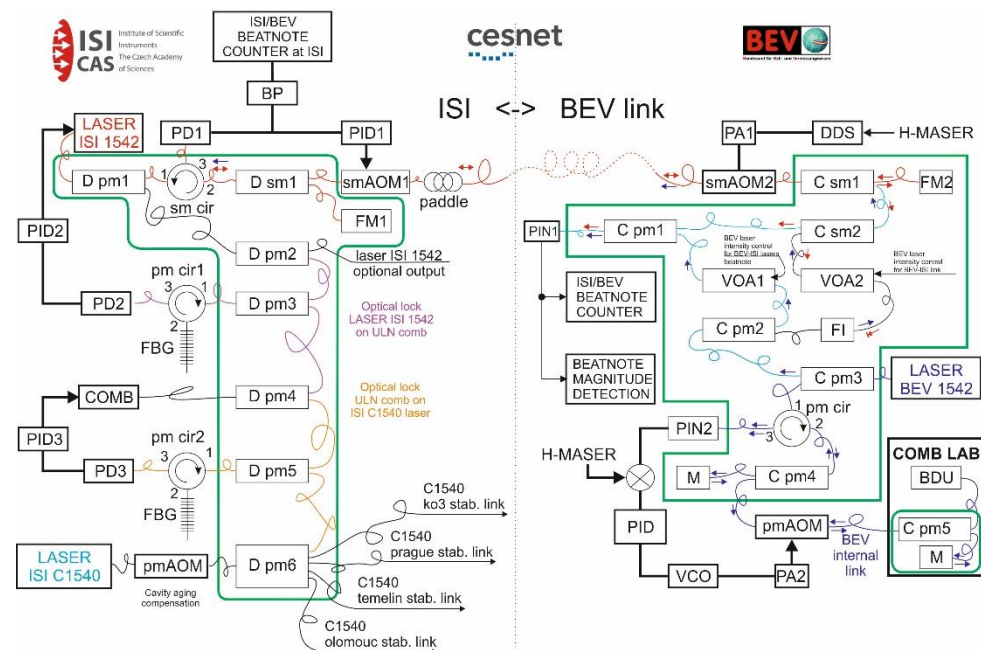
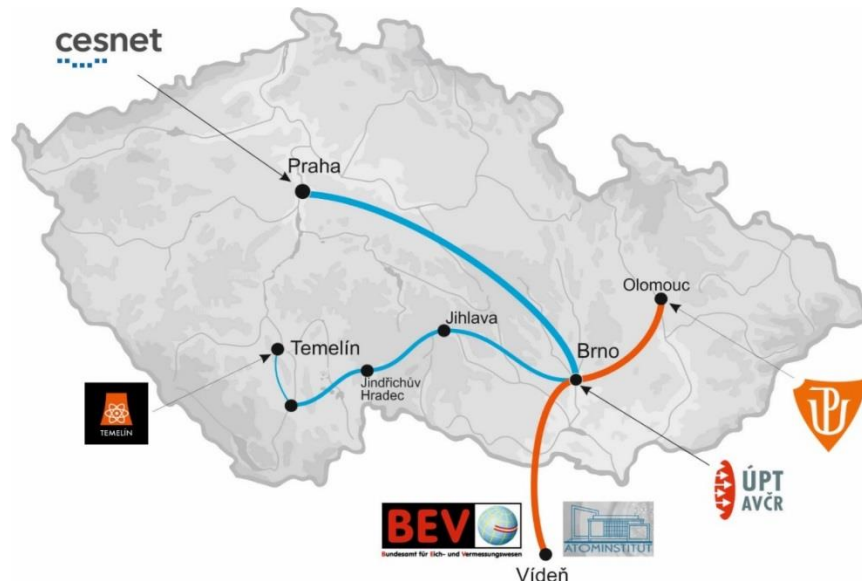
Červen 2015: Ve spolupráci s ETE, NetworkGroup a ÚJV instalována sada FBG snímačů na kontejnment reaktoru II ETE, CESNET – zahájení výstavby vlákna Brno-Temelín



Srpen 2019 - sestavena fázově koherentní linka a experimentálně otestováno frekvenční porovnání hodinového laseru ÚPT s hodinovým laserem v BEV

Linka bude sloužit pro:

- vzájemné dlouhodobé porovnávání superstabilního laseru C1540 v ÚPT s obdobným laserem v BEV, který pracuje na vlnové délce 1542 nm
- bude možné vzájemně porovnávat i stability H-maserů umístěných v obou lokalitách ÚPT/BEV



V rámci projektu H2020 – CLONETS – práce na přípravě Evropské infrastruktury – Listopad 2019 – podán INFRADEV-DS



NCK 1 - Centrum elektronové a fotonové optiky

Ústav přístrojové techniky AV ČR (ISI)



VUT v Brně – Centrum SIX (BUT-SIX)



Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR (UFE)



Katedra optiky Univerzity Palackého (UPOL)

Ústav fyziky plazmatu – Centrum TOPTEC (TOPTEC)



Meopta – optika, s.r.o. (MEOPTA)

Mesing, spol. s r. o. (MESING)



Tým má dlouholeté zkušenosti s výzkumem v oblasti návrhu specializované optiky, laserů, elektroniky, jemné mechaniky, kvantových informací a komunikací.

Dlouhodobý záměr spolupráce v oblasti kvantových technologií

Laserové zdroje pro kontrolu a monitoring kvantových efektů

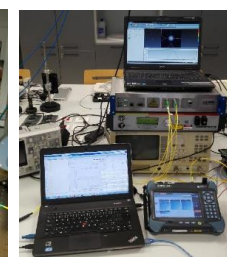
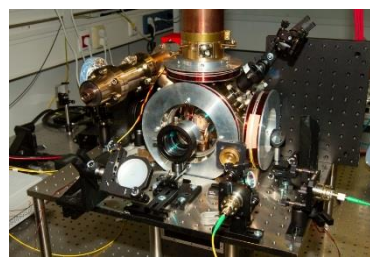
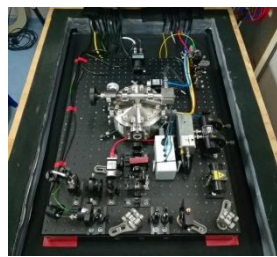
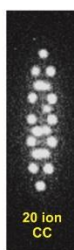
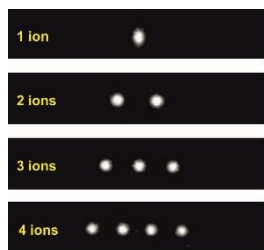
(vývoj rezonátorů s vysokou finesou, technologie pro obrábění rezonátorových distančních prvků, rezonátorová zrcadla, reflexní 99.99x% a antireflexní vrstvy, vakuové komory pro rezonátory, vláknový laser, optické a elektronické sestavy pro stabilizaci vlnové délky laseru na rezonátor)

Specializovaná optika pro detekci slabých fotonových signálů

(specializovaná optika objektivů, technologie leštění, montáž do funkčních celků, testování objektivů na zobrazování chladných kvantových objektů)

Optika systémů komunikace volným prostorem (FSO)

(objektivy se dvěma/třemi osami volnosti, propojení optických vláken na volnou optiku s potlačenými nežádoucími odrazy od optických prvků, testování v řízeném prostředí – spoj VUT-SIX - UPT)





Ondřej Číp

www.isibrno.cz

ocip@isibrno.cz