



Univerzita Palackého
v Olomouci

OP JAK: Optické technologie

Reg. č.: CZ.02.01.01/00/23_021/0008790

Konference 06.03.2026



Spolufinancováno
Evropskou unií



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



Univerzita Palackého
v Olomouci

Program

09:30 - 10:00	Registrace
10:00 - 10:30	Lukáš Slodička: Optika pro efektivní kolekci fluorescence z iontů v Paulových pastích
10:30 - 11:00	Miroslav Ježek: Fotonické senzory a superrozlišovací zobrazení podporované AI
11:00 - 11:30	Radek Machulka: Stanovení kvantové detekční účinnosti kamer s jednofotonovou citlivostí
11:30 - 12:30	Oběd
12:30 - 13:00	Josef Kapitán: Ramanova optická aktivita pro průmyslové aplikace
13:00 - 13:30	Bohumil Stoklasa: Pokročilá detekce optických signálů
13:30 - 14:00	Miroslav Pech: Nová generace zrcadel nejen pro astročásticovou fyziku
14:00 - 14:30	Panelová diskuze – moderní trendy a směry optických a kvantových technologií
14:30 - 15:00	Networking a závěrečná káva



Univerzita Palackého
v Olomouci

OP JAK: Optické technologie

Reg. č.: CZ.02.01.01/00/23_021/0008790

**Optika pro efektivní kolekci fluorescence z iontů
v Paulových pastích**



Spolufinancováno
Evropskou unií

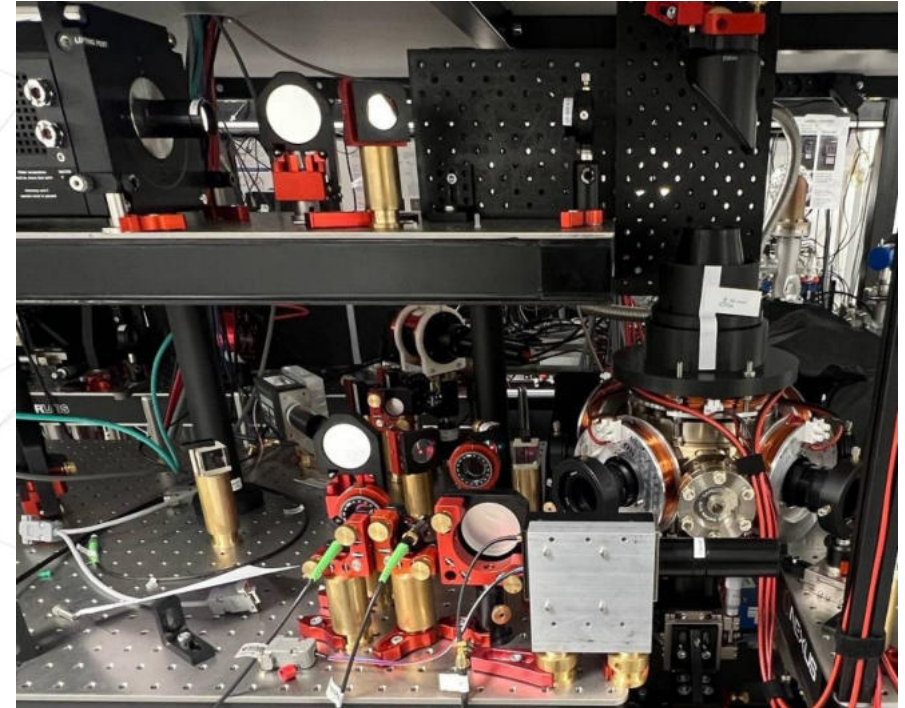
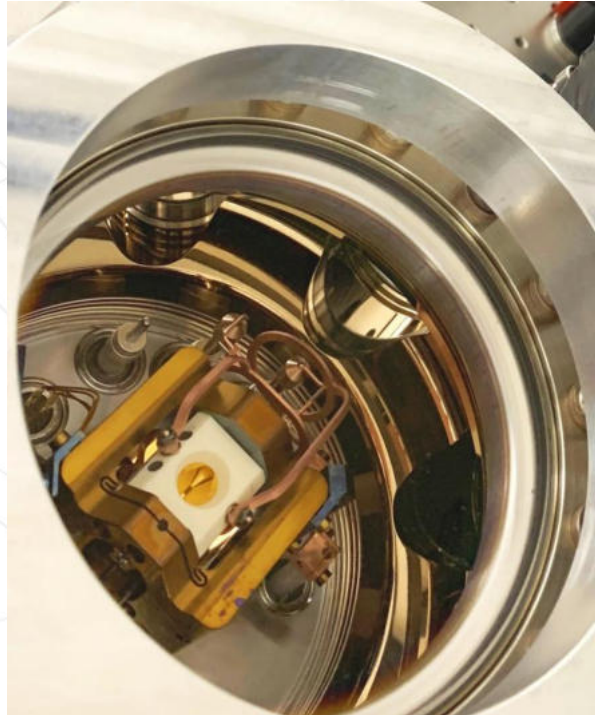
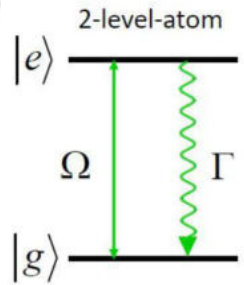


MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

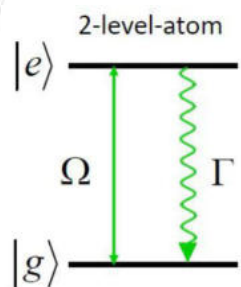


Univerzita Palackého
v Olomouci

Ionty v Paulových pastích – role v kvantových technologiích



Ionty v Paulových pastích – role v kvantových technologiích

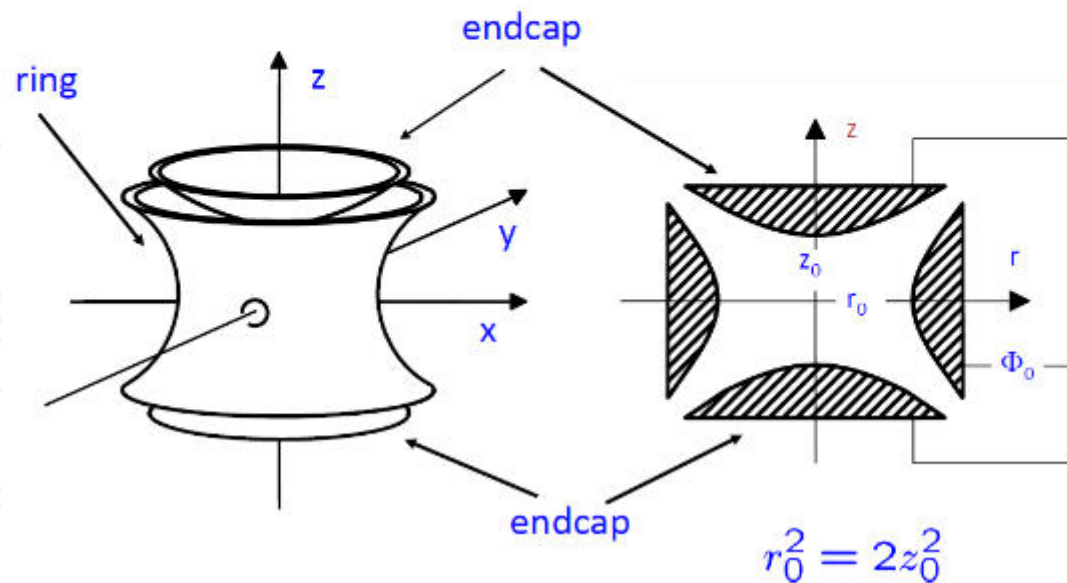


time depending potential

$$\Phi(\vec{r}, t) = \Phi_0(t) \cdot (x^2 + y^2 - 2z^2)$$

with

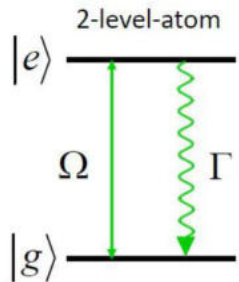
$$\Phi_0(t) = (U + V \cos(\Omega_{RFT})) / \tilde{r}^2$$





Univerzita Palackého
v Olomouci

Ionty v Paulových pastích – aplikace v metrologii



QUANTUM PHYSICS

The most accurate atomic clock to date

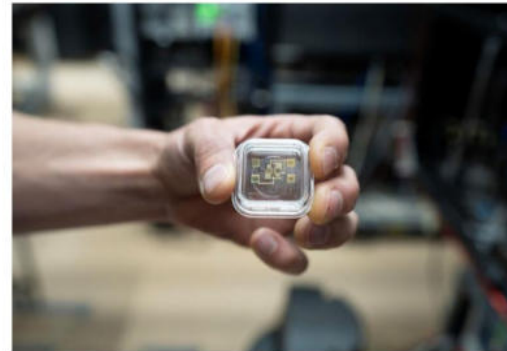
NIST scientists create an atomic clock so precise it won't lose a second in billions of years, powered by quantum logic.

Published: July 20, 2025
Updated: July 20, 2025

By Amit Malewar

Follow us on [Google News](#)

🕒 4 min read



NIST physicist David Hume holds the newly modified ion trap for the aluminum ion clock. By modifying the trap, the aluminum ion and its magnesium ion partner were able to "tick" unperturbed. Credit: R. Jacobson/NIST

After two decades of tinkering, scientists at NIST have unveiled the world's most accurate atomic clock, a glowing achievement powered by quantum logic. This aluminum ion clock doesn't just tick, it computes time to the 19th decimal place. That's so precise, it could run for billions of years without missing a beat.

Tech Explorist > Science > Quantum Physics

Journal

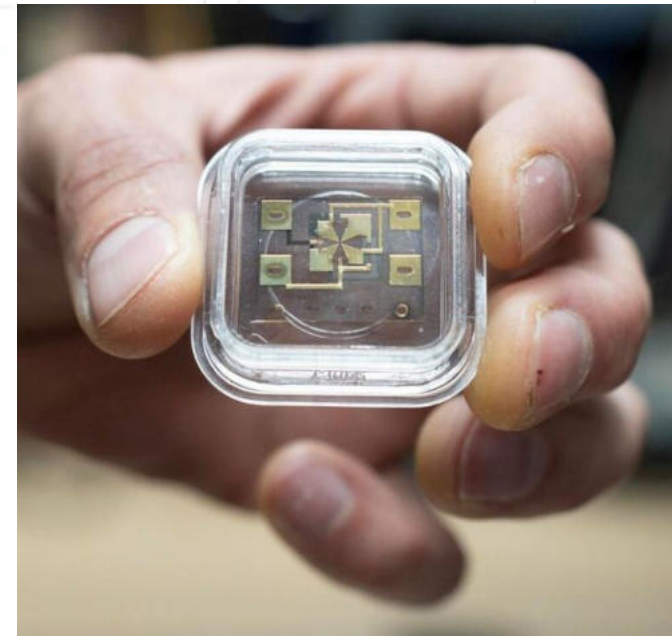
Physical Review Letters

University

National Institute of Standards and Technology

Popular Now

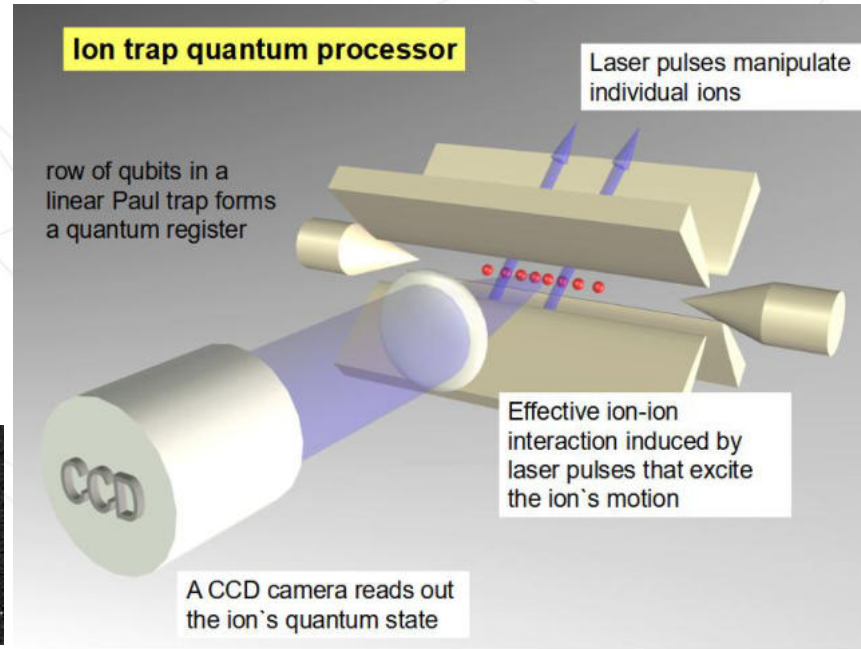
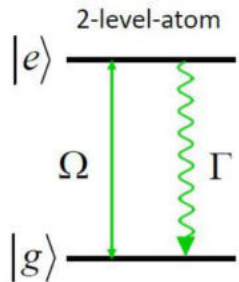
- 1 Physicists just made the precise measurement of the ghostly speed of...
- 2 hexagonal Boron Nitride (hBN) could potentially replace diamond for quantum sensing
- 3 Quantum 'magic' could explain how space and time emerged
- 4 Breaking Newton's Law
- 5 World-first experimental wormhole to help unravel the deepest mysteries of the...





Univerzita Palackého
v Olomouci

Ionty v Paulových pastích – aplikace v kvantovém počítání



Current leaders in quantum computing
(based on Quantum Volume)



QUANTINUUM

- **(Global Leader) – ion traps**
Latest announced QV (Sept 2025)
- driven by achieving (99.9%) 2-qubit gate fidelity across their system.



- **(European Records)- ion traps**
on the PINE system

Comparison to IBM systems:
The last public QV milestone was only ~ **2,048**
(August 2025)

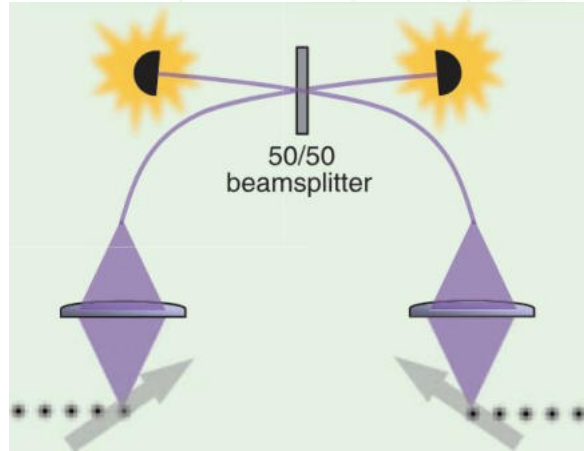


Univerzita Palackého
v Olomouci

Řešení pro škálování za limitu lokálních procesorů

Scaling the Ion Trap Quantum Processor

C. Monroe and J. Kim, Science 339 1164-1169 (2013)



nature

Explore content ▾ About the journal ▾ Publish with us ▾

[nature](#) > [articles](#) > article

Article | [Open access](#) | Published: 05 February 2025

Distributed quantum computing across an optical network link

D. Main , P. Dmota, D. P. Nadlinger, E. M. Ainley, A. Agrawal, B. C. Nichol, R. Srinivas, G. Araneda & D. M. Lucas

Nature 638, 383–388 (2025) | [Cite this article](#)

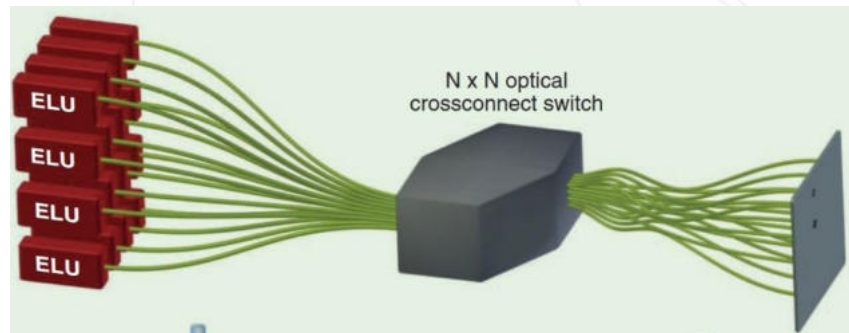
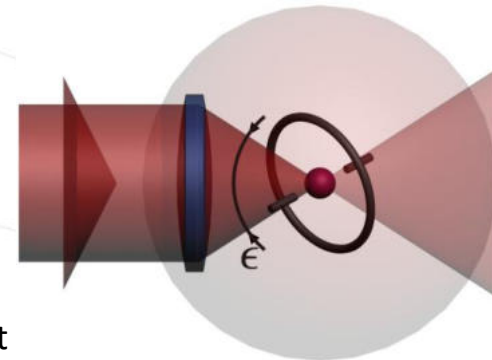
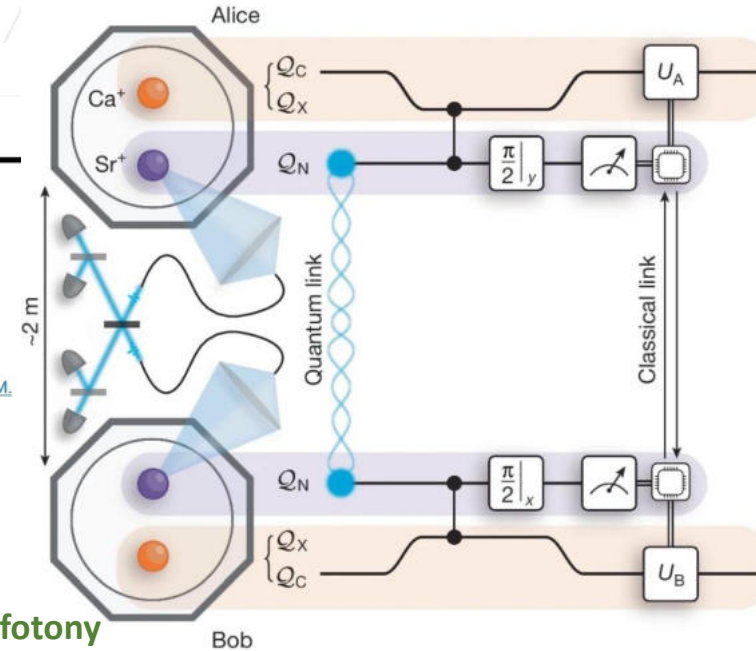
154k Accesses | 123 Citations | 882 Altmetric | [Metrics](#)

Dominantní technická limita

- **efektivní optické rozhraní mezi ionty a fotony**

Požadované parametry:

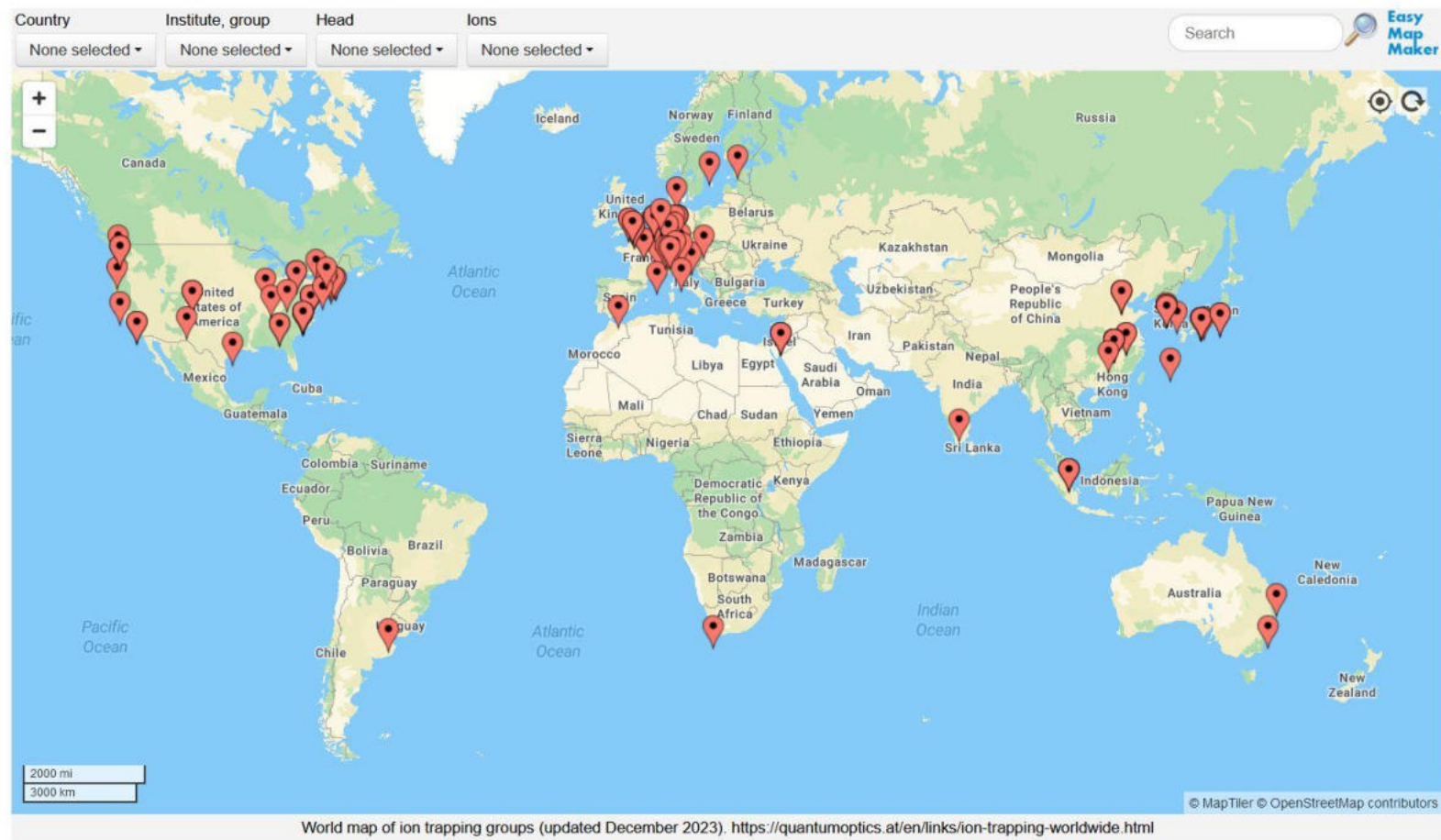
- kvalita vlnoplochy WFE RMS < 0.1 λ
- propustnost > 95%
- NA > 0.6
- vzdálenost dielektrika od iontů > 10 mm
- WD > 30 mm
- pozice vně vakuové komory
- interferometrická mechanická stabilita
- dvě pracovní vlnové délky – přeladitelnost





Univerzita Palackého
v Olomouci

Ion trapping groups worldwide

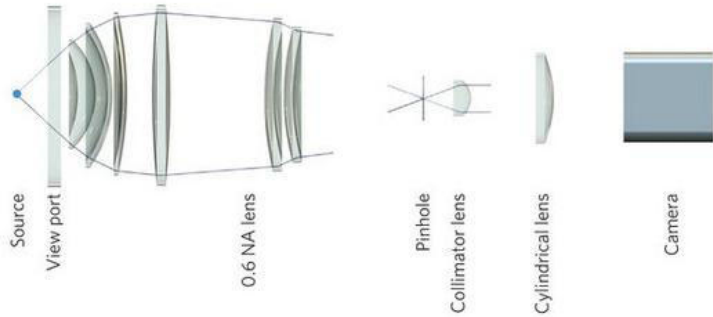


Lukáš Slodička a Bohumil Stoklasa, 6.3.2026, Katedra optiky UP a Meopta s.r.o.

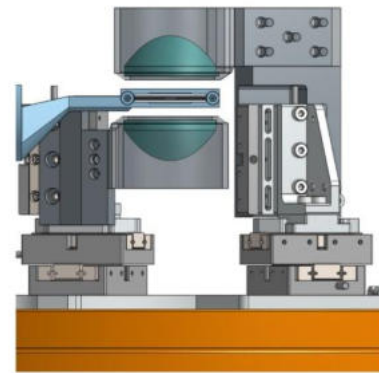


Univerzita Palackého
v Olomouci

Pokusy o řešení v experimentální komunitě



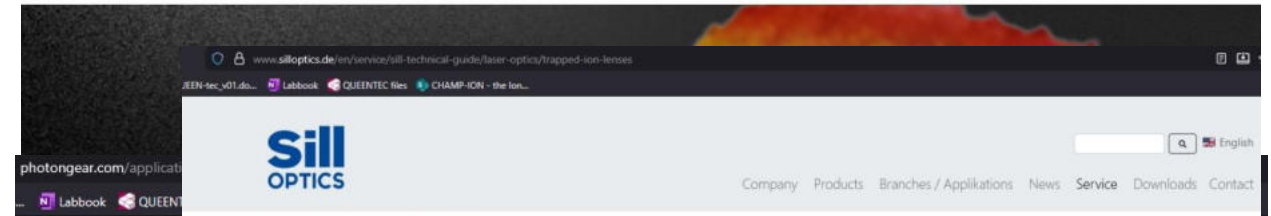
C. Monroe



AVANTIER
EMPOWERING OPTICAL INNOVATIONS

About Avantier Solutions Products Markets Served Resources Contact Us Search

Komerční produkty



Technical Guide: Trapped Ion lenses

Trapped (cold) ions are a research topic with increasing interest over the last few years because of their possibility to store Qubits (quantum bits) and the related use for quantum computers. Of course, it is not only important to use them, but to know their behaviour in detail via various basic experiments.

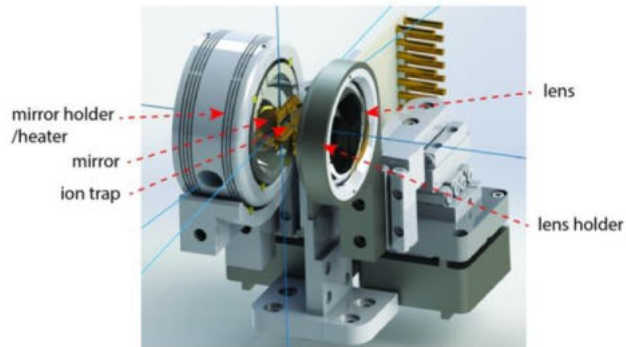
Sill Optics has designed lenses both, for just observation and observation combined with laser focusing for these experiments. Those lenses are exceptional for their high NA and adjustment to specific wavelengths (UV to IR). As the vacuum cryostats differ in dimension (e.g. the window thickness) every lens has to be designed specifically for the existing conditions.

Adaption for your window thickness is possible. We are also pleased to develop lenses according to your requirements.



> Silicon Carbide Optics (1)

R. Blatt





Konstrukce kolekčního objektivu

- Konstrukční výzvy kolekční optiky vně vakuové komory
 - Extrémně dlouhá pracovní vzdálenost vzhledem k NA 0.6
 - Vliv vakuového okna (sférická aberace, defekty)
 - Maximalizace kolekční účinnosti (NA, minimalizace centrálního clonění)
 - Relativně větší pole (0.2mm) vzhledem k NA 0.6
 - Ideálně achromatický design (experimentální scénáře: 397nm, 492nm)
 - Polarizačně necitlivý design + maximální kolekční účinnost



Očekávané výstupy

- Rozvoj přidružených technologií
 - Beznapěťové uložení zrcadel v katadiotrických objektivěch s vysokou NA
 - Rozvoj dielektrických odrazných tenkých vrstev s maximální uniformitou po povrchu sférického zrcadla pro minimalizaci polarizačních efektů
- Realizace katadioptrického objektivu s vysokou NA a dlouhou WD



Konkurenční výhoda a přínosy

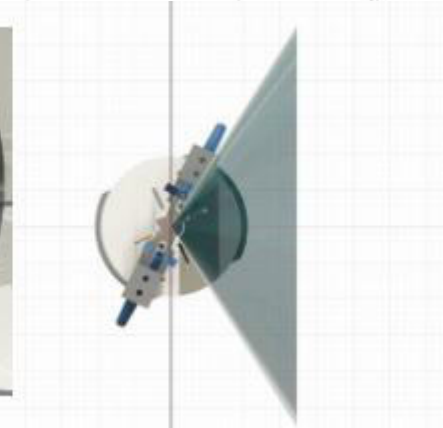
- Specializovaná optika pro sběr fluorescence iontů
 - V současné době je kolekční optika vně komory na menší NA
 - Kvalita takovýchto soustav není pod difrakčním limitem
 - Achromatická katadioptrická stavba



Shrnutí

- Prvotní testy na UP
- Kolekční optika

Ve spolupráci Meopta-UP je vyvíjen unikátní objektiv, který může nalézt uplatnění v rostoucím počtu výzkumných skupin zabývajících se problematikou iontů v Paulově pasti





Univerzita Palackého
v Olomouci

OP JAK ITI Optické technologie výzkumný cíl 7 Kvantové fotonické senzory

Miroslav Ježek

Univerzita Palackého, katedra optiky



opticsolomouc.org



@QuantumHedgehog

@OpticsOlomouc



IG

optika_olomouc

konference OP JAK ITI, 6. 3. 2026



Co-funded by
the European Union

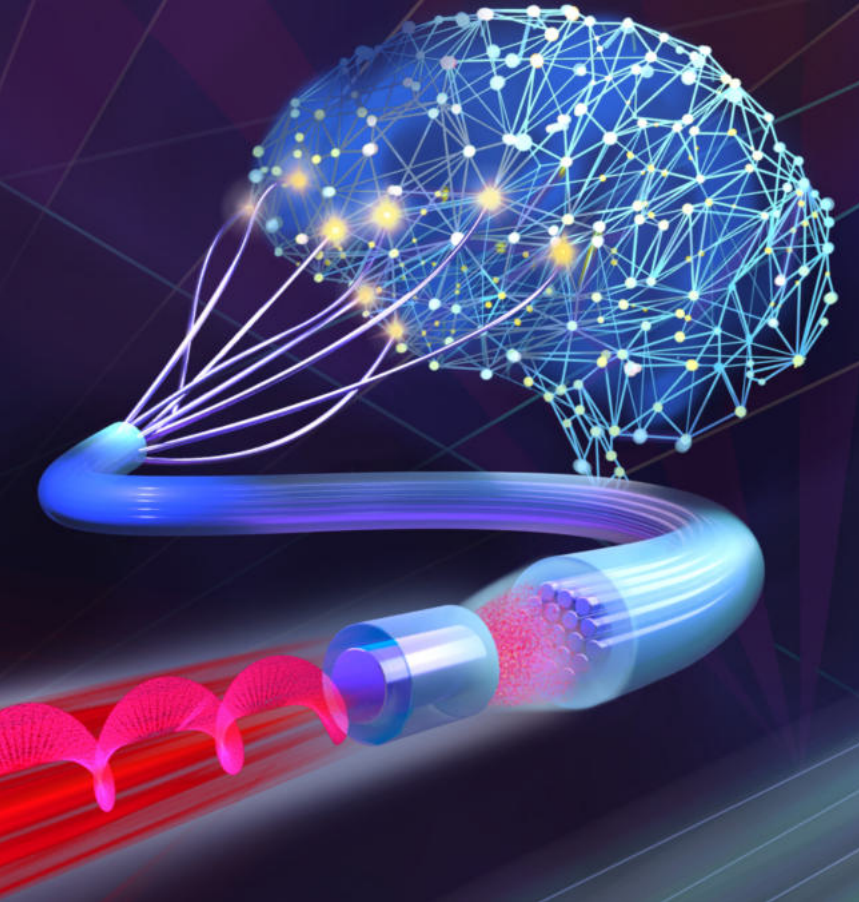


MINISTRY OF EDUCATION,
YOUTH AND SPORTS

CZ.02.01.01/00/23_021/0008790

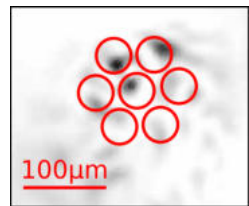


Fotonické senzory podporované AI



- jednofotonová citlivost
- mikro nebo nano škála rozlišení
- vysoká rychlost měření
- maximální informační výtěžnost
- snadná kalibrace nebo samokalibrace

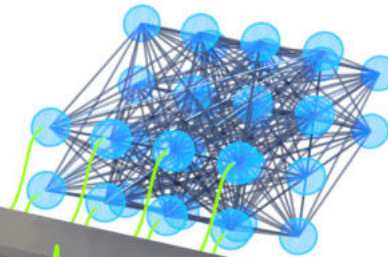
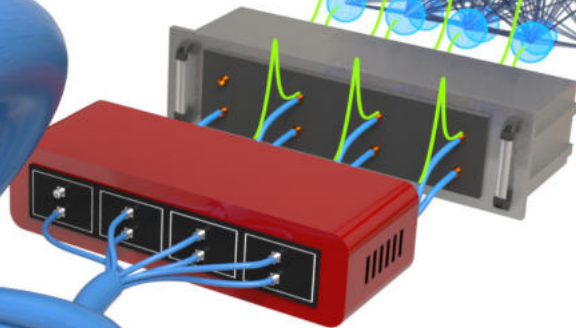
Celovláknový mikrosenzor polarizace světla pro mikroendoskopii a in-situ měření



náhodný rozptyl



detekce fotonů



AI vyčítání

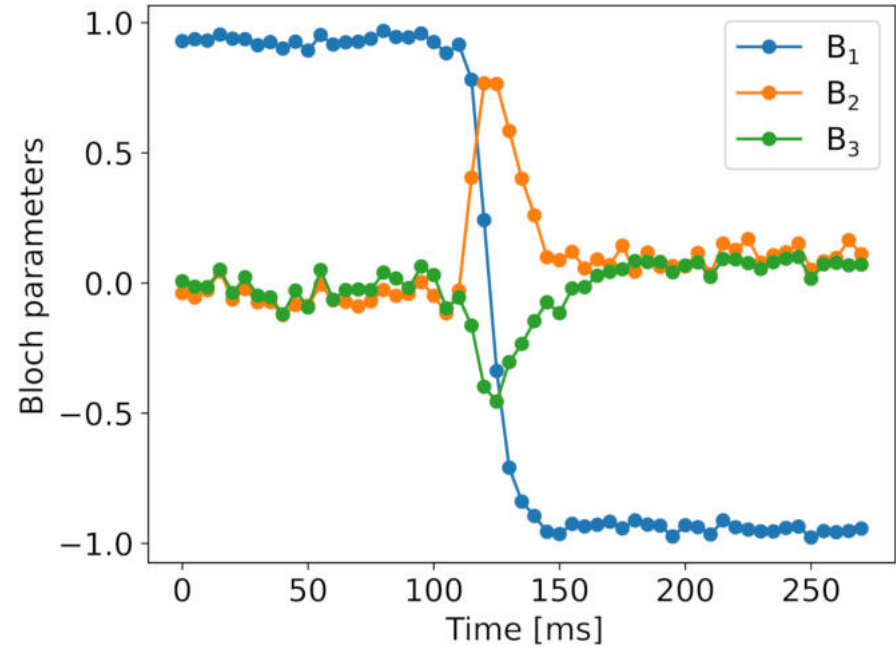
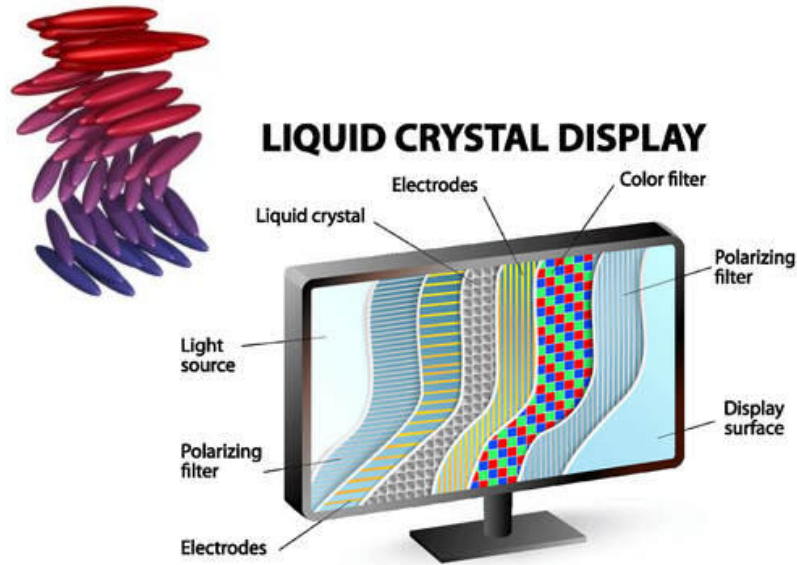
- kompletní polarizační info tisíckrát za sekundu
- chyba < 0.001
- rozlišení $< 5 \mu\text{m}$
- citlivost na úrovni pW
- bez pohyblivých částí
- dlouhodobá stabilita

Bielak, et al. Laser Photonics Rev. 20, e01775 (2026)

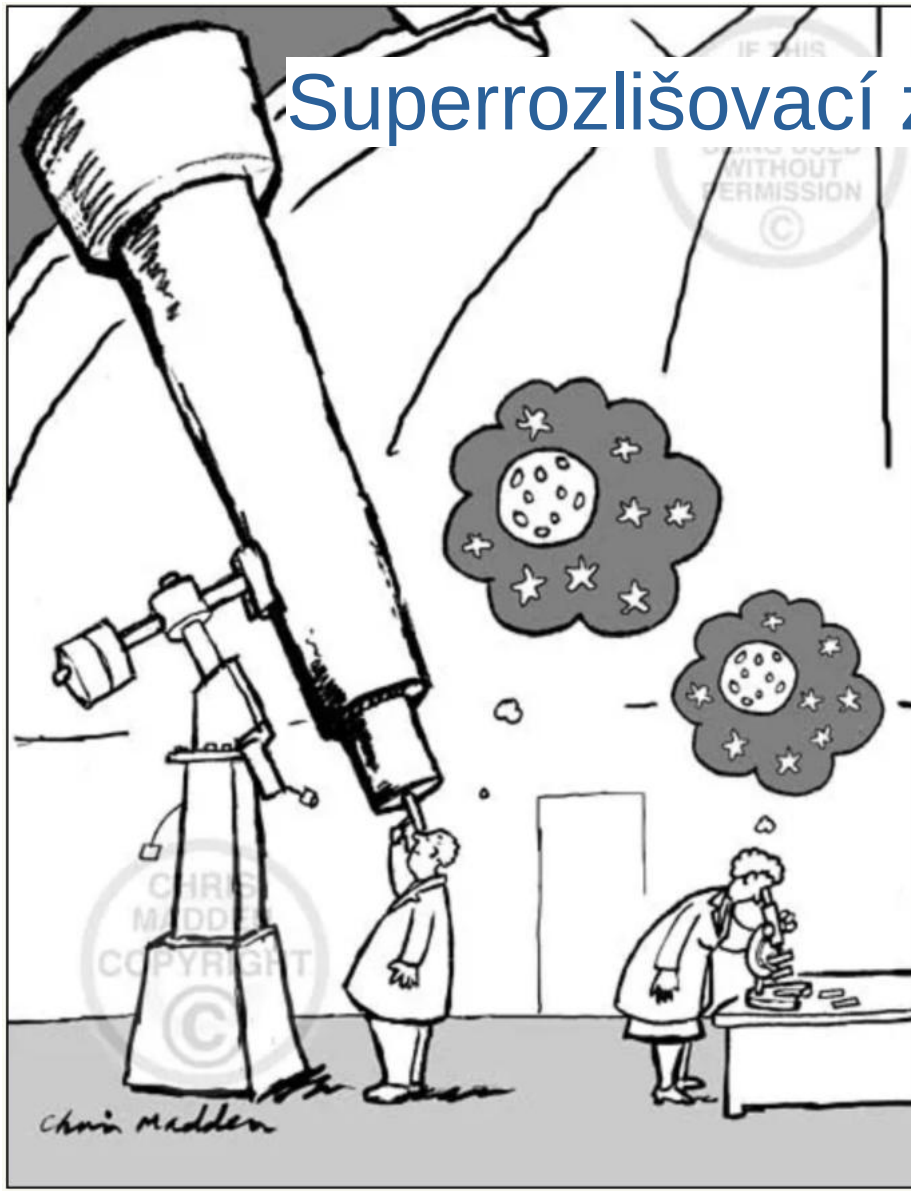
Zakázkové prvky vláknové optiky: SQS Vláknová optika

Příklad aplikace polarizačního mikrosenzoru

Materiálový výzkum: okamžitá odezva kapalných krystalů



Superrozlišovací zobrazení podporované AI

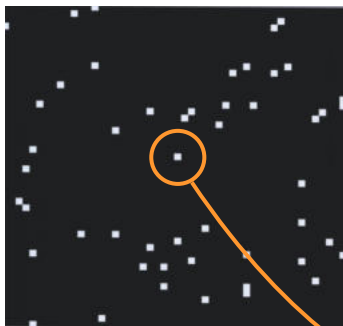


Aplikace:

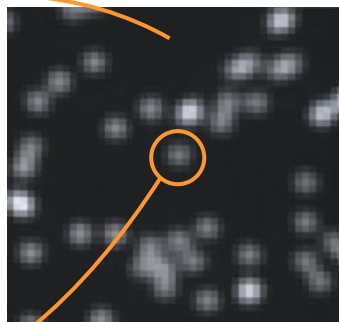
- astronomie
- fluorescenční mikroskopie (molekulární markery)
- stochastická lokalizační mikroskopie (SMLM, STORM, PALM, PAINT)
- materiálový výzkum
- kvantové technologie (kvantové tečky)

Problémy zobrazení: difrakce, aberace, šum

vzorek



reálný obraz



šum



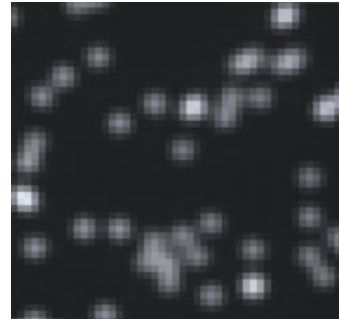
rozlišovací limit optického přístroje

Superrozlišovací zobrazení

vzorek



reálný obraz



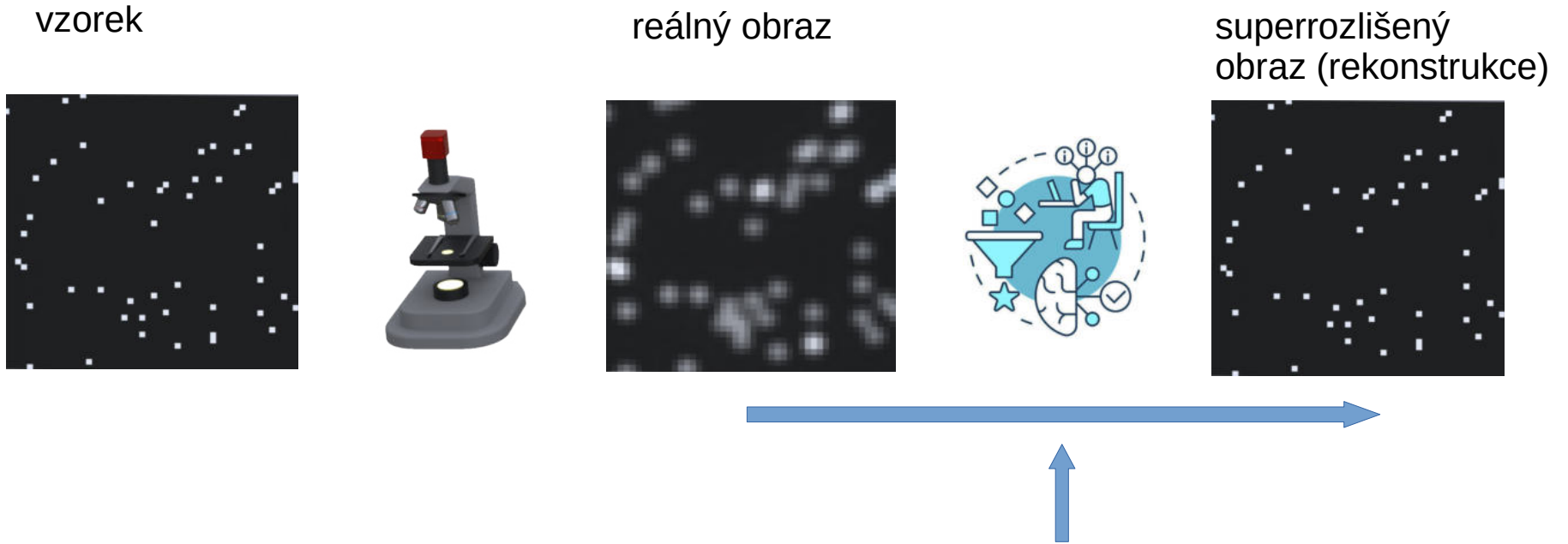
superrozlišený
obraz (rekonstrukce)



rekonstrukční techniky

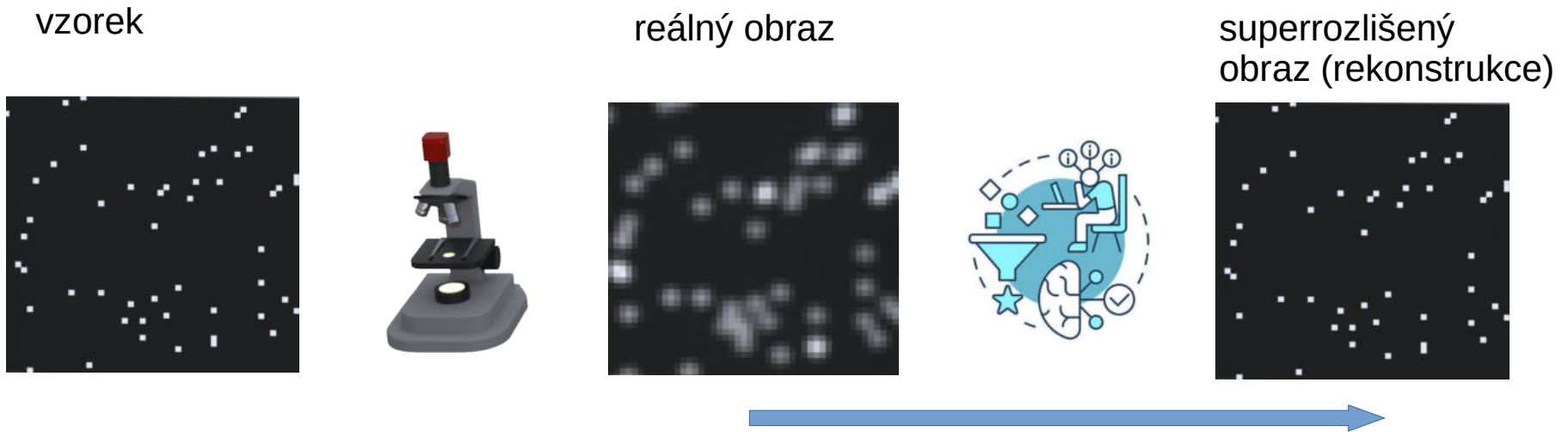
dekonvoluce
statistické metody
strojové učení

Problémy superrozlišovacího zobrazení



1. rekonstrukce závisí na parametrech optického přístroje
2. vyžaduje experimentální data pro kalibraci
3. citlivá na změny parametrů v obrazovém poli a v čase

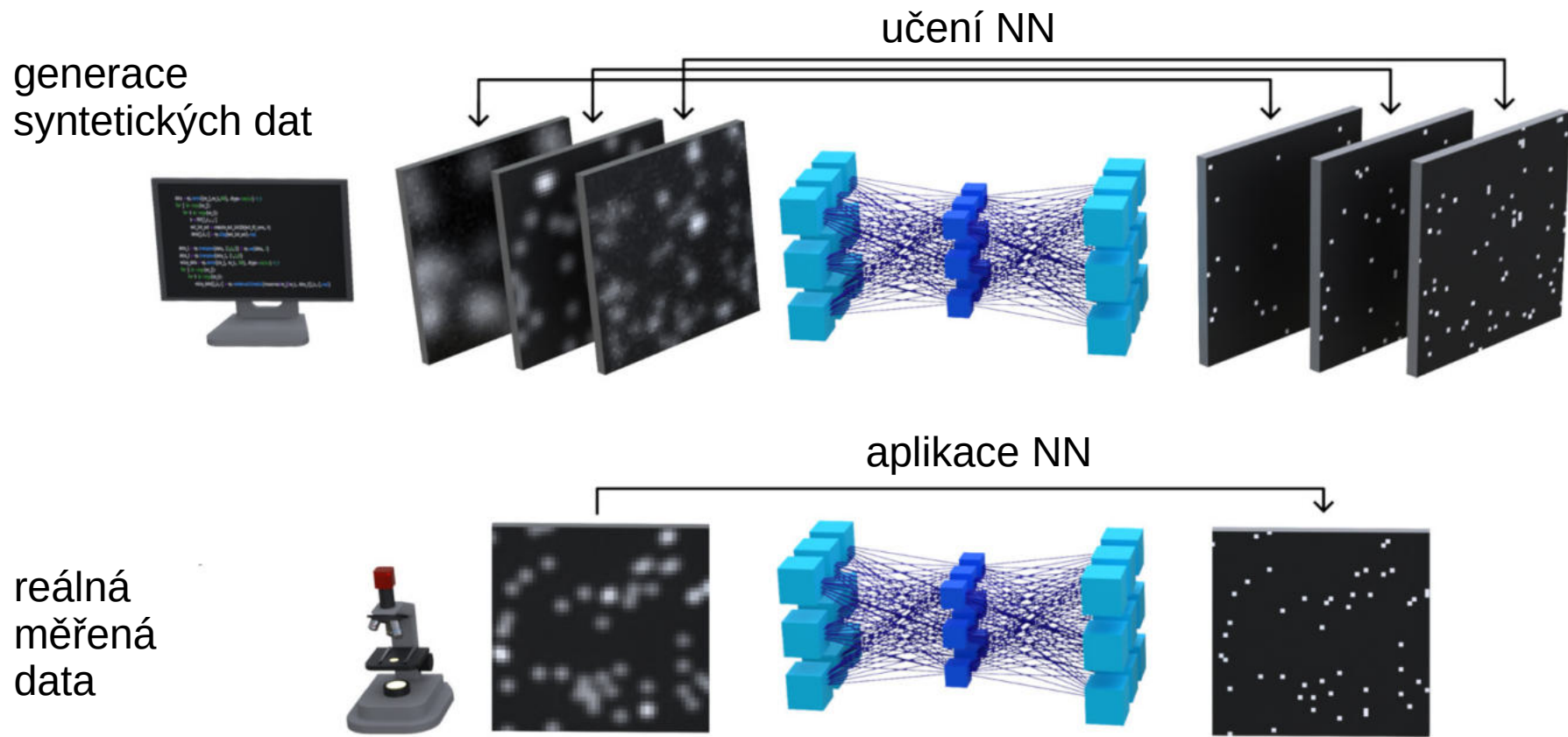
Problémy superrozlišovacího zobrazení



cíl: nezávislost na zařízení

1. rekonstrukce závisí na parametrech optického přístroje
2. vyžaduje experimentální data pro kalibraci
3. citlivá na změny parametrů v obrazovém poli a v čase

Na zařízení nezávislé superrozlišení (DAMN)



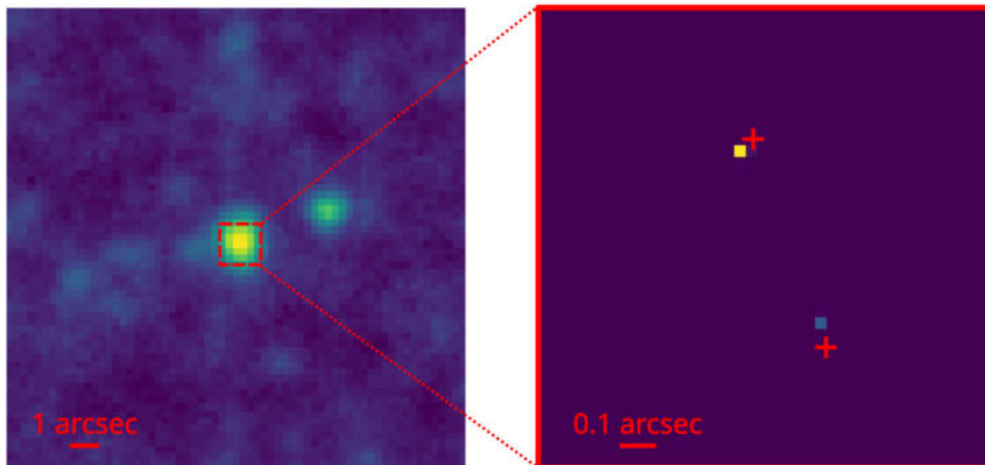
Aplikace DAMN: astronomie

Galaxie
v Andromedě
(M31)



překonání
rozlišovacího
limitu faktorem
2,5× resp. 17,5×

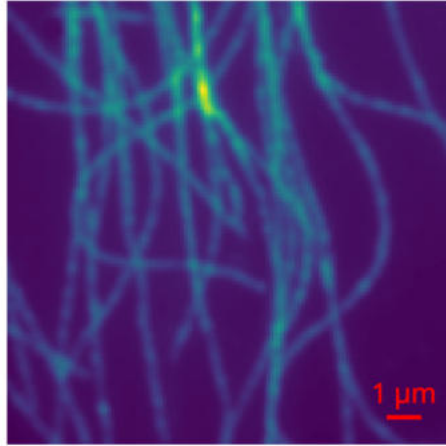
snímek dvouhvězdy
pozemním
Pan-STARRS1
teleskopem
(dia 1,8 m; 1,4 Gpix)



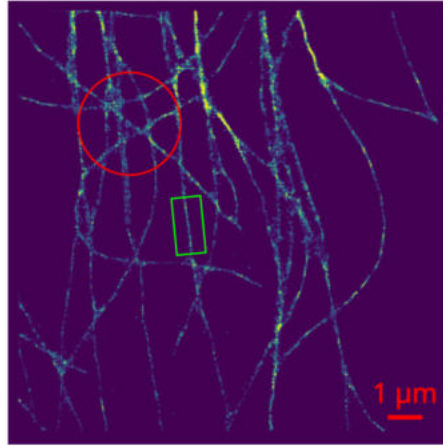
DAMN rekonstrukce
+
skutečné polohy
z vesmírné
astrometrické
observatoře Gaia
(křížky)

Aplikace DAMN: biologie (mikrotubuly)

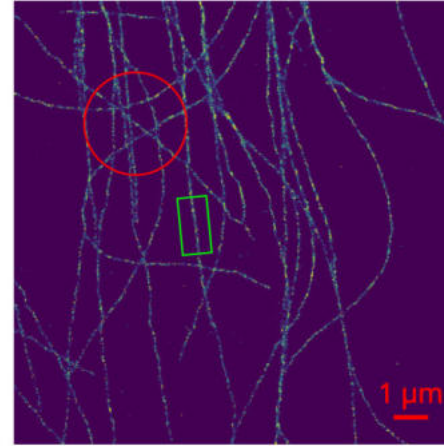
Low-resolution image



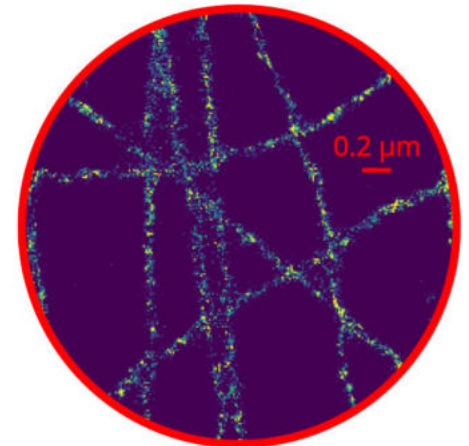
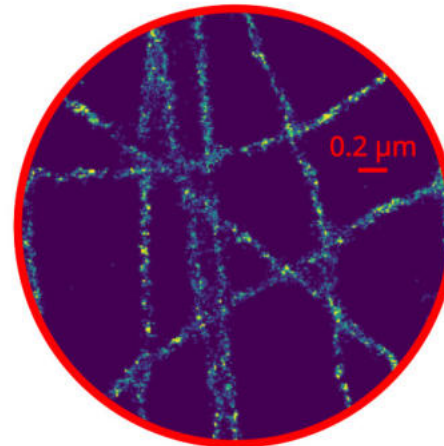
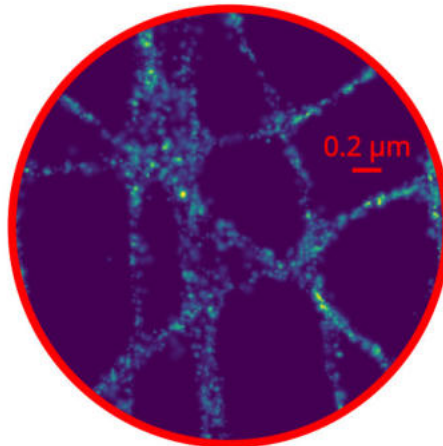
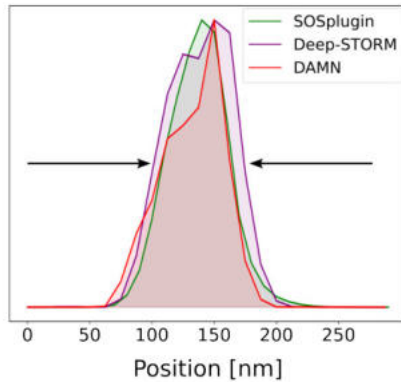
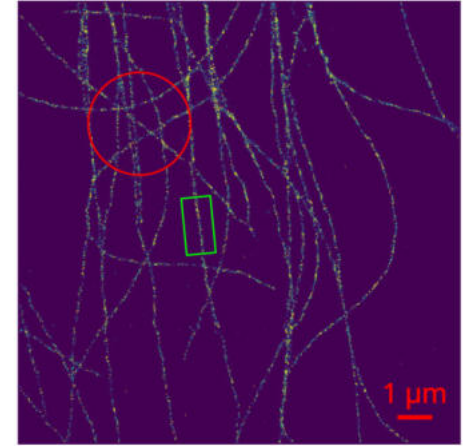
Localization image



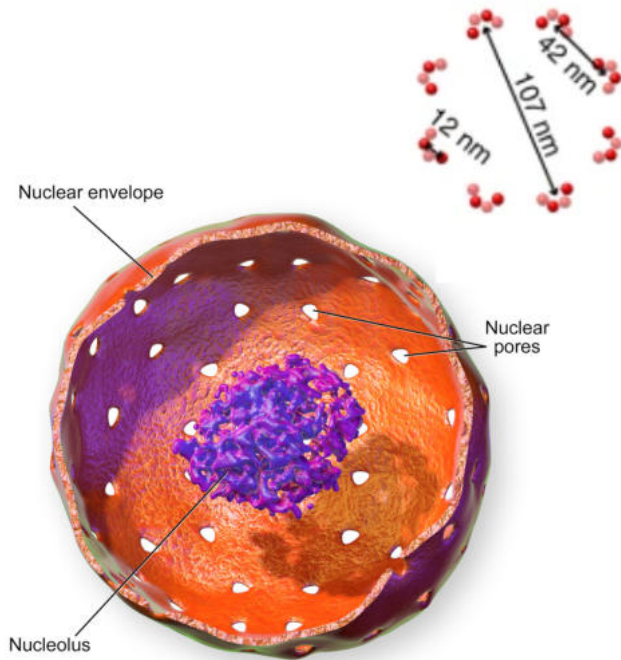
Deep-STORM reconstruction



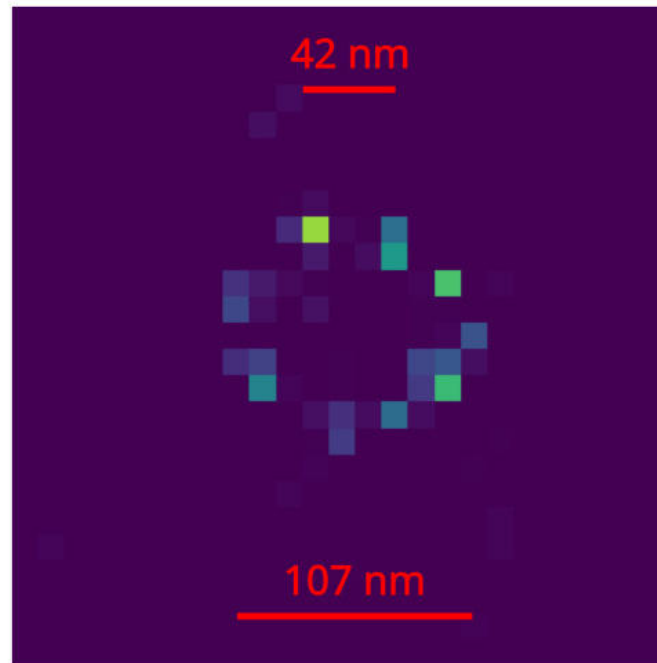
DAMN reconstruction



Aplikace DAMN: biologie (jaderné póry)



DAMN reconstruction



chyba určení poloměru (107 nm) a vzdálenosti molekul (42 nm) je 7 nm resp. 4 nm

to odpovídá překonání rozlišovacího limitu faktorem 50× resp. 90×

Konkurenční výhoda & možnosti spolupráce

- senzory a zobrazování s maximálním výkonem a minimální kalibrací
- AI asistované zpracování dat
- široká škála aplikací od astronomie po materiálový výzkum a biomed

- zakázkové optické prvky (senzory)
- rychlá verifikace aplikovatelnosti pro dodaná data (zobrazování)



Stanovení kvantové detekční účinnosti kamer s jednofotonovou citlivostí

Radek Machulka

radek.machulka@jointlab.upol.cz

Společná Laboratoř Optiky

OP JAK ITI - Optické technologie, 2026



Charakteristika:

- Plošné detektory s rozlišením v příčné rovině.
- Detekce individuálních kvant elektromagnetického pole.
- Charakteristické nízkým šumem a vysokou detekční účinností.

Využití:

- Detekce slabých optických polí
- Měření fotonových statistik

Kalibrované wolframové halogenové zdroje



Nevýhody:

- Pořizovací a provozní náklady.
- Potřeba stabilních a kalibrovaných napěťových zdrojů.
- Nutnost časté recalibrace.
- Nízká životnost.



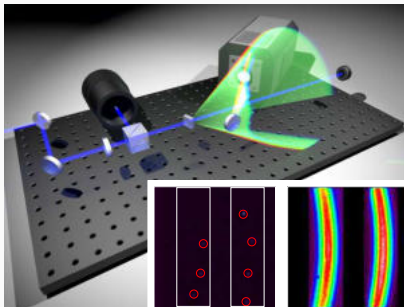
GTLS zářič:

- Luminiscence způsobená ionizujícím zářením generovaným rozpadem tritia.
- Slabý a bezpečný beta zářič (β^-).
- Poločas rozpadu 12,32 let.

Výhody:

- Stabilita fotonového toku.
- Dlouhá životnost.
- Kompaktní rozměry.
- Absence napájení.
- Nízké pořizovací i provozní náklady.

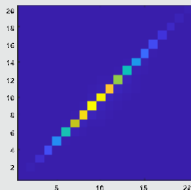
Absolutní kalibrace pomocí párových polí



- Generace pomocí parametrických procesů.
- Neklasické korelace v důsledku zákonů zachování.
- Generovaná pole jsou striktně párová.

Rekonstrukce fotonulzních rozdělení

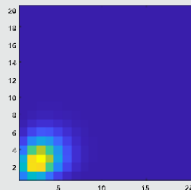
Rozdělení počtu fotonů



Detekce

$$\xrightarrow{T(\eta_s, \eta_i)}$$

Rozdělení počtu detekcí



- Přítomnost jednofotonového šumu.
- Měření fotonulzních rozdělení.
- Zpětná rekonstrukce detekčního procesu.

Konvoluce tří nezávislých Gaussovských polí

$$p(n_s, n_i) = \sum_{n=0}^{\min(n_s, n_i)} p(n_s - n; M_s, B_s) p(n_i - n; M_i, B_i) p(n; M_p, B_p)$$

Mandelovo-Riceovo rozdělení

$$p(n; M, B) = \frac{\Gamma(n + M)}{n! \Gamma(M)} \frac{B^n}{(1 + B)^{n+M}}$$

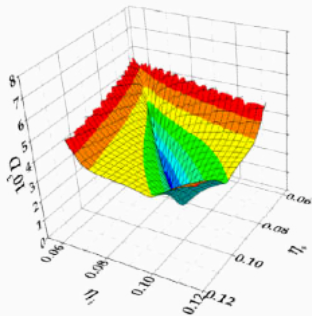
Detekční operátor

$$T(c, n) = \binom{N}{c} (1 - D)^N (1 - \eta)^n (-1)^c \sum_{l=0}^c \binom{c}{l} \frac{(-1)^l}{(1 - D)^l} \left(1 + \frac{l}{N} \frac{\eta}{1 - \eta}\right)^n$$

Výsledná detekční účinnost

Rozdělení počtu detekčních událostí

$$p_c(c_s, c_i) = \sum_{n_s, n_i=0}^{\infty} T_s(c_s, n_s) T_i(c_i, n_i) p(n_s, n_i)$$

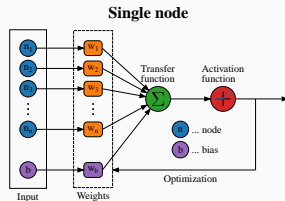
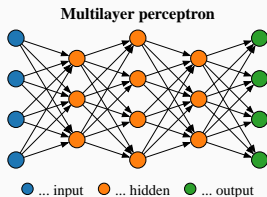


Displacement operator

$$\mathcal{D} = \sqrt{\sum_{c_s, c_i=0}^{\infty} [p_c(c_s, c_i) - f_c(c_s, c_i)]^2}$$

Artificial neural network

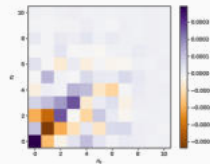
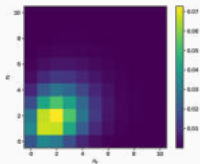
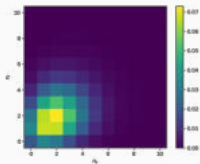
Fully connected, feed-forward, multi-layer perception network



- Performs multinomial classification.
- Supervised learning based on backpropagating.
- Hyperparameters define the topology of the network:
 - The input layer represents experimental histogram.
 - The output layer defines the resolution.

Trénovací data

M_p	M_s	M_i	B_p	B_s	B_i	T_s	T_i	D_s	D_i
270	0.01	0.03	0.03	7.9	5.2	0.228	0.224	0.2	0.2



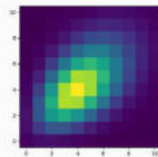
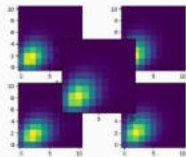
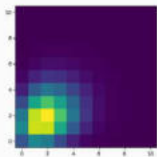
- Data generována pomocí Gaussovského modelu.
- Detekční účinnosti $\eta_{s,i} \in \langle 0.2; 0.3 \rangle$.
- Klasifikace do 10×10 tříd.
- Celkový počet 10^7 trénovacích dat.

$$\eta_s = 22.8 \%$$

$$\eta_i = 22.4 \%$$

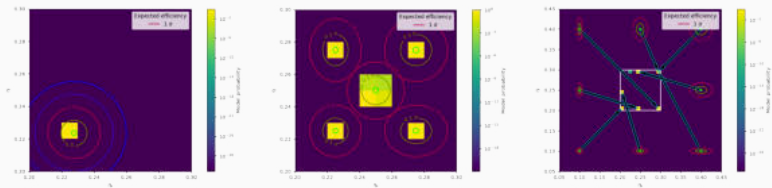
$$\eta_{s,i} = \begin{pmatrix} \frac{22.5}{27.5} & \frac{27.5}{27.5} \\ \frac{22.5}{22.5} & \frac{22.5}{27.5} \end{pmatrix} \%$$

$$\eta_{s,i} \notin \langle 20, 30 \rangle \%$$

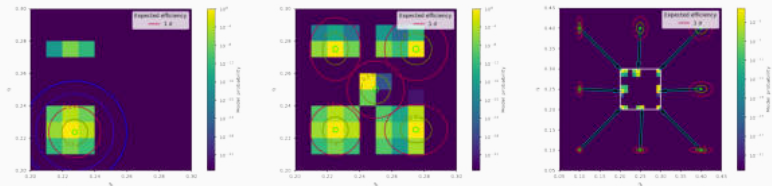


Predikce detekčních událostí

SELU:

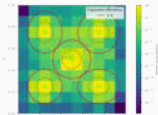


ReLU:

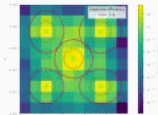


Redukovaná množina tréningových data

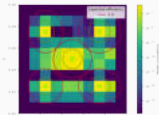
10^3



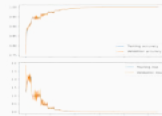
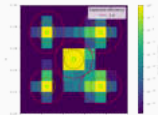
10^4



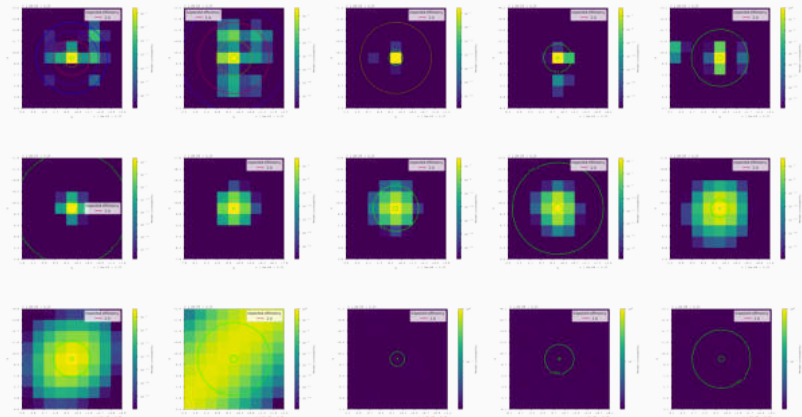
10^5



10^6

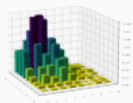


Rozlišovací limit neuronových sítí

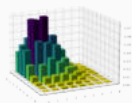


Redukovaná množina experimentálních dat

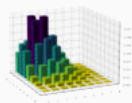
10^3



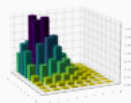
10^4



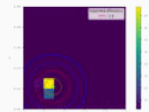
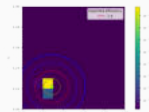
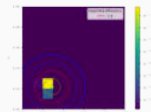
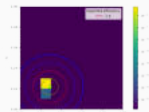
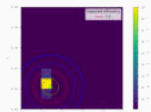
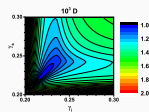
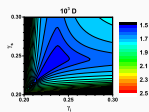
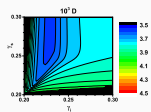
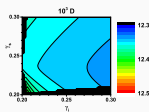
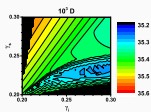
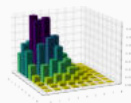
10^5



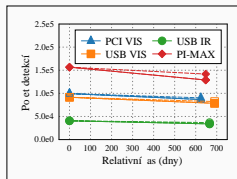
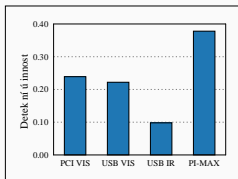
5×10^5



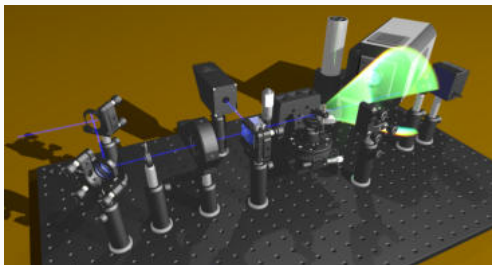
10^3



Transfer kalibrace



- Kalibrace pomocí párových polí je experimentálně náročná a vhodná pouze pro omezenou třídu detektorů.
- Aproximace definovaným teoretickým modelem navíc vyžaduje výpočetně náročné iterativní algoritmy.
- Radioluminiscenční zářiče mohou sloužit pro transfer kalibrace mezi detektory i pracovišti.
- Primární omezení spočívá v postupné degradaci luminoforu.



- Kalibrace kamer vyžaduje zdroj osvětlení s nízkou intenzitou.
- Existuje alternativa využívající korelací párových optických polí.
- Absolutní kalibrace je experimentálně i výpočetně náročná.
- Obtíže lze redukovat použitím metod strojového učení.
- Transfer kalibrace je možný pomocí radioluminiscenčních zdrojů.



Univerzita Palackého
v Olomouci

Děkuji za pozornost



Spolufinancováno
Evropskou unií



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



Univerzita Palackého
v Olomouci

Josef Kapitán, 6. 3. 2026, Katedra optiky, PŘF, UP, 17. listopadu 12, Olomouc



Univerzita Palackého
v Olomouci

OP JAK: Optické technologie

Reg. č.: CZ.02.01.01/00/23_021/0008790

Ramanova optická aktivita pro průmyslové aplikace
(VC6)



Spolufinancováno
Evropskou unií



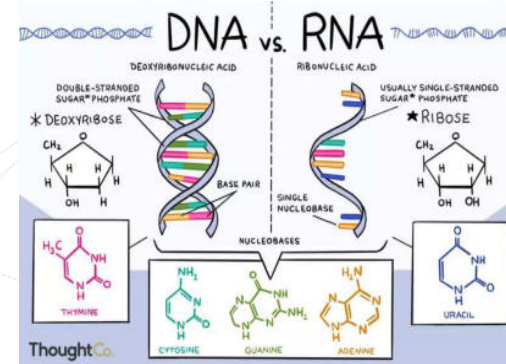
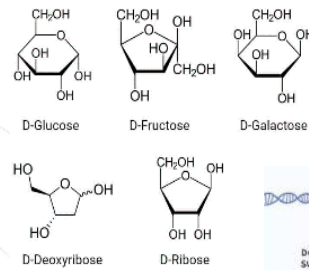
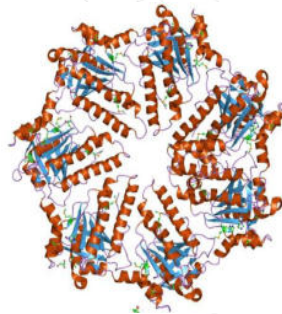
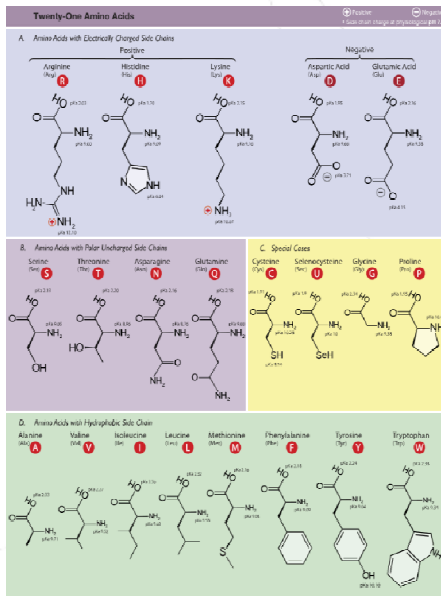
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



Homochiralita ve světě biomolekul

L-amino kyseliny → proteiny

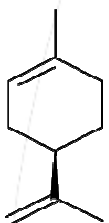
D-sacharidy → nukleové kyseliny



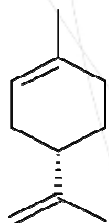


Univerzita Palackého
v Olomouci

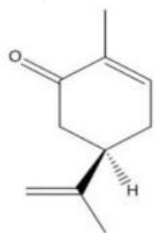
Interakce biomolekul s chirálními molekulami – léčiva



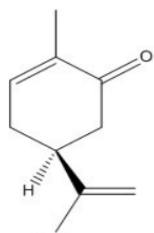
R-(+)-Limonen
pomeranč



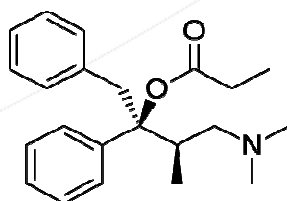
S-(-)-Limonen
citrón



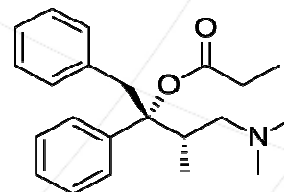
R-(-)-Carvon
máta



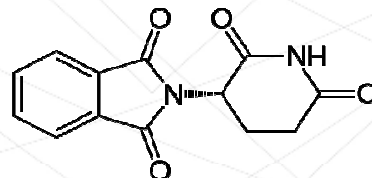
S-(+)-Carvon
kmín



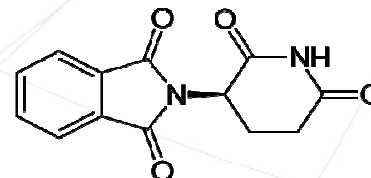
Dextropropoxyphene (Darvon)
- analgetikum



Levopropoxyphene (Novrad)
- proti kašli



S-(-)-Thalidomid
- teratogen
- karcinogen



R-(+)-Thalidomid
- sedativum, hypnotikum
- léčba rakoviny, AIDS, lepra, tuberkulóza





Univerzita Palackého
v Olomouci

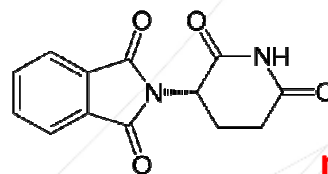
Téma: Ramanova optická aktivita a její využití

- Nové metody detekce Ramanovy optické aktivity využívající elasticky rozptýleného záření

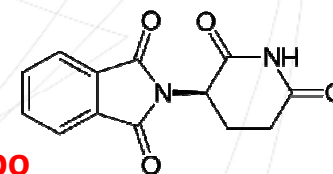


Problém

- Určování **absolutní konfigurace** (chemický, farmaceutický průmysl)

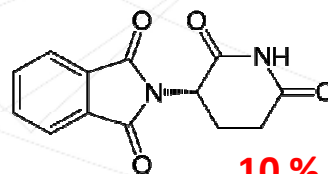


nebo

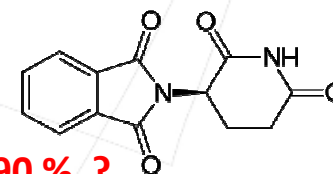


?

- Určování **enantiomerního přebytku** (chemický, farmaceutický průmysl)



10 % : 90 % ?

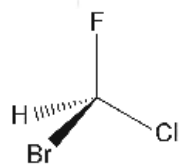


- Diagnostika chorob (lékařství)

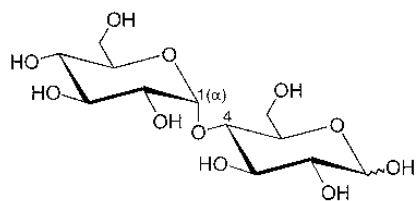


Univerzita Palackého
v Olomouci

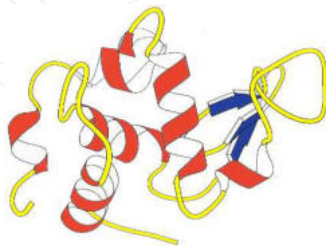
Řešení – Ramanova optická aktivita



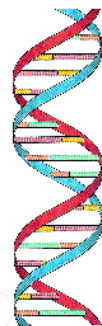
simple
organic
molecules



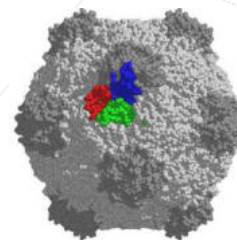
more complex
molecules



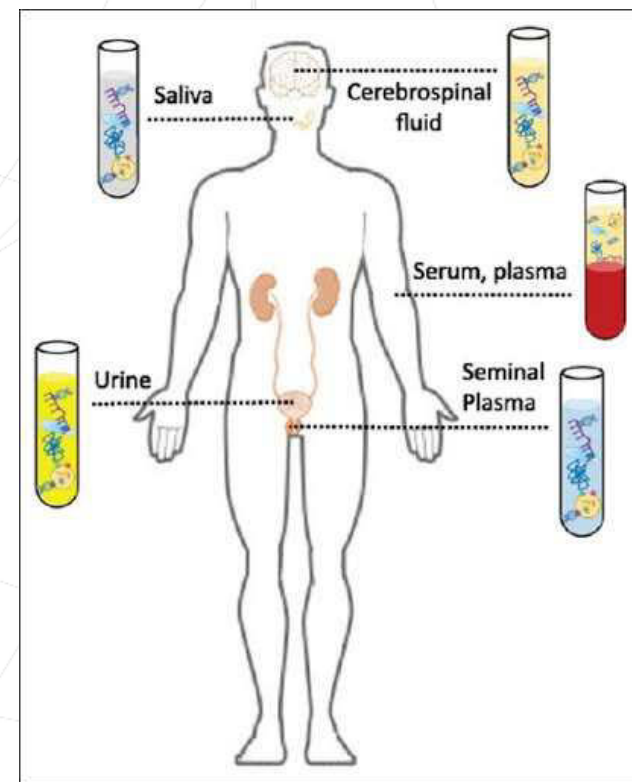
proteins



nucleic
acids



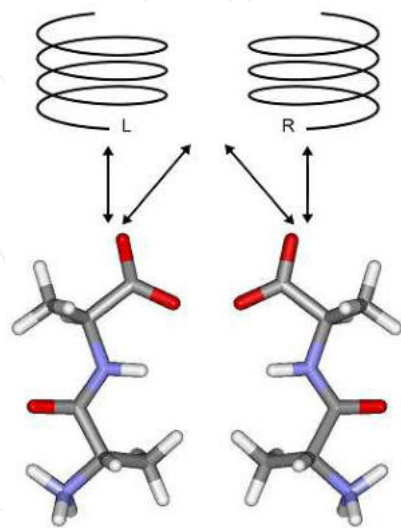
viruses



tělní tekutiny

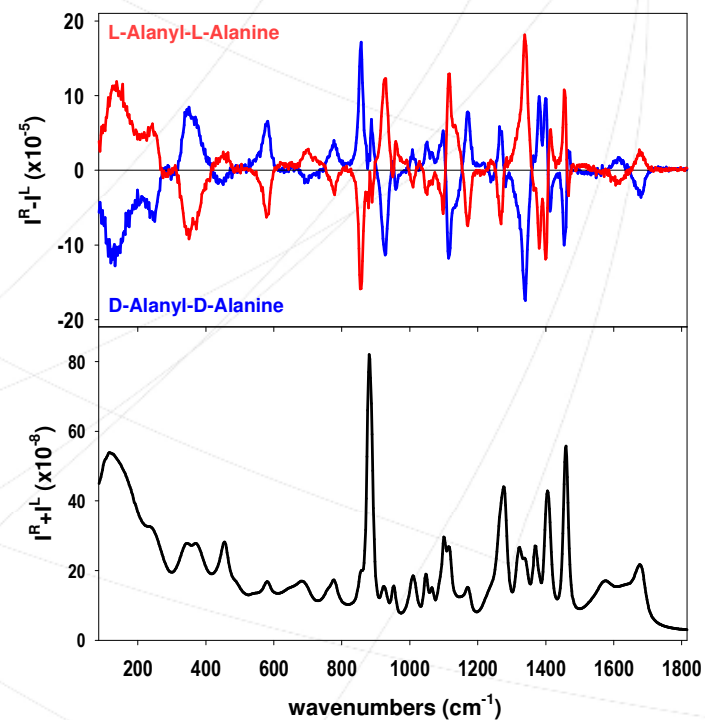


Řešení – Ramanova optická aktivita



L-alanyl-L-alanine

D-alanyl-D-alanine



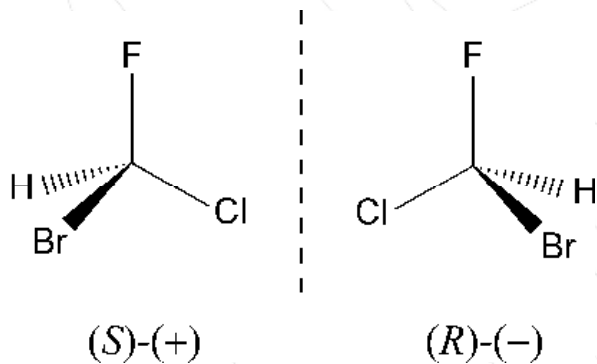


Univerzita Palackého
v Olomouci

Určování **absolutní konfigurace**

1997 – určení absolutní konfigurace CHFCIBr pomocí ROA

- založeno na porovnání ROA experimentu a kvantově chemických *ab initio* simulací molekul



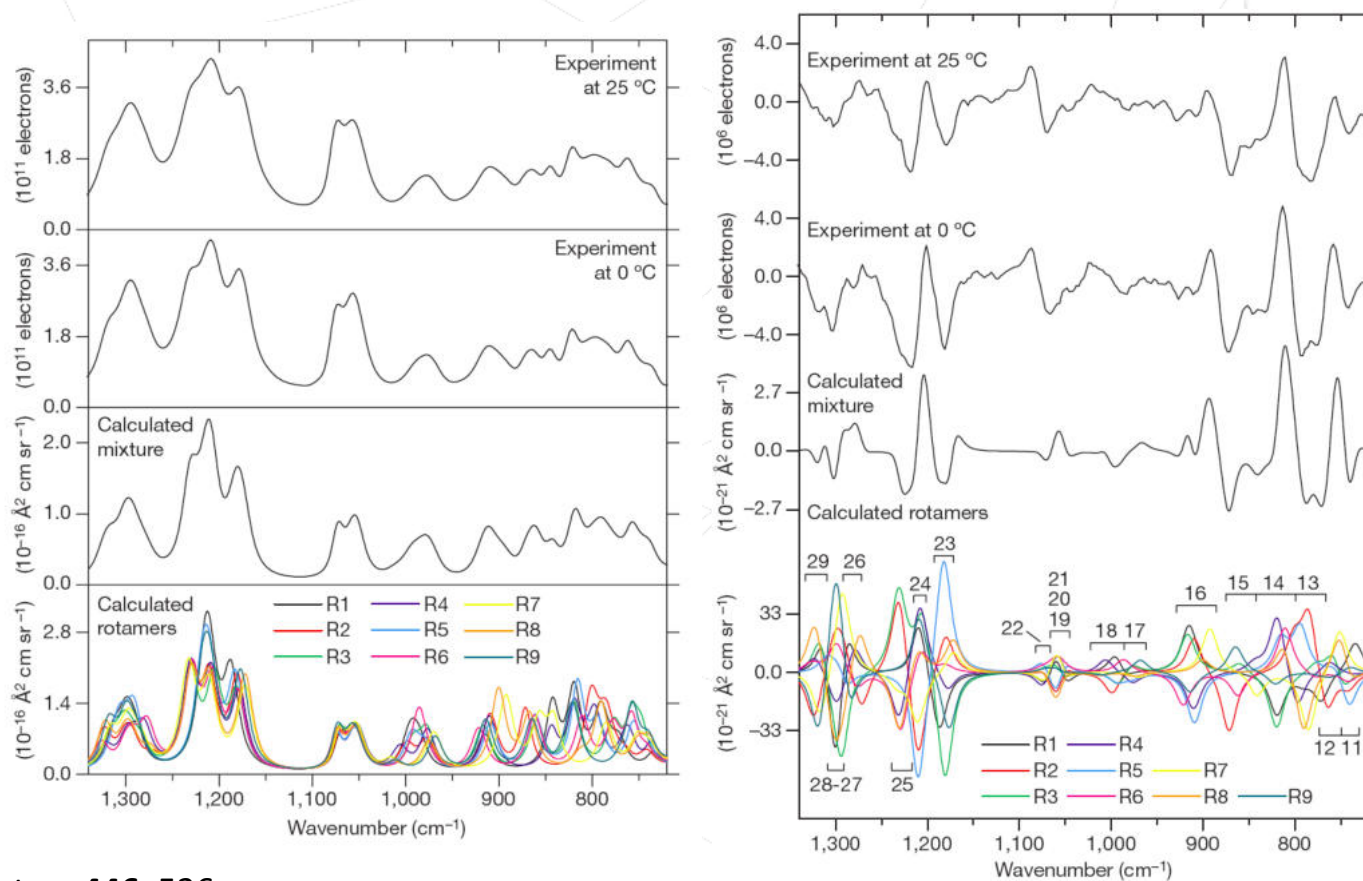
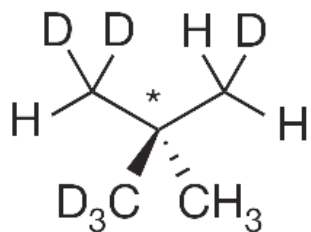
Costante et al. 1997. *Ang. Chem. Int. Ed. Engl.* 36, 885



Univerzita Palackého
v Olomouci

Určování **absolutní konfigurace**

2007 – určení absolutní konfigurace chirálně deuterovaného neopentanu pomocí ROA



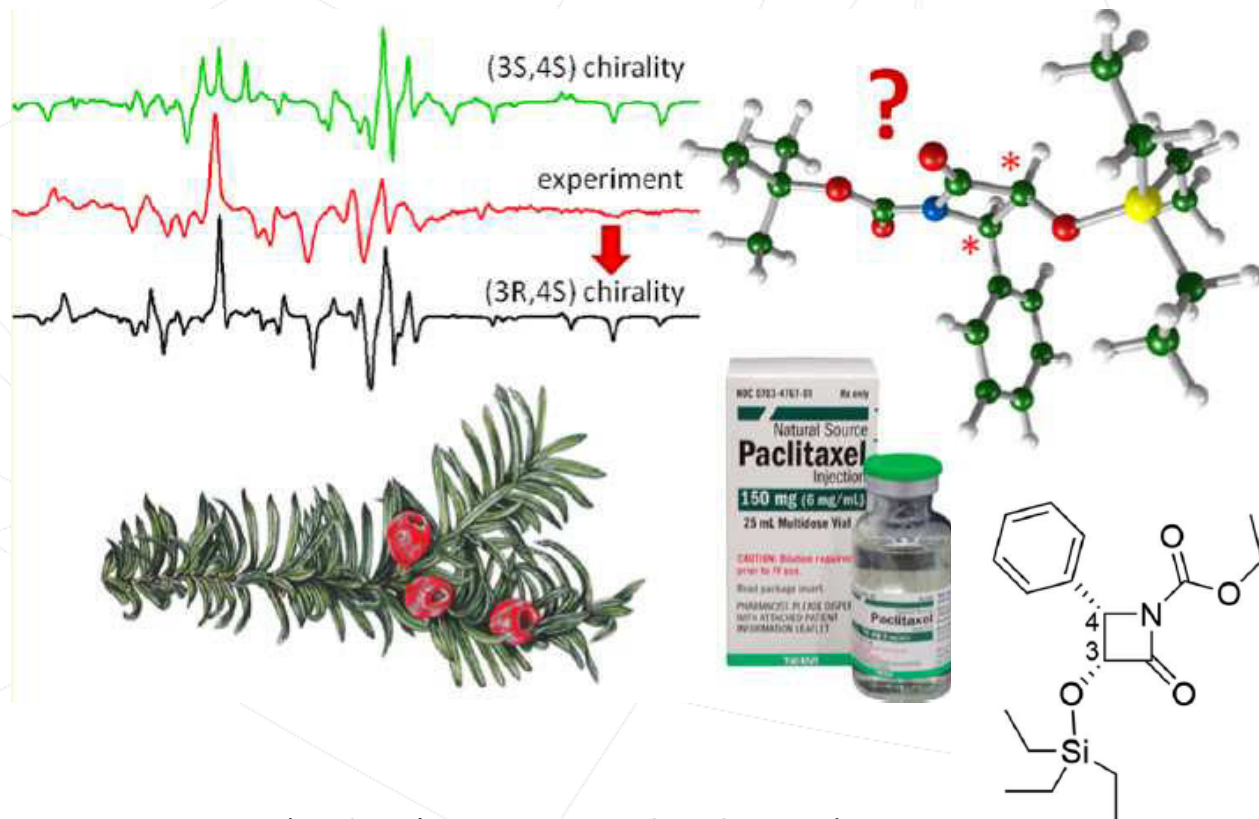
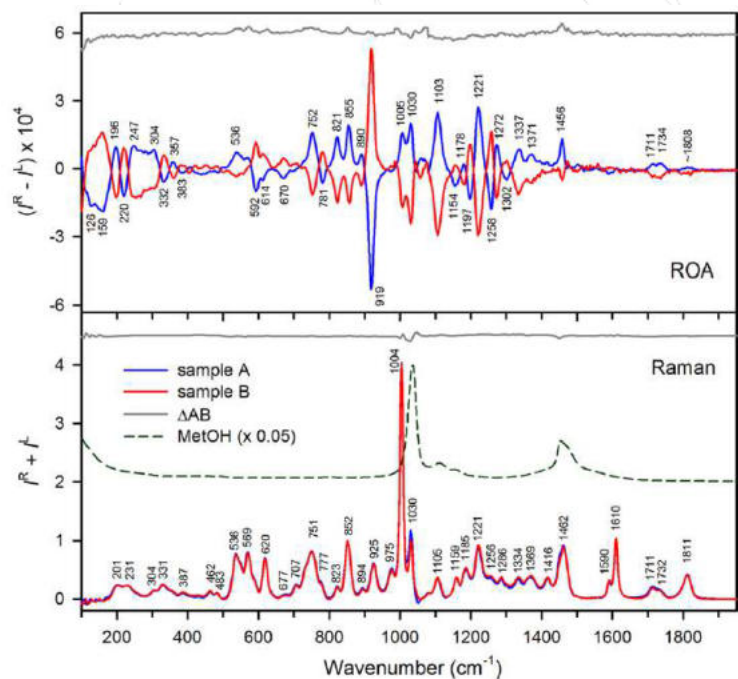
Haesler et al. 2007. *Nature* **446**, 526



Univerzita Palackého
v Olomouci

Určování **absolutní konfigurace**

Určení absolutní konfigurace **prekurzoru taxolu**

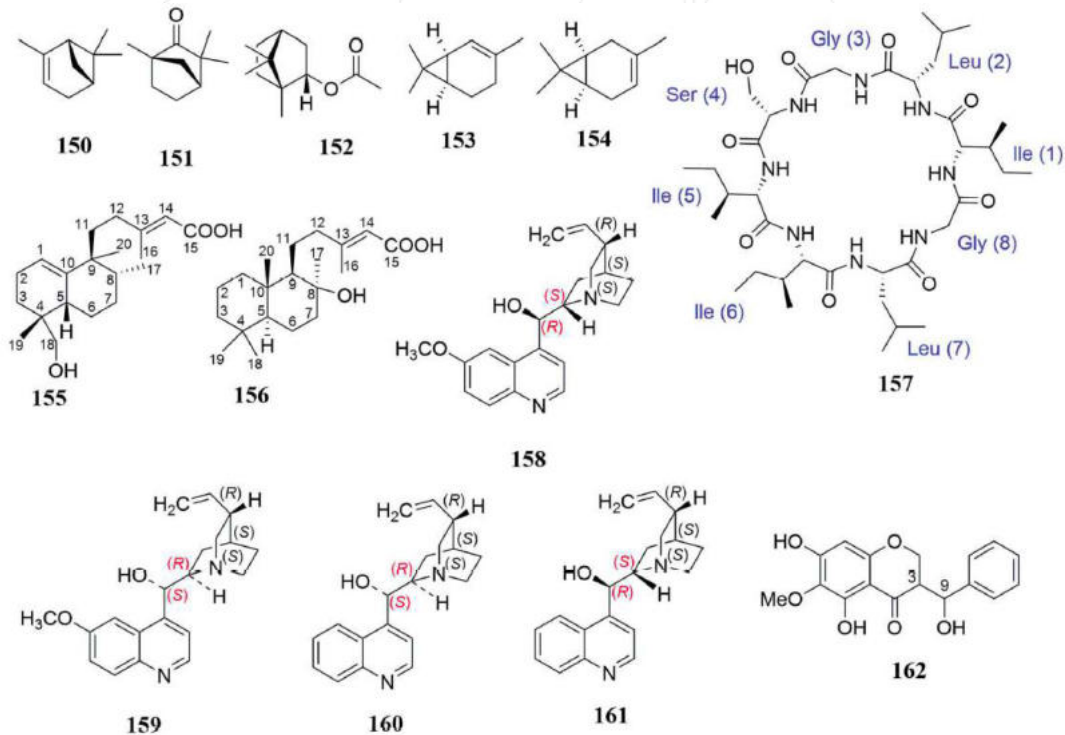
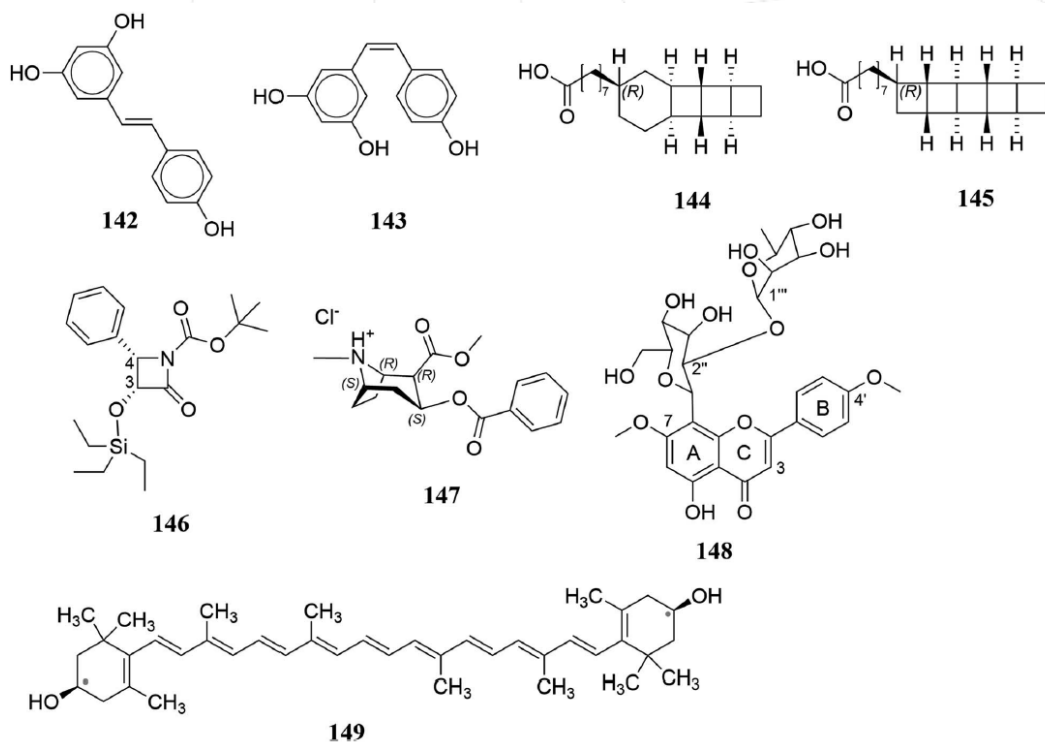


Profant V. *et al.* 2007. J. Phys. Chem. B 2017, 121, 1544–1551 (spolupráce s TEVA Czech Industries)



Univerzita Palackého
v Olomouci

Určování **absolutní konfigurace**



Polavarapu P., *Nat. Prod. Rep.* 2020, 37, 1661

Batista J., *Nat. Prod. Res.* 2015, 32, 1280

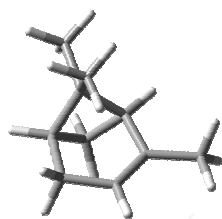
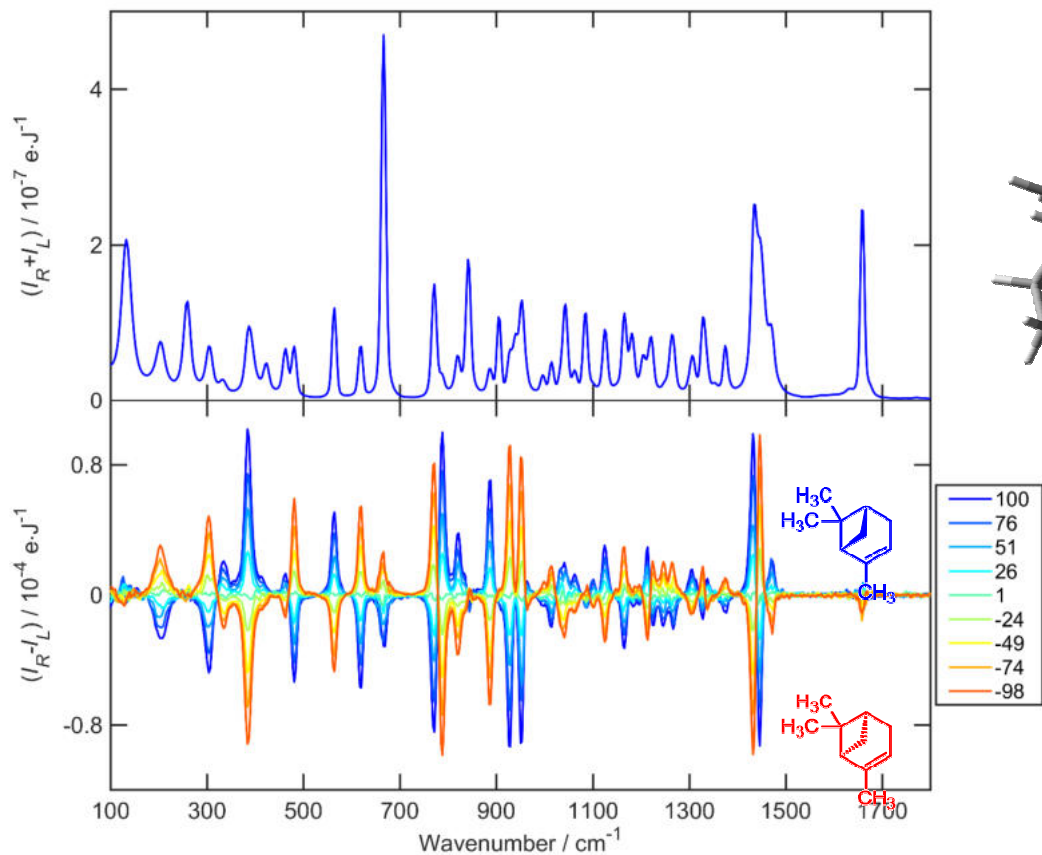
Batista J., *Molecules* 2018, 23, 492



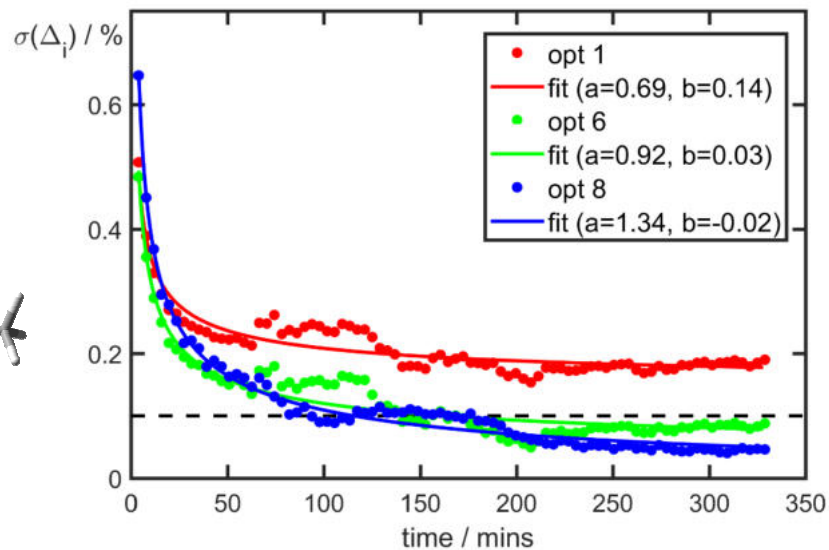
Univerzita Palackého
v Olomouci

Určování enantiomerního přebytku

α -pinen



$$\sigma(t) = \sigma_{\infty} + \frac{\sigma_1}{\sqrt{t}} \quad \sigma(\Delta) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \Delta_i^2}{N}}$$



- přesnost 1 % za 1 minutu

- přesnost 0.05 % za 5 hodin

další zvýšení přesnosti možné

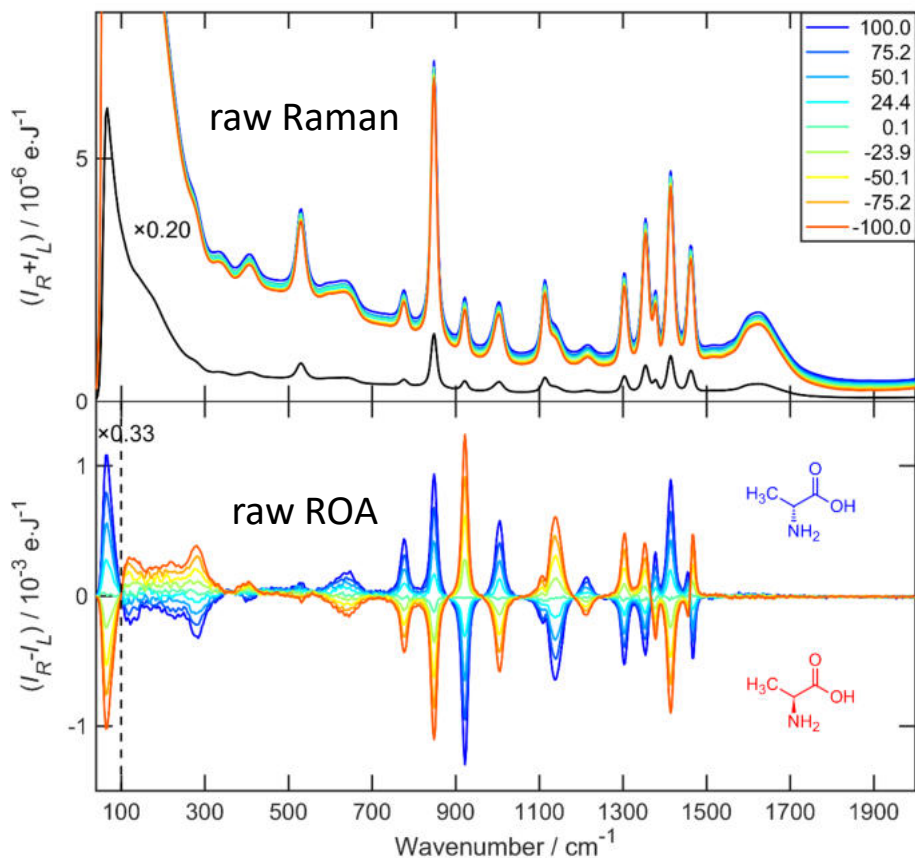
P. Michal, *Symmetry*, 2022, **14**, 990



Univerzita Palackého
v Olomouci

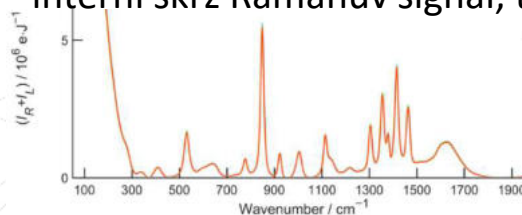
Určování enantiomerního přebytku

L-alanin

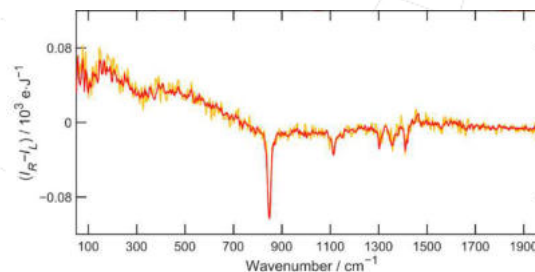


Pro dosažení vysoké přesnosti je třeba:

- větší objem vzorku (limit je přesnost vážení)
~ 1 mL for 0.01 % přesnost
- normalizace intenzity (fluktuační výkonu laseru a vzorku)
interní skrz Ramanův signál, třeba korekce pozadí



- korekce artefaktů

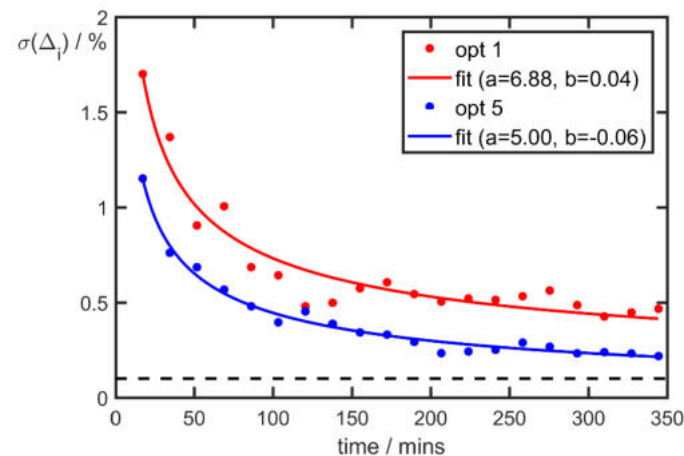
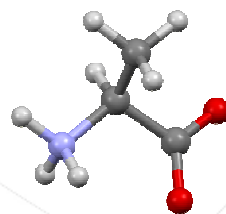
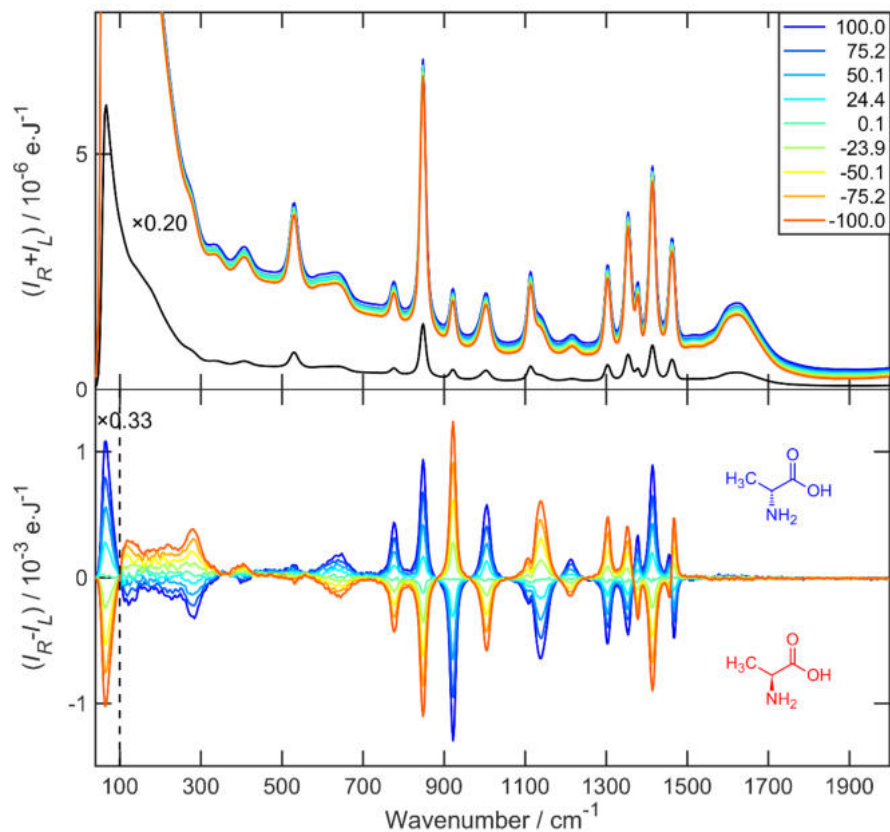


Josef Kapitán, 6. 3. 2026, Katedra optiky, PŘF, UP, 17. listopadu 12, Olomouc



Určování enantiomerního přebytku

(ve vodném roztoku)



- **přesnost 5 % za 1 minutu**

- **přesnost 0.2 % za 5 hodin**

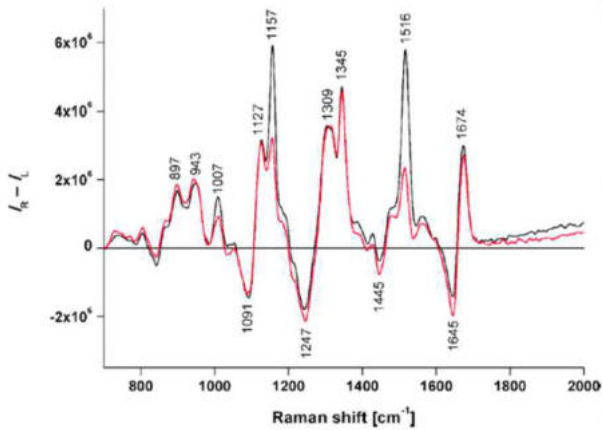
další zvýšení přesnosti možné

P. Michal, *Symmetry*, 2022, **14**, 990



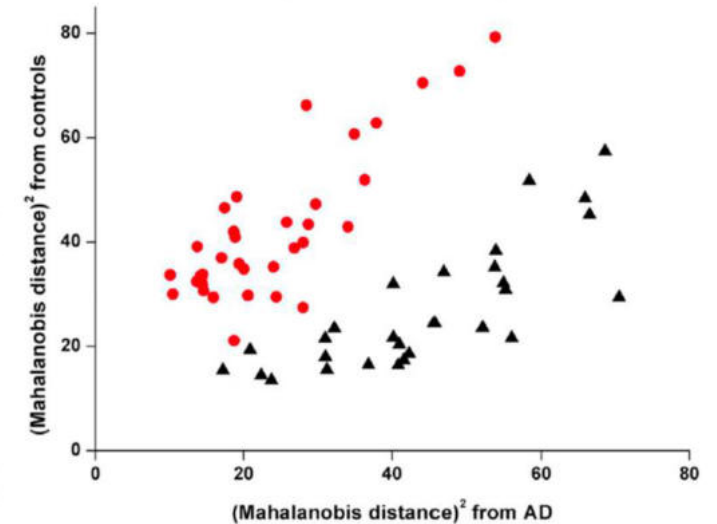
Univerzita Palackého
v Olomouci

Diagnostika chorob



ROA spektra krevní plazmy:
AD nemocní (červená)
zdraví (černá)

- rozlišení pacientů a zdravých kontrol:
- 94% sensitivita, 84% specifická



1. Setnička, V. and L. Habartová, Chiroptical Spectroscopy of Biofluids, in Chiral Analysis, P.A. Polavarapu, Editor. 2018. p. 429-465.
2. Habartová, L., et al., Chiroptical spectroscopy and metabolomics for blood-based sensing of pancreatic cancer. Chirality, 2018. 30: p. 581-591.
3. Habartová, L., et al., Blood-based molecular signature of Alzheimer's disease via spectroscopy and metabolomics. Clin. Biochem., 2019. 72: p. 58-63.
4. Hrubešová, K., et al., Search for biomarkers of Alzheimer's disease: Recent insights, current challenges and future prospects. Clin. Biochem., 2019. 72: p. 39-51.

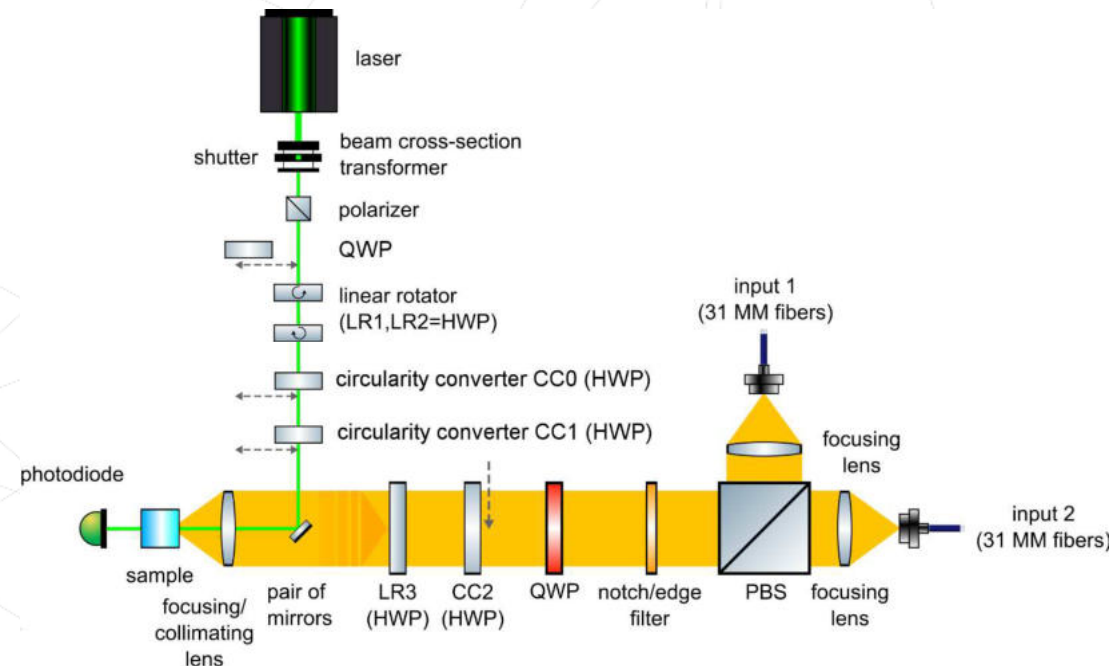


Univerzita Palackého
v Olomouci



Problém – Realizace ROA spektrometru pro průmysl

- eliminace artefaktů
- stabilita
- spolehlivost
- zákaznická podpora
- certifikace a kalibrace
- monitorování vzorku při měření
- analýza dat



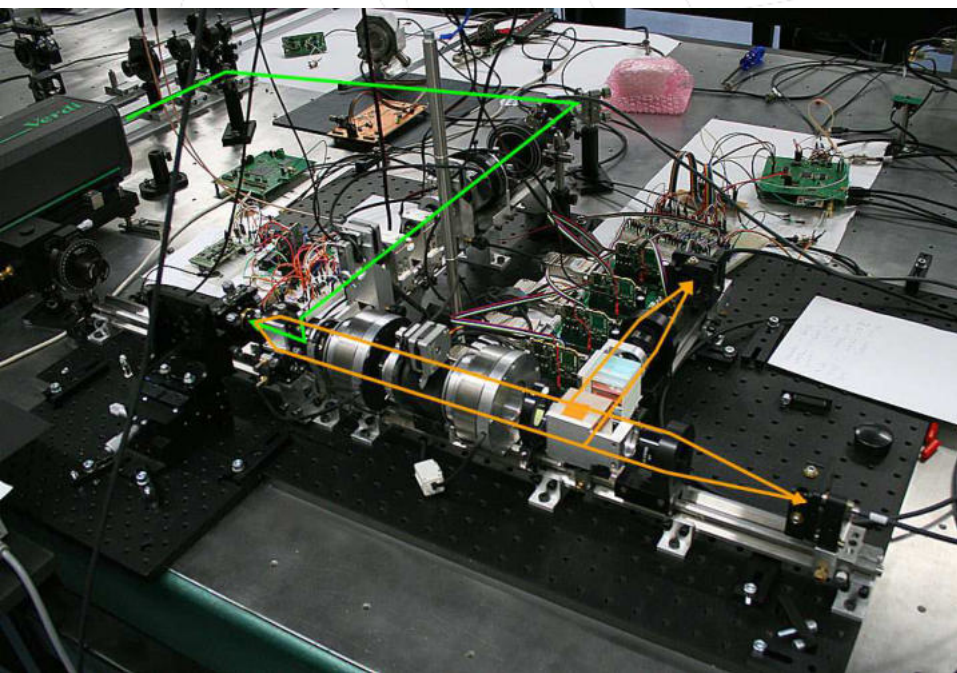
ROA spektrometry v Olomouci



Univerzita Palackého
v Olomouci

meopta

ZEBR



Laboratorní setava (2016)



1. funkční vzorek (2018)

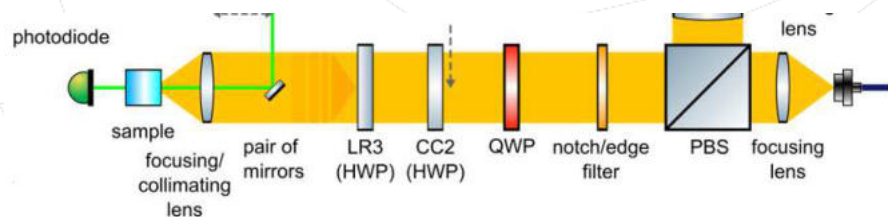


2. funkční vzorek (2021)



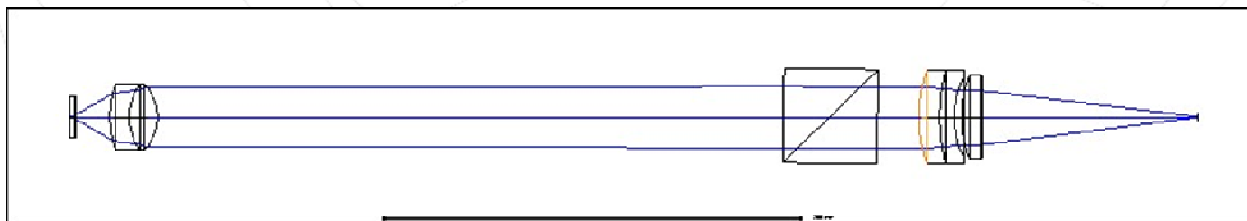
Univerzita Palackého
v Olomouci

Vylepšená kolekční optika – vhodná i pro zobrazování



asférický dublet

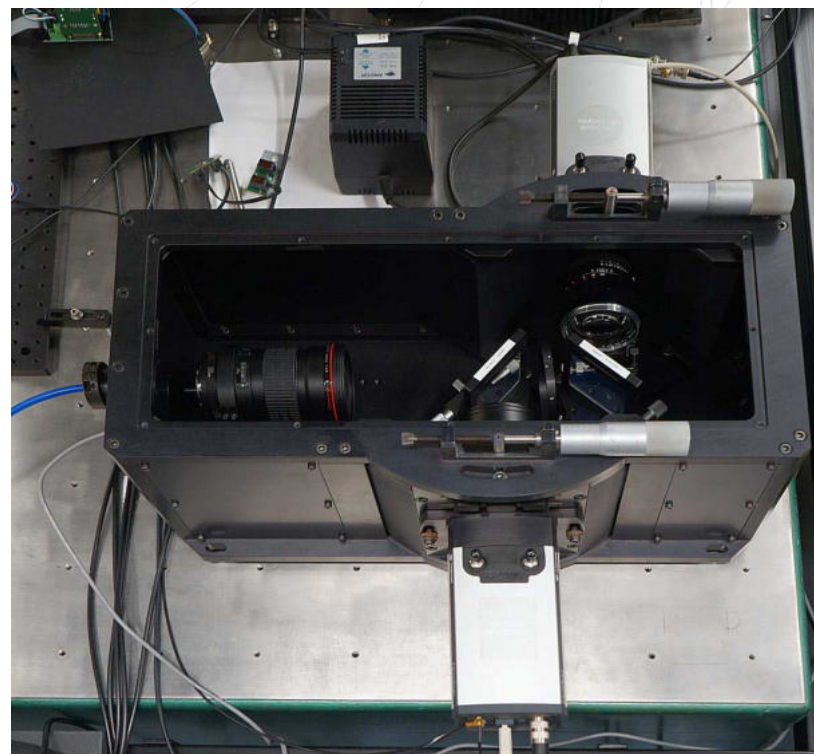
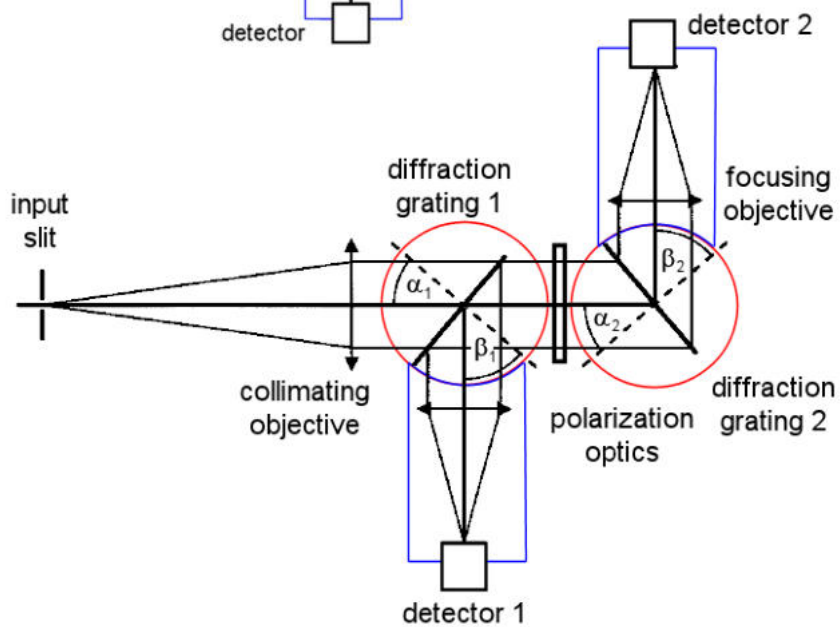
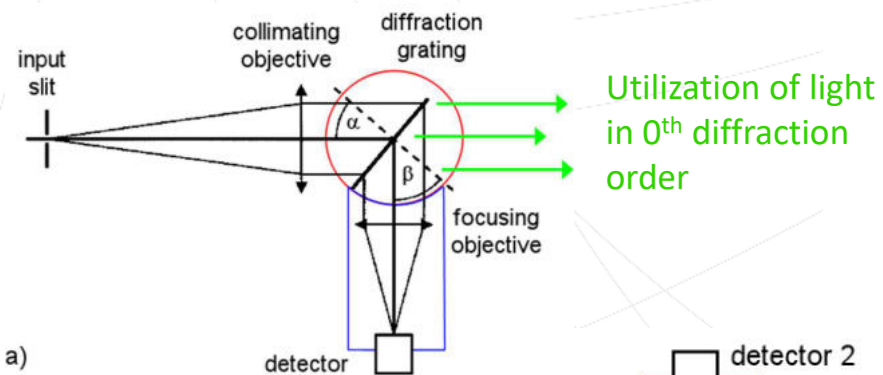
achromatický triplet





Univerzita Palackého
v Olomouci

Nový design spektrografu





Univerzita Palackého
v Olomouci

Komericializace ROA spektrometru

Řešení

- eliminace artefaktů
- stabilita
- spolehlivost
- zákaznická podpora
- certifikace a kalibrace
- monitorování vzorku při měření
- analýza dat



Faculty
of Science

Palacký University
Olomouc



Další významní partneři a dodavatelé





Univerzita Palackého
v Olomouci

Řešení

- eliminace artefaktů
- stabilita
- spolehlivost
- zákaznická podpora
- certifikace a kalibrace
- monitorování vzorku při měření
- analýza dat

Josef Kapitán, 6. 3. 2026, Katedra optiky, PřF, UP, 17. listopadu 12, Olomouc



2025



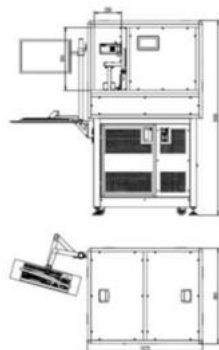
Czech



certifikát

incl. elektromagnetická kompatibilita

RAMAN OPTICAL ACTIVITY Spectrometer



Content

1. SPECIFICATIONS
2. OPTIONAL ACCESSORIES
3. EXAMPLES
4. DEVELOPMENT CONSORTIUM

2. Optional accessories

1. TEMPERATURE CONTROLLED SAMPLE HOLDER

Temperature range	0 – 100 °C
Temperature accuracy	± 1 °C
Temperature set point resolution	0.1 °C
Sample volume	± 70 µL
Number of sample cells included	2
Sample space environment	purged with clean dry air
Condensation temperature	-35 °C
System integration	full, automatic temperature changes possible
Laser damage prevention	yes, automatic laser power monitoring behind sample

2. INTENSITY CALIBRATION ACCESSORY

Hardware calibration unit	external, for sample space
Calibration source	black-body type

3. ROTATIONAL SAMPLE HOLDER

Sample volume	± 400 µL
Cell type	cylindrical, 30 mm diameter, other dimensions available upon request
Rotational speed	0 – 20 Hz

4. MOTORIZED SAMPLE HOLDER

MotORIZED sample positions	xyz range 20 mm
Horizontal positioning accuracy	1 µm
Vertical positioning accuracy	10 µm
Maximum load	1 kg
Cell type mount	capillary, micro-cell, macro-cell, various designs, available upon special request
Multiple sample	Automatic motorized positioning, 5 sample positions
System integration	full, sample positioning during measurement possible

1. Specifications

SPECTROMETER

Excitation wavelength	532 nm
Laser power at sample	± 1.5 W
Spectral range	50 – 4000 cm ⁻¹ , modifications possible upon special request
Spectral resolution	± 7 cm ⁻¹
Scattering geometry	back-scattering
Modulation scheme	DCF, KCP, DCF, DCF ₂
Wavenumber calibration	automatic, no customer handling of calibration source needed

DETECTORS

Detector type	spectroscopic CCD, 1024 × 255 pixels
Detector temperature	down to -45 °C, stabilized
Quantum efficiency	> 85 % in spectral range 500 – 700 nm
Blinding	flexible and automatically adjustable to minimize residual
Gain	variable

CONTROL SYSTEM

PC	Industrial type, integrated
OS	Windows 10 Pro or Linux
Monitor and keyboard position	adjustable
External control	remote desktop connection, various options
Backup	HDD hot swap technology, RAID 1

3. Examples

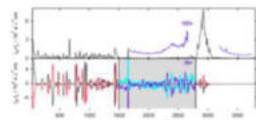


Figure 1. Raman and RGA spectra of a glucose monomer recorded in extended spectral range 40 – 2800 cm⁻¹. Almost perfect mirror symmetry spectra were obtained even for strongly polarized Raman bands. Due to high signal-to-noise ratio RGA overtones and combination (summed) vibrations in 1800 – 2800 cm⁻¹ spectral range were observed for the first time.

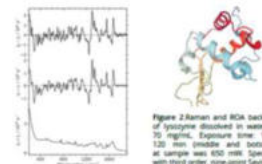


Figure 2. Raman and RGA back-scattering spectra of glucose dissolved in water at concentration 70 mg/mL. Exposure time: 15 min (top) and 120 min (middle and bottom). Laser power at sample was 650 mW. Spectra are smoothed with third order, nine-point Savitzky-Golay filter.

REFERENCES

- [1] P. Michal, B. Čelechovský, M. Duška, J. Kaplán, M. Váňa, M. Beránková, J. Šebestík, K. Thangavel, P. Bouš, Vibrational Optical Activity of Intermediates, Overtone, and Combination Bands: 2-Chloropropionic acid and α -Pinene. *J. Phys. Chem. B*, 2015, 123, 2147–2156.
- [2] M. Hoče, J. Šebestík, J. Kaplán, P. Bouš, Understanding CH Stretching Raman Optical Activity in α -Pinene. *J. Phys. Chem. A*, 2020, 124, 6734–6743.
- [3] V. Pavlov, P. Michal, J. Kaplán, H. Martínez-Sears, P. Bouš, Raman Optical Activity of Glucose and Sorbitose in Extended Wavenumber Range. *ChemPhysChem*, 2020, 21, 1272–1279.

4. Development Consortium

Presented Raman optical activity spectrometer is based on Werner Hug's design further developed by Department of Optics at Palacký University Olomouc in collaboration with Czech companies ZEBR and MEOPTA - optika.

DEPARTMENT OF OPTICS has more than 40 years of tradition of outstanding research in optics and its members conducting edge theoretical and experimental research in optical quantum information processing, quantum optics, quantum cryptography, wave-front sensitive detection methods, digital holography, nondestructive optical beam, optical signal processing and spectroscopy.

The Department is a major optical research center in the Czech Republic.

THE COMPANY OF ZEBR is known worldwide as a producer of automated machines for the shading industry. Regarding research and development, the company is involved in a whole range of activities, oriented mainly to automation and fine mechanics.

ZEBR offers its long-term experience in the field of precision machining, controlling position, perfect realization of individual components and functional design.



MEOPTA is an international company with a long rich tradition of developing, manufacturing and assembling world-class optical, optomechanical and optoelectronic products. From precision medical and scientific instruments to digital cinematic projectors, aerospace technologies, military and consumer sports optics.

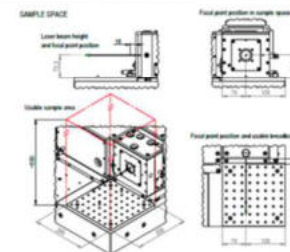
MEOPTA's organized experience allows it to design, engineer and manufacture a diverse array of high-quality products across a broad spectrum of markets and industries, making it a global leader in the optical field.

INSTRUMENT LAYOUT

Layout	single unit
External size W × D × H	880 × 1070 × 1900 mm
Weight	620 kg
Temperature stabilization	internal, ± 1 °C
Support	stable legs, wheels for easy transport
Power supply backup	fully integrated UPS with safety features
Safety	optional laser interlocks, door lock, class 1 laser device

REQUIREMENTS

Power supply	220 – 240 V, 110 V available upon request
Input power	< 700 W
External UPS	not required
Pressurized air	min. 5 bar, external compressor available upon request
Ethernet connection	yes, for optional external control
Outside temperature stabilization	within 3 °C
Clean room environment	not required



Contact

ZEBR s.r.o.
Mlýnské 178, 69138
Czech Republic
rabek.janiky@zebr.cz

Contact for technical inquiries:
Josef Kaplán
Palacký University Olomouc
kaplan@optics.upol.cz

Komericializace ROA spektrometru



Univerzita Palackého
v Olomouci



Základní parametry

excitační vlnová délka: 532 nm
geometrie zpětného rozptylu
Spektrální rozlišení 6 – 8 cm^{-1}

Konkurenční výhody

vysoce stabilní měření
pokročilé možnosti eliminace artefaktů
vysoký S/N
rozšířený spektrální rozsah 50 – 4500 cm^{-1} tj. 533 – 715 nm
přesná měření všech polarizačních modulačních schémat
3D polohování vzorku s rozlišením 1-10 μm (opt. rozlišení 50 μm)
pokročilé možnosti práce se vzorky
teplotní kontrola vzorku -10 – 100 $^{\circ}\text{C}$



Komericializace ROA spektrometru



Univerzita Palackého
v Olomouci

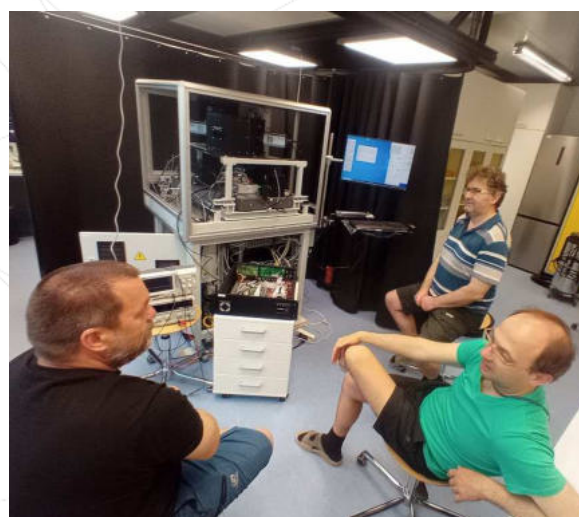


Faculty
of Science

Palacký University
Olomouc



- 2023: dodání prvního ROA spektrometru – UOCHB AV ČR



- 2025: dodán druhý spektrometr (Univerzita Bordeaux, Francie)



Možnosti spolupráce

- zájemci o koupi ROA spektrometru 😊
- možnosti **měření a analýzy** vzorků (enantiomerní přebytek, absolutní konfigurace, ...)
- dodavatelský řetězec:
 - výrobci volné optiky
 - kamery, lasery
 - přesné edge/notch filtry, holografické difrakční mřížky, ...



Shrnutí

- Vyvíjíme spektrometr pro měření Ramanovy optické aktivity a příslušenství
- Jde o extrémně zajímavou analytickou techniku
- Obrovský aplikační potenciál, doposud je málo využíváný

Poděkování



Univerzita Palackého
v Olomouci

Radek Čelechovský

Michal Dudka

Milan Vůjtek

Daniel Vala

Jana Hudecová

Jaromír Fiurášek

Zdeněk Hradil

Juraj Ševčík



Institute of Organic Chemistry
and Biochemistry AS CR



Petr Bouř

Václav Profant

Štěpán Jílek

Vladimír Baumruk



UNIVERSITY OF
CHEMISTRY AND
TECHNOLOGY
PRAGUE

Vladimír Setnička



Radek Jánský

Jan Vlček

Tibor Sulima

František Zelinka

Richard Zelinka

Lukáš Kapitán

- hlavní díky za podporu
a záchranu
komercializace ROA
spektrometru



Daniel Vacula

Zdeněk Lošťák

Antonín Pochylý

Vlastimil Svoboda

Jiří Jankuj

Jiří Kyvalský

Jan Mach

Rostislav Lochman

Pavína Provazníková



Petr Přikryl



Martin Klečka, Aleš Jandík

Projektová podpora:

T A
Č R

Program **Centra kompetence**

OP TAK - APLIKACE

CZ.01.01.01/01/22_002/0000605

Projekt TE01020229 (Centrum digitální optiky) je řešen s finanční podporou TA ČR



Univerzita Palackého
v Olomouci

OP JAK: Optické technologie

Reg. č.: CZ.02.01.01/00/23_021/0008790

Pokročilá detekce optických signálů



Spolufinancováno
Evropskou unií

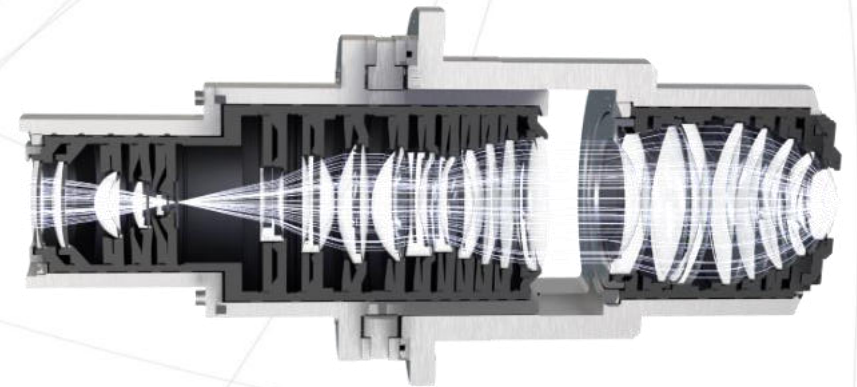


MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



Řešené problémy

- **Hodnocení kvality zobrazovacích systémů**
 - Návrh nových metrologických postupů + justáž zobrazovacích systémů
- **Optimalizace měřicího řetězce**
 - Minimalizace náhodných chyb
 - Využití konceptu Fisherovi informace
- **Kalibrace měřících zařízení**
 - Minimalizace systematických chyb





Stav poznání

– Metrologie zobrazovacích soustav

- Nejvyšší stupeň metrologie zobrazovacích soustav provozují jejich výrobci a ti v principu nepublikují
 - Nejhodnotnější optická společnost – Carl Zeiss (SMT) – považuje za technologický vrchol 180 leté historie metrologii jejich zrcadel v EUV zobrazovacích sestavách

– Opakovatelnost měření

- Teoretické práce zdaleka převyšují experimentální



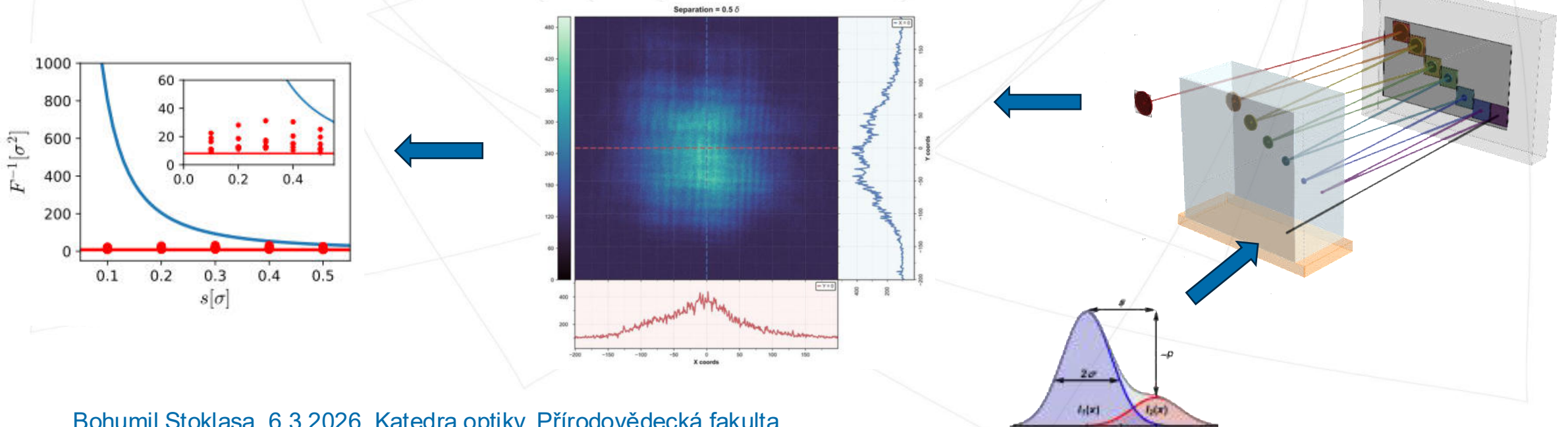
Řešené problémy

- Transformace a detekce signálu pomocí kaskády fázových masek
- Zlepšená metrologie pomocí korelačních měření
- Tomografická rekonstrukce sub-um PSF
- Rekonstrukce výstupní pupily pomocí strojového učení
- Tomografie částečné koherence Hartmannovskou metodou
- Pokročilá kalibrace pomocí metody vzorů



Transformace pomocí kaskády fázových masek

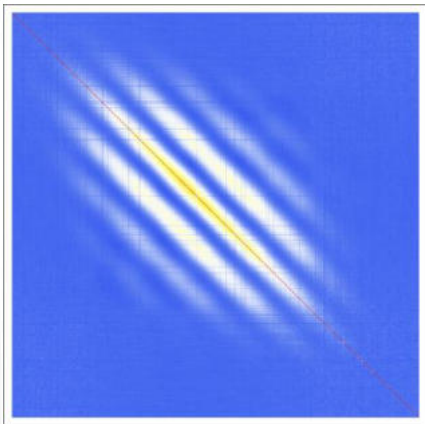
- Fázové modulace + volné šíření = obecná unitární transformace
- Zařízení založené na SLM technologii



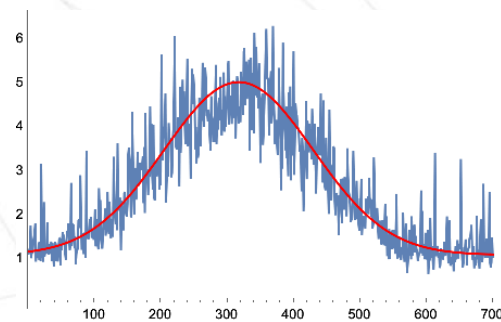


Korelační měření a metrologie

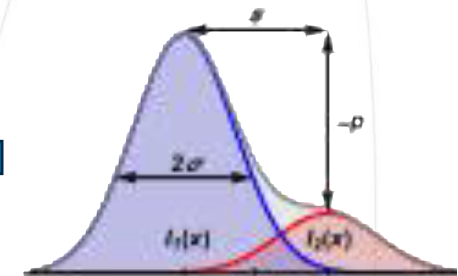
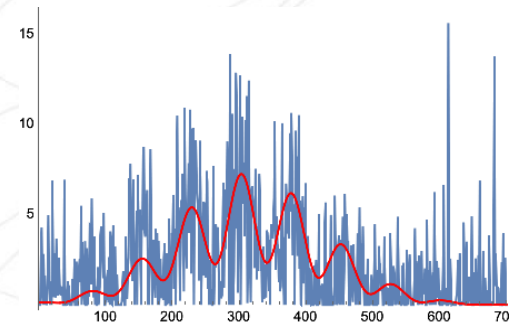
- Krátkodobé (koherentní) měření vs průměrování (nekoherentní)
- Průměrování intenzit nebo korelace intenzit



VS



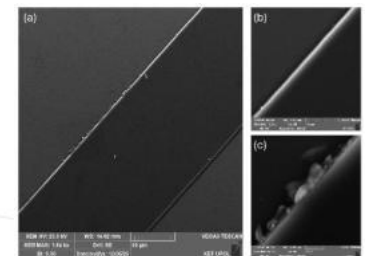
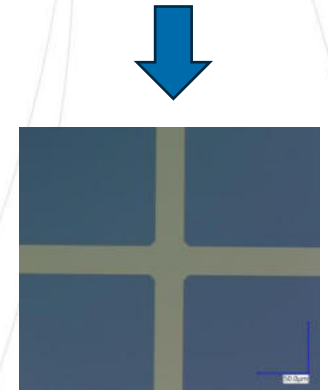
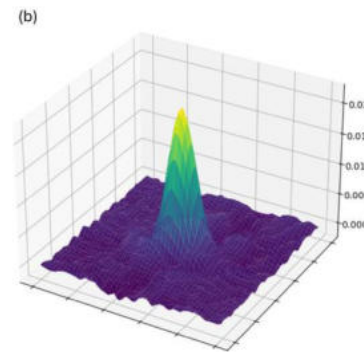
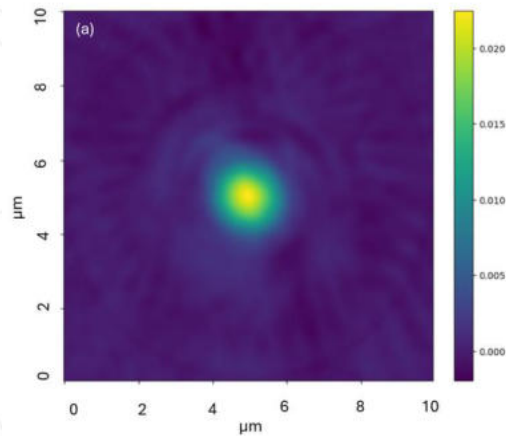
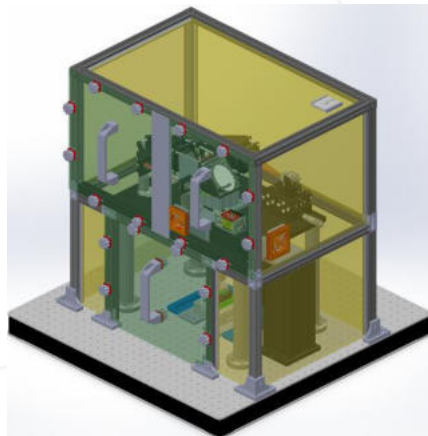
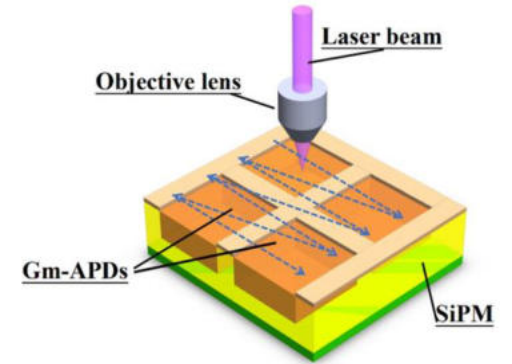
VS





Tomografická rekonstrukce PSF

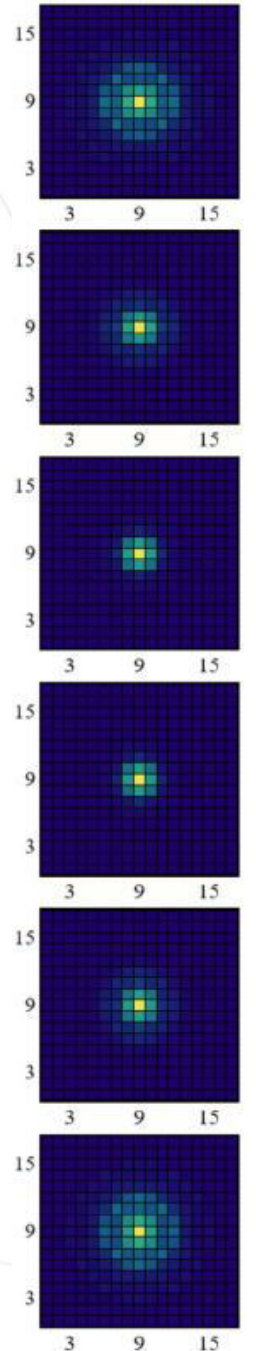
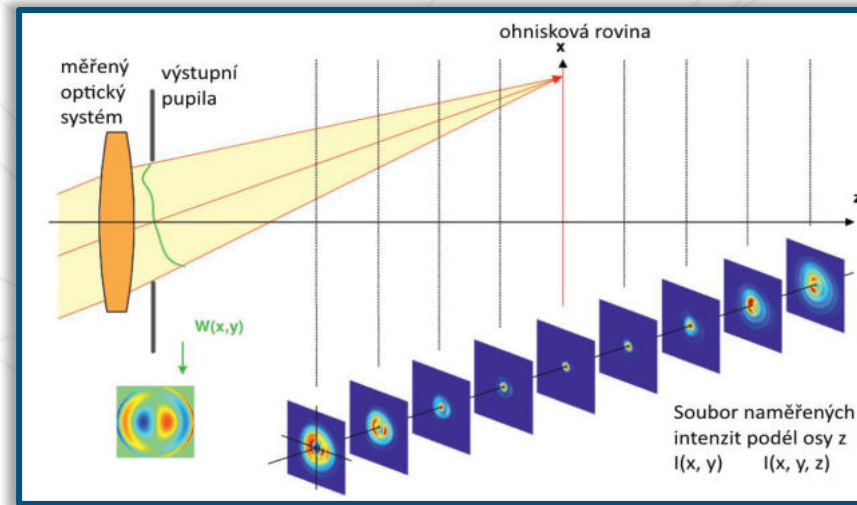
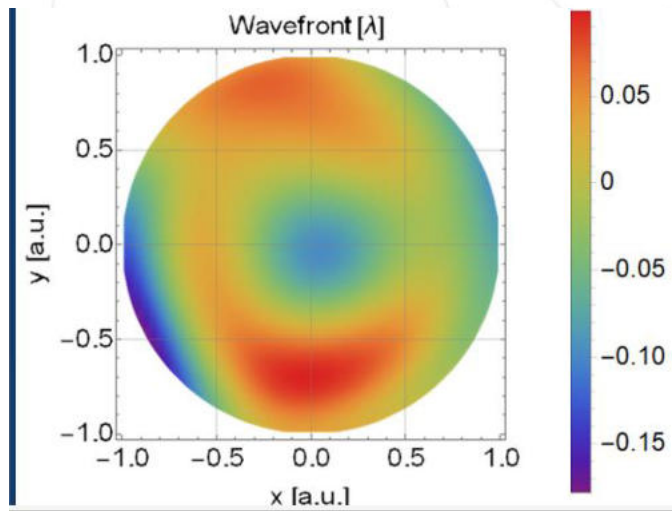
- Sub-um velikost PSF
- Varianta knife-edge metody
- Využití PSD detektoru jako hrany i detektoru





Rekonstrukce výstupní pupily

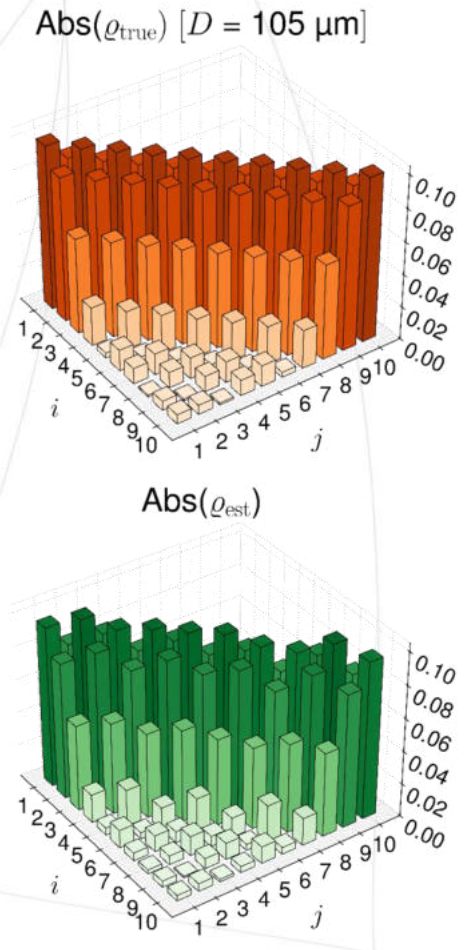
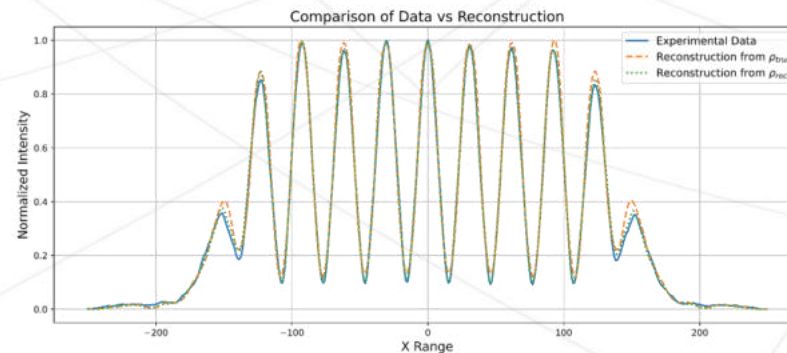
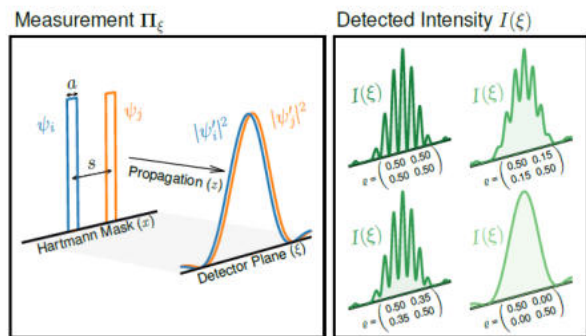
– Phase-retrieval metoda a strojové učení





Hartmann senzor tomografie

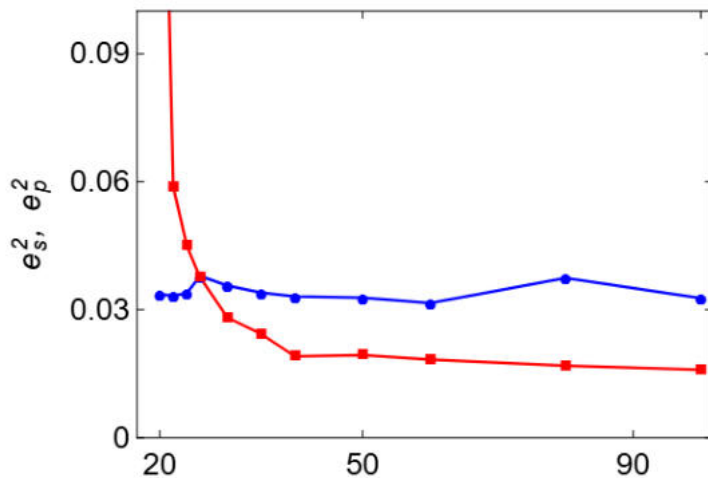
- Detekování interference mnoha skenovacích bodů
 - Interference + model = koherenční matice
 - Uplatnění: měření excimer laseru, MMF





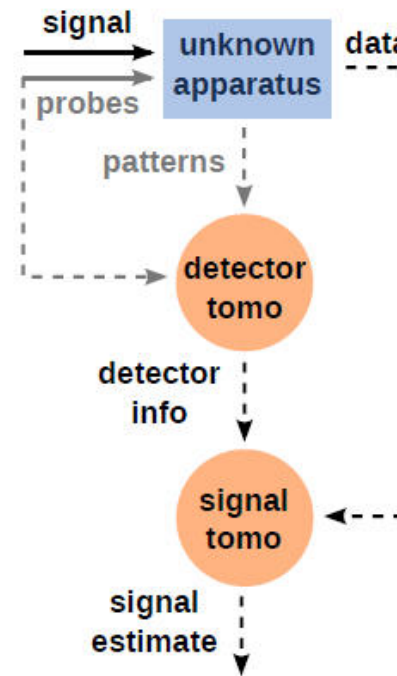
Pokročilé kalibrační techniky

- Odstranění systematických chyb
 - Jsem schopen připravit kvalitnější kalibraci měřícího zařízení nebo „probe“ stavů?

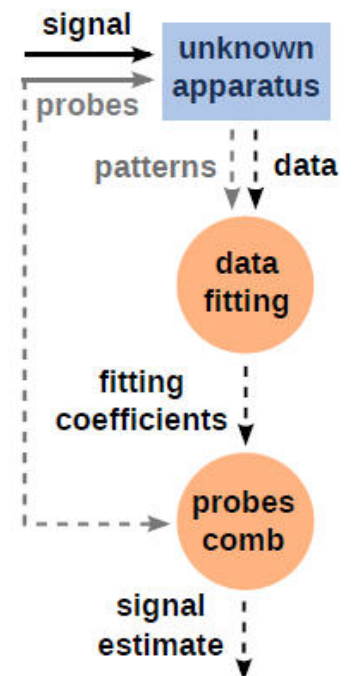


Root mean square errors [λ] of the standard (blue circles) and data-pattern (red squares) approaches as a function of the number of calibration signals, for a fixed number of output channels ($m = 626$).

standard tomography



data-pattern tomography





Očekávané výstupy

- **Dokončení hardwarového řešení kaskády fázových masek**
 - Možnost realizace obecné unitární transformace pro dosažení optimálních měření
- **Přesun korelačních měření na jedno-fotonové události**
 - Možnost zlepšení opakovatelnosti měření
 - Napojení na teoretické limity



Konkurenční výhoda a přínosy

- **Detailní analýza měřících procedur**
 - Fyzikální principy měření, šumová analýza
- **Navázání analýz na koncepční fyzikální limity**
 - Dlouholetá zkušenost se základním výzkumem v tomto směru
- **Experimentální zázemí**
 - Vlastní laboratoř vybavená škálou moderních detekčních technologií (sCMOS, EMCCD, ICCD, PSD) a modulačních technik (SLM, DMD, deformovatelné zrcadlo).



Možnosti spolupráce

- Vývoj nových metrologických řešení ve formě smluvního výzkumu
- Optimalizace stávajících metrologických postupů ve formě smluvního výzkumu nebo poradenství



Univerzita Palackého
v Olomouci



Nová generace zrcadel nejen pro astročásticovou fyziku

Mgr. Martin Vacula, Ph.D., Mgr. Miroslav Pech, Ph.D.

Společná laboratoř optiky UP a FZÚ AV ČR



Spolufinancováno
Evropskou unií



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP JAK: Optické technologie

Reg. č.: CZ.02.01.01/00/23_021/0008790

VC1: Pokročilé technologie zpracování optických materiálů pro optická zrcadla

VC2: Nové kontrolní a měřicí techniky pro charakterizaci optických povrchů a systémů

Výzkumné cíle a podcíle



VC1: Pokročilé technologie zpracování optických materiálů pro optická zrcadla

VC1.1: Sendvičová zadně reflexní zrcadla

VC1.2: Kompozitní zrcadla na bázi spojení kompozitních materiálů a skleněné matrice

VC2: Nové kontrolní a měřící techniky pro charakterizaci optických povrchů a systémů

VC1.1: Sendvičová zadně reflexní zrcadla

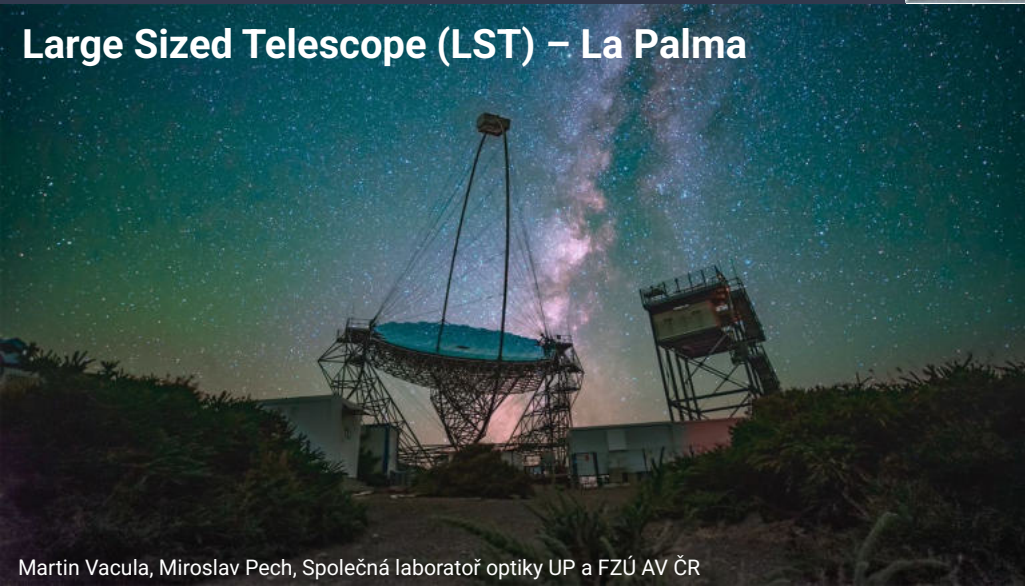
SST-1M – Ondřejov ->



Přírodovědecká
fakulta

Univerzita Palackého
v Olomouci

Large Sized Telescope (LST) – La Palma

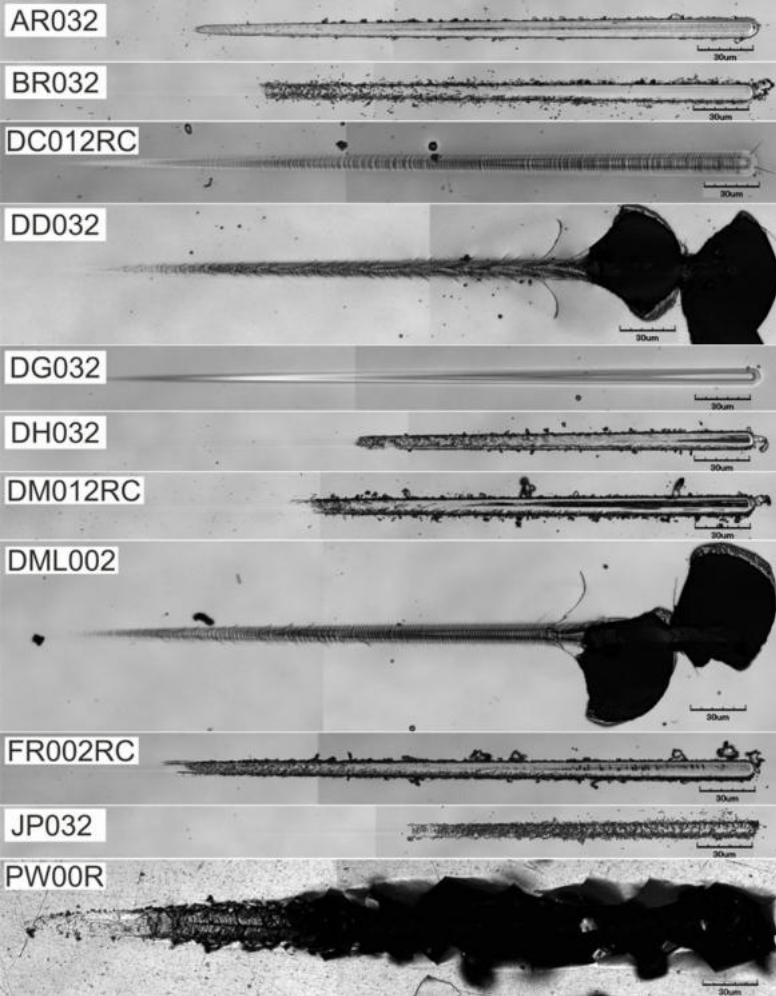


- Aplikace zrcadel v teleskopech na astročásticové projekty
- Vysoké nároky na mechanickou odolnost (stabilitu optických parametrů)
- Pravidelná údržba / výměna segmentů

Odolnost, výrobní cena

X

Cena údržby

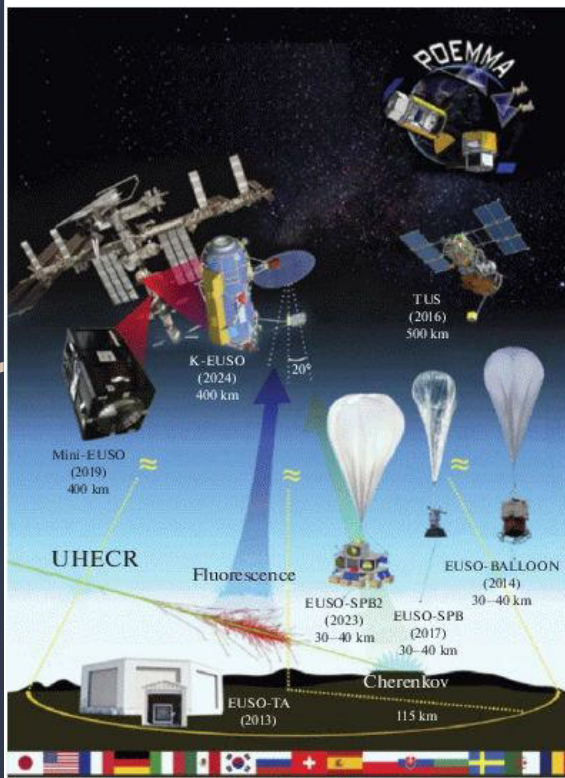


- Teleskopy ve stratosféře a ve vesmíru



Přírodovědecká
fakulta

Univerzita Palackého
v Olomouci



**Odolnost,
výrobní cena
X
Žádná údržba**

VC1.1: Sendvičová zadně reflexní zrcadla



- Dosavadní vývoj optických zrcadel téměř výlučně skleněný substrát a odrazné vrstvy na optické ploše substrátu:

Ideální optická kvalita

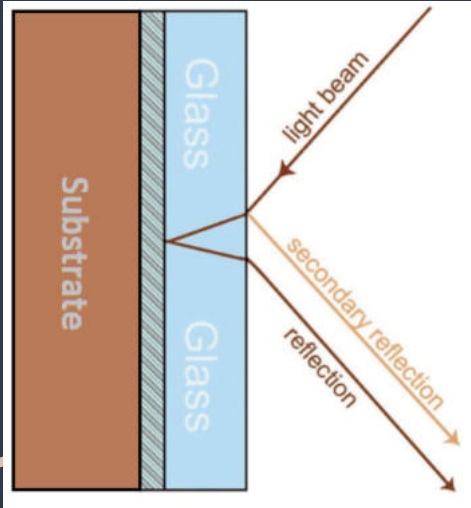
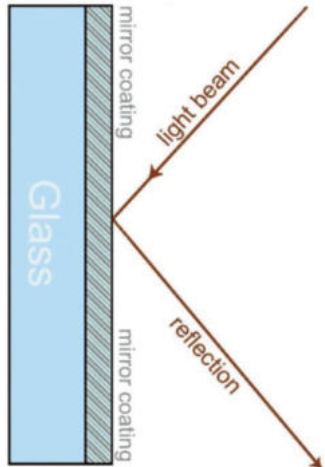
X

Vrstvy náchylné
na mechanické opotřebování

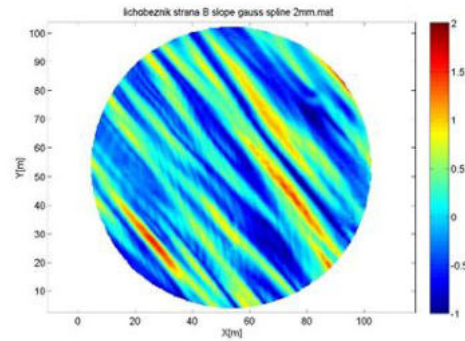
- Tvarování substrátu a krycího skla:
Hot slumping X **Cold slumping**

- Masová produkce:
 - 2x18ks na SST1M
 - aplikace na teleskop a ověřování funkčnosti

- Podáván mezinárodní patent s IFJ Krakov



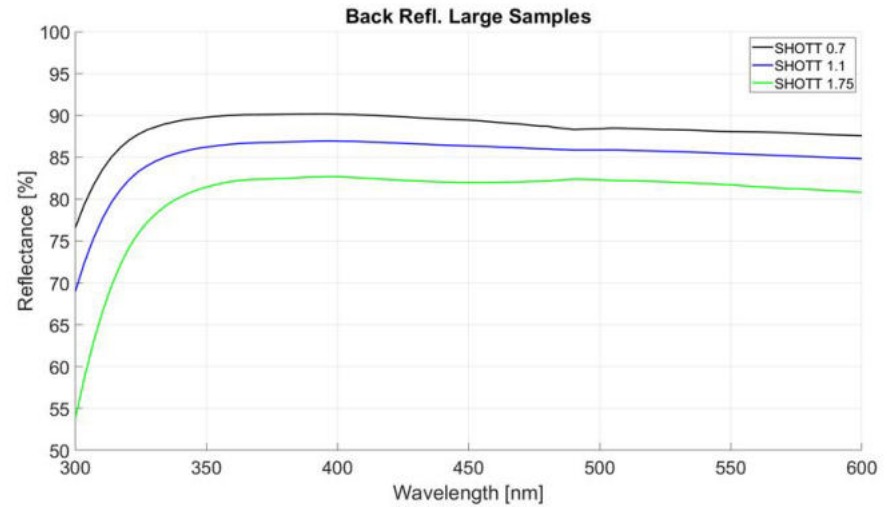
VC1.1: Sendvičová zadně reflexní zrcadla



Přírodovědecká
fakulta

Univerzita Palackého
v Olomouci

- **Optimalizace materiálů, transmisivity a vlnitosti předních skleněných panelů, technologie lepení a tvarování předních skleněných ploch**



Vyvíjíme technologii pro vysoce přesnou horkou replikaci optických ploch



Keramická propadací forma
Speciální křemičitá keramika
CNC obráběná do požadovaného tvaru

- Technologie pro přípravu substrátů pro zadně reflexní zrcadla (SST1M) i pro klasická zrcadla (FAST)
 -
- Značné snížení ceny optických elementů
 - (eliminace kvalifikované lidské práce)



Pec na propadání skla

Vyvíjíme technologii pro vysoce přesnou horkou replikaci optických ploch

Keramická propadací forma
Speciální křemičitá keramika
CNC obráběná do požadovaného tvaru



- Vysoký potenciál pro optimalizaci poměru cena/kvalita optické plochy
- Optická plocha se nebrousí, neleští, jen se napaří odrazná vrstva
- Ideální pro masovou výrobu velkých optických ploch (FAST)

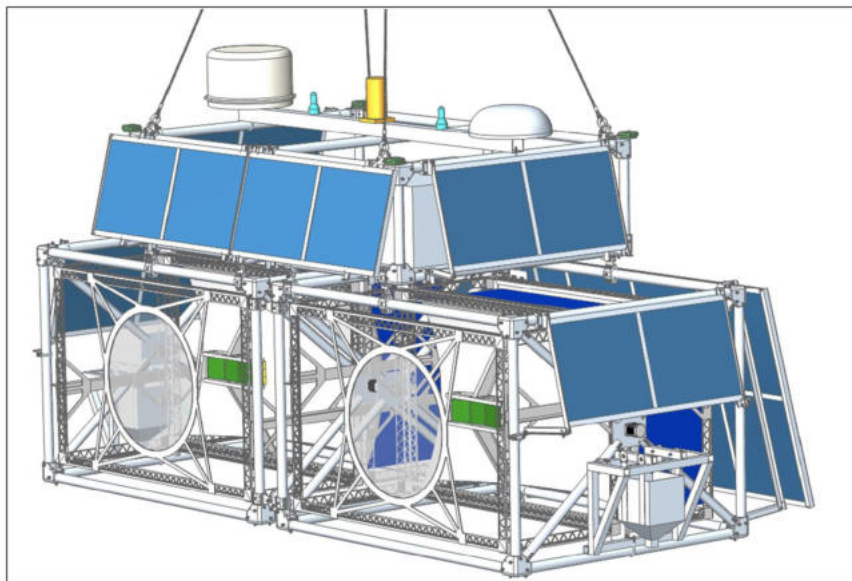


Aplikace replikovaných zrcadel v teleskopu FAST (PAO, Argentina)

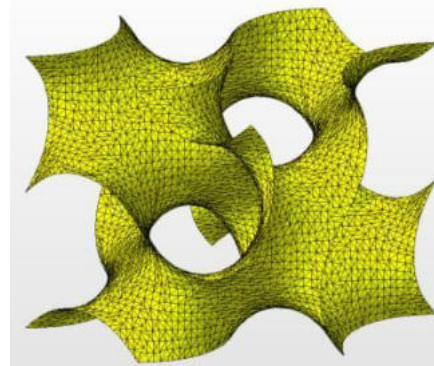
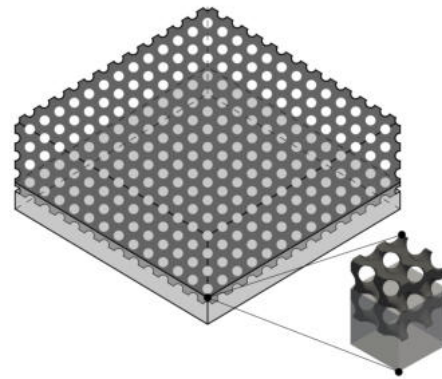
VC1.2: Kompozitní zrcadla na bázi spojení kompozitních materiálů a skleněné matrice



- Jedná se o spojování aditivně přidávaných kovů (3D tisk) s jinými anorganickými materiály, především skla
- Velmi lehká zrcadla libovolných rozměrů, kde je docíleno minimalizace jejich hmotnosti při zachování ostatních parametrů
 - gyroidní struktury
- Skleněný povrch je možné obrábět do optické kvality



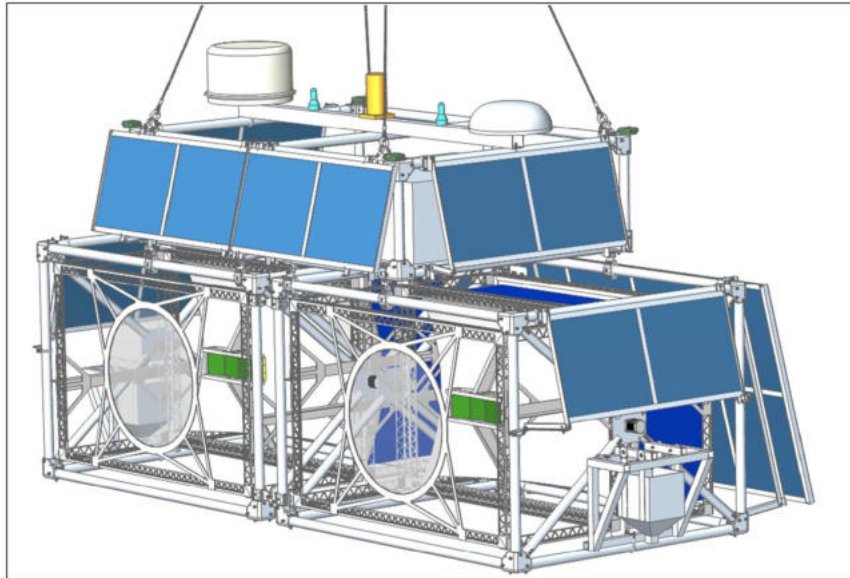
The EUSO-SPB2 payload design including gondola structure shown in a preliminary configuration including telescopes, solar panels, antennas, and ballast hoppers.



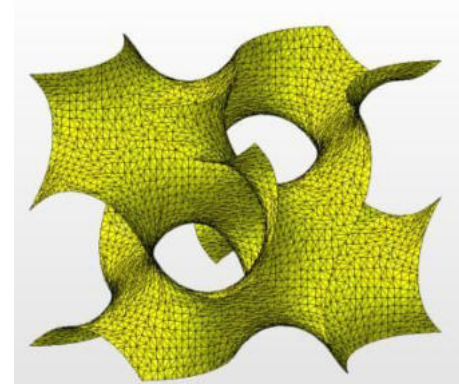
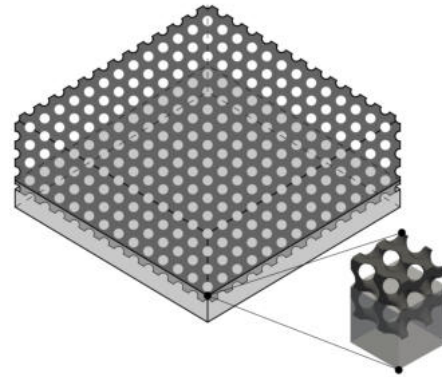
VC1.2: Kompozitní zrcadla na bázi spojení kompozitních materiálů a skleněné matrice



- Výsledné mechanické vlastnosti tuhost, pevnost, houževnatost jsou vyšší než při použití materiálů samostatně
- Aplikace vesmírné projekty a v aplikacích, kde je důležitá mechanická stabilita a váha optického prvku
- Substrát pro zadně reflexní prvky



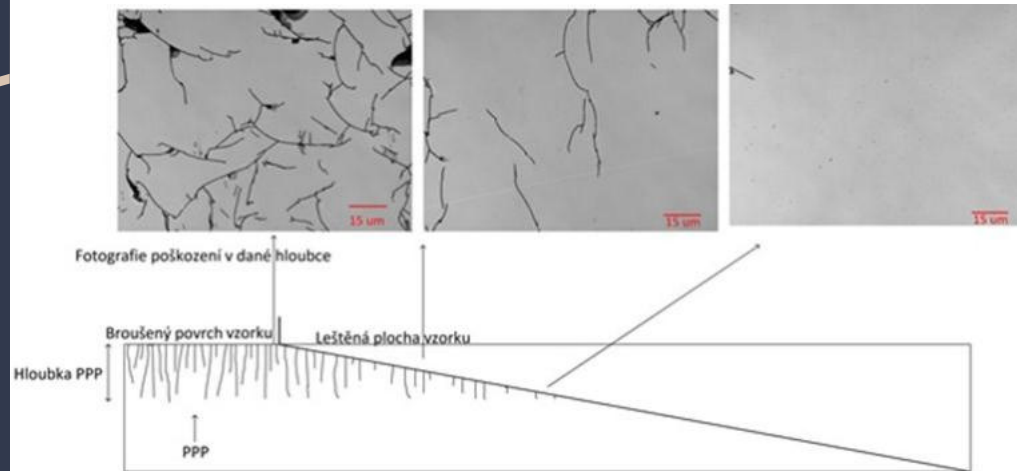
The EUSO-SPB2 payload design including gondola structure shown in a preliminary configuration including telescopes, solar panels, antennas, and ballast hoppers.



VC2: Nové kontrolní a měřicí techniky pro charakterizaci optických povrchů a systémů



- Součástí předchozích technik je také obrábění optické plochy
 - Vznik záprasků
- Zapojení CNC leštění
- Obrazová analýza z digitálního mikroskopu:
 - Vliv důležitých procesních parametrů na množství a hloubce záprasků, které je nutné odstranit

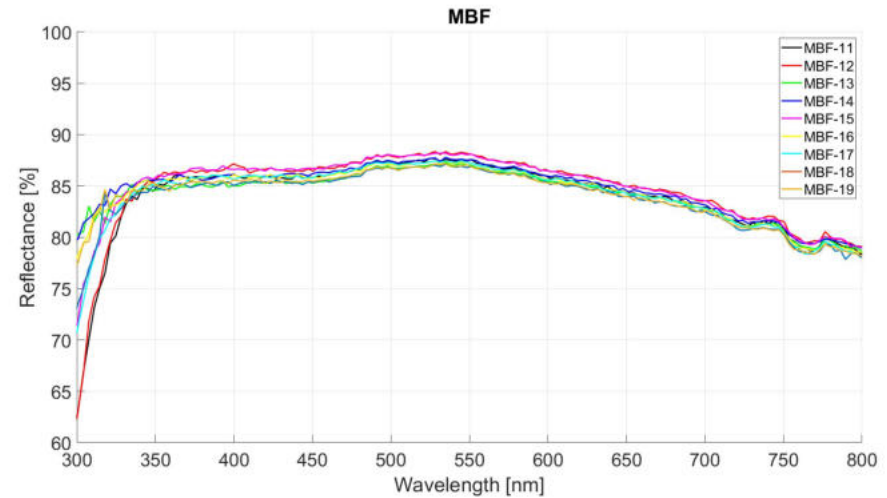
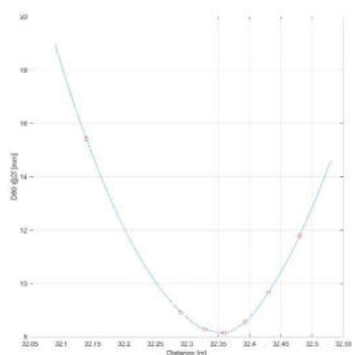
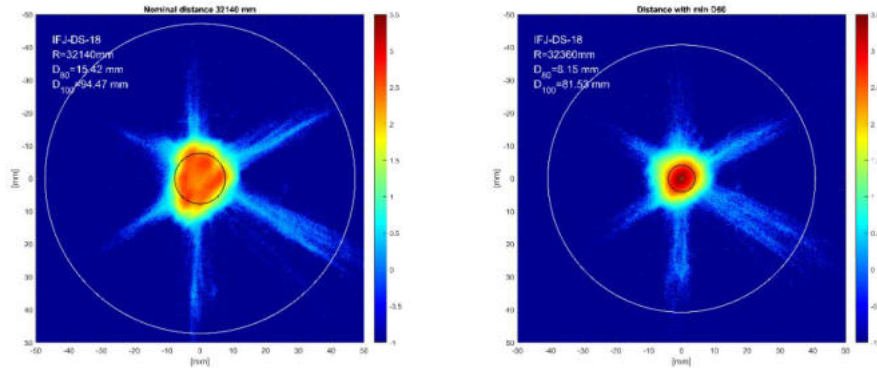


VC2: Nové kontrolní a měřicí techniky pro charakterizaci optických povrchů a systémů



- Kontrolní metoda na kvantifikaci optické kvality optických ploch zadně reflexních a kompozitních elementů

- PSF
- Spektrální reflektivita



Možné další aktivity v projektu a aplikační sféře

- Máme možnosti vyrábět rovinné plochy a sféry, případně asféry (hloubka vrchlíku max 200 mm) až do průměru 1 000 mm
- Produkujeme klasické optické prvky (čočky, hranoly, reflexní prvky) ve velmi širokém rozsahu parametrů
- CNC řezání, vrtání, broušení skla
- Speciální skleněné prvky pro nezobrazovací optiku, např. světlovody, Winstonovy koncentrátoři, ...
- Speciální skleněné přípravky, například pro výrobu prvků z monokrystalu
- Zakázkové kyvety
- Povrchy dodávaných prvků umíme připravit v požadovaných drsnostech povrchu a do úrovně jednotek nm, a to i u velkorozměrných ploch
- Provozujeme technologie na napařování a naprašování různých tenkých vrstev
- Na špičkové úrovni připravujeme vzorky z nejrůznějších materiálů pro analytické přístroje
- Široké zkušenosti detekčními technikami, PD, PMT a elektronikou pro velmi rychlé procesy
- Máme řadu metod pro charakterizaci vlastností materiálů a optických parametrů:
 - a. měření optického tvaru, kontaktní i bezkontaktní (nm)
 - b. PSF - bodová rozptylová funkce
 - c. spektrální reflektivity a transmisivity
 - d. drsnosti optických ploch a tenkých vrstev
 - e. tvrdosti a materiálových parametrů vrstev a materiálů



Univerzita Palackého
v Olomouci

Další možnosti spolupráce – Vědeckotechnický park

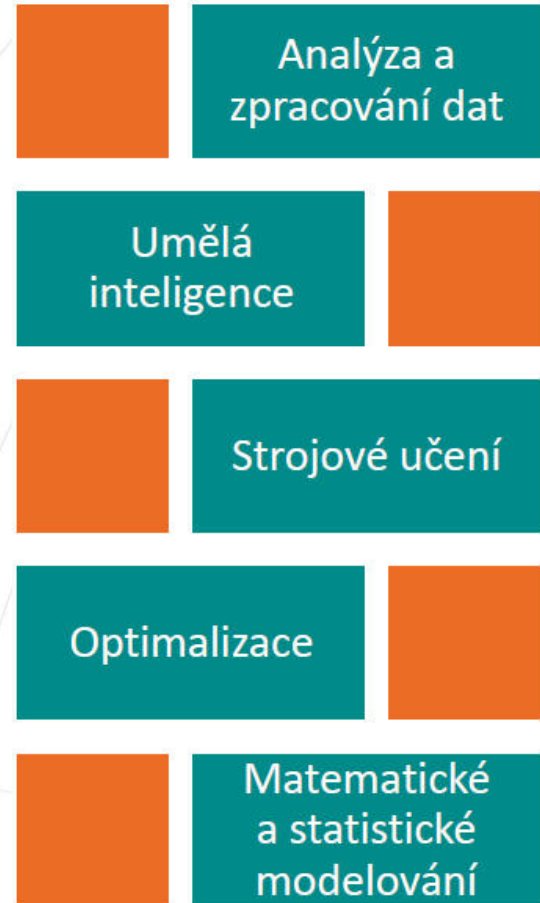
- Jsme centrem pro inovace, technologický a znalostní transfer.
- Propojujeme firmy s univerzitním výzkumem.
- Zpřístupňujeme inovativní technologie a know-how Univerzity Palackého.
- Najdeme vám vhodného partnera napříč Univerzitou Palackého.





Další možnosti spolupráce - matematika

- Datová analýza
- Zpracování obrazu a dalších digitálních signálů
- Optimalizace logistických i rozhodovacích procesů
- Tvorba matematických modelů reálných procesů
- Prediktivní údržba
- Automatická výstupní kontrola, detekce anomálií
- Diagnostika výrobních procesů





Univerzita Palackého
v Olomouci

Díky za pozornost!

<https://optics.upol.cz/cs/>

<https://www.vtpup.cz/>

<https://tpkma.upol.cz/>



Spolufinancováno
Evropskou unií



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

