



SPOLEČNÁ LABORATOŘ OPTIKY

Univerzity Palackého

a Fyzikálního ústavu Akademie věd České republiky

Tř. 17.listopadu 50a, 771 46 Olomouc

Tel.: 585 63 1501, Fax: 585 631 531, e-mail: miroslav.hrabovsky@upol.cz

<http://jointlab.upol.cz>

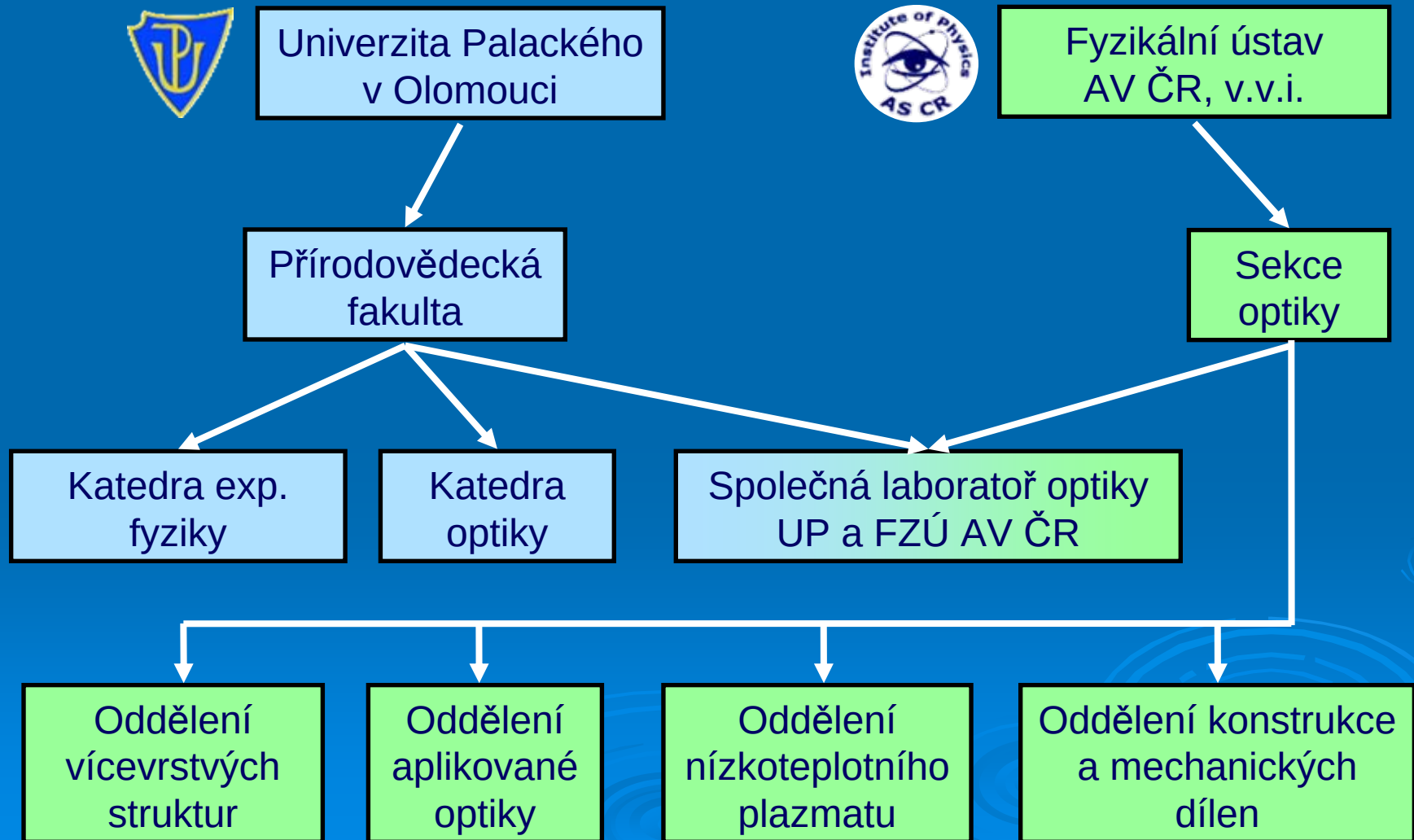
Učená společnost ČR v Olomouci 16. září 2008

Miroslav Hrabovský

Historie Laboratoře optiky v Olomouci

- 1930-52 Ústav technické optiky ČVUT v Praze, J.Hrdlička
- 1953-63 **Laboratoř optiky ČSAV v Praze**, B.Havelka
- 1961 **Katedra jemné mechaniky a optiky**, E.Keprt;
nyní: **katedra optiky** PřF UP
- 1963-65 **Laboratoře optiky** v Olomouci, neformálně na katedře
teoretické fyziky a astronomie PřF UP, B.Havelka
- 1965 **Laboratoř optiky** v Olomouci, začlenění do struktury UP,
B.Havelka
- 1984 smlouva UP a ČSAV (FZÚ ČSAV) - vznik **Společné
laboratoře optiky UP a FZÚ AV ČR**, J.Peřina
- 1992-94 **nová smlouva mezi UP a FZÚ AV ČR**
-reorganizace personální, **sekce optiky FZÚ AV ČR**
-reorganizace odborné náplně v sekci optiky
- 1997 nová budova Laboratoře optiky v Olomouci; FZÚ, UP, J.Jařab
- 2002 převedení SLO z rektorátu UP do organizační struktury
PřF UP, **katedra SLO UP a FZÚ AV ČR** na PřF UP

Optika v Olomouci



1997 – budova Laboratoře optiky



Odborné zaměření Laboratoře optiky

Základní a aplikovaný výzkum v oborech:

- kvantová, nelineární a statistická optika
- klasická optika - vlnová optika a holografie
- aplikovaná optika
- stavba přístrojů a zařízení na bázi optiky, optoelektroniky a jemné mechaniky
- optické a laserové technologie

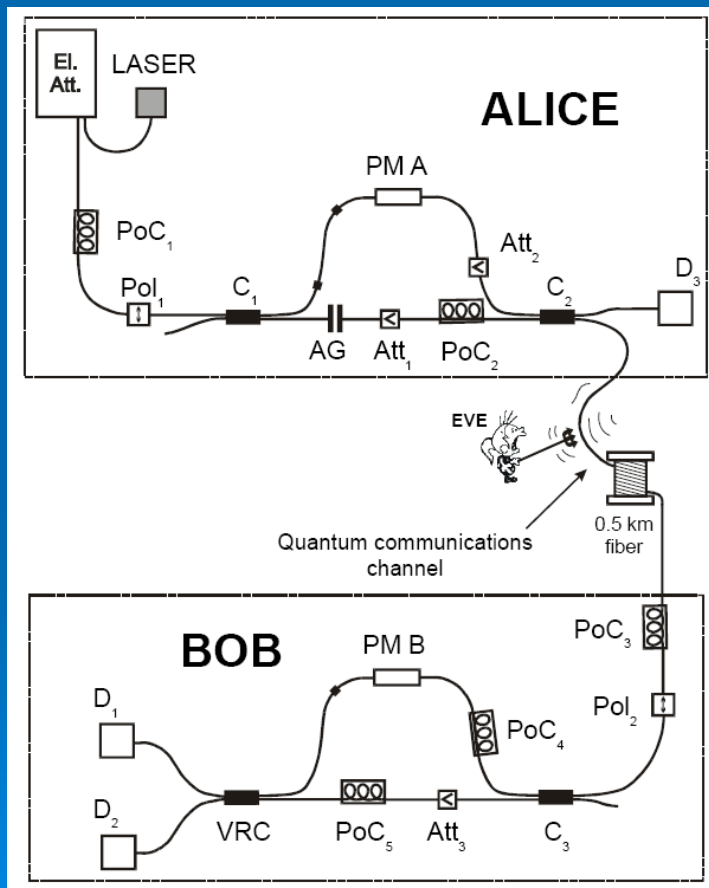
Aktivity v kvantové optice

(1995-2008)

- Kvantová kryptografie
- Kvantový generátor náhodných čísel
- Jednofotonová interferometrie
- Generace a manipulace s korelovanými páry fotonů
- Multiplexní detektory založené na vláknových smyčkách
- Korelace v počtech fotonů a prostorové korelace v kvantových optických polích (iCCD)
- Kvantová informace, klonování
- Fotonické krystaly

(většinou ve spolupráci s katedrou optiky PŘF UP)

Kvantová kryptografie



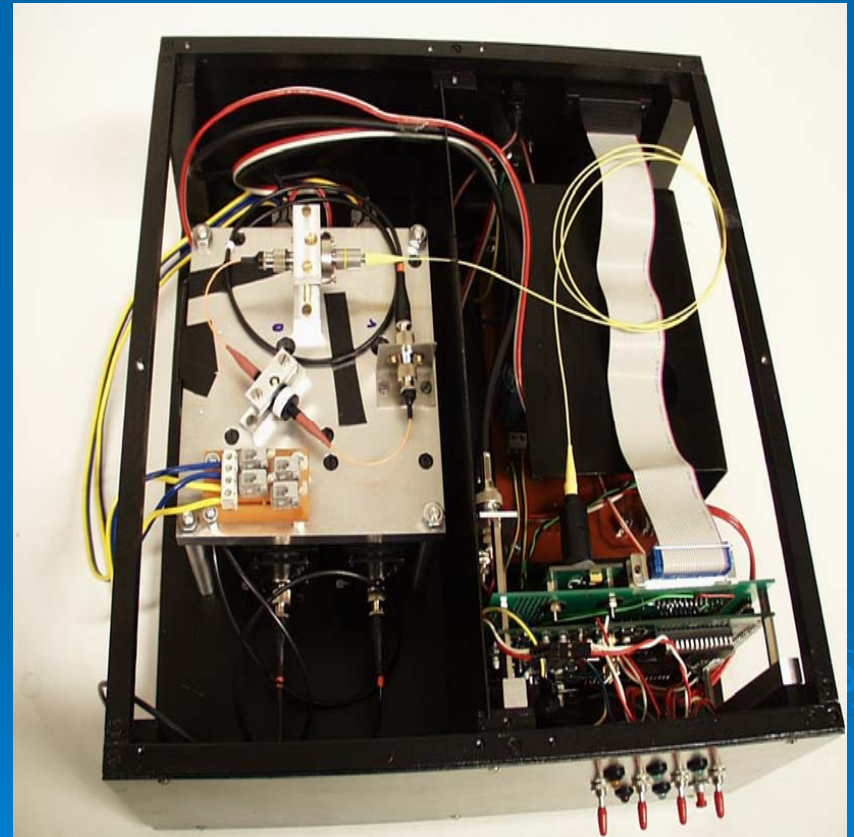
- Zahájena v roce 1995
- Protokol BB84 na 0.5 km @ 830 nm
- Chybovost $< 0.3\%$
- Kvantový identifikační systém (originální protokol)
- Teorie: Bezpečnost a zlepšení parametrů pomocí korelovaných párů fotonů

Kvantový generátor náhodných čísel

detektor B



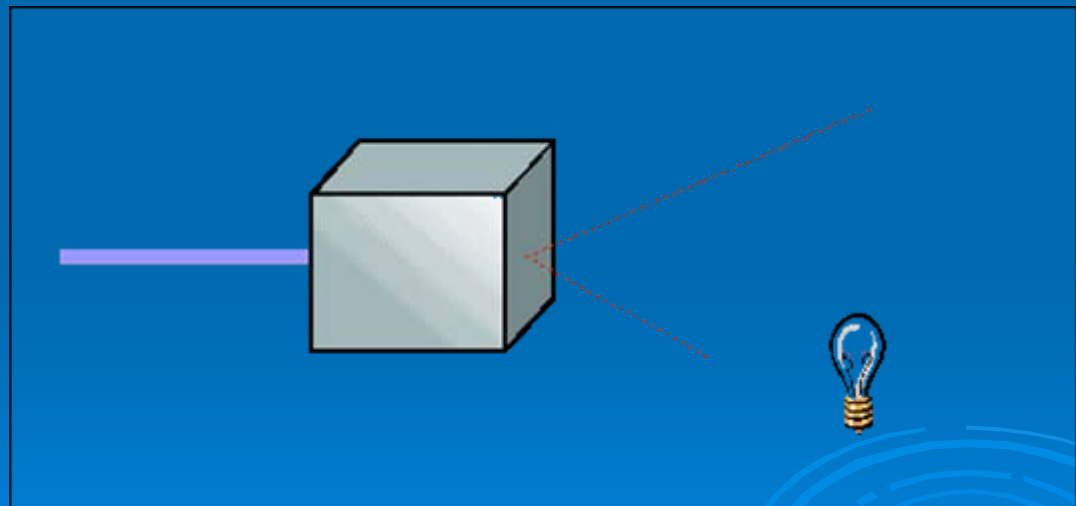
detektor A



Zdroj s potlačenými fluktuacemi v počtu fotonů

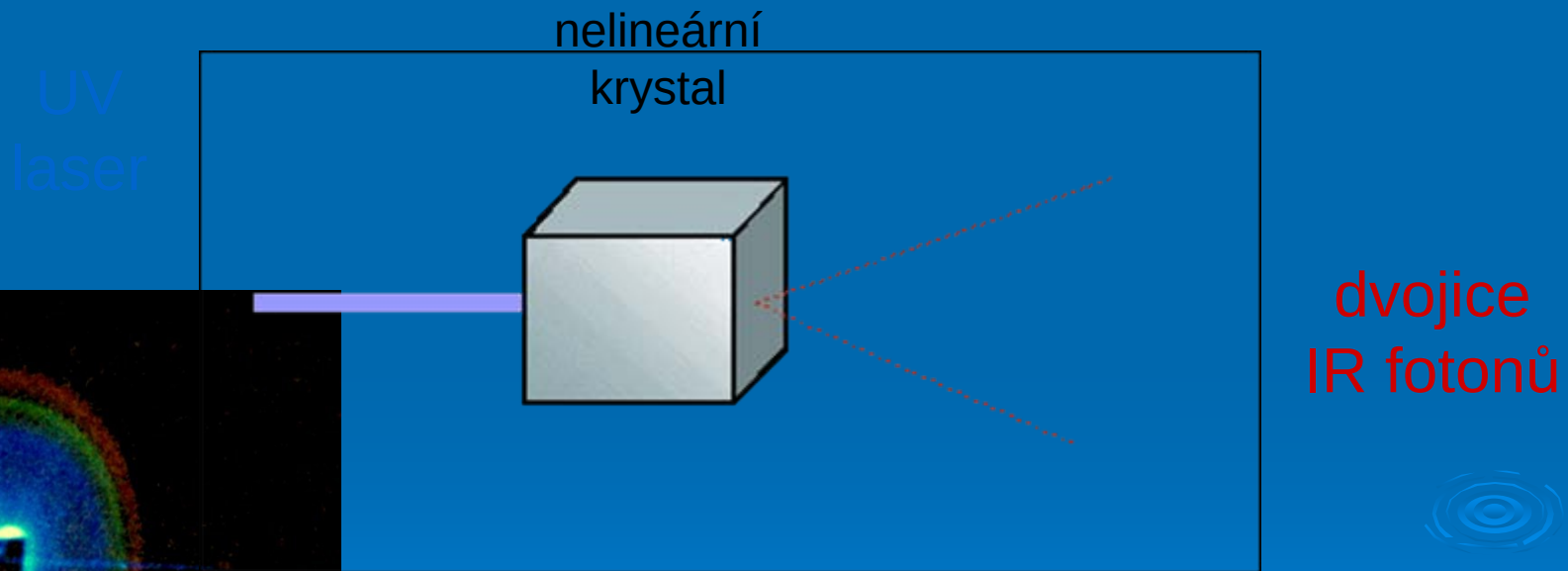
Není snadné vytvořit **jednotlivé** fotony!

Zeslabené optické pulsy mohou obsahovat i **žádný** nebo naopak **více než jeden** foton.



Využíváme toho, že „entanglované“ fotony vznikají vždy **v párech** a vybíráme jen jednofotonové události.

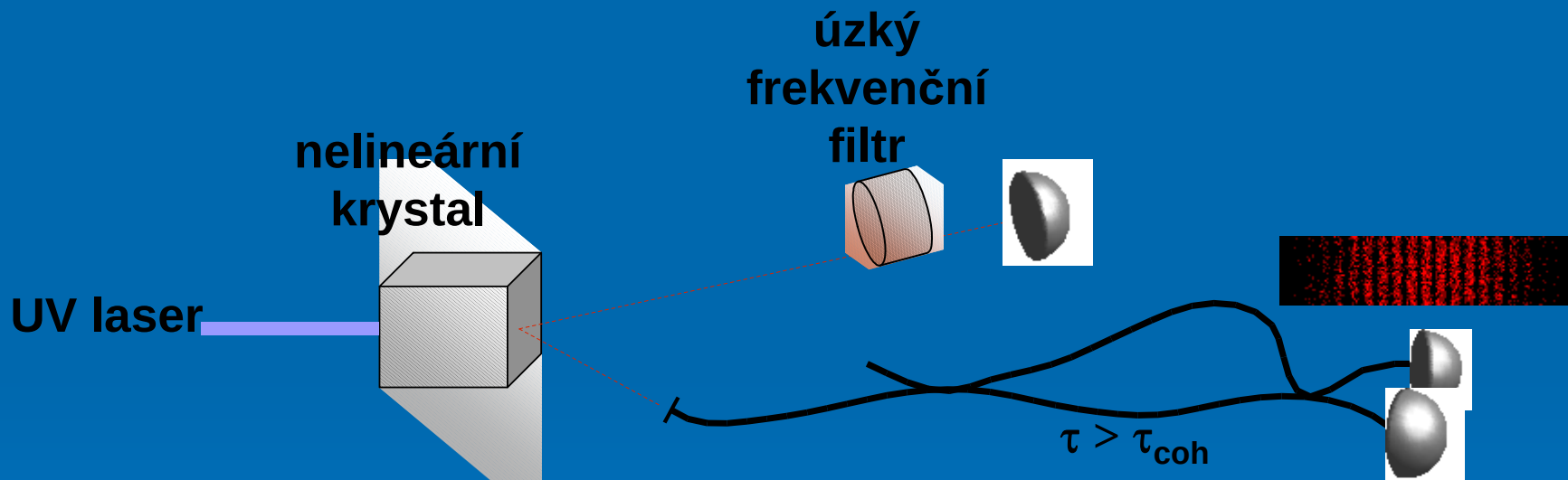
Korelované páry fotonů



Dvojice fotonů vzniká současně a tvoří tzv. „entanglovaný“ stav

Kvantová „nelokalita“

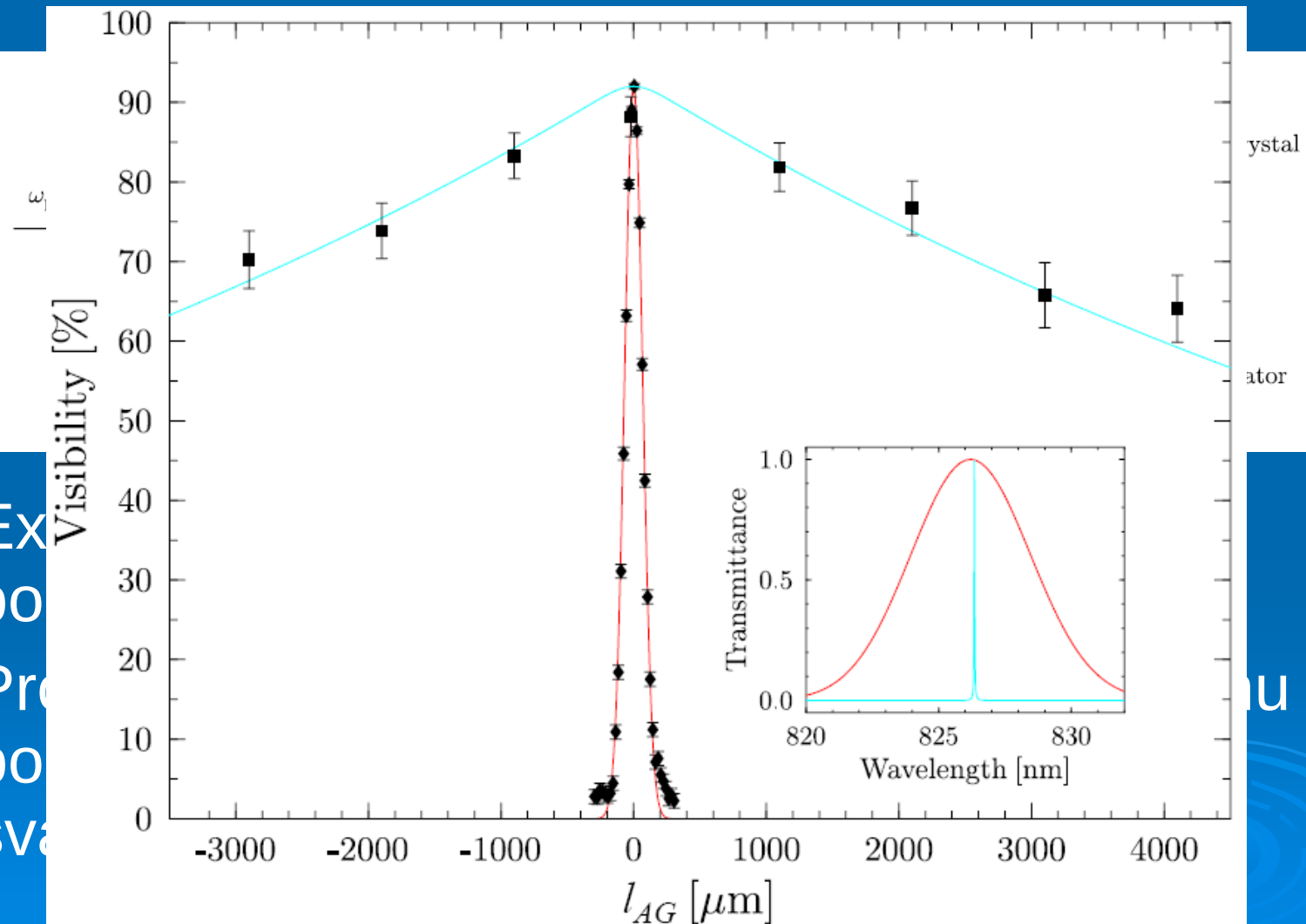
Způsobení interference „na dálku“



Vložení úzkého frekvenčního filtru **do dráhy jednoho člena** korelovaného páru fotonů indukuje vznik interferenčního obrazce v interferometru umístěném **v dráze druhého svazku**.

(1998...) Korelované páry fotonů

- Experiment
- Preparation of entangled photon pairs
- Measurement of the correlation



(2001...) druhá laboratoř

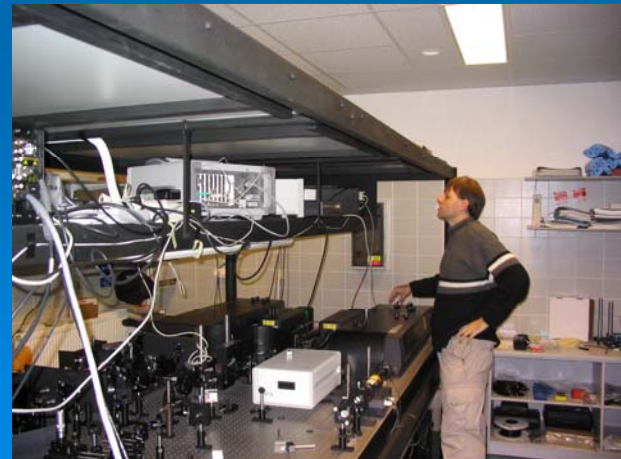
CW LAB

- Diskriminace kvantových stavů
- Klonování
- Kvantová hradla



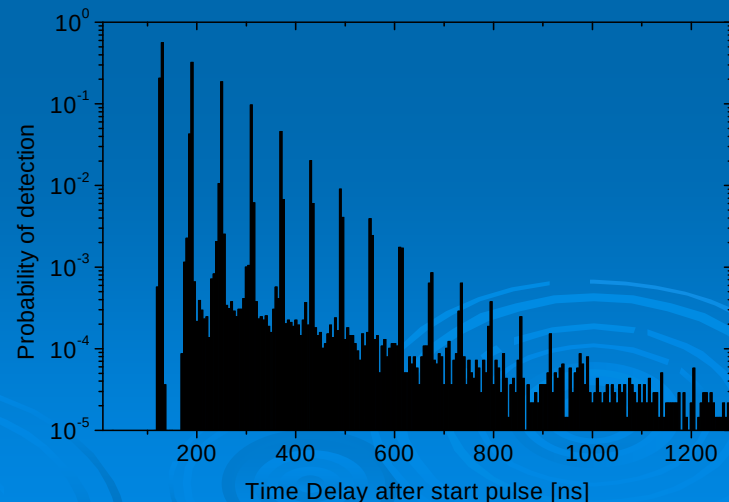
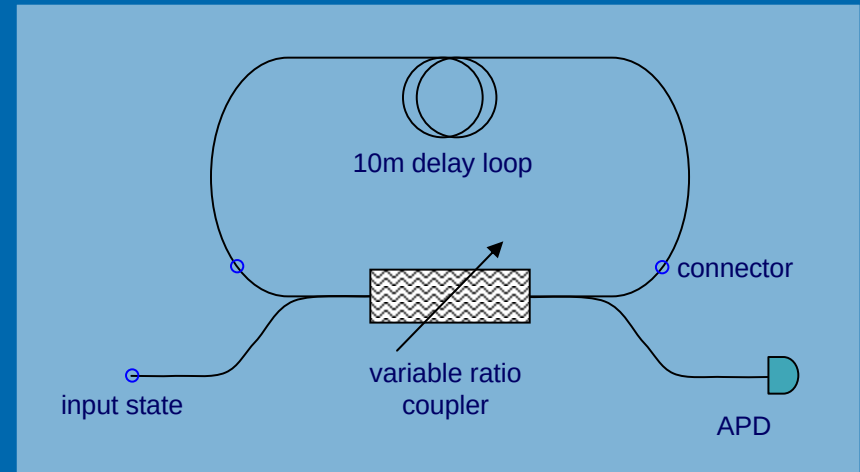
fs LAB

- Čítání fotonů
- Prostorové korelace
- Fotonické krystaly

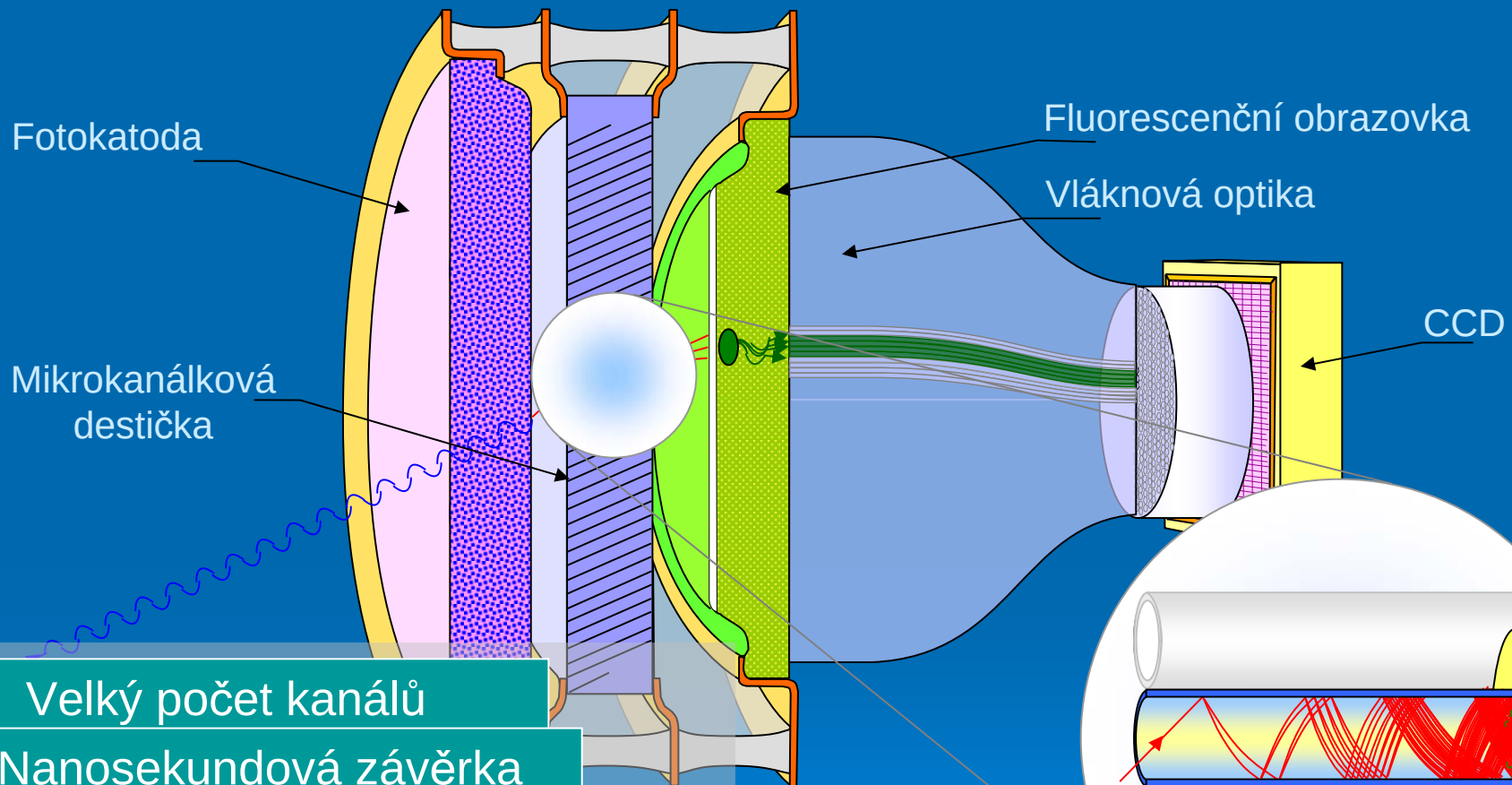


Smyčkový detektor

- Dělení svazku do několika drah (časových oken)
- Snadné, levné, nízké ztráty
- Omezený počet kanálů, nevyvážené
- Do jisté míry laditelné



Masivně multikanálový detektor - iCCD



Velký počet kanálů

Nanosekundová závěrka

Nízká kvantová účinnost

Nízká opakovací frekvence

Bonus: prostorové rozlišení

Vlnová a aplikovaná optika

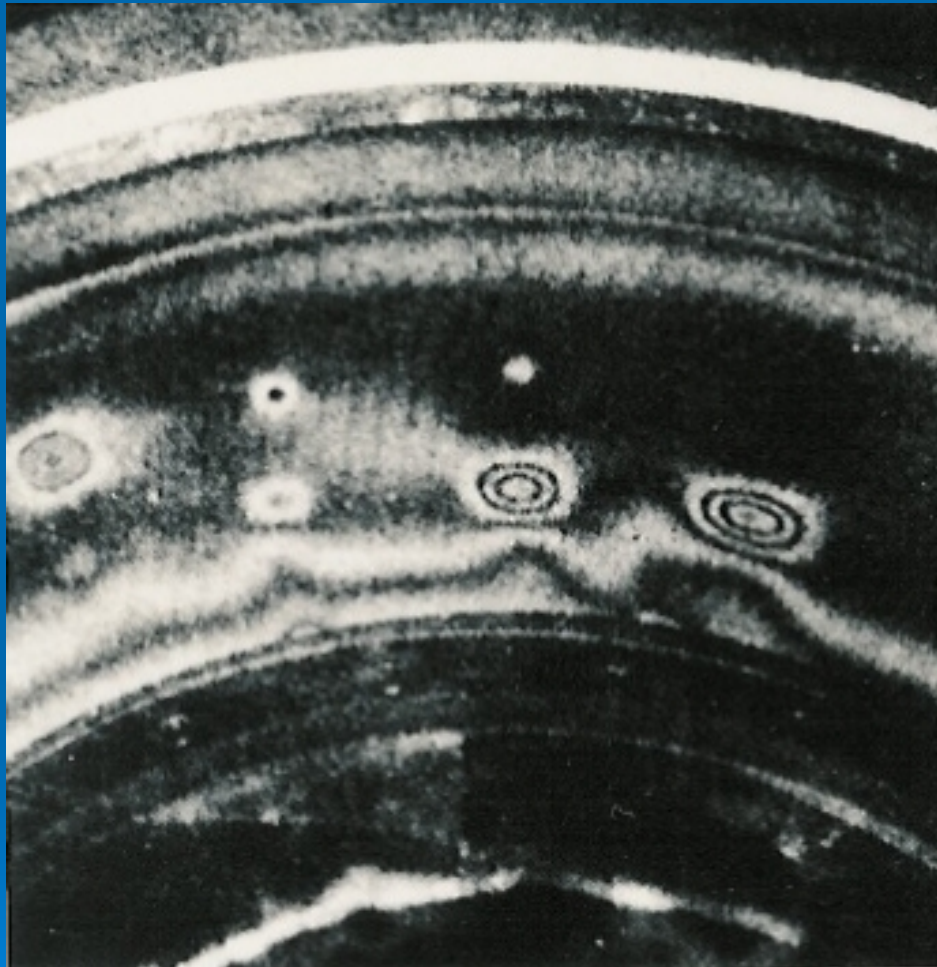
- netradiční metody optického zobrazení a studium šíření elektromagnetického záření v korelaci s kvantově optickým přístupem
- holografie, holografická interferometrie, speckle holografie jako zobrazovací a měřicí metody, interferometrie v bílém světle
- aplikace: holografie a holografické metody, klasická optická interferometrie, optická difrakce a moiré interferometrie v mechanice kontinua (včetně studia časově proměnných jevů), nedestruktivní bezdemontážní diagnostika strojů a zařízení, aplikace v průmyslu a medicíně, obrazová analýza apod.
- stavba unikátních přístrojů a zařízení pro vědu a výzkum, mezioborové aplikace, aplikace v průmyslu
- rozptyl záření a interakce záření s pevnou fází; nanomateriály a nanostruktury v optice, případně aplikace na diagnostiku kinematických a materiálových vlastností látek

Aplikovaná optika, stavba přístrojů a zařízení

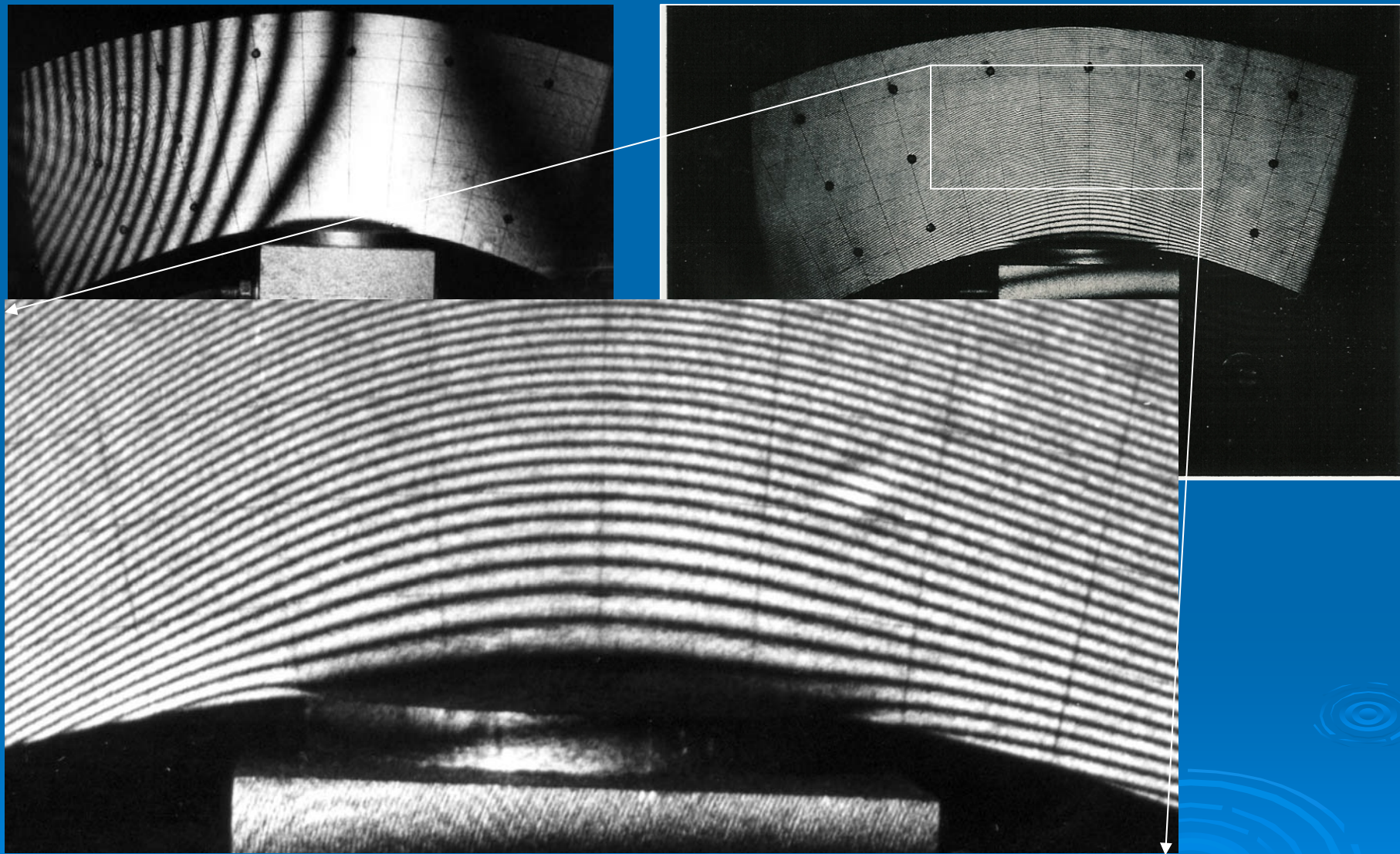
- metody návrhů a výpočtů tradičních a především netypických optických prvků a soustav
- návrh, výpočet, experimentální ověření a realizace optických tenkých vrstev
- lasery a prvky laserů s velkými výkony a jejich aplikace (laser processing)
- detekce a počítačová analýza obrazu, vývoj metod až do stádia technické realizace a rutinní aplikace
- optická metrologie (částečně)
- detekce a počítačové zpracování optického signálu pro základní výzkum i aplikace
- aplikace optických metod při stavbě unikátních přístrojů a zařízení na bázi optiky

-přístroje a zařízení (příklady):

- ♥ holografické nedestruktivní analyzátory vad pneumatik
- ♥ laserový metrologický analyzátor průmyslových sít ($20\mu\text{m}$ -2mm)
- ♥ laserový řídicí systém (pro řízení provozu stavebních a důlních strojů)
- ♥ netypické optické prvky a soustavy
- ♥ optický elipsometr s rotujícím analyzátozem
- ♥ pulsní laserová stomatologická vrtačka (ve spolupráci s FJFI ČVUT), aplikace též pro dermatologii
- ♥ laserové vrtání a rozrušování stavebních materiálů
- ♥ optické prvky pro Čerenkovské a fluorescenční detektory kosmického záření (programy CAT – stříbrná medaile Fr. Akademie věd za r. 1998, CELESTE – Francie; The Pierre Auger Observatory)
- ♥ optické boroskopy
- ♥ jiné.

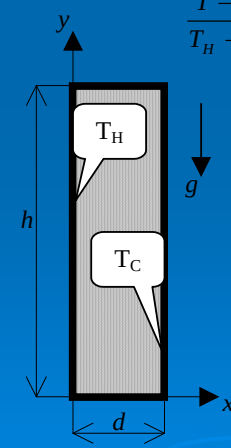
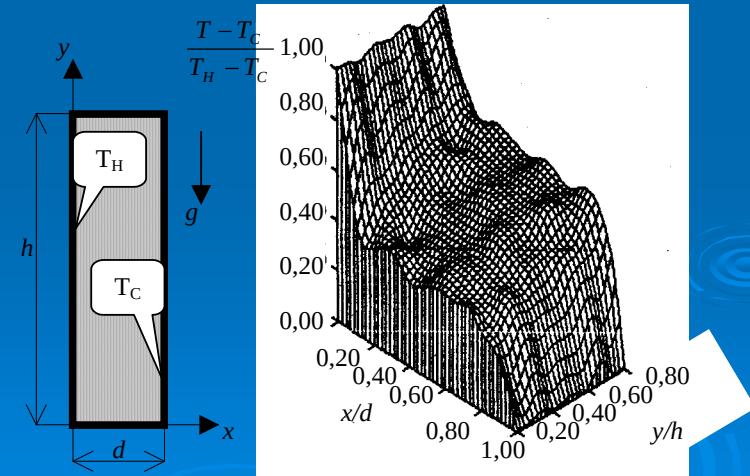
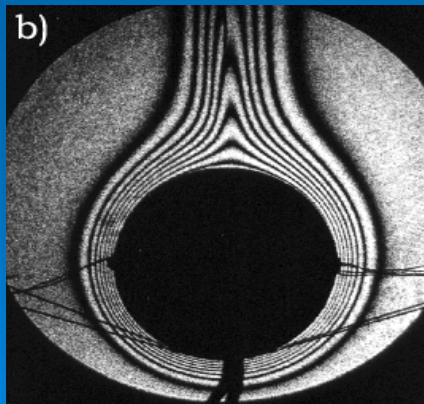
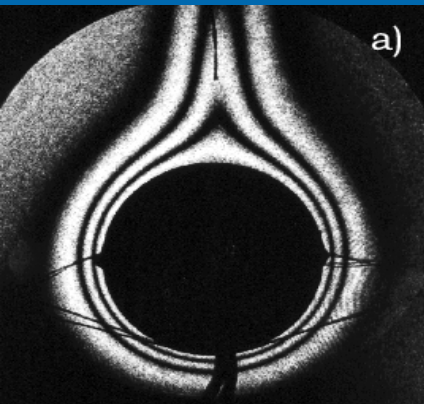
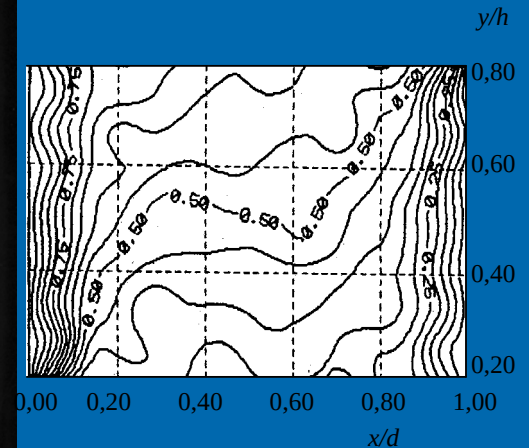
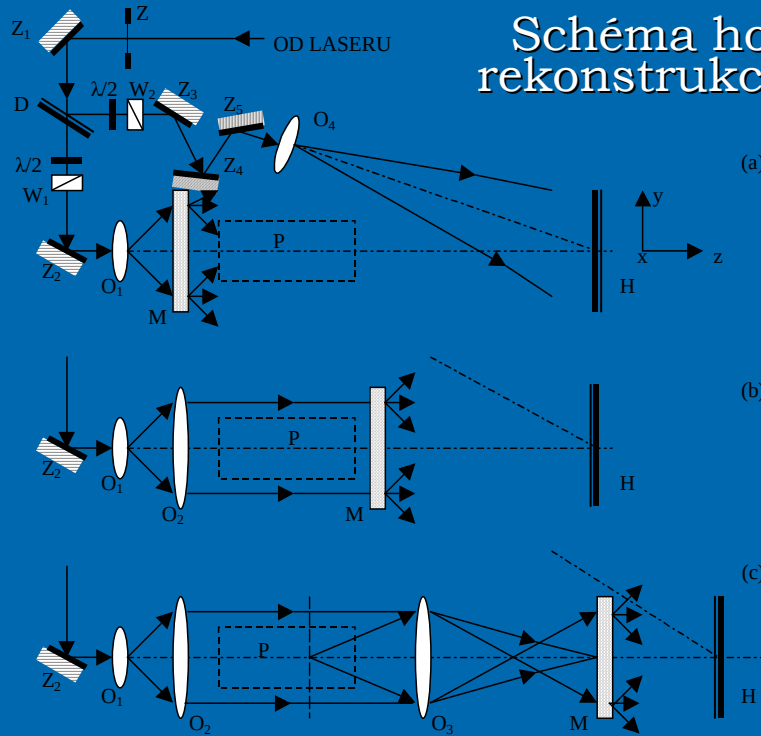


Interferogram pneumatiky
s vadou v kordové vrstvě



Interferogram deformované lopatky regulačního
diagonálního čerpadla 1400 BQDV

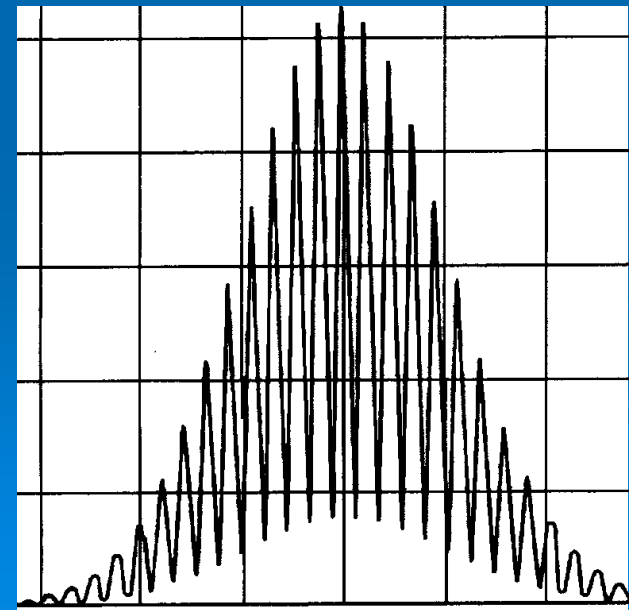
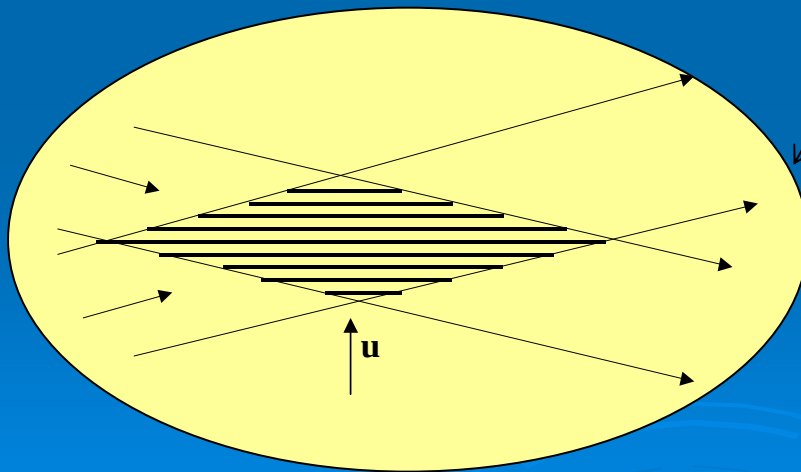
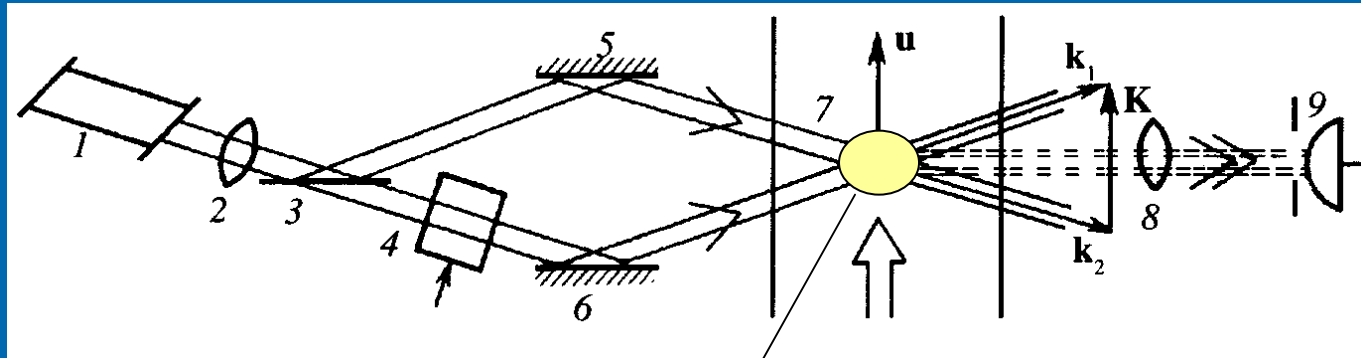
Schéma holografické sestavy pro záznam a rekonstrukci dvourozměrného teplotního pole



Interferogram teplotního pole v okolí vodorovného válce; (a)- $\Delta T=14,0^{\circ}\text{C}$, (b)- $\Delta T=40,4^{\circ}\text{C}$

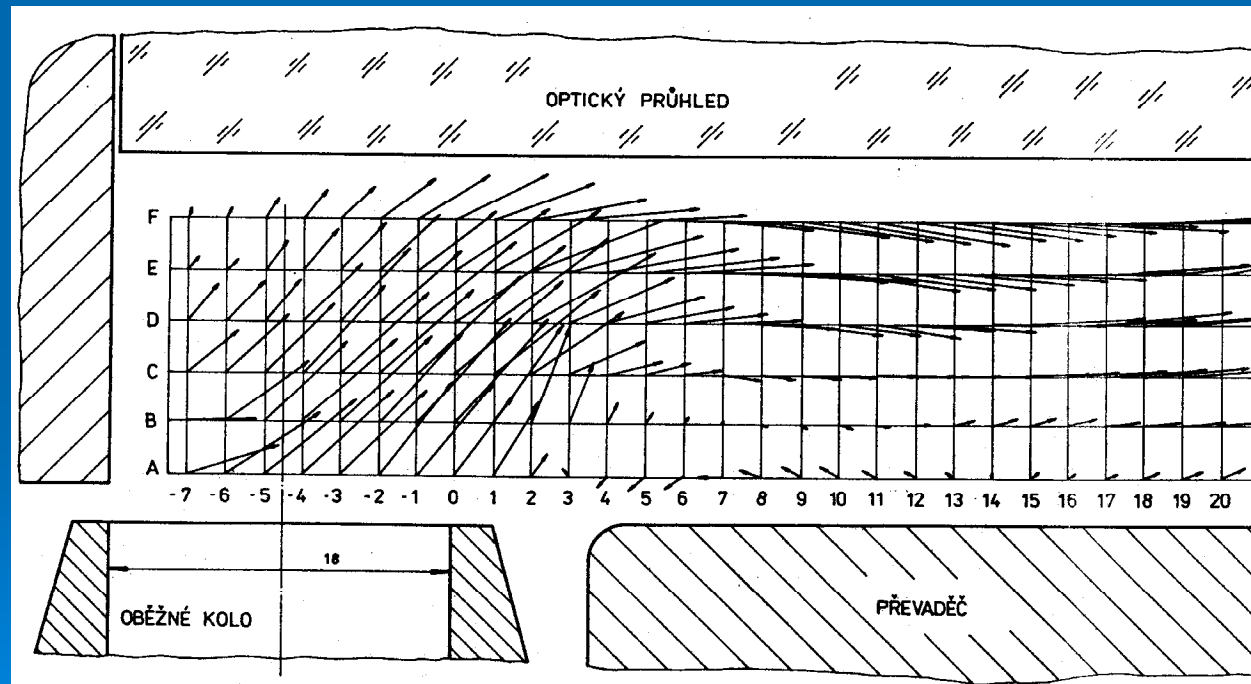
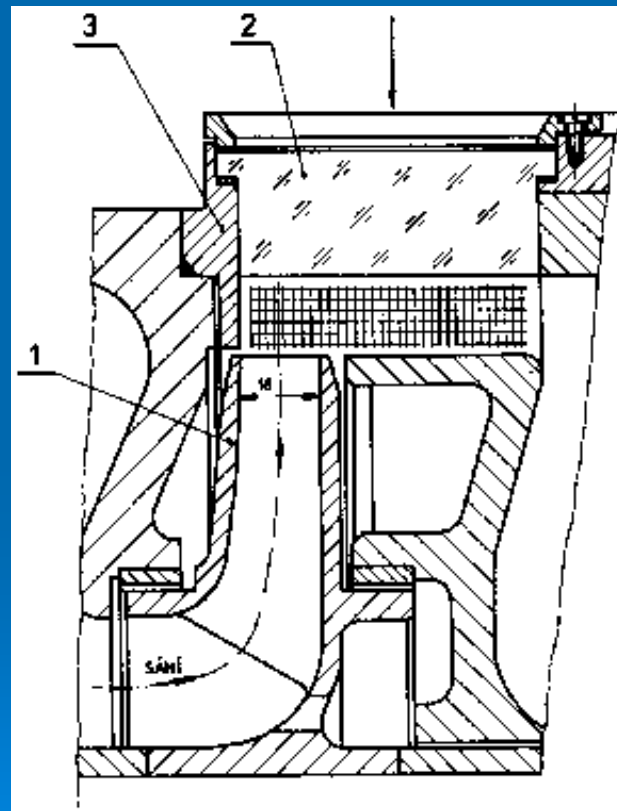
Interferogram teplotního pole v uzavřené spáře při volné konvekci; $\Delta T=70,3^{\circ}\text{C}$; $\text{GrPr}=1,06 \cdot 10^5$; $d=27.5\text{mm}$

Laserová interferenční anemometrie



Laserová interferenční anemometrie

RYCHLOSTNÍ POLE ZA RADIÁLNÍM OBĚŽNÝM KOLEM ČLÁNKOVÉHO ČERPADLA

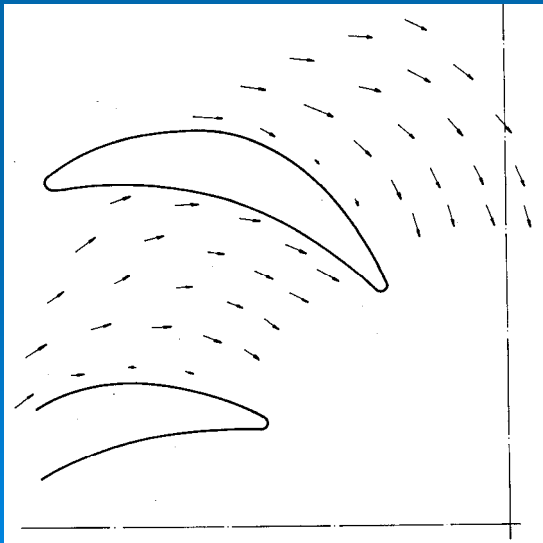
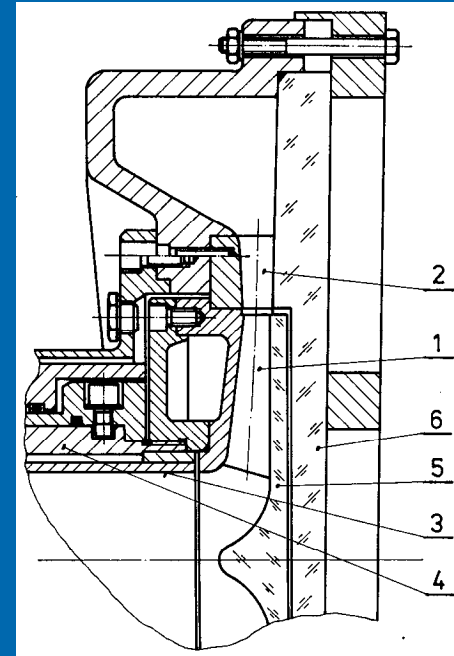


4ms^{-1}

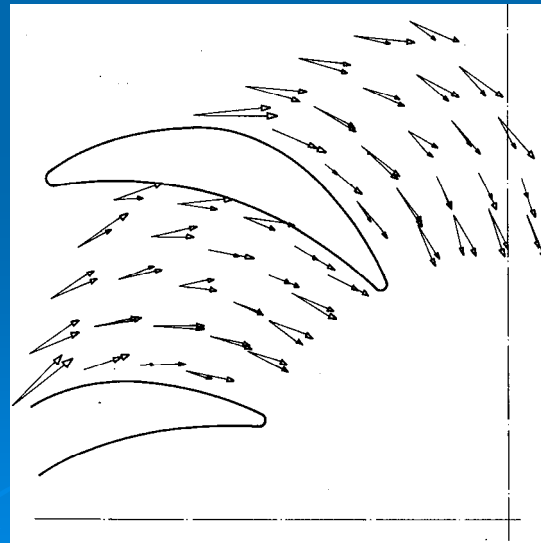
Laserová interferenční anemometrie

RYCHLOSTNÍ POLE V KANÁLE PŘEVÁDĚČE

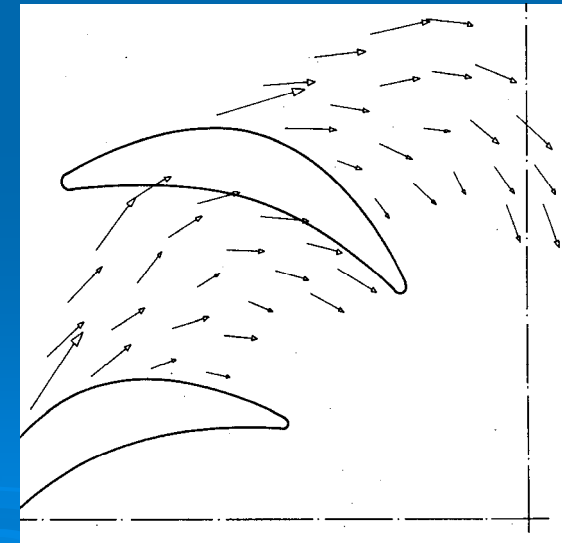
Zkušební rotočerpadlo - model 150-CHM-
ROTO



$Q = 0,45 Q_{\text{opt}} (15 \text{ ls}^{-1})$



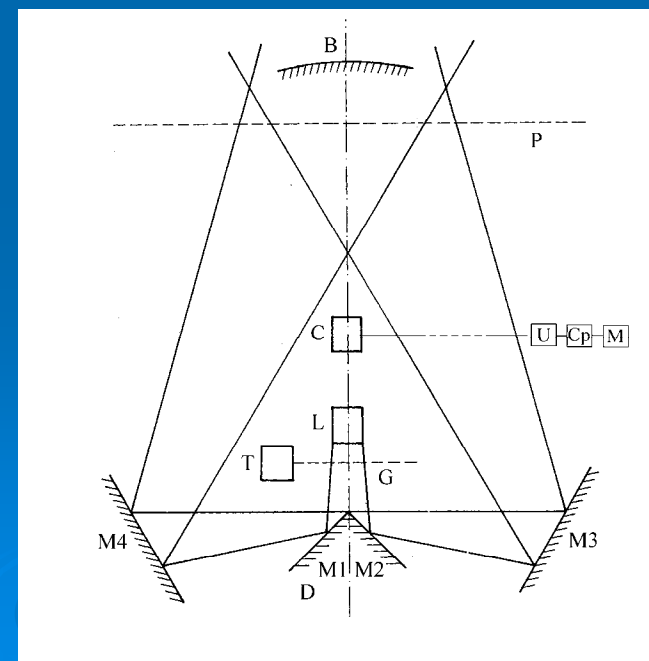
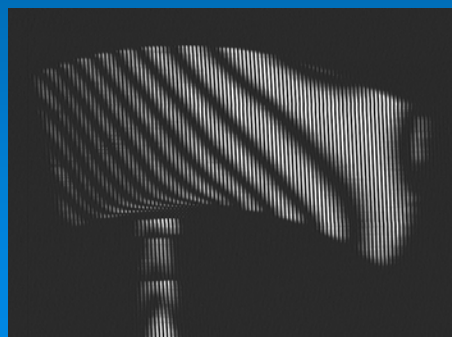
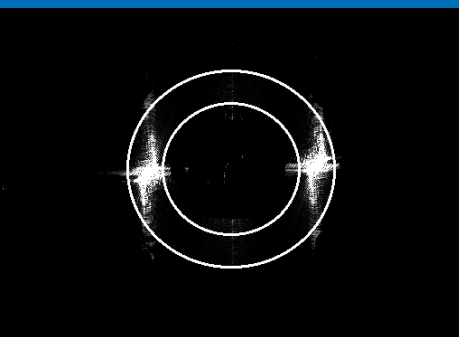
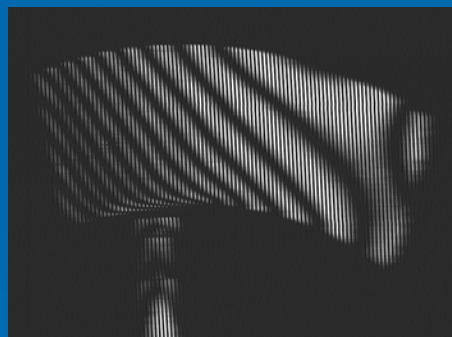
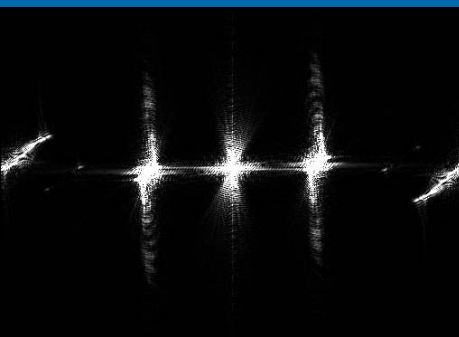
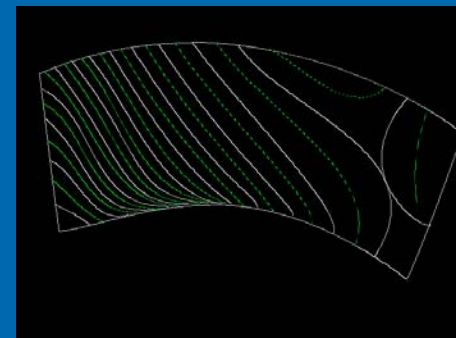
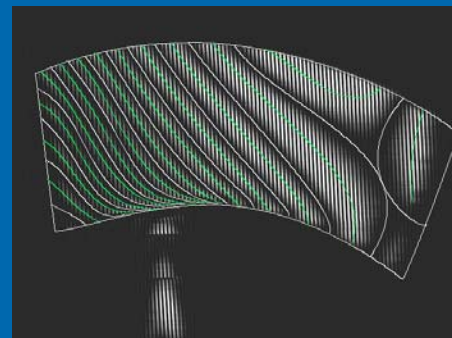
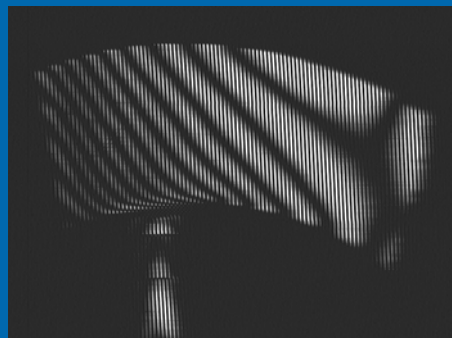
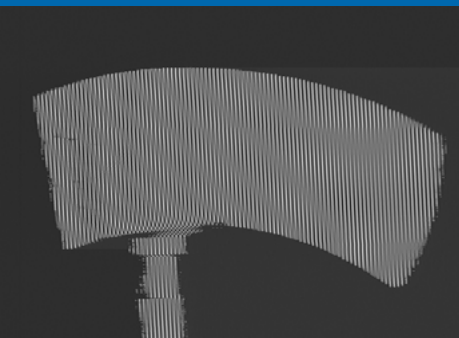
$Q = Q_{\text{opt}} (33,7 \text{ ls}^{-1})$



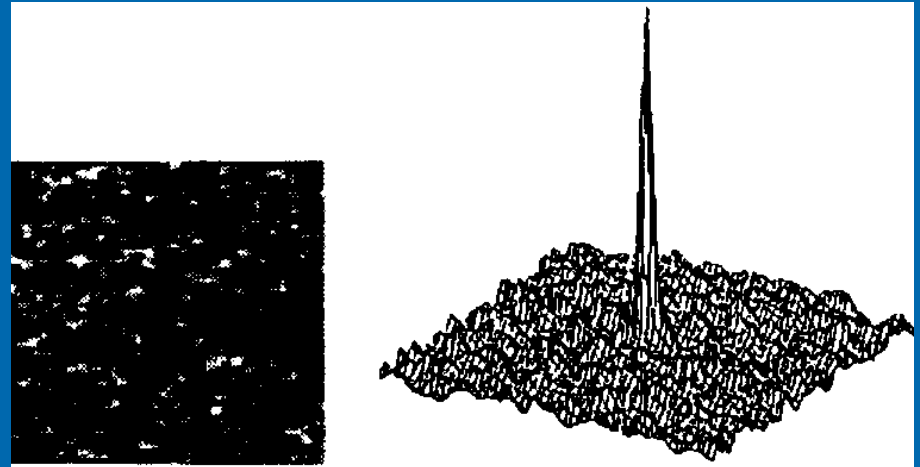
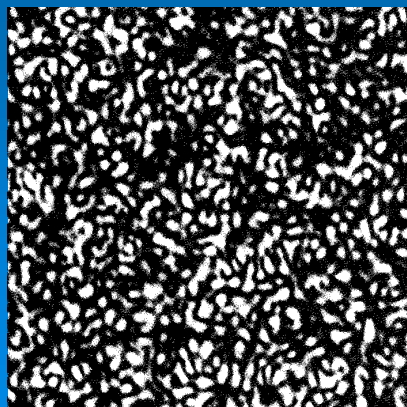
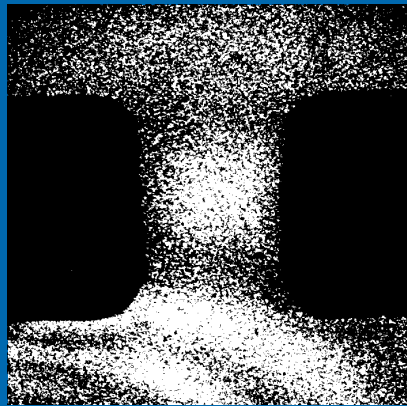
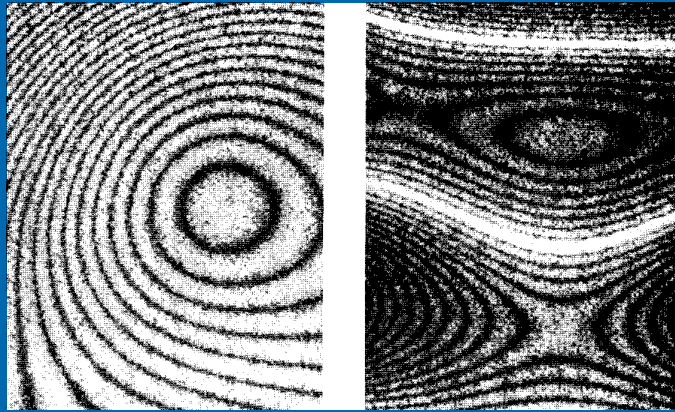
$Q = 1,19 Q_{\text{opt}} (40 \text{ ls}^{-1})$

Moiré topografie

hydraulický model lopatky regulačního diagonálního čerpadla BQUV

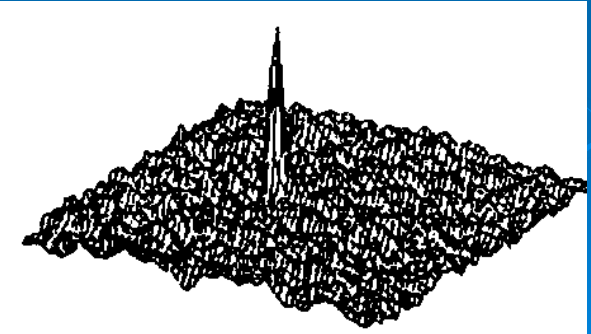
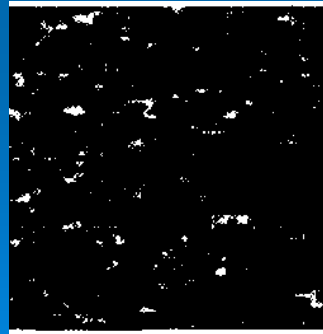


Koherenční zrnitost (spekl)



$$I(X,Y)$$

$$C(\bar{X},\bar{Y}) = \langle I(X,Y)I(X+\bar{X},Y+\bar{Y}) \rangle$$

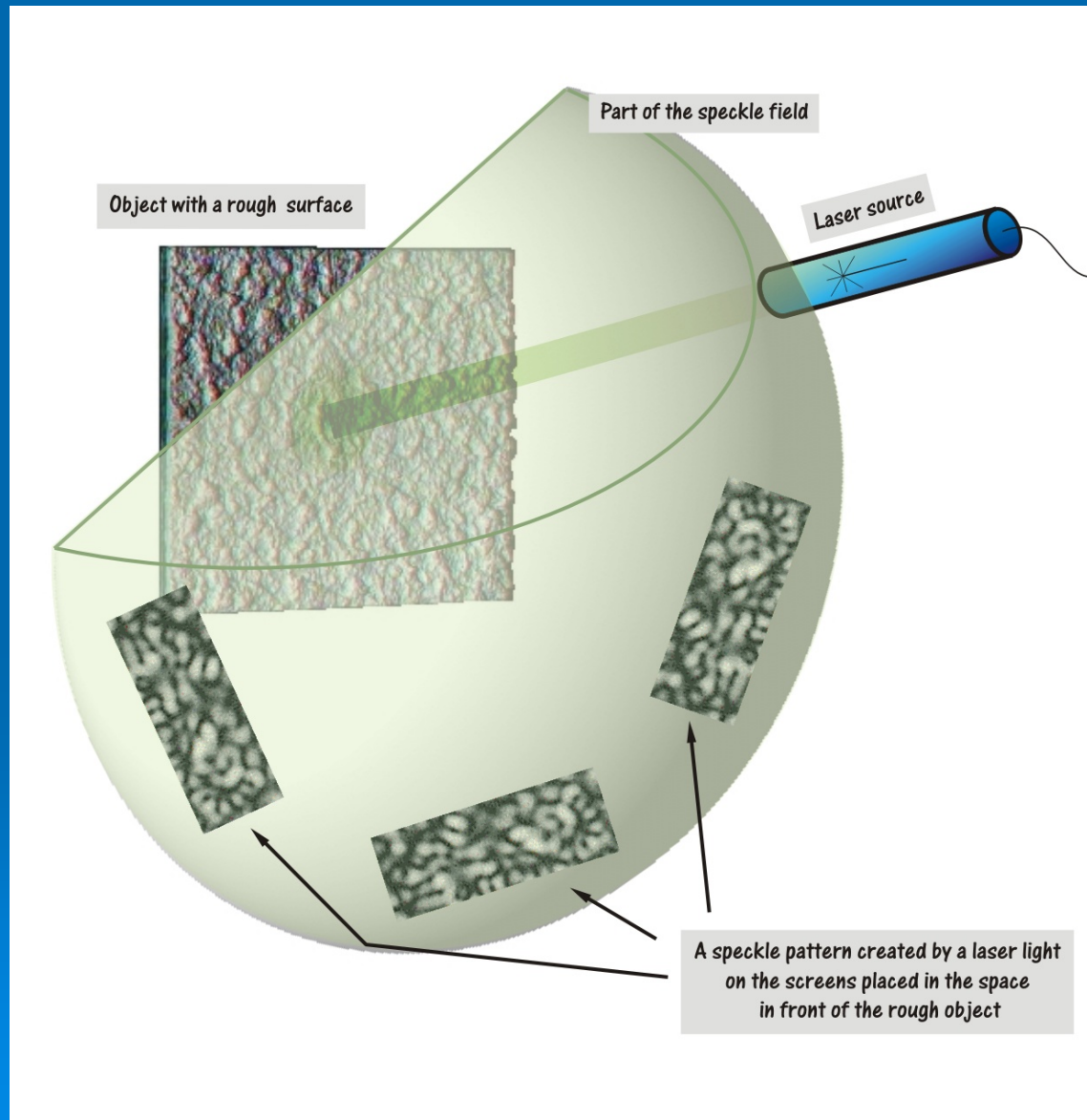


$$I_1(X,Y)$$

$$I_2(X,Y)$$

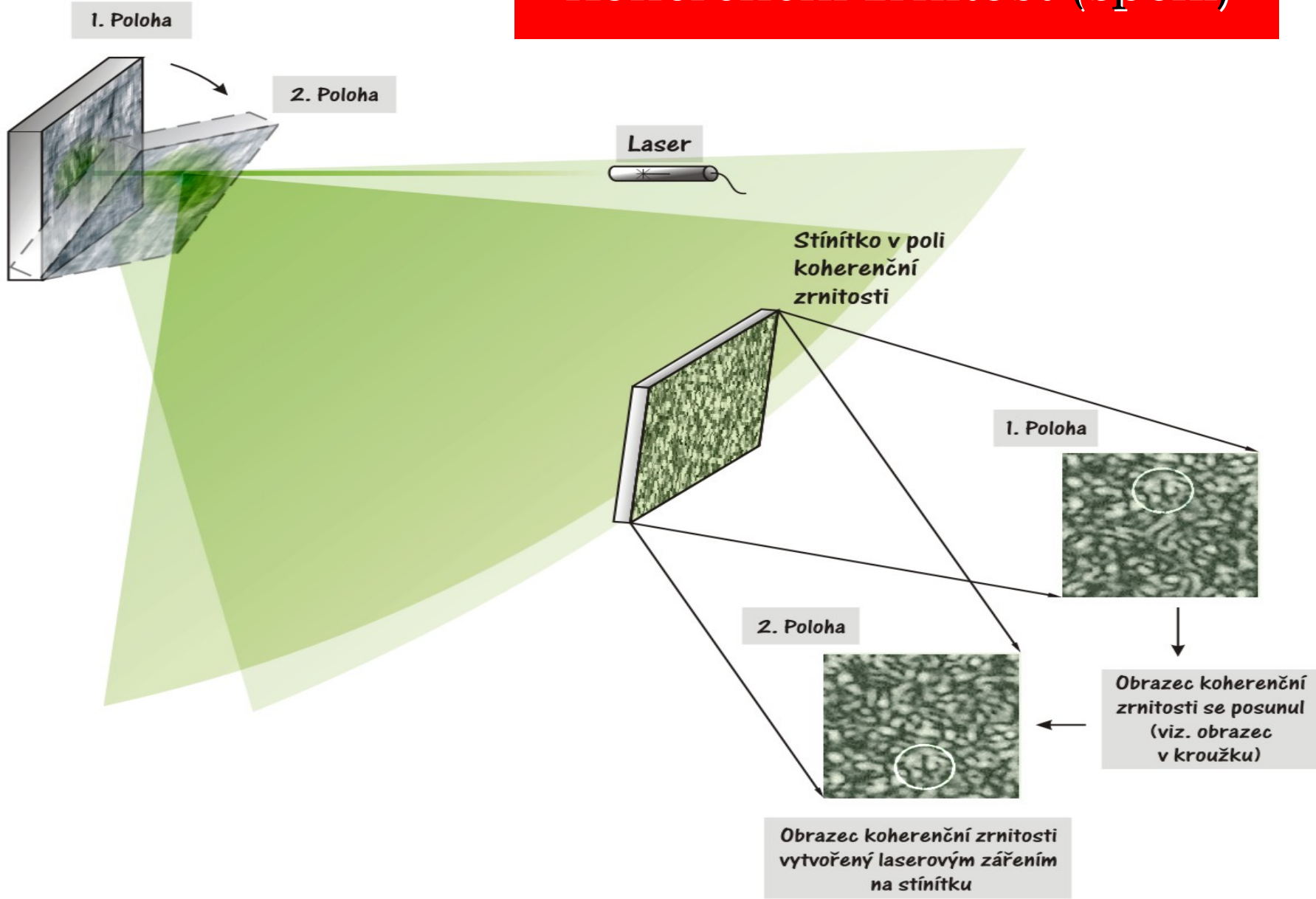
$$C_{12}(\bar{X},\bar{Y}) = \langle I_1(X,Y)I_2(X+\bar{X},Y+\bar{Y}) \rangle$$

Koherenční zrnitost (spekl)



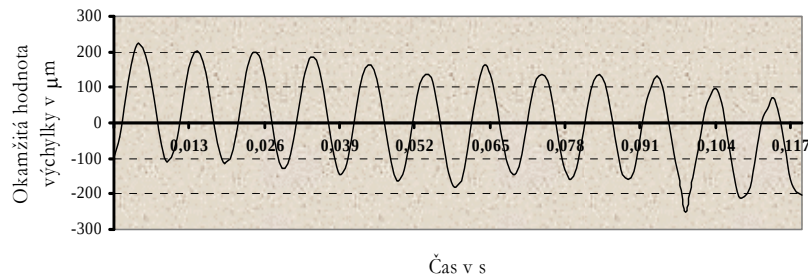
Předmět před a po změně své polohy

Koherenční zrnitost (spekl)

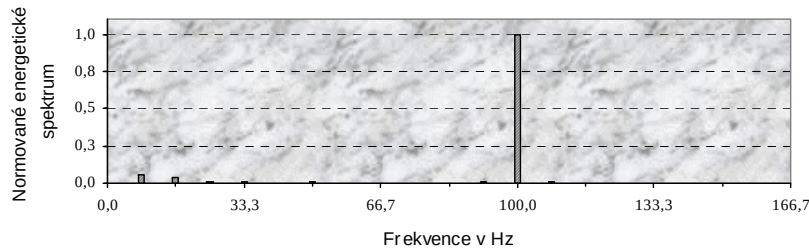


Měření chvění o frekvenci 100 Hz

Časový průběh výchylky kmitu



Fourierova analýza

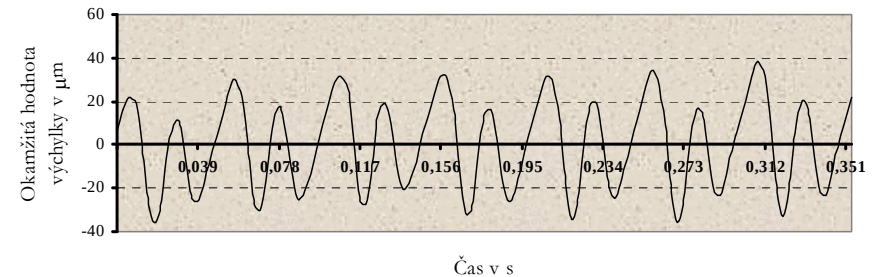


Sestava:

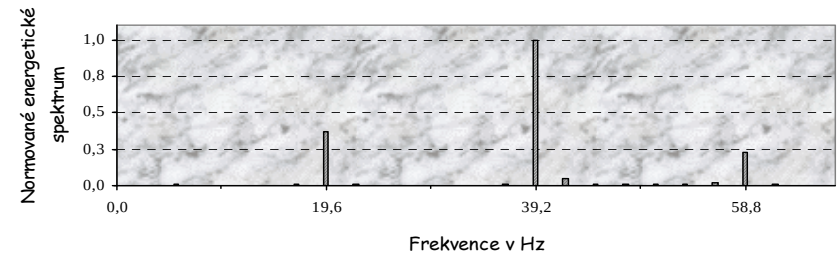
$L_p' = 21 \text{ cm}$, $\theta_o = 24^\circ$,
ohnisková vzdálenost
čočky $f' = 1,996 \text{ cm}$

Měření chvění o frekvenci 19,6Hz + 39,2Hz + 58,8Hz

Časový průběh výchylky kmitu



Fourierova analýza

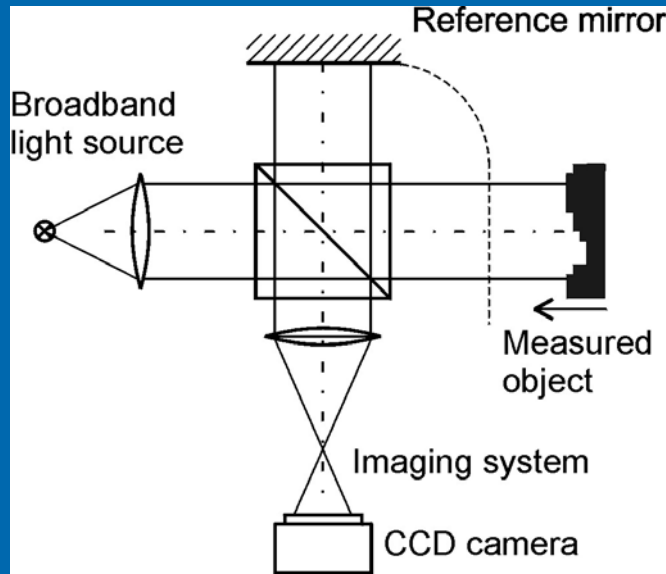


Sestava:

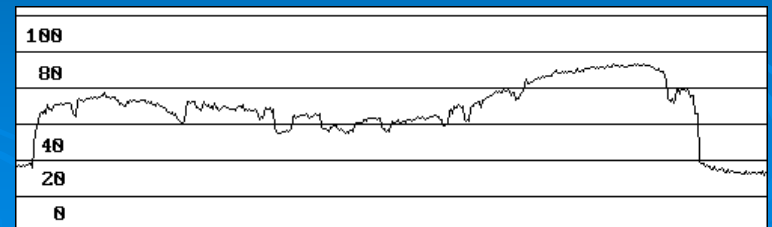
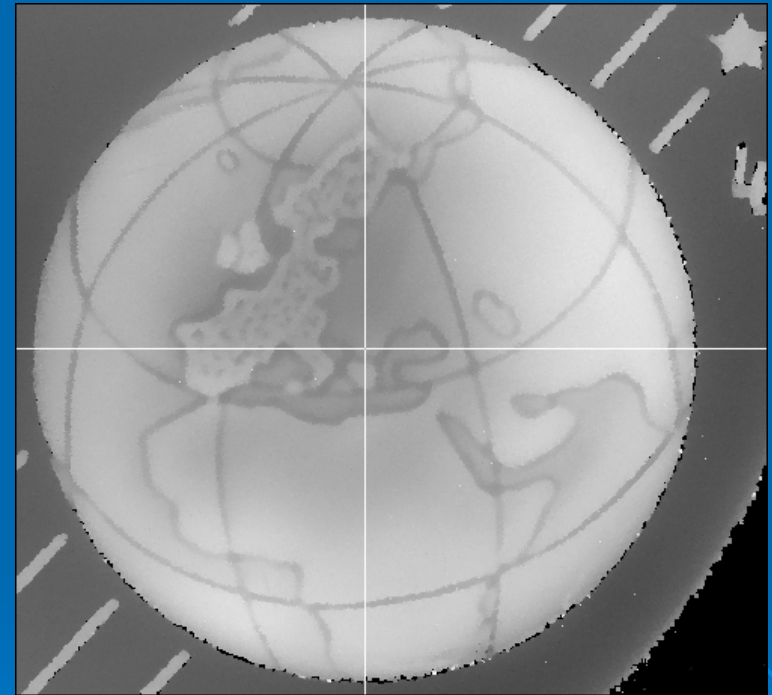
$L_p' = 31,2 \text{ cm}$, $\theta_o = 20^\circ$,
ohnisková vzdálenost
čočky $f' = 1,996 \text{ cm}$

White-light interferometry

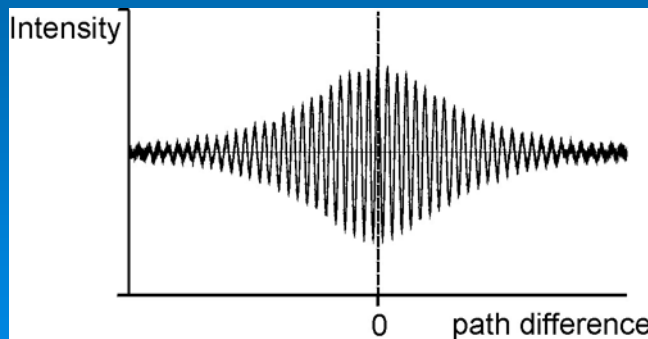
experimental setup

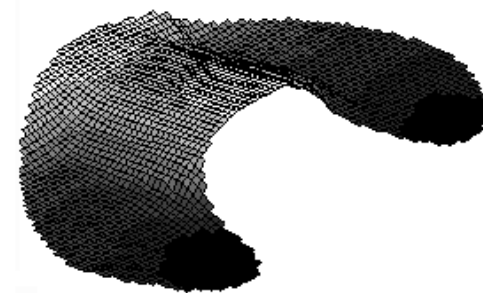
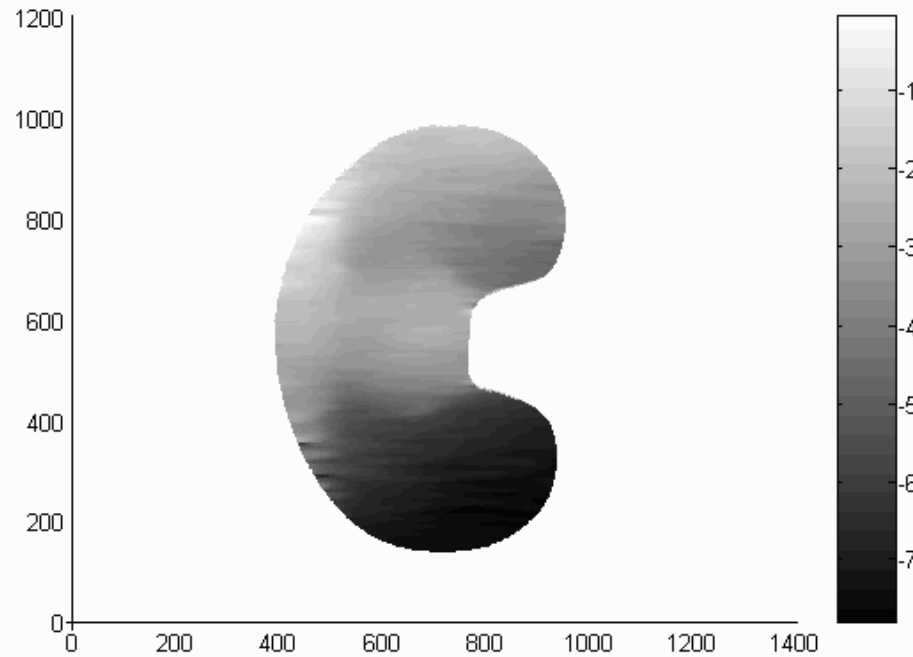
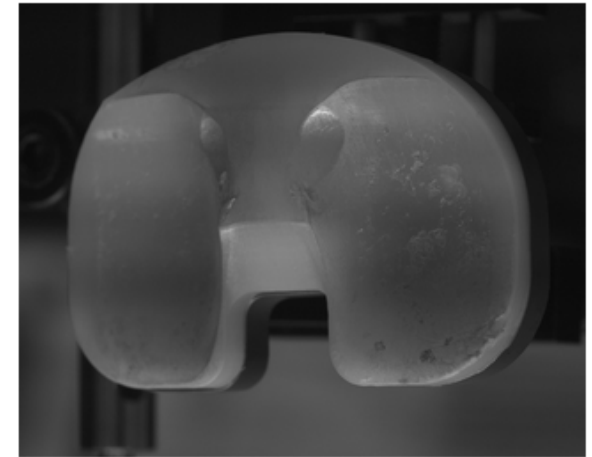


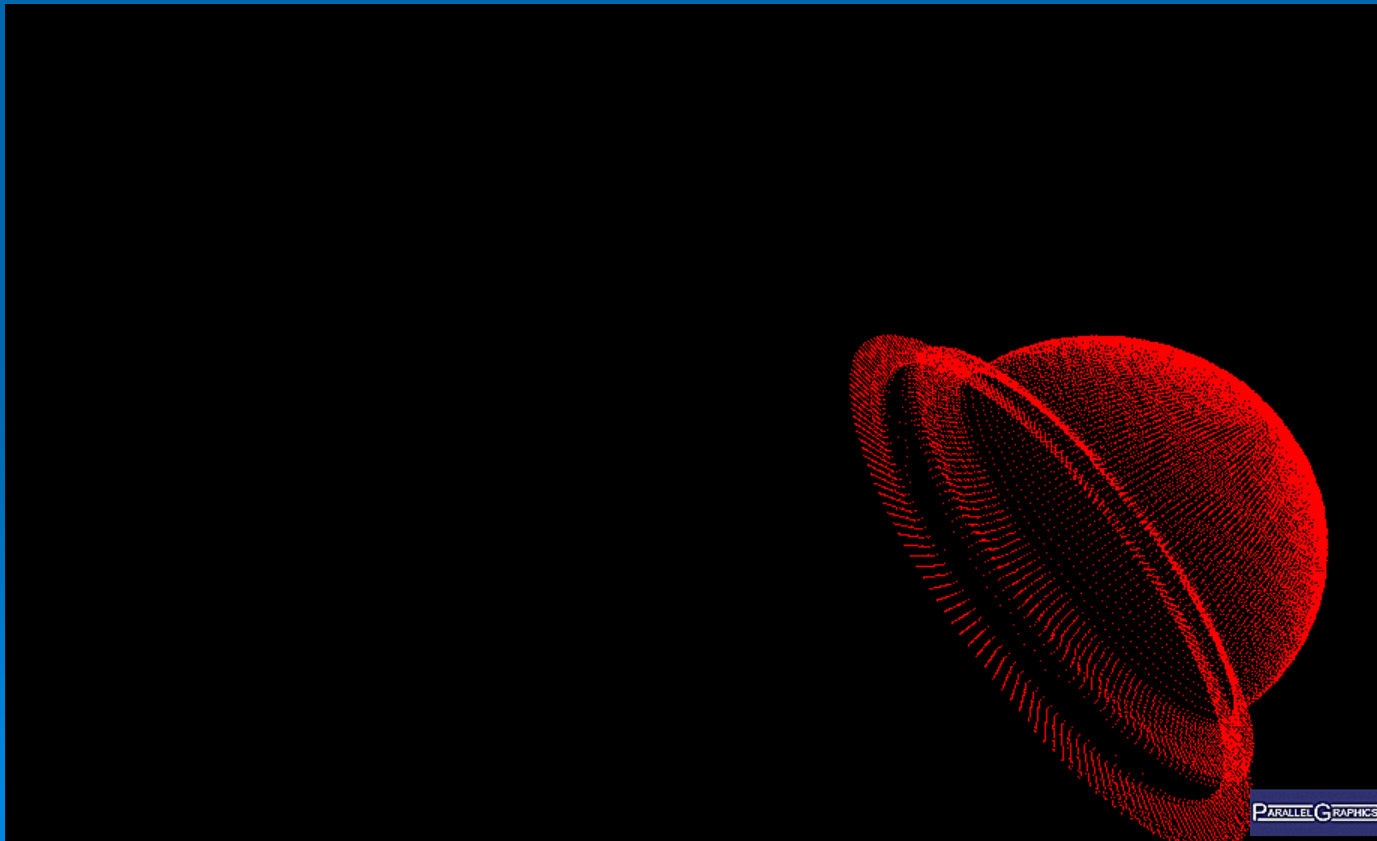
measured height profile

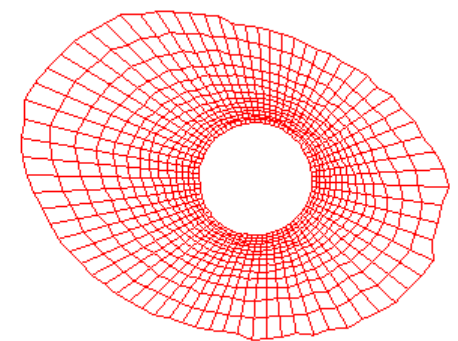
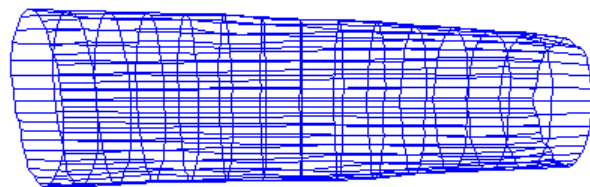


white-light correlogram

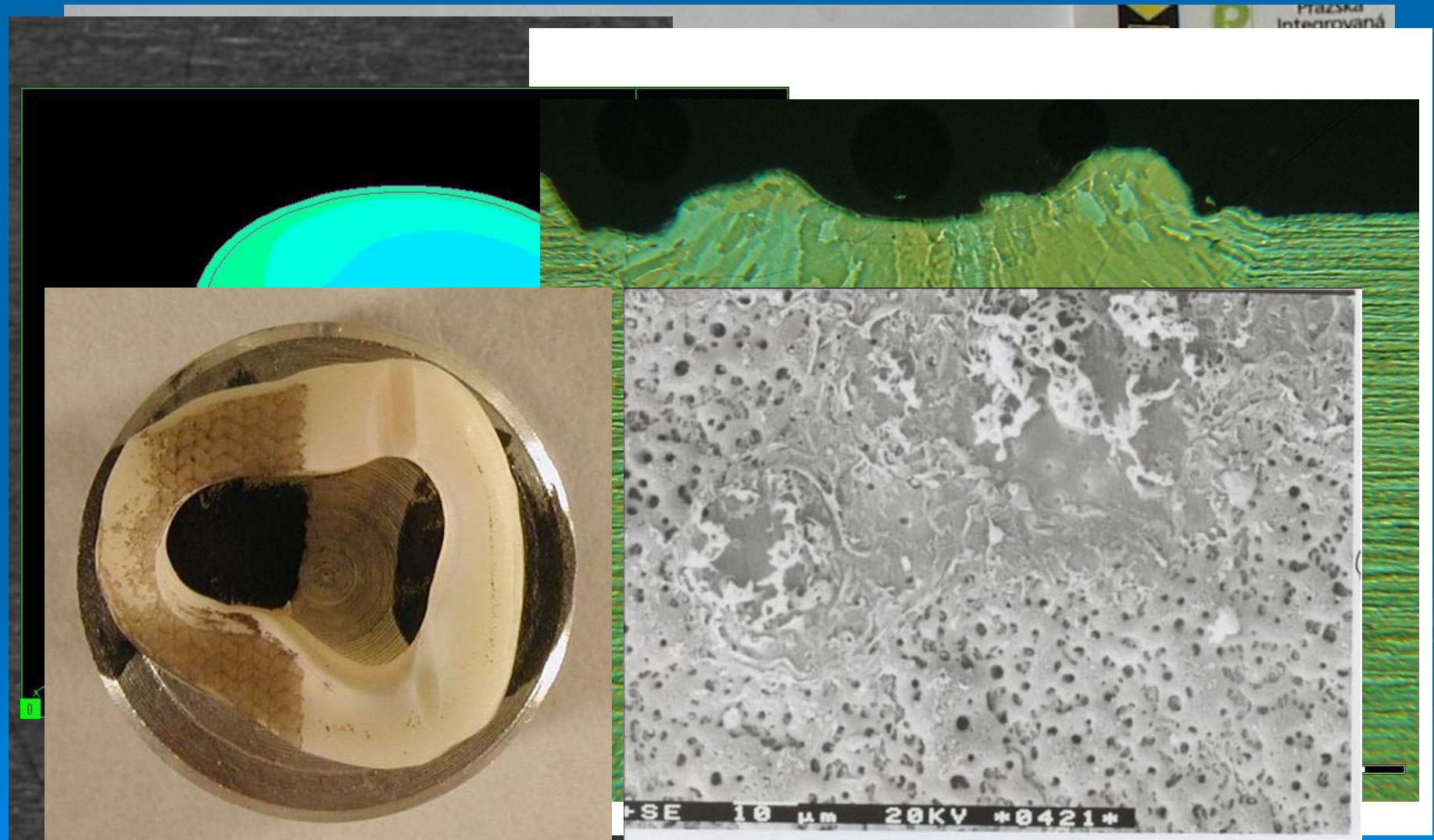




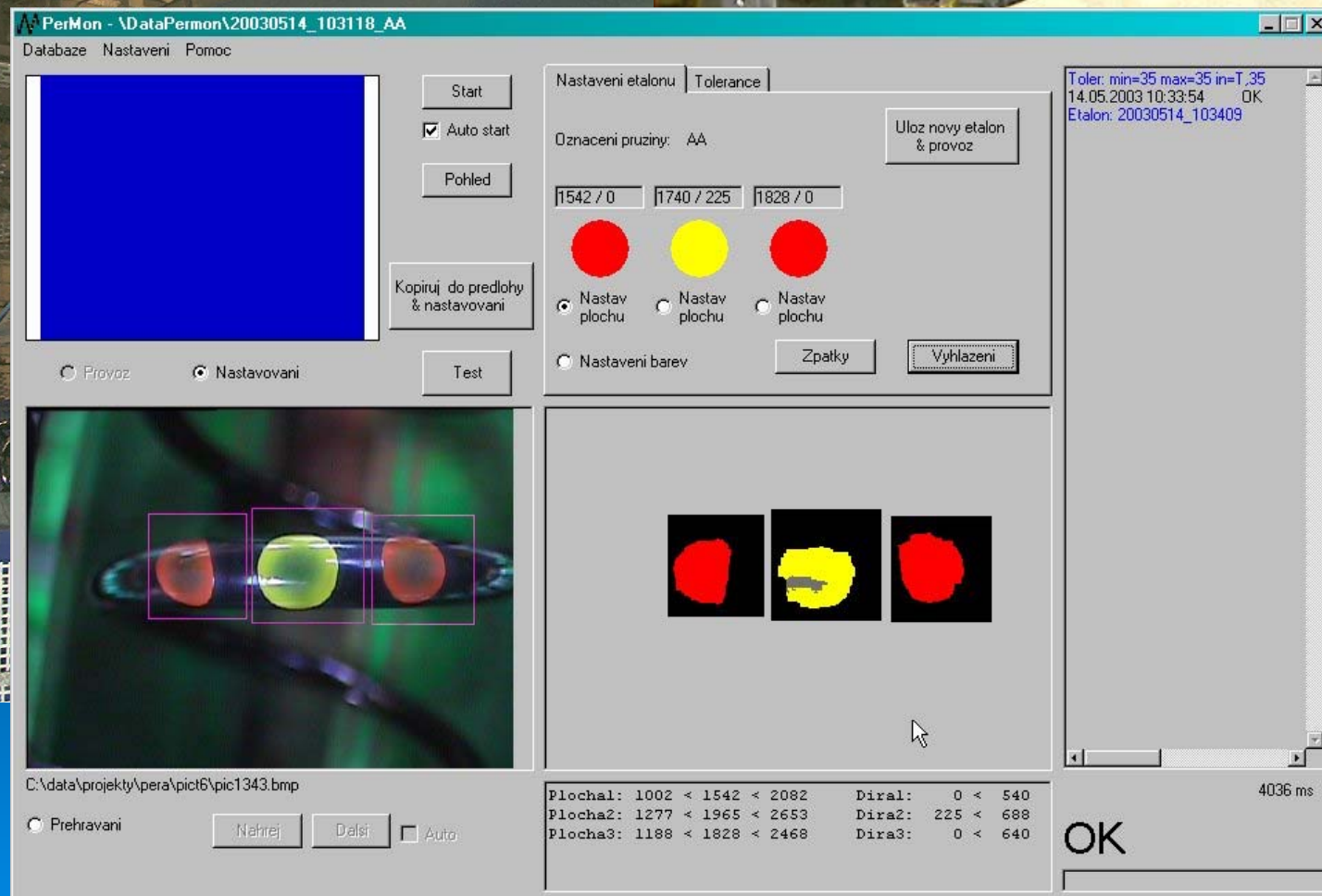




Laserové technologie



H.Chmelíčková, H.Lapšanská, M.Havelková



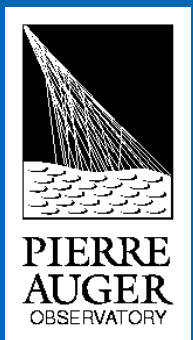


„The Pierre Auger Observatory“

provincie **Mendoza, Argentina**



Projekt CAT, Francie



Nepřímá detekce kosmického záření

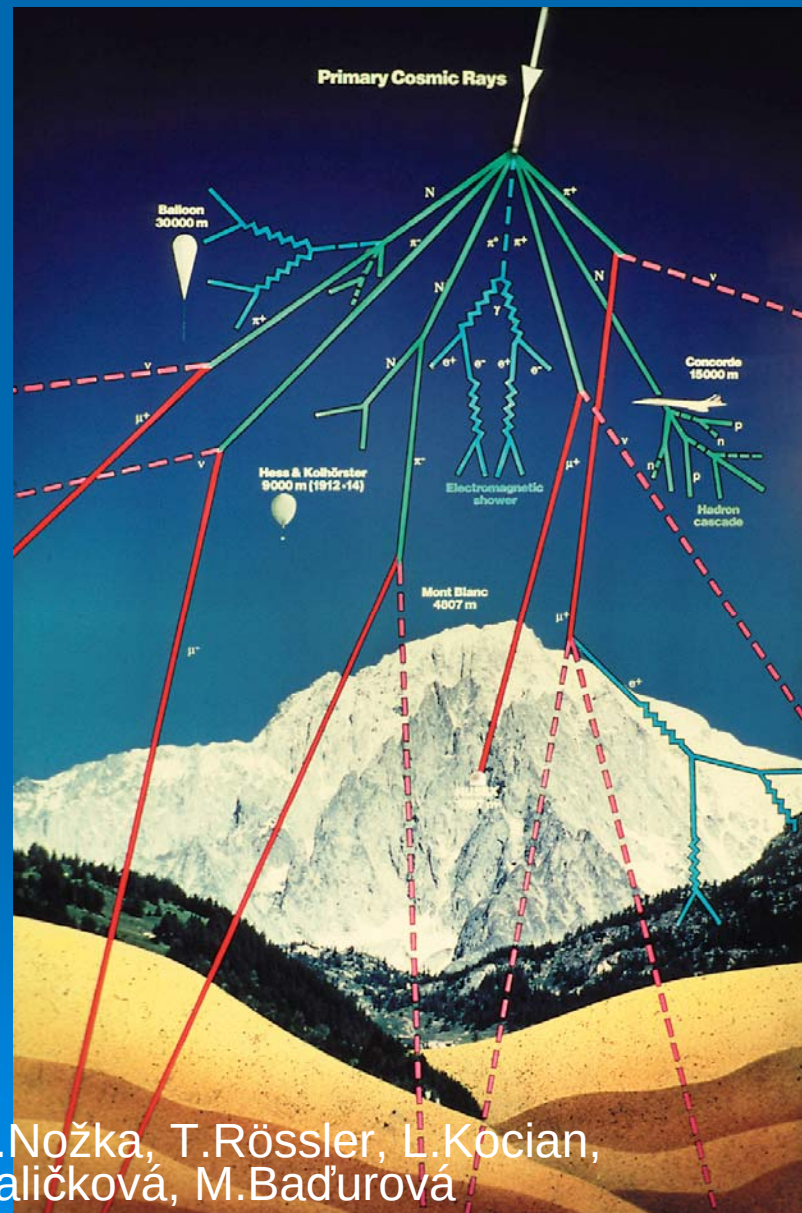
Primární kosmická částice



kaskáda sekundárních částic

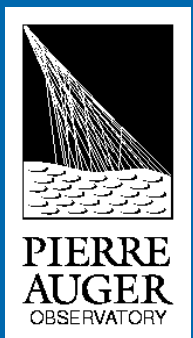


- fluorescence excitovaných molekul
 - Čeronkovovo brzdné záření
- +
- na zem dopadající sekundární částice „atmosférické spršky“



Observatoř Pierre Auger

(největší observatoř tohoto typu na světě)



Colorado USA (budoucnost)

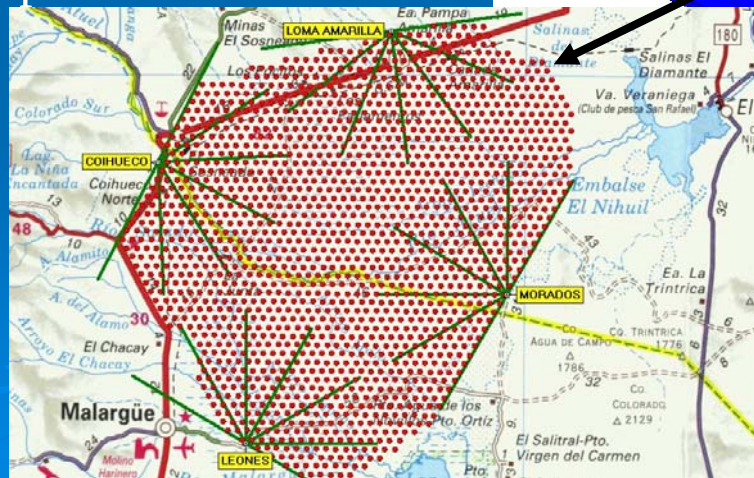


Fluorescenční detektory

- 4 budovy, každá se 6 optickými teleskopy

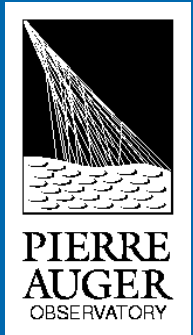
Povrchové detektory

- 1600 barelů, 1.5 km rozestup



Malargüe,
Province
Mendoza,
ARGENTINA

3 000 km²



Fluorescenční detektor

Zdroj - jako dráha průletu meteoru ale mnohem rychlejší a slabší

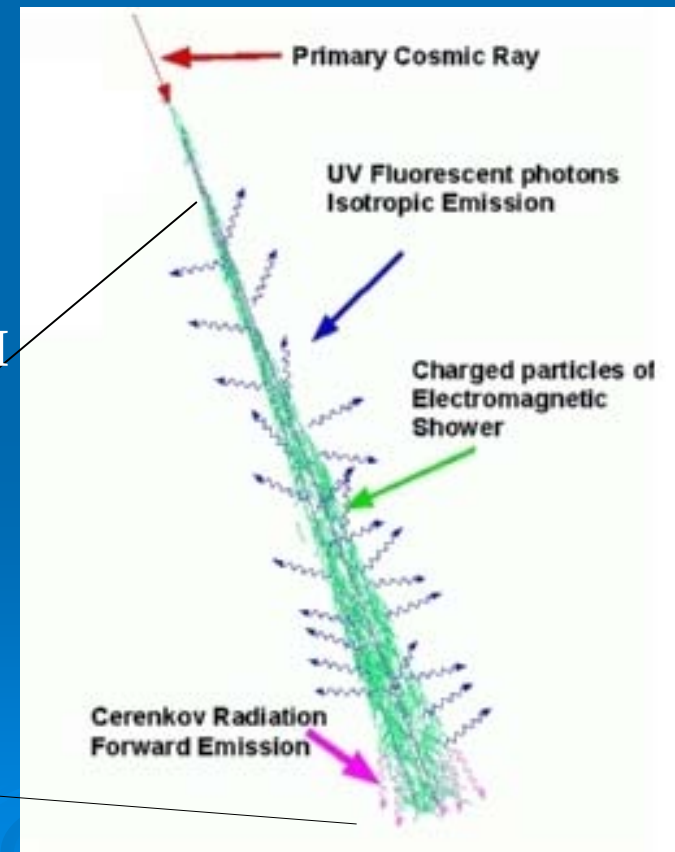
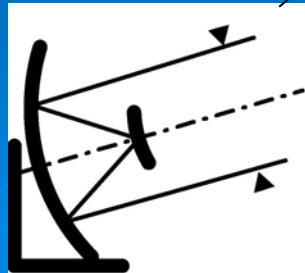
Detektor - vysoce citlivý → matice fotonásobičů (obdoba CCD)



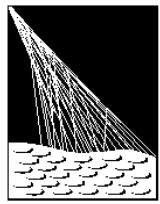
Teleskop - velká „sběrná“ plocha (apertura)

- velké úhlové zorné pole

VYSOCE SVĚTELNÝ OPTICKÝ SYSTÉM



Rozmístění fluorescenčních detektorů



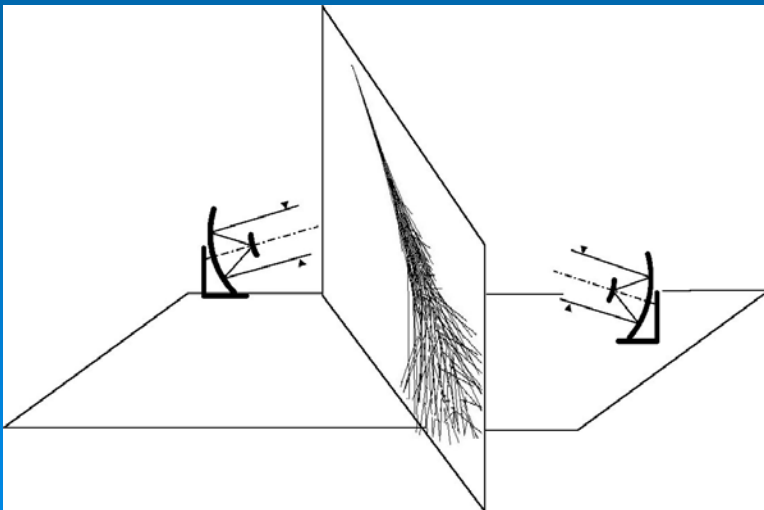
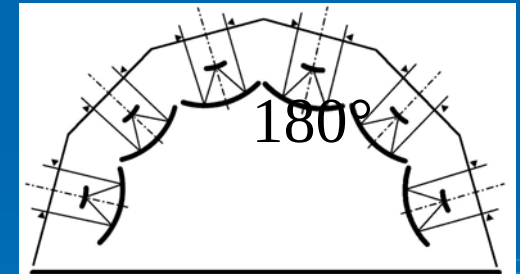
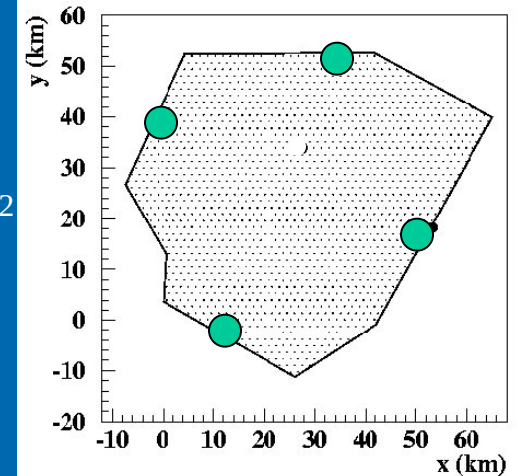
PIERRE
AUGER
OBSERVATORY

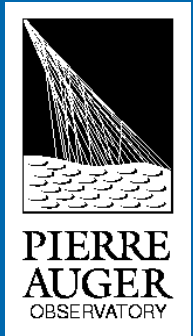
Celkem 4 „observatoře“ se 6 teleskopy pozorují oblohu od obzoru do 30° .

Každý teleskop má zorné pole $30^\circ \times 30^\circ$.

Rozmístění observatoří umožňuje současné „stereo“ pozorování stejné spršky.

3 000 km²





Neobvyklý optický systém

Do místa vstupní apertury je umístěn korekční člen ve tvaru mezikruží.
Jde o určitou modifikaci Schmidtova teleskopu.

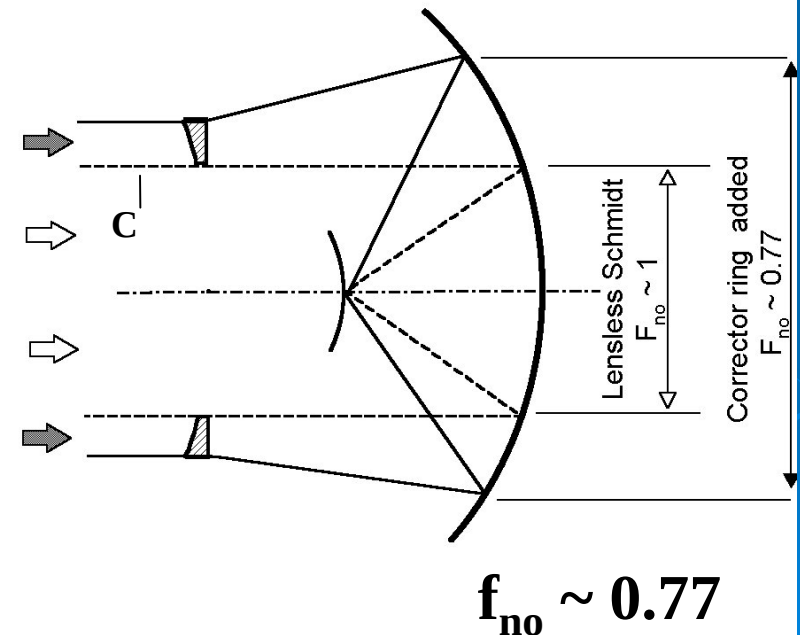
Tento optický člen nekoriguje velikost obrazu bodu, ale zvětšuje
přibližně 2x světelnost optické soustavy.

Poloměr křivosti zrcadla $R = 3400$ mm

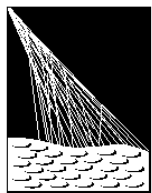
Zakřivení kamery PMT $R_c = 1742$ mm

zorné pole $FOV = 30^\circ \times 30^\circ$

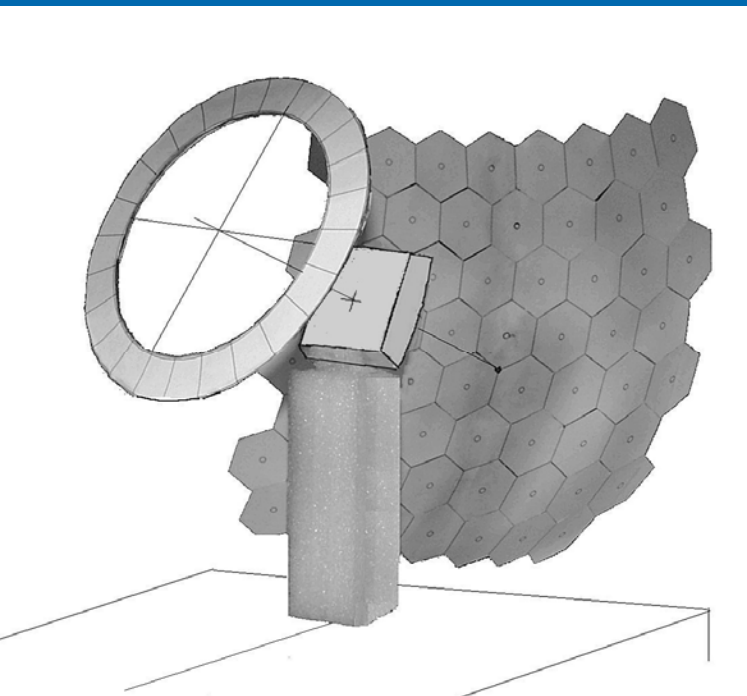
V naší laboratoři byl navržen
optimální tvar korekčního členu,
usnadňující jeho realizaci.



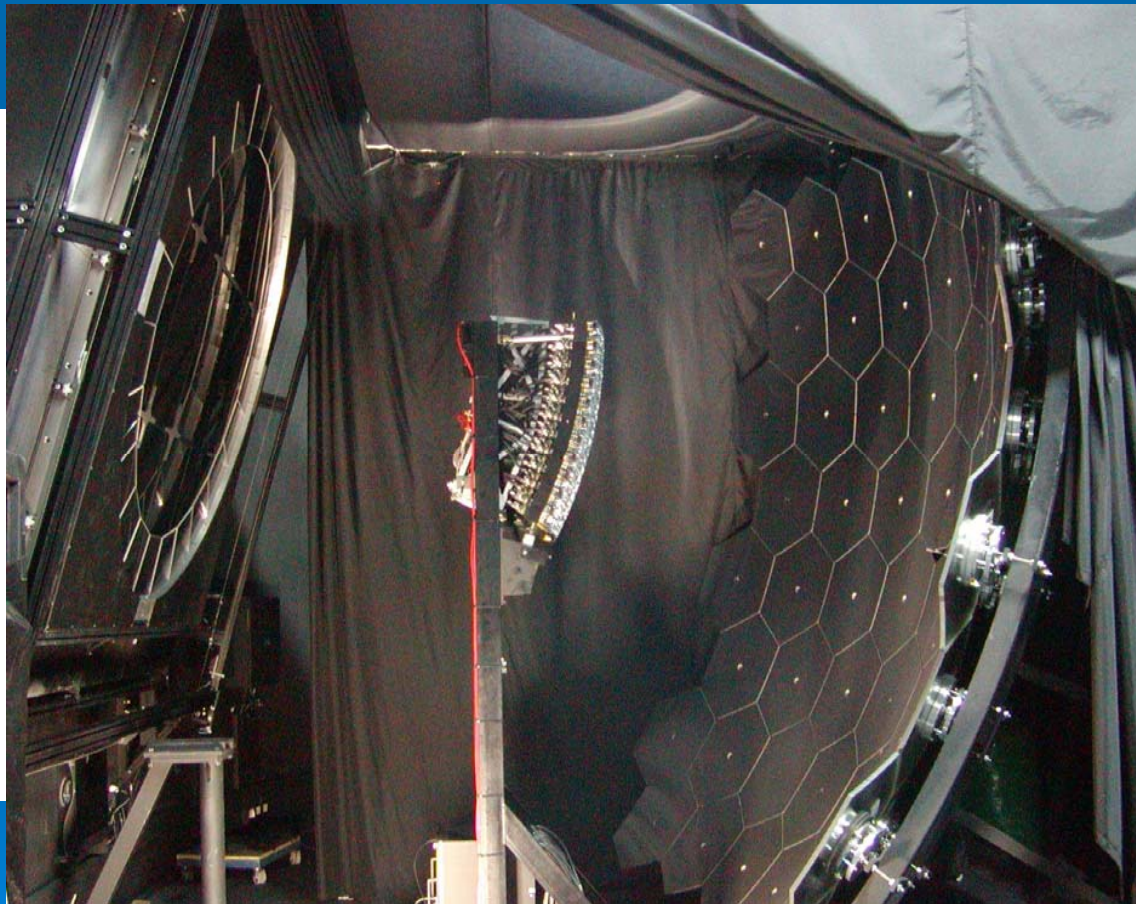
Fluorescenční teleskop (model + realizace)



PIERRE
AUGER
OBSERVATORY



60 hexagonálních zrcadel
(vyráběny v SLO)



Plocha primárního zrcadla
~ 3600 mm x 3600 mm

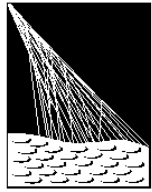
Nepravidelná hexagonální zrcadla pro FD

odrazivost $\sim 90\%$

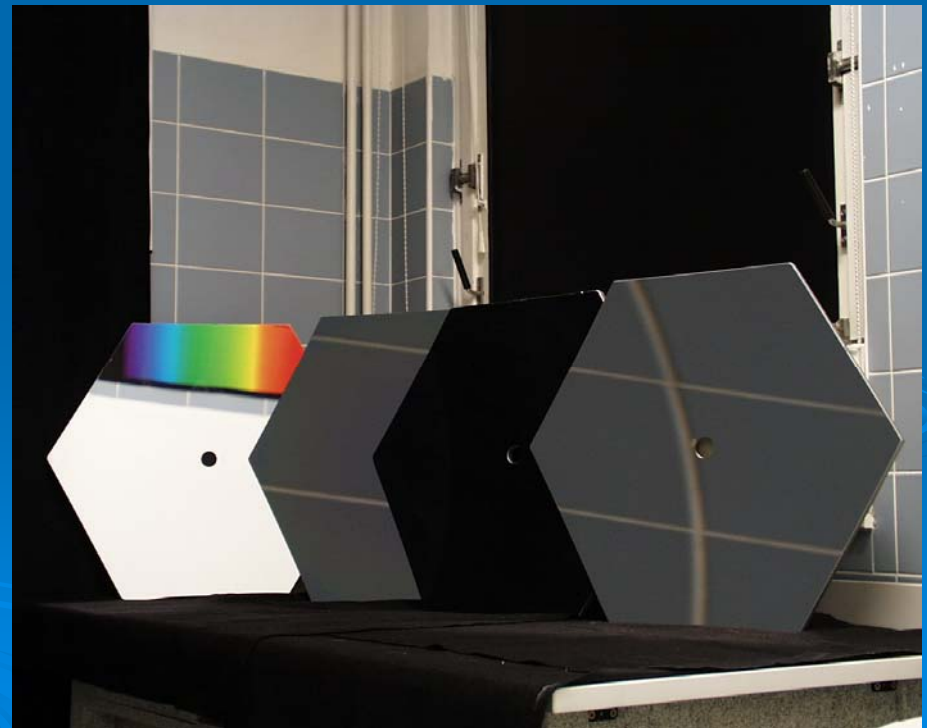
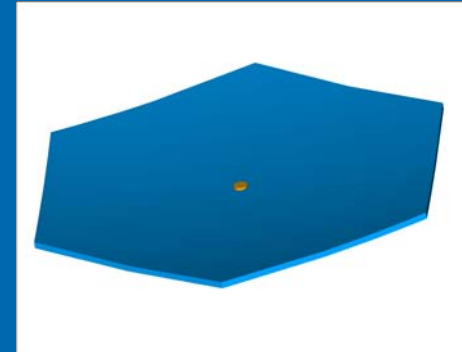
poloměr křivosti zrcadla $R = 3400\text{ mm}$;

průměr opsané kružnice $\sim 600\text{ mm}$;

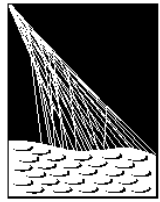
tloušťka $\sim 15\text{ mm}$



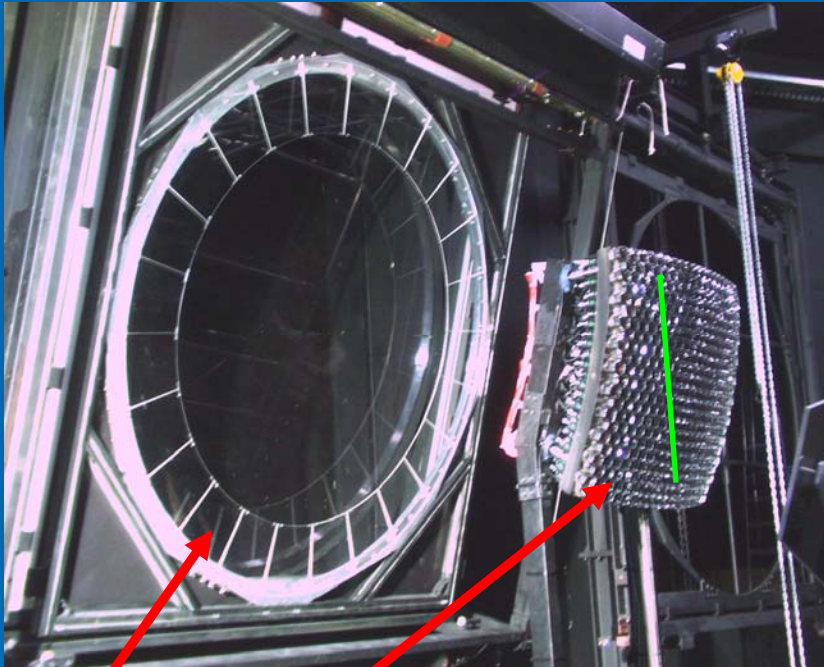
PIERRE
AUGER
OBSERVATORY



Zobrazení fluorescenčního záblesku

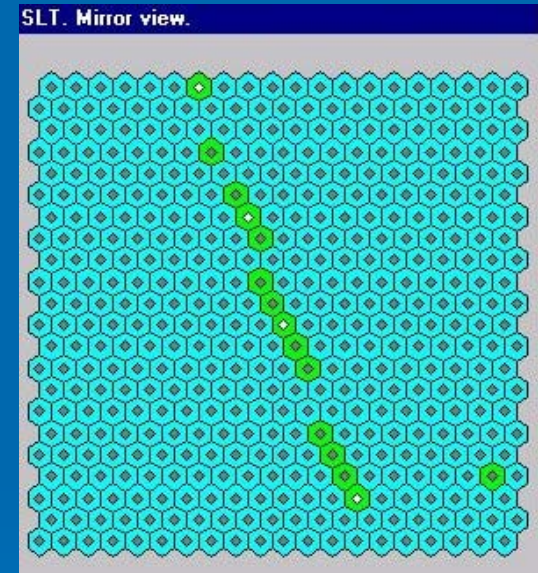


PIERRE
AUGER
OBSERVATORY

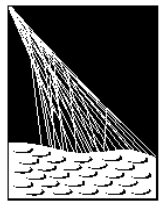


Korekční
prstenec 24
segmentů

Kamera - matice 440 PMT



Obraz „spršky“ na kameře



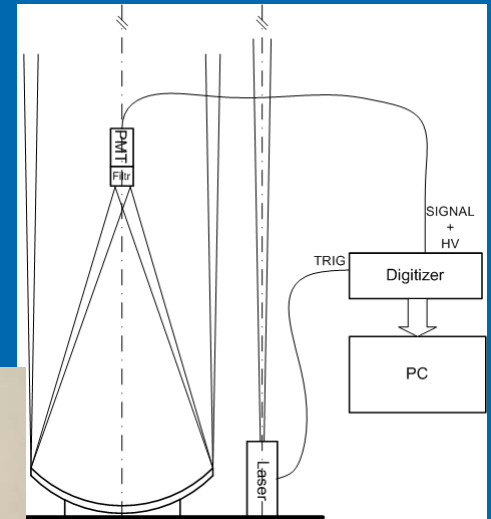
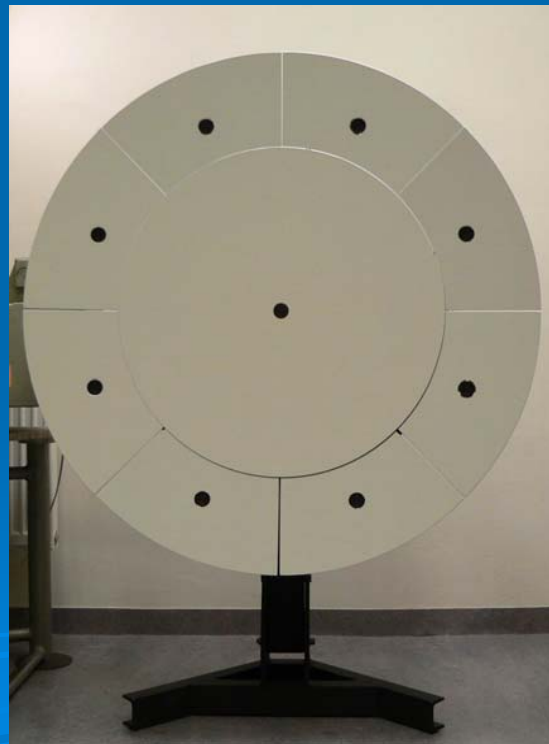
PIERRE
AUGER
OBSERVATORY

Monitorování atmosféry - Lidar

Sledování útlumu fluorescenčního záření pomocí měření pružného rozptylu na částicích atmosféry.



Původní lidar se sadou menších zrcadel.



Lidarové segmentované zrcadlo nově navržené v SLO

Průměr 1000 mm;

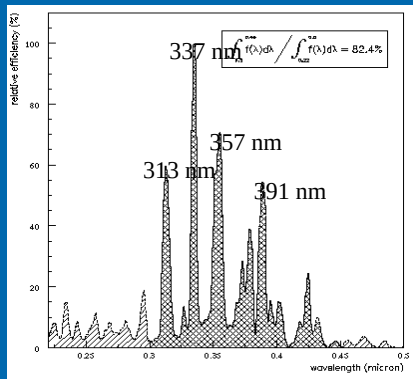
$f' = 1100$ mm



Laboratorní simulace atmosférické fluorescence

Projekt **AIRFLY** (doprovodný projekt AUGER observatoře)

Fluorescence atmosférického dusíku.



Studium podrobné závislosti na tlaku, teplotě, vlhkosti, stanovení absolutního fluorescenčního zisku aj. pomocí částicového svazku generovaného urychlovačem ve Frascati (Itálie).



L.Nožka, P.Schovánek, M.Palatka

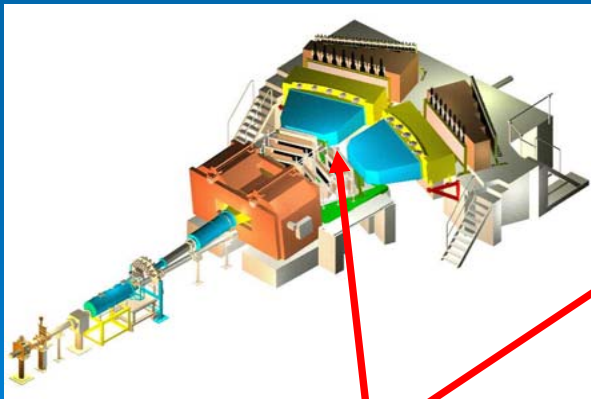
Zrcadla pro CERN

měření doby života pionových atomů

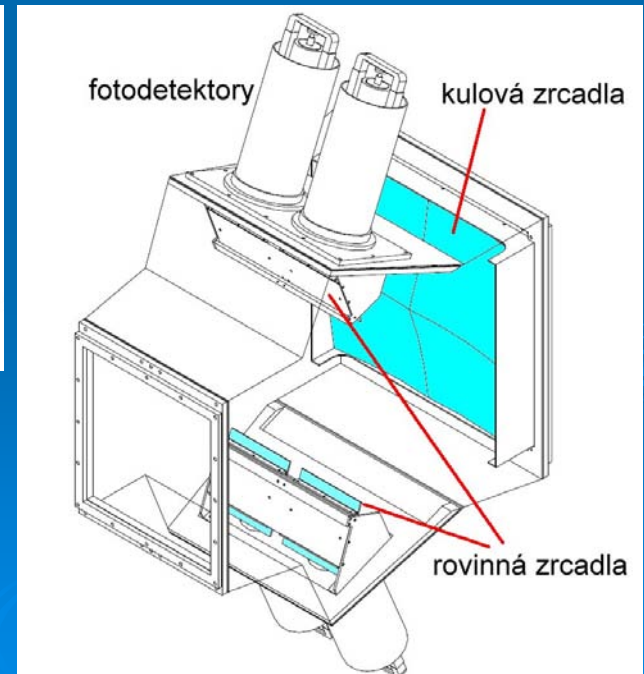
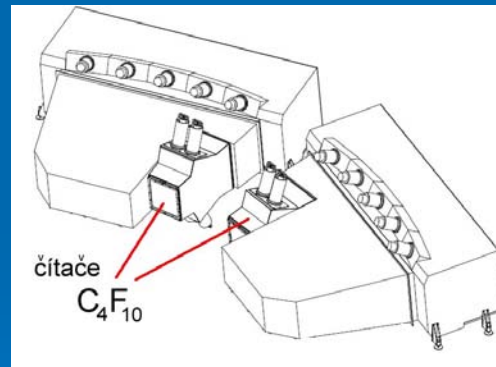
Součástí spektrometru DIRAC v CERNu jsou čerenkovské detektory. Jejich součástí jsou také 4 členné zrcadlové členy, fokusující vygenerované záření na fotodetektor.

Zrcadla byla navržena a vyrobena ve SLO.

DIRAC II



Čerenkovské
detektory



Blízká budoucnost

View of the ATLAS detector (under construction)

150 million sensors deliver data ...

... 40 million times per second



ATLAS Detector Under construction
October 2005

