



Přírodovědecká fakulta
Univerzity Palackého

Optické zobrazování

OPT/OZ ZS 2/1

Studijní obory:

Optika a optoelektronika

Digitální a přístrojová optika

Zdeněk Bouchal

Obsah přednášek

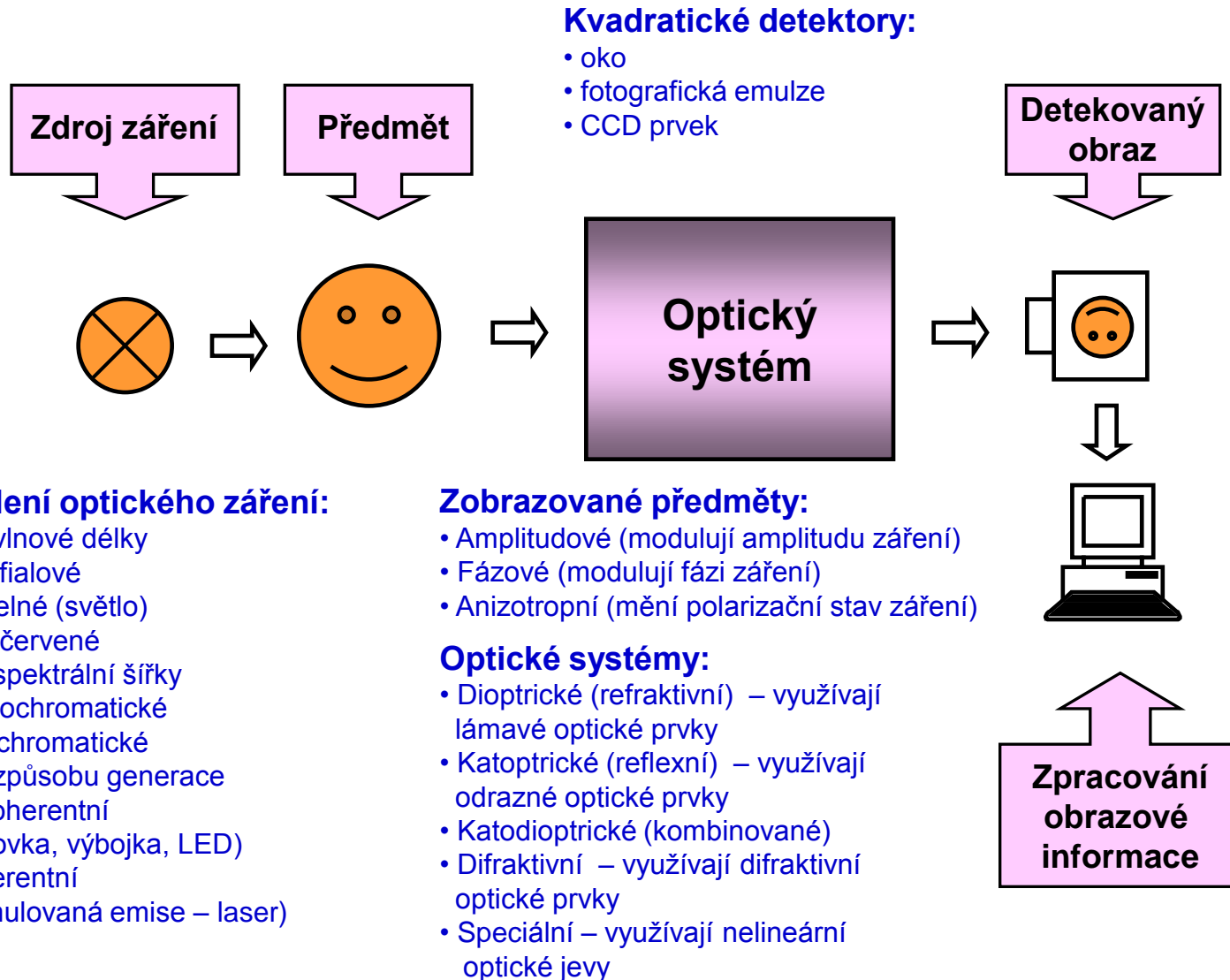
- Př. 1: Matematické, fyzikální a technické aspekty optického zobrazování.
- Př. 2: Bodové zobrazování v přístupu Fraunhoferovy teorie difrakce.
- Př. 3: Analýza vlivu rozostření u fyzikálně dokonalého systému.
- Př. 4: Optické zobrazování při použití apodizace (centrální clonění a gaussovská apodizace).
- Př. 5: Bodové zobrazování systémem s optickými vadami, chromatické vady a jejich korekce.
- Př. 6: Klasifikace a výpočet vlnových vad.
- Př. 7: Kriteria pro hodnocení bodového zobrazování.
- Př. 8: Analýza optimálního zaostření pomocí Strehlova kriteria.
- Př. 9: Zobrazování při částečně koherentním osvětlení.
- Př. 10: Samozobrazování (Talbotův jev) (OSLO, MATLAB – simulace Talbotova jevu v částečně koherentním světle).
- Př. 11: Optická funkce přenosu, výpočet pro koherentní osvětlení.
- Př. 12: Optická funkce přenosu pro nekoherentní osvětlení.
- Př. 13: Praktické použití optické funkce přenosu.

Literatura :

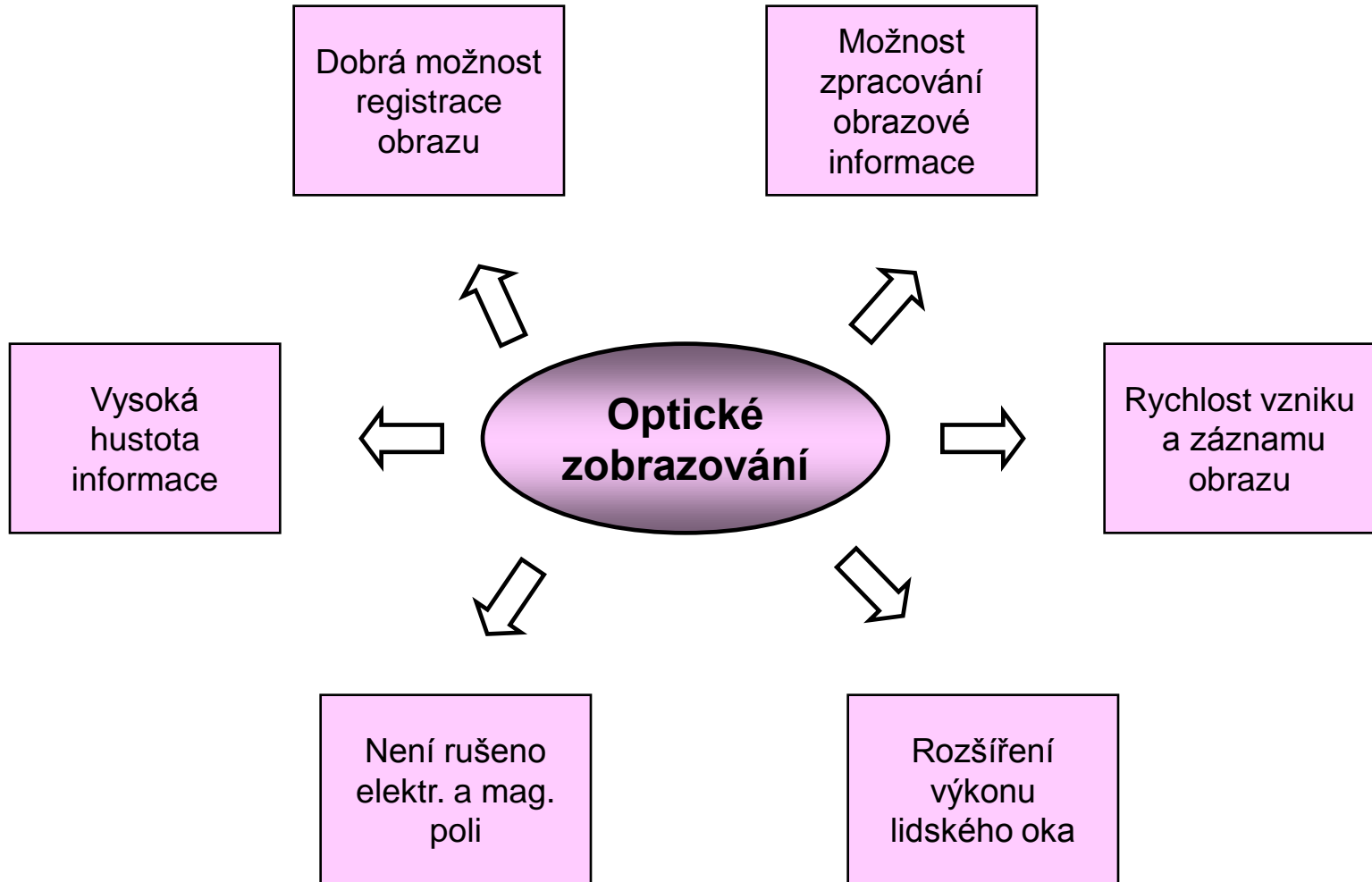
- [1] A. Baudyš, Technická optika, ČVUT Praha, 1989 (skriptum).
- [2] B.E.A. Saleh, M.C. Teich, Fundamentals of Photonics, J. Wiley & Sons, NY, 1991
(český překlad: Základy fotoniky 1.- 4. díl, vyd. Mat. fyz. fakulta UK Praha, 1994-1996).
- [3] M. Born, E. Wolf, Principles of Optics, Pergamon Press, Oxford, 1980.
- [4] C. Scott, Introduction to Optics and Optical Imaging, IEEE Press, 1994.
- [5] F.T.S. Yu, I.C. Khoo, Principles of Optical Engineering, J. Wiley & Sons, 1990.

České knihy z optiky a optického zobrazování volně dostupné na: <https://www.opto.cz/knihy/>

Zobrazovací řetězec



Výhody optického zobrazování



Aspekty optického zobrazování

MATEMATICKÝ:

- Kolineární zobrazování - lineární lomená funkce.
- Paprskové zobrazování - trasovací algoritmy.
- Vlnového zobrazování - využití Fourierovy transformace.

Aspekty OZ

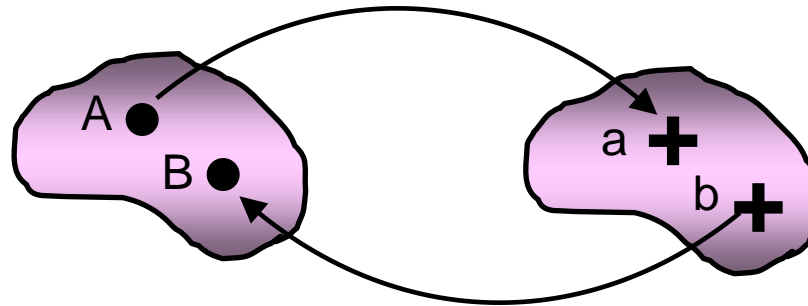
FYZIKÁLNÍ:

- Fyzikální metody realizace zobrazovací transformace.
- Paprsková a vlnová teorie vzniku obrazu.
 - Metody hodnocení kvality zobrazení.

TECHNICKÝ:

- Návrh parametrů optických systémů.
 - Toleranční analýza.
- Výroba, montáž a justáž optických systémů.
- Kontrola parametrů a stanovení technických podmínek.

Kolineární zobrazování



Podmínky ideálního (kolineárního) zobrazování:

- **Vzájemná jednoznačnost přiřazení**
(porušení omezuje rozlišovací schopnost optických systémů).
- **Podobnost geometrických tvarů**
(porušení způsobuje zkreslení obrazu).

Předmět: $A(X,Y,Z)$

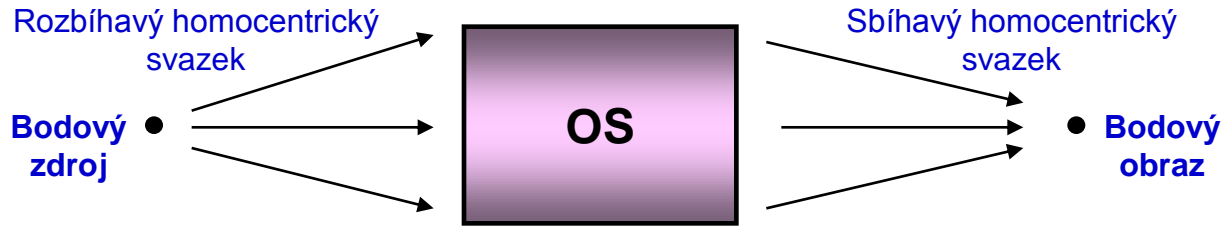
Obraz: $a(x,y,z)$

Přiřazení lineární lomenou funkcí:

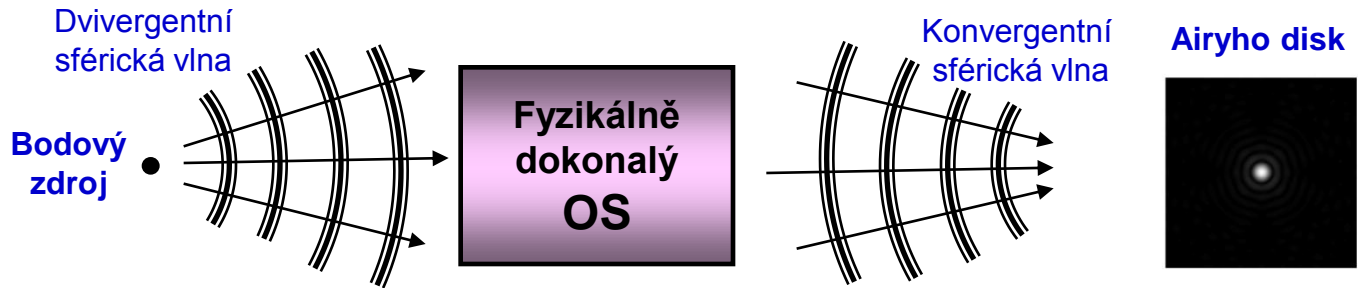
$$x = G_1/G_0 \quad y = G_2/G_0 \quad z = G_3/G_0, \quad G_j = P_j X + Q_j Y + R_j Z + S_j$$

$$X = g_1/g_0 \quad Y = g_2/g_0 \quad Z = g_3/g_0, \quad g_j = p_j x + q_j y + r_j z + s_j$$

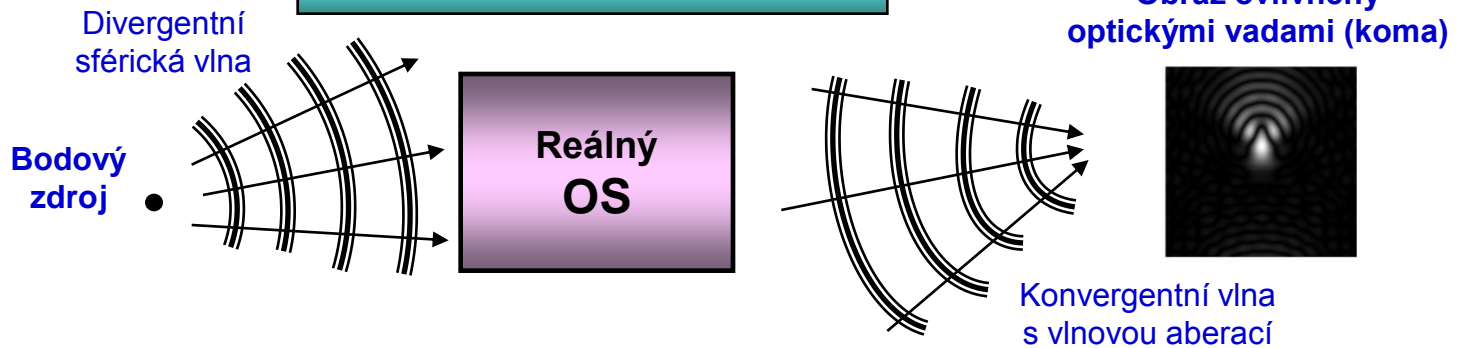
Ideální zobrazování (paprsková optika)



Difrakčně omezené zobrazování (vlnová optika)



Reálné zobrazování



Jevy využitelné pro optické zobrazování

JEVY GEOMETRICKÉ OPTIKY

Refrakce na rozhraní dielektrik.
Reflexe.
Refrakce v nehomogenních
prostředích.



Metody realizace
zobrazovací
transformace



JEVY VLNOVÉ OPTIKY

Difrakce na periodické struktury.
Anizotropní transformace
geometrické fáze



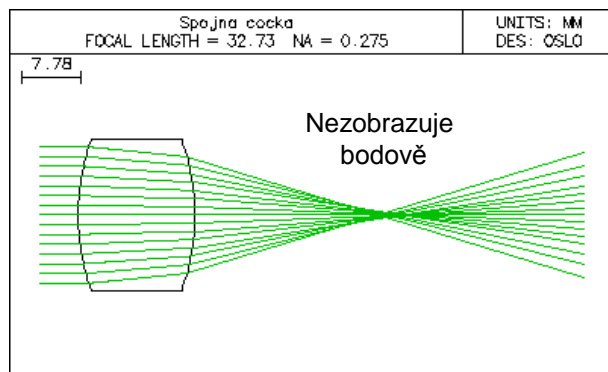
JEVY NELINEÁRNÍ OPTIKY

Optická fázová konjugace.

Geometricko optické zobrazování

Spojná čočka se sférickými plochami

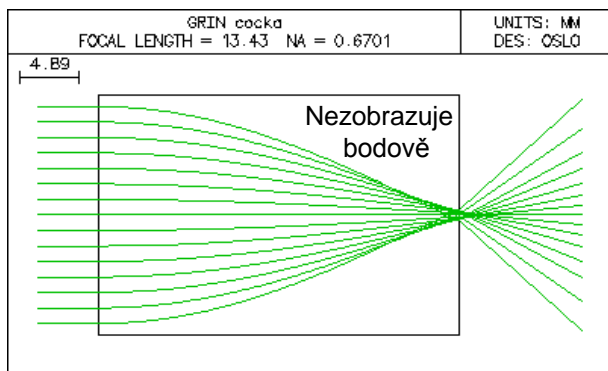
Požadovaný rozdíl optických drah jednotlivých paprsků je dosažen zakřivením rozhraní, která oddělují sklo čočky od okolního prostředí.



Zobrazení je založeno na transformaci paprsků lomem nebo odrazem. Lom může být realizován na rozhraní dvou dielektrických prostředí se skokovou změnou Indexu lomu (běžná čočka se sférickými plochami) nebo průchodem paprsků nehomogenním prostředím se spojitou změnou indexu lomu (např. gradientní nebo Luneburgova čočka).

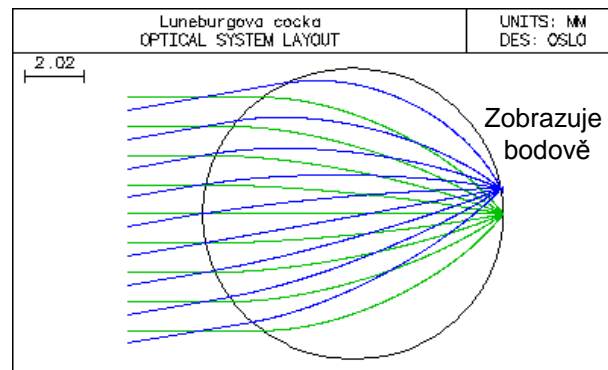
Gradientní čočka

Čočka je vyrobena z nehomogenního materiálu - index lomu je nejvyšší na ose a se vzdáleností od osy klesá. Okrajové paprsky postupují rychleji než osové, takže rovinná vlnoplocha se zakřivuje a paprsky jsou fokusovány.



Luneburgova čočka

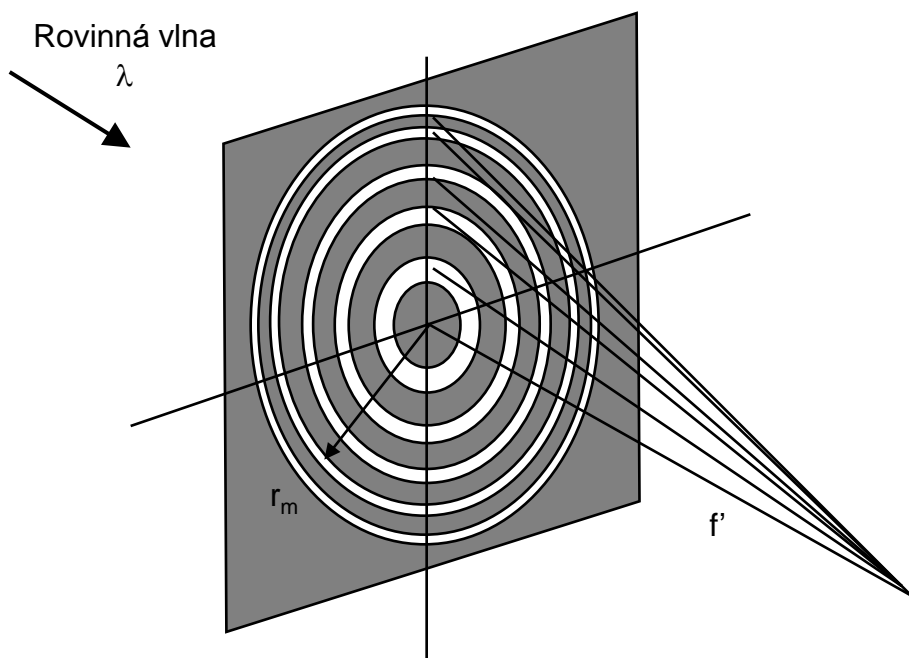
Index lomu čočky má sférickou symetrii. Paprsky jsou zakřivené a sbíhají se v jednom bodě – čočka nevykazuje optické vady.



Difraktivní optické zobrazování

Při difrakčním zobrazování se využívá difrakce na periodické struktuře, kterou může být například systém mezikruhových štěrbin. Při vhodně zvolených poloměrech štěrbin difraktované světlo v ohniskovém (obrazovém) bodu konstruktivně interferuje a vytváří výraznou světelnou stopu reprezentující obraz bodu.

Fresnelova zonální destička



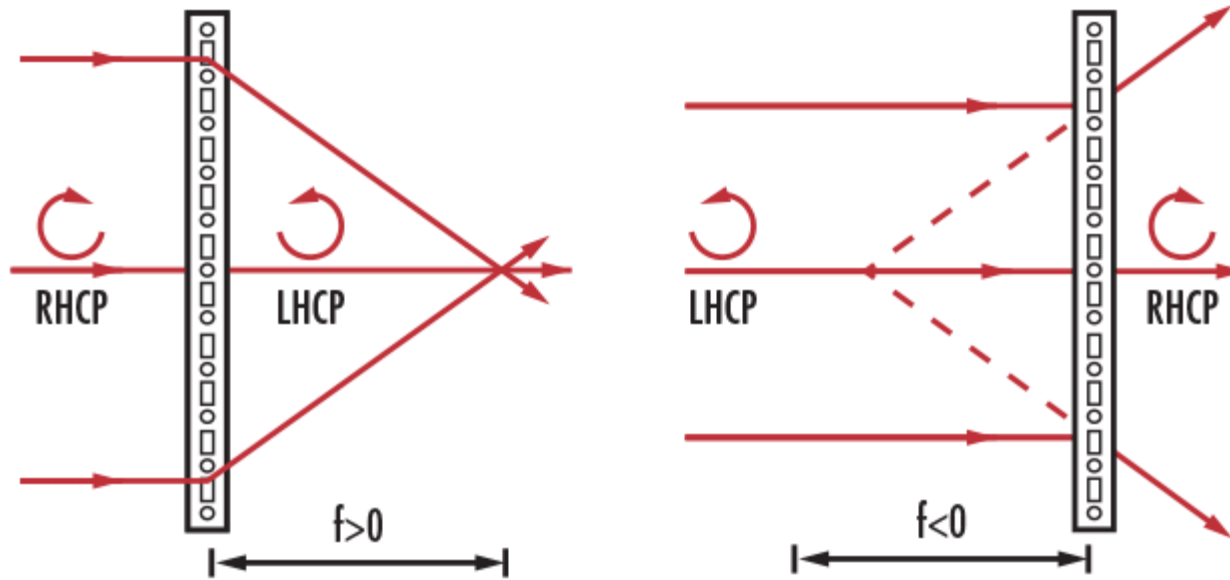
Poloměry štěrbin

$$r_m = \sqrt{m^2 \lambda^2 + 2mf' \lambda}$$

Geometricko-fázové optické zobrazování

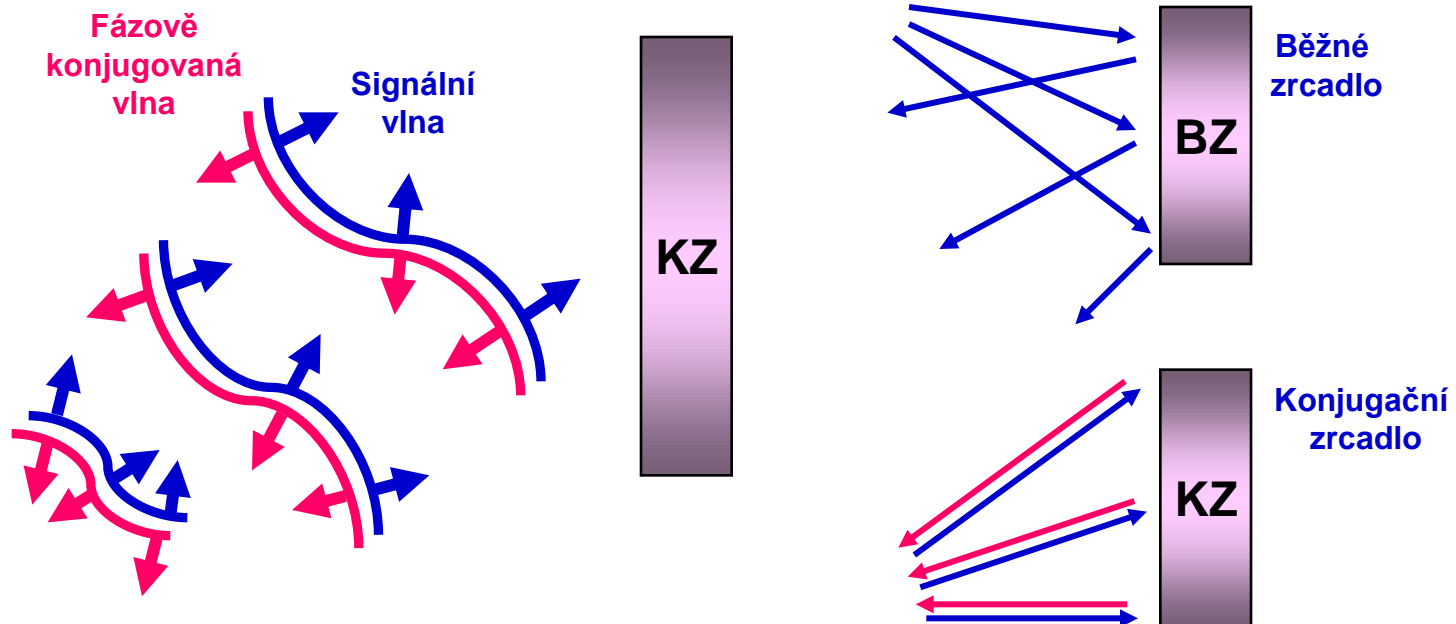
Při transformaci pravotočivé kruhové polarizace na levotočivou a naopak dochází ke změně geometrické fáze, jejíž velikost lze ovládat směrem osy anizotropie. Pokud se nastavení osy anizotropie mění v jednotlivých bodech roviny (x,y), pak se v těchto bodech taky různě (a ovladatelně) mění geometrická fáze. To dává možnost tvarování vlnoplochy pomocí tenkých optických prvků.

Tenká polarizačně směrovaná čočka



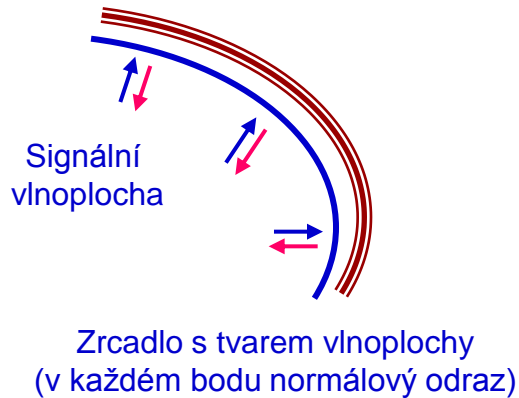
Bezčočkové optické zobrazování

Bezčočkové optické zobrazování využívá **optické fázové konjugace (OFK)**. OFK představuje proces, při kterém je dané **signální vlně** přiřazena tzv. **fázově konjugovaná vlna**, jejíž fáze je určena komplexním sdružením fáze vlny signální. Tomuto stavu odpovídá časová reverze - konjugovaná vlna je „historií“ vlny signální. To odpovídá situaci, kdy konjugovaná vlna retrasuje optickou dráhu vlny signální. Zařízení, ve kterém k fázové konjugaci dochází se nazývá **konjugační zrcadlo (KZ)**.

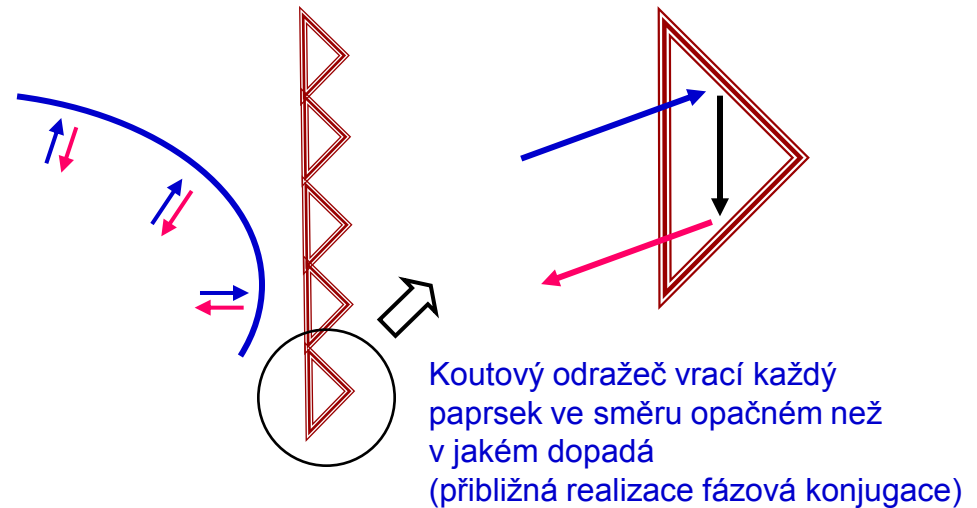


Realizace konjugačního zrcadla

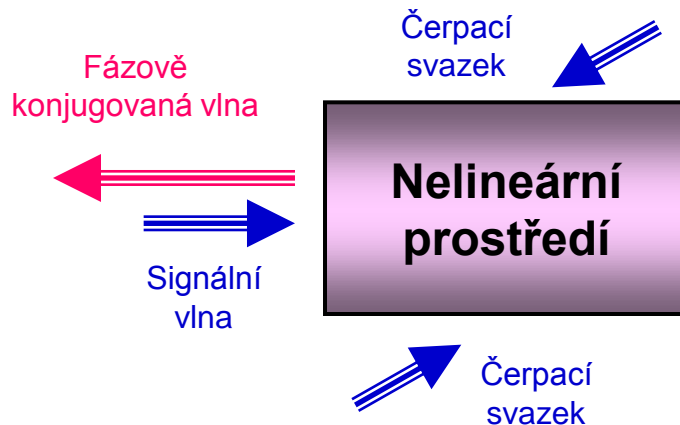
Hypotetická metoda



Matice koutových odražečů



Nelineární optika (čtyřvlnové směšování)



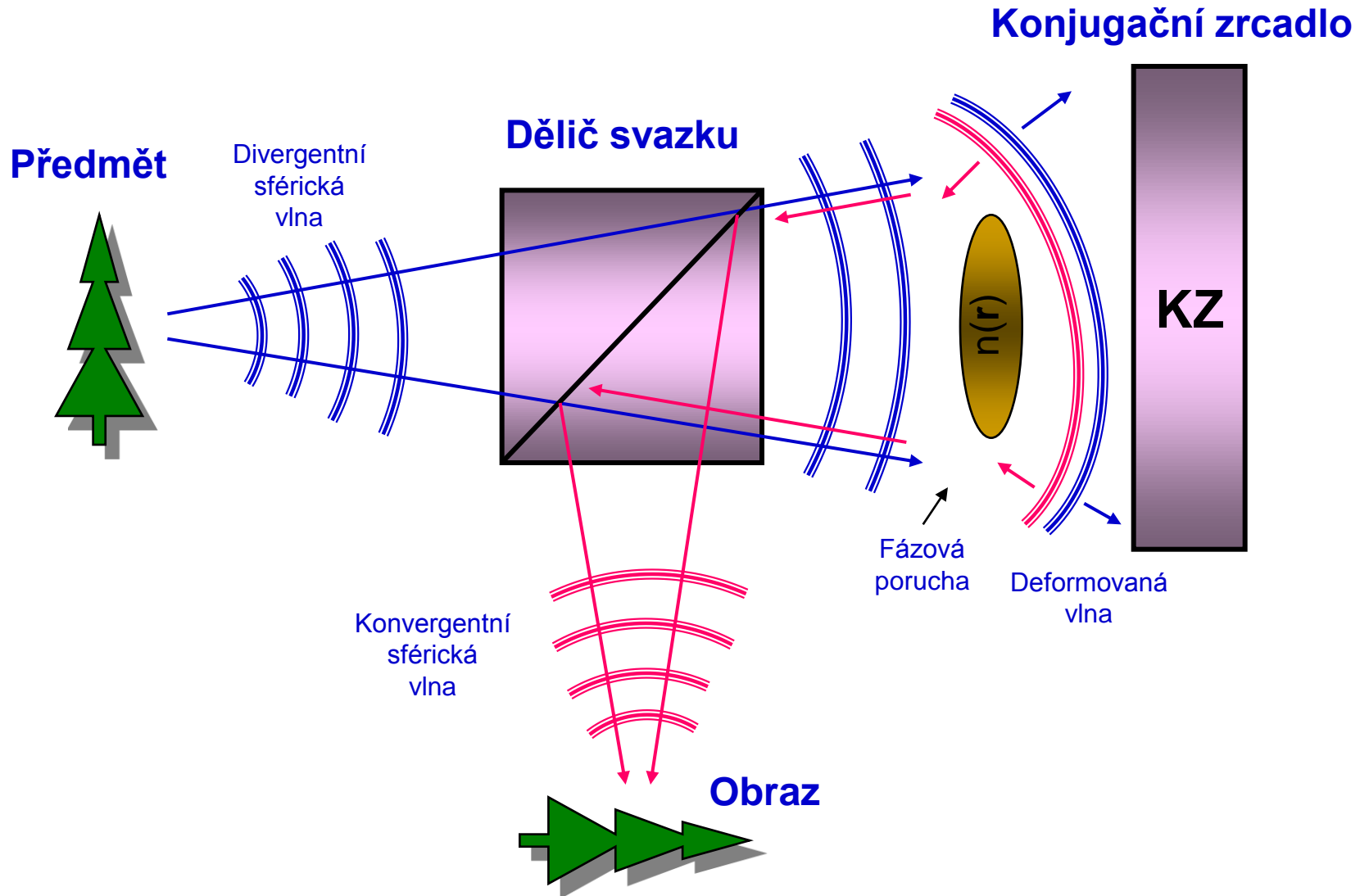
Prostředí s nelinearitou 3. řádu (kerrovské prostředí typu CS_2 , fotorefraktivní krystaly BaTiO_3 nebo BGO) je čerpáno silnými protiběžnými laserovými svazky a současně exponováno signální vlnou. Nelineární interakcí těchto vln vzniká fázově konjugovaná replika signální vlny. Interakce probíhá s téměř okamžitou odezvou a je efektivní jsou-li sladěny frekvence všech vln. V tomto případě je možný režim zesílení (konjugovaná vlna má větší intenzitu než signální).

Kompenzace fázových poruch

Vlastnosti fázově konjugované vlny umožňují odstranění poruch její vlnoplochy dvojnásobným průchodem přes prostředí, které poruchy způsobuje. Tato vlastnost se dá využít pro realizaci bezčočkového zobrazování nebo pro adaptivní navigaci laserového svazku na pohyblivý cíl.



Schéma bezčočkového zobrazování



Prvky pro geometricko optické zobrazování

NORMÁLNÍ PRVKY

- Centrované sférické čočky.
- Centrovaná sférická zrcadla.

SPECIÁLNÍ PRVKY

- Asférické čočky.
- Asférická zrcadla.

NEHOMOGENNÍ PRVKY

- Gradientní čočky

Geometricko optické zobrazování

NECENTRICKÉ PRVKY

- Válcové čočky.
- Torické čočky.

PRVKY S NESPOJITÝMI PLOCHAMI

- Fresnelovy čočky.
- Voštinové čočky.

Prvky pro vlnové zobrazování

Holografické prvky

Počítačem generované
hologramy

Vlnové
zobrazování

Binární difrakční
prvky

Kinoformové prvky

