

# LASEROVÉ SVAZKY PRO OPTICKÉ MANIPULACE



*Katedra optiky, PřF UP  
17. Listopadu 50, 772 07 Olomouc*

*Řešitelé grantu MPO:*

Z. Bouchal, Z. Hradil, J. Řeháček, J. Wagner, I. Vyšín

*PGS studenti :*

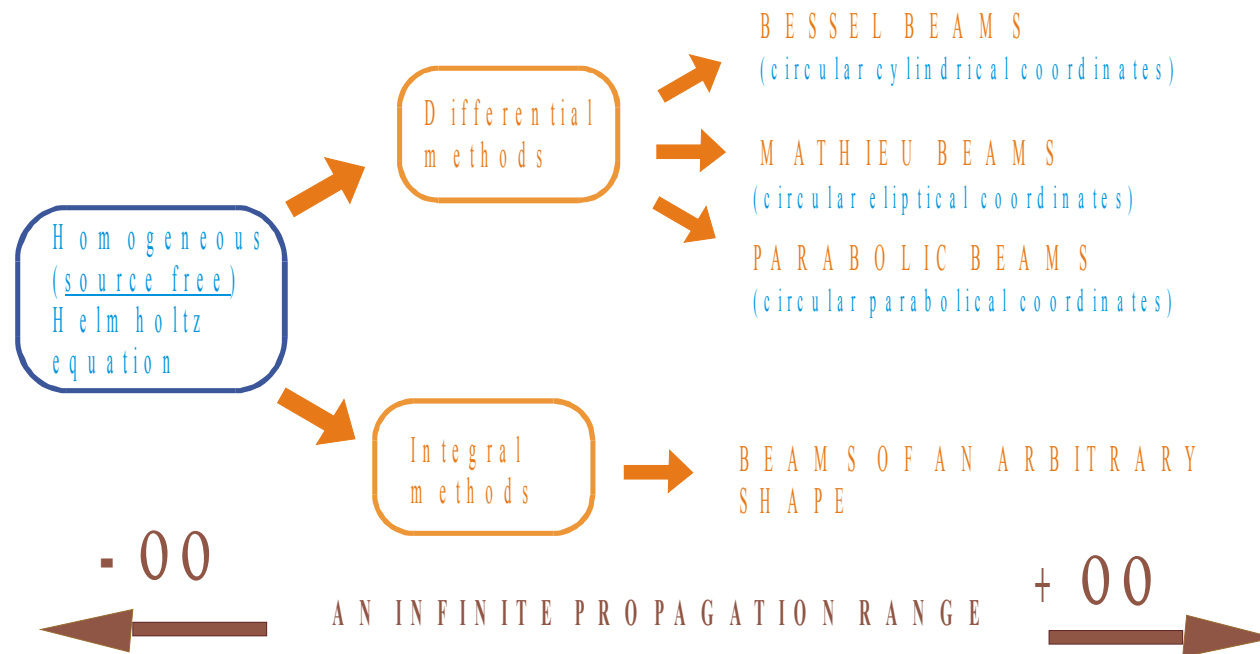
R. Čelechovský, M. Ježek, V. Kollárová, T. Medřík

## Zkoumané typy svazků:

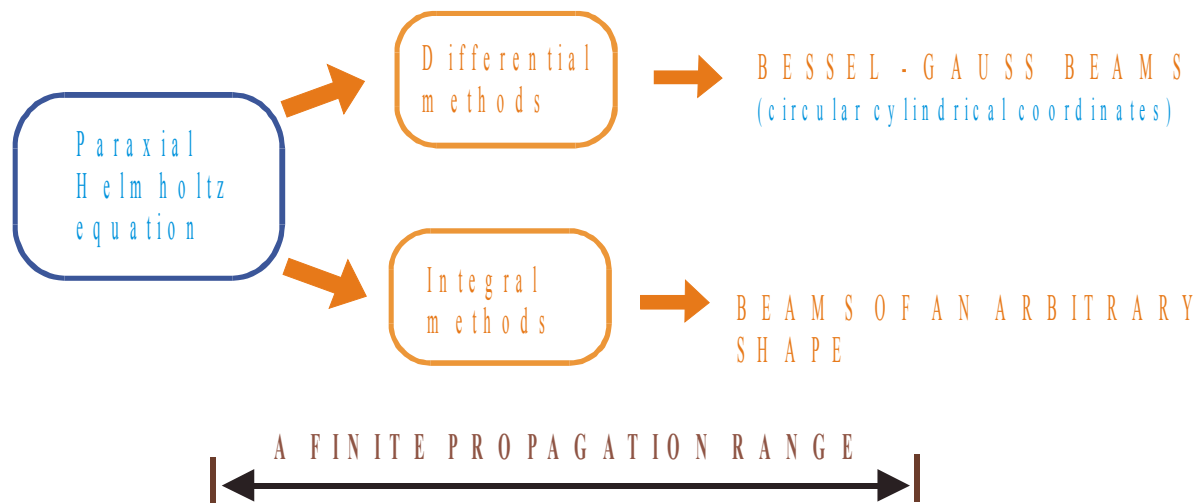
- *Nedifrakční svazky* (vedení částic, akcelpace elektronů)
- *Maticе svazků* (2D zachycení částic)
- *Samozobrazení* (3D zachycení částic)
- *Vírové svazky* (rotace částic)
- *Smíšená vírová pole* (ovladatelná rotace částic)

# I. NEDIFRAKČNÍ SVAZKY

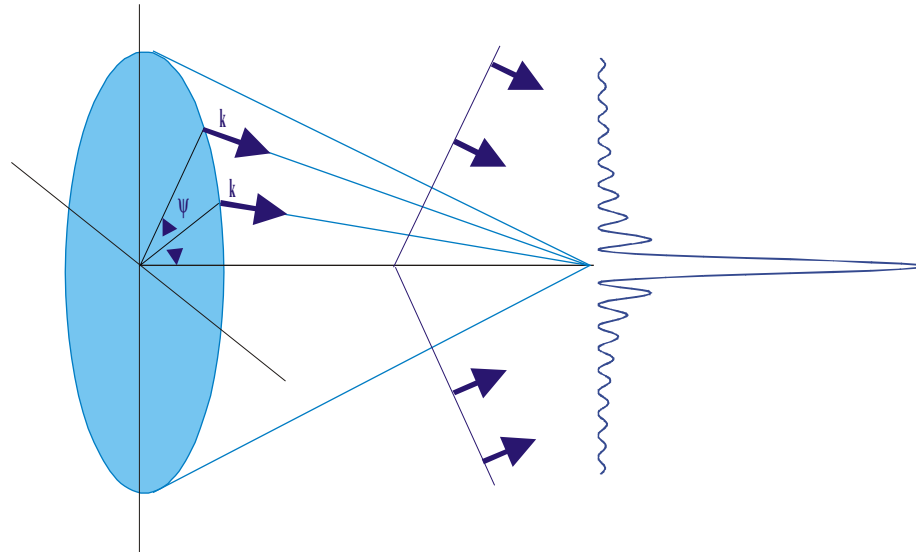
## Ideální svazky



# Realizovatelné (pseudo-nedifrakční) svazky



# Geometrická představa nedifrakčních svazků



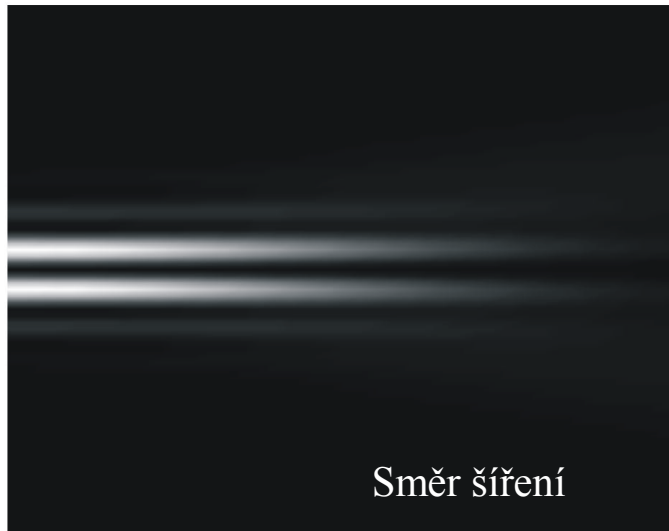
**Interpretace:** Nedifrakční svazek je superpozicí rovinných vln jejichž vlnové vektory tvoří kuželovou plochu.

**Důsledek:** Amplitudy a relativní fáze mohou být libovolné. Existuje **nekonečný počet** nedifrakčních svazků

# Vlastnosti pseudo-nedifrakčních svazků (nedosažitelné u konvenčních svazků)

## I. Ovladatelný dosah svazku.

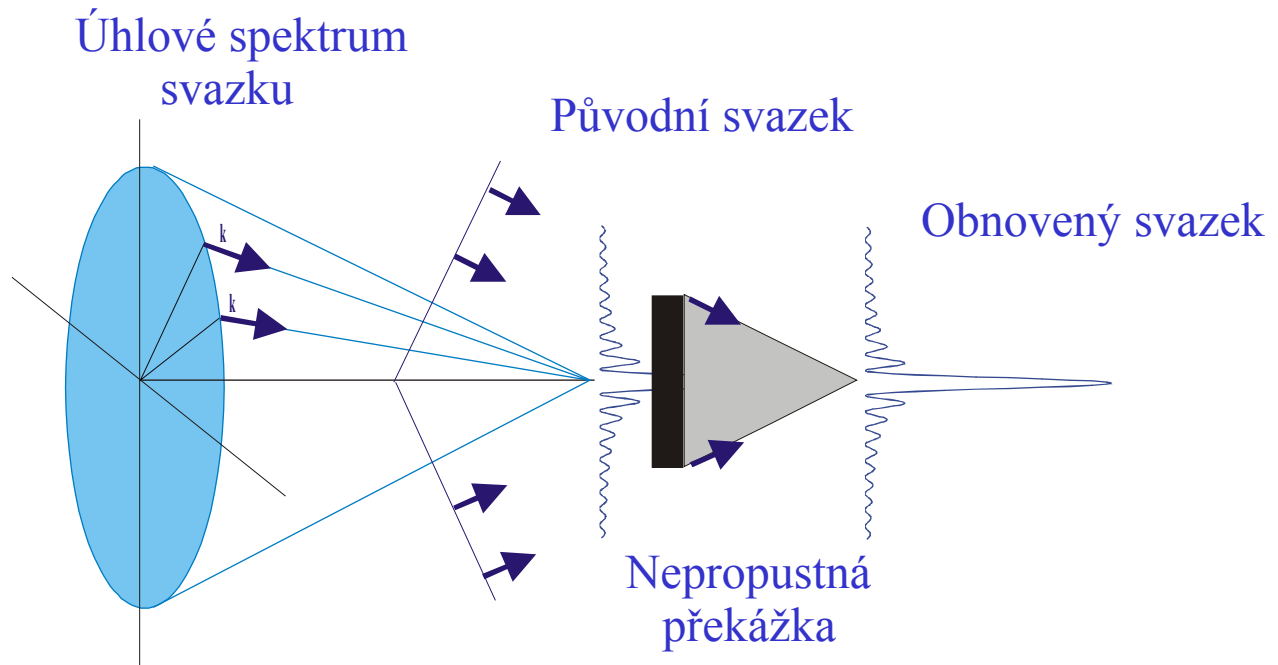
Dosah svazku může být prodloužen bez zvětšení stopy svazku



**„Dosah“ svazku lze měnit geometrií experimentu**

## II. Stabilita svazku

Pseudo-nedifrakční svazek je odolný proti amplitudovým a fázovým poruchám. Za překážkou se svazek samovolně obnoví do původního tvaru.



## II. Energetika svazku

Hustota toku elektromagnetické energie (Poyntingův vektor):

$$\mathbf{S} = \mathbf{S}_T + \mathbf{S}_Z,$$

$$\mathbf{S}_T \cdot \mathbf{Z} = 0,$$

$$\mathbf{S}_T \times \mathbf{Z} = 0.$$

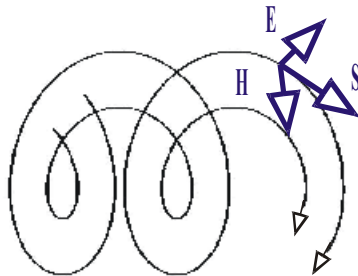
Energetická podmínka nedifrakčního šíření světla:

$$\operatorname{div} \mathbf{S}_T = 0$$

$\Rightarrow$  Hladiny konstantního příčného toku jsou uzavřené

$\Rightarrow$  Je přípustný spirální tok elmag. energie

trajektorie toku elektromagnetické energie  
(světelné paprsky)

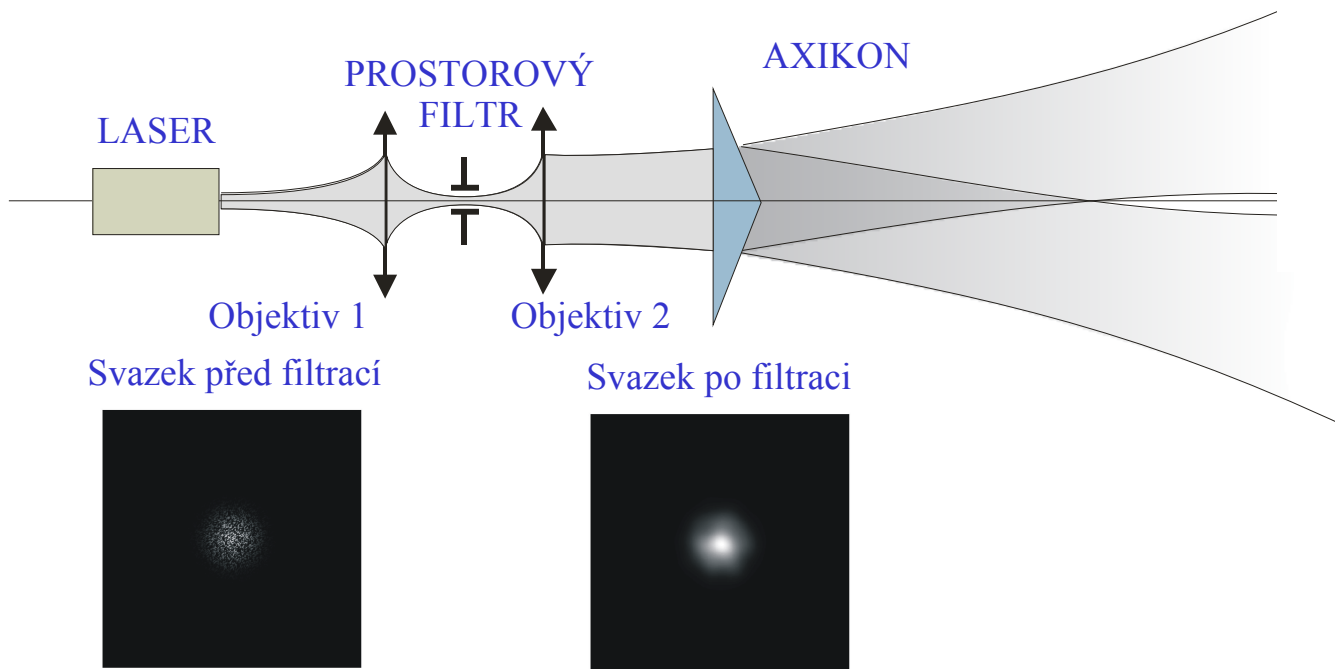


E ..... elektrická intenzita  
H ..... magnetická intenzita  
S ..... tok elektromagnetické  
energie

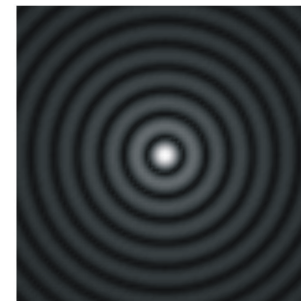


# EXPERIMENTÁLNÍ REALIZACE NEDIFRAKČNÍCH SVAZKŮ

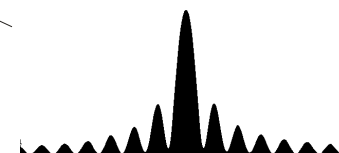
# POUŽITÍ AXIKONU



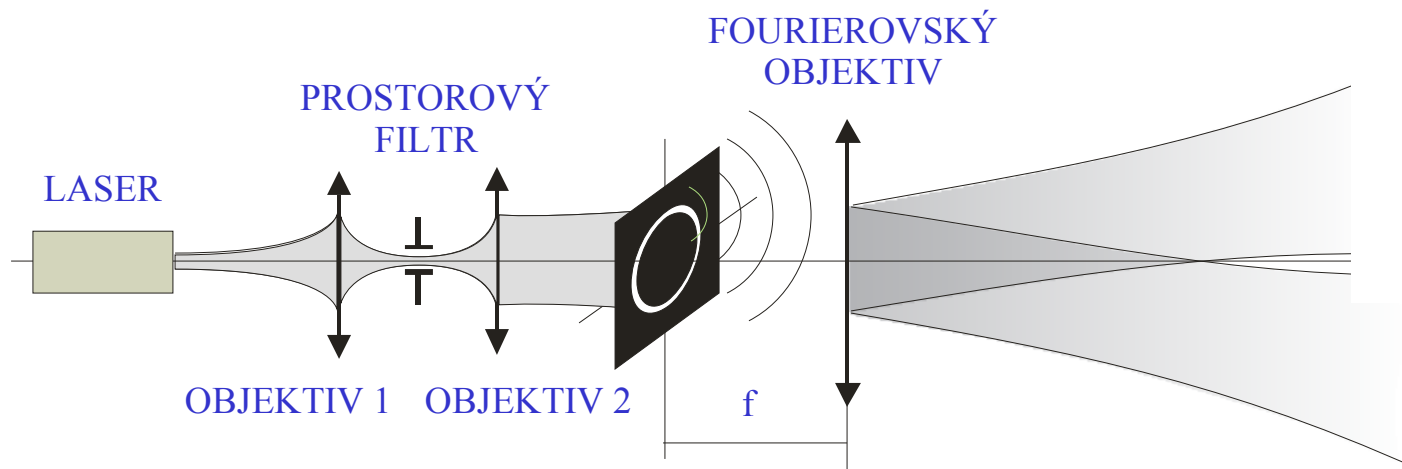
Vytvořený svazek  
simulace



experiment



# POUŽITÍ PRSTENCOVÉHO FILTRU

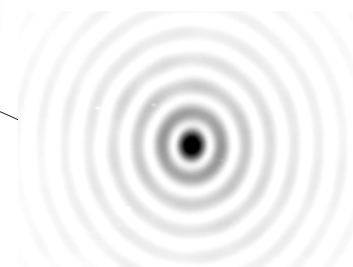


Vytvořený svazek

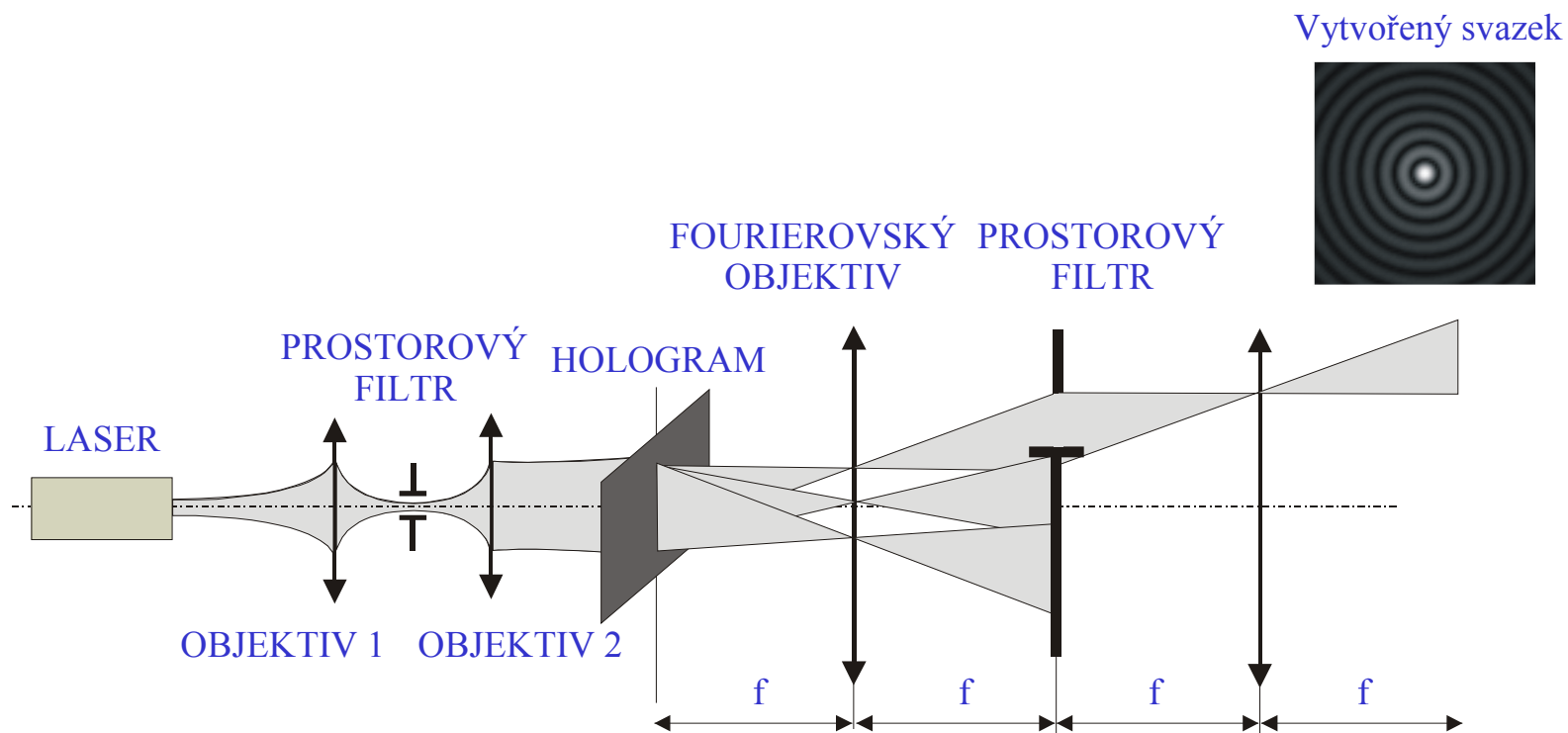
simulace



experiment

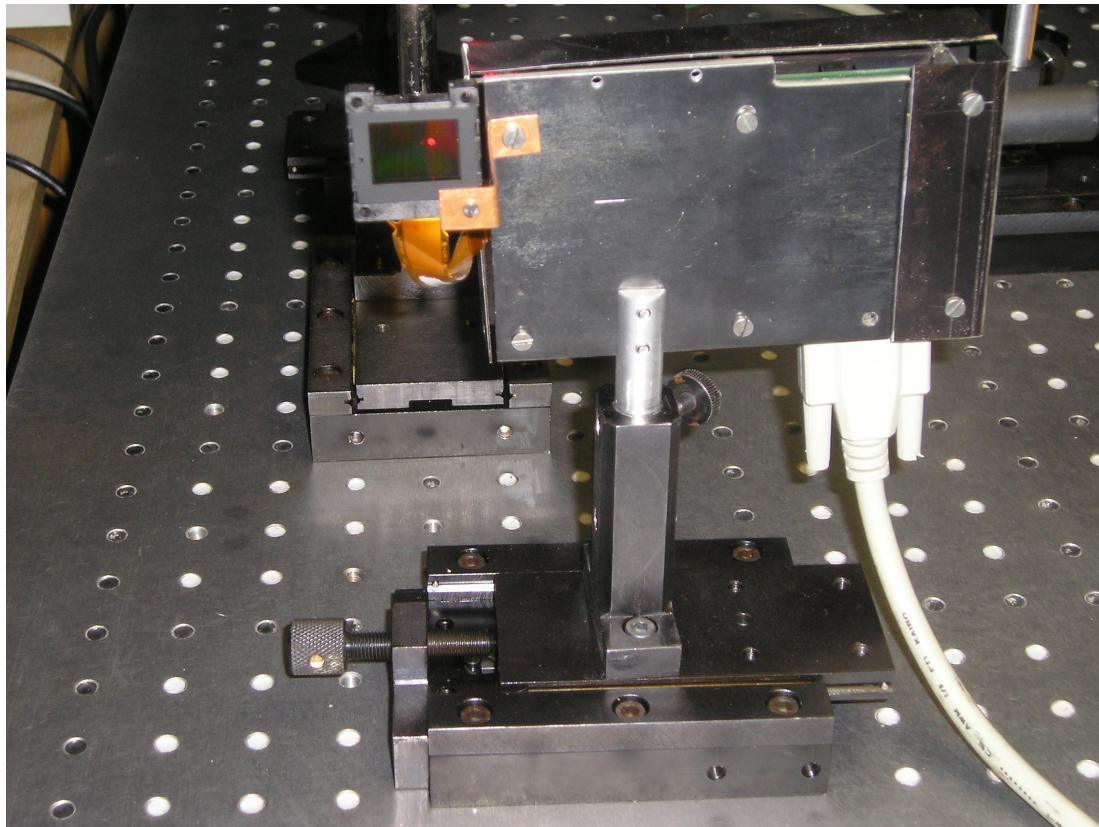


# HOLOGRAFICKÁ METODA

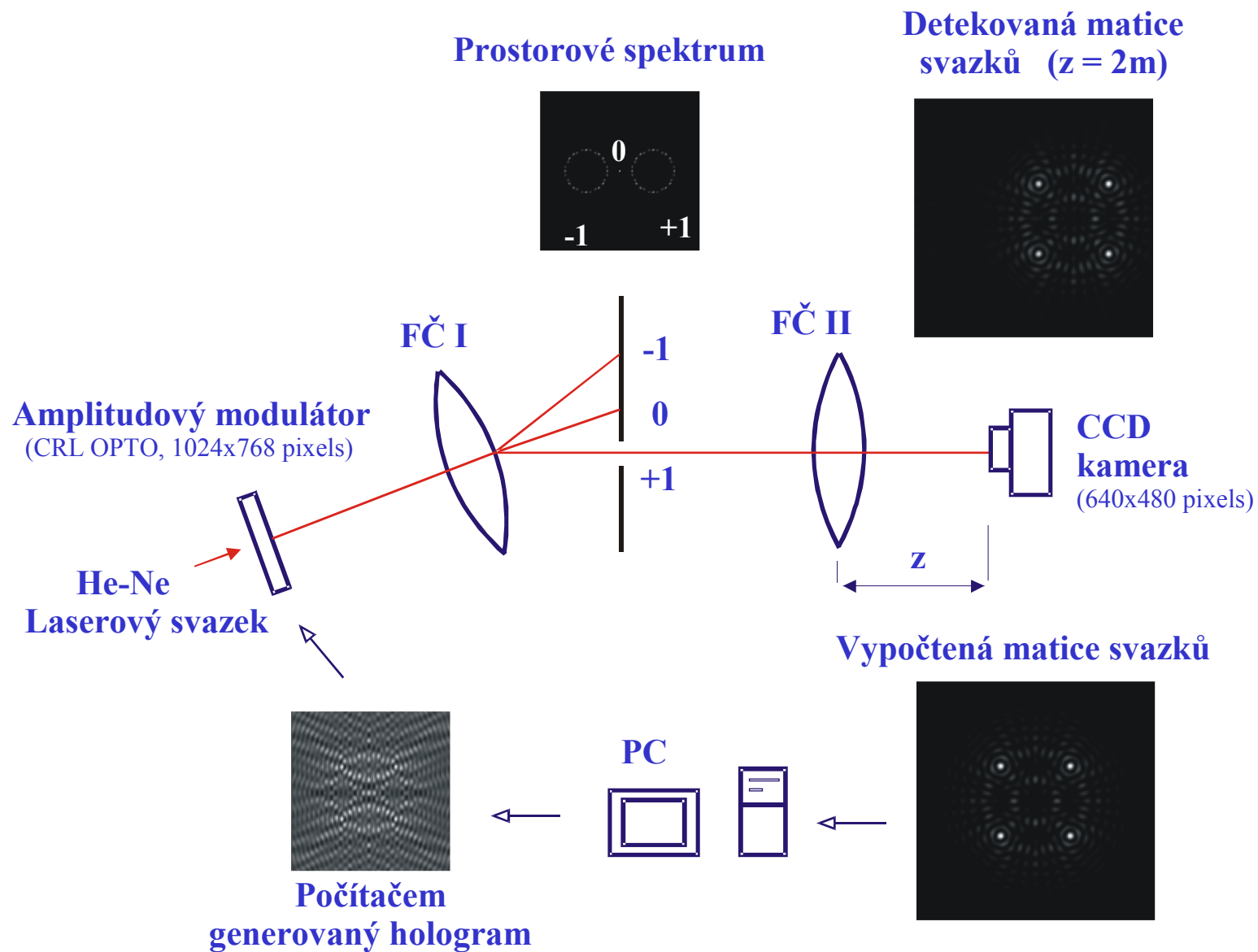


# PROSTOROVÁ MODULACE SVĚTLA

## AMPLITUDOVÝ MODULÁTOR (CRL OPTO 1024x768 pixelů)



# POUŽITÍ AMPLITUDOVÉHO MODULÁTORU



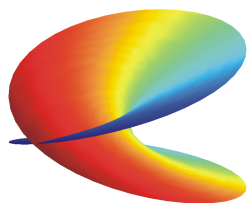
## IV. VÍROVÉ SVAZKY

### Vlastnosti:

1. Šroubovitá vlnoplocha s fázovou singularitou v centru víru (stoupání šroubovice  $m\lambda$ , kde  $m$  je topologický náboj).
4. V centru víru je nulová intenzita (vír je tmavý).
5. Spirální tok elektromagnetické energie.
6. Nenulový orbitální moment hybnosti.

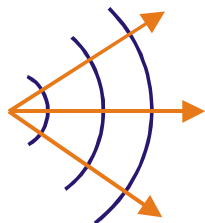
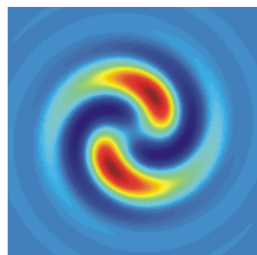
# Zviditelnění světelného víru

## Interference se sférickou vlnou



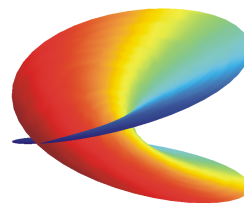
+

=



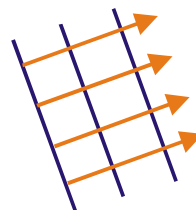
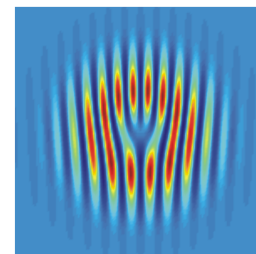
spirální interferenční  
vzor

## Interference s rovinnou vlnou



+

=



vidličkovitý interferenční  
vzor

## Trojice vírů nesená Gaussovským svazkem





# **EXPERIMENTÁLNÍ REALIZACE VÍROVÝCH SVAZKŮ:**

- **Prostorová modulace komplexní amplitudy**
  - **Použití amplitudového modulátoru**  
( CRL OPTO 1024 x 768 pixels )
  - **Použití fázového modulátoru**  
( Boulder 512 x 512 pixels)

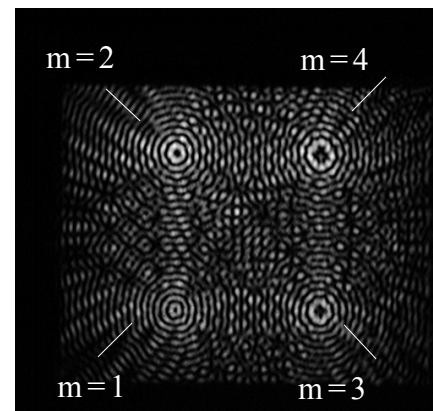
Spatial spectrum



CCD  
camera

(640x480 pixels)

Detected array



SLM  
CRL OPTO  
(1024x768 pixels)

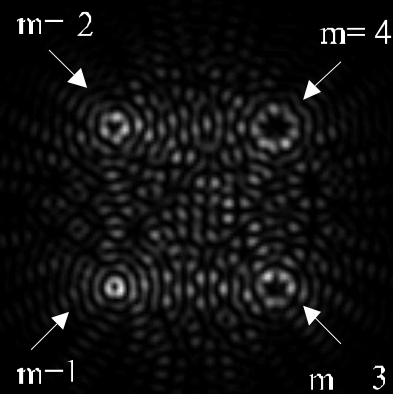
Collimate  
Gaussian beam



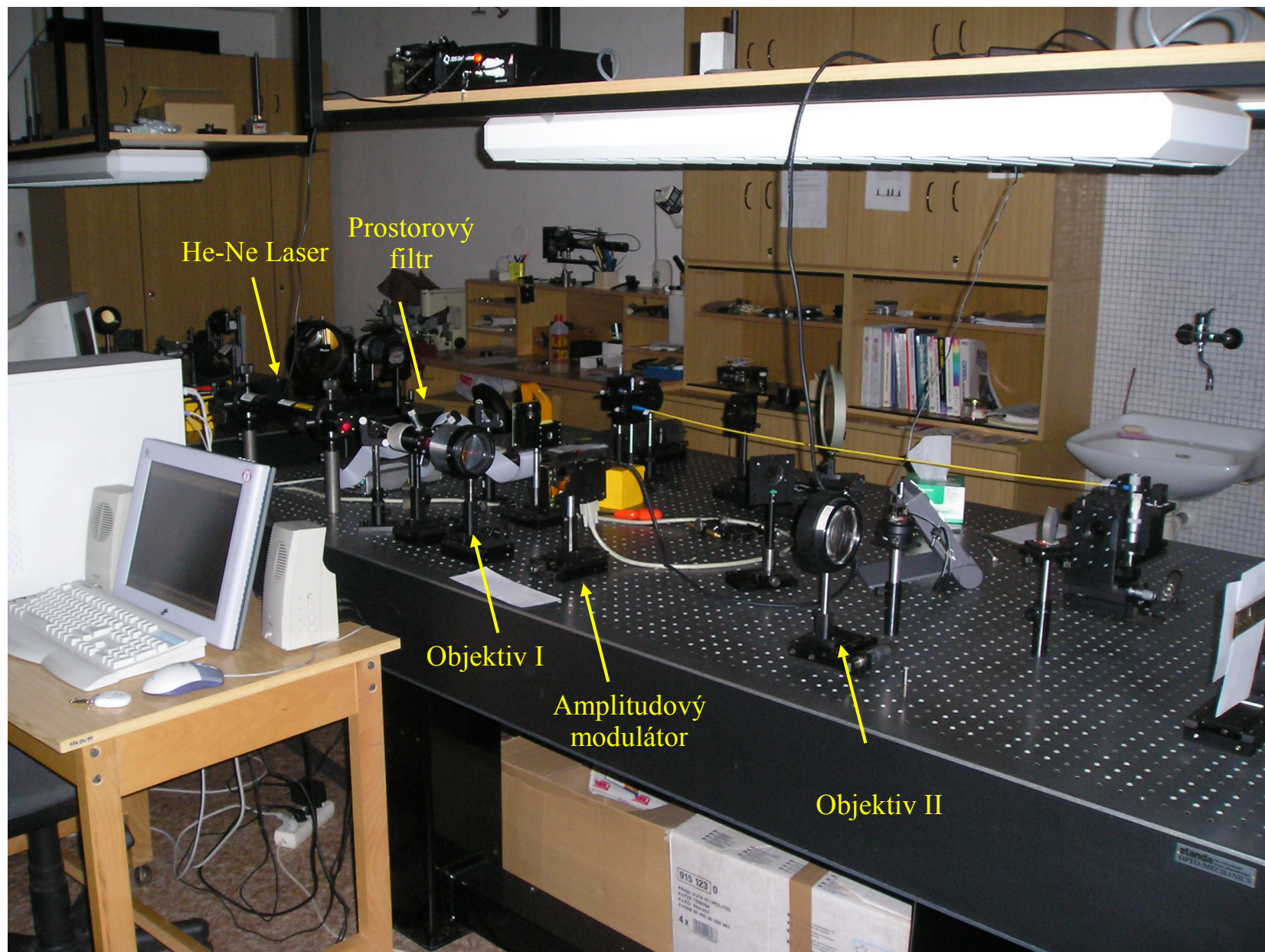
Hologram



PC



Calculated array



He-Ne Laser

Prostorový  
filtr

Objektiv I

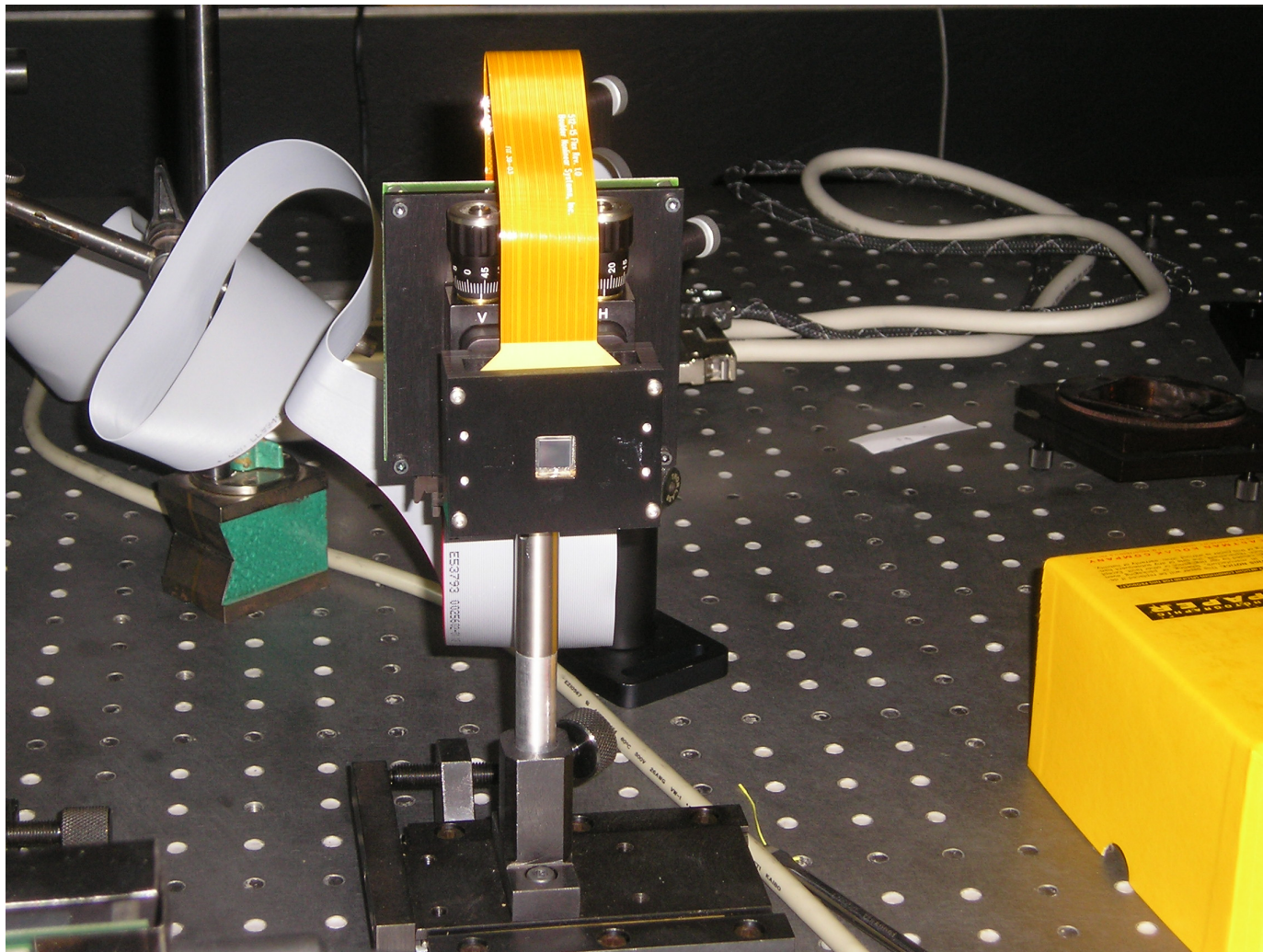
Amplitudový  
modulátor

Objektiv II

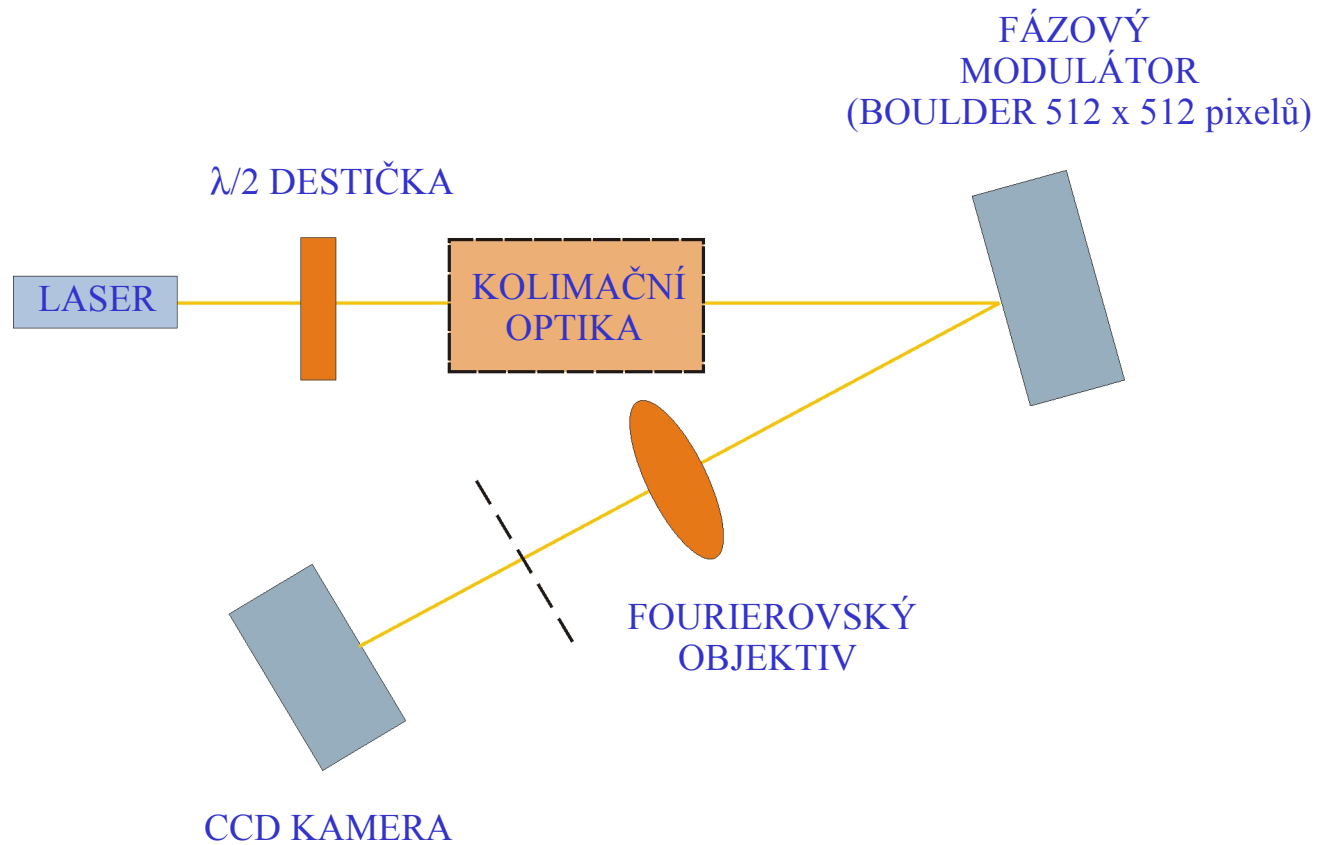


# PROSTOROVÁ MODULACE SVĚTLA

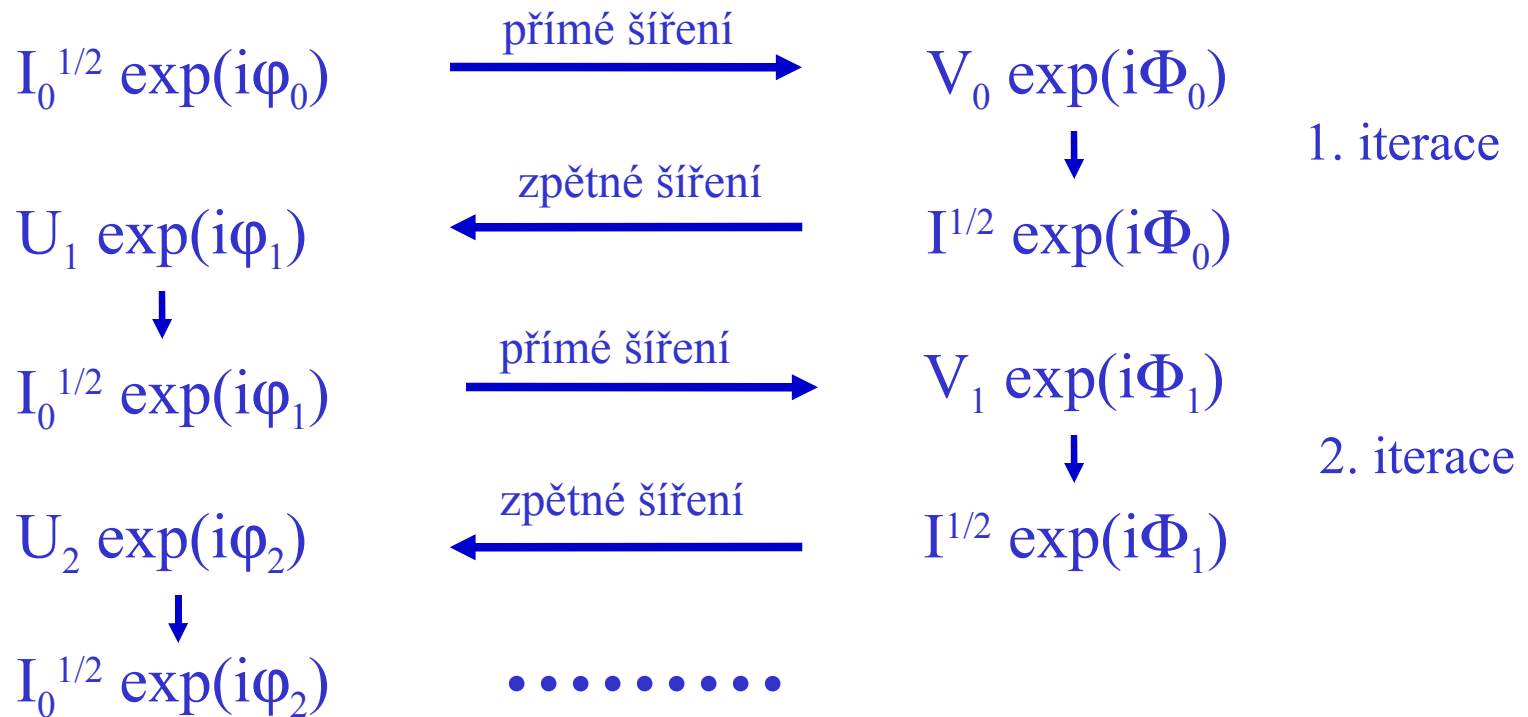
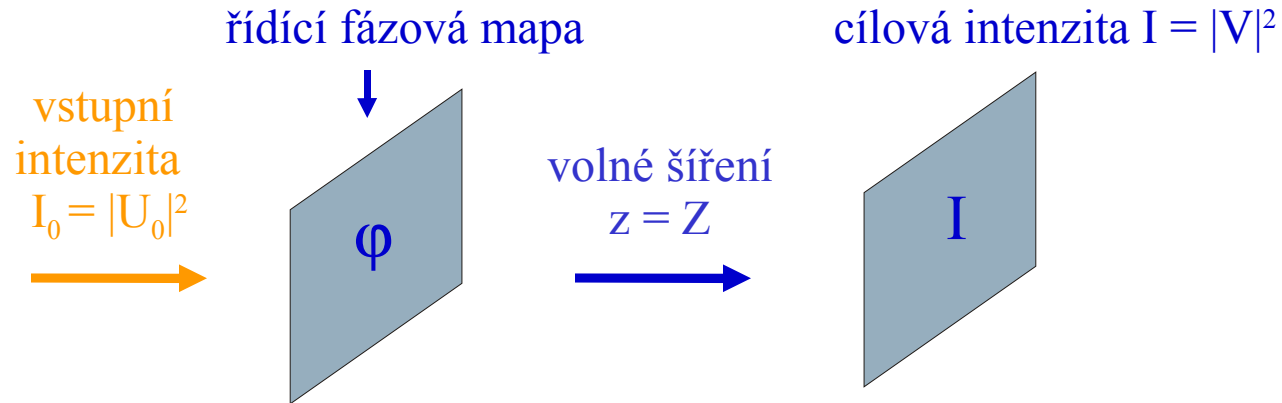
## FÁZOVÝ MODULÁTOR (BOULDER 512 x 512 pixelů)



# OPTICKÝ SYSTÉM S FÁZOVÝM MODULÁTOREM



# GERCHBERGŮV SAXTONŮV ALGORITMUS

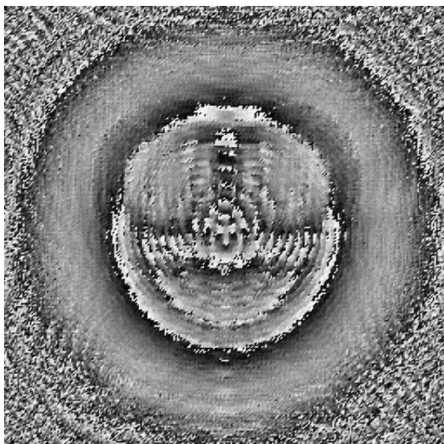


# POUŽITÍ GERCHBERGOVA SAXTONOVA ALGORITMU

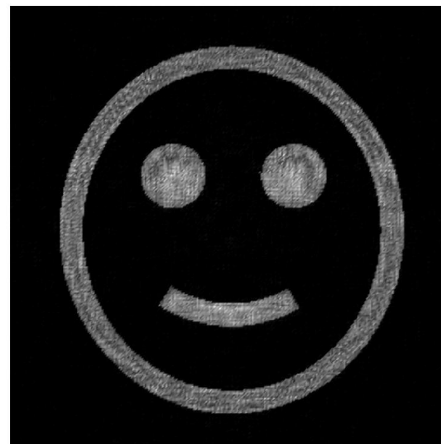
Cílová intenzita



Fázová mapa

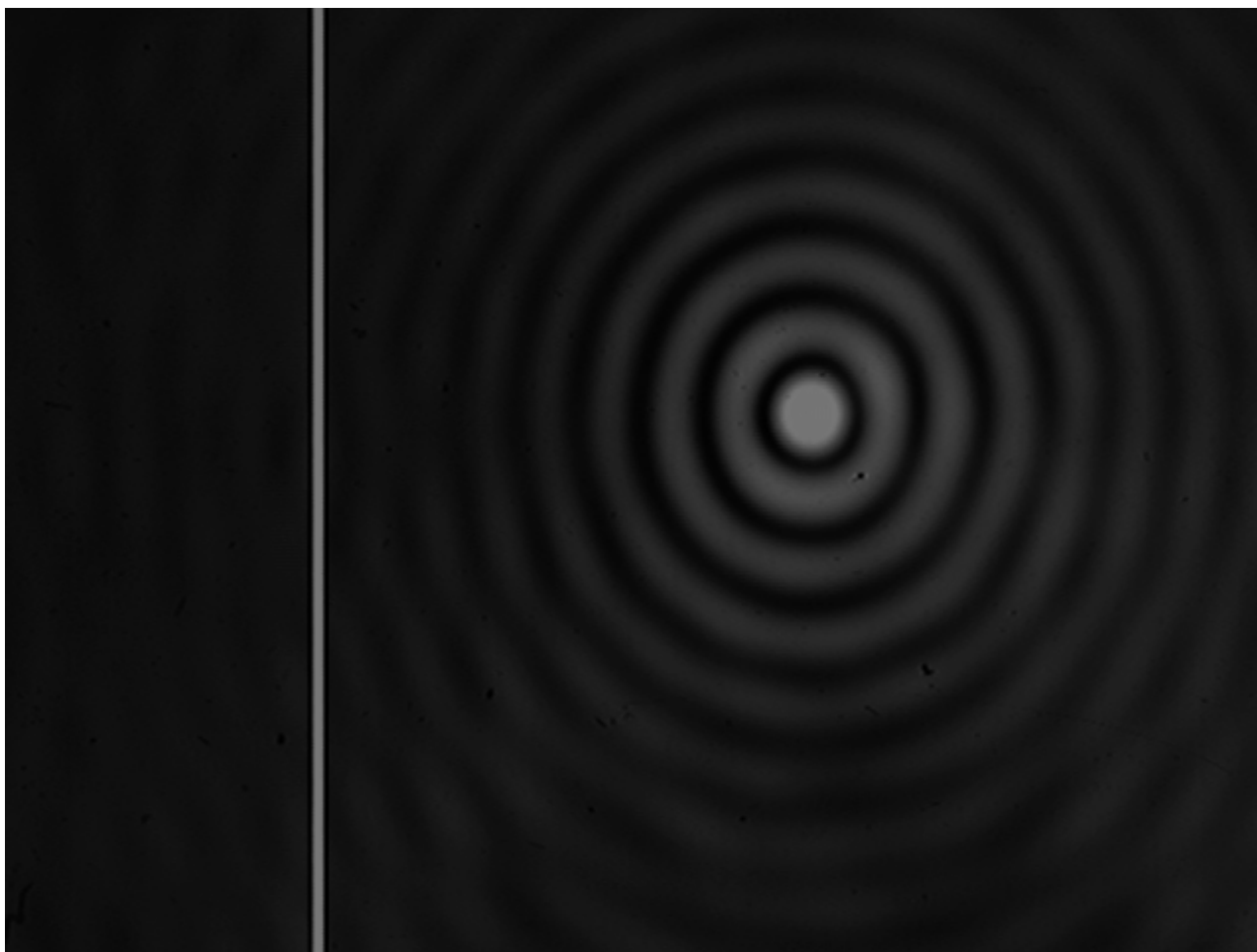


Dosažená intenzita (po 12 iteracích)



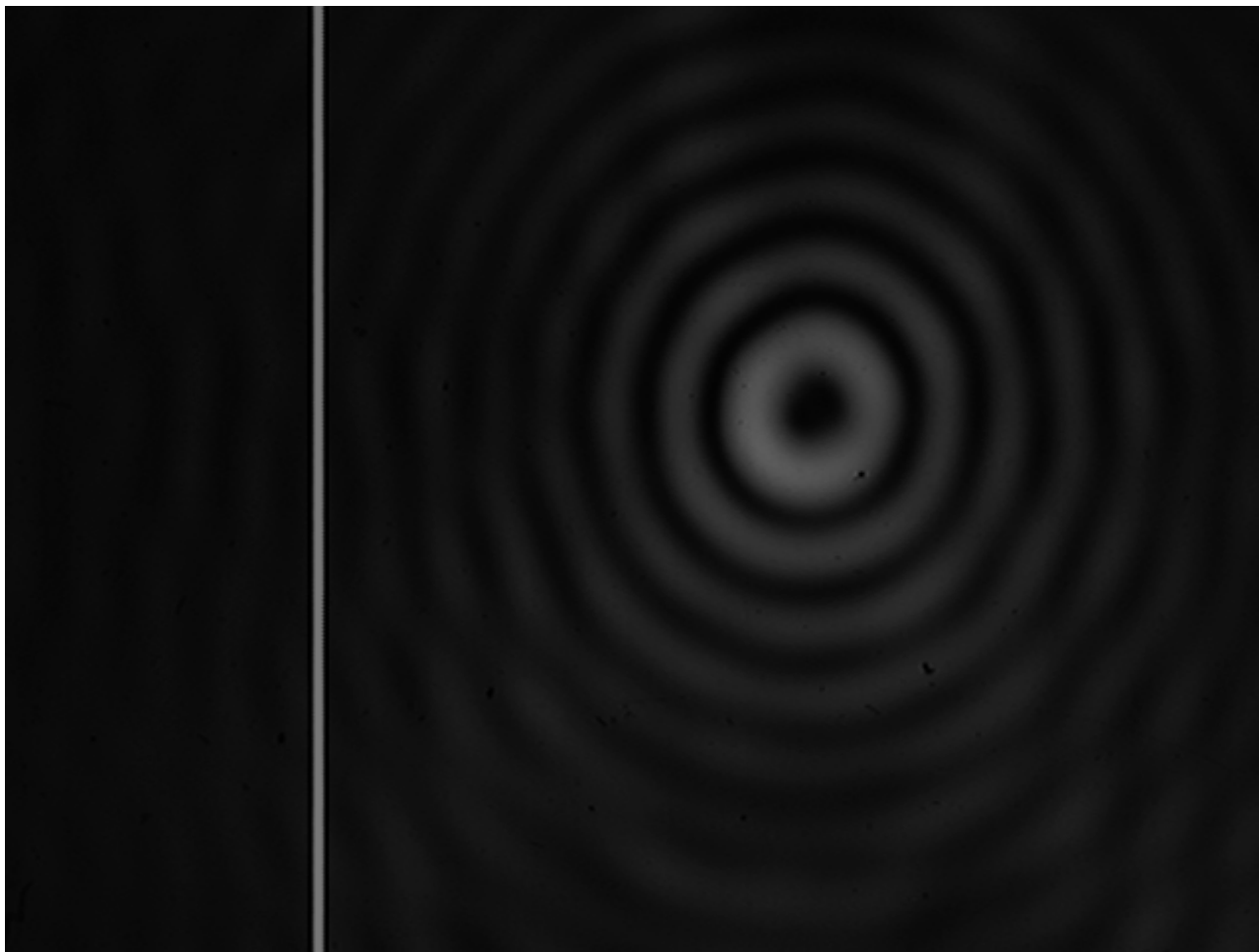
# svazky vytvořené fázovým modulátorem

Nedifrakční Besselovský svazek 0. řádu

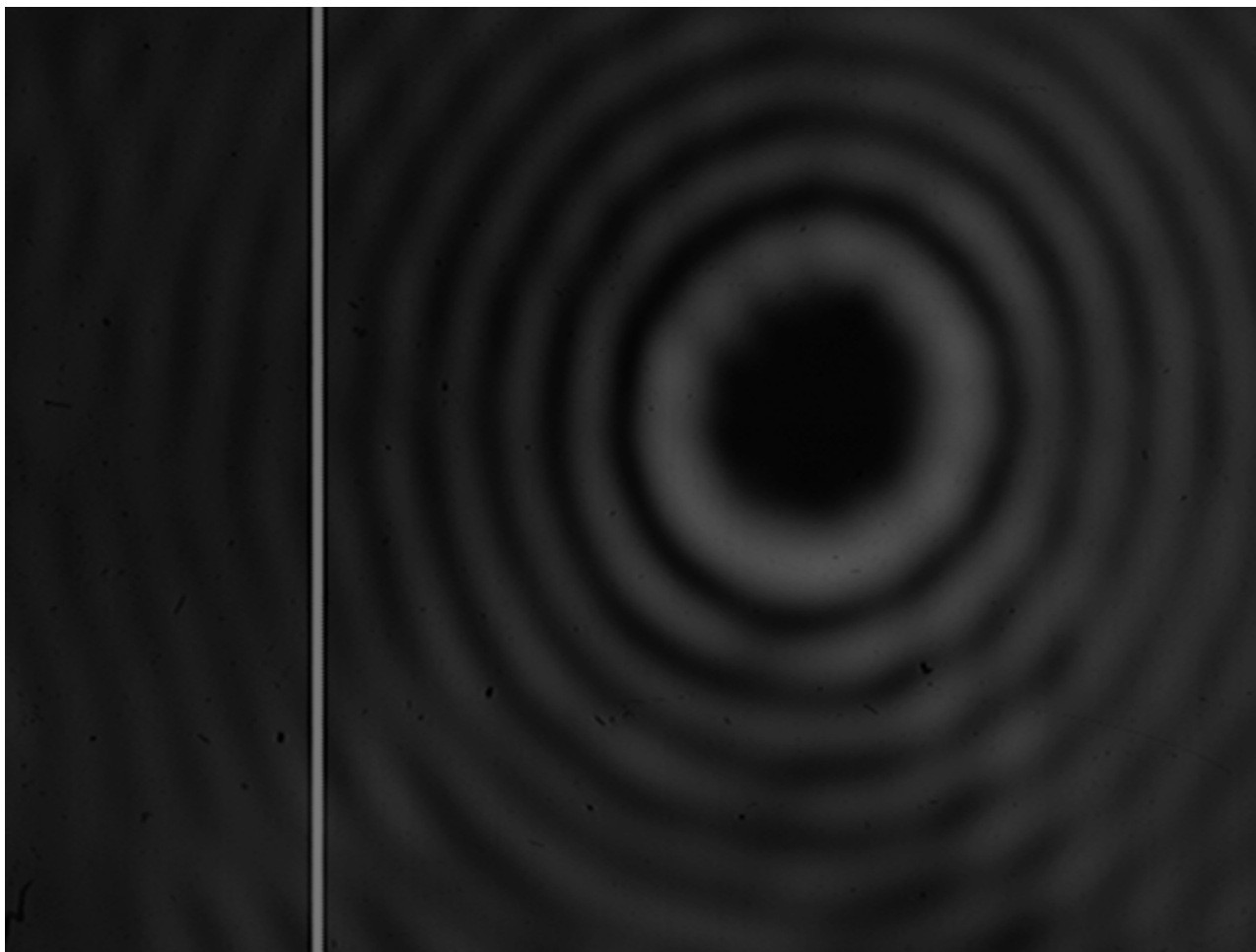




## Nedifrakční Besselovský svazek 1. řádu



## Nedifrakční Besselovský svazek 3. řádu



# Prostředky pro řešení grantu MPO na KO PřF UP

## TEORETICKÉ ZÁZEMÍ:

- Metodika návrhu standardních optických systémů pro generaci nedifrakčních a vírových svazků „makroskopických rozměrů“.
- Metody pro 2D a 3D tvarování laserového záření.
- Návrh počítačem generovaných hologramů pro amplitudový prostorový modulátor (programy v prostředí MATLAB).
- Návrh fázové mapy pro fázový prostorový modulátor (programy v prostředí MATLAB).
- Optimalizace fáze pro dosažení cílového intenzitního profilu svazku (G-S algoritmus).
- Software pro numerickou simulaci činnosti amplitudového a fázového modulátoru.

## EXPERIMENTÁLNÍ ZÁZEMÍ

- Standardní experimentální sestavy pro generaci nedifrakčních a vírových svazků (axikon, mezikruhový filtr, spirální maska).
- Realizace optimalizovaného systému pro amplitudovou modulaci.
- Realizace základní sestavy pro fázovou modulaci světla.