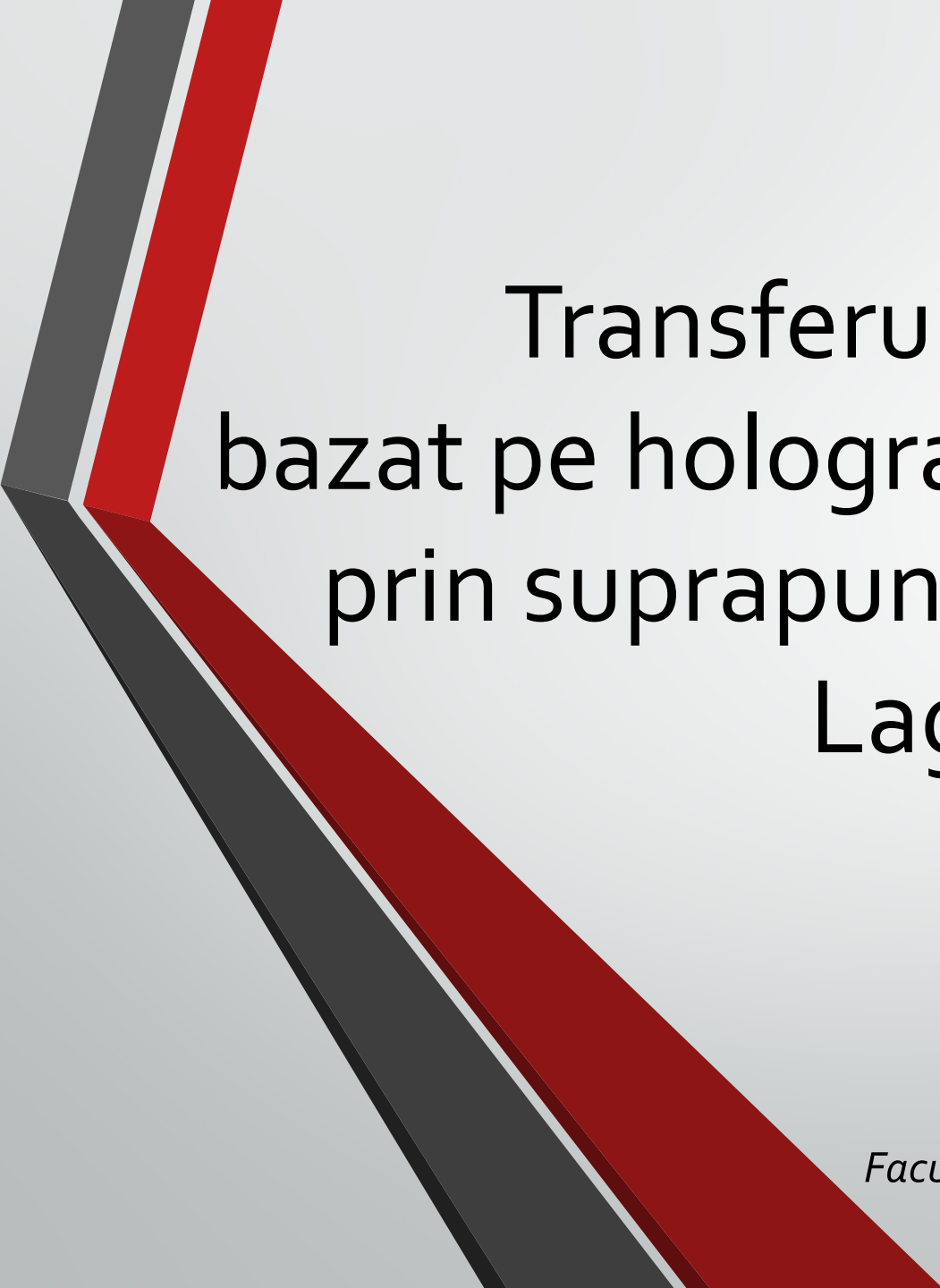




Transferul optic al informației bazat pe holograme generate pe computer prin suprapunerea axială a fasciculelor Laguerre-Gauss

Absolvent: Ana-Elena NAN

Coordonator: Ș.L. Dr. Fiz. Mona MIHĂILESCU

Facultatea de Științe Aplicate, Universitatea POLITEHNICA din București

Introducere

- Utilizări anterioare ale suprapunerii de fascicule Laguerre-Gauss:
Capcane optice pentru probe atomice
- Scopul studiului:
Determinarea condițiilor necesare pentru realizarea unui sistem de transmisie optică a informației prin spațiul liber bazat pe suprapunerea axială a fasciculelor de tip Laguerre-Gauss, care conțin moment cinetic orbital.
- Cuprinsul prezentării:
 - Principiile teoretice
 - Rezultatele simulărilor și experimentelor

Tehnica holografică utilizată

Holografie – procedeu de înregistrare a informațiilor despre amplitudinea și faza obiectelor studiate

Etapele holografiei:

- I. Generarea hologramelor
- II. Reconstrucția

I. Generarea hologramelor

- Câmpul electric al unui fascicul LG

$$LG_m = A_{|m|} \exp \left[i \left(k \left(z - \frac{r^2}{2R} \right) + \Phi_{|m|} \right) \right] e^{-im\theta}$$

- Amplitudinea: $A_{|m|} = \sqrt{I} \sqrt{\frac{2}{\pi |m|!}} \left(\sqrt{2} \frac{r}{w} \right)^{|m|} \exp \left(\frac{-r^2}{w^2} \right)$
- Intensitatea: $I = P w^{-2}$
- Talia: $w = w_0 \sqrt{1 + \left(\frac{z}{z_R} \right)^2}$

- Unda plană

$$up = \exp(ik \cdot f_s \cdot x)$$

Principii teoretice

- Suprapunerea axială a fasciculelor Laguerre-Gauss

$$LG_i = \left| \sum_i A_{|m_i|} \exp \left[i \left(k \left(z - \frac{r^2}{2R} \right) + \Phi_{|m_i|} \right) \right] e^{-im_i\theta} \right|^2$$

- Interferența dintre suprapunerea fasciculelor LG și unda plană

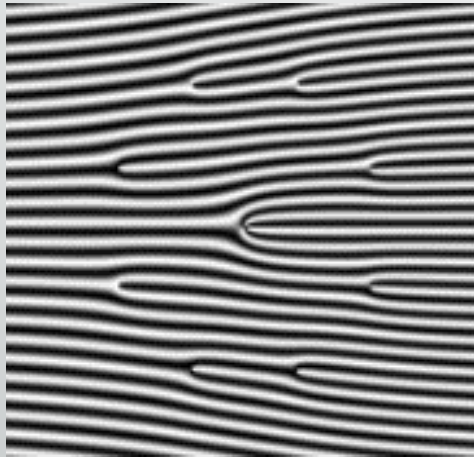
```
obi=exp(i*angle(LGsum));  
Ha=(abs(up+obi)).^2;
```

- Date de intrare:

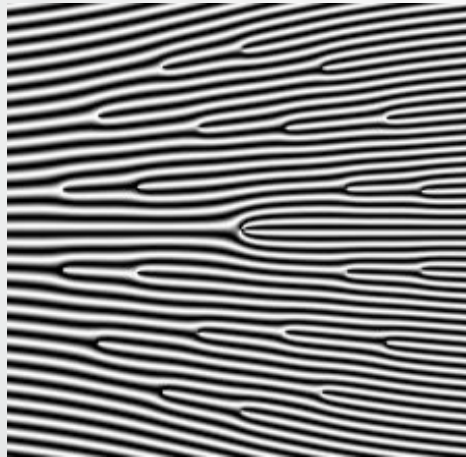
Talia inițială (w_0), distanța de propagare (z), momentele cinetice orbitale corespunzătoare fiecărui fascicul (m_i), intensitatea relativă

Principii teoretice

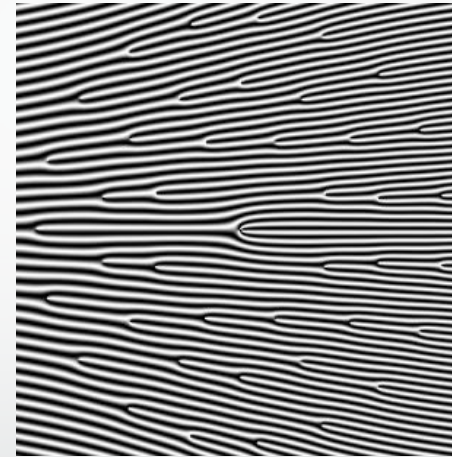
- Holograme generate pe computer:



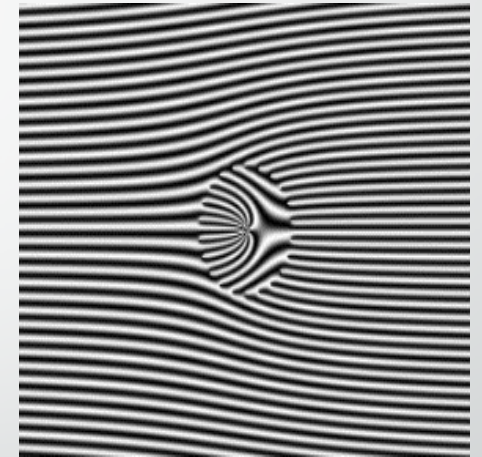
$m_1 = 3, m_2 = 11$



$m_1 = 3, m_2 = 11, m_3 = 25$



$m_1 = 3, m_2 = 11, m_3 = 25, m_4 = 44$

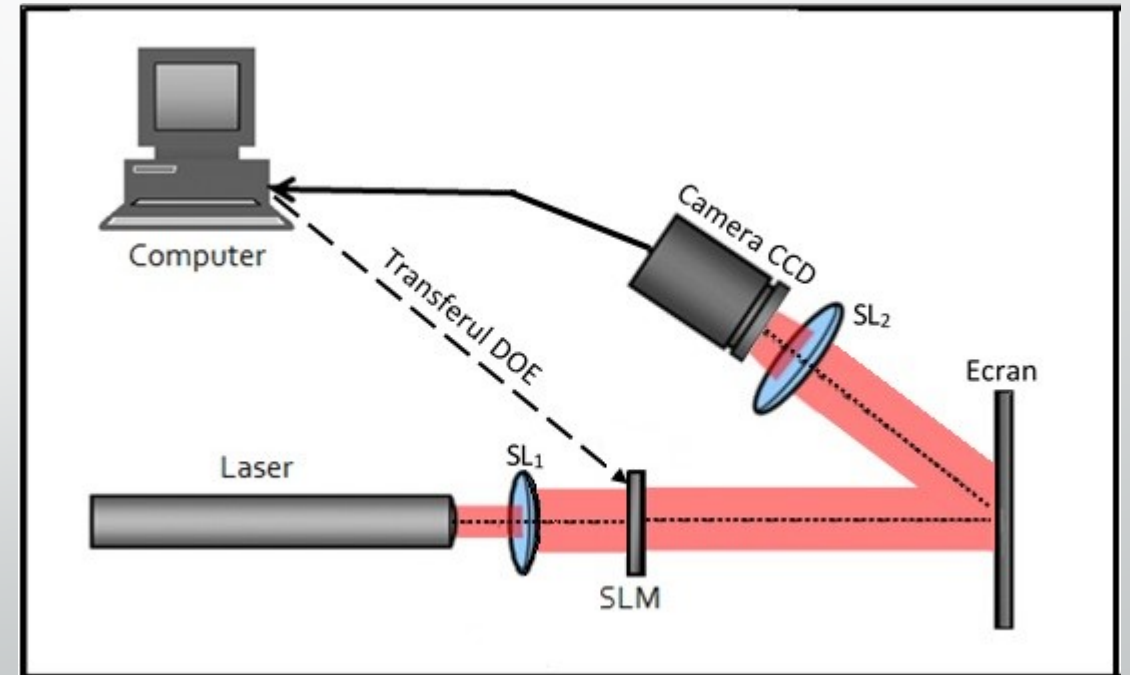


$m_1 = -11, m_2 = 11$

II. Reconstrucția

Montajul experimental cuprinde:

- Laser (cu HeNe)
- Modulator optic spațial (SLM)
- Două sisteme de lentile
- Camera video științifică de înaltă rezoluție
- Computer

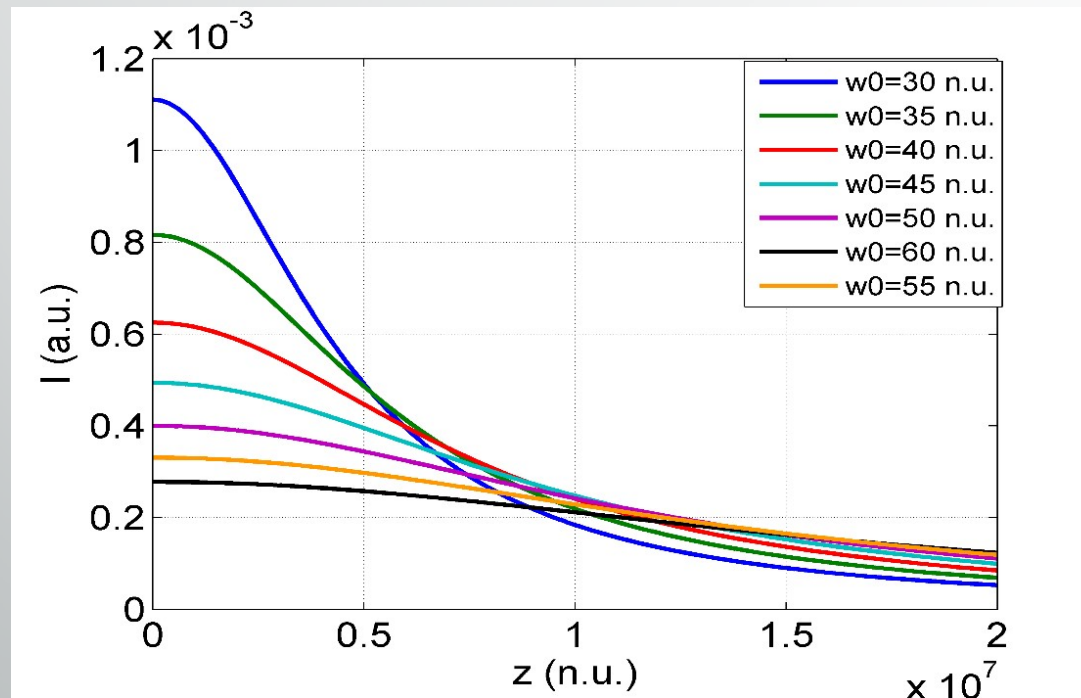




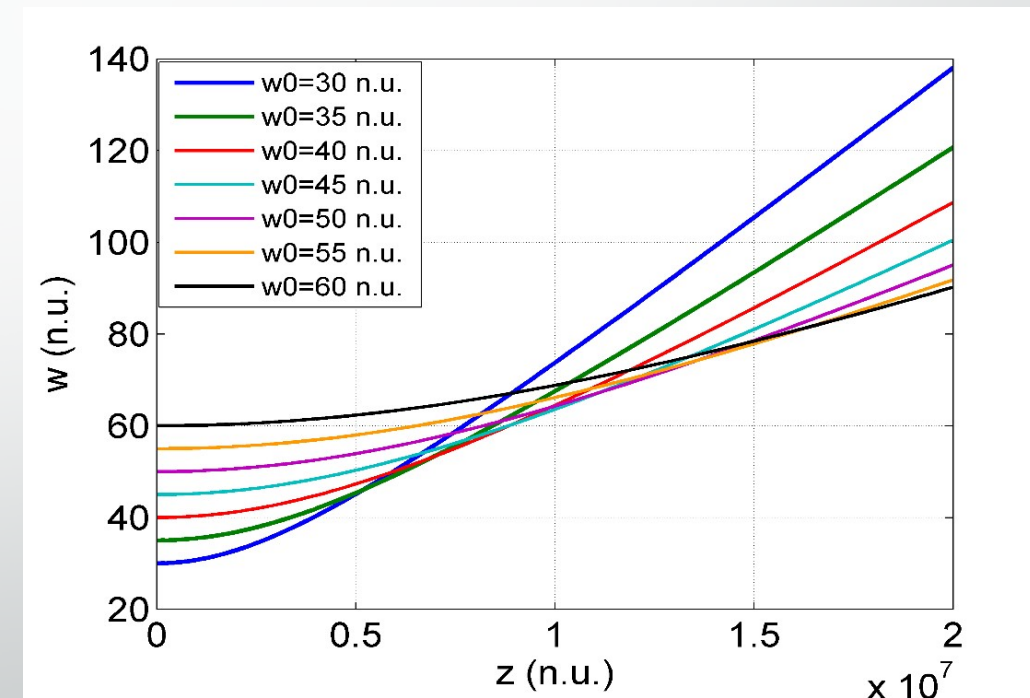
Rezultatele simulărilor și experimentelor efectuate

Influența parametrilor constructivi

Intensitatea fascicolului



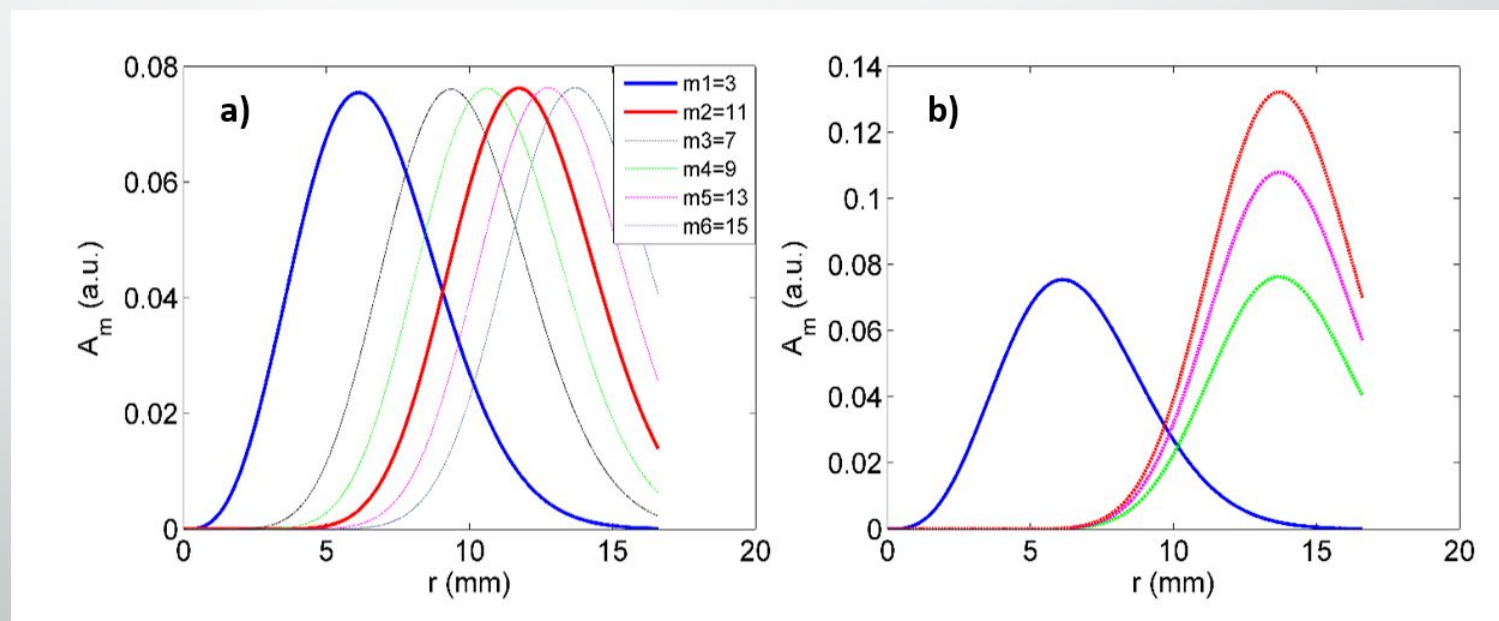
Talia fascicolului



Influența parametrilor constructivi

- Relația de dependență dintre momentele cinetice orbitale (OAM):
$$m_i = \pm \left[\left(\sqrt{|m_{i-1}|} + 2\sqrt{\ln(2)} \right)^2 \right]$$
- Relația de dependență dintre intensitățile celor doua unde:
$$I_{m_i} = \sqrt{|m_i / m_{i-1}|} I_{m_{i-1}}$$

Amplitudinea fasciculelor



Distribuția de intensitate difractată

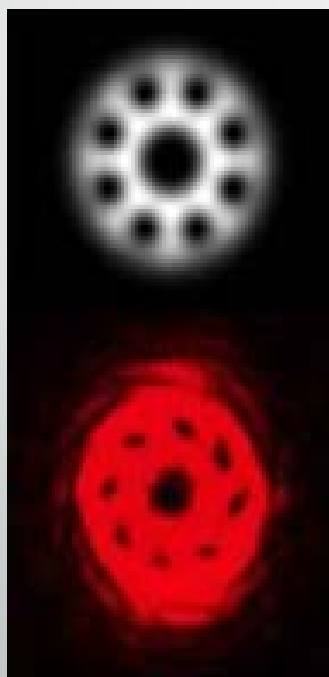
I. Influența momentelor cinetice orbitale

A. Două fascicule Laguerre-Gauss suprapuse axial

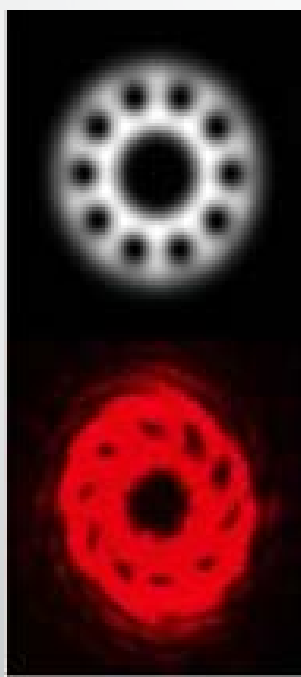
Imagini:

- simulate

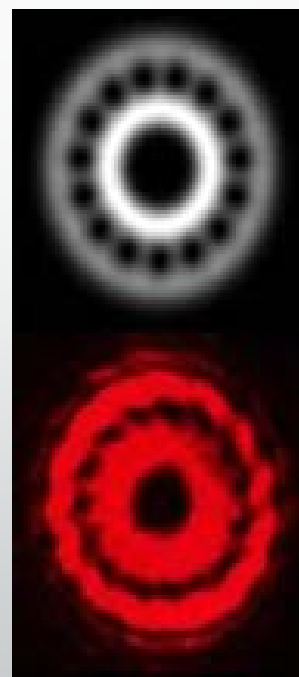
- experimentale



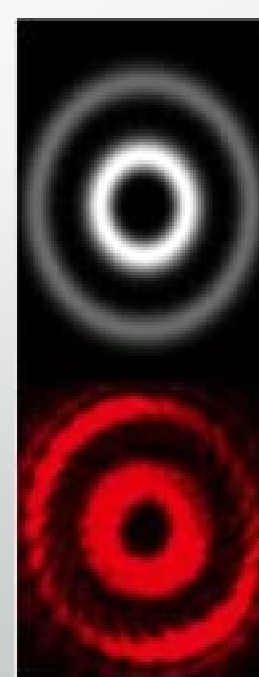
a) $m_1 = 3, m_2 = 11$



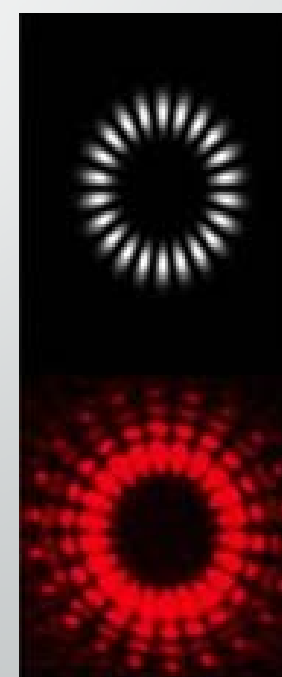
b) $m_1 = 5, m_2 = 15$



c) $m_1 = 5, m_2 = 20$



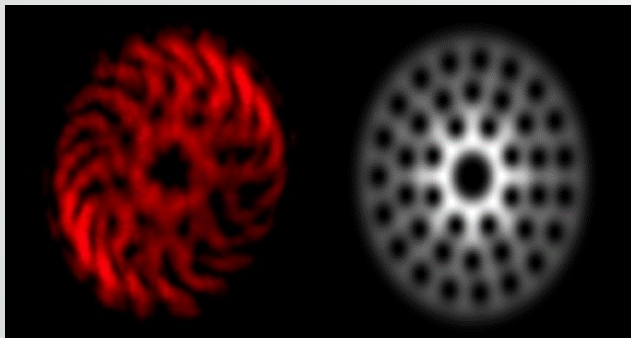
d) $m_1 = 5, m_2 = 30$



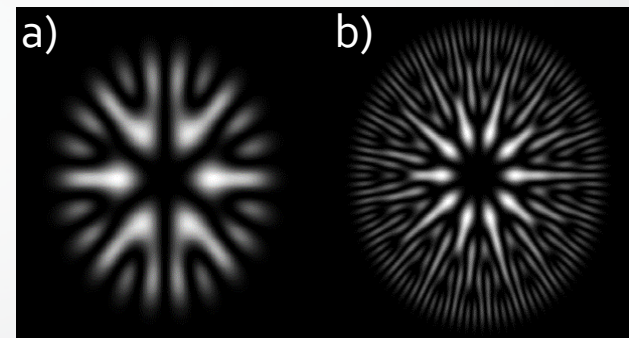
e) $m_1 = -11, m_2 = 11$

Distribuția de intensitate difractată

B. Multiple fascicule Laguerre-Gauss suprapuse axial

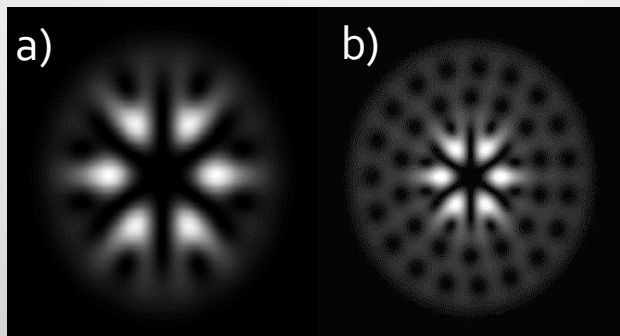


$$m_1 = 3, m_2 = 11, m_3 = 25, m_4 = 44$$



a) $m_{1,2} = \pm 3, m_{3,4} = \pm 11$

b) $m_{1,2} = \pm 5, m_{3,4} = \pm 15, m_{5,6} = \pm 30, m_{7,8} = \pm 51$



a) $m_{1,2} = \pm 3, m_3 = 11$

b) $m_{1,2} = \pm 3, m_3 = 11, m_4 = 25, m_5 = 44$

Distribuția de intensitate difractată

II. Stabilitatea de-a lungul axei de propagare

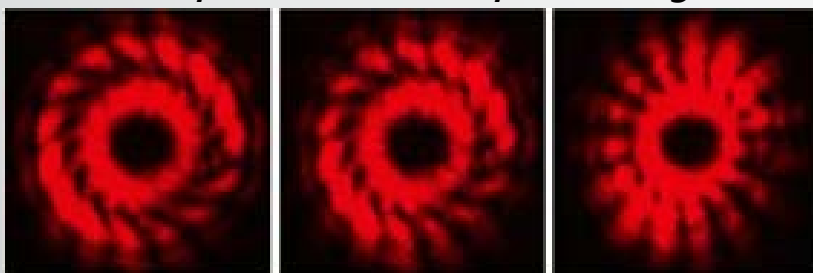
A. Două fascicule Laguerre-Gauss suprapuse axial

- Distanța de propagare

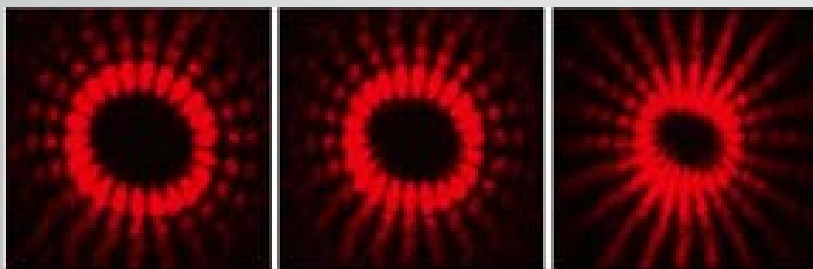
$z=1\text{m},$

$z=1\text{km},$

$z=5\text{km}$



$m_1=5, m_2=20$



$m_1=-11, m_2=11$

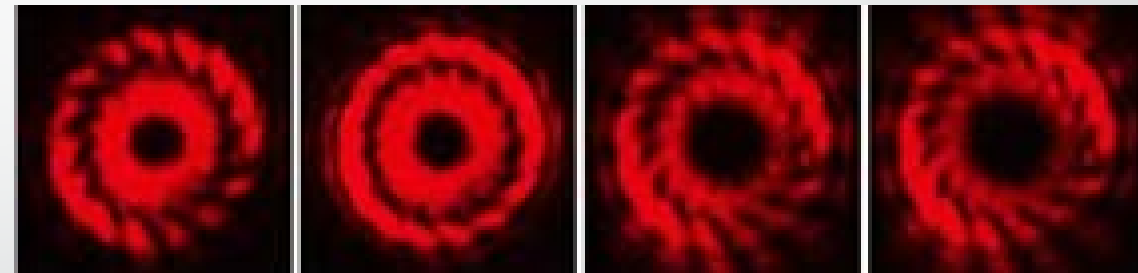
- Intensitatea

$I_2=0.001I_1$

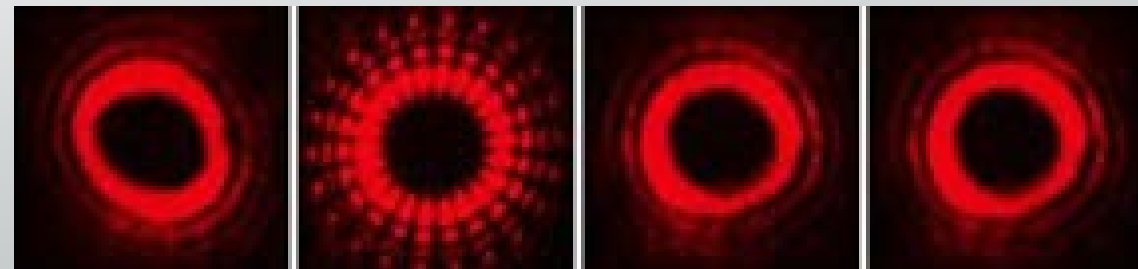
$I_2=I_1$

$I_2=100I_1$

$I_2=1000I_1$



$m_1=5, m_2=20$



$m_1=-11, m_2=11$

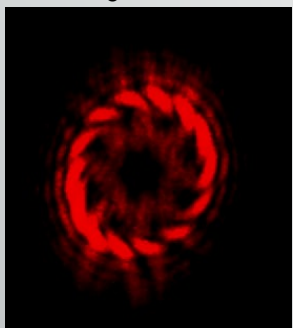
Distribuția de intensitate difractată

II. Stabilitatea de-a lungul axei de propagare

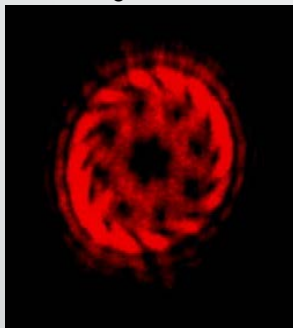
B. Multiple fascicule Laguerre-Gauss suprapuse axial

- Talia inițială

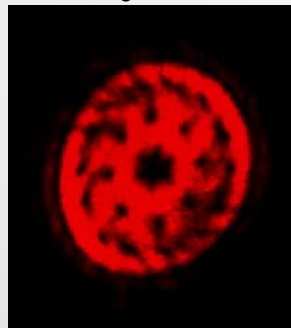
$w_0=30$



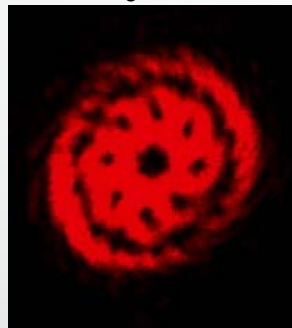
$w_0=35$



$w_0=45$

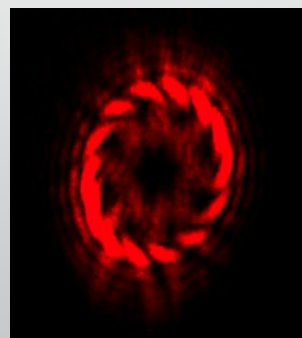


$w_0=55$

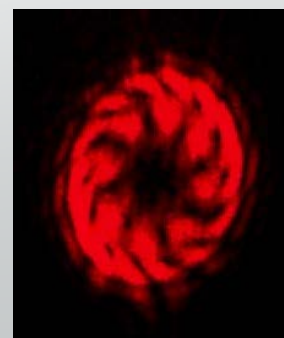


$m_1=3, m_2=11, m_3=25$

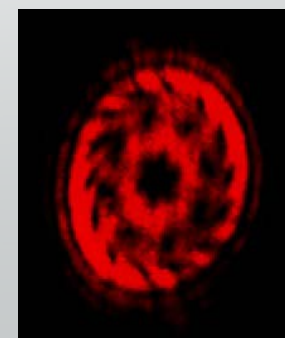
- Intensitatea relativă



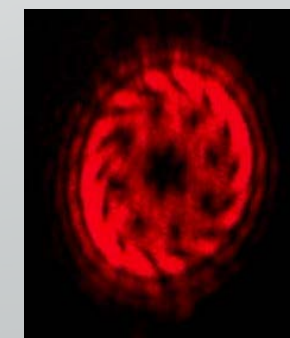
$I_{1_ideal}, I_{2_ideal},$
 I_{3_ideal}



$I_{1_ideal}, I_{2_ideal},$
 $10^{-4} I_{3_ideal}$



$100 I_{1_ideal}, 10^{-2} I_{2_ideal},$
 $5 \cdot 10^{-3} I_{3_ideal}$



$I_{1_ideal}, I_2=10^{-1} I_{2_ideal},$
 $5 \cdot 10^{-3} I_{3_ideal}$

Transferul optic al informației

- Scop:

Identificarea fiecărui moment cinetic orbital utilizat în modularea fasciulelor Laguerre-Gauss.

- Metoda:

Introducerea în drumul optic a unei măști de citire adecvată ce poate fi:

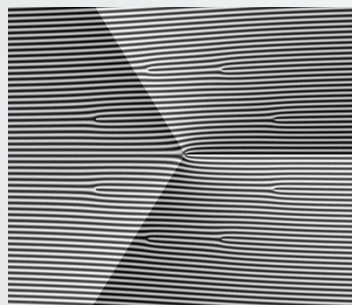
I. Hologramă de fază

II. Hologramă de amplitudine

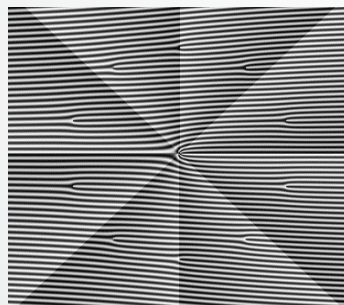
Transferul optic al informației

I. Citirea informației prin utilizarea măștilor de fază

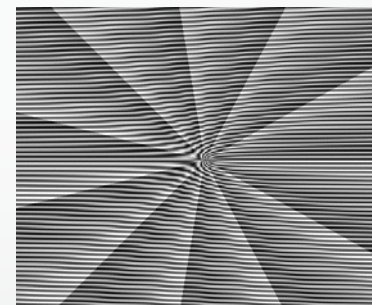
- Elemente optice difractive



$m_1 = 3, m_2 = 11$
(citire OAM = -3)

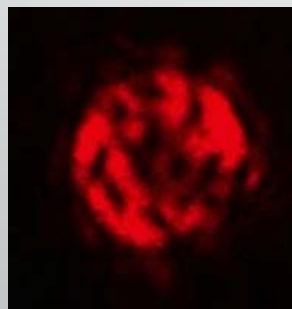


$m_1 = 5, m_2 = 15$
(citire OAM = -8)

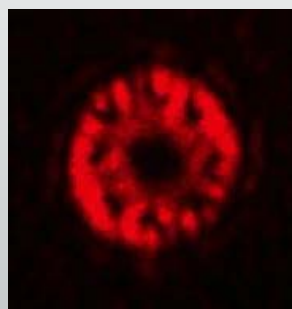


$m_1 = -11, m_2 = 11$
(citire OAM = 11)

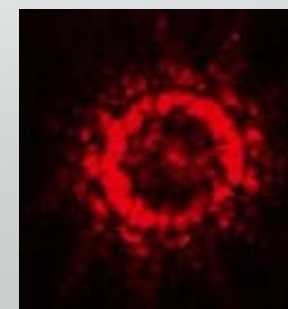
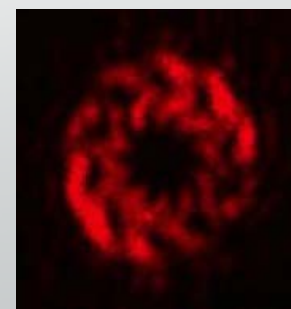
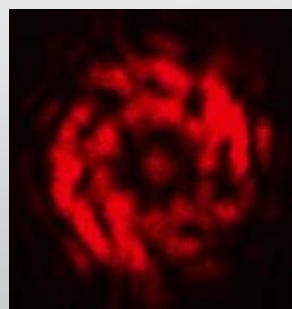
- Distribuția spațială de intenistate



$m_1=3 \ m_2=11$



$m_1 = 5 \ m_2=15$

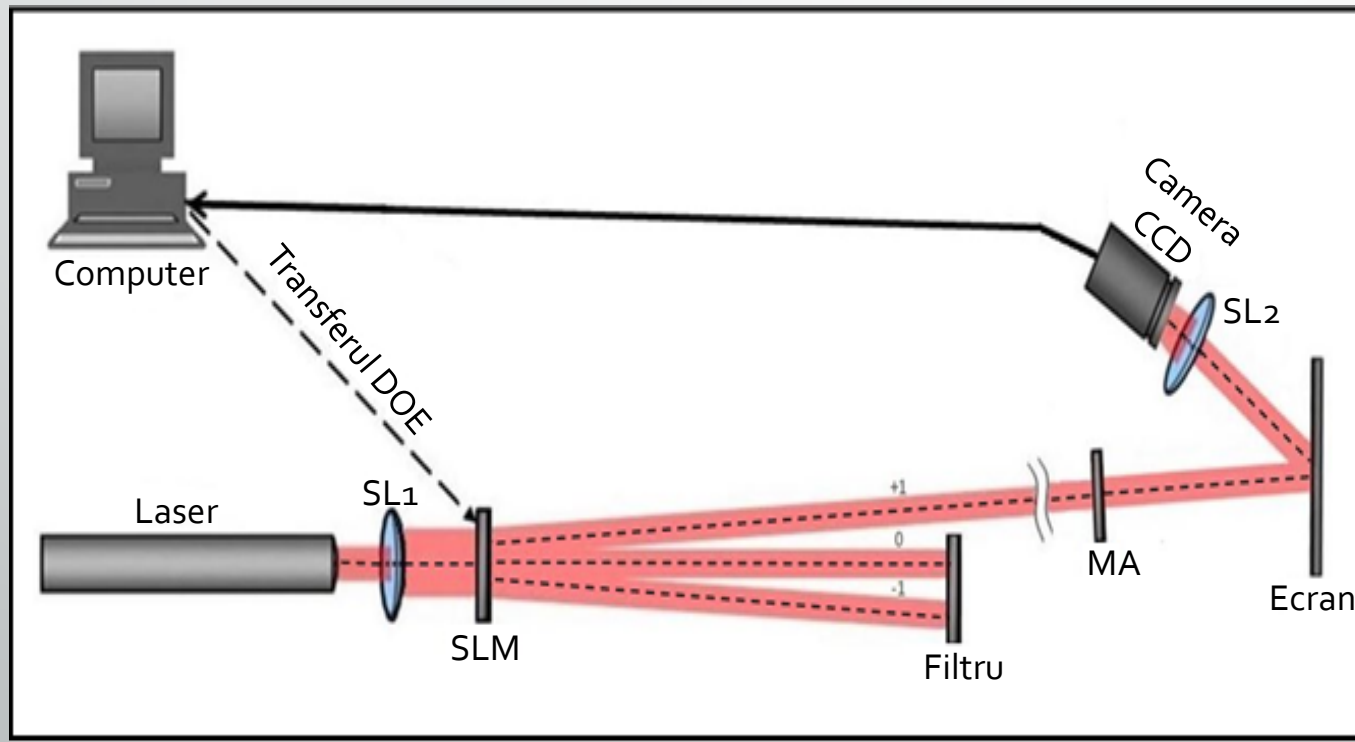


$m_1 = 11, m_2 = -11$

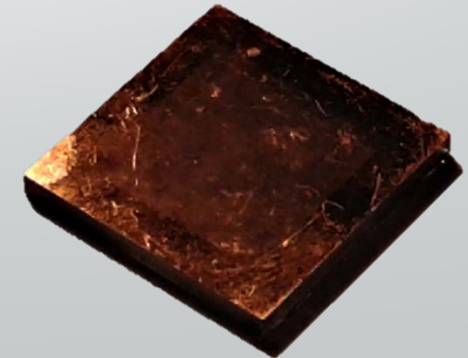
Transferul optic al informației

II. Citirea informației prin utilizarea măștilor de amplitudine

- Montajul experimental



Masca de amplitudine



Transferul optic al informației

- Distribuția spațială de intensitate

Holograma de
amplitudine

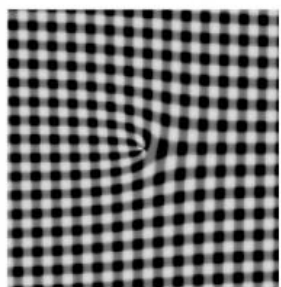
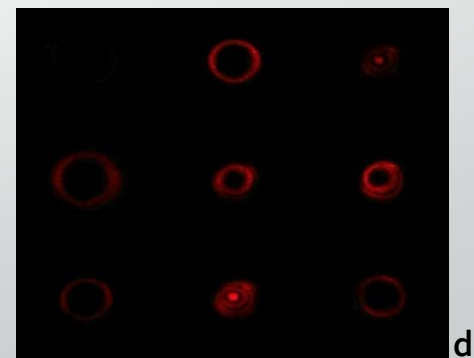
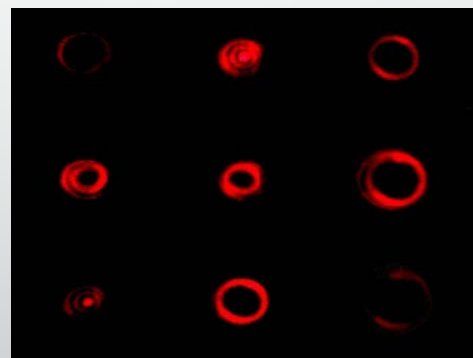
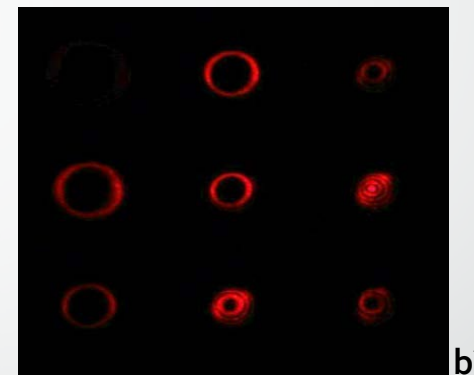
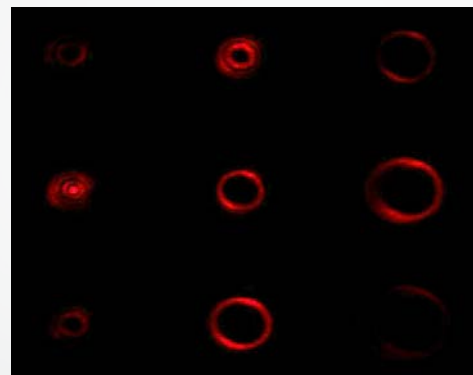
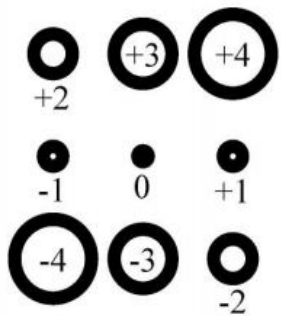


Figura de difracție
în câmp îndepărtat



Mască de amplitudine cu $m_1 = 8$ (orizontal) $m_2 = 4$ (vertical) și
holograma inițială cu **a)** $m = 8$, **b)** $m = -8$, **c)** $m = 4$, **d)** $m = -4$.

Concluzii

- Obținerea unor holograme cu structură specifică prin modificarea parametrilor constructivi.
- Propagare stabilă pe distanțe mari.
- Transmiterea securizată a unei cantități de informație considerabilă.
- Citirea precisă a momentelor cinetice orbitale.

Aplicații:

Comunicațiile optice pe distanțe lungi în spațiul liber sau în atmosferă turbulentă.

BIBLIOGRAFIE

- [1] S. Franke-Arnold, J. Leach, M. Padgett, *Optical ferris wheel for ultracold atoms*, Optics Express, vol. 15 no. 14, 8619-8625, 2007
- [2] J. Anguita, J. Herreros, I. Djordjevic, *Coherent Multimode OAM Superpositions for Multidimensional Modulation*, IEEE Photonics Journal, vol. 6, nr. 2, 7900811, 2014
- [3] G. Gibson; J. Courtial, M. Vasnetsov, S. Barnett, S. Franke-Arnold, M. Padgett, *Increasing the data density of free-space optical communications using orbital angular momentum*, Proceedings of SPIE, Conference Volume 5550, 2004.
- [4] R. Tudor, M. Mihăilescu, I. Păun, A. Nan, M. Kusko, C. Kusko, *Propagation Robustness of Two Laguerre-Gauss Beams Superposition*, Proceedings of the Romanian Academy, acceptat spre publicare
- [5] R. Tudor, M. Mihăilescu, C. Kusko, I. Păun, A. Nan, M. Kusko, *Simultaneous Detection of Multiple Orbital Angular Momentum States*, în curs de trimitere

Vă mulțumesc pentru atenție!