

Studium neklasických polarizačních stavů ve strukturovaných svazcích

Ing. Eva Roiková <eva.roikova@tul.cz>, doc. RNDr. Miroslav Šulc, Ph.D.

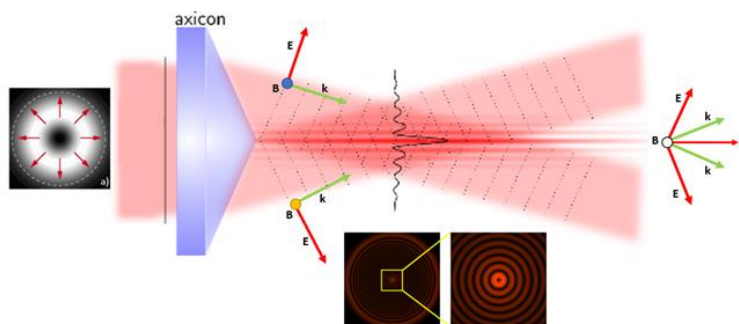
Tato práce je zaměřena na studium neklasických polarizačních stavů, jakými jsou Poincaré svazky, respektive vektorové svazky se spirální, radiální či azimutální polarizací. Typickou vlastností těchto svazků je prostorově závislá distribuce polarizace v jejich průřezu. Využití světelného záření s neklasickým rozložením polarizace pro generaci strukturovaných svazků přináší možnost zesílení longitudinální složky elektrického pole. Vytvoření laserové svazky s významnou longitudinální složkou elektrického pole představuje alternativní přístup k problematice urychlování nabitých částic.

Klíčová slova: polarizace, vektorové svazky, strukturované svazky, SLB

Úvod

V posledních 20 letech se objevují studie strukturovaných optických polí (SLB), které jsou pseudo-nedifrakční. Tato pole jsou schopná udržet neměnný příčný intenzitní profil a obnovit jej za překážkou. [1] Tato neklasická pole mají potenciál k využití pro optickou justaci, zaměřování nebo urychlování nabitých částic. [2]

Pro dosažení urychlování nabitých částic, je třeba vytvořit takové laserové svazky, které budou mít intenzivní longitudinální složku elektrického pole. Jako řešení této problematiky se nabízejí SLB s neklasickým rozložením polarizace (Obrázek 1).



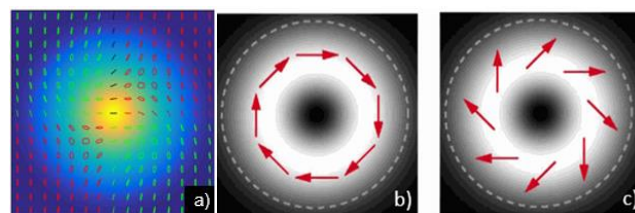
Obrázek 1: Generace SLB s neklasickým rozložením polarizace – vstupní svazek, který prochází axikonem má radiální polarizaci. Díky použití radiální polarizace ve středu průřezu SLB pozorujeme tmavý bod. Vektor elektrického pole E , magnetického pole B a vlnový vektor k , jsou použity pro ilustraci; nejsou v měřítku.

Metodika

Neklasické polarizační stavy

Elektromagnetická pole s neklasickou polarizací jsou v této práci chápány jako svazky s vektorovou distribucí polarizace (Obrázek 2). Nejobecnějším případem je Poincaré svazek, v jehož průřezu můžeme

nalézt všechny typy klasické polarizace (lineární, kruhová, eliptická). Speciálním případem Poincaré svazku je vektorový svazek se spirální polarizací. Tato polarizace je lineární a axiálně symetrická. Speciálním případem spirální polarizace je polarizace radiální a azimutální.



Obrázek 2: Průřez vektorových svazků – červená šipka/barevné elipsy ilustrují vektor polarizace a) Poincaré svazek; b) azimutální polarizace; c) spirální polarizace [3]

Strukturované svazky

SLB mohou být vytvořeny pomocí kontroly fáze, amplitudy nebo geometrie svazku. Jedním typem SLB jsou Besselovy svazky vytvořené pomocí axikonu (Obrázek 1). Pro generaci klasického Besselova svazku se na vstupu používá Gaussův svazek s lineární polarizací. Besselův svazek má tvar koncentrických kružnic s maximální intenzitou ve středu průřezu. Tento středový pík je pseudo-nedifrakční; nedochází k rozšiřování průřezu píku na určité vzdálenosti od zdroje.

Výsledky a diskuze

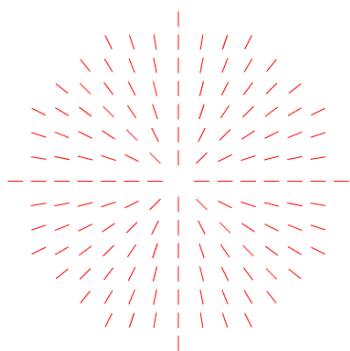
Pro charakterizaci svazků s neklasickou polarizací byl vytvořen skript v software Matlab. Tento skript využívá pro výpočet a vizualizaci vektorů polarizace v průřezu svazku Jonesův formalismus. Jelikož hlavním cílem je vytvořit svazky s longitudinálním vektorem elektrického pole, byl standardně používán 2D

Jonesův formalismus rozšířen i o složku E_z viz rovnice (1.1).

$$J = \begin{pmatrix} E_{0x} \cdot e^{i(\phi_x)} \\ E_{0y} \cdot e^{i(\phi_y)} \\ E_{0z} \cdot e^{i(\phi_z)} \end{pmatrix} \quad (1.1)$$

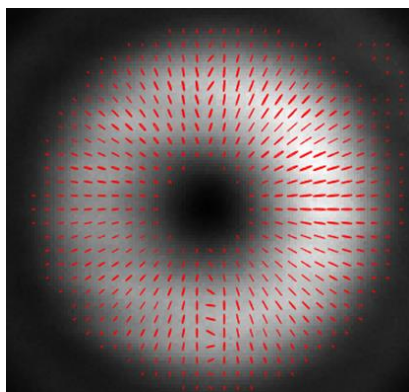
Kde E_{0i} jsou amplitudy a ϕ_i jsou fáze; $i = x, y, z$.

Pro jednotlivé optické prvky (polarizátor, půlvlnová destička, čtvrtvlnová destička, strukturovaná půlvlnová destička) byly vytvořeny Jonesovy matice a bylo sledováno rozložení vektorů polarizace pro různé kombinace těchto optických prvků. Obrázek 3 zobrazuje příklad vizualizace vektorů polarizace v průřezu svazku.

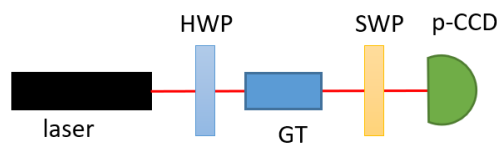


Obrázek 3: Vizualizace radiální polarizace

Dalším krokem bylo porovnání matematických vizualizací s reálným experimentem. Byla vytvořena soustava optických prvků (příklad viz Obrázek 5) a výstupní laserový svazek byl detekován polarizační kamerou Thorlabs Kiralux CS505MUP. Ze čtyř obrazů s rozdílným natočením polarizátoru (0° , 45° , 90° a -45°) byly vypočítány stokesovy parametry. Z těchto parametrů byly pomocí software Matlab vykresleny vektory polarizace přes intenzitní profil svazku (Obrázek 4).



Obrázek 4: Intenzitní profil reálného svazku (radiální polarizace) s vykreslenými vektory polarizace



Obrázek 5: Optická sestava pro generaci vektorové polarizace; HWP – půlvlnová destička, GT – Glan-Thompsonův polarizátor, SWP – strukturovaná půlvlnová destička, p-CCD – polarizační kamera

Závěr

Byla vytvořena teoretická analýza rozložení polarizačních vektorů v laserových svazcích s neklasickou polarizací v software Matlab. Teoretické výsledky byly porovnány s reálným experimentem při využití různých kombinací optických prvků (polarizátor, půlvlnová destička, čtvrtvlnová destička, strukturovaná půlvlnová destička). Bylo ověřeno, že vytvořené vektorové svazky s radiální, azimutální, spirální polarizací, respektive Poincaré svazky jsou ve shodě s teoretickou analýzou.

Tato práce bude sloužit jako výchozí metodika ke studiu rozložení polarizace v SLB, které budou generovány vstupním laserovým svazkem s neklasickým rozložením polarizace.

Poděkování

Tato práce byla podpořena z projektu Studentské grantové soutěže (SGS) na Technické univerzitě v Liberci v roce 2021.

Reference

- [1] KOLLÁROVÁ, Věra. *Syntéza světelných polí* [online]. B.m.: Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého v Olomouci. 2011. Dostupné z: http://optics.upol.cz/userfiles/file/dp/Kollarov_a_disertacni_prace.pdf
- [2] TURUNEN, Jari a Ari T. FRIBERG. Chapter 1 - Propagation-Invariant Optical Fields. In: *Progress in Optics* [online]. B.m.: Elsevier, 2010 [vid. 2021-01-08], s. 1–88. Dostupné z: doi:10.1016/S0079-6638(10)05406-5
- [3] ALJ, Domenico, Sathyanarayana PALADUGU, Giovanni VOLPE, Roberto CAPUTO a Cesare UMETON. Polar POLICRYPS diffractive structures generate cylindrical vector beams. *Applied Physics Letters* [online]. 2015, **107**(20), 201101. ISSN 0003-6951. Dostupné z: doi:10.1063/1.4935605