

matrix RD pixel. This article considers the method of achievement of subpixel accuracy of determination of PT image coordinates for case of consistent dimensions of PT image and matrix RD pixel on basis of successive scanning by pixel quadrant processing screen with current signal processing. Formula for computation of image PT displacement relative to its equal signal position for case of uniform distribution of PT image illumination is equated. It is determine that further direction of research gets connected with analysis of nonuniform distribution of PT image illumination.

Key words: matrix detector, point target, accuracy.

*Надійшла до редакції
25 січня 2011 року*

УДК 535.2

НОВІ ПОЛЯРИЗАЦІЙНІ СИНГУЛЯРНОСТІ В ЧАСТКОВО-КОГЕРЕНТНИХ СВІТЛОВИХ ПУЧКАХ

¹Чернишов О.О., ¹Фельде Х.В., ¹Полянський П.В., ²Богатирьова Г.В.

¹Чернівецький національний університет, м. Чернівці, Україна, ²Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м.Київ, Україна

Продемонстровано, що при накладенні некогерентної суперпозиції ортогонально поляризованих лазерних пучків в поперечному перетині параксіального комбінованого пучка замість звичайних сингулярностей, таких як нулі амплітуди (оптичні вихори), які властиві скалярним полям та поляризаційних сингулярностей, таких як С-точки і L-лінії, які властиві повністю когерентним векторним полям, виникають поляризаційні сингулярності нового типу. Це U-контури, вздовж яких ступінь поляризації дорівнює нулю, і стан поляризації є невизначеним (сингулярним) та ізольовані Р-точки, де ступінь поляризації дорівнює одиниці і стан поляризації визначається за компонентою комбінованого пучка, яка не зникає. Вперше розглядається кореляція між повністю когерентними і повністю некогерентними векторними сингулярностями. Наводяться перші експериментальні приклади реконструкції векторного скелетона комбінованого пучка, сформованого U і Р сингулярностями, як екстремумами комплексного ступеня поляризації.

Ключові слова: сингулярна оптика, оптичні вихори, часткова когерентність, часткова поляризація.

Вступ

Відомо [1], що кожен рівень опису оптичних явищ володіє власним набором сингулярностей, тобто, сукупністю елементів поля (точок, ліній, поверхонь, залежно від величини, що розглядається), де деякі параметри поля є невизначеним. Векторні сингулярності частково когерентних світлових полів були виявлені нещодавно [2, 3] і вивчаються в цій роботі.

U- і Р-сингулярності у частково просторово-когерентних комбінованих пучках

Розглянемо векторні сингулярності частково когерентного оптичного пучка на простому прикладі некогерентного співвісного змішування ортогонально поляризованих моди Лагера-Гауса LG_0^1 , що містить оптичний вихор, та плоскої хвилі. Такі компоненти можуть бути отримані з використанням одного лазера у інтерферометричній схемі з оптичною затримкою, що значно перевищує дов-

жину когерентності використовуваного лазера, або з використанням двох різних лазерів. Інтенсивність плоскої хвилі встановлено навмисно менше за максимальну інтенсивність моди (рис. 1).

Інтерференція таких пучків з формуванням звичайних інтерференційних смуг виключена з двох причин: взаємної некогерентності компонент і їх поляризаційної ортогональності. Зазначимо, що друга умова сама по собі визначає, що візуально спостережувана і фотометрично виміряна картина залишається незмінною.

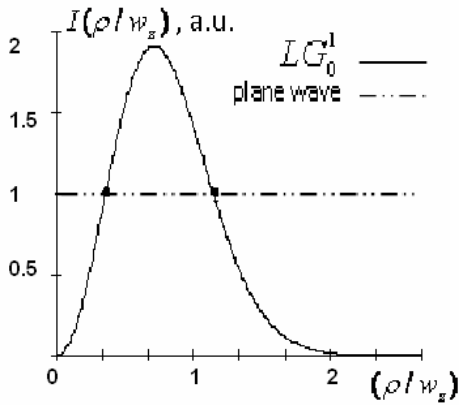


Рис.1. Змішування вихрової моди LG_0^1 і плоскої хвилі

Однак, більш тонкий поляризаційний аналіз комбінованого пучка дозволяє розрізнити два граничні випадки, а саме: повністю когерентне і повністю некогерентне змішування ортогонально поляризованих компонент.

1. Дві компоненти повністю когерентні, ортогонально циркулярно поляризовані. В цілому, комбінований пучок, скрізь має ступінь поляризації рівній одиниці (де є нормовані другий, третій і четвертий параметри Стокса, відповідно, [4, 5]) і є еліптично поляризованим. Але в центрі вихору LG_0^1 -моди поле циркулярно поляризоване зі станом поляризації, що відповідає стану поляризації плоскої хвилі. Звичайна фазова сингулярність (вихор) ортогонально поляризованої компоненти комбінованого пучка лежить «на дні» цієї циркулярної поляризації. У той же час, результуюче поле лінійно поляризоване на двох контурах, де амплітуди двох компонент стали рівні одна одній (рис. 2,а). При цьому, через гвинтову структуру хвильового фронту LG_0^1 -моди, азимут лінійної поляризації змінюється зі зміною різниці фаз між модою і плоскою хвилею.

Така топологічна структура може розглядатися як елементарна експериментальна модель утворення С-точки і навколишнього L контуру звичайної сингулярної оптики векторних полів. Дійсно, як і в разі випадкових векторних полів, перетин L-лінії, де закрутка є невизначеною, супроводжується стрибкоподібною зміною закрутки на протилежну, що відповідає переважаючій по інтенсивності компоненті з незмінним азимутом поляризації. Для порівняння, на рис.2,б показано лінію рівної інтенсивності когерентно змішаних компонент з лінійно поляризованим базисом.

Цікаво, що елементарна структура, показана на рис. 2,а безпосередньо пов'язана з описом поляризованого світла на комплексній поляризаційній

площині, яка є стереографічною проекцією сфери Пуанкаре [6]. Таким чином, S-точка і L- контур відповідають полюсу сфери Пуанкаре і її екватору.

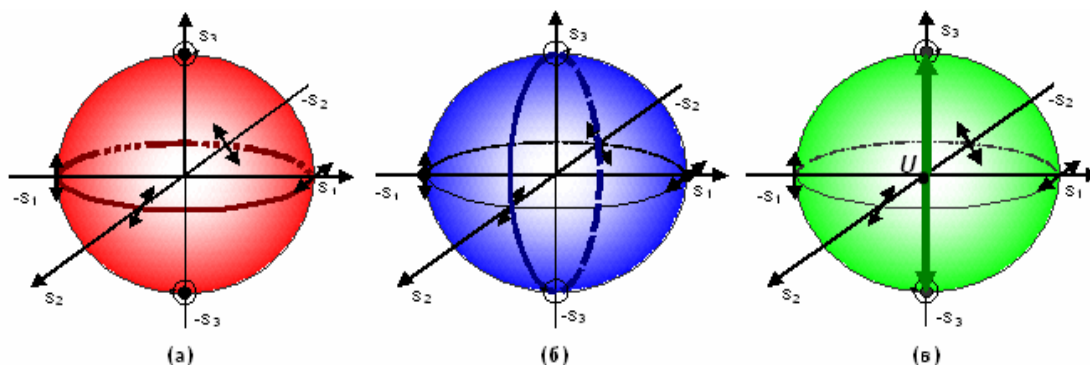


Рис.2. Лінії рівних інтенсивностей ортогонально поляризованих пучків у просторі Стокса: екватор сфери Пуанкаре вибирається як базис циркулярної поляризації, когерентне змішування (а); 45° - меридіан, включно з полюсами обирається для базису лінійної поляризації, когерентне змішування (б); діаметр сфери Пуанкаре з'єднує полюси базису циркулярної поляризації, некогерентне змішування (в)

Підтвердимо цей інтуїтивний розгляд формальним описом. Перейдемо від векторів Джонса для двох компонент - правоциркулярно поляризованої LG_0^1 -моди і лівоциркулярно поляризованої плоскої хвилі:

$$\mathbf{E}_{LG} = c(w/\rho)e^{i\Delta} \begin{bmatrix} e^{i\varphi} \\ e^{i(\varphi+\pi/2)} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{E}_P = \begin{bmatrix} e^{i\varphi} \\ e^{i(\varphi-\pi/2)} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де амплітудний множник відповідає неоднорідному розподілу амплітуди в моді в залежності від відносної радіальної координати, і пов'язаний з гвинтовою зміною фазового фронту моди при обході центрального вихору. Отже, якщо вектор Джонса комбінованого світла:

$$\mathbf{E}_{Total} = \mathbf{E}_{LG} + \mathbf{E}_P = \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ce^{i\Delta} + 1 \\ ce^{i\Delta} e^{i\pi/2} + e^{-i\pi/2} \end{bmatrix} e^{i\varphi}, \quad (2)$$

то загальна матриця когерентності пучка знаходиться як

$$\{\mathbf{J}\} = \mathbf{E}_{Total} \cdot \mathbf{E}_{Total}^* = \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x^* & E_y^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{xx} & J_{xy} \\ J_{yx} & J_{yy} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

або з визначеної форми:
$$\{\mathbf{J}\} = \begin{bmatrix} c^2 + 2c \cos \Delta + 1 & c^2 e^{-i\pi/2} + 2c \sin \Delta + e^{i\pi/2} \\ c^2 e^{i\pi/2} + 2c \sin \Delta + e^{-i\pi/2} & c^2 - 2c \cos \Delta + 1 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Якщо зкомбінувати елементи матриці когерентності, можна знайти повні пара-

метри Стокса:

$$\begin{aligned} S_0 &= J_{xx} + J_{yy} = 2(c^2 + 1); & S_1 &= J_{xx} - J_{yy} = 4c \cos \Delta; \\ S_2 &= J_{xy} + J_{yx} = 4c \sin \Delta; & S_3 &= i(J_{xy} - J_{yx}) = 2(c^2 - 1). \end{aligned} \quad (5)$$

Тут ми особливо зацікавлені у випадку $c=1$. Тільки в цьому випадку можна отримати *нормовані* параметри Стокса: $s_0 = 1$; $s_1 = \cos \Delta$; $s_2 = \sin \Delta$; $s_3 = 0$. (6)

Зникнення четвертого параметра Стокса означає, що поляризація в усіх точках контуру, де інтенсивності змішаних компонент дорівнюють одна одній, в рівній мірі дистанціюється від стану поляризації компонент, тобто ні право-, ні ліво циркулярна поляризація не переважає за інтенсивністю. Це знаходиться в прямій відповідності до рис. 2,а. В усіх точках такого контуру (L- контур) пучок є лінійно поляризованим з азимутом $\alpha = 0.5 \tan^{-1}(s_2/s_1) = \Delta/2$, а кут еліптичності $\beta = 0.5 \arcsin s_3 = 0$. Крім того, ступінь поляризації $P = \sqrt{s_1^2 + s_2^2} \equiv 1$.

Відповідно до гвинтової структури хвильового фронту LG_0^1 -моди, різниця фаз компонент змінюється уздовж контуру рівної інтенсивності, що призводить до зміни азимута поляризації. Так ми отримуємо прямий аналог L-контур. Крім того, в центрі вихору LG_0^1 -моди ми маємо $c = 0$. Знову ж таки, виходячи з формули (5) знаходимо нормовані параметри Стокса, тобто ліво циркулярну поляризацію плоскої хвилі. В околі такої C-точки поляризація є еліптичною, азимут поляризації змінюється зі зміною координат та зменшенням еліптичності від вихору до L-контур, (6), де закрутка є невизначеною і змінюється при перетині цього контуру.

Таким чином, для циркулярного базису поляризації рух вздовж контуру комбінованого пучка "LG₀¹ мода + плоска хвиля", де інтенсивності компонент стають рівними, відповідає руху уздовж екватора сфери Пуанкаре, який визначається тільки співвідношенням другого і третього параметрів Стокса. (Для порівняння, якщо використовувати лінійний базис поляризації, скажімо, 0° і 90°, отримуємо тим же шляхом нормовані параметри Стокса для комбінованого пучка, які відповідають точкам 45°-меридіану сфери Пуанкаре, див. рис. 2,б)

2. Некогерентне змішування. Тепер не має необхідності переходу від векторів Джонса і формування матриці когерентності комбінованого пучка. Можна відразу визначити параметри Стокса взаємно некогерентних компонент і їх безпосередню суму, без урахування фазових співвідношень, які не враховуються при некогерентному додаванні. Нормовані параметри Стокса ортогонально поляризованих пучків відрізняються тільки знаком другого, третього і четвертого параметра: $\{1, s_1, s_2, s_3\}$ і $\{1, -s_1, -s_2, -s_3\}$. Цілком очевидно, що, коли дві компоненти стали рівні по інтенсивності, нормовані параметри Стокса комбінованого пучка стають $\{1, 0, 0, 0\}$. Поле в таких елементах є повністю неполяризованим. Це і є U-сингулярності. Цей випадок показаний на рис. 2,в на прикладі некогерентного змішування ортогонально циркулярно поляризованих компонент. Траєкторія зображаючої точки для комбінованого пучка в цьому випадку є діаметром сфери Пуанкаре, що з'єднує два полюси. U-сингулярність

зображено в центрі цієї сфери, а всі інші точки (окрім центру і полюсів) зображують частково циркулярно поляризоване поле. При цьому довжина вектора, проведеного всередині з центру сфери Пуанкаре до зображуючої точки дорівнює ступеню поляризації. Точка, де ступінь поляризації дорівнює одиниці, називається Р- (повністю поляризованою) точкою. Її локалізація визначає вихр ортогонально поляризованої (скалярної сингулярної) компоненти. Серія Р-точок і U-контурів відповідає екстремумам ступеня поляризації поля, і є *сингулярними ступеня поляризації*, що формують векторний скелетон двокомпонентної суміші ортогонально поляризованих пучків.

Підкреслимо, що умови, в яких утворюються U-сингулярності, еквівалентні до умов, у яких утворюються L-контури при повній когерентності. Це означає, що локалізація С і L сингулярностей повністю когерентних полів і Р- і U-сингулярностей у частково когерентних полях, що виникають із некогерентних ортогонально поляризованих компонент, відповідно збігаються. Вихід із U-сингулярності призводить до домінування однієї з двох ортогональних компонент інтенсивності. Стан поляризації визначається переважаючою компонентою. Ось чому, ступінь поляризації може бути визначений в аналогічному вигляді через видність:

$$P = \left| \frac{I_1 - I_2}{I_1 + I_2} \right|. \quad (7)$$

Іншими словами, в кожній точці комбінованого пучка світла однаково за інтенсивністю ортогональні компоненти утворюють неполяризований фон, на якому виявляються повністю поляризовані частини, що відповідають поляризації переважаючої за інтенсивністю компоненти. Це твердження цілком узгоджується з класичним розкладом частково поляризованих пучків на повністю когерентну і повністю некогерентну частини, які накладаються за інтенсивністю, без урахування фазових співвідношень. Зазначимо, що не має ніяких пристроїв, що забезпечують таке розкладання на практиці. Тим не менш, повністю поляризована частина може бути визначена експериментальним шляхом, а саме, проведенням Стокс-поляриметричного експерименту, $P = \sqrt{s_1^2 + s_2^2 + s_3^2}$, що еквівалентно рівнянню (7). Теоретично можна поставити у відповідність таким пучкам набір з двох матриць когерентності - для повністю поляризованих і повністю неполяризованих частин пучка [7].

Отже, розгляд граничних випадків свідчить про однакову локалізацію С- і Р-сингулярностей та L- і U-сингулярностей для того ж набору компонент. Разом з тим, околиці таких сингулярностей істотно відрізняються. Тільки два ортогональні стани поляризації мають місце в просторово частково когерентних комбінованих пучків, і тільки ступінь поляризації змінюється від точки до точки в областях, що відокремлюються U-сингулярностями.

Векторні сингулярності для частково взаємно когерентних компонент

Розглянемо тепер загальний випадок, коли дві змішані компоненти, показані

на рис. 1, ортогонально (циркулярно) поляризовані та частково взаємно когерентні, так, що ступінь взаємної когерентності компонент може поступово змінюватися від одиниці до нуля. Це може бути реалізовано в розташуванні інтерферометра Маха-Цендера з керованою оптичною різницею ходу в плечах інтерферометра (рис. 3).

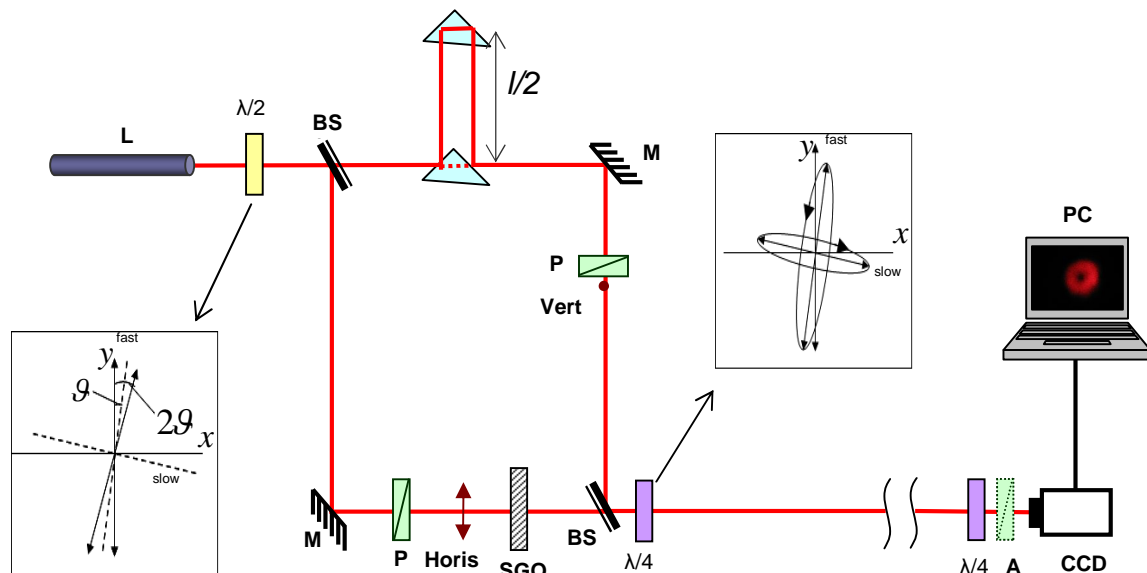


Рис. 3. Загальне розташування для генерації та виявлення векторних сингулярностей в частково когерентних пучках: L - гелій-неоновий лазер; $\lambda/2$ і $\lambda/4$ - пів- та чвертьхвильові пластинки, відповідно, P - поляризатор; A - лінійний аналізатор; SGO - комп'ютерно-синтезовані голограми, BS - світлоподільник, M - дзеркала; CCD - ПЗЗ-камера; PC - персональний комп'ютер. Вставки показують дію $\lambda/2$ і $\lambda/4$ пластинок на вході та на виході інтерферометра; дві призми забезпечують затримку оптичного шляху

Півхвильова пластинка на вході інтерферометра служить для точного балансування співвідношення інтенсивностей між пучками у плечах інтерферометра без зміни результуючої інтенсивності на виході. Два поляризатори всередині в інтерферометрі контролюють настройки ортогональної лінійної поляризації. LG_0^1 -мода генерується комп'ютерно-синтезованою голограмою. Чвертьхвильова пластинка на виході інтерферометра перетворює ортогональну лінійну поляризацію в ортогональну циркулярну. Чвертьхвильова пластинка і лінійний аналізатор на приймальному кінці, разом з CCD-камерою та персональним комп'ютером служать для Стокса-поляриметричного аналізу комбінованого пучка. Дві призми, в одному з плечей інтерферометра дозволяють контролювати оптичну різницю ходу і взаємну когерентність змішаних компонент. А саме, можна управляти шляхом затримки Δl від нуля до величи-

ни, що перевищує довжину когерентності (довжина хвильового цугу) l використовуваного лазера. Зміна співвідношення $\Delta l/l$ відповідає зміні ступеня взаємної когерентності ортогонально поляризованих компонент. Так, для $0 < \Delta l/l < 1$ комбінований пучок є *одночасно* частково просторово когерентним і частково часо когерентним.

Умова виникнення L-контурів та U-контурів в граничних випадках змішування циркулярно ортогонально поляризованих пучків є однаковою, а саме: інтенсивності компонент повинні бути рівні між собою. Якщо оптична різниця ходу збільшується від нуля, поле на L-контурі залишається лінійно поляризованим, але ступінь поляризації зменшується. Це впливає з того, що ступінь поляризації пучка визначається ступенем взаємної когерентності його довільних ортогональних складових [5,7], тобто U-контур *зароджується* саме в нижній частині L-контурі.

Ступінь поляризації може бути еквівалентно представлений з огляду на вимірювані параметри Стокса, або теоретично, зокрема, через інваріанти матриці когерентності, які в той же час визначають властивості когерентності поля:

$$P = \sqrt{1 - \frac{4 \det \{ \mathbf{J} \}}{\text{Sp}^2 \{ \mathbf{J} \}}}. \quad (8)$$

Для цього, в цілому, ступінь поляризації за модулем завжди не менший ніж ступінь взаємної когерентності компонент, і для циркулярно поляризованих компонент виглядає:

$$|\mu_{rl}| = \left| \frac{J_{rl}}{\sqrt{J_{rr} J_{ll}}} \right|. \quad (9)$$

У загальному випадку, $P \neq |\mu_{rl}|$, ступінь когерентності залежить від розкладу базису, а ступінь поляризації є інваріантним [5]. Тим не менш, було показано [7], що ступінь поляризації дорівнює *максимальному* ступеню когерентності $P \equiv |\mu_{rl}|_{\max}$, у випадку, коли компоненти мають однакову інтенсивність. Це саме випадок L- і U- сингулярностей. Найбільш важливо, що зміна оптичної різниці ходу змінює вагу $|\mu_{rl}|$ повністю когерентної (і повністю поляризованої) частини пучка в комбінованому пучку і $1 - |\mu_{rl}|$ повністю некогерентної частини. Збільшення $\Delta l/l$ різниці відповідає збільшенню ваги U-сингулярності проти L- сингулярності, так що можна простежити поступове перетворення L-контурі в U- контур.

Схема змішування LG_0^1 -моди і плоскої хвилі представлено на рис.3. Інтенсивність плоскої хвилі була значно (приблизно на порядок) менша за максимальну інтенсивність моди, і обидві компоненти були циркулярно (ортогонально) поляризовані.

На рис.4 показано комбінований пучок, який був отриманий в наслідок некогерентного змішування двох компонент для $\Delta l/l \approx 3$.

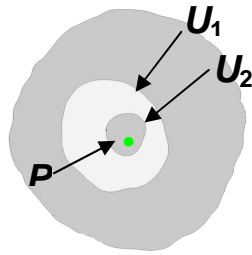
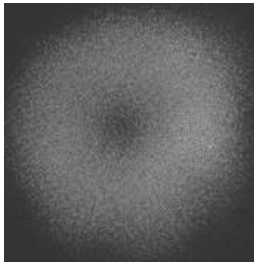


Рис.4. Комбінований частково когерентний пучок та його векторний скелетон, утворений P- і U-сингулярностями, для повного некогерентного змішування циркулярно-поляризованих компонент

Було виміряно просторовий розподіл параметрів Стокса і взято до уваги елементи, в яких $s_1 = s_2 = s_3 = 0$ ($P = 0$, U-контури), і P-точки, (див. обговорення після формули (6)). Таким чином, стало можливим відновити векторний скелетон частково просторово когерентного комбінованого пучка з повністю взаємно некогерентних компонент, як у [2,3]. Точність визначення нормованих параметрів Стокса була на рівні 7%, це надійність, з якою ми реконструювали P-точки і U-контури. P- і U-сингулярності для цього випадку наведені на правому фрагменті рис. 4. Два контури, які розділяють області з право- та лівоциркулярною поляризацією, показані різними відтінками. У цих областях $\sqrt{s_1^2 + s_2^2} = 0$, коли $s_3 < 1$.

Підкреслимо, що повний Стокс-поляриметричний експеримент для поперечного перерізу комбінованого пучка є необхідним в цьому випадку, оскільки робота лише з обертанням лінійного аналізатора не передбачає диференціацію часткової циркулярної поляризації та повної еліптичної поляризації. На рис.5 показано градацію ступеня поляризації цього комбінованого пучка. Крива 1 показує дві бічні радіальні залежності P , що розраховується згідно рівняння (7). Крива 2 показує експериментально отриманий розподіл знайдений у вигляді комбінації з вимірюваних параметрів Стокса, тут $P = |s_3|$.

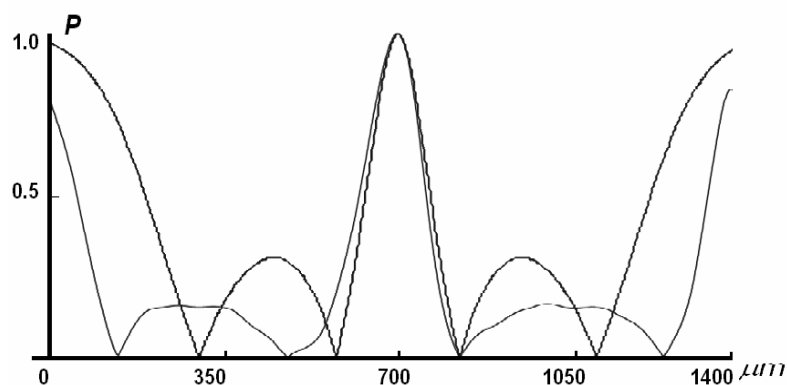


Рис. 5. Розподіл ступеня поляризації комбінованого пучка, утвореного двома взаємно некогерентними ортогонально поляризованими компонентами, які визначені на рис. 1 і показані на рис. 4

Кількісні розбіжності двох кривих (і в позиціях нулів, і у висоті бічних частин) пояснюються анізотропією вихору. Тим не менше, поведінка експериментальної залежності знаходиться у досить задовільному якісному узгодженні з результатами чисельного моделювання. Зокрема, спостерігається два нулі ступеня поляризації по обидві сторони від центрального оптичного вихору, які і є слідами двох U-контурів. Крім того, експеримент виявив типові концентричні околиці U-контурів, нещодавно передбачені і спостережувані в [3], які є надійною ознакою справжньої сингулярності будь-якого роду, на відміну від локального мінімуму.

Другий граничний випадок (повністю взаємно когерентні компоненти) для $\Delta l/l \ll 1$ (приблизно 0,05) ілюструється на рис 6. Знову були отримані просторові карти параметрів Стокса, і обрані елементи $s_3 = 0$ і $\sqrt{s_1^2 + s_2^2} = 1$. Це лінії лінійної поляризації. Так, в кількох вибраних точках таких L-ліній ми визначили азимут поляризації, знову ж двома шляхами: по-перше, як $\tan^{-1}(s_2/s_1)$, і, по-друге, через прямі вимірювання азимута обертання лінійного аналізатора аж до повного зникнення поля в заданій точці, що відповідає ортогональності азимута поляризації комбінованого пучка і осі максимального пропускання аналізатора. Розходження між двома результатами для визначення азимута поляризації не перевищує 0,03 рад (приблизно 6 °).

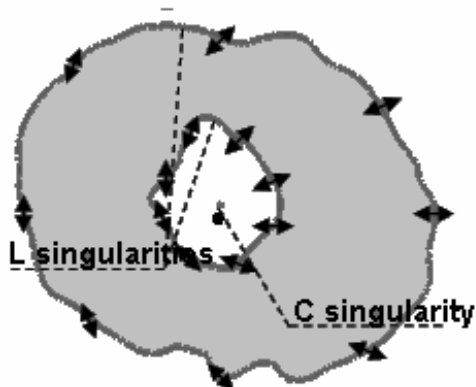


Рис.6. C- та L-сингулярності у комбінованому пучку, зібраному з абсолютно взаємно когерентних ортогонально (циркулярно) поляризованих LG_0^1 моди і плоскої хвилі. На L-лініях, де інтенсивності двох змішаних компонент рівні, азимут поляризації змінюється згідно до передбачення.

Нарешті, ми експериментально дослідили проміжний випадок, коли $0 < \Delta l/l < 1$. Крок за кроком, збільшуючи оптичну різницю ходу між тими ж ортогонально (циркулярно) поляризованими компонентами, ми отримали просторовий розподіл для компонентів Стокса $I_0, I_{90}, I_{+45}, I_{-45}, I_r, I_l$ і знайшли з них параметри Стокса. Далі, ступінь поляризації та еліпсометричні параметри комбінованого пучка визначаються як комбінація цих параметрів. Подивимось на один з ряду проміжних результатів, який проходить попередню обробку.

На рис.7 показано комбіновані пучки "LG₀¹ мода + плоска хвиля" (з великим співвідношенням інтенсивності, таким, що плоска хвиля не візуалізується) для випадку відносного оптичного шляху близького до одиниці (межа когерентності на рис. 6, рис.7,а) і для випадку, коли відносний оптичний шлях трохи більше половини довжини когерентності використовуваного лазера (рис 7,г).

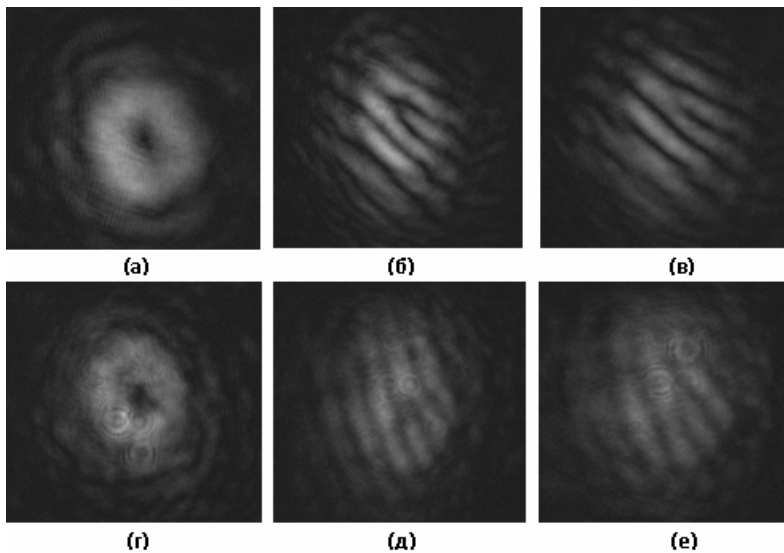


Рис.7. Комбіновані пучки "мода LG_0^{1+} плоска хвиля" з відносною оптичною затримкою шляху $\Delta l/l \approx 0.05$ (а) і $\Delta l/l \approx 0.56$ (з); відповідний розподіл інтенсивності за лінійним аналізатором для визначення третього параметра Стокса: 45° (б, д) і -45° (в, е).

Інші фрагменти цього розподілу інтенсивності I_{+45} (центральна колонка) і I_{-45} (права колонка) використовуються для формування третього параметра Стокса. Хоча дві ортогонально поляризовані компоненти не інтерферують, їх однакові проєкції поляризації, обрані внаслідок правильно орієнтованого поляризатора, *можуть* інтерферувати залежно від їх взаємної когерентності. Якщо ступінь взаємної когерентності компонент не дорівнює нулю, їх однаково поляризовані проєкції інтерферують, формуючи типові картини, що вказують на наявні фазові сингулярності. Для визначення місцеположення вихора ми вибрали ненульовий кут інтерференції між компонентами (який, є досить малим, щоб не впливати на точність вимірювання поляризації). При цьому ми спостерігали не типову для коаксіального змішування LG_0^{1+} -моди і плоскої хвилі спіралевидну картину, а отримали інтерференційні «вилки». Порівняння центрального та лівого стовпця на рис. 7 показує, що просторові розподіли інтенсивності для ортогональних поляризаційних проєкцій комбінованого пучка взаємодоповнюють один одного в тому сенсі, що темна «вилка» замінюється світлою. Зменшення видимості інтерференційних смуг у фрагментах (в) і (е) відповідає паралельно зменшенню ступеня взаємної когерентності змішаних компонент, а також ступеня поляризації комбінованого пучка. Основний висновок випливає з порівняння фрагментів б і д (в і е). Зменшення взаємної когерентності змішаних компонент і зменшення ступеня поляризації комбінованого пучка супроводжується зменшенням здатності однакових проєкції поляризації змішаних компонент до інтерференції, що проявляється у зменшенні видимості інтерференційної картини.

Висновки

Було показано, що поступова трансформація С- і L-сингулярностей в Р- і U-сингулярності, відповідно, супроводжується зменшенням ступеня взаємної когерентності компонент. Отже, звичайні векторні сингулярності повністю когерентних полів (С-точки і L-лінії) зникають у некогерентній частини

комбінованого пучка, так що лише поляризація компонент переважає в інтенсивності, залишаючись в околі Р-точок і U-ліній.

Важливість виявлення таких елементів поля як векторні сингулярності обумовлена тим фактом, що вони утворюють своєрідний скелетон поля, так що, якби знати поведінку поля в таких сингулярних елементах (і в найближчих їх околах), то можливо передбачити, принаймні в якісній формі, але з високим ступенем ймовірності, поведінку поля в усіх інших областях.

Література

1. Berry M.V., Dennis M.R., "Quantum cores of optical phase singularities," J. Opt.A.: Pure Appl. Opt. 6, S178 (3 pp) (2004).
2. Felde Ch.V., Chernyshov A.A., Bogatyryova H.V., Polyanskii P.V., Soskin M.S., "Polarization singularities in partially coherent combined beams," JETP Lett, 88, 418-422 (2008).
3. Chernyshov A.A., Felde Ch.V., Bogatyryova H.V., Polyanskii P.V., Soskin M.S., "Vector singularities of the combined beams assembled from mutually incoherent orthogonally polarized components," J. Opt. A.: Pure Appl. Opt. 11, 094010 (8 pp) (2009).
4. Shurcliff W. A., Polarized Light: Production and Use, Harvard Univ. Press, Cambridge, Massachusetts (1962).
5. Wolf E., Mandel L. "Coherence properties of optical fields," Rev. Mod. Phys., 37, 231-287 (1965).
6. Azzam R.M.A., Bashara N.M., Ellipsometry and Polarized Light, Amsterdam: North-Holland (1977).
7. Born M., Wolf E., Principles of Optics, 7th ed., Cambridge: Cambridge Univ. Press (1997).

¹⁾ А.А. Чернышов, ¹⁾ К.В. Фельдэ, ¹⁾ П.В. Полянский, ²⁾ Г.В. Богатырева

¹⁾Черновицкий национальный университет, г. Черновцы, Украина;

²⁾Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г.Киев, Украина

НОВЫЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ СИНГУЛЯРНОСТИ В ЧАСТИЧНО-КОГЕРЕНТНЫХ СВЕТОВЫХ ПУЧКАХ

Продемонстрировано, что при наложении некогерентной суперпозиции ортогонально поляризованных лазерных, пучков в поперечном сечении параксиального комбинированного пучка вместо привычных сингулярностей, таких как нули амплитуды (оптические вихри), свойственные скалярным полям и поляризаационных сингулярностей, таких как С-точки и L-линии, свойственные полностью когерентным векторным полям, возникают поляризаационные сингулярности нового типа. Это U-контуры, вдоль которых степень поляризации равняется нулю, и состояние поляризации неопределенно (сингулярно) и изолированные Р-точки, где степень поляризации равна единице и состояние поляризации определяется компонентой комбинированного пучка, который не исчезает. Впервые рассматривается корреляция между полностью когерентным и полностью некогерентными векторными сингулярностями. Приводятся первые экспериментальные примеры реконструкции векторного скелетона комбинированного пучка, сформированного U и Р сингулярностями, как экстремумами комплексной степени поляризации.

Ключевые слова: сингулярна оптика, оптичні вихри, частинна когерентність, частинна поляризація

¹⁾ А.А. Chernyshov, ¹⁾ Ch.V. Felde, ¹⁾ P.V. Polyanskii, ²⁾ H.V. Bogatyryova

¹⁾ Chernivtsi national university, Chernivtsi, Ukraine;

²⁾ National technical university of Ukraine the "Kyiv polytechnic institute", Kyiv, Ukraine

NEW POLARIZATION SINGULARITIES IN PARTLY-COHERENT LIGHT BEAMS

It has been demonstrated that incoherent superposition of orthogonally polarized laser beams results in appearance of polarization singularities of a new type at the transversal cross-section of a paraxial combined beam, instead of common optical vortices inherent in scalar fields or C-points and L-lines inherent in completely coherent vector fields. There are U-contours along with the degree of polarization equals zero and the state of polarization is undetermined (singular), and P-points where the polarization degree equals zero and the state of polarization is determined by non-vanishing component of the combined beam. Correlation between completely coherent and completely incoherent polarization singularities has been considered for the first time. Experimental examples of reconstruction of the vector skeleton of combined beam constituting by the set of U and P singularities as the extrema of the complex degree of polarization are provided.

Keywords: singular optics, optical vortices, partial coherence, partial polarization.

*Надійшла до редакції
30 жовтня 2010 року*

УДК 520.6.07

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЛНЦЕЗАЩИТНЫХ БЛЕНД ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ЗВЕЗДНЫХ АППАРАТОВ

Артюхина Н.К., Котов М.Н., Крумкач В.И.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Проанализированы основные типы солнцезащитных бленд оптико-электронных звездных аппаратов, особенности их габаритного расчета. Предложены математическая модель работы бленды и методики светотехнического расчета освещенности выходного окна бленды. Выбраны необходимые параметры для моделирования, оптимизации и анализа эффективности бленд. Предложена оптимальная конструкция солнцезащитной бленды для широкопольного звездного аппарата.

Ключевые слова: *моделирование, бленда, расчет, диафрагма, кромка, входное окно, выходное окно, коэффициент зеркального отражения, коэффициент диффузного отражения, поглощающее покрытие, поле зрения, коэффициент ослабления, рабочий угол Солнца.*

Введение

Точное ориентирование в пространстве – одна из важнейших стратегических функций космических аппаратов (КА). Для этой цели на борт КА помещают специальные блоки ориентирования (гироскопы; блоки оптического ориентирования). Использование звезд является одним из наиболее точных и автономных способов для определения ориентации летающих объектов. Для определения ориентации с помощью звезд на борту летательного аппарата устанавливается система астроориентации, в состав которой входят один или несколько звездных аппаратов – астродатчиков.

Съёмочная система астродатчика состоит из

- объектива,
- приемника изображения: ПЗС-матрицы с электронными модулями,
- технических средств защиты плоскости изображения от возможных помех боковой засветки Солнцем и отраженным светом от Земли.