

# ПОДБРАНИ ПО-СЪЩЕСТВЕНИ ЦИТИРАНИЯ НА РЕЗУЛТАТИ НА КАНДИДАТА В КОНКУРСА ЗА ДЕЙСТВИТЕЛЕН ЧЛЕН НА БАН ЧЛЕН-КОРЕСПОНДЕНТ ПРОФ. АЛЕКСАНДЪР ДРАЙШУ

## 1. Обзор [Cit1] (Yu. S. Kivshar, G. P. Agrawal, "Optical Solitons: From fibers to photonic crystals," Chap. 7, Physics Reports, pp. 250-290 (2003).)

Еднозначно се посочва, че концепцията за векторни оптични вихрови солитони с компоненти с различни поляризации е въведена от нас. Цитирам: „*Вихровите солитони могат да бъдат обобщени да включват и поляризацията на светлината. Полета с различни поляризации могат да имат вихрова структура. Този вид двойни вихрови солитони е известен в други области ... и наскоро бе въведен в нелинейната оптика [...20]. Показва се наши резултат: „Фиг. 7.4. показва профилите на нормираната функция  $U(r)$ , получена числено за различни стойности на  $m$  [...35].*”

Недвусмислено се признава, че нашата група е първата, изследвала и стигнала до идеята за стабилни решетки от оптични вихри: „*Когато няколко вихъра бъдат генерирани, те могат да проявят интересна динамика, която понякога се свързва с флуидоподобно движение [...73], което силно зависи от геометричната конфигурация на ансамбъла. Разпространението на най-простия ансамбъл - двойка вихри – е изследвано от няколко групи [...75].*” По-нататък четем: „*За първи път Драйшу и сътрудници [78] са моделирали числено разпространението на решетки с различни геометрии и различни топологични заряди (виж Фиг. 7.11).*” Нещо повече, нашата група за първи път успява експериментално да генерира големи решетки от оптични вихри, което в обзора се признава така: „*Първото експериментално изследване на решетки от оптични вихри съвсем наскоро бе докладвано от Драйшу и сътрудници [78].*” Тяхната Фиг. 7.12 е препечатана фигура от нашата статия [A40]. Цитиране на двете ни пионерни работи [A19,A30] в [Physics Letters A 383(2019) 2579–2583] е показателно за това, че над 20 години по-късно тези резултати продължават да бъдат актуални.

В обзора на Кившар пределно ясно се посочва още, че нашата група е първата, генерирала пръстеновидните тъмни солитоноподобни вълни, теоретично предсказани от самия Kivshar: „*Експериментални резултати, доказващи съществуването на тези пръстеновидни тъмни солитони са докладвани от Балушев и сътрудници [A15,A14]...(Следва описание на експеримента)...Резултатите са в добро качествено съгласие с теорията и с числените симулации, докладвани от Kivshar и Yang (виж също Каменов и сътрудници [A23]. Съвсем наскоро бе измерен и фазовия профил на пръстеновидния тъмен солитон [A17,A25].*” Подробно се коментира и по-нататъшна наша идея за приложение на тези вълни: „*Много интересна идея е предложена от Драйшу и сътрудници [A21], които изследват теоретично воденето на няколко сигнални снопа от един пръстеновиден тъмен солитон. Авторите предлагат да се използва  $(1+1)$ -размерен тъмен пространствен солитон като оптично-индуциран оптичен кабел за предаване на  $(2+1)$ -размерни светли импулси. Идеята е също толкова валидна за предаване на светлинни курумути по вълноводи, "записани" чрез тъмни солитони. Но понеже тъмните солитони страдат от напречна модулационна нестабилност, Драйшу и сътрудници [A21]*

предлагат да се ползва пръстеновиден тъмен солитон в качеството му на закривен вълновод. Идеята е нетривиално обобщение на концепцията за солитонно-индуцирани вълноводи, която обсъдихме преди за (1+1)-размерни тъмни солитони, и позволява да се ползва повече от един сигнален сноп. Драйшу и сътрудници [A21] показват и стабилност по отношение на разстройка на схемата на водене, подобна на вътрешната стабилност на водене в двойка тъмен-светъл солитон...”

**2. Статия [Cit2] (Yu. Gaididei, O. M. Volkov, V. P. Kravchuk, D. D. Sheka, “Magnetic vortex-antivortex crystals generated by spin-polarized current,” Physics Rev B 86, art. # 144401 (2012).)**

По повод на оптичните решетки от вихри авторите пишат: „Супер-структури от вихри са известни от вихрите на Келвин във флуиди [...]. Понастоящем, супер-решетки от вихри са известни в свръхпроводимостта [...], суперфлуидността [...], Бозе-Айнщайн-кондензатите (...) и в оптиката [A40...].” Тук нашата пионерна работа коректно се цитира на първо място от всичко три работи.

**3. Статия [Cit3] (H. E. Nistazakis, D. J. Frantzeskakis, B. A. Malomed, P. G. Kevrekidis, “Head-on collisions of ring dark solitons,” Physics Letters A 285, pp. 157-164 (2001).)**

Авторите посочват, че „Въпреки че пръстеновидните тъмни солитонopodobни вълни не са стационарни обекти (радиусът на пръстена се променя по дължината на разпространение - нещо, което ние доказахме и никога не употребяваме термина "солитон") те имат потенциални приложения за паралелно водене на сигнални снопове [A21].”. По-нататък се посочва: „Редукцията на уравнението на Кортевег-де Врис може да е полезно, за да се разбере динамиката на пръстеновидните тъмни солитонopodobни вълни, наблюдавана в наскорошен експеримент [A38].”

**4. Статия [Cit4] (L. A. Toikka, K.-A. Suominen, “Snake instability of ring dark solitons in toroidally trapped Bose-Einstein condensates,” Phys. Rev. A 87, art. # 043601 (2013).)**

В контекста на доказано от нас съществуващите пръстеновидни солитонopodobни вълни авторите пишат: "Цилиндрично-симетричните системи, изтъквайки най-напред концепцията за пръстеновидните светли [...] и тъмни солитони [A38], дава пример за двумерна система, в която динамиката може да се редуцира до едномерно уравнение, правейки с това уместен въпроса за стабилността."

**5. Статия [Cit5] (Shu-Wei Song, Deng-Shan Wang, Hanquan Wang, W. M. Liu, “Generation of ring dark solitons by phase engineering and their oscillations in spin-1 Bose-Einstein condensates,” Phys. Rev. A 85, art. # 063617 (2012).)**

"Концепцията за пръстеновиден тъмен солитон беше въведена теоретично и реализирана експериментално в нелинейната оптика". Коректно се цитират първите 2 теоретични статии

Y.S. Kivshar X.Yang, Phys. Rev. E **50**, R40 (1994).

H. Nistazakis, D.J. Frantzeskakis, B.A. Malomed, P.G. Kevrekidis, Phys. Lett. A **285**, 157 (2001).  
и първото експериментално наблюдение, описано в нашата статия

A. Dreischuh, D. Neshev, G. G. Paulus, F. Grasbon, H. Walther, Phys. Rev. E **66**, 066611 (2002).

**6. Статия [Cit6] (T. Yamada, A. Uchida, T. Nakata, F. Kannari, “Subpicosecond pulse compression in the VUV region by induced phase modulation in Xe,” IEEE J. Quant. Electron., MS#MO-R-04, (2005).)**

Признава се, че наша е идеята чрез индуцирана фазова модулация да се постигне нужното разширяване на спектъра на ултравиолетови импулси за последващото им компресиране. Текстът гласи: *„Алтернативно, суб-пикосекундни импулси във вакуумния ултравиолет могат да бъдат генерирани чрез директна компресия, ползвайки фазово-модулационен ефект, индуциран от интензивно напомпване във видимата част на спектъра върху относително слаб сигнален импулс във вакуумния ултравиолет [А6,А3,А7].”* Следва подробно описание на метода, след което четем: *“Въпреки че Динев и Драйшу са описал резултатите от анализа на индуцираната фазова модулация във вакуумния ултравиолет [А6], уравненията на разпространение при индуцирана фазова модулация са опростени във времевата област чрез пренебрегване на втората и на по-високите степени на чирпа.”* Забележката е уместна, но и обяснима, след като наш е първият анализ на новата идея.

**7. Статия [Cit7] (T. Nakata, T. Yamada, F. Kannari, “Picosecond VUV pulse generation by dual-wavelength-pumped Raman shifting,” Jpn. J. Appl. Phys. 34, 6401-6406 (1995).)**

Признава се оригиналността на нашата идея за индуцирана фазова модулация и компресия на късовълнови импулси: *„Разцепеният импулс би бил подходящ за по-нататъшно компресиране, ползвайки фазова крос-модулация, както това е предложено от Динев и Драйшу [А6] и както наскоро бе анализирано от нас.”*

**8. Статия [Cit8] (T. Nakata, T. Yamada, F. Kannari, “Picosecond VUV pulse generation by dual-wavelength-pumped Raman shifting,” Jpn. J. Appl. Phys. 34, 6401-6406 (1995).)**

По повод на оригиналната ни идея за индуцирано отклонение на пробен сноп и последващата му пространствена филтрация с цел едновременно скъсяване и промяна на формата на импулсите авторите пишат: *„Интензитетно-зависимото пространствено отклонение на сноп в резултат на асиметрична фазова модулация, индуцирана от напомпващ импулс в оптична Керово-подобна среда, свързана с последващо пространствено филтриране, също бе прогнозирано теоретично за скъсяване на пробни импулси и за промяна на формата им [А12]. По-късно техниката бе приложена експериментално (пак от нашата група, с наносекундни импулси) и бе получен коефициент на скъсяване  $\delta$  и бяха генерирани контролируемо супер-Гаусови импулси.”*

**9. Статия [Cit9] (H.-S. Albrecht, P. Heist, J. Kleinschmidt, D. V. Lap, “Ultrafast beam-deflection method and its application for measuring the transient refractive index of materials,” Appl. Phys. B 57, 193-197 (1993).)**

Авторите коректно посочват нашата предшестваща идея: *„Отклонението на снопове чрез индуцирана фазова модулация е интензивно изследвано в няколко статии [...А10...], където еволюцията на напречните профили на интензитета на взаимодействащите си снопове е описвана чрез системи от свързани нелинейни уравнения на Шрьодингер.”* В заключението на статията те акцентират на потенциални нейни приложения: *„Простият метод за отклонение на*

снопове, описан тук, позволява по-нататъшни приложения. Свръхбързото ъглово сканиране може да се ползва например за измерване на продължителността на свръхкъси импулси в късовълновата област на спектъра [A10] или за генериране на пределно къси импулси [...]. „

**10. Статия [Cit10] (A. Ryan, G. P. Agrawal, "Spatiotemporal coupling in dispersive nonlinear planar waveguides," J. Opt. Soc. Am. B 12, 2382-2389 (1995).)**

В контекста на техен последващ анализ, авторите посочват нашата предхождаща идея за пространствена филтрация на индуцирано-отклонен сноп/импулс: „Прогнозирана свръхбърза техника за промяна на формата на импулси също ползва пространствено-времевата връзка, осигурявана от Кервата нелинейност [A12].”

**11. Статия [Cit11] (R. McLeod, K. Wagner, S. Blair, "(3+1)-dimensional optical soliton dragging logic," Phys. Rev. A 52, 3254-3278 (1995).)**

В контекста на техните изследвания по напълнооптични схеми за изпълняване на логически операции, контролирани от светлина, авторите посочват, че: „Наскоро бе прогнозирано съществуването на триизмерни оптични солитони, които проявяват едновременно радиално симетрично двумерно самофокусиране и компресиране във времето [...,A5].” Тук и в много други работи нашата статия [A5] коректно се цитира наред с пионерната работа на Y. Silberberg (Opt. Lett. 15, 1282 (1990).) По-нататък четем: „Докато насищането и други подобни ефекти са интересни техники от гледна точка на стабилизирането, трябва да отбележим, че и по-екзотични методи привличат интерес. например втори оптичен импулс с различен цвят (дължина на вълната) може да се ползва, за да модифицира профила на показателя на пречупване, "виждан" от солитонния импулс [A5].”

**12. Статия [Cit12] (Light Bullet Home Page: <http://www.sfu.ca/~renns/lbullets>)**

Както се вижда от тази извадка от литературата в сайта, преди нашия анализ на формиране на светлинни куршуми на базата на индуцирана фазова модулация, на базата на фазова самомодулация съществуват само две предхождащи публикации – на Manassah и сътрудници и на Silberberg:

- A. B. Vlagoeva, S. G. Dinev, A. A. Dreischuh and A. Naidenov, "Light bullets formation in a bulk media," IEEE Journal of Quantum Electronics. **QE-27**, 2060 (1991).
- Y. Silberberg, "Collapse of optical pulses," Optics Letters. **15**, 1282 (1990).
- J. T. Manassah, P. L. Baldeck and R. R. Alfano, "Self-focusing, self-phase modulation, and diffraction in bulk homogeneous material," Optics Letters. **13**, 1090 (1988).

**13. Статия [Cit13] (Jean-Claude Diels, Wolfgang Rudolph, *Ultrafast Laser Pulse Phenomena: Fundamentals, Techniques, and Applications on a Femtosecond Time Scale* (Academic Press))**

В тази настолна книга за хората, работещи в областта на свръхкъсите лазерни импулси, по повод на светлинните куршуми авторите пишат: „Възможността да имаме пространствено-времеви филамент или „светлинен куршум” беше наскоро прогнозирана.” Една от четирите цитирани работи, но цитирана на второ място след тази на Silberberg, е нашата статия [A5].

**14. Статия [Cit14] (I. V. Mel'nikov, D. Michalache, N.-C. Panoiu, "Localized multidimensional femtosecond optical pulses in an off-resonance two-level medium," Optics Communications 181, 345-351 (2000).)**

С коректно позоваване на нашата работа авторите изясняват посочените от нас механизми на формиране на светлинни куршуми: *„Друг клас от концептуално важни оптични проблеми, за които не е в сила приближението на бавноменящите се амплитуди във фемтосекунден режим, включва многомерните пространствено-времеви солитонopodobни вълни, наричани светлинни куршуми, формиранни при конкуренцията между дифракция, дисперсия и квадратична [...] или кубична нелинейност [A5].“*

**15. Статия [Cit15] (N. Akhmediev, J. M. Soto-Crespo, "Generation of a train of three-dimensional optical solitons in self-focusing medium," Phys. Rev. A 47, 1358-1364 (1993).)**

Още в първото изречение на увода на статията си авторите изясняват посочените от нас условия за формиране на светлинни куршуми: *„Понастоящем има голям интерес към триизмерните локализиранни импулси, наричани оптични куршуми [...A5...] в самофокусираща среда с аномална дисперсия на груповата скорост.“*

**16. Статия [Cit16] (K. Hayata, M. Koshina, "Solution of self-trapped multidimensional optical beams by Galerkin's method," Optics Letters 17, 841-843 (1992).)**

Принципната важност на концепцията за оптичните куршуми е илюстрирана с цитиране на нашата работа [A5] по следния начин: *„Най-крайната форма на локализация на светлината е едновременно в пространството и във времето.“*

**17. Статия [Cit17] (D. Michalache, D. Mazilu, L.-C. Crasovan, B. A. Malomed, F. Lederer, "Three-dimensional spinning solitons in cubic-quintic nonlinear medium," Phys. Rev. E 61, 7142-7145 (2000).)**

На базата на цитиране на три статии, една от които – [A5] – авторите правят категоричното заявление: *„Съществуването на стабилни триизмерни пространствено-времеви солитони, наричани светлинни куршуми, понастоящем е добре установен факт“.*

**18. Статия [Cit18] (H. Leblond, D. Michalache, "Linear and nonlinear waveguiding of few-cycle optical solitons in a planar geometry," Phys. Rev. A 88, art. # 023840 (2013).)**

В контекста на оптичните солитони в планарна геометрия авторите пишат: *„Но има продължаващ поток от теоретични работи в областта на линейните и нелинейни светлинни куршуми; вижте **ранните идеологически работи** ...[цитират се 5 статии, между които и нашата [A5]].. и няколко наскорошни обзорни работи.“*

**19. Статия [Cit19] (B. DeBoo, D. E. Kimball, C.-H. Li, D. Budker, "Multichannel conical emission and parametric and nonparametric nonlinear optical processes in ytterbium vapor," J. Opt. Soc. Am. B 18, 639-645 (2001).)**

В цитираните тук две наши работи доказахме, че коничната емисия се дължи на четиривърлново параметрично смесване на честоти в условия на векторен синхронизъм. Тъй като в пари на метали и в газове всички вълни са в близост до резонанс, процесите на фазова

самоимодулация и на индуцирана фазова модулация са особено силно и нелинейно влияят върху условията на синхронизма, дължините на вълните и ъгъла на коничната емисия. Това е съществото на цитатите, в които четем:

*„При определени условия генерираната светлина може да бъде излъчена с куч конус в пространството [...A28,A29...]. Такава конична емисия (КЕ) е наблюдавана на дължини на вълните, близки до тази на възбуждащия лазер (вижте напр. [...] и цитатите там) и също на дължини на вълните, съответстващи на други преходи в атоми [...A28,A29...].”* По-нататък: *„Коничната емисия в системи с много нива често се интерпретира като резултат от запазване на импулса (фазово съгласуване в процеса на параметрично четириръвълново смесване (виж напр. [A28,A29] и [12])). Параметрични процеси като четириръвълновото смесване изискват (генерираните) фотони да имат една и съща пълна енергия и пълен импулс като тези на падащите фотони...”* И накрая: *„Както показва картината на фазовия синхронизъм на Фиг. 7, ако една от генерираните честоти се появи несъосно спрямо светлината на падащия лазерен сноп, тогава поне една друга честота трябва да направи същото. Това поведение беше предсказано [A28] (нашата първа публикация) за конична емисия в Na, но там не са наблюдавани лъчения на дължините на вълните между възбудени състояния (вижте [A28,A29](нашите две статии).*

**20. Статия [Cit20] (W. Krolikowski, O. Bang, “Solitons in nonlocal nonlinear media: exact results,” *Phys. Rev. E* vol. 63, Art. No. 016610(1-6) (2000); arXiv:nlin.PS/0006028, Jun 19, 2000.)**

Обяснявайки колко е важно да се отчита нелокалността, когато тя присъства, авторите на статията пишат: *„Разликите между теоретичния модел за тъмни солитони и наблюдаваното експериментално в среда с термична нелинейност са свързани с нелокалността на нелинейността.”* и цитират нашата статия [A34].

**21. Статия [Cit21] (Wei Chen, Qian Kong, Ming Shen, Qi Wang, Jielong Shi, “Polarized vector dark solitons in nonlocal Kerr-type self-defocusing media,” *Phys. Rev. A* vol. 87, Art. No. 013809 (2013).)**

Позовавайки се на нашата работа [A46], авторите отбелязват: *„Нелокалността може да повлияе на взаимодействията между тъмни солитони, формирайки стационарни свързани състояния на тъмни солитони, които иначе винаги се отблъскват в локална (нелинейна) среда.”*

**22. Статия [Cit22] (Xuekai Ma, Zhenjun Yang, Daquan Lu, Wei Hui, “Interface solitons in thermal nonlinear media,” *Phys. Rev. A* vol. 83, Art. No. 053831 (2011).)**

На две места в увода авторите пишат: *„Нелокални солитони са намерени (да съществуват) в много физични системи...”* *„Нелокалните солитони имат много интересни свойства, например големи фазови отмествания [...], привличане между два тъмни солитона [...A46], самоиндуцирана частична Фурие-трансформация [...] и други.”* Привличането между тъмни солитони вместо отблъскване между тях за първи път е доказано от нас и е важен резултат, доколкото огромен брой среди проявяват, в по-голяма или в по-малка степен, нелокалност. До момента статия [A46] е цитирана над 262 пъти.

**23. Статия [Cit23] (M. Soljacic, M. Segev, “Integer and fractional angular momentum borne on self-trapped necklace-ring beams,” *Phys. Rev. Lett.* vol. 86, pp. 420-423 (2001).)**

Статията е посветена на „necklace-ring beams”. Така наречените "necklace beams" са оформени като пръстени с дебелина, много по-малка от радиуса им. Техният интензитет е периодично модулиран по азимуталната координата  $\theta$ . Цитирайки наша работа, авторите пишат: „За да са стабилни, за всички вихрови солитони [имащи фазов множител  $\exp(im\theta)$ ],  $m$  е цяло число [A38].”. В цитат [14] на тяхната статия авторите, позовавайки се пак на нашата статия [A37], пишат: "В самодифокусираща Керова среда единствените стабилни оптични вихрови солитони са тези с  $m=\pm 1$ . Многократно заредените вихрови солитони са нестабилни, въпреки че нестабилността се потиска от насищането (на нелинейността)."

**24. Статия [Cit24] (Д. Гапонов, А. Прямикова, А. Сысолятин, "Новые типы световодов: революция в волоконной оптике," Фотоника 2, 30-38 (2009).)**

В статията авторите правят преглед на най-важните резултати, докладвани на международната конференция Photonics'2008, проведена в Делхи, Индия. Една страница и половина е отделена на нелинейните вълнови взаимодействия в периодични структури. Буквално са препечатани три фигури със седем панела от статията ни [A50] и са преведени цели параграфи от нея. Основният акцент е поставен върху дадените от нас физически интерпретации на наблюдавания пространствено-спектрален контрол на суперконтинуум в периодична структура от вълноводи.

**25. Статия [Cit25] (N. I. Shvetsov-Shilovski, S. V. Popruzhenko, S. P. Goreslavski, "Asymmetric emission of rescattered photoelectrons in intense laser fields with elliptical polarization," IQEC/LAT'2002 Technical digest, Paper QSuU16.)**

В този и в следващите цитати се отбелязват важни страни на наши изследвания по надпрагова йонизация с фемтосекундни импулси. В тази работа авторите пишат: „Възможността да се измери разпределението на фотоелектроните във високоенергетичната част на спектъра на надпраговата йонизация в полетата на интензивна, елиптически-поляризирана светлина, стимулира развитието на адекватни теоретични модели.” (Тук се цитира нашата експериментална работа [B8].)

**26. Статия [Cit26] (M. Weckenbrock, D. Zeidler, A. Staudte, Th. Weber, et al., "Fully differential rates for femtosecond multiphoton double ionization of Neon," Phys. Rev. Lett. 92, art. # 213002 (2004).)**

Изяснявайки механизма на процеса на многофотонната двойна йонизация, авторите пишат: „Тъй като енергията на повторния сблъсък е близка до прага на непоследователна двойна йонизация, трябва да отчетем влиянието на променящото се във времето (оптично) поле върху моментната стойност на йонизационния потенциал на йона-партньор [A42] (наша публикация). Следвайки аргументите в [A42], предположихме, че полето е косинусово, като пренебрегнахме времевата зависимост на обвивката на полета на импулса  $E_0$ .” По-нататък четем: „В съгласие с предишни измервания [...A42] установихме максимум (на корелацията на импулсите), когато двата електрона се отделят от една и съща страна със сходни импулси.” До момента статия [A42] е цитирана над 102 пъти.

**27. Статия [Cit27] (J.-L. Thomas, T. Brunet, F. Coulouvrat, "Generalization of helicoidal beams for short pulses," Phys. Rev. E 81, art. # 016601 (2010).)**

В специализираната литература е известно и признато, че нашата група бе първата, която намери пътя за генериране на сингулярни снопове в полетата на свръхкъси импулси. Авторите на статията са прецизни в това отношение, пишейки: „*Във всички описани до тук в увода на статията резултати вълните са или монохроматични, или квази-монохроматични - вълнова поредица от най-малкото една дузина цикли на носещата вълна. В оптиката едно от полетата на интензивни изследвания е генерирането на свръхкъси лазерни импулси със сингулярности [A44...]*.” Като следваща в списъка на цитатите коректно е посочена по-късната работа на I. Mariyenko, J. Strohaber и C. Uiterwaal (Opt. Express 13, 7599 (2005)). До момента статия [A44] е цитирана поне 110 пъти.

**28. Статия [Cit28] (E. Pisanty, S. Sukiasyan, M. Ivanov, “Spin conservation in high-order-harmonic generation using bicircular fields,” Phys. Rev. A 90, art. # 043829 (2014).)**

Работата е посветена на генерацията на високи хармонични със сингулярни снопове. Авторите пишат „*В последната стъпка на рекомбинацията електронът се присъединява отново към йона възстановявайки атома, при което атомът остава в основно състояние. Следователно, въпреки че е съпроводен от йонизация и други процеси, на генерацията на високи хармонични типично се гледа като на параметричен процес, в който началното и крайното състояние са еднакви. Като параметричен процес, тя трябва да изпълнява закона за запазване на енергията, импулса и орбиталния ъглов момент и това успешно е демонстрирано в лабораториите [...A62...]*.” Цитатът е на нашата пионерна работа, показала за първи път, че спиралната фазова дислокация се прехвърля от напompващата вълна към високите хармонични. Наскоро това бе изрично подчертано и в публикация на авторитетите в областта M. Murnane, H. Capteyn и сътрудниците им в тяхна статия в Optics Express [Coherent Fourier scatterometry using orbital angular momentum beams for defect detection,” Optics Express 29 (3), 3342-3358 (2021)], както и в публикация на по-малко известни китайски автори, публикували изключително силен резултат в [SCIENCE CHINA: Physics, Mechanics & Astronomy 64 (7), art. # 274211 (2021); <https://doi.org/10.1007/s11433-021-1689-7>]. Пак авторитетите в областта M. Murnane, H. Capteyn и сътрудниците им в тяхна статия, озаглавена „Necklace-structured high harmonic generation for low-divergence, soft X-ray harmonic combs with tunable line spacing“ пишат „*След първите експерименти през 2012 г. [A62] (наше цитиране), генерирането на високи хармонични със снопове с орбитален ъглов момент доказва, че е мощен инструмент за оформяне на пространствените свойства на хармонични от по-висок порядък, включително на топологичния заряд, на разпределението на интензитета [37-42] и на поляризационните свойства [20,43].*“ Генерирането на снопове с орбитални ъглови моменти, както пише Miguel Porras в статията си в Optics Letters (vol. 44(10), 2538-2541 (2019)), :” *...в режим на единици цикли на носещата вълна под обвивката на фемтосекундни импулси, представлява огромен интерес ... Достигането на режим на единици цикли на носещата вълна изисква преодоляване на технически трудности като елиминиране на пространствената дисперсия, дисперсията на груповата скорост и на топологичната дисперсия, въвеждани от дифракционни решетки с разцепена линия и от спирални фазови пластини [6–11]...*” Тук, коректно, е цитирана нашата първа успешна работа по проблема [A44], цитирана 110 пъти. До момента статия [A62] е цитирана над 202 пъти.



**29. Статия [Cit29] (P. R. Ribič, D. Gauthier, G. De Ninno, “Generation of Coherent Extreme-Ultraviolet Radiation Carrying Orbital Angular Momentum,” Phys. Rev. Lett. 112, art. # 203602 (2014).)**

Авторите предлагат светлина, носеща орбитални ъглови моменти на фотоните да се генерира от лазер на свободни електрони с високо усилване, в който се въвежда лазерен импулс, носещ спирална вихрова фаза. Накрая на статията авторите предлагат тяхната схема да се ползва за генериране на високи хармонични в газове. Казват *“С нашата схема генерирането на добре дефиниран оптичен вихър с единичен топологичен заряд може да се пренесе в така наречения линеен режим на разпространение [...], където нестабилностите на разпространението, които водят до формиране на вихри от по-нисък порядък [A62] няма да са важни.”* С това се има предвид физическата интерпретация, дадена от нас в [A62], че въпреки наблюдаването само на един оптичен вихър във високите хармонични топологичният им заряд трябва да се умножава с порядъка на хармоничната, а ненаблюдаването им вероятно се дължи на разпад на многозарядното състояние на еднозарядни.

**30. Статия [Cit30] (G. Gariepy, J. Leach, K. T. Kim, T. J. Hammond, E. Frumker, R. W. Boyd, P. B. Corkum, “Creating High-Harmonic Beams with Controlled Orbital Angular Momentum,” Phys. Rev. Lett. 113, art. # 153901 (2014).)**

Тази статия е особено важна, защото е посветена на сега вече интензивно развиващата се област на екстремната нелинейна оптика със структурирани (включително сингулярни) снопове. . Позовавайки се на единствената предшестваща експериментална работа, публикувана от нас в Nature Physics, авторите пишат: *„Предишни експерименти са показали, че орбиталният ъглов момент може да бъде прехвърлен към по-къси дължини на вълните чрез пертурбативен нелинеен процес [...]. Но генерирането на високи хармонични не е пертурбативно [...]: пълният брой на фотоните, включен в процес от по-висок порядък не е добре дефиниран. До днес **единственият експеримент**, третиращ прехвърляне на орбитален ъглов момент от фундаменталната към *n*-тата хармонична показва, че топологичният заряд на всички високи хармонични е равен на този на фундаменталната [A62].”* Същественият принос на тази статия е представеното експериментално доказателство в подкрепа на съжденията в нашия ръкопис, че във високите хармонични топологичният заряд на оптичните вихри се умножава с порядъка на хармоничната. В своята статия в Nature Physics (vol. 13, April 2017; [www.nature.com/naturephysics](http://www.nature.com/naturephysics)), озаглавена „HIGH HARMONIC GENERATION: A twist in coherent X-rays,” и посветена на нанотехнологиите, Carlos Hernández-García пише под-заглавие: *„Light beams with controllable orbital angular momentum can be generated in the extreme-ultraviolet or soft-X-ray regime, **pushing the application of twisted light to the nanoscale.**”* По-нататък, еднозначно, той отбелязва: *„Fortunately, five years ago, an exciting new perspective on the generation of XUV vortices was opened: instead of imprinting OAM onto a Gaussian X-ray beam, XUV vortices were produced directly from high-harmonic up-conversion.”*, и цитира нашата пионерна публикация [A62]. До момента статия [A62] е цитирана над 202 пъти.

**31. Статия [Cit31] (Y. Zhao, Q. Liu, W. Zhou, D. Shen, “~ 1 mJ pulsed vortex laser at 1645 nm with well-defined helicity,” Optics Express 24 (14), 15596-15602 (2016).)**

Статията е посветена на създаването на лазерен източник в инфрачервената област на спектъра, който да излъчва директно оптичен вихров сноп при висока енергия на импулсите. Авторите подчертават, че *„Импулсните лазери, излъчващи оптични вихри, с висока енергия в*

единичен импулс са относително редки, но се разглеждат като потенциално полезни за обработка на наноструктурни материали [...], във физиката на високоинтензивните полета [цитирана нашата статия A44, показала първа как това може да се направи във фемтосекунден режим], за нелинейно преобразуване на честоти [...] и за генериране на суперконтинуум [цитирана нашата статия A57, първа експериментална статия по проблема].

**32. Статия [Cit32] (Lin, Y.-C., Nabekawa, Y., Midorikawa, K., “Conical third-harmonic generation of optical vortex through ultrashort laser filamentation in air”, Optics Express, 24 (13), 14857-14870 (2016).).**

В увода авторите пишат: „През последните няколко години учените посветиха много усилия на вграждането на фазови дислокации в свръхкъси импулси [...A44...], виждайки проявите на силни нелинейности, които такива импулси могат да достигнат в материалите. Следователно развиването на свръхбързи вихрови импулси разкрива нови възможности за генерирането на филаментация и суперконтинуум в светлина с комплексна структура.” Макар цитираната наша работа да е на второ място, ясно се вижда, че тя е публикувана 8 години по-рано от предхождащата я в цитирането. Стойността ѝ на първо изследване в света по проблема все пак е добре очертана.

**33. Статия [Cit33] (A. Camper, H. Park, Yu. Lai, H. Kageyama, S. Li, B. Talbert, C. Blaga, P. Agostini, T. Ruchon, L. Dimauro, „Tunable mid-infrared source of light carrying orbital angular momentum in the femtosecond regime,” Optics Letters 42, 3769-3772 (2017).).**

Авторите пишат, че „...имплантирането на орбитален ъглов момент в интензивни свръхкъси светлинни снопове разкрива нови широки възможности като нелокална спектроскопия с висока разделителна способност в твърди тела [...], използване на аттосекундни закъснения във фотойонизацията на магнитни поднива [...], при многофотонна йонизация [...] и при молекулна ориентация [...]. То също може да разшири генерирането на снопове с орбитален ъглов момент към областта на екстремния ултравиолет чрез генериране на високи хармонични в газове [...A62...], подходящи за изследване на директна еднофотонна фотойонизация в газове и в твърди тела.” В следващ пасаж авторите отбелязват: „Техниките за промяна на формата на снопове, първоначално разработени за непрекъснати лъчения, бяха адаптирани внесат орбитален ъглов момент в тези свръхкъси импулси, например чрез ....” и тук се цитира [A65], в която освен във фемтосекунден режим, експерименталните данни са за процес на каскадно четиривърлно смесване до четвърти порядък. По-нататък авторите пишат: „Алтернативно, напompващият сноп за генериране на бяла светлина може да носи орбитален ъглов момент, който директно за се прехвърли към сателитната компонента [...] с цената на потенциално деструктивно самофокусиране [A57]. Тези две техники ограничават пренастройваемостта на схемата.” Тук цитирането визира важни собствени резултати от друга публикация [A57] по пространствената стабилност на снопове с фазови дислокации, включени в процеси на каскадно четиривърлно смесване.

**Статия [Cit34] (Jialei Tang, Jinhan Ren and Kyu Young Han, Review Article, „Fluorescence imaging with tailored light,” Nanophotonics (Sept. 2019); <https://doi.org/10.1515/nanoph-2019-0227>).**

По повод на генерираните матрици от светли снопове с поместени в тях оптични вихри, всичко това във фокална равнина (виж [A77]), авторите пишат: „...Матрица от пръстеновидни

снопове [A77] и 3-D пространствена структура, изчерпваща усилването, базирана на пет кохерентни снопа (Фиг. 4G) [89] вероятно ще разширят приложимостта на паралелизирани техники STED/RESOLFT до постигане на триизмерна наноскопия.”

**Статия [Cit35] (Giulia Marcuccia, Davide Pierangeli, Silvia Gentilina, Neda Ghofraniha, Zhigang Chenc, and Claudio Conti, „Fluorescence imaging with tailored light,” Advances in Physics X, vol. 4, No. 1, 1662733 (2019); <https://doi.org/10.1080/23746149.2019.1662733>**

Въведеният от нас деконволюционен метод [A49] за определяне на функцията на нелокалността на термична нелинейна среда е подробно коментиран в тази работа. Авторите подробно коментират: “... *Топлопроводността в оптични материали с топлинна нелинейност дълго време бе наричан ‘отклик с безкраен обхват на нелокалността [51]’, докато през 2007г. А. Minovich et al. [53] (нашата статия [A49]) не потвърдиха експериментално и теоретично, че нелокалният отклик може да бъде прецизно описан от добре локализирана функция, зависеща само от геометрията на образеца, но не и от вида на материала. Това свойство позволява в тримерното уравнение на топлопроводността да се въведе промяна на температурата в стационарно приближение.*” Нашата статия [A49] е цитирана и на други места в тази публикация, все в положителен контекст.

**Статия [Cit36] (Dadong Liu, Binjie Gao, Fujin Wang, Jisen Wen, and Li-Gang Wang, „Experimental realization of tunable finite square optical arrays,” Optics and Laser Technology, vol. 153, 108220 (2022); <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2022.108220>**

В тази работа авторите последователно резюмират основните резултати в пет наши статии, посветени на генерирането на подредени и стабилни матрици от оптични вихри и тяхното преобразуване във фокалната равнина на леща. Те пишат: „*Разпространението на оптични вихри (ОВ) във фокална система също е много важно за приложенията. То показва, че (подредени) структури, съставени от светли снопове с плоски фазови профили в могат да се получат във фокалната равнина на лещата (т.е. в изкуствената далечна зона) чрез големи квадратни или хексагонални решетки от оптични вихри, генерирани с пространствени фазови модулатори [A72,A75]. На тази основа числените и експерименталните резултати в [A76,A77] доказаха, че едромасабната структура идва от вихровата решетка с по-малко разстояние между възлите на масива, докато дребномащабната е резултат от вихровата решетка с по-голям размер период на решетката. Това показва, че разстоянието между възлите на вихровата решетка може да се използва като контролен параметър за промяна на формата на генерираната фокална структура. Освен това изследователите (от нашата група) са предложили общ метод за конструиране на лазерни снопове във фокалната равнина на леща чрез тройно смесване на квадратни и/или хексагонални вихрови решетки [A83]. Тези изследвания се фокусират върху свойствата на вихрови решетки с алтернативни топологични заряди  $\pm 1$ . Стимулирани от тези неотдавнашни изследвания, тук предлагаме ...“ (след което авторите развиват собствения си анализ).*

**Статия [Cit37] (Miguel A. Porras, „Effects of orbital angular momentum on few-cycle and sub-cycle pulse shapes: coupling between the temporal and angular momentum degrees of freedom,” Optics Letters, vol. 44 (10), 2538 (2019); <https://doi.org/10.1364/OL.44.002538>**

В статията се прави анализ на влиянието на спиралната фаза на оптичните вихри, носени от пределнокъси лазерни импулси с единици или дори с части от цикли на носещата вълна под обвивката им, върху продължителностите на такива пределнокъси импулси. Авторът пише: „Интересно, че броят на експерименталните работи [...] (и тук на първо място цитира пионерната ни работа [A44]) далеч надхвърля теоретичните изследвания [...].” По-нататък авторът пише „По този начин ние приемаме, че всички практически трудности с устройства, генериращи тези вихри във фемтосекундната времева скала като ъглова, материална и топологична дисперсия са преодоленни или компенсирани [...].“ и тук на първо място отново цитира пионерната ни работа [A44].

**Статия [Cit38] (Boris A. Malomed, Multidimensional Solitons, Chapter 8: Spatially Periodic Potentials (Lattices): Experiments, © 2022 AIP Publishing, published by AIP Publishing, [https://doi.org/10.1063/9780735425118\\_008](https://doi.org/10.1063/9780735425118_008)**

В тази обзорна глава от книга авторът пише: „*Свързан с това експериментален резултат е създаването на стабилни вихрови решетки с квадратни и хексагонални форми в самофокусираща фоторефрактивна среда (Dreischuh et al., 2002) (т.е. наша [A40]). Такива решетки, изградени от отделни вихри с идентични спиралности, се характеризират с периодично въртене. Невъртящите се решетки са изградени от редуващи се вихри и антивихри, с индивидуални числа на спиралност  $S=+1$  и  $-1$ . Също така е била експериментално изследвана дифракция на пробни снопове, разпространяващи се през такива вихрови решетки.*“ По-нататък авторът цитира и последваща наша експериментална работа: „*Експерименталната техника, базирана на вихрови решетки с различни форми, фотоиндуцирани във фоторефрактивна нелинейна среда, е използвана в редица други постановки. По-специално, решетки с форма на огърлица (кръгла, с осева симетрия), съдържащи четири, пет или по-голям брой елементи (локации на решетката), са създадени от Stoyanov et al. (2017) (т.е. наша [A70]). Такива кръгли структури бяха използвани като оптично-индуцирани вълноводи за слаби сигнали с вградена спиралност.*“

Отделно от приведените тук 38 по-важни цитирания, някои други неформални цитирания са записани на приложения информационен носител в отделна под-папка.

София, 02.06.2024г.