



Наши учени разработват управляем лазерен термоядрен синтез

В консорциума „Екстремна светлина“ участват Софийският университет и два института на БАН – по електроника и по физика на твърдото тяло

Зина СОКОЛОВА

Консорциумът „Екстремна светлина“ ELI-ERIC-BG е част от българската пътна карта за научна инфраструктура. В него участват Софийският университет „Св. Климент Охридски“ и два института на БАН – Институтът по електроника и Институтът по физика на твърдото тяло. В тези институции е съсредоточен основният научен потенциал от хора и оборудване, работещи в областта на лазерната физика, разказва председателят на Консорциума проф. д.ф.н. Любомир Ковачев от Института по електроника.

В международен план България, в лицето на Министерството на образованието, и консорциумът „Екстремна светлина“ с базова организация Института по електроника са сред основателите на европейската научна структура ELI-ERIC. Тя е призната от специалистите за най-съвременната лазерно базирана изследователска инфраструктура в света. В момента, заедно с Германия, страната ни е учредител със статут на наблюдател, но се подготвя кандидатурата ни за редовен член.

Европейската структура „Екстремна светлина“ е изградена върху три стълба – в Чехия, в Унгария и в Румъния, уточнява проф. Ковачев. В тях са създадени лаборатории, в които са построени свръхмощни лазерни системи (петаватови) и има определени очаквания какво може да се постигне. В Чехия стълбът е насочен към термоядрен синтез на базата на облъчване на мишени с мощни лазерни източници. В Румъния работят с лазерни импулси (фемтосекундни), като искат да постигнат мощности, с които да се наблюдават нелинейни ефекти в квантов вакуум и генерация на електрон-позитронни двойки. В Унгария основното направление е насочено към свръхкъси (атосекундни) лазерни импулси, чиято пространствена продължителност доближава размерите на атома. Средствата, с които вече са изградени и работят тези големи стълбове, са от порядъка на стотици милиони – общо около 1 млрд. евро е бюджетът за тях.

„В началния период на проектиране страната ни бе сред кандидатите да бъде един от стълбовете на този голям научен проект. Но в крайна сметка, реши се стълбът,



Проф. д.ф.н. Любомир Ковачев

предвиден за България, да отиде в Румъния – припомня ученият. – С цел участие и на България в тази инфраструктура по-късно се реши да изградим нашия консорциум ELI-ERIC-BG и да участваме като учредители и членове на европейската инфраструктура ELI-ERIC. За тази цел кандидатствахме и Консорциумът бе приет в българската Национална пътна карта за научни изследвания. Получихме известно финансиране, макар и не голямо. С тези средства успяхме да реновираме лабораторията в Софийския университет, която разполага вече с нов фемтосекунден лазер с продължителност на импулса от пет фемтосекунди. Това съответства на две-три оптични колебания в лазерния импулс.

Тук ще отбележа, за да имат представа читателите, че 5 фемтосекунди е 5×10^{-15} секунди и това е от порядъка на електронния отклик на атомарните газове. С други думи, възможно е дълбоко сондиране на атомарни системи и изследване на нови линейни и нелинейни взаимодействия на лазерно лъчение с веществото. Освен това изградихме още две нови лазерни лаборатории със съвременни мощни (5 – 7 милиджаула) фемтосекундни лазерни системи. Едната е в Института по електроника – с времева продължителност на импулса 70 фемтосекунди, а другата в Института по физика на твърдото тяло – с продължителност от 1 пикосекунда. В допълнение с решение на МОН бяха дооборудвани и присъединени към Консорциума още две лаборатории: едната, с пикосекунден източник – в Института по електроника, другата, с 35 фемтосекунден лазерен източник – в Института по физика на твърдото тяло. Така в момента в българския консорциум ELI-ERIC-BG има изградени пет съвременни лазерни лаборатории, като всички работят.“

Научните цели, които си поставя екипът изследователи в Консорциума, се определят от изследванията

и успехите, които са постигнали ученият през годините в сферата на лазерната физика.

Софийският университет има много добри постижения в областта на теоретичното и експерименталното изследване на оптични вихри и нелинейното взаимодействие на лазерно лъчение с веществото.

Основната част на екипите от Института по електроника и Института по физика на твърдото тяло работят в областта на нелинейната оптика, параметрични взаимодействия, аблация на материали и приложение на лазерите в биофизиката. В теоретичен план, една от основните разработки на екипа в Института по електроника са изследвания по оптични солитони и оптични вихри. В това направление проф. Ковачев е откривателят на т.нар. параметрични солитони в оптични влакна и нелинейното взаимодействие на оптични импулси на различни носещи честоти. Това са времеви оптични солитони, които при определени условия се привличат по същия начин като частиците.

Първите разработки по тази тема са през 90-те години. Сега се правят теоретични и експериментални изследвания, но не в едномерната геометрия на оптично влакно, а в реалното тримерно пространство. Тримерните оптични импулси при определени условия, както частиците, могат да се привличат чрез кросмодуляция и да обменят енергия помежду си чрез изроден четирифотонен процес. Например, ако петното на лазерния импулс е от порядъка на 100 микрона, а неговата времева продължителност – 330 фемтосекунди, този импулс в пространството ще изглежда като оптична топка. С други думи, две такива топчета в нелинейен режим ще се привличат като частици и ще обменят енергия помежду си.

„За фемтосекундната област вече нямаме типичната самофокусировка, каквато се наблюдава в непрекъснат режим на работа на лазерния източник или за дълги, наносекундни импулси. Самофокусировката, както е добре известно, се предизвиква от промяната на показателя на пречупване в зависимост от интензитета на лъчението в материали, изложени на интензивно електромагнитно лъчение – казва проф. Ковачев. – Вместо самофокусировка във фемтосекундната област се наблюдава нов нелинейен процес. Това е т.нар. филаментация – устойчиво разпространение на лазерни импулси без самофокусировка на разстояния

до няколко километра от източника. В тази област също сме правили разработки. Искаме да проверим и експериментално всичко това. Дори направихме част от опитите по филаментация. Изгражда се експериментална база за изследване на взаимодействие на филamenti.“

Другото основно направление, по което работят съвместно екипите от Института по електроника и Института по физика на твърдото тяло, е т.нар. манипулиране на частици (неутрални атоми) чрез оптични импулси. Този ефект се дължи на поляризацията на атомите, обяснява ученият. Той припомня, че през 2017 г. американският физик Артър Ашкин печели Нобелова награда за разработването на оптичната пинсета и нейното приложение в биологичните системи. Чрез нея могат да се улавят вируси, бактерии и клетки. Ашкин показва, че когато лазерът работи в непрекъснат режим, поляризираните неутрални частици се преместват към центъра на лазерния сноп благодарение на поляризационен ефект. На този принцип са създадени и лазерните пинсети, с които могат да се местят неутрални атоми.

„Новото, което направихме, е, че си зададохме въпроса има ли допълнителна сила освен Ашкиновата, която да действа при случаи на свръхкъси лазерни импулси – казва проф. Ковачев. – Успяхме да решим тази задача. Първо теоретично – сметнахме, че има такава сила. Тя се нарича надлъжна радиационна сила, която се дължи на времевата производна на вектора на Пойнтинг (енергийното уравнение на електродинмиката). Понеже е времева производна, колкото по-къс е импулсът, толкова по-голяма е тази сила. При непрекъснат режим тя е нула. Но за фемтосекундни импулс, който е от порядъка на 10^{-15} част от секундата, е изключително голяма. Оказва се, че благодарение на надлъжната радиационна сила е възможно тези частици вследствие на поляризацията да се захванат към лазерния импулс. Тоест, ако си представим лазерния импулс като обърната камбанка (чашка), той действа като потенциал. И като захване частицата, тъй като, от една страна, този потенциал е много дълбок – той е 5 – 6 порядъка по-дълбок, отколкото кинетичната енергия на Брауновото движение, те фактически се охлаждат вътре в лазерния импулс. Но се движат с огромна скорост, равна на груповата скорост на импулса, която е от порядъка на скоростта на светлината. Установихме, че можем на

тази база – надлъжна радиационна сила, да създадем ускорители на частици. Ако се захване в лазерния импулс един хелиев атом, може да се пресметне, че неговата кинетична енергия на движение е от порядъка на гигаелектронволта. Това е енергията, която постигат в ускорителите на елементарни частици в ЦЕРН. А ние може да направим това с фемтосекундни лазер, което е значително по-евтино и много по-лесно.“

Постигнати са и първите експериментални резултати в съвместната работа на екипите от институти-те по електроника и по физика на твърдото тяло, които засега косвено потвърждават съществуването на тази надлъжна радиационна сила. Как става това? В Института по физика на твърдото тяло е направен експеримент с отлагане на леки микрочастици. Когато ансамбъл от такива частици се постави пред импулса, той го захваща, което се познава по това, че ансамбълът се премества на разстояние точно в рамките на петното на импулса и захванатите частици се отлагат върху стъклена подложка. Сега ученият планират експерименти с много по-леки от микрочастиците хелиеви и водородни атоми и тяхното захващане в лазерен импулс.

Следващият експеримент, който се планира, е свързан с факта, че колкото и неутрални частици да се съберат и компресират с нелинейни механизми, те имат електронна обвивка и не могат да бъдат компресирани на разстояние, по малки от десетина електронни радиуса. За тази цел вече се строи експериментална установка, с която атомите да бъдат оголени – т.е. да се премахне електронната им обвивка. И тогава върху един от катодите ще може да се отлагат ядрата на тези елементи.

„Тъй като честотата на повторение на нашите лазери е от хиляда импулса в секунда, а във всеки импулс има от порядъка на 100 – 200 леки атома, то за няколко секунди върху първите отложени ядра ще се отложат с огромна енергия от няколко GeV около милион нови ядра на леки елементи. Идеята ни е да стигнем до управляем лазерен термоядрен синтез – подчертава проф. Ковачев. – На същия принцип е създадена и водородната бомба, с тази разлика, че там процесът е неуправляем. Ако започнем да генерираме хелий от атоми водород или деутерий, това ще доведе до отделянето на огромна енергия. Това е възможно решение на проблема с недостига на енергийни ресурси, който все повече се изостря.“