

Лазерният лъч в светлината на прожекторите

Александър Драйшу

Първата половина от Нобеловата награда за 2018 г. бе присъдена на Артур Ашкин (Arthur Ashkin) за разработването на прецизна техника за оптично захващане и манипулиране на обекти с микронни и със субмикронни размери. В тази област от решаващо значение са лазери с ниска мощност и интензитет, но с изключително прецизно контролирани параметри. Втората половина беше присъдена на Жерар Муру (Gérard Mourou) и на Дона Стрикланд (Donna Strickland) за разработката от тях техника за усилване на лазерни импулси, довела до достигането на безпрецедентно високи интензитети на лазерното лъчение и до развитието на редица експериментални методи, непостижими с други средства.



Артур Ашкин

Жерар Муру

Дона Стрикланд

И двете постижения са в областта на фотониката. Те са предшествани от редица големи прозрения в науката, заслужаващи да бъдат споменати. Без каквато и да е изчерпателност, да споменем само, че:

– През 1864 г. Максвел дава завършена форма на законите за електромагнитното поле, правейки първото велико обединение във физиката - това между електричеството, магнетизма и оптиката.

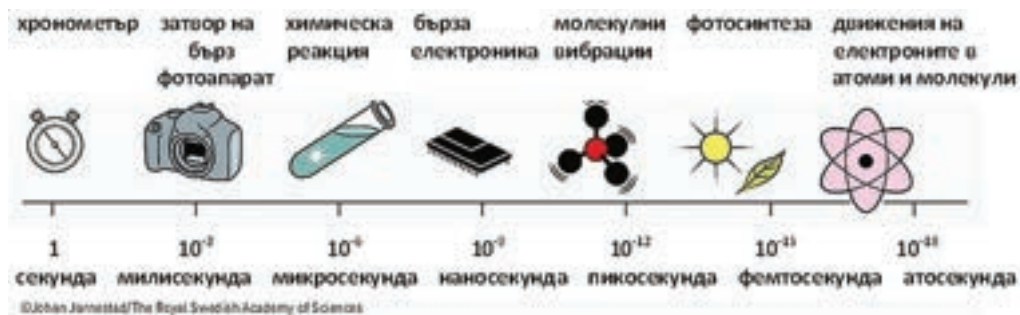
– Електромагнитната природа на светлината поставя въпроса за взаимодействието на светлината с веществото. През 1900 г. Макс Планк извежда полуемпирично формула, описваща известните данни за излъчването на абсолютно черно тяло. За целта му се налага да предположи, че светлината, а също и другите електромагнитни вълни, се излъчват на порции с точно определена енергия – кванти, фотони.

– През 1905 г. Алберт Айнщайн формулира нова хипотеза: Светлината не само се излъчва на порции, но и се поглъща на порции, със същата енергия на кванта. Тази хипотеза му позволява да обяснени законите на фотоефекта, за което, през 1921г., получава Нобелова награда. Още през 1917 г., след като Айнщайн прогнозира съществуването на стимулираното излъчване, теоретичните основи на създаването на лазерите са изградени, но трябва да минат още 40 години до раждането им...

– През 1951 г. Чарлз Таунс формулира идеята за първия мазер (MASER: Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation), а първият мазер на базата на молекули на амоняк е пуснат в действие през 1954 г. През 1960 г. Таунс и Шаулоу получават патент за оптичен

мазер, наричан лазер. На 16 май 1960 г. Тиодър Майман конструира първия рубинов лазер. През 1964 г. Нобелова награда по физика получават Чарлз Таунс, Н.Г. Басов и А.М. Прохоров.

Перифразирайки мотото в спорта „по-високо, по-бързо, по-силно“, може да се каже, че част от изследванията в лазерната физика и техника се развиват под мотото „по-високи енергии, по-къси импулси, по-високи интензитета на светлината“. Какво значи „бързо“ в съвременната фотоника? С хронометър може да се измери една секунда. Бързият затвор на обектив на камера реагира за около една милсекунда ($1\text{ms}=10^{-3}\text{s}$). Химическата експлозия се развива за около една микросекунда ($1\mu\text{s}=10^{-6}\text{s}$). Бързата цифрова електроника (например съвременен компютърен процесор) извършва една елементарна операция за типично време около (и по-малко от) една наносекунда ($1\text{ns}=10^{-9}\text{s}$). От този порядък са продължителностите на лазерните импулси, генерирани от лазери с модулация на доброкачествеността на резонатора. Характерното време за ротация и вибрация на молекули е от порядъка на пикосекунди ($1\text{ps}=10^{-12}\text{s}$). Такива къси времена са недостижими за съвременната електроника, но са постижими при ла-



Какво значи „бързо“ в съвременната фотоника? Ето някои примери



Проф. д-рн Александър Драйшу е роден през 1961 г. в София. Завършил е СУ „Св. Климент Охридски“ като инженер-физик със специализация „Квантова електроника и лазерна техника“. Преподава във Физическия факултет на СУ, където е от 2011 година е декан. Научните му интереси са в областта на квантовата електроника и лазерната техника.

зерите със синхронизация на моговете. Пределът на тази техника е генерирането на импулси с един цикъл на носещата вълна под обвивката на импулса (single-cycle pulse), разбира се, със специални активни елементи. Типичните продължителности на тези свръхкъси импулси са под 10 фемтосекунди ($1\text{fs}=10^{-15}\text{s}$). В тази и в суб-фемтосекундната скала са времената, характерни за „движенията“ на електроните. Тук всеки физик би възкликнал „става интересно!“

За неизкушения от постиженията в областта е добре да дам един пример: 10 фемтосекунди се отнасят към 1 минута както 1 минута се отнася към възрастта на Вселената. Наистина интересно... Но има проблем...

Типичната енергия на такива импулси е единици наноджаули ($1\text{nJ}=10^{-9}\text{J}$). Да си

припомним един нагледен пример. Когато вдигнете една средно голяма ябълка от пода на масата Ви ѝ придавате потенциална енергия от около един джаул. В този смисъл енергията на лазер, излъчващ фемтосекундни импулси е ... незначителна... Да, така е. Но мощността на тези импулси е тяхната енергия, разделена на продължителността им. Ако импулсът е с енергия от 10nJ и се излъчва за 10fs (напълно реалистични данни за всеки съвременен лазерен осцилатор), мощността му е един милион Вата (10^6 W). Това са огромни мощности, но могат ли да бъдат постигнати и по-високи? Та нали вече при тези стойности се отива към границата на оптичен пробив и на разрушаване на оптичните материали. Да, възможно е. Отговорът е даден от Дона Стрикланд и Жерар Муру в една тяхна статия от 1985 г. в списание Optics Communications. Именно при фемтосекундните лазери предложеният метод има своя разцвет. Формално, идеята се състои в правилното подреждане на три гуми „разшири, усили, скъси“. По-подробно: Щом интензитетът при директно усилване става толкова висок, че оптичните среди се повреждат („пробиват“), импулсът предварително може да се разшири, за да се намали интензитетът му. При усилването той остава дълъг (и дори става още по-дълъг), но многократно се увеличава енергията му. Когато е постигнато възможното, усиленият импулс се скъсява (компресира), но вече само с отражателна оптика (напр. с двойка дифракционни решетки). Компресията води до драматично увеличаване на интензитетът на импулсите.

В нобеловата си лекция Жерар Муру дава интуитивен пример: „Това, което трябва да имате на ум е, че когато ползвате ... метода ... можете да получите



Схемата на действие „разшири, усили, скъси“ при фемтосекунден лазер

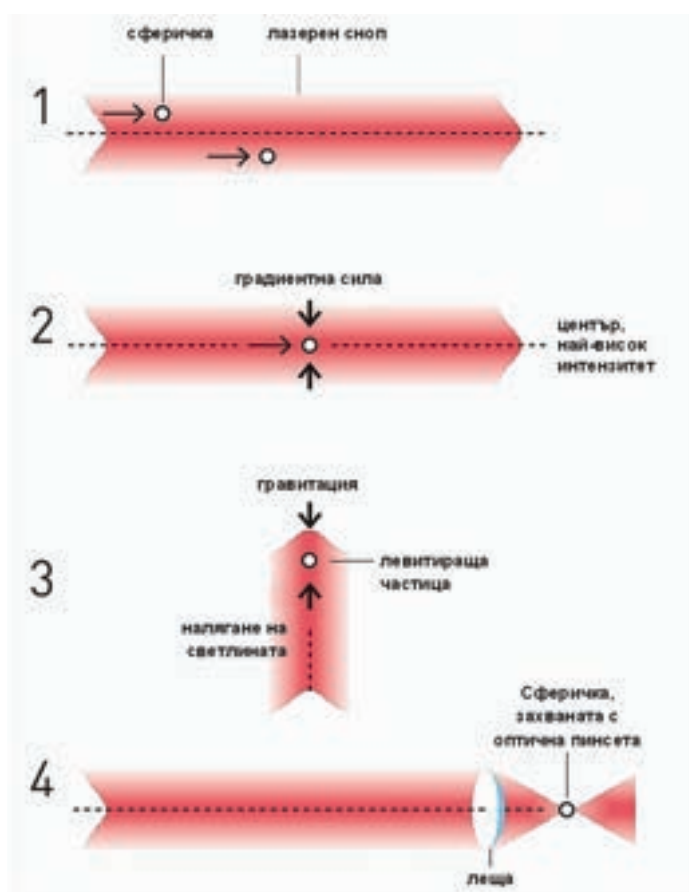
лазерни мощности ..., които съответстват на десет милиона Айфелови кули на върха на пръста Ви. Това означава, че навлизаме в нови режими във физиката.” В рамките на съвременните схващания при интензитети над 10^{20}W/cm^2 се навлиза в областта на релативистката оптика, в над 10^{25}W/cm^2 – в ултрарелативистката оптика.

Макар това навлизане да предстои, на базата на предложената от Нобеловите лауреати техника се изграждат трите стълба на консорциума „Екстремна светлина“ (ELI, Extreme Light Infrastructure), финансиран от Европейския съюз. Този в Прага (Чехия) ще се фокусира върху развитието на вторични източници на къси импулси от лъчения и частици. Инсталацията в Сегед (Унгария) ще предоставя на изследователите екстремно широко пренастройваеми източници на фемтосекундно и атосекундно лъчение ($1 \text{as} = 10^{-3} \text{fs}$) при висока честота на повторение. Изследванията в Мъгуреле (Румъния) ще се фокусират върху лазерно-индуцирани ядрени реак-

ции. За пълнота искам да отбележа, че България е сред съоснователите на консорциума „Екстремна светлина“.

Както споменах, половината на Нобеловата награда за физика за 2018г. бе присъдена на Артур Ашкин за изобретяването на „оптичните пинсети“. Става въпрос за прецизно приложение на лазери с ниски мощности, излъчващи в непрекъснат режим, но с прецизен контрол на пространствените им параметри. По-нататък ще употребявам термина без кавички. Оптичните пинсети използват силно фокусиран лазерен сноп за захващане на обекти.

Ашкин показва, че малки прозрачни сферички се привеждат в насочено движение, когато се осветят с лазерен сноп (1). Скоростта им съответства на теоретичната му оценка. Това доказва, че наистина налягането на светлината е това, което ги бута. Неочакван ефект е бил, че градиентната сила ги насочва към центъра на снопа, където светлината е най-интензивна (2). Това е така, понеже интензитетът на снопа намалява

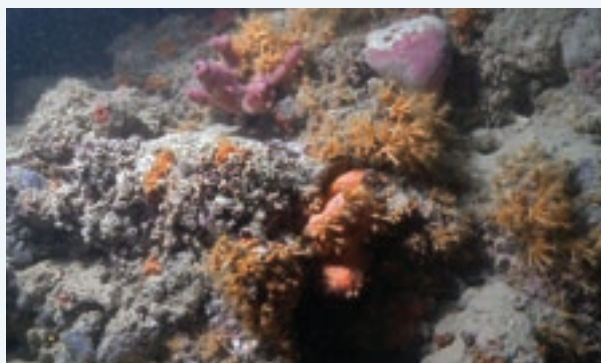


Налягането на светлината компенсира гравитацията

към периферията му и сумата от двете сили придвижва частиците към оста на снопа. Ашкин показва, че сферичките могат да левитират, когато лазерният сноп е насочен вертикално (3). Обяснението е, че налягането на светлината компенсира гравитацията. Когато лазерният сноп е фокусиран с леща, той, като оптична пинсета, може да захване малки частици и дори живи бактерии и клетки (4). Класическата публикация на Ашкин е от 1986г. в списание Optics

Letters. В нея той описва техниката и показва впечатляващи резултати (във водна среда) за частици с размери от 25 μ до около ~ 10 nm. Понастоящем техниката е достигнала невероятна прецизност във възможностите си за контрол на ансамбли от подгредени частици в три измерения. Заинтересованите читатели биха могли да намерят голям брой филмирани демонстрации в Интернет (например <https://youtu.be/ju6wENPtXu8>). ■

Коралов риф е открит в Адриатическо море?



Кораловите рифове са едни от най-ярките примери за огромната съзидателна мощ на живите организми. Те се определят като геологични структури, но в същност са резултат от жизнената дейност на милиарди колониални живи организми - коралови полипи, които имат свойството да извличат варовик (CaCO_3) от морската вода и да строят красиви и сложни каменисти структури в плитките тропически крайбрежни зони.

В началото на 2019 г. научните списания оповестиха новината, че неголям коралов риф е открит за първи път и покрай източните италиански брегове на Адриатическо море в района на градчето Манополу (област Пулиа). Негов откривател е морският биолог г-р Джузепе Кориеро (Dr Giuseppe Corriero) от университета „Алдо Моро“ в гр. Бари. На дълбочина от 35 до 50 м. в морето на Адриатика г-р Кориеро открил доста голям за тези географски ширини коралов риф, който се простира на около 2 – 5 км. дължина. Тъй като светлината на тази дълбочина в Средиземно море е по-оскъдна в сравнение с тропическите крайбрежия на Тихия и Индийския океани, то и новооткритият коралов риф бил образуван главно от т.н. мезофотични корали. Този вид каменисти корали не притежават ярките цветове на известните океански ко-

ралови рифове от тропическите морета поради това, че в тях не се развиват симбионтните еноклетъчни водорасли (зооксантели), които придават чудните цветове и багри на океанските коралови рифове. Известно е, че мезофотичните корали се хранят само от уловени от тях микроскопични и гребни планктонни видове организми – бактерии, водорасли, протозои, ракообразни и др.,

поради което и натрупваните в тях цветни пигменти са значително по-малко.

По-подробните изследвания върху рифообразуващите корали от Адриатическо море показали, че те са изградени главно от 2 вида корали: *Phyllangia americana mouchezi* и *Polycyathus muelleriae*, които са разпространени и в Североизточен Атлантик, Северно море и др. Те са по студоустойчиви от обикновените тропически рифообразуващи корали, поради което се чувстват добре и в Адриатическо море. Измерванията на новооткрития коралов риф показали още, че на места той е достатъчно дебел – до 2 м. Това дава основание на учените да считат, че той също има важна роля в поддържането на биологичното разнообразие в крайбрежната зона на Адриатическо море, подобно на тропическите коралови рифове. Те изказват предположение, че подобни коралови рифове е възможно да съществуват и в други райони на свързаните със Средиземно море водоеми, които очакват своите откриватели. В заключение, откривателите на новия адриатически коралов риф считат още, че той трябва да бъде поставен и под защитата на международните конвенции за защита на кораловите рифове като оазис за опазване на световното биоразнообразие.

По Scientific Reports