

НАЙ-ВАЖНИ НАУЧНИ ПОСТИЖЕНИЯ

на чл.-кор., професор, д.ф.н. Петър Асенов Атанасов

В своята научно изследователска и приложна дейност чл.-кор. проф. д.ф.н. П.А. Атанасов реализира следните най-важни разностранни научни постижения в областта на **фотониката – лазерна физика и техника, фемтосекундната фотоника и оптоелектрониката, материалознанието и нанотехнологиите**, които са от съществено значение за развитието на науката и за материалното и духовното обогатяване у нас и в чужбина.

А. Фотоника

- Ефект на органични примеси към активната среда на CO₂ лазери.

Пионерни експериментални и теоретични изследвания довели до съществено подобряване на изходните лазерни параметри. Постигнатите резултати са използвани от многобройни изследователски групи в чужбина и на тяхна основа се разви успешно научното и приложно направление - мощни импулсни CO₂ лазери с органични приноси. Резултатите са обект на 11 публикации (А.1, 2; В.1.2, 3; В.11.232-235, 237, 238, 244), които са цитирани над 25 пъти, както и в един европейски патент. По проблема са защитени 3 доктората, от които 1 за доктор на науките.

- CO₂ лазери с бърз проток на газа.

Съвместно с докторантката М. Баева създадохме оригинални физични модели на CO₂ лазери с бърз напречен или надлъжен проток на газовата смес. Получаването на рекордни изходни мощности обяснихме с наличието на турбулентности в газовия поток. При моделирането използвахме собствени данни за транспортните коефициенти, получени чрез числено решаване на уравнението на Болцман за реална CO₂ лазерна плазма. Моделите са описани в 8 научни публикации (В.1.33, 34, 37, 43 и 45; В.11.257, 261, 262), като 4 от тях са цитирани 25 пъти. Защитена е една дисертация. Моделите са използвани в разработки на чуждестранни колективи от Германия и Гърция. Теоретичните ни резултати се съгласуват с експериментите на чуждестранни автори и послужиха за проектиране на CO₂ лазер с изходна мощност 1200 W в ИО-ОЗОНТ.

- Импулсни лазери с плазмени електроди.

Съвместно с докторанта Сп. Василев и групата на проф. Кузьмин от ИОФ РАН, Москва постигнахме възбуждане на рекордни обеми на активната среда в импулсни CO₂ лазери при атмосферно налягане чрез използване на плазмени електроди, базирани на пълзящ по повърхността на диелектрика разряд. Доказахме предимствата на плазмения катод при CO₂ лазери с надатмосферно налягане и по такъв начин осъществихме плавна пренастройка на честотата. Идеите и постигнатите резултатите са предшествани от фундаментални теоретични и експериментални изследвания на пълзящия разряд. Част от резултатите са в съавторство с акад. А.М. Прохоров – носител на Нобелова награда по физика. Резултатите и приносите са отразени в 17 журнални статии (В.1.5-9, 11-13, 17, 18, 25, 26, 30; В.11.246, 254, 256, 260), 2 глави в монографии (Е.1 и 2), включени са в 2 доктората и са цитирани над 40 пъти, в т.ч. и в два патенти - американски и европейски.

- Импулсни лазери, напompвани с пълзящ разряд.

За първи път получихме лазерна генерация в ултравиолетовата до инфрачервената област на спектъра от инертни газове (Ar, Ne и Xe), азот и HF чрез директно възбуждане с пълзящ разряд или в обемен разряд с плазмен катод. Реализирахме и уникален резултат – едновременна генерация в УВ и ИЧ област на спектъра. Тази тематика развихме съвместно с колеги от ИОФ РАН, Москва, а с наша помощ бе усвоена от Групата по лазери във ФЗФ на Технически университет, Атина, като по нея Дж. Цикрикас защити докторат. Резултатите са отразени в 16 журнални статии (В.1.21, 27, 30, 31, 38, 39, 43-46, 51, 52, 58, 65, 66, 68) и в един докторат като са цитирани над 25 пъти.

- Взаимодействие на мощно лазерно лъчение с веществото.

Пионерни разработки на експериментални методи и комплексни теоретични модели за лазерна обработка на разнообразни материали. Моделите включват числено решаване на уравнението за топлопроводност, отчитайки конкретните условия. Резултатите са в добро съгласие с проведените експерименти и потвърждават валидността на моделите. Нашите резултати и постигнатите приноси предизвикаха интереса на СЗ в Белослав за съвместна дейност и внедряване на оригиналната наша технология за рязане на стъкло. Особен интерес бе проявен и от немската фирма Баазел Лазертехник, Мюнхен, изразяващ се в персонална покана за съвместна дейност. За нуждите на фирмата лично разработихме 120 авангардни CO₂-лазерни технологии по заявка на конкретни потребители от цял свят, като 10 от тях внедрихме в практиката. Получените резултати са обект на 2 доктората, 13 журнални статии (В.1.10, 22, 23, 32, 35, 48, 49, 53, 57; В.11.242, 247, 251, 259), 1 глава в монография (Е.3)

и са цитирани над 70 пъти. Самостоятелната публикация (B.I.49), отнасяща се до теоретично и експериментално изследване на лазерното заваряване е цитирана 40 пъти.

V. Оптиелектроника.

- CO₂ лазерно нагряване и структуриране на тънки слоеве.

Едновременно с проф. Дайер от Университета Хъл, Великобритания, но независимо един от друг, съвместно с докторанта Р. Томов и сътрудника В. Сербезов предложихме използването на CO₂ лазерно нагряване при отлагане и структуриране на тънки слоеве. Този най-прогресивен метод се прилага успешно и понастоящем в работата на изследователски групи от Великобритания, Китай и Гърция. Прилагането на подобна техника, съчетана с плазмено-асистирано отлагане и лазерно модифициране ни позволи реализирането на съществени приноси в областта на лазерно отлагане на високотемпературните свръхпроводящи слоеве. Приносът е отразен в 3 публикации (B.I.28, 29; B.II.258) и е използван в доктората на Р. Томов.

- Оптични активни вълноводни слоеве от Nd:KGW и Er,Yb:Y₂O₃.

Приоритет и лични пионерни приноси по отлагане и всестранно изследване на активни оптични планарни вълноводни слоеве от Nd:KGW. Успешно осъществихме трансфер на тази тематика във Физическия институт на ЧАН - Прага, И-та по оптика - Мадрид, У-ти VI и VII - Париж и У-та Кейо, Япония. По тематиката спечелихме грантове на НАТО и JSPS, Япония. Плод на тази дейност са глава от монография (E.5) и 13 публикации в специализирани международни журналы (B.I.76, 89, 90, 93, 94, 96, 100, 101, 105, 113, 117, 125 и 139), които са цитирани над 60 пъти. Ръководихме един докторант (Т. Окато) в У-та Кейо, Япония. Постигнатите резултати са базата и за участието ни в два Европейски проекта: IST-2001-39112, NANOPHOS "Наноструктурирани сензори за фотониката" (2003-2006г.) от 5та Рамкова програма на ЕС и PL978043, IMPULSNET "Европейска мрежа по импулсно лазерно отлагане на тънки слоеве от оптични и магнитни материали" (1998-2002г.) от инициативата "Коперникус" на ЕС. Съвместно с докторантката А. Диковска създадохме висококачествени оптично-активни планарни вълноводни слоеве от Er,Yb:Y₂O₃ с възможности за реализиране на вълноводни лазери, генериращи във видимата и инфрачервената област. В това направление са защитени два доктората. Публикувахме 7 статии (B.I.99, 116, 126, 134, 136, 138, 143) в специализирани международни журналы, защитена е 1 докторска и една магистърска дисертации и са забелязани над 60 цитирания.

- Оптични газови сензори.

Съвместно с докторантите А. Диковска и Н. Станкова, и сътрудниците от лабораторията Т. Станимирова, Т. Стоянчов и И. Димитров създадохме оптични газови сензори на нов принцип, използващ промяната във вълноводните свойства в различни пасивни тънкослойни оксидни структури. Доказахме активността им към бутан, пропан, амоняк и водород. Получените резултати са обект на Европейски проект от 5 РП, 12 журнални статии (B.I.120, 123, 124, 129, 130, 137, 144, 147, 151, 155, 157, 159), които се цитирани над 50 пъти, както и на защитени 2 дисертационни трудове.

C. Фемтосекундна фотоника, материалознание и нанотехнологии:

- Фемтосекундна фотоника.

Благодарение на получените пионерните фундаментални научни приноси по моделиране на лазерната аблация на метали със свръхкъси лазерни импулси сме едни от водещите изследователи в световен мащаб. Съвместно с докторанта Н. Неद्याлков и сътрудничката С. Имамова разработихме оригинален числен модел и компютърен код, основан на метода на молекулната динамика (МД), който описва взаимодействието на метални мишени с фемто и пикосекундни лазерни импулси. На базата на разработения модел получихме данни и създадохме теория за цялостната физическа картина на аблацията в метали като:

- Обяснихме механизма на аблацията на метали със свръхкъси импулси в зависимост от параметрите на взаимодействието материал-лазерен импулс и оценихме приноса на термо-механичните свойства, фазовата експлозия, фрагментацията на пренагретия материал и изхвърлянето на стопения материал поради откатното налягане в зависимост от параметрите на лазерния импулс. Определихме структурата и параметрите на аблационния факел при различни условия;

- Обяснихме динамиката и процесите в материала на мишената. Оценихме параметрите на ударната вълна в него и различните ефекти, възникващи при разпространението ѝ;

- Получихме експериментални данни за лазерната аблация в метали с помощта на свръхкъси импулси в зависимост от параметрите им. Резултатите анализирахме с разработения МД модел като обяснихме наличието на втори праг на аблацията, нелинейната зависимост на аблираната дълбочина от плътността на лазерната енергия и зависимостта на аблираната дълбочина от продължителността на лазерния импулс. Получихме добро съгласуване между експерименталните и теоретичните резултати.

Резултат от успехите и приоритетите ни в тази област е включването ни наред с още два научни колектива от Русия, като единствени чуждестранни участници в най-грандиозния немски научноизследователски и приложен проект – “Фемтосекундни технологии” финансиран от БМБФ, в който участваха 20 университета от Германия и 30 световноизвестни фирми (напр. Даймлер-Крайслер, Бош и др.). Осъществихме и пренос на тематиката към У-та “Фредерико II”, Неапол, Италия използвана в доктората на д-р М. Витиело. По тази най-съвременна и модерна проблематика публикувахме 21 труда (В.І.79, 84, 86, 91, 97, 98, 107, 109-112, 114, 115, 118, 119, 121, 127, 131, 133, 135 и 148) с над 150 цитирания и един защитен докторат.

- Нанотехнологии и повърхностно усилена Раманова спектроскопия.

Съвместно с доц. Недялков и колегите от У-та Кейо получихме подредени структури от нанопръчки от ZnO върху подложки от Si посредством импулсно лазерно отлагане и впоследствие покрити със злато. Така получената структура е използвана за повърхностно усилена Раманова спектроскопия като минималното количество от веществото родамин 6G (R6G), което може да се детектира е 1 пМ. Нарастването на сигнала е обяснено с наличието на усилване на електромагнитното поле, индуцирано от повърхностните плазмонни поляритони на златните наноструктури. Статията в J. Phys. D: Appl. Phys. 41 (2008) е избрана от редакцията като една от най-значимите 20 за 2008 г.

- Биофотоника - фототермична терапия на ракови клетки и захващане и унищожаване на вируси.

Съвместно с колеги от ИЕПП-БАН получихме и доказахме експериментално и теоретично използването на златни наночастици за фототермична терапия на ракови клетки. Предложихме и авангардна теоретична схема за захващане и унищожаване на малки вируси. Резултатите са публикувани в 6 статии (В.І.), които са отбелязани от международната научна общественост.

- Поляритоника и наноструктуриране на повърхности.

Предложена и разработена е нова авангардна технология за получаване на нанодупки, основаваща се на повърхностно плазмонно усилване, локализирано в близката зона на златни наночастици, което се възбужда с фемтосекунден лазерен импулс. Експерименталните резултати са потвърдени с разработените от нас теоретични основи и компютърно моделиране, основано на 3D-FDTD симулационна техника. За наноструктурирането на повърхности от диелектрици, полупроводници и метали са определени усилването в близката зона, както и разпределението на полето. Аномален енергиен поток под формата на оптични вихри и бифуркация се получават около областта на усилването във подложката. Свойствата на полето в близката зона са обяснени и чрез използването на обобщената теория на Ми. Резултатите са получени съвместно с д-р Н. Недялков и групата на проф. М. Обара от У-та Кейо, Япония и ни определиха като едни от основателите на новото научно направление **поляриторика**. Тези авангардни технологии са намерили място в 11 публикации в специализирани списания (В.І.141, 150, 152, 153, 161, 163, 170, 172, 176, 178, 190), една глава от монография (Е.6) и са цитирани над 100 пъти.

- Генериране на наночастици при лазерна аблация на метали и метални тънки слоеве с наносекундни импулси във вакуум.

Съвместно с докторанта Н. Недялков и колеги от ЧНР, Неапол, Италия реализирахме пионерни експериментални и теоретични приноси в създаването на цялостната физична картина и обясняване на механизма на формирането и началната еволюцията на наночастици, генерирани при лазерната аблация на метали (Al, Ni) със свръхкъси лазерни импулси. Установихме, че наночастиците се формират в процеса на декомпозиция на материала вследствие на фазовата експлозия или фрагментацията на пренагретия материал. С наличието на тези механизми обяснихме експериментално получените зависимости на размерите, скоростите и разпределението по размери на наночастиците, формирани при аблацията на метали и метални тънки слоеве със свръхкъси импулси с дължина на вълната в ултравиолетовата и видимата спектрални области. Показахме, експериментално и теоретично, че дължината на вълната е един ефективен параметър за контрол на размера им. Получените приноси по тази най-съвременна и модерна проблематика са отразени в 5 публикации (В.І.132, 140, 142, 145, 148, 196) в специализирани журналы, цитирани над 100 пъти, а статията в J. Phys. D: Appl. Phys. (В.І.196) е избрана от редакцията за публикуване във виртуалния журнал *Journal of Ultrafast Science* през януари 2012 г.

НАЙ-ВАЖНИ НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПОСТИЖЕНИЯ
на
на чл.-кор., професор, д.ф.н. Петър Асенов Атанасов

Получените експериментални и теоретични резултати, както и натрупания опит използвахме при създаване на лазери, лазерни компоненти и авангардни лазерни технологии у нас и в чужбина. Част от постигнатите резултати реализирахме в практиката, като по такъв начин внесохме съществен принос в материалното обогатяване на нашата държава и Европа.

1. Създаване на CO₂ лазери, лазерни системи и компоненти.

1.1. Фамилия CO₂ лазери с изходна мощност в непрекъснат режим 50, 100, 150 и 300 W.

Оригинални разработки и създаване на фамилия от CO₂ лазери с дифузно охлаждане и изходна мощност в непрекъснат режим от 50 до 400 W. Съвместно с техника И. Веков създадохме уникален електронен модул за управление на високоволтовите захранвания, цитиран в патент на САЩ.

Изработихме 5 бр. лазера съгласно 4 договора със СЗ в Белослав, МГ - Пловдив, ФФ на ПУ - Пловдив, Техникум по електротехника - София и един брой в ИЕ към автоматизирана система за лазерна обработка. Притежаваме 3 акта за внедряване.

1.2. Медицинска 60 W CO₂ лазерна система.

Ръководихме съвместен колектив от ИЕ-БАН, ТУ - Варна и НИИО за проектиране и създаване на CO₂ лазер с непрекъснато (изходна мощност 60 W) и импулсно-периодично действие, захранване и манипулатор по договор с ОЗОНТ - София. Производството бе усвоено от ОЗОНТ - София и са произведени 2 прототипа.

1.3. CO₂ лазерна технологична система.

Разработихме лазерна технологична система за реализиране на различни обработки – газолазерни рязане, заваряване и пробиване на отвори. По договори с МГ - Пловдив, ФФ на ПУ - Пловдив и Техникум по електротехника – София са изработени 3 бр.

1.4. Възел за завъртане на оста на лазерен резонатор на 180°.

Разработихме и бе изработен възел за завъртане на оста на лазерен резонатор на 180°. Възелът е защитен с авторско свидетелство и е вграден в автоматизирана CO₂ лазерна система, за което притежаваме акт за внедряване.

1.5. Френелов атенюатор и два вида CO₂ лазерни спектрометъра.

За нуждите на научно-изследователската дейност в лабораторията съвместно с докторанта П. Пасков създадохме Френелов атенюатор и два вида лазерни спектрометъра. Приложихме ги при изследване на взаимодействието на мощно инфрачервено лазерно лъчение с полупроводникови материали, структури и оптични елементи – наблюдаване на температурно индуцирана и електронна оптична бистабилност в полупроводници. Използвани са при разработването на докторатите на Сп. Василев и П. Пасков.

1.6. Изпълнителен пиезомодул за ротация по две оси.

Съвместно със сътрудника В. Митуцов разработихме пиезомодул за ротация по две оси позволяващ прецизно управление на лазерния лъч, защитени с Авторско свидетелство и Свидетелство за промишлен образец. Тези модули се използват при експерименталните изследвания в лабораторията. Два прототипа изработихме по договор с ОК, гр. Брегово.

2. Създаване на авангардни лазерни технологии.

2.1. Лазерна технология за рязане на стъклени цилиндрични изделия.

Разработихме оригинална технология за горещо рязане на стъклени цилиндрични изделия. Технологията бе тествана успешно (72 часова проба) в заводски условия в СЗ, гр. Белослав, с което се доказва намаляване на брака с 25%. Имаме защитено авторско свидетелство, което е трансформирано в патент.

2.2. Лазерна технология за управляване на термонапреженията при лазерно терморазделяне на стъклени цилиндрични изделия. Имаме защитено авторско свидетелство, което е трансформирано в патент.

2.3. Лично разработихме 120 авангардни лазерни технологии и програмното им обезпечаване за фирмата Carl Baasel Lasertechnik GmbH, Мюнхен - Германия по заявки на фирми от цял свят. Технологиите включват рязане, заваряване, скрайбиране, пробиване на отвори, контурна обработка на

метали, кварц и стъкло, пластмаси и композити. Използвани са автоматизирани CO₂ лазерни системи с мощности до 1800 W и включващи галванометрично или координатни маси с цифрово-програмно управление.

Следните CO₂ лазерни технологии и създадените за реализирането им комплексни автоматизирани системи донесоха на фирмата Carl Baasel Lasertechnik GmbH, Мюнхен – Германия приходи от над 2.300.000 DM (Потвърдителни материали не могат да бъдат представени по понятни причини – фирмена тайна):

- Рязане на жични съпротивления – фирма внедрител EPS, Италия;
- Заваряване на детайли от Inox – фирма внедрител Drovard-Тес, Франция. Заменена е съществуваща технология на електроннолъчево заваряване поради 15 пъти по-непроизводителна;
- Рязане на стоманени тръби – фирма внедрител Manessmann, Германия;
- Заваряване на пластмасови детайли – фирма внедрител Fresenius, Германия. Технологията и физичният модел са обект на самостоятелна публикация (B.I.49), която е цитирана над 30 пъти ;
- Перфориране на кожа – фирма внедрител Lintgens, Германия;
- Изрязване на отвори в рефлектори за ниско-волтови лампи – фирма внедрител OSRAM, Германия.

Въз основа на две технологии се реализира job shop на стойност 5.000 DM ежемесечно:

- Изрязване на сложни детайли за медицинска апаратура от силиконов каучук – за фирма Boehringer, Германия;
- Пробиване на отвори със специфичен профил в кварцови тръби - за фирма OSRAM, Германия.

2.4. Създаване на авангардна технология за пробиване на наноотвори в различни материали, с фемтосекундни импулси, асистирано със златни наночастици.

3. Газови сензори на нов принцип.

Създаване на тънкослойни оптични газови сензори на нов принцип, използващи ефекта на промяната във вълноводните свойства им свойства, които имат доказана активност към наличието на бутан, пропан, амоняк и водород.

4. Лазерно структуриране и метализиране на полимера PDMS.

Разработване на високотехнологична методика за фемтосекундно структуриране на полимера и последваща метализация с приложение в медицината и електрониката. Нова тематика поставена от нас с две водещи публикации, договор финансиран от ФНИ и заявки за 2 патента - (B.I.224, 230; D.9, 10).