



БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ



ИНСТИТУТ ПО
ФИЗИКА НА ТВЪРДОТО ТЯЛО

50
ГОДИНИ

ИФТТ – БАН

София, 2022

БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ

**ИНСТИТУТ ПО
ФИЗИКА НА ТВЪРДОТО ТЯЛО
„АКАДЕМИК ГЕОРГИ НАДЖАКОВ“**

50
ГОДИНИ

ИФТТ – БАН



АВАНГАРД, ПРИМА

София, 2022

© 2022 акад. Никола Съботинов, акад. Александър Г. Петров,
чл.-кор. Лозан Спасов, проф. Николай Тончев, съставители
2022 Авангард Прима, издател
ISBN 978-619-239-769-2

СЪДЪРЖАНИЕ

Предговор	5
<i>проф. дфн Хасан Шамати</i>	
За патрона на ИФТТ – академик Георги Наджаков	9
<i>проф. дфн Соня Касчиева</i>	
Чл.-кор. проф. Йордан Касабов и началото на микроелектрониката в България.....	21
<i>проф. дфн Албена Паскалева</i>	
Чл.-кор. проф. дфн Стефан Кънев – научни изследвания и техният принос за иновативни приложения	28
<i>проф. дфн Дориана Димова – Малиновска</i>	
Проф. д-р Разум Андрейчин: забележителен учен и организатор	34
<i>проф. дфн Диана Нешева, доц. Евгения Скордева</i>	
Акад. Милко Борисов и развитие на направлението акустоелектроника в ИФТТ и в България	45
<i>чл.-кор. Лозан Спасов</i>	
Проф. дфн Елена Миронова Фархи – Ватева: основоположник на физичните изследвания на наноразмерни структури в България.....	56
<i>проф. дфн Диана Нешева</i>	
Академик Никола Съботинов и лазерите с метални пари	67
<i>проф. Красимир Темелков</i>	
За Лабораторията по електронна микроскопия и електронография и нейния основател проф. Николай Пашов	77
<i>доц. Мария Калицова</i>	
Изследвания по физика на ниските температури в ИФТТ – БАН.....	86
<i>доц. дфн Елена Назърова</i>	
Теоретичните изследвания в ИФТТ на БАН	96
<i>проф. дфн Хасан Шамати</i>	
Лаборатория „Израстване на кристали“	101
<i>проф. дфн Марин Господинов</i>	
Физика на меката материя в ИФТТ – БАН: фундаментални и приложни постижения с национално и световно признание	109
<i>проф. Виктория Виткова и проф. дфн Йордан Маринов</i>	

Лаборатория „Оптика и спектроскопия” – предизвикателствата на новите материали, технологии, методи и приложения.....	119
<i>доц. Мариана Кънева, доц. Тихомир Тенев</i>	
Физика на атомите и нискотемпературната плазма	133
<i>проф. дфн Кирил Благоев, доц. Валентин Михайлов, гл. ас. Христина Христова</i>	
За първия директор на ИФГТ и международната школа по физика на кондензираната материя	140
<i>проф. дфн Хасан Шамати</i>	

ПРЕДГОВОР

проф. дфн Хасан Шамати

Институтът по физика на твърдото тяло е създаден с Разпореждане № 362 на Министерския съвет от 16-ти октомври 1972 г., съгласно което от 1-ви януари 1973 г. съществуващият Физически институт с Атомна научно-експериментална база при БАН, основан през 1946 г. от именития учен академик Георги Наджаков, дава началото на два специализирани института: Институт по физика на твърдото тяло с директор академик Милко Борисов и Институт за ядрени изследвания и ядрена енергетика с директор академик Христо Я. Христов. От 16 февруари 1982 г. Институтът по физика на твърдото тяло носи името на акад. Георги Наджаков.



Целта на създадения през 70-те години на 20-и век институт е да провежда фундаментални и приложни изследвания в области, които да осигурят основа за развитие на микро- и акустоелектрониката, физиката на свръхпроводниците и ниските температури, оптиката и спектроскопията. И той се справя блестящо с тази задача. Получени са значими научни резултати, които са високо оценени от международната научна общност, намират приложение в индустрията и довеждат до обособяването на отделни лаборатории в самостоятелни научни институции. От секция „Силиций“ с ръководител чл.-кор. Йордан Касабов се ражда Институтът по микроелектроника към Министерството на индустрията, а ръководената от чл.-кор. Стефан Кънев секция „Полупроводници $A^{IV}V^{VI}$ и прибори“ се трансформира в Централната лаборатория по слънчева енергия и нови енергийни източници – самостоятелно научно звено на БАН. Проф. Разум Андрейчин, който ръководи разработването на фотосъпротивления и фотоеlementи, е поканен да участва в изграждането на цех по просветлена оптика в Оптико-механичния завод на София. Учените от направлението на академик Милко Борисов „Акустоелектроника и акустоптика“ реализират своите иновативни идеи в Завода за електронни преобразователни

елементи и оказват на служителите му квалифицирана помощ при разрешаването на производствени проблеми. През 1974 г. е пуснат в действие от екипа на академик Никола Съботинов лазер с пари на меден бромид, който е признат за изобретение на годината през 1979 г. В процеса на внедряването на действащия прототип в производството е открит ефектът на водорода в лазерите с пари на халогениди на медта, водещ до увеличаване на мощността и ефективността им над два пъти и получените резултати намират място в световната наука и в университетските образователни програми. Най-мощният изцяло български лазер вече 30 години се произвежда в България, Австралия и Южна Корея. През 1987 г. чл.-кор. Лозан Спасов открива нов срез на кварца, което става основа за създаване на кварцови температурни сензори. Отново през 1987 г., само няколко месеца след официалното съобщение за направеното откритие на високотемпературната свръхпроводимост, специалисти от лабораторията с ръководител проф. Веселин Ковачев регистрират свръхпроводящ преход при температура 86,5 К в синтезираната от проф. Марин Господинов система итрий-барий-мед-платина-кислород. Активното изучаване на халкогенидните многослойни наноструктури от проф. Елена Ватева и колектив е високо оценено от международната общност и българският принос в това направление е признат през 2004 г. в първата световна Енциклопедия по нанонаука и нанотехнологии.

Всяко едно световно технологично постижение бързо се прилага в Института по физика на твърдото тяло. В сектора по оптиката и спектроскопия с ръководител проф. Параскева Симова живачната лампа е заменена с нов източник – лазерът, веднага след прилагането му по света в спектралните техники. Развива се нов спектроскопски метод за изучаване на природата на веществата – ядреният магнитен резонанс, дело на академик Александър Держански. Под неговото ръководство е установен нов термично стимулиран конформационен преход в миоглобина и е открит градиентният флексоелектричен ефект – явление, задълбочено изучавано както от учениците в Института, така и от известни групи в университетите в Харвард, Бордо и Орсе. Неговият ученик акад. Александър Петров продължава и разширява изследванията. Той открива биофлексоелектричеството като течнокристален аналог на пиезоелектричеството в твърди кристали.

Днес Институтът по физика на твърдото тяло е модерен научноизследователски център с водещи позиции в Европейското изследователско пространство. Той разполага с модерна инфраструктура, изградена благодарение на финансиране от различни програми: *Развитие на конкурентоспособността на Българската икономика 2007 – 2013 г.*, *7-ма Рамкова програма на ЕС, Наука и образование за интелигентен растеж*, *Пътна карта за научна инфраструктура на Република България* и др. В обнове-

ните лаборатории се извършва интензивна научноизследователска, научно-приложна и експертна дейност в области, които са свързани със синтез и характеризирание на функционални материали и с търсене на нови пътища за експлоатиране на техните потенциални технологични приложения. За постигане на тези цели се провеждат висококачествени интердисциплинарни изследвания в две основни направления: Функционални материали и наноструктури и Фотоника, като се използват богатата гама от налична научноизследователска апаратура и разработените прецизни методики и технологии:

- апаратура и ноу-хау за израстване на монокристали от оксидни материали за лазерната техника и приложения на фоторефрактивния ефект, апаратура за синтез и изследване на високотемпературни свръхпроводящи материали;
- съвременна техника и технологии за нанасяне на тънки слоеве за направа на микроелектронни, оптоелектронни и акустоелектронни сензори и за лазерната технология, чиста стая;
- апаратура и методика за провеждане на електронномикроскопски, изследвания, за спектрални елипсометрични измервания, за спектрометрия от вакуумния ултравиолет до инфрачервената спектрални области;
- апаратура за поляризационни измервания в мезоморфни системи и полимерни течни кристали за нуждите на индикаторната техника, апаратура за стробоскопична видеомикроскопия и микроманипулация на липидни везикули;
- различни лазерни системи – газови лазери с метални пари, твърдотелни (наносекундни и фемтосекундни) лазери, излъчващи в UV, видимата и близката IR спектрална област, за нуждите на плазмената физика, анализ с използване на лазерен източник и обработка на материали, с възможности за приложение в нанотехнологии, медицина, археология, екологията и др.;
- високотехнологична експериментална апаратура за изследване на електричните, магнитните и термични свойства на материали, повърхности и структури.

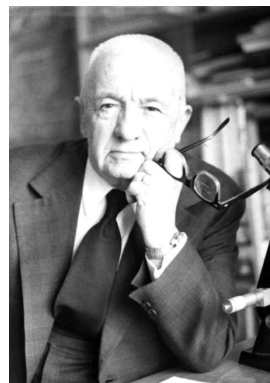
От създаването си Институтът по физика на твърдото тяло осигурява полезни изследователски резултати за енергетиката, опазването на околната среда и на културното наследство, националната отбрана, медицината, интегралната и функционална електроника и др., участва като равноправен партньор в световни академични изследвания и проекти с индустрията, създава нововъведения, съхранява научното наследство и допринася за подготовката на млади учени и изграждането на научни кадри. Той има 50 годишен опит в обучението на студенти, провеждането на следдипломни, докторски и постдокторски квалификации.

В сборника „50 години ИФТТ – БАН“ са включени материали за учени, проекти и лаборатории, които са оставили следа в световната наука, допринесли са за развитието на българската икономика и за просперитета на обществото ни. Той представлява опит да се съхрани историята на нашия институт и да се покаже на младите, а и на следващите поколения учени, че това е Институт с традиции в развитието на физиката на кондензираната материя, създаден и утвърден от личности, отдадени на науката.

ЗА ПАТРОНА НА ИФТТ – АКАДЕМИК ГЕОРГИ НАДЖАКОВ

проф. дфн Соня Касчиева

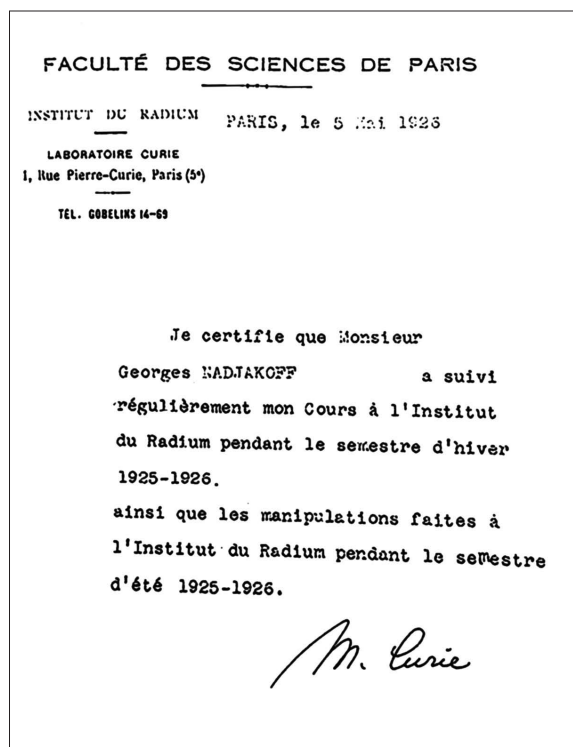
За патрона на Института по физика на твърдото тяло при Българската академия на науките академик ГЕОРГИ НАДЖАКОВ е писано много. Защото Георги Наджаков продължава да живее в сърцата на поколения физици – негови съратници и ученици. Защото е уникална личност – умен, благороден, добър, изключително скромен Човек. Георги Наджаков винаги всяваше респект и уважение. Той притежаваше рядко срещаното човешко качество – достолепие. В момента, в който се появяваше в залата за Научен съвет, събрание или заседание, всички (като под команда) прекъсвахме разговорите, притихвахме и ставахме на крака. Учен с международен авторитет, с огромни заслуги за развитието на физическото знание и висшето техническо образование, организатор и популяризатор на науката, Наджаков се радваше на огромна, заслужена обич не само на своите колеги, но и на цялата общественост. Той е един от учените, които промениха света, защото резултатите от научните му изследвания вече обслужват цялата планета. Днес ежедневието на болшинството от жителите на Земята е немислимо без съвременната копирна техника, а това е само част от практическото приложение на откритието на Наджаков – фотоелектретното състояние на веществото. То намира приложение и в безвакуумната телевизионна техника, запаметяващите устройства, дозиметрията на фотонни йонизиращи лъчения, оптичния запис и обработка на информацията и др. [1].



*Георги Наджаков
(1896 – 1981).*

Георги Наджаков е роден на 26 декември 1896 г. (стар стил) в град Дупница в семейството на медицинския фелдшер Стефан Наджаков. Средното си образование получава през 1915 г. в Трета мъжка гимназия в София, където семейството му се премества да живее. През същата година постъпва във Физико-математическия факултет на Софийския университет. Негов пръв преподавател по физика е видният руски физик и биолог Порфирий Бахметьев, който скоро след Освобождението идва в България по покана на министъра на народното просвещение. За младия Наджаков Бахметьев е не само любим учител, но и пример за подражание. Наджаков го носеше

в сърцето си и винаги говореше за него с възхищение и респект: „Надарен със силен, чудновато синтетичен ум, богат с идеи, често пъти много смели, но не химери, Порфирий Бахметъев увличаше слушателите си. Изложението му беше тихо, спокойно, приятно и понякога подслаждано с шега, която свързваше с лекцията. Майстор на научното слово, той караше студентите да се захласват в него. Аудиторията, най-голямата тогава, винаги беше натъпкана със студенти, дори и от други факултети.“ [2].



Фигура 1. Документ, с който Мария Кюри удостоверява, че Г. Наджаков е посещавал нейния курс през 1925 – 1926 г.

лист хартия своите интереси и с какво желае да се занимава. При следващата среща френският учен одобрява предложението на младия физик да работи върху „фотоелектрични явления, вътрешен и външен фотоэффект“. Същия ден Пол Ланжвен разпорежда на своите сътрудници: „Тук е дошъл един българин, който ще работи в моята лаборатория. Аз му давам едно ъгълче от нея. Вие ще видите от какво има нужда: материали, апаратура и пр. Искам да го устроите, за да може да започне веднага работа.“, си спомня Наджаков [3]. Наджаков решава да използва времето за специализацията си в Париж максимално ефективно и работи денонощно върху одобрената тематика. Едновременно с това посещава през зимния семестър на 1925 –

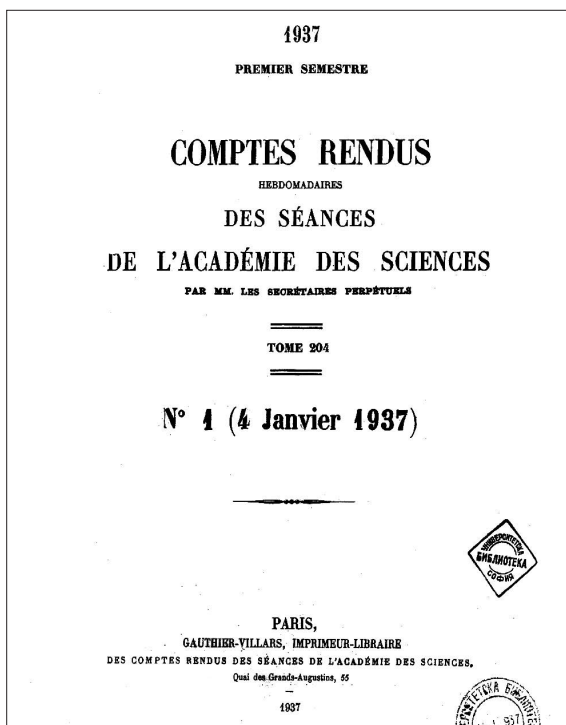
Началото на Първата световна война и последвалата мобилизация в страната пречат на нормалния ход на обучението в Университета. „Станахме висшисти съвсем осакатени и трябваше да попълваме знанията си самостоятелно.“, разказваше Георги Наджаков. През 1921 г. той е назначен за асистент по експериментална физика в Софийския университет и води лабораторни упражнения на студенти. През септември 1925 г., заедно с още 7 млади българи от интелектуалния елит на България, е изпратен на специализация в Париж [3]. Професор Пол Ланжвен приема Георги Наджаков в своята лаборатория и още при първия им разговор му предлага да опише на

1926 г. редовен курс, воден от Мария Кюри в Сорбоната, а през летния семестър работи върху електрични методи за радиоактивни изследвания в ръководената от нея лаборатория (Фигура 1). В лабораторията на Мария Кюри се сприятелява с Фредерик Жолио-Кюри, който играе важна роля в живота му през следващите години.

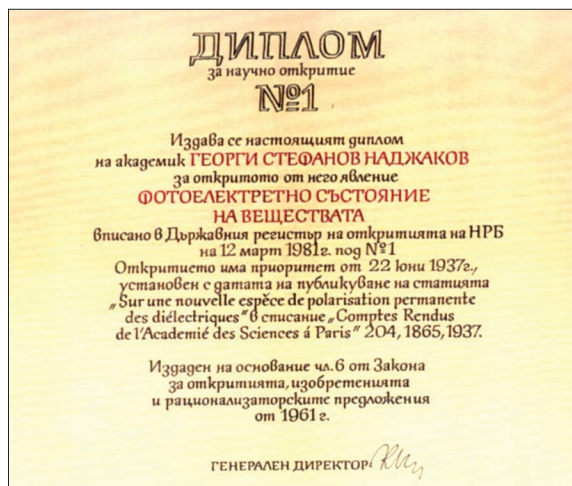
В Париж Георги Наджаков получава необходимите условия – научна среда и съвременна апаратура, за да реализира своите идеи. От тук започва неговият път в голямата наука, пътят към великото му откритие. В рамките на една година в резултат на проявената изключителна работоспособност и упорит труд той се отчита с две изследователски теми с общото заглавие „Фотоелектрична проводимост в твърди диелектрици и външен фотоефект“ [4]. Връзката на Наджаков с Пол Ланжвен и Фредерик Жолио-Кюри се запазва за цял живот. За тях той говореше с огромно уважение и благодарност: „Ако не беше това прозорче, през което погледнах към голямата наука, едва ли бих станал човек на науката.“, казваше често големият български физик [3, 4].

След завръщането си в България Георги Наджаков е избран за доцент в Софийския университет и заедно с преподавателската дейност продължава научните си изследвания.

При едновременното въздействие на електрично поле и светлина върху диелектрици и полупроводници той открива ново явление, което нарича фотоелектретно състояние на веществата. Това е първото българско откритие в областта на физиката. То издига престижа на родната наука и е едно от най-големите научни постижения на 20-и век. През 1937 г. резултатите на българския учен, получени в Софийския университет, са докладвани от професор Пол Ланжвен на поредното заседание на Френската академия на науките и са публикувани в нейните доклади [5]. Датата на това съобщение може да се смята за рождената дата на



Фигура 2. Годишникът на Френската академия на науките, в който е отпечатан докладът на професор Пол Ланжвен за откритието на Г. Наджаков.



Фигура 3. Диплом за научно откритие, вписано като №1 в Държавния регистър на откритията на НРБ.

Edward Padget в списание *Radio Electronics*, в която се сравняват съвременните фототранзистори с фотоелектретите, открити Г. Наджаков. Резултатите от изследванията в Института по кристалография към Академията на науките на СССР са публикувани в монография „Фотоелектрети и електрофотографически процес“ на В. М. Фридкин и И. С. Желудев. Всичко това дава мощен тласък на изучаването на електрофотографските процеси, като най-успешни се оказват опитите в САЩ, където още през 1938 г. Честър Карлсон получава редица патенти, на базата на които е създадена и съвременната ксерография [4].

Авторът на първото българско откритие, вписано под номер 1 в Държавния регистър на откритията на Република България (на 12 март 1981 г. с приоритет от 22 юни 1937 г.) е Георги Наджаков (Фигура 3). Забавеното узаконяване у нас той обясняваше така: „Очаквах да видя какво приложение ще намери това откритие. Фотоелектретното състояние на веществата открих тук, в София, през 1937 г., където разполагах с примитивна апаратура. Но имах собствена идея! А това е най-важното. Защото можеш да имаш най-скъпите уреди, най-модерната апаратура – нямаш ли собствена идея, откритие няма да направиш.“ [6]. В световен мащаб откритието на Георги Наджаков получава признание през 1940 г., когато е избран за член-кореспондент на Гьотингенската академия на науките.

Георги Наджаков е безспорен научен авторитет в България и сред международната научна общност. Той е действителен член (академик) на Българската академия на науките от 1945 г., от 1958 г. е редовен чуждестранен член на Академията на науките на Съветския съюз и от 1965 г. е член на

„Откритието на фотоелектретното състояние в някои диелектрици“. Така Георги Наджаков вписва името си със златни букви в световната наука (Фигура 2).

Интересът към неговото откритие нараства след приключването на Втората световна война. Създават се изследователски групи в различни страни на света. Провеждат се изследвания в САЩ и Съветския съюз, в Япония, Индия и Бразилия. През февруари 1955 г. в САЩ се появява статия от

Американската асоциация за напредък на науката. Повече от 10 години е зам.-председател на Българската академия на науките, инициатор и главен редактор (1948 – 1959) на първото академично списание у нас – „Доклади на БАН“, което се издава на чужди езици с цел популяризиране на българската научна мисъл по света, и ректор на Софийския университет с два последователни мандата (1947 – 1951) [3]. Израз на високата оценка на неговия принос за световната наука са личните покани, които получава за участие в редица международни научни форуми, провеждани в Англия, Франция, Швейцария, Швеция, Белгия, Холандия и др. Това му позволява да се запознае със структурата и организацията на научните институти в Западна Европа, да преговаря с различни фирми за доставка на оборудването, необходимо за институтите на БАН, да разшири редовния книгообмен на БАН и да издигне престижа не само на българската физика и наука, но и на България.

Георги Наджаков бе и блестящ преподавател. Неговите лекции по обща физика за физици от педагогическия и научния профил посещаваха също студенти по математика, химия, биология – от различни курсове и специалности на Софийския университет. Най-голямата, 272 аудитория на Университета, винаги беше препълнена по време на неговите лекции. Като преподавател той достигна висините на любимия си учител – Бахметъев. Наджаков имаше свой собствен стил на обучение – увлекателен и интригуващ. Даваше много на своите студенти и беше вискателен към тях. Той изграждаше аналитично мислещи професионалисти и проповядваше тезата: „Учен е този, който ражда идеи.“ На своите ученици, които раждаха идеи, винаги подаваше ръка, помагаше им в тяхното развитие и се гордееше с техните успехи. Като ръководител на Катедрата по експериментална физика на Софийския университет Наджаков привлича към научната работа младите физици Павел Марков и Христо Я. Христов, както и студентите от по-горните курсове – Милко Борисов и Параскева Симова [2]. Именно те, след време, продължиха неговото дело. Когато основава Физическия институт с Атомна научно-експериментална база (ФИ с АНЕБ) при БАН през 1946 г., в Заседателната зала поставя портрета на своя любим учител Порфирий Бахметъев, а научният състав е обучаван от него в Софийския университет. Това бе атмосферата, в която работихме и ние, последното поколение физици, подготвени от големия български учен в СУ „Св. Кл. Охридски“. Наджаков ръководи Физическия институт на БАН до 1972 г., когато с министерско постановление е разделен на Институт за ядрени изследвания и ядрена енергетика (ИЯИЯЕ) и Институт по физика на твърдото тяло (ИФТТ). Първият от тях Наджаков предаде на своя заместник (от ФИ с АНЕБ) и ръководител на Катедрата по атомна физика на Софийския университет Христо Я. Христов. Ръководството на ИФТТ той възложи на своя ученик Милко Борисов (ръководител на Катедрата по физика на твър-

дото тяло в СУ). По-късно и двамата директори бяха избрани за академици на БАН.

Георги Наджаков бе патриот от класата на големите български възрожденци. Дългът към България бе водещата златна нишка на неговия живот. Високо ценеше това качество и го изграждаше у своите ученици. Примери за това, как Наджаков подпомагаше развитието на своите студенти и изграждаше мрежа от учени, необходими за научното и икономическото развитието на България, има много. Ще представя само малка част от тях. След дипломирането на Параскева Симова в Софийския университет, Георги Наджаков я изпраща на специализация в СССР, където тя защитава кандидатска дисертация по спектроскопия. Освен с голямата наука Ленинград я покорява с неповторимия руски дух, култура и архитектура. Но създавайки Физическия институт в БАН, Наджаков се нуждае от добре подготвени кадри и Параскева Симова незабавно се завръща в България. Тя развива ново направление – оптика и спектроскопия във ФИ и преподава знанията си на студентите по физика в СУ. Учен от висока класа и човек с огромно сърце, Симова подготви множество аспиранти и специалисти – спектроскописти за науката и производството на България. Дълги години тя е дясната ръка на Наджаков и достоен негов заместник. За нея той говореше с особена симпатия като за колега, на когото винаги може да разчита, уважаваше я и се вслушваше в позицията ѝ.

Другият пример за успешен ученик на Георги Наджаков е чл.-кор. Йордан Касабов. Георги Наджаков го забелязва още като студент и когато се дипломира, го взема за свой аспирант във ФИ с АНЕБ. След защитата на кандидатската си дисертация, Йордан Касабов оглавява секция „Силиций“. Именно тук започна развитието на микроелектрониката в България. Наджаков е този, който подкрепи Касабов в създаването и организирането на Централния институт по елементи към Държавно стопанско обединение „Изот“. И резултатите не закъсняха. На Експо 1973 г. в Осака Йордан Касабов изведе България на III-то място в света по производство на интегрални схеми на глава от населението – след САЩ и Япония. Когато Касабов произведе първата българска джобна „Елка“ на базата на собствени интегрални схеми, той я донесе в кабинета на Наджаков и му я подари. Никога не съм виждала Георги Наджаков толкова щастлив. Дълго време при всяко свое пътуване в чужбина Наджаков носеше тази „Елка“ и се гордееше с постиженията на своя ученик Йордан Касабов.

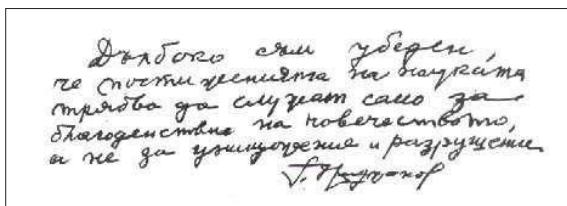
Георги Наджаков има огромен принос и за развитието на ядрените изследвания и ядрената енергетика у нас. Той е сред инициаторите за създаването на Обединения институт за ядрени изследвания (ОИЯИ) в гр. Дубна, Русия, през 1956 г. и е първият пълномощен представител на Република България в ОИЯИ. От собствен опит знае как се изграждат физици

на световно ниво и осъзнава, че ОИЯИ със своя ръководен състав и уникална съвременна апаратура ще предостави тази възможност на много учени от страните участници. Той е Човекът, който даде тази прекрасна възможност и на поколения български физици. И днес ОИЯИ е важен научен център, където в Лабораторията по ядрени реакции (ЛЯР) под ръководството на Ю. Оганисян са открити всичките 18 елемента след 100-тния от Таблицата на Менделеев, а 118-тия елемент носи името Оганесияний. Сред работещите в ЛЯР има и наши сънародници. Десетки български физици от цялата страна са минали през тази школа и са защитили кандидатски и докторски дисертации. Днес лабораториите на ОИЯИ носят имената на своите създатели – световноизвестни учени като лауреата на Нобелова награда Иля Франк (Лаборатория по неутронна физика), Г. М. Флеров (Лаборатория по ядрени реакции), Н. Н. Боголюбов (Лаборатория по теоретична физика) и др. Алеите в двора на ОИЯИ носят имената на същите тези учени. Сред тях е и алеята на Георги Наджаков.



Фигура 4. Алея на името на Георги Наджаков в двора на ОИЯИ – Дубна, Русия.

Георги Наджаков бе жизнен, пълен с енергия и ентузиазъм за работа. Обаянието му беше необикновено, работоспособността му – смайваща, а примерът му на миролюбец – заразителен. Заедно с Фредерик Жолио-Кюри са сред инициаторите и създателите на две световни движения: Световния съвет за защита на мира и Пъгуошкото движение на учените за мир, разоръжаване и международна сигурност. Световният съвет за защита на мира е създаден в 1950 г. с първи председател Жолио Кюри – физик, химик и Нобелов лауреат. Георги Наджаков е председател на Националния комитет за защита на мира в България и член на Световния съвет за мир, а по-късно и негов почетен председател. Пъгуошкото движение е учредено през 1957 г. в Канада с участието на учени от цял свят, където се дискутират проблемите на ядреното оръжие и световната сигурност. Главната цел на това движение е да се обсъждат начини за намаляване на въоръженията, както и отговорността на изследователската общност към проблемите на икономическото развитие (Фигура 5).



Фигура 5. Георги Наджаков за науката в полза на човечеството, Факсимиле.



Фигура 6. Георги и Вера Наджакови на конференция на Международната агенция за атомна енергия във Виена, 1961 г.

Като горещ привърженик на мирното използване на атомната енергия Георги Наджаков ръководи българската делегация на Първата (1955) и Втората (1958) Женевски конференции за мирно използване на атомната енергия и е председател на Петата сесия на Генералната конференция на Международната агенция за атомна енергия във Виена през 1961 г. (Фигура 6).

Въпреки високите постове, които заемаше в обществото, Наджаков бе изключително скромна личност. Не обичаше да се обръщаме към него с „академик Наджаков“. „Предпочитам да ми казвате „професор Наджаков“, защото „професор“ значи „учител“. „Да се обръщат към теб с „Учителю“ е най-висшата награда за един учен.“, казваше често той.

За своята преподавателска, научна и обществена дейност академик Наджаков е носител и на най-високи престижни държавни и международни отличия на своето време: Димитровска награда, орден „Георги Димитров“, орден „Кирил и Методий“, орден „Красного знамени СССР“, златен медал „Фредерик Жолио-Кюри“ на Световния съвет на мира, златен медал на Република Австрия и др.

След като се оттегли от всички ръководни постове, които заемаше до края на 1972 г., Георги Наджаков продължи да работи в ИФТТ – БАН. Кабинетът му – на втория етаж, бе в съседство със стаята, в която работех.

Първите ми работни дни в ИФТТ започнаха в средата на следващата 1973 г. Току-що се бях върнала от специализация в САЩ. (Бях една от последните командировани сътрудници на Физическия институт преди разделянето му). Наджаков почука на вратата и ме покани в кабинета си. Разпитваше ме за средата, изследванията и получените резултати в университета Лихай. Каза ми: „Всичко това трябва да публикуваш в Доклади на БАН.“ Така и направих. След няколко дни отново последва покана за разговор. Този път разказваше Наджаков – за своя живот, за създаването на Физическия институт, за срещите си с най-различни хора – диапазонът бе огромен и разнообразен: от Пол Ланжвен и семейство Кюри, до политическия елит на България. Беше прекрасен разказвач, говореше толкова интересно и вълнуващо, че времето, за мен спираше да тече... Един от първите му разкази бе за тогавашния председател на БАН акад. Балевски, когото Георги Наджаков смяташе „за своето най-голямо откритие“. „С Ангел Балевски се запознахме по време на бомбардировките над София – през Втората световна война. Бяхме в евакуация на едно и също място край София. Вниманието ми привлече неговия интелект. Притежаваше високата култура, включително техническа, както и блестящ, бърз ум. Всичко това на фона на силно развито чувство за хумор. Беше завършил Немското висше техническо училище в Бърно и работеше като инженер в някаква леярна в София. Главата му преливаше от идеи. Тогава сподели с мен и идеята си за „леене с противоналягане“. Помолих го да ми я опише на един лист и да поговорим.“, разказваше Наджаков. Наджаков е Човекът, който след години успява да привлече Балевски на работа в БАН, където той създава и оглавява Института по металознание. „Тук се раждат и развиват множество нови направления в науката и промишлеността на България. А производството на джанти по метода на Балевски „леене с противоналягане“ започва първоначално в завод във Франция и после бързо завладя целия свят.“, разказваше Наджаков. Ангел Балевски бе избран за Председател на БАН и успешно я ръководи 20 години (1968 – 1988).

След време, когато се появяваше в ИФТТ, Наджаков само чукваше на вратата на нашата стая и я оставяше отворена, отключваше вратата на своя кабинет, в който влизахме заедно. Естествено, пускаше ме първа – той беше джентълмен. Спомените му продължаваха да се леят ...За Жолио-Кюри, с когото го свързва дългогодишно приятелство, той говореше с много топлина и уважение: „Той е добър човек и верен приятел, достоен член на фамилията Кюри – единствената в света, в която има толкова много Нобелови награди.“ Ето какво разказваше и записа след години в спомените си Наджаков: „Веднъж бяхме на обяд с Жолио-Кюри в Института и той ме покани: „Ела в моя кабинет!“. А кабинетът му е малък: вътре едно бюро, едно шкафче с много книги и все еднакви. Питам го: „Какви са тия книги?“ – „Това са книги от Стокхолм, от

Нобеловия комитет, годишниците. Има такава традиция – на всички Нобелови носители да се изпращат всяка година изданията на годишника на Нобеловия комитет. Тук, както виждаш, ги има в пет екземпляра, защото мадам Кюри, заедно с Пиер Кюри през 1903 г. получават Нобелова награда, осем години по-късно, тя отново получава втора Нобелова награда! След това през 1934 г., получихме и ние с Ирен Нобелова награда. В една фамилия пет Нобелови награди!“ Георги Наджаков също можеше да се гордее със своето семейство (Фигура 7). Съпругата му Вера Постомпирова (1902 – 1973) е първата жена асистент по физика в Софийския университет, с която заедно изследват електричните дирекционни сили при торзионните електрометри. Тя е бe високо ценена и уважавана като асистент по физика и изследовател. Съвместно с Г. Наджаков има публикации върху електричните торзионни сили при квадратния електрометър [7]. Синът му Емил Наджаков (1929 – 1996) е физик теоретик, който върви по стъпките на своя баща. Той ръководи проблемна група по ядрени реакции в ИЯИЯЕ, чете лекции в Софийския университет, където е избран за професор през 1980 г., минава през школата на ОИЯИ в Дубна и е академик от 1993 г. Дъщеря му доцент д-р Елка Наджакова е също физик, дългогодишен преподавател в Техническия университет – София. Тя защитава дисертация в ИФТТ върху ефекта на Туиман през 1978 г.



Фигура 7. Семейство Вера и Георги Наджакови с децата си Емил и Елка, 1946 г.

За себе си често ми казваше: „За да реши един въпрос другарят Наджаков се обръща минимум към министъра, в чийто ресор е въпросът. Въпросите

трябва да се поставят пред човек, който е отговорен и е способен да взема решения.“ При изграждането на Атомния център на БАН Георги Наджаков ангажира за своята кауза министър-председателя и успява да издейства отпускането на голяма площ, където започва строежът на първия атомен реактор в България. Реакторът е пуснат в действие през 1961 г. и освен за научни изследвания той се използва за изготвяне на изотопи за медицината и кадри за бъдещото развитие на ядрената енергетика в България [3].

Веднъж, по време на разказите на Наджаков, спонтанно му предложих, тези уникални преживявания да разкаже пред младежите на ИФТТ и да ги запишем на магнетофон. „Е, другарке Соня, (така ме наричаше) има време, още не съм си тръгнал.“ Нямах право да искам повече това от него... Днес дълбоко съжالياвам, че не проявих необходимата тактична настойчивост...

В началото на 1981 г. Наджаков започна да се появява по-рядко в ИФТТ. Разбрах, че е постъпил в болница. Една вечер през февруари след края на работния ден довършвах някои неотложни задачи. Сградата беше празна и тъмна. На вратата се почука и влезе Емил Наджаков, синът на Георги Наджаков, когото познавах само по физиономия. Очевидно беше много притеснен и развълнуван... Поканих го да седне, но той категорично отказа и остана прав. Помълчахме напрегнато минута-две и той проговори много, много тихо – почти шепнешком: „Бях в болницата, за да се простя с баща си... Каза ми: „Аз знам, че ще направят стаята ми музей. Всичко, което поискат от архивите ми или друго предай обезателно...“. Бях потресена... Вече няма да го видя?!.. Неговите прекрасни разкази секват?!...

Превръщането на работното място на Георги Наджаков в музей бе наш дълг, в това бях категорична, но никога, с никого до този момент, не бяхме обсъждали този въпрос. Още едно доказателство – Георги Наджаков бе не само най-великият български физик, но и пророк ...

След ден-два, не само Институтът, но и светът опустя – простихме се



Фигура 8. Европейско физическо дружество – Историческо място. Работен кабинет на Георги Наджаков (плакет).

с прекрасния учител и големия българин Георги Наджаков.

От 1982 г. Институтът по физика на твърдото тяло носи името на бележития български учен, а кабинетът, в който работи до последните си дни, е обявен за историческо място на стария континент от Европейското физическо дружество през 2014 г. (Фигура 8). За съхранението на кабинета на Наджаков принос имат както неговите ученици, съратници и последователи, така и семейството му.

Георги Наджаков е едно от безспорните имена в Пантеона на българската наука. Днес в София има улица „Акад. Георги Наджаков“, като знак за пример за поколенията и опит да се съхрани паметта на човека, който олицетворява българската физика през 20-и век.

Литература

- [1] А. Г. Петров, Р. Камбурова, Работният кабинет на академик Георги Наджаков, сп. „Наука“, кн. 4/2014, 24 – 26.
- [2] К. Момчилов, Проф. Бахметиев – патентното ведомство на България, в-к „Дума“, 19 февруари, 2011.
- [3] С. Иванов, П. Лазарова, Очерк за Георги Наджаков, УИ „Климент Охридски“, 1989.
- [4] С. Балабанов, Осемдесет години от откриване на фотоелектретите от големия наш учен академик Георги Наджаков, Светът на физиката, № 4, 2017, 294 – 299.
- [5] Langevin, P. M. Sur une nouvelle espèce de polarization permanente des diélectriques. – Comptes Rendus, 204, 1937, N 1, 1865 – 1866.
- [6] К. Коленцов, Постижения на приложната физика в БАН, АИ „Проф. Марин Дринов“, 2010, 25 – 34.
- [7] Академик Георги Наджаков, Юбилеен сборник, Научна дейност, Издание на БАН, 1959, 230-244.

ЧЛ.-КОР. ПРОФ. ЙОРДАН КАСАБОВ И НАЧАЛОТО НА МИКРОЕЛЕКТРОНИКАТА В БЪЛГАРИЯ

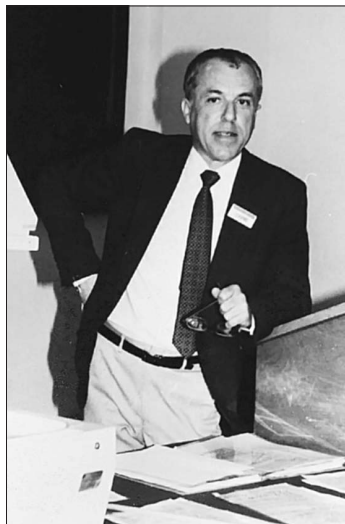
проф. дфн Албена Паскалева

*Единственото ценно нещо е интуицията.
(Алберт Айнщайн)*

Днес едва ли можем да си представим ежедневието си без електронни устройства като компютри, таблети, камери, мобилни телефони и пр. Непрекъснатото развитие и усъвършенстване на съвременните цифрови електронни устройства се дължи на възможността да се поместват в един чип все повече електронни елементи, което става благодарение на силициевата полупроводникова технология (силициева микроелектроника). Можем спокойно да кажем, че структурните, електрически и химични свойства на силиция са в основата на дигиталната революция. Не случайно последните десетилетия на 20-и век и началото на 21-ви век са известни като силициева ера (или още дигитална или информационна ера). През 1959 г., обаче, перспективността на силиция като полупроводников материал съвсем не е била очевидна и е била необходима голяма интуиция, за да се предвиди неговото технологично значение. Такава интуиция безусловно притежава младият Йордан Касабов (16.08.1928 – 12.04.1992) и това става причина да създаде секция „Силиций“ към Физическия институт към БАН. Преди това той работи като аспирант под ръководството на друг изключителен учен – акад. Г. Наджаков, и защитава дисертация на тема „Върху строежа на запиращия слой на селенови токоизправители“ (1955 г.). Още по време на работата по дисертацията си току-що завършилият студент прозира големия потенциал на полупроводниците и тяхното бъдещо приложение във всички технологични сфери. Дисертацията му се отличава със значителни както научни, така и технологични новости. Въз основа на резултатите в нея е разработена технология за ефективни селенови токоизправители, която е внедрена в производство в Батерийна фабрика – София (по-късно преименувана на Завод за полупроводници).

През 1959 г. под ръководството на Йордан Касабов в секция „Силиций“ започват интензивни изследвания върху основните технологични методи и процеси, свързани с изработване на електронни елементи с микронни размери и интегрирането им в схеми на повърхността на силициев кристал (интегрални схеми, ИС). Разработен е метод за получаване на чист силиций и изтегляне на монокристали от него; създадена е апаратура

за безтигелно зонно топене на силиций и са получени бездислокационни силициеви монокристали. Разработени са методи за легиране на силиция чрез дифузия на бор и фосфор, както и е създадена технология за бързо израстване на дебели слоеве от силициев окис. Много от тези разработки са оригинални и иновативни и формират необходимата технологична база за изработка на ИС. В резултат на това през 1966 г. са конструирани чрез планарна технология първите оригинални български полеве метал-окис-силиций (МОС) транзистори, както и прототип на интегрална схема. Това е

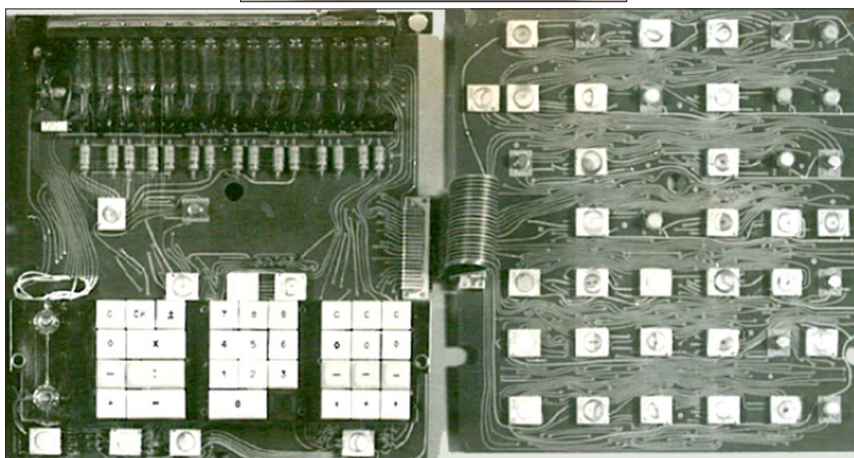


*Чл.-кор. проф. д-рн Йордан
Касабов.*

само четири години след съобщението за създаването на първата ИС от Radio Corporation of America (RCA) (1962 г.), която днес е част от General Electric. През 1965 г. е създадена и първата в България слънчева клетка на базата на кристален силиций. С тези разработки и благодарение на творческата прозорливост и неуморен ентузиазъм на Йордан Касабов се поставя началото на микроелектрониката в България, която се превръща и в една от първите страни в света, започнали такова производство.

Невероятното научно и технологично развитие в отдел „Силиций“ става причина за основаването през 1967 г. на Централния институт по елементи (ЦИЕ) при Държавно стопанско обединение „Изот“, като негов основен организатор и директор от самото му създаване е Йордан Касабов (15.03.1967 – 1.12.1973). За да разберем значимостта на това постижение, ще споменем, че технологичният гигант Intel е основан през 1968 г., т.е. една година по-късно. В ЦИЕ продължава да се работи много интензивно и в крак с най-съвременните тенденции за времето и се създава научна, технологична и изследователска база, която нарежда България до водещите в тази област страни – САЩ и Япония. Благодарение на оригиналните научни приноси на Й. Касабов и сътрудниците му е разработена оригинална българска технология за голям брой интегрални схеми (ИС) с малка и средна степен на интеграция на основата на полеве МОС транзистори. Реализирано е експериментално производство на интегрални схеми, изпълняващи логически функции (NOR, NAND, OR), броячи, тригери, преместващи регистри и др. Конструира се уникална апаратура за тестване на функционалността им. Това е използвано в разработването на първите специализирани ИС, предназначени за електронни калкулатори. Електронният калкулатор „Елка 42“ на базата на МОС интегрални схеми, проектиран съвместно с

НИПКИЕК (Научноизследователски и проектно-конструкторски институт за електронни калкулатори), получава международно признание и е награден със златен медал на световното изложение в Осака, Япония през 1970 г. Ето какво си спомня Любомир Антонов, директор на НИПКИЕК, в автобиографичната си книга „Какви съм ги вършил...“:



Електронен калкулатор „Елка 42“ – носител на златен медал от световното изложение в Осака, Япония през 1970 г.

„Прототипът на Елка 42 беше готов в края на 1969 г. и бе решено машината да бъде показана на Световното изложение Експо 70 в Осака, Япония. Двамата с Касабов посетихме това изложение. Търговското представителство бе организирано и посещения на почти всички фирми в Япония, които произвеждаха калкулатори. Оказа се, че те произвеждат само калкулатори с транзистори. Когато им казахме, че в нашата палата могат да видят калкулатор на МОС интегрални схеми, те много се учудваха. В нашата палата бяха изложени на видно място две машини – едната работеща, а другата до нея отворена, за да се вижда как е направена. А тя блестеше. Японците се гълпяха пред тях! Нямаше друг калкулатор с интегрални схеми на Експо-70!“

През 1973 г. ЦИЕ е преименуван на Институт по микроелектроника (ИМЕ) и дейността в него продължава бързо да се разраства и се преми-

нава към проектиране и производство на ИС със средна и голяма степен на интеграция. Това налага използване на нови процеси като фотолитография, високотемпературни процеси (окисление и дифузия), химично отлагане от пари, йонна имплантация, плазмено ецване, отлагане на метални слоеве чрез изпарение и разпрашване, корпусиране на ИС. Закупува се нова модерна апаратура – компютри, технологични машини и тестери, но и значителна част от необходимото специфично оборудване се разработва и произвежда в самия институт и са защитени многобройни авторски свидетелства (патенти). Основните дейности в ИМЕ обхващат проектиране на интегрални схеми и тяхното производство в технологична линия, създадена със собствени сили и включваща изброените модерни технологични процеси. Производството е както в услуга на научните експерименти, така и в неголеми серии, предназначени за крайни потребители. В Ботевград е построен завод за интегрални схеми с голям производствен капацитет, като линиите му са настроени според разработените в ИМЕ технологически процеси. Цялата научна и организационна дейност по функционирането на ИМЕ се ръководи от неговия директор – Йордан Касабов, който се утвърждава като водещ специалист и световно признат авторитет в областта на микроелектрониката. Научните му приноси са отразени в дисертационния му труд на тема: „Върху някои проблеми на МОС (метал-окис-силиций) транзисторите и МОС интегралните схеми“, за който получава степен „доктор на физическите науки“ през 1974 г. Тези приноси са оценени високо от водещите научни организации в България и през същата година той е избран за професор във Физическия факултет на Софийския университет и за член-кореспондент на БАН. Нарасналият авторитет и постиженията на България в областта на микроелектрониката привличат вниманието на чужди специалисти и организации. Фирмата „Rockwell International“ проявява интерес за съвместно производство в областта на масовите дигитални изделия, но подписването на договор е провалено в последния момент поради съществуващата политическа конюнктура. През 1978 г. Йордан Касабов неочаквано и без мотиви е освободен като директор на ИМЕ и се връща на академична позиция там, откъдето тръгва научният му път – Институт по физика на твърдото тяло, БАН (през 1972 г. Физическият институт при БАН се разделя на два нови института – Институт по физика на твърдото тяло (ИФТТ) и Институт по ядрени изследвания и ядрена енергетика).

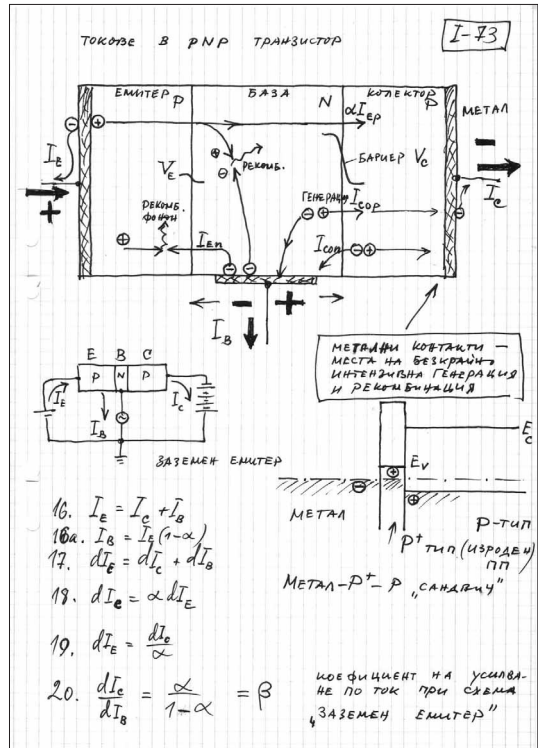
От началото на 1979 г. до смъртта си (12.4.1992) чл.-кор. проф. Йордан Касабов ръководи Сектора по физически проблеми в микроелектрониката в ИФТТ. В периода 01.08.1982 – 01.01.1988 г. е заместник-директор на единния център по физика. В ИФТТ той и екипът му фокусираат вниманието си върху разрешаване на научни проблеми, свързани с изготвянето и функционирането на полупроводникови прибори – извършват се задълбочени

изследвания на системата Si-SiO₂ и влиянието на различни технологични процеси върху нейните свойства и съответно функционирането на МОС транзистори. Започват изследвания и върху използване на безгейтови полеви транзистори като сензори на различни пари. Следвайки тенденциите в развитието на компютърните технологии, проф. Йордан Касабов насочва научните си интереси и към разработване на външни запаметяващи устройства на основата на магнитни слоеве и става ръководител на лаборатория към новосъздадения през 1985 г. Координационен център по информатика и изчислителна техника (КЦИИТ).

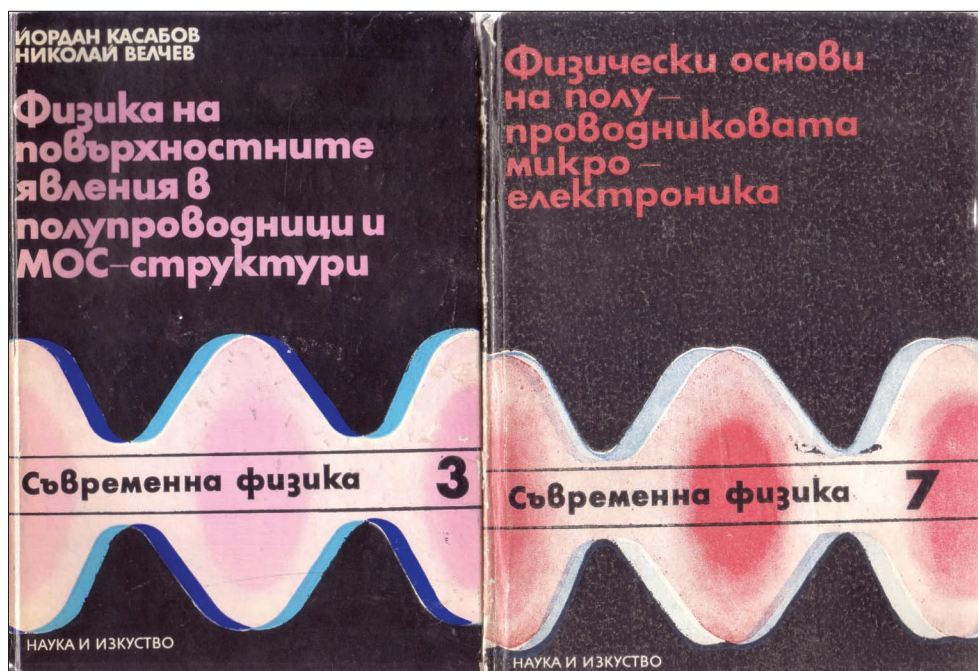
Многобройните научни и приложни приноси на Йордан Касабов са отразени в повече от 20 изобретения в областта на микроелектронните технологии с голямо стопанско значение; 112 негови публикации в наши и чуждестранни списания и сборници; 5 книги и монографии по полупроводници, прибори и интегрални схеми; 30 научнопопулярни статии; над 60 разработки, които са внедрени в практиката. Изобретенията му за сензори са патентовани в Англия, Италия, Франция, Русия.

Наред с научноизследователската и развойна дейност чл.-кор. проф. Й. Касабов има и много активна и плодотворна преподавателска дейност. Дълги години той чете лекции и обучава студенти в Софийския университет по физика на полупроводниците, полупроводниковите прибори и интегрални схеми. Той създава научна школа и има изключителни заслуги за подготовката на поколения висококвалифицирани специалисти и докторанти по микроелектроника. Автор е на книги за студенти и специалисти по микроелектроника – „Физически основи на полупроводниковата микроелектроника“ (1981), „Физика на повърхностните явления в полупроводници и МОС структури“ (1977), както и на научно-популярната книга „По ценен от диаманта“.

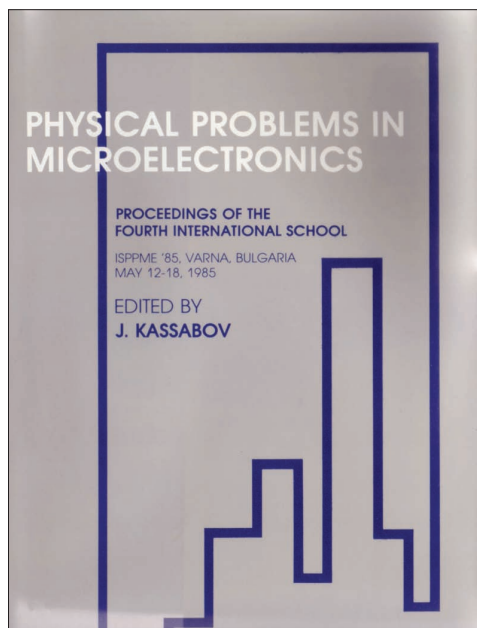
В периода 1983 – 1989 г. проф. Йордан Касабов организира регулярна



Факсимиле от лекции на чл.-кор. проф. Йордан Касабов.



Книги на чл.-кор. проф. Йордан Касабов.



(на 2 години) международна школа Physical Problems in Microelectronics. Благодарение на големия си научен авторитет, той успява да привлече като лектори на тези школи водещи специалисти от цял свят, независимо от съществуващата по онова време „желязна завеса“, силно ограничаваща контактите на учените от Източна Европа с колегите им от останалия свят. Сборниците с доклади от този форум се издават от авторитетното издателство World Scientific.

Сборник с доклади от международната школа "Physical Problems in Microelectronics".

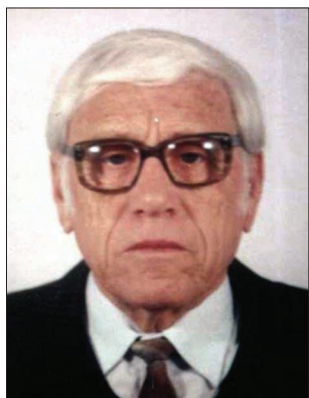
Целият творчески път на чл.-кор. проф. Йордан Касабов е олицетворение на рядката симбиоза между интуицията на блестящия учен, визията на иноватора за практическо приложение на научните достижения и организационния талант на добрия ръководител и лидер. Благодарение на тези си качества той не само става основоположник на микроелектрониката в България, но успява да превърне страната ни като една от първите започнали микроелектронно производство – технологията, която се превърна в основния двигател на дигиталната революция и която промени живота ни.

Литература

- [1] П. Витанов, Л. Попова, Йордан Касабов – физикът виждащ бъдещето, Светът на физиката, бр. 3, 2017, с. 221-230.
- [2] П. Витанов, Д. Вџева, С. Андреев, Как се постави началото на микроелектрониката в България, Наука, кн.4/2019, том ХХІХ, с. 64.
- [3] Л. Антонов, Какви съм ги вършил – автобиография.

ЧЛ.-КОР. ПРОФ. ДФН СТЕФАН КЪНЕВ –
НАУЧНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И ТЕХНИЯТ ПРИНОС ЗА ИНОВАТИВНИ
ПРИЛОЖЕНИЯ

проф. дфн Дориана Димова – Малиновска



Чл.-кор. проф. дфн Стефан Кънев (17.08.1929 – 26.12.2012) е типичен представител на поколението учени в България, които поставят основите на научните изследвания в областта на физичните свойства на материали и прибори с потенциал за иновативни приложения. Той е основоположник на научноизследователската дейност у нас в областта на преобразуването и използването на слънчевата енергия.

Стефан Кънев се дипломира по специалността „Физика“ през 1952 г. в Софийския университет „Св. Климент Охридски“. В периода 1950 – 1952 г. като студент е демонстратор на лекциите по опитна физика. След дипломирането си е назначен за асистент във Физико-математическия факултет на Софийския университет, където работи до 1959 г. През 1959 г. преминава на работа във Физическия институт с АНЕБ при БАН. През 1964 г. е хабилитиран като ст. н. с. II ст. (доцент), а през 1969 г. защитава дисертация и му е присъдена научната степен „доктор на физико-математическите науки“. Специализирал е в СССР през 1961 г. и в САЩ през 1971 г. През 1974 г. е избран за ст. н. с. I ст. (професор) и е чл.-кореспондент на БАН от 2004 г.

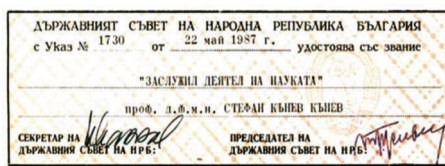
След разделянето на Физическия институт при БАН и обособяването на двата института през 1972 г. – Институт за ядрени изследвания и ядрена енергетика и Институт по физика на твърдото тяло (ИФТТ), в периода 1973 – 1977 г. проф. Ст. Кънев заема длъжността зам.- директор на ИФТТ и ръководи секция „Полупроводници A^{IV}V^{VI} и прибори“. Той е инициатор за създаването на Централна лаборатория по слънчева енергия и нови енергийни източници (ЦЛ СЕНЕИ) при БАН (01.01.1978 г.), на която е директор до 1994 г., и е ръководител на сектор „Фотоелектрично преобразуване на слънчевата енергия“ (1978 – 1988 г.).

Чл.-кор. Ст. Кънев е автор и съавтор на 145 научни труда, които са отпечатани в 33 издания – 90 от научните му публикации са в български списания, а 55 са отпечатани в чуждестранни научни издания. Четири от тези

научни труда са самостоятелни. Автор и съавтор е на 21 научно-популярни статии, от които 20 са самостоятелни, и на 26 патента. Чл.-кор. Стефан Кънев има и значителна преподавателска дейност. В периода 1963 – 1978 г. чете курс по “Оптични и фотоелектрични явления в твърди тела” във Физическия факултет на Софийския университет. Подготвя 12 дипломанти в продължение на 20 години, бил е научен ръководител на двама докторанти, защитили дисертации. Той е награден с „Почетна значка за изобретател“ през 1970 г. и през 1974 г., с орден „Кирил и Методий“ I степен – 1979 г. и е удостоен със званието „Заслужил деятел на науката“ през 1987 г. От 2001 г. е почетен член на ИФТТ.



Удостоверение за избор на проф. дфн Ст. Кънев за член-кореспондент на БАН.



Орден и удостоверение за награждаване проф. дфн Ст Кънев от Държавния съвет на НР България със звание „Заслужил деятел на науката“ през 1987 г.

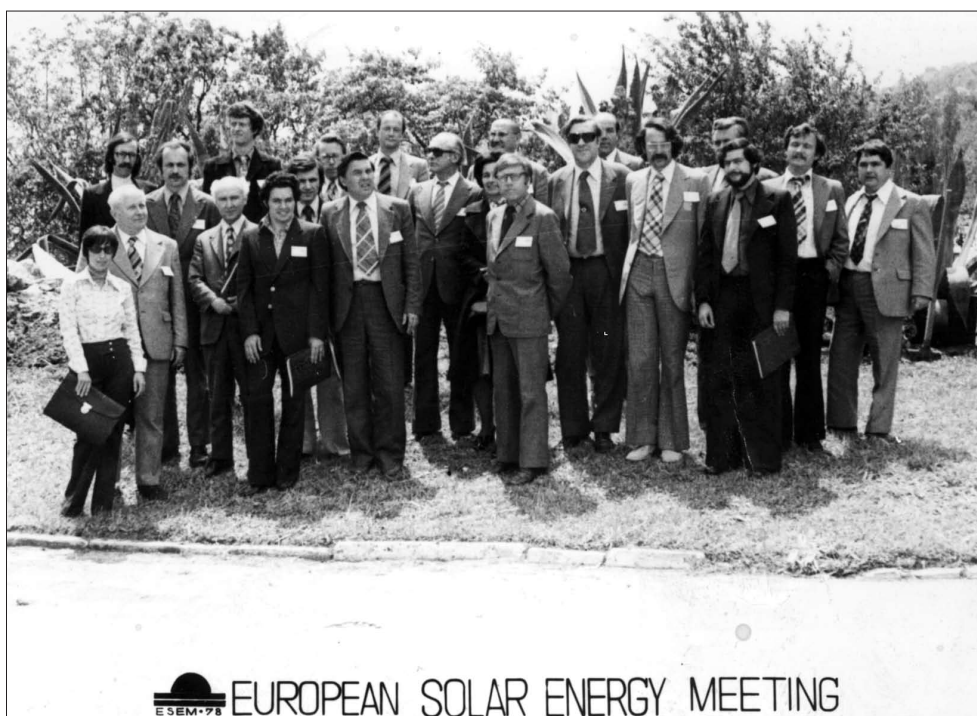
В началото на научноизследователската си дейност проф. дфн Ст. Кънев публикува в съавторство с акад. М. Борисов резултати върху открития от тях отрицателен фотоволтаичен ефект в цинков оксид, като този ефект авторите обясняват с екситонен механизъм. Проведено е изследване на вътрешния фотоелектричен ефект в материали от типа ZnSCdSCu. Друго важно негово постижение е предложеният метод за използване на електрически стимулирани токове в монокристали от CdSe за измерване на дози на γ -лъчи. В резултат на задълбочени изследвания върху фотоелектричните явления в полупроводниците той развива феноменологична теория на контактните явления, с която обяснява разпределението на потенциала на неосновните носители в приконтактната област при осветяване. Научните резултати, получени от проведените изследвания през периода 1954 – 1961 г., проф.

д-р Ст. Кънев публикува в научни статии както в български, така и чуждестранни научни списанията. Голяма част от тях са включени в дисертационния му труд за присъждане на научната степен „доктор на физико-математически науки“.



Ст. Кънев като асистент във ФзФ на СУ – провежда експеримент.

Областите на научните изследвания на проф. д-р Ст. Кънев, проведени във Физически институт с АНЕБ – БАН (1959 – 1972 г.), в ИФТТ – БАН (1972 – 1977 г.), както и в ЦЛ СЕНЕИ (1978 – 1994 г.), са посветени главно на получаването и изследването на свойствата на различни полупроводникови и диелектрични материали за тяхното приложение като фоторезистори, фотоелементи и използването им в оптоелектрониката, както и на изследвания върху фототермичното преобразуване на слънчевата енергия и пасивни слънчеви системи.



Проф. д-р Ст. Кънев и участниците в Европейско съвещание по слънчева енергия под патронажа на ЮНЕСКО – 1978 г. в гр. Варна.

Натрупаните знания и опит допринасят за разширяване на областите на провежданите под ръководството на проф. Кънев научни изследвания върху полупроводниковите материали и приложението им в иновативни направления.

След създаването на ЦЛ СЕНЕИ, колективът с директор проф. дфн Ст. Кънев продължава изследванията в тематичното направление на ръководения от него сектор „Полупроводници $A^{II}B^{VI}$ и прибори“ в ИФТТ. Резултатът е откриване на нови възможности за използване на чист кадмиев сулфид CdS като среда за запис на информация. Разработен е плазмен метод за получаване на различни състави с луминесцентни свойства и са изучени характеристиките им и механизмите на възбуждане и стареене. Проведени са и нови изследвания върху фоточувствителността на $A^{II}B^{VI}$ съединенията. Чрез добавяне на хромов оксид – Cr_2O_3 е постигнато повишаване на фоточувствителността на съединенията CdS и CdSe. Разработен е метод за пресоване и синтероване при подходящи температури на керамични таблетки от полупроводникови материали от типа $A^{II}B^{VI}$. Предложено е теоретично обяснение на наблюдаваната фоточувствителност на легирани и нелегирани полупроводници от типа $A^{II}B^{VI}$. Пионерните изследвания, проведени под ръководството на проф. дфн Ст. Кънев в областта на $A^{II}B^{VI}$ съединенията, намират приложение в разработката на технология за фоторезистори, която е защитена с патент и през 1982 г. и е внедрена в производство. Тези фоторезистори са използвани като основни градивни елементи за автоматиката у нас.

Още през 1975 г. в изготвения доклад по поръчение на ръководството на БАН относно „Състояние и възможности за развитие на научноизследователската и приложна дейност по използване на слънчевата енергия в България”, чл.-кор. Ст. Кънев представя реалистични оценки и иновативни препоръки за необходимостта от развитие на фотоволтаичното и фототермично преобразуване на слънчевата енергия, водородната енергетика и използването на биомасата. Под неговото ръководство, вече като директор на ЦЛ СЕНЕИ, са планирани и осъществени голям брой изследвания в областта на преобразуване на слънчевата енергия в електрическа и в топлинна. Практическите приложенията на получените резултати са едни от най-важните и перспективни за развитието на производство на евтина и екологична енергия.

Проведени са редица изследвания за целите на фотоелектрическото преобразуване на слънчевата енергия и са разработени няколко типа тънкослойни фотоелементи на основата на различни съединения, разработена е CVD (химично отлагане от газова фаза) технология за създаване на позиционно-чувствителни фотодетектори, технология за създаване на силициеви фотоелементи от бракувани от друго производство силициеви (Si) плас-

тини. Осъществени са също както изследвания за получаване на водород от нов и чист енергиен източник по метода на електролизата на вода, така и също и серия от теоретични и практически експерименти върху създаването на въздушни и водни колектори. Изследвани са материали с фазов преход с цел приложението им за акумулиране на топлинна енергия и е създаден модел на въздушен слънчев колектор с единично остъкляване с потенциал за съчетаване на работата му с климатик в помещение.

Всичко това води до осъществяването на внедряване на редица разработки, като първото е през 1979 г. в Завод за запамятаващи устройства в гр. Пловдив, където са внедрени различни видове фоторезистори на основата на $A^{IV}B^{VI}$ съединенията. През 1982 г. сътрудниците на ръководената от проф. д-р Ст. Кънев ЦЛ СЕНЕИ при БАН предават за производство на НПСК „Нови енергийни източници“ проектирани от тях слънчеви въздушни колектори. Същата година е внедрена в Завода за интегрални схеми в Ботевград технологията за изготвяне на Si слънчеви фотоелементи и слънчеви модули на основата на бракувани при производството на интегрални схеми силициевы пластини. В АПК – Пловдив през 1984 г. е построена слънчева сушилна инсталация за селскостопански продукти, работеща с топъл въздух, която е с 45% КПД. Разработена е технология за регенеративен топлообменник от типа „въздух-въздух“ и през 1986 г. е предадена за производство за конвенционална сушилня за тютюн в завод „8-ми март“ в гр. Бяла Слатина. През 1988 г. в завод „Кристал“ в гр. Перник е внедрена технология за производство на слънцезащитни отражателни покрития за стъкла, като изработените



Проф. д-р Ст. Кънев изнася доклад на семинар в ЦЛ СЕНЕИ – БАН – 2003 г.

стъкла са монтирани на аерогара София и в други сгради в столицата. Направен е и техно-икономически анализ на система за оптимизиране на отоплението на Ботаническата градина на БАН. Създаден е стенд за външно тестване и оценка на водни слънчеви колектори в естествени условия, съответстващ на европейските стандарти. Проведена е изследователска и конструкторска дейност върху концентратори, слънчеви пещи и хелиоследящи системи, като на покрива на сградата на ЦЛ СЕНЕИ е разположена следяща система с приложени специално разработени от колектива на лабораторията за тези цели фоторезистори и позиционно-чувствителни фотоелементи.

Научноизследователската дейност на ръководения от проф. дфн Ст. Кънев колектив както в ИФТТ, така и в ЦЛ СЕНЕИ се развива и на база на широкото международно сътрудничество в рамките на двустранните договори на БАН с институти от различни страни: с институти на Руската академия на науките – в Санкт Петербург, в Новосибирск, в Черногорска, ИП и ИОНХ на Украинска академия в Киев и ТПИ в Талин, с изследователски институти и университети в Австрия – ИРХ, Румъния, Индия, в Германия – ТУ в Мюнхен, във Франция – CNRS, във Великобритания – Университет Суонси, Уелс и Университет на Кембридж, в САЩ – Университет на Аризона и Националната фондация за наука на САЩ (NSF). Той е и организатор на голям брой научни форуми. Под неговото ръководство още като служител в Института по физика на твърдото тяло започва провеждането на всеки 3 години на Съвещанието по фотоелектрични и оптични явления в твърди тела в гр. Варна (1965 – 1989 г.) и е подготвено през 1978 г. отново в гр. Варна Европейското съвещание по слънчева енергия под патронажа на ЮНЕСКО. Като директор на ЦЛ СЕНЕИ организира Българо-италиански симпозиум по проблемите на слънчевата енергия през 1981 г. в гр. София, младежка школа „Нови материали и технологии“ през 1987 г. и 1988 г. в гр. Варна, I-IV Международни школи по фотоволтаични материали и тяхното приложение през 1985 г., 1986 г., 1987 г. в гр. Приморско и през 1988 г. в гр. Варна.

Чл.-кор. проф. дфн Стефан Кънев е един достоен учен с ценни научни и приложни приноси в редица области на физиката. Той е не само изтъкнат български учен-физик, а е основател и на едно научно и техническо иновативно направление в България, свързано с използването на слънчевата енергия. Той е този, който е имал научното прозрение и е работил активно върху идеята за широко използване на слънчевата енергия, което днес доказва своето значение за устойчивото развитие на енергетиката и запазване нашата планета екологично чиста.

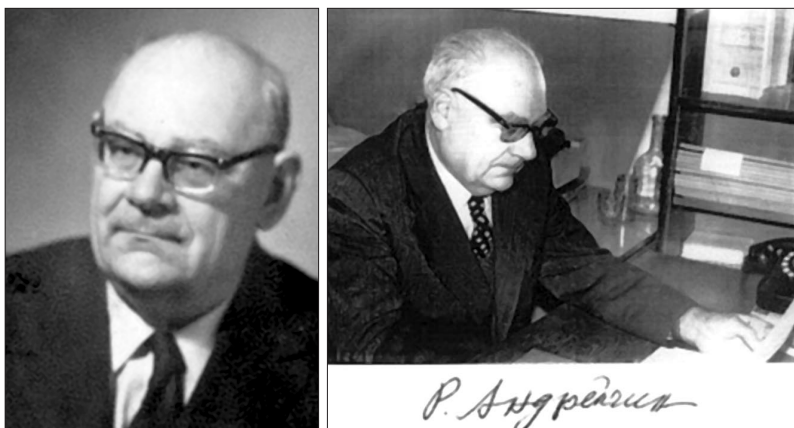
Литература

- [1] Л. Спасов, Г. Камишева (съст.), Милко Борисов за себе си и другите за него, Акад. изд. М. Дринов, София, 2008, 206.
- [2] Музей-ИФТТ, ф. 71, оп. 1, а.е. 1-5.
- [3] П. Витанов, Състояние и перспективи за развитие на ЦЛ СЕНЕИ, Юбилеен сборник – 25 години ЦЛ СЕНЕИ-БАН, София, 2003, 9-15.
- [4] Личен архив на семейство Къневи.

ПРОФ. Д-Р РАЗУМ АНДРЕЙЧИН ЗАБЕЛЕЖИТЕЛЕН УЧЕН И ОРГАНИЗАТОР

проф. д-р Диана Нешева, доц. Евгения Скордева

В статията е представена дейността на проф. д-р Разум Андрейчин (1911 – 1997), изтъкнат български физик, който има приноси в различни области на физиката и техниката. Той е един от създателите на българската приложна физика и през целия си живот работи упорито и всеотдайно за осъществяване на връзка между физиката и техниката. Разнообразната му научноизследователска, изобретателска и преподавателска дейност започва в Софийския университет. През своята, продължила повече от 50 години, научна дейност той работи в различни учебни и научни институции, но най-активен и плодотворен е периодът, през който проф. Андрейчин провежда научни изследвания във Физическия институт на БАН и в един от неговите наследници – Института по физика на твърдото тяло (ИФТТ). С цялостната си дейност той допринася много за тяхното развитие и тук най-голямо внимание е отделено на този период.



Проф. д-р Разум Андрейчин – един от основателите на приложената физика, светотехника и колориметрия в България.

Разум Андрейчин във Физическия факултет на Софийски университет „Св. Кл. Охридски”

Разум Екимов Андрейчин е роден в град Габрово и след като завършва с отличие известната Априловска гимназия става студент по физика във Физико-математическия факултет на Софийския университет. Дипломира

се през 1933 г. и започва професионалния си път като учител, но силният му интерес към научни изследвания го отвежда при проф. Георги Наджаков, на когото става аспирант. Към този момент интересите на Р. Андрейчин все още са насочени главно към астрономията и оптиката, но темата на дисертацията му е в областта на диелектриците и вътрешния фотоэффект. Тази тема е свързана с изследванията, приоритетни за Георги Наджаков, довели до първото българско откритие – на фотоелектретното състояние в твърдото тяло. А и за работата по нея има, макар и оскъдна, изследователска апаратура. Провежданите по време на аспирантурата изследвания на фотоелектродвижещите сили водят до откриването и изучаването на контактно-потенциалния фотоволтаичен ефект, наречен в някои монографии „ефект на Наджаков – Андрейчин” [1]. За съжаление това откритие не е заявено и не е официално признато от Патентното ведомство на България.

През 1940 г. Р. Андрейчин защитава дисертацията си на тема „Върху произхода на електродвижещата сила при фотоволтаичните ефекти” и това е първата защитена в България дисертация в областта на експерименталната физика и втората по физика изобщо, след тази на акад. Любомир Кръстанов, която е в областта на геофизиката и метеорологията. По това време в процедурата на защитата влиза и устно изложение по тема, зададена от друга катедра. През седемте години аспирантура Р. Андрейчин запазва своя интерес към астрономията и естествено темата, която му е дадена и той успешно представя, е от катедрата по астрономия – „Съвременното състояние на въпроса за еволюцията на звездите“ [2].

Като отчита интереса на Р. Андрейчин към астрономията, проф. Наджаков му помага да стане асистент в катедрата по астрономия и от 1941 до 1946 г. той работи в Астрономическата обсерватория в Борисовата градина в София. Там прави първите в България фотоелектрични наблюдения на звездите, които са много модерен, но все още слабо разпространен тогава метод за астрономическа фотометрия [3] и измерванията му водят до създаване на първия в България, макар и елементарен, астрономически фотометър. По-късно, въпреки че е напуснал тази катедра, проф. Андрейчин не прекъсва връзките си с колегите-астрономи и даже участва активно при избирането на мястото за построяването на сграда на Централната станция за наблюдения на изкуствени спътници на Земята в района на Плана планина при преместването ѝ от Астрономическата обсерватория [3, 4].

Разум Андрейчин във Физическия институт и Института по физика на твърдото тяло на БАН

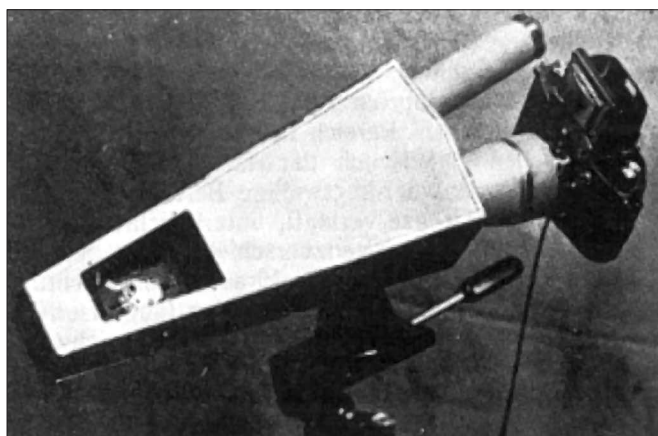
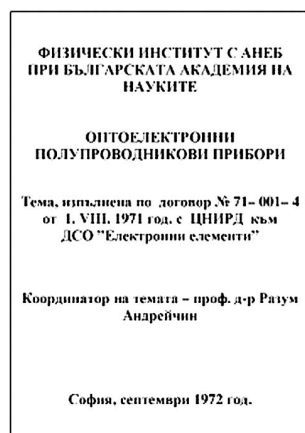
През 1946 г. се създава Физически институт (ФИ) към Българската академия на науките (БАН) и Р. Андрейчин е първият негов щатен служител. Това насочва трайно научните му интереси към физиката на твърдото

тяло и по-конкретно към проблеми в областта на фотоелектричните и фотоволтаичните явления в диелектрици и полупроводници. Именно в тази област са неговите най-съществени научни резултати, открития и изобретения. Изследванията в първоначално създадената единствена лаборатория във ФИ в областта на физиката на твърдото тяло, по-късно наречена секция, се ръководят от акад. Георги Наджаков. Така съвместната работа на учителя и ученика продължава още много години, през които Р. Андрейчин придобива нови знания и опит, разширява тематиката, по която работи, има сътрудници, които ръководи, но винаги, когато е възможно, осъществява сътрудничество с проф. Г. Наджаков.

Създаването на нов научноизследователски институт изисква огромни усилия за осигуряване на добри условия за изследователска дейност на високо ниво. Ето защо, през първите години след създаването на Физическия институт д-р Андрейчин, заедно със свои по-късно назначени колеги, е ангажиран с много активна организационно-снабдителска дейност. Той си спомня: *„Положихме много грижи този институт да се сдобие с необходимата апаратура, в първите години много мъчно доставяна, а после все средствата не достигаха.“* С тази трудна, но изключително важна дейност Р. Андрейчин се занимава около 15 години. Като заместник-директор на ФИ (1954 – 1959 г.) той участва и в проектирането и обзавеждането на новата сграда на института в района на Атомния център (сега Научен комплекс 2 на БАН), в която институтът се премества през 1960/61 г. В тази сграда днес са разположени кабинети и лаборатории на наследниците на Физическия институт – Институт по физика на твърдото тяло и Институт за ядрени изследвания и ядрена енергетика. С участието на проф. Андрейчин са организирани и пуснати в действие специализирани общоинститутски работилници (стъклодувна, оптическа, механична, електронна и електротехническа), които оказват ценна помощ на изследователската работа.

Активната снабдителска и научно-организационна дейност (научен секретар, заместник-директор, член на Научния съвет по физика на БАН и т.н.) не спират интензивната научноизследователска и научно-приложна работа на проф. Андрейчин. Във ФИ той работи върху фотоволтаични ефекти, първоначално в поликристална сяра, а по-късно в изпарени слоеве от кадмиев сулфид и изследванията доказват, че главна роля за тези ефекти играе контактната потенциална разлика. Под ръководството на Р. Андрейчин се изследват фотоволтаични ефекти и в оловен сулфид, сребърен сулфид, смесени полупроводници (CdSSe, ZnCdS и др.). Схващането му, че физичните знания трябва да бъдат прилагани в полза на човечеството, го води към оценяване на възможностите за практическо използване на установените свойства. Създадени са няколко вида фотоприемници за видимата, ултравиолетовата и инфрачервената област с различна степен на

селективност (от неселективни до силно селективни). Разработени са позиционен светлинен превключвател, фотодетектор с едновременно непосредствено и запомнящо действие и др. Съвместно със своите сътрудници проф. Р. Андрейчин конструира преносим кварцов спектрограф за изследване на ултравиолетовото лъчение, който заедно с колеги от Медицинска академия прилагат за изучаване на ефекта на ултравиолетовите лъчи върху кожата при използването им за лечение на пациенти. Интересно е да се отбележи, че притежавайки голяма сръчност, той сам изработва част от необходимите за работата му приспособления, изискващи дърводелска и електротехническа работа. От няколкото десетки негови научноприложни разработки шест са завършили с признаване на приоритет и издаване на авторски свидетелства [4].



*Заглавна страница на
договор с Центъра за
научна и развойна дейност
(ЦНИРД).*

*Малък преносим спектрограф
за ултравиолетовата област, изработен
в БАН през 60-те години на 20-и век.*

В средата на 50-те години на 20-и век, работещите във Физико-техническия институт в Ленинград А. Горюнова и Б. Т. Коломиец откриват полупроводниковите свойства на някои стъклообразни материали. Благодарение на съществуващото сътрудничество на проф. Р. Андрейчин с ленинградските учени в рамките на сътрудничеството между БАН и Руската академия на науките и на силния му интерес към новостите в науката той се насочва към тези материали много скоро след откриването им. Ръководената от него група първа в България и втора в рамките на социалистическите страни започва изследвания върху новооткритите стъклообразни полупроводници. Постепенно започват изследвания в тази нова и интересна област и в други лаборатории в БАН – Централна лаборатория по оптичен запис и обработка на информация и Централна лаборатория по фотопроекти, във

Висшия химико-технологичен институт в София и в Техническия университет (ТУ) – Габрово, които продължават и до днес. Още в началния етап на провежданите експерименти Р. Андрейчин публикува в съавторство с Б. Т. Коломиец кратко съобщение за първото наблюдаване на фотоволтаичен ефект в стъклообразни полупроводници [5], който след това е подробно изследван. За съжаление, откриването и на това явление не е заявено и официално признато за откритие от Патентното ведомство на България. Тук ще добавим, че проф. Андрейчин пръв е публикувал експериментални данни за наличието на автофотоелектретно състояние изобщо за полупроводници, за което също не е подал заявка за откритие.

Наред с изследванията върху стъклообразните полупроводници в ръководената от проф. Андрейчин секция се провеждат изследвания и на кристални слоеве от кадмиев сулфид. Те завършват с патент и създаване на прибор, ултравиолетов радиометър УВИ-1, производството на нулева серия от който е финансирано целево от ЦУ – БАН. Радиометърът е бил използван в болнични заведения за измерване на дозата на облъчване с кварцови лампи при работа в детските физиотерапии.



Проф. Андрейчин с колеги от ИФТТ при пенсионирането му, 1976 г.

По думите на проф. К. Гешева, член на ръководения от проф. Андрейчин екип, той ползва английски, френски, немски и руски език, което го прави често канен лектор на международни конференции и международните му контакти допринасят за високото ниво на изследванията в неговата лаборатория.

Наред с електричните и фотоелектрични изследвания в лабораторията на проф. Андрейчин започва задълбочено изучаване на фотоиндуци-



Е. Ватева, Коша Шомози, Р. Андрейчин и др. на конференция в Балатонфюред, Унгария, 1976 г.

рани процеси в структурата на халкогенидни стъкла с различен състав, които по-късно се пренасят и върху тънки аморфни слоеве на базата на стъклата. Тези фотоиндуцирани процеси са в основата на реализирания десетилетия по-късно оптичен запис на информация в тънки аморфни халкогенидни слоеве при оптичните дискове. Проф. Мария Миткова си спомня [4]: „В средата на седемдесетте години проблемът за оптически запис на базата на халкогенидни стъкла доби сериозна актуалност и аз по съвета на проф. Андрейчин започнах работа по изследване на оптичните свойства на халкогенидните стъкла, а по-късно – на формирането на оптически запис на тяхна база. В тези изследвания получих много подкрепа от проф. Андрейчин, който ми помогна с апаратура и дискусии да събера много експериментален материал и да разбера механизма на процеса на взаимодействие на халкогенидните стъкла със светлината.“ След пенсионирането на проф. Андрейчин



Проф. Р. Андрейчин и академик А. Андриеш, председател на Молдовската академия на науките.

неговата лаборатория „Фотоелектрични явления в полупроводници и диелектрици“ става част от лабораторията по „Фотоелектрични и оптични явления в широкозонни полупроводници“ на ИФТТ, ръководена от ст.н.с. Елена Ватева, а интензивните изследвания в тази област продължават. Проф. Андрейчин поддържа връзка с колегите от ИФТТ, които работят в областта на фотоиндуцираните процеси в структурата на халкогенидни стъкла, в продължение на още близо десет години.

Като изтъкнат и уважаван учен във Физическия институт и Института по физика на твърдото тяло на БАН проф. Р. Андрейчин е бил член на Научния съвет по физика на БАН, представител на Физическия институт в Центъра по полупроводниково производство в Ботевград, секретар на Координационния съвет по физика (преди създаването на единните центрове). Работил е по установяване на сътрудничество между академиите на науките на социалистическите страни в областта на полупроводниците и по оптични изследвания и много години е бил член на Междуакадемичната комисия по изследване на полупроводниците. Той става един от инициаторите и организатор на станалите по-късно традиционни конференции на АН на социалистическите страни по фотоелектрични явления, провеждани в България, и по аморфни и стъклообразни полупроводници, организирани последователно във всяка от страните-участнички. През 1972 г. под ръководството на проф. Андрейчин Международната конференция по аморфни полупроводници се провежда в ИФТТ, а през 1984 г. – отново под негово ръководство – в ТУ – Габрово.



Честване на 80 годишния юбилей на проф. Р. Андрейчин с колеги от лабораторията, ръководена от проф. Е. Ватева, 1991 г.

Проф. Р. Андрейчин участва в организирането и ръководството на редица забележителни научни и научноприложни форуми по експериментална физика като Първата конференция по оптични и фотоелектрични свойства в полупроводници, София, 1971 г., Международната конференция по високоомни полупроводници, фотоелектрети и електрофотография, Варна, 1973 г., Първата национална конференция по фотометрия и колориметрия, Варна, 1973 г., XII Симпозиум на техническия комитет ТС-2 на ИМЕКО „Фотонни детектори”, Варна, 1986 г. и др.

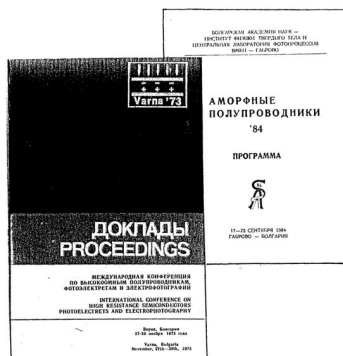
През 2001 година, по предложение на лаборатория „Фотоелектрични и оптични явления в широкозонни полупроводници”, Научният съвет и колегиумът на хабилитираните учени на ИФТТ, като отчитат заслугите на проф. д-р Разум Андрейчин към Института, го избират за почетен член на ИФТТ. На вратата на кабинета, в който той работи до пенсионирането си, е поставена метална паметна плочка с текст: „В този кабинет е работил проф. Разум Андрейчин, почетен член на ИФТТ, основоположник на изследванията на аморфни халкогенидни материали в България“.

Разум Андрейчин в други научни звена и институции

Професор д-р Р. Андрейчин ръководи катедра „Физика” към Техническия университет в Габрово (1974 – 1978 г.), където пренася изследователската си тематика от ИФТТ, посветена на електрични и оптични свойства на стъклообразни полупроводници и до 1986 г. продължава да поддържа връзка с колегите си в катедрата. Там, по негово предложение, в сравнително кратък срок са оборудвани научноизследователски лаборатории – технологична, спектрална, лазерна, рентгеноструктурен анализ, електронен микроскоп и др. Под негово ръководство са разработени апаратура и технология за



Втора национална конференция по осветление с международно участие, Варна, 1972.



Сборници с доклади на конференции, в които проф. Разум Андрейчин е участник в редакционните колегии.



Почетна грамота за избор на проф. Разум Андрейчин за Почетен член на ИФТТ.

ка научна сесия, на която директорът на ИФТТ акад. А. Г. Петров е поканен да изнесе доклад, а сътрудници на проф. Андрейчин от ТУ – Габрово и ИФТТ разказват за работата си с него.

Проф. Андрейчин е работил и в редица други български институции. Бил е директор на Централната агрофизическа лаборатория при Академията на селскостопанските науки (1963 – 1967 г.). Дейността му извън ИФТТ е свързана с участие и в много експертни комисии и съвети: по технически науки, по библиотечно дело, в Националния център по метрология, като заместник-председател на Националния комитет по осветление, член на секция „Метрология” и председател на работните групи „Цвят и оптични измервания” и „История на уредите за определяне на точното време в България” към Националния комитет към ИМЕКО (Международна конфедерация за измерване), в Отрасловия съвет по оптика при Националния метрологичен център и др. Участвал е и в редакционните съвети на Физико-математическото списание (1940 – 1947 г., когато е и секретар на Физико-математическото дружество), на „Известия на Физическия институт с АНЕБ” и повече от 20 години участва в Редакционния съвет на списание „Космос”.

През продължилата повече от 50 години научна дейност проф. Андрейчин е публикувал около 150 научни статии и доклади, 12 книги и учебници, десетки преводи. Има и значителна преподавателска активност. Като асистент в Софийския университет той се занимава с подготовка на демонстрациите за лекциите на проф. Наджаков, води упражнения по физика и метеорология на студентите, като в някои семестри заетостта му достига до 22 часа седмично. След постъпването си в БАН Андрейчин не прекъсва връзката си със Софийския университет и чете лекции по обща физика на

синтезиране на многокомпонентни стъклообразни полупроводници на основата на селен-сяра-арсен и се търсят възможности за управление на въздействието на лазерно лъчение върху веществото, създават се технологични системи за лазерна обработка на детайли и материали и се правят научноизследователски разработки по заявка на възложители от стопански обединения и предприятия с договори чрез научноизследователския сектор на ТУ – Габрово.

Когато през 2004 г. ТУ – Габрово празнува своя 40-годишен юбилей, благодарните наследници наименуват една от аудиториите в новата сграда на университета „Аудитория професор доктор Разум Е. Андрейчин“.



Паметна плоча на проф. Р. Андрейчин в ТУ Габрово и участници в сесията, свързана с поставянето на плочата, 2004 г.

студенти от Биолого-геолого-географския факултет и специални курсове за студенти-физици по фотоелектрични явления и полупроводникови прибори. Освен това, той чете лекции по „Физика на полупроводниците” в ТУ – Габрово и във Висшето техническо училище – Русе, където изготвя и циклостилно ръководство „Упражнения по физика за студентите”. Имал е и аспиранти (сега докторанти), редовни и задочни; занимавал се е и с дипломанти, доколкото е било възможно поради главно научната, а не педагогическа насоченост на дейността на БАН. Сътрудниците му в Академията защитават дисертации и стават кандидати на науките въз основа на резултати от извършената от тях изследователска работа в секцията, която проф. Андрейчин ръководи (т.н. аспирантура на самостоятелна подготовка). Това, естествено, включва неговите грижи за растежа на колегите му като научни работници. Повече са аспирантите му във външни за БАН институции. Под негово ръководство в ТУ – Габрово защитават четирима дипломанти и трима аспиранти. Проф. Р. Андрейчин е работил много за популяризиране на физиката и връзката ѝ с техниката. Публикувал е повече от 200 научно-популярни статии и е изнесъл стотици научно-популярни лекции от областта на физиката (полупроводници, оптика, атомна физика,

приложения), астрономията, както и по някои исторически, технически и терминологични въпроси.

Проф. Разум Андрейчин е един от плеядата наши учени, които имат големи заслуги за развитието на българската физика и връзката ѝ с живота на хората. За своята активна и плодотворна дейност в различни институции проф. Разум Андрейчин е удостояван с много отличия и награди. Между тях са юбилейните медали за „50 години Софийски университет“ (1939), „100 години БАН“ (1969), медали по повод годишнини на НТС – София, ТУ – Габрово, Висше техническо училище – Митвайда (ГДР), почетни грамоти от НТС, ТУ – Габрово, Централния комитет по качеството. Носител е на званието „Образцов метролог“ на Националния метрологичен център. Получил е Значка за отличие на БАН (1976), Златна значка от ТУ – Габрово (1986) и Сребърна значка от НТС (1986). Награден е с ордените „Кирил и Методий“ I степен (1971) и „Червено знаме на труда“ (1981).

Литература

- [1] Г. Наджаков, Р. Андрейчин, „Върху един фотоволтаичен ефект при диелектрици“, Годишник на Софийския университет, 1936 – 1937, том 33, стр. 312.
- [2] А. Vavrek, G. Kamisheva. In: *Proceedings Supplement of Balkan Physics Letters*, 1997, 5.
- [3] В. Голев, А. Антонова, Л. Филипова, Катедра „Астрономия“ – години на растеж, *Annual of Sofia University „St. Kliment Ohridski“*, Faculty of Physics, Anniversary Edition, 2015.
- [4] К. Коленцов, Е. Скордева, С. Балабанов, Л. Юрукова, „Проф. д-р Разум Андрейчин – жизнен път и творческа дейност“, „Е Принт“ ЕООД, София, 2014.
- [5] Р. Андрейчин, Б. Т. Коломиец, „Фотоелектродвижуща сила в халкогенидах мышьяка“, ФТТ, 1962, т. 4, стр. 814.

АКАД. МИЛКО БОРИСОВ И РАЗВИТИЕ НА НАПРАВЛЕНИЕТО АКУСТОЕЛЕКТРОНИКА В ИФТТ И В БЪЛГАРИЯ

чл.-кор. Лозан Спасов

1. Предпоставки за създаване на Лаборатория за научни и технологични изследвания по акустоелектроника в ИФТТ при БАН

1.1. Актуализация на научните направления в новосъздадения ИФТТ при БАН

През 1972 г. се създава Институтът по физика на твърдото тяло при Българска академия на науките (ИФТТ – БАН). За негов първи директор е назначен професор Милко Борисов.

При създаването на ИФТТ към него преминават всички научни сътрудници и групи, които в бившия Физически институт с Атомна научно-експериментална база са се занимавали с въпроси от физиката на кондензираното състояние, оптиката и спектроскопията, включително и атомната спектроскопия. Тези групи трябва да се преориентират към най-важните за страната направления и теми с оглед както на съвременното развитие на физиката на кондензираното състояние в света, така и на нуждата от развитие на твърдотелната микроелектроника у нас. За тази цел в Тетевен и Костенец се провеждат две работни дискусии с академичната общност на Института. На тях се обсъждат направленията, които трябва да се развиват в ИФТТ [1, с. 28].

По покана на проф. Милко Борисов, директор на Единния център по физика (ЕЦФ) при БАН през септември 1977 г. у нас пристига официална делегация на Отделението по обща физика и астрономия на Академията на науките на СССР, водена от акад. А.М. Прохоров – Нобелов лауреат. Делегацията посещава интегрираните звена в ЕЦФ, Института по микроелектроника и Завода за електронни преобразователни елементи (ЗЕПЕ) в София. След запознаване със състоянието на физиката на твърдото тяло и електрониката, включително квантовата електроника и лазерната техника в България, са „*уточнени основни неядрени направления, в които е жела-*



*Проф. М.Борисов като
директор на ИФТТ.*

телно да бъдат съсредоточени фундаменталните и приложни изследвания у нас.“ Едно от тях е направлението „акустоелектроника и акустоптика, включително акустоелектронни явления при повърхнинни акустични вълни (ПАВ). Препоръчано е да се положат усилия за развитието на технологичната база за обработка на кристали, оптични елементи, фотолитография и други технологични подразделения, както и да се развие конструкторско бюро и опитно производство на малки серии уникални установки, прибори и елементи.“ [1, с. 82].



Изпращане на делегацията, водена от акад. А.М. Прохоров (в средата), на летище София, 1977 г.

По това време у нас, в Завода за електронни преобразователни елементи се извършват развойна дейност и производство на кварцови резонатори за честотен контрол. В отдела „Кварцови прибори и материали“ на Базата за развитие и внедряване (БРВ) при ЗЕПЕ, ръководен от Лозан Спасов, се работи по технологичната и конструктивна разработка и усвояването в производство на ново поколение кварцови прибори – монолитни кварцови филтри. Новите разработки се нуждаят от методи за визуализация и анализ на акустичните модове в кварцовите пиезоелементи. Проф. Милко Борисов, Юлиан Буров и Климент Брънзалов разработват във Физическия факултет на Софийския университет „Св. Климент Охридски“ (ФзФ на СУ) интерферометрични методи за измерване на малки механични трептения [2, 3]. Това дава възможност да се сканира повърхността на кварцовия резонатор и да се визуализират възбудените трептения.

Изследванията и по физика на повърхнинните акустични вълни и тяхното използване в акустоелектронните прибори в България започват около

1973 г. в Катедрата по физика на твърдото тяло на ФзФ. Началото поставя инж. Димитър Стоянов от Института по специална електроника, който е задочен аспирант на проф. М. Борисов. Важна роля изиграва и един обширен анализ, направен през 1972 г. от К. Брънзалов, Ю. Буров, Н. Василев, Н. Мартинов, М. Младенов, Т. Пацирева и Ив. Томов по договор с Института по полупроводници в Ботевград: „Доклад – концепция относно развитието на ново направление в микроелектрониката – функционални уреди“ [4].

През есента на 1973 г. се случва още едно събитие, което стимулира научните изследвания с приложна насоченост в твърдотелната микроакустика. По покана от Физическия факултет на СУ „Св. Кл. Охридски” и Завода за електронни преобразователни елементи в България пристига известният японски учен в областта на микроакустиката проф. Морио Оное от Института за индустриални науки към Токийския университет. При него през 1971 – 1972 г. вече е бил на специализация Лозан Спасов. Проф. Оное е световен учен в областта на възбуждане и разпространение на обемни акустични вълни в пиезоелектрични среди. Той е председател на Националния комитет по електромеханични прибори в Япония и председател на 49-ия Комитет по пиезоелектрични прибори и материали към Международната електротехническа комисия (МЕК) за стандартизация. Пред преподаватели и студенти от Софийския университет и специалисти от ЗЕПЕ в 65 аудитория на СУ проф. М. Оное изнася лекция на тема: „Съвременно състояние на приборите за честотен контрол и селекция в Япония и перспективи за техното развитие”. В лекцията си, както и в последвалите неформални разговори с проф. Милко Борисов, той представя съществуващата организация за сътрудничество между университетските изследователски лаборатории и фирмените отдели за разработки на нови акустоелектронни прибори и технологии в Япония. Особено внимание обръща на:

- провеждане на следдипломно обучение чрез профилирани теоретични курсове с или без откъсване от работа;
- едногодишни специализации на млади специалисти от фирмите в университетски лаборатории;
- съвместни научни изследвания с приложна насоченост;
- организиране на ежемесечни съвместни семинари по електромеханични прибори.

Тази среща изиграва ключова роля за засилване на връзката между Физическия факултет на СУ със Завода за електронни преобразователни елементи, за създаване на обща програма за обучение и за развитие на научните изследвания и разработката на акустоелектронни прибори и материали в България.

1.2. Ускорено развитие на електронната промишленост в България



Завод за електронни преобразователни елементи в София.

Усвояването на новото за страната производство – кварцови резонатори за радио-комуникационни средства – започва още в началото на 1970 г. За целта е построен нов завод – Завод за електронни и преобразователни елементи в София и са инвестирани значителни средства за изграждане на материално-техническата му база. В периода 1974 – 1975 г., на основата на закупен лиценз от Япония, в ЗЕПЕ стартира производството на монолитни кварцови филтри – върхово за времето си постижение на акустоелектрониката. Този завод е единствен в Европа и един от 5-те в света производители на интегрирани акустоелектронни елементи (монолитни кварцови филтри) в промишлени условия. По това време неговият персонал достига 1800 души. От тях над 150 са инженеро-технически работници, от които около 30 са в екипа на Базата за развитие и внедряване, но техният брой не е достатъчен. Поради високотехнологичния характер на производството се чувства остра нужда от добре подготвени специалисти (преди всичко физици, химици, радиоинженери и техници). Заводът за електронни и преобразователни елементи се нуждае от подготовка на кадри в областта на акустоелектрониката. Поради това идеята на проф. М. Борисов за по-тясно сътрудничество между научния и промишлен сектор намира топъл прием от неговото ръководство. Не без значение е и фактът, че по това време зам.-директори на завода и ръководители на отдели в БРВ в ЗЕПЕ са също физици, някои от тях с дългогодишен опит в разработката на нови полупроводникови изделия и технологии в областта на селеновите токоизправители. „Тези обстоятелства – пише М. Борисов в спомените си, – както и предишната наша насоченост към някои въпроси на акустоелектрониката, станаха причина интересите ми да се насочат към физиката, разработката и използването на класическите акустоелектронни прибори с обемни акустични вълни.” [5].

1.3. Научно-техническо сътрудничество между Единния център по физика при БАН и Завода за електронни преобразователни елементи – София

Под ръководството на проф. Борисов е подготвена Програма за интегриране на научния и производствен потенциал в страната в областта на микроакустиката и акустоелектрониката. За обезпечаване на нейното изпълнение е сключен Договор за взаимопомощ и сътрудничество между ЗЕПЕ, Единния център по физика при БАН и СУ с ясно поставени цели и задачи [6]. Договорът е утвърден от министъра на електрониката Йордан Младенов и председателя на БАН акад. А. Балевски.

Изпълнението на програмата води до:

- Въвеждане на редовен курс „Увод във физиката на твърдото тяло” за студенти по физика в СУ „Св. Кл. Охридски“ и изготвяне на специални програми [7] на курсове за профилирано обучение, включващи: избрани въпроси от кристалографията и кристалофизиката, елементи от линейната теория на пиезоелектричеството и трептенията на пиезоелектрични пластини, теория на пиезоелектричните прибори, с което се цели подготовка на специалисти за нуждите на ЗЕПЕ;
- Продължаване на вечерният курс „Акустични и оптични вълни в твърди тела“ за следдипломна квалификация на заводски специалисти, организиран от проф. Милко Борисов, като младият аспирант Веско Страшилов подготвя и представя пред персонала от БРВ и ЗЕПЕ серия от лекции, свързани с възбуждането и разпространението на микроакустични вълни в пиезоелектрици;
- Ориентиране на асистенти и аспиранти от ФзФ на СУ към научни и приложни изследвания в областта на кварца и кварцовите прибори;
- Подготовка на дипломанти в областта на кварцовите прибори с участието на специалисти от БРВ при ЗЕПЕ;
- Организиране на общи семинари и технически конференции по проблеми, свързани с развитието на кварцовите прибори в България;
- Развиване на сътрудничество в областта на микроакустиката чрез участие на наши и чуждестранни учени и специалисти в национални и международни форуми.

В края на 1975 г. ИФТТ при БАН, Катедрата по физика на твърдото тяло при ФзФ на СУ и ЗЕПЕ създават Общ семинар по акустоелектроника и акустооптика, с ръководител проф. М. Борисов и двама научни секретари: Юлиан Буров – ФзФ и Лозан Спасов – ЗЕПЕ. Общият семинар обединява научни работници и специалисти от различни ведомства. Той има за цел да съдейства за повишаване на ефективността на научните изследвания и производствената дейност в тази област. Тематиката на семинара, на който се обсъждат обзорни доклади, експресни информации и собствени

разработки, обхваща [8]:

- Физика на обемни и повърхнинни акустични вълни и трептения в кристални пластини и по-сложни системи, включително на хиперзвука и на фононите;
- Взаимодействие на акустичните полета и вълни, включително на хиперзвук и фонони с електронни и фононни потоци;
- Методи за визуализация и измерване на акустични вълни и полета, включително за изследване на фононни спектри в кристали и по-сложни структури;
- Свойства на пиезоелектрични материали и структури за приложение в акустоелектрониката и акустооптиката, включително някои пиезоелектрични биологични структури;
- Методи за генериране и детекция на различни акустични вълни;
- Пиезоелектрични и микроакустични прибори и техните приложения;
- Вълнова и функционална електроника, основана на микроакустични вълни и сложни взаимодействия.

В продължение на повече от 15 години млади учени и специалисти имат първите си изяви на този Общ семинар по акустоелектроника и акустооптика. Сред тях са Александър Петров, Лозан Спасов, Иван Лалов, Юлиан Буров, Димитър Стоянов, Веселин Страшилов и др., които по-късно се утвърждават като изтъкнати учени академици, член-кореспонденти и професори. Той става основата за организиране на Първата национална школа с международно участие „Повърхнинни акустични вълни в кристали и техните приложения” (10 – 11 април 1976 г.) и на школата „Физически свойства на синтетични кварцови кристали” (м. октомври 1976 г., София).



Първа сбирка на Общия семинар по акустоелектроника и акустооптика, Голечица, 1976 г.

По-късно в резултат на Общия семинар по акустоелектроника и акустическа оптика се поставя началото на Националната научно-техническа конференция с международно участие „Акустоелектроника“. В продължение на повече от 10 години тя е място за обучение на специалисти и за среща на учени от Изтока и Запада в областта на приборите за честота и време.

През 1977 г. проф. Милко Борисов създава направление за научни и приложни изследвания „Акустоелектроника и акустическа оптика“ в Института по физика на твърдото тяло, привличайки млади учени и специалисти от Физическия факултет, ИФТТ и ЗЕПЕ. Той полага изключителни усилия за развитието и изграждането на материалната база на новото направление. Това е поредното предизвикателство, на което проф. Борисов отдава следващите 20 години. Развитието на акустоелектрониката в новото звено прераства по-късно в самостоятелна лаборатория за научни изследвания и технологии „Акустоелектроника“.

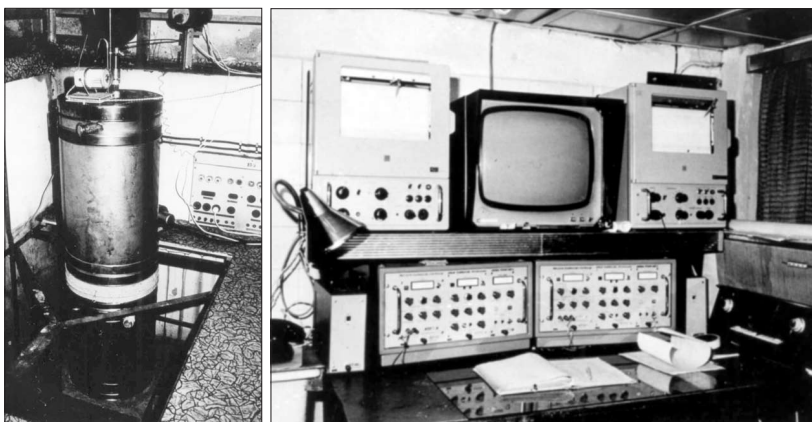


*Лаборатория „Акустоелектроника“
в ИФТТ – БАН.*

2. Научни и технологични изследвания в лаборатория „Акустоелектроника“ на ИФТТ при БАН

2.1. Оценка на българския суровинен ресурс за хидротермално израстване на пиезоелектричен кварц

Една от належащите задачи, поставена през 1978 г. пред Института по физика на твърдото тяло, е *„да се намери български суровинен източник с промишлено значение за хидротермално израстване на кварц с високи акустически характеристики за производството на кварцови резонатори и филтри“*. И в продължение на няколко години в лабораторията „Акустоелектроника“ на ИФТТ в сътрудничество със специалисти от ЗЕПЕ и изследователи от Геологическия институт при БАН се провеждат интензивни минераложки проучвания на суровини от различни източници, правят се технологични изследвания и кристален растеж. В ИФТТ под ръководството на талантливия майстор-механик Матей Вълчев е конструиран, изработен и изпитан 15 литров автоклав за работа при високо налягане (2000 атм.) и температура 500 °С, който е окомплектован с контролно-измерителна система за прецизно регулиране на температурния градиент при полупромишлено хидротермално израстване на пиезоелектричен кварц [9]. Наред с това:



Автоклав за хидротермално израстване на пиезоелектрични кристали с команден пулт.

- Съвместно с колеги от Геологическия институт са проучени суровини от находища с промишлено значение и изследвани техните кристало-физически и кристалохимически характеристики [10];
- Проведена е серия от хидротермални израствания на кварцови кристали от различни находища;
- Изследвано е влиянието на качеството на суровината и условията на растеж върху акустичните характеристики на кварцовите кристали [11];
- Намерени са условия за хидротермално израстване на кристали с акустически качества, сравними с най-добрите образци в света (с фактор $Q > 2$ милиона) [12].

В резултат:

- Определени са изискванията към гранулометричния състав, морфологията и кристалохимичните характеристики на суровината за хидротермално израстване на пиезоелектричен кварц с високи акустични свойства;
- Намерено и блокирано е находище, което според геоложките проучвания, обезпечава суровинната база на ЗЕПЕ за над 100 години напред [12].

С усвояване производството на синтетичен кварц от българска суровина, ЗЕПЕ затваря технологичния цикъл за производството на:

- Синтетични кварцови кристали – за задоволяване на националните потребности и за износ;
- Кварцови ламберти, заготовки и пластини – за



Пиезоелектрични кварцови кристали, синтезирани от българска суровина в лаборатория „Акустоелектроника“, 1981 г.

износ в западни страни;

- Кварцови резонатори, монолитни кварцови филтри и генератори – главно за Завода за УКВ радиоапаратури, специалното производство и вътрешно потребление в страната;
- Микропроцесорни кварцови резонатори – за компютърната и битова електроника;
- Часовникови кварцови резонатори – за износ в Съветския съюз.

През 1980 г. производството на кварцови прибори достига 969 000 бр./г., а през 1985 г. – 1 945 000 бр./г. [13]. На базата на български кварцови резонатори и филтри за времето от 1977 до 1989 г. в Стопанския комбинат „Михаил Антонов“ – гр. Гоце Делчев са произведени 600 000 радиостанции. От тях 90% са изнесени в СССР при голям икономически ефект [14].

2.2. Нови направления на научни и технологични изследвания от Специалния план на БАН – проекти „ВЕНЕРА“ и „СИРИУС“

След 1982 г. научноизследователската и технологична дейност на лаборатория „Акустоелектроника“ в ИФТТ при БАН се насочва към нови направления в развитието на кварцовите прибори. По поръка на Министерство на отбраната се започва работа в три нови направления – изследване и технологични разработки на:

- Кварцови прибори на повърхнинни акустични вълни за радарни установки;
- Пиезоелектрични резонансни кварцови сензори за температура и влага за изграждане на летищни метеорологични комплекси;
- Кварцови сензори за регистрация на токсични замърсявания и контрол на околната среда.

В резултат на проведените изследвания още през 1985 г. са разработени и произведени първите кварцови генератори и дисперсионни линии на ПАВ. Те веднага са вградени в първата радиолокационна станция (РЛС) за откриване на надводни цели и ниско летящи самолети „КАЛИАКРА“, разработена и произведена от Института за специална електроника на Държавно стопанско обединение „Електрон“. Разработването на РЛС „КАЛИАКРА“ представлява нов етап в развитието на военната радиолокация в България. След разформироването на военната промишленост, разработките са прекратени. Но изследванията на акустоелектронните елементи на ПАВ и възможностите за техните приложения продължават в лаборатория „Акустоелектроника“. Резултатите от научната дейност през следващите години са представени в обзорен доклад на проф. д-н Иван Аврамов, изготвен по случай 100 години от рождението на акад. Милко Борисов. Аналогични доклади са подготвени за научноприложните резултати, свързани със създа-

ването на сорбционни слоеве и сензори за екологичен контрол, от колегите д-р Екатерина Радева и д-р Величка Лазарова на базата на кварцови резонатори на обемни акустични вълни. В последствие силно развитие в лабораторията получават пиезоелектричните резонансни кварцови сензори за температура, известни като високочувствителни кварцови температурни сензори.

След 2000 г. лаборатория „Акустоелектроника“ в ИФТТ постигна значителни научни и технологични резултати и се превърна в желан партньор на водещи научноизследователски центрове в Европа и света. Това става възможно чрез Рамковите програми на ЕС за наука и технологично развитие, които предоставят финансова помощ на българските участници още преди приемането на България в Европейския съюз.

Литература

- [1] Л. Спасов, Г. Камишева, *Милко Борисов за себе си и другите за него*, АИ „Проф. Марин Дринов”, София, 2008, с.28.
- [2] М. Borissov, K. Bransalov, J. Burov, *One-arm phase optical bridge for measuring small amplitude high frequency vibrations*, Japanese J. of Appl. Physics, vol. 15, No 5, 1976, pp.797-801.
- [3] М. Борисов, Ю. Буров, Кл. Брънзалов, *Оптичен мост за измерване на малки периодични премествания*. Трудове на Първа национална конференция „Физика-производство”, т. 1, 1976, 144-150.
- [4] М. Борисов, К. Брънзалов, Ю. Буров, Н. Василев, Н. Мартинпв, М. Младенов, Т. Пацирева, И. Томов, *Функционални уреди*, Доклад-концепция относно развитието на ново направление в микроелектрониката (401 стр.) – Договор с ДСО „Електронни елементи”, Ботевград, януари 1972 г.
- [5] Л. Спасов, Г. Камишева, *Милко Борисов за себе си и другите за него*, АИ „Проф. Марин Дринов”, София, 2008, с.98.
- [6] *Договор за сътрудничество и взаимопомощ между ЕЦФ и ЗЕПЕ – София*, 1975 г. – Музей ф. 27, оп. 2, а. е. 1.
- [7] *Програми за профилирана подготовка на студенти за нуждите на ЗЕПЕ – София*, –Музей ф. 27, оп. 2, а.е.2.
- [8] *Програма на Общ сминар по акустоелектроника и акустооптика*, 1976 г., Физически факултет – СУ, ИФТТ – БАН, ЗЕПЕ – София, Музей ф. 27, оп. 2, а. е.3
- [9] М. Borissov, K. Valchev, K. Gruncharov, D. Dechev, E. Yossifov, L. Spassov, *A Pilot Precision Autoclave for Hydrothermal Growth of Quartz Crystals*, Bulg. J. Phys., vol. 8, No 6, 1981, pp. 614-624.
- [10] М. Borissov, D. Dechev, E. Yossifov, L. Spassov, I. I. Batandjiev, *Growth of Piezoelectric Quartz Crystals of a new type of Raw Material*, Compt. rend. Acad. bulg. Sci., vol. 135, No 6, 1982, pp. 761-763.

- [11] M. Borissov, I. Vassilev, D. Dechev, E. Yossifov, L. Spassov, I. Velinov, A. Kunov, *Studies on Monoquartzites as a Quartz Nutrient for the Hydrothermal Growth of Piezoelectric Quartz Crystals*”, Bulg. J. Phys., vol. 9, No 3, 1982, pp. 314-322.
- [12] M. Borissov, D. Dechev, E. Yossifov, V. Kussev, L. Spassov, *Studies of the Hydrothermal Growth of Piezoelectric Quartz*, Bulg. J. Phys., vol. 9, No 4, 1982, pp. 353-366.
- [13] Й. Младенов, Й. О. Генчев, Ив. Димитров, П. Тотев, *Панорама на електронната промишленост на България*, София, 2003, с.79.
- [14] Ив. Кошинов, *Българската специална електроника (1951 – 1989)*, София, Водолей, 2005.

ПРОФ. ДФН ЕЛЕНА МИРОНОВА ФАРХИ – ВАТЕВА
ОСНОВОПОЛОЖНИК НА ФИЗИЧНИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ
НА НАНОРАЗМЕРНИ СТРУКТУРИ В БЪЛГАРИЯ

проф. дфн Диана Нешева



Проф. дфн Елена Ватева.

Проф. Елена Миронова Ватева е високоуважаван учен у нас и в чужбина, който има дълъг и плодотворен творчески път в Българската академия на науките (БАН) и Института по физика на твърдото тяло (ИФТТ). Тя има съществен принос в изграждането на основите на физиката на твърдото тяло и е основоположник на физичните изследванията на наноразмерни структури в България, като развива едно ново за тази научна област направление – аморфни многослойни наноструктури и свръхрешетки от халкогениди. Учените от ИФТТ продължават да работят активно в това направление и след нейното пенсиониране. Днес те провеждат изследвания върху наноразмерни и наноструктурирани слоеве, а също и върху многослойни структури, включващи аморфни или кристални полупроводникови наночастици.

През над 55 годишната си активна изследователска дейност в БАН проф. Е. Ватева се занимава с изучаване на различни фотоелектрични и оптични ефекти в халкогенидни материали и двойно инжекционни явления в широкозонни полупроводници. Работата ѝ включва изследване на фотоелектрични свойства и фотоиндуцирани явления в кристални и аморфни тетраедрично свързани халкогенидни материали (CdS, CdSe и др.) и структури, а също и в тънки слоеве и стъкла от ковалентно свързани двойни и тройни арсенови и германиеви халкогенидни. Тя прави заключения за взаимодействието на различните фотоиндуцирани явления в кристални халкогенидни полупроводници, дължащи се на промени в дефектната им структура, както и за ролята на средния порядък в основната структура на аморфни халкогениди при фотоиндуцираните промени в тях. И след пенсионирането си проф. Ватева продължава да работи много активно върху фотоструктурните промени в тройни халкогенидни стъкла и тънки слоеве.

1. Първи стъпки в науката

Е. Ватева започва обучението си във Физическия факултет на Софийския университет през 1951 г., където слуша с голям интерес лекциите на професорите Г. Наджаков, Я. Тагамлицки и Н. Обрешков. Много увлекателни за нея са и демонстрациите по време на лекциите по физика. След втори курс тя се включва в кръжока по теоретична физика с ръководител проф. А. Дацев и скоро става негов председател. За кръжока подготвя доклад за квантовата механика на Хайзенберг, като се опитва да даде свое тълкуване по темата. Подготвя и доклад за екситонната теория на Френкел. Проф. Дацев оценява нейните качества и я въвежда в лабораторията на проф. Милко Борисов във Физическия институт (ФИ) на Българската академия на науките. М. Борисов, който наскоро е открил отрицателен фотоефект в праховиден цинков оксид, я привлича към своята тематика. Така Е. Ватева се насочва към експерименталната физика, като запазва интереса си към теоретичните основи на изучаваните явления. Заедно със Ст. Кънев, тя е включена в търсене на обяснение на наблюдавания отрицателен фотоефект на основата на екситонната теория. Така при изготвянето на дипломната си работа под ръководството на М. Борисов, Е. Ватева започва първите си научни изследвания. Интересът ѝ към отрицателните ефекти се запазва дълго и се проявява в много следващи нейни работи.



Е. Ватева в лабораторията на М. Борисов, БАН – 1956 г.

2. Във Физическия институт на БАН

Във връзка с национално решение за разширяване на изследванията по ядрена физика и енергетика през 1956 г. на ФИ на БАН са отпуснати около 15 места, които са заети от току-що завършили студенти и в тази група е и Е. Ватева. М. Борисов продължава да работи в областта на физиката на твърдото тяло, но пренасочва изследванията си към въздействие на йонизиращи лъчения и светлина върху веществото. Е. Ватева, като сътрудник в неговата лаборатория, започва изследвания върху фото- и гама-чувствителност на фотосъпротивления от монокристален CdS. Провеждат се активни и задълбочени научни изследвания, насочени към изясняване на природата на взаимодействието на лъченията с веществото, а също и към приложение

на фотосъпротивленията във фотометрията и дозиметрията. През 1968 г. тези изследвания довеждат до създаване на гама-дозиметър, защитен с авторско свидетелство, с участие на Е. Ватева и ръководител Ст. Кънев. Интересно е да се отбележи, че още през 1958 г. във Физико-математическото списание на БАН излиза обзорна работа на Е. Ватева и И. Георгиева върху слънчеви батерии, която привлича значителен интерес, заради перспективата тези батерии да осигуряват електрическа енергия за хората.



Е. Ватева (най-дясно, права) в сектора на проф. Г. Наджаков, Физически институт, 1959 г.

След напускането на проф. М. Борисов лабораторията се ръководи от Стефан Кънев и в нея започват изследвания върху адсорбционни и десорбционни ефекти в полупроводници и полупроводникови катализатори. Такива изследвания се провеждат и съвместно с учени от други институти на БАН (акад. Д. Клисурски, проф. Г. Близнаков и др.) и са насочени към каталитично окисление на амоняк и влияние на адсорбцията на газове върху проводимостта на Fe-Cr-катализатори. Заедно с това започва работа в две други направления – „Инжекционни и двойно-инжекционни явления в широкозонни халкогениди“ и „Дефектна структура на кристални халкогениди и фотоиндуцирани промени в нея“. В резултат от съвместните изследвания на Е. Ватева, Ст. Кънев и Н. Копаранова през 1965 г. е публикуван един много полезен метод за определяне вида на електричните контакти към високоомни полупроводници – въпрос с изключителна важност, на който трябва да се отговори при изследване на електричните свойства на такива материали. Дълги години след публикуването на метода той се използва от учените в ИФТТ и партньори в чужбина. През същата година Е. Ватева публикува и резултати от първото си самостоятелно изследване, в което

е решен проблемът за появата на стабилно отрицателно съпротивление в диоди на базата на CdS при двойна инжекция от контактите. Интересът ѝ към отрицателните ефекти се проявява и в друго самостоятелно изследване, при което е открит отрицателен фотоэффект в диоди от кристален CdS при двойно-инжекционен режим и инфрачервено облъчване.

Изследванията във втората област „Дефектна структура на кристални халкогениди и фотоиндуцирани промени в нея“ са важни, защото по това време тетраедрично свързаните кристални халкогениди привличат голям научен интерес като моделни материали за изследване на фотопроводимост и фотоиндуцирани промени в нея. Но те са интересни и от научно-приложна гледна точка с възможностите за използването им във фото-съпротивления с висока чувствителност, при слънчевите батерии и др. Е. Ватева провежда изследвания на процесите на рекомбинация на зарядови носители в кристален CdS и чрез феноменологичен анализ на интензитетната зависимост на фотопроводимостта получава обобщени формули. Въз основа на тях предлага методи за определяне на различни параметри на рекомбинационните центрове.

3. В Института по физика на твърдото тяло

След разделянето на ФИ в края на 1972 г. Е. Ватева продължава научноизследователската си работа в ИФТТ и работи в института до края на професионалната си активност. През 1974 г. става старши научен сътрудник (сега доцент) с хабилизационен труд на тема „Двойно-инжекционни явления в A_2B_6 съединения”. Мнението за този труд е, че има монографичен характер и надвишава много изискванията за кандидатска дисертация. През 1990 г. Е. Ватева става доктор на физическите науки, като защитава дисертация на тема „Фотоиндуцирани явления в халкогениди”, а през 1992 г. е избрана за ст.н.с. I-ва степен (сега професор). Двадесет и пет години тя е член на Научния съвет на ИФТТ (1974 – 1999 г.).

През 1978 г., при създаването на Централната лаборатория по слънчева енергия и нови енергийни източници, по-голямата част от учените в съществуващия тогава сектор „Ф”, в който ст.н.с. Ватева провежда изследванията си, излиза от ИФТТ и преминава в новата лаборатория. В ИФТТ се формира лаборатория „Фотоелектрични и оптични явления в широкозонни полупроводници”, в състава на която влизат учените от сектор „Ф”, останали



Проф. Е. Ватева в ръководената от нея лаборатория в ИФТТ.

в ИФТТ, и учени от лабораторията на наскоро пенсионирания проф. Разум Андрейчин. За ръководител на новосъздадената лаборатория е избрана ст.н.с. Е. Ватева и тя я ръководи 21 години. През този дълъг период на ръководство проф. Ватева изгражда една стабилна лаборатория с активно работещи сътрудници, с голяма научна продукция и авторитет у нас и в чужбина. Тя успешно ръководи провеждането на задълбочени изследвания и при много от тях лично участва в експериментите. Основната тематика, която развива, е свързана с халкогенидни материали. Проф. Е. Ватева работи с голяма енергия, следи внимателно научната литература и винаги е „в крак“ с тенденциите в изследванията по света в областта на полупроводниците и диелектриците, поставя за изследване авангардни проблеми, които имат както фундаментален характер, така и научно-приложна насоченост.

Международните контакти на проф. Е. Ватева имат сериозен принос за изграждане на авторитета на ръководената от нея лабораторията у нас и в чужбина. Провеждат се изследвания в тясно сътрудничество с учени от Русия, Украйна, Молдова, Литва, Румъния, Гърция.



*Международното съвещание по фотоелектрични и оптични явления в твърдото тяло, Варна, 1974 г.
Е. Ватева и Ст. Кънев са най-отпред.*



Разговор с акад. Свечников от Киевския институт по полупроводници на Международното съвещание, Варна, 1974 г.

3.1. Научни и научноприложни изследвания

Под ръководството на проф. Е. Ватева научните изследвания в лаборатория „Фотоелектрични и оптични явления в широкозонни полупроводници“ се развиват в две взаимосвързани научни направления. Учените в едното направление работят главно по отлагане и изследване на тънки аморфни слоеве от двойни и тройни арсенови и германиеви халкогениди. Тези изследвания са развитие в нови посоки на изучаването на обемни халкогенидни стъкла, започнато от проф. Р. Андрейчин. Работи се по изясняване на важния въпрос за създаване на нови дефектни конфигурации в аморфното състояние чрез въвеждане на примеси при неравновесни условия. Разра-

ботен е нов метод на термична модификация на изследваните материали чрез отлагане на слоеве върху охладени подложки и използване на йонна имплантация на преходни метали. Макар че по това време е общоприето, че електрически активни примеси не могат да бъдат създадени в аморфни халкогенидни слоеве, чрез прилаганите нови методи това е постигнато и са наблюдавани огромни увеличения на електричната проводимост (до 10 порядъка). В хода на изследванията е установено, че промените в дефектната структура водят до промени и в основната структура на слоевете, като усилват фотоструктурните промени и свързаната с тях селективна разтворимост на слоевете [1], т.е. постигнато е съществено различие в химическата разтворимост на осветените и неосветените участъци на слоя. Това допринася за поставяне на началото на фотолитографски изследвания на основата на халкогениди в ИФТТ.

Изследванията, започнати върху изпарени аморфни слоеве от ковалентни двойни халкогенидни състави, се насочват към тройни състави. Акценти са поставени върху изследване на т.н. среден порядък в основната структура на слоевете и изменението му, предизвикано от светлинно въздействие. От проф. Е. Ватева и сътрудниците в лабораторията е формулирана концепцията за наличие на топологичен 2D-3D преход при изменение на състава на тройните слоеве и са получени много доказателства в нейна подкрепа. Преходът се обяснява с промяна на средния порядък и преминаване от слоистоподобна (2D) към омрежена (3D) структура. Тази концепция се използва по-късно при анализите на резултати от изследвания на природата на установените уникални фотоиндуцирани структурни промени, водещи до гигантски изменения в оптичната забранена зона, показателя на пречупване и дебелината на някои халкогенидни слоеве и стъкла. Всестранните и задълбочени изследвания довеждат до хипотезата за двойствено действие на светлината при фотоструктурните промени на халкогениди, която подпомага разкриването на природата на светлинно индуцираните ефекти в тънки халкогенидни слоеве. Резултатите от тези изследвания са докладвани на много форуми и са публикувани в голям брой статии, които са добре известни и високо ценени от учените по света, работещи в тази област.



Проф Е. Ватева и сътрудници от лаборатория „Фотоелектрични и оптични явления в широкозонни полупроводници“ честват осемдесет годишния юбилей на проф. Р. Андрейчин.

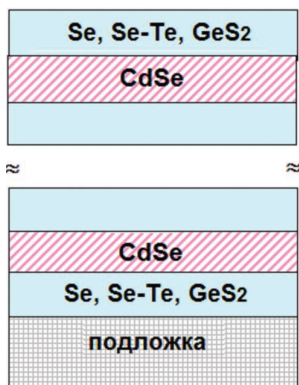
Работите, посветени на особеностите на средния порядък в тройни германиеви халкогениди, с установяването на структурни преходи в стъкла и в слоеве от тях, имат широко международно признание [2 – 4].

Научноприложните изследвания в тази област също не са пренебрегнати. Благодарение на направения подбор на тройни състави е получена много висока селективна разтворимост и у нас е патентован нов безсребърен неорганичен фоторезист с открит в лабораторията разтворител. С него е достигната най-високата известна тогава чувствителност за безсребърен неорганичен фоторезист ($0,1 \text{ J/cm}^2$). Освен това при изпитания, проведени в Института по микроелектроника и оптоелектроника в Ботевград, е доказано, че слоеве с подобрени състави са приложими за просветляващи покрития на GaAs-светодиодни матрици, които осигуряват увеличаване на интензитета на излъчваната светлина.

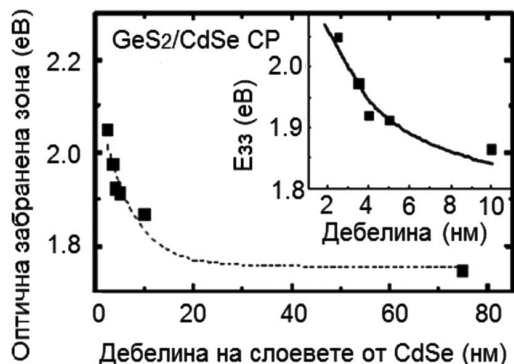
Изследванията в другото направление са насочени към изучаване на фотоелектрични свойства и фотоиндуцирани явления в тераедрично свързани халкогенидни кристали, тънки слоеве и структури. Поставени са и са решени проблеми на взаимодействието на различните наблюдавани фотоиндуцирани явления, а по-късно интересът се насочва към пионерни изследвания върху слоеве и структури от аморфен CdS. Разработени са технологии за отлагане на такива слоеве при температури на подложките близки до тази на течния азот и са постигнати промени в електричната им проводимост в широки граници (до 9 порядъка), наблюдавани са нов тип температурни зависимости на фотопроводимостта и фотоиндуцирани промени в нея, подобни на тези в кристалите. Изследванията върху слоеве от аморфен CdS са провеждани главно у нас, но при представяне на резултатите на редица международни конференции, те предизвикват голям интерес [5 – 7]. Тази дейност също има научно-приложна насоченост. Работи се в посока на изготвяне на периодични многослойни структури от CdS и полиетилен, които са подходящи за фоточувствителни покрития на барабани на копирни машини. Електрофотографските изследвания са много активни и включват още направата на ксерографски елементи на базата на прахообразен кристален CdS в ново свързващо вещество, а също и на гъвкави структури от халкогенидни слоеве на базата на As с/без Ge. Във връзка с фотолитографските и електрофотографските изследвания са сключени голям брой договори. Проф Е. Ватева е ръководила общо 10 международни и 13 национални проекта, финансирани от Министерството на образованието и науката.

3.2. Основоположник на физичните изследвания на аморфни халкогенидни наноструктури в България

Изготвянето на многослойни ксерографски структури довежда до развитие на едно направление, което е ново не само за нашата страната, но и в световен мащаб. Това става в средата на осемдесетте години, когато вече активно се изследват периодични структури от свръхтънки слоеве (свръхрешетки) на базата на хидрогениран аморфен Si. Проф. Е. Ватева оценява, че поради гъвкавата си структура аморфните халкогениди биха били не по-малко подходящи за направа на свръхрешетки и смело поставя началото на изследвания на многослойни структури от халкогенидни аморфни материали. Разработват се технологии, използващи лазерна аблация и вакуумно термично изпарение на Se, сплав от Se-Te, CdSe и др. Макар че по това време в ИФТТ липсват достатъчно методи на изследване на такива периодични наноструктури, благодарение на активно международно сътрудничество се провеждат комплексни изследвания на новите обекти. Доказано е, че и с двете техники на отлагане се получават аморфни многослойни структури с отлична периодичност и резки интерфейси [8]. Решен е проблемът за термичната им стабилност и малката дебелина на интерфейсите [9]. Установено е, че стабилността по отношение на термичната кристализация е по-голяма при свръхрешетки с по-тънки слоеве. Новите електрични и оптични свойства на тези структури са свързани както с класически ефекти, обусловени от съществуващи енергетични бариери [10], така и с квантоворазмерни ефекти, дължащи се на ограничението на токовете носители в квантовите ями. Тези и други резултати са обобщени в две обзорни работи [11, 12].



Схематично представяне на аморфна свръхрешетка, в която слоевете са с еднаква дебелина от 2,5 до 10 нанометра и броят на слоевете е от 20 до 120.



Квантово-размерно нарастване на оптичната забранена зона (Езз) на аморфни слоеве от CdSe в свръхрешетки (CP) от аморфен GeS₂ / CdSe при намаляване на дебелината им под 10 нм.

Развитието на технологиите за отлагане и изследването на многослойни структури (МС) и аморфни свръхрешетки от халкогенидни материали е насочено и към традиционните за лабораторията електрофотографски приложения. Доказано е, че включването на наноразмерни МС от $\text{Se}/\text{Se}_{85}\text{Te}_{15}$ към електрофотографски структури на базата на сплави от Se-Te повишава термичната им стабилност и чувствителността им в инфрачервената област, където излъчват много от полупроводниковите светодиоди и лазери [13], а това ги прави подходящи и за фоточувствителни покрития в лазерни принтери.



Участие на проф. Е. Ватева (отпред, четвъртата отляво) в НАТО симпозиума „Физика и приложение на некристалните полупроводници в оптоелектрониката”, Кишинев 1996 г., с поканен доклад „Аморфни свръхрешетки от халкогениди”.

Наред с работата си със сътрудниците от лабораторията, проф. Е. Ватева е била ръководител или консултант на над 20 успешно защитили дипломанти и 7 аспиранти (сега докторанти). Реализацията на аспирантите ѝ говори за високото качество на подготовката, която те получават под нейно ръководство. Един от тях започва работа в лабораторията на проф. Овшински в САЩ, където се разработват оптичните дискове, друг – в лабораторията на световно известния проф. Сванепул в Йоханесбург, ЮАР, трети поема ръководството на лабораторията след пенсионирането ѝ.

Проф. Елена Ватева е забележителен учен, с голям принос за изграждане на авторитета и високата международна оценка на Института по физика на твърдото тяло. Тя е автор и съавтор на 153 публикации в престижни международни списания и сборници на конференции. Има участие с над 100 научни доклада на форуми в чужбина и у нас, като 9 от докладите са пленарни. Участник е в колективите на 8 защитени авторски свидетелства, свързани със създаване на γ -дозиметър, нови неорганични фоторезисти и електрофотографски елементи за работа в ксерографски и фотодиелектричен режим,

променливотокови електролуминесцентни панели с повишени началната яркост на светене и време на живот. Проф. Е. Ватева има общо дванадесет участия в организационни научни и програмни комитети на международни форуми. Между тях е конференцията „Аморфные полупроводники“, на която е председател на Международния комитет при провеждането ѝ в България (Габрово '84) и е член на организационните и програмните комитети при провеждането ѝ в пет други страни. Била е още зам.-председател (Варна '80 и Варна '83) и научен секретар (Варна '71 и Варна '74) на Международното съвещание „Фотоелектрични и оптични явления в твърдото тяло“. След пенсионирането си през 1999 г., като асоцииран член на ИФТТ, проф. Е. Ватева продължава близо петнадесет години да работи активно и в резултат на много продуктивната ѝ научна дейност са публикувани 36 работи в списания и сборници на конференции, в които е съавтор. Висока оценка за нейната работа са присъдените ѝ Значка за отличие на БАН (1973), първият Почетен знак „За заслуги към БАН“ (1999), Почетен знак на ИФТТ „Г. Наджаков“ на лента (2002), наградата на БАН – Почетен знак „Марин Дринов“ (2010 – 2012) и др. В мотивите за присъждане на наградата на БАН е изтъкнато, че освен че поставя началото и развива изследванията на аморфните халкогенидни многослойни наноструктури, проф. Ватева е „един от пионерите, участвали в изграждането на основите на физиката на твърдото тяло у нас“.

В заключение, проф. Елена Ватева създава в ИФТТ школа по физични изследвания на халкогенидни наноструктури и фотоиндуцирани явления в кристални и аморфни халкогениди. С отчитане на този ѝ принос за издигане на авторитета на ИФТТ и на цялостната ѝ активна и плодотворна дейност в полза на института, през 2002 г. на проф. Елена Ватева е присъдено званието Почетен член на ИФТТ като „Основоположник на физичните изследвания на аморфни халкогенидни наноструктури в България“. Основополагащата роля и активното изследване на халкогенидните многослойни наноструктури в лабораторията, ръководена от проф. Ватева, е оценено и от международната научна общност. Българският приоритет в това направление е признат в първата световна Енциклопедия по нанонаука и нанотехнологии, излязла от печат през 2004 г. [14]. Благодарение на поставеното от Е. Ватева начало и досега в лабораторията се провеждат активни изследвания в областта на наноматериалите и нанотехнологиите.

Благодарност: Авторът изказва голямата си благодарност на проф. Е. Ватева за предоставянето на автобиографичен материал, оформен през 2016 г., който е използван при написването на тази статия.

Литература

- [1] E. Vateva, M. Nikiforova, E. Skordeva, Ge-As-S Selective Solubility, J. Non-Cryst. Sol., vol. 77-78, 1985, 1133-1136.
- [2] E. Vateva, E. Skordeva, D. Arsova, Average Coordination Number Dependence of Photostructural Changes in Amorphous Ge-As-S Films, Phil. Mag. B, vol. 67, 1993, 225-235.
- [3] E. Vateva, E. Savova, New medium range order features in Ge-Sb-S glasses, J. Non-Cryst. Sol., vol. 192-193, 1995, 145-148.
- [4] E. Vateva, B. Terziyska, H. Misiorek, A. Jezowski, D. Wlosewicz, D. Arsova, Low-temperature thermal properties of Ge-As-S glasses, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, vol. 7, 2005, 357-360.
- [5] E. Vateva, N. Balchev, M. Nikiforova, On the photoelectrical and optical phenomena in CdS amorphous films, Proc. Int. Conf. Amorphous Semicond. '78, Pardubice 1978, p. 661.
- [6] B. Pashmakov, E. Vateva, A. Bekirov, Electrophotographic multi-layer plates based on vacuum evaporated CdS and polyethylene, Appl. Phys., vol. 37, 1985, 243-246.
- [7] E. Vateva, D. Nesheva, Photoinduced phenomena in chalcogenide structures, J. Non-Cryst. Sol., vol. 90, 1987, 497-500.
- [8] E. Vateva, D. Nesheva, Small-angle X-ray diffraction studies on interface sharpness of amorphous Se/CdSe multilayers, J. Non-Cryst. Solids, vol. 191, 1995, 205-208.
- [9] D. Nesheva, E. Vateva, Z. Levi, D. Arsova, Interface and structural disorder changes in Se/CdSe multilayers, Phil. Mag. B, vol. 72, 1995, 67-73.
- [10] E. Vateva, I. Georgieva, Amorphous Se/Se-Te multilayers, J. Non-Cryst. Sol., vol. 114, 1989, 124.
- [11] E. Vateva, Amorphous superlattices of chalcogenides in NATO ASI Series Physics and Applications of Non-Crystalline, Semicond. in Optoelectronics, eds. A. Andriesh, M. Bertolotti, Kluwer Acad. Publ., 1996, 61-75.
- [12] D. Nesheva, *Nanoparticle Layers in Multilayers*, in "Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology", Edited by H. S. Nalwa, American Scientific Publishers, vol.7, 2004, 105-123.
- [13] D. Nesheva, D. Arsova, E. Vateva, Electrophotographic photoreceptors including selenium-based multilayers, Semicond. Sci. Technol., vol. 12, 1997, 595.
- [14] K. Tanaka, Nanostructured chalcogenide glasses, in Encyclopedia on Nanoscience and Nanotechnology, ed. H. S. Nalwa, American Scientific Publishers, vol. 7, 2004, 629-640.

АКАДЕМИК НИКОЛА СЪБОТИНОВ И ЛАЗЕРИТЕ С МЕТАЛНИ ПАРИ

проф. Красимир Темелков

Лазерите с метални пари са клас газови лазери, които генерират лазерно лъчение в ултравиолетовата, видимата и инфрачервената спектрални области. Някои от този тип лазери излъчват рекордно високи средни мощности в импулсен режим.

Началото на научните изследвания върху този вид лазери в България е поставено през 1970 г. във Физическия институт на БАН (ФИ – БАН). Но преди това през 1968 г. Никола Съботинов пуска в действие първия хелий-неонов лазер, генериращ линия с дължина на вълната 0,63 μm , на базата на който през периода 1969 – 1970 г. е изработен лазерен жирокоп и съвместно с Института по геодезия и картография са създадени геодезични лазерни прибори и устройства. Съботинов е назначен от директора на Физическия институт акад. Георги Наджаков през 1967 г. след конкурс за стажант научен сътрудник към Сектора по оптика и спектроскопия в Проблемна група по атомна спектроскопия. Неговата изследователска задача включва не само пускането на хелий-неонов лазер, но и изучаване на модовата структура на излъчването. Един от основните проблеми, с които трябва да се справи, е снабдяването с високоотразяващи лазерни огледала. По това време многослойни диелектрични огледала с висок коефициент на отражение се доставят от чужбина. През 1969 г. в ръководената от Никола Съботинов лазерна група е създадена първата вакуумна система в България за нанасяне на тънкослойни диелектрични покрития върху стъклени оптически повърхности, като е използвана оригинална технология, защитена с авторско свидетелство. По-късно по препоръка на акад. Наджаков тази технология е предадена на Вedomствения институт по специална оптика и радиоелектроника, което е една от първите крачки за внедряване на нови технологии в нашата оптическа индустрия. Впоследствие в изследователската група на Съботинов се изготвят и широкоивични лазерни огледала, покриващи целия видим диапазон на спектъра. Създадена е хелий-неонова лазерна система за определяне на оптическите качества на Брюстеровите лазерни прозорчета. Така във ФИ хелий-неоновите лазери започват да се изготвят изцяло с родни оптически елементи.

След хелий – неоновия лазер Никола Съботинов пуска в действие хелий-кадмиев (He-Cd) лазер, генериращ линията 442 nm [1], а по-късно в лаборатория „Лазери с метални пари“ на Института по физика на твърдото тяло (ИФТТ) е реализиран и He-Se лазер. Изследвайки техните характеристики, са

създадени условия за комбиниран многовъълнов синьозелен He-Cd-Se лазер, а добавяйки Ne в активната среда, е реализиран He-Cd-Se-Ne лазер, генериращ в синия, зеления и червения спектрални диапазони. Така е пуснат в действие лазер на бяла светлина, прилагайки едно ново решение [2, 3], различно от известното в литературата, където до тогава терминът „бял лазер“ се използва при комбиниране на йонни лазери с благородни газове аргон и криптон.

Непрекъснатата лазерна генерация на йони на метали се получава както в положителния стълб на непрекъснат тлеещ разряд, така и в отрицателното светене на разряд в кух катод и в напречен високочестотен разряд. И трите видове разряд са обект на научни изследвания в ръководената от Никола Съботинов лаборатория в ИФТТ с цел получаване на лазерно действие на йони на Cd, Sn, Tl, Cu, Ag, Al, Hg и I. Като резултат от проведените експерименти е предложен нов тип спирален високоволтов кух катод [4]. Този вид катод дава възможност за получаване на висока концентрация на високоенергетични електрони, което води до ефективно възбуждане на йонните лазерни нива, и е използван за получаване на генерация на йони на Cd, Cu, Tl. Спиралният кух катод е използван и в други лаборатории, извън България [5].

В рамките на проект по програмата на НАТО „Наука за мир“ се проведени съвместни изследвания с учени от Германия и Полша върху He-Cd лазер, генериращ дължини на вълната 325 nm и 442 nm в условията на високочестотен напречен разряд [6]. Те са фокусирани върху конструкцията на лазерната тръба, съгласуване на активната разрядна зона със захранващия високочестотен генератор, оптимизиране на изходната мощност и получаване на генерация на линии на кадмиевите йони в синия, зеления и червения диапазони на спектъра. Проведени са изследвания за сравняване на условията на лазерна генерация в разряд с кух катод и напречен високочестотен разряд.

Един от най-известните лазери с метални пари – лазерът с медни пари, е открит през 1965 г. от американския физик У. Уолтър (W. Walter). Той генерира във видимата спектрална област две линии – 511 nm и 578 nm и се е утвърдил като най-мощният и най-ефективен лазер във видимия спектрален диапазон, който има големи възможности за разнообразни приложения [7]. Но един от основните проблеми при лазерите с медни пари е високата работна температура, която е от порядъка на 1500 °C. Още в своята първата статия У. Уолтър изтъква това и предлага за решаването му да се използват съединения на медта, които се изпаряват при по-ниски температури, като в условията на импулсния разряд молекулите им дисоциират, а освободените медни атоми стават източници на лазерно излъчване. В тази насока първите успешни експериментални резултати се появяват през 1973 г., когато Ц. Лио (C. Liu) и съавтори от лабораториите Уестингхаус (Westinghouse Research Laboratories) в САЩ докладват за лазерна генерация на медни атоми в пари на меден йодид [8]. Ц. Чън (C. Chen) и колеги от ракетната лаборатория JPL

(Jet Propulsion Laboratory) в Пасадена, САЩ също през 1973 г. съобщават за лазерна генерация в пари на меден хлорид [9].

По това време и в лаборатория „Лазери с метални пари“ на ИФТТ започва провеждането на експерименти със съединението меден бромид, като през април 1974 г. Никола Съботинов получава първия положителен резултат. В литературата не са открити съобщения от други автори за лазерна генерация при използваните условия и е подадена заявка за патентоване на постигнатото [10]. От този момент в България започват активни изследвания върху лазера с пари на меден бромид.

Лазерите с пари на медни халогениди стават актуална тема за изследвания от учени в различни лазерни лаборатории по света, сред които са К. Уеб (С. Webb) и Дж. Пайпър (J. Piper) от университета Оксфорд във Великобритания, Г. Петраш във Физическия институт на Руската академия на науките, проф. А. Мейтланд (A. Maitland) и Крис Литъл (Chris Little) от Университета Сейнт Андрюс, Шотландия. Израелски учени извършват сравнение между трите активни среди – меден бромид, меден хлорид и меден йодид. Резултатите показват, че съотношението на изходните мощности между тях е 3:2:1 в полза на медния бромид [11].

Медният бромид се изпарява при 500 °С в кварцова разрядна тръба. Молекулите меден бромид дисоциират в условията на разряда с помощта на електронни удари. Освободените медни атоми също се възбуждат от електронните удари и се получава лазерно излъчване. За създаване на лазер с възможност за практическо приложение, научните изследвания върху лазера с пари на меден бромид на учените от ИФТТ са насочени в три направления: 1. Повишаване времето на живот на лазерната тръба 2. Стабилност на изходната мощност и 3. Висока изходна средна мощност.

По отношение на времето на живот са проведени много изследвания на физичните фактори, ограничаващи живота на лазерната тръбата и е установено, че една от основните причини е процесът на постепенно натрупване на свободен бром в нея. Отстранявайки я, е постигнато постепенно време на живот от 150 до 500 часа, но крайният резултат е достигането на рекордното време от 1000 часа [12]. Създадената конструкция на лазерната тръба с рекордното време на живот е защитена с няколко международни патента. Максималната средна лазерна мощност при нея е 10 W, като е получена стабилност 1% на излъчената мощност в продължение на 8 часа работа.

В процеса на изследванията непрекъснато се подобряват условията, при които се получава лазерно действие, т.е. създаване на по-чисти условия в газовия разряд. При чисти условия, добавяйки малко количество водород с парциално налягане около 0,3 Torr, мощността на лазера и коефициентът на полезно действие са увеличени над 2 пъти. Добавянето на водород води още и до подобряване на радиалното разпределение на лазерното излъчване. Проведените

експериментални и теоретични изследвания показват, че с добавянето на водород значително нараства концентрацията на медните атоми в основно състояние и в същото време се понижава концентрацията на медните йони, което от своя страна води до по-ефективно заселване на горните лазерни нива.

След първа публикация за силния ефект на водорода през 1985 г. с автори Д. Астажов, Н. Съботинов и Н. Вучков [13] интересът към него нараства. Откритият ефект от българските учени е приложен в Ливърморската лаборатория в САЩ, където по онова време се работи по един от големите проекти по използване на мощни медни лазери [14] и в Ядрения център в Тошиба, Япония. Особено голям е интересът от Университета в Сейнт Андрюс, Великобритания. В лабораторията по медни лазери професорите Мейтлант и Литъл използват българските резултати за генерация с меден бромид, както и за влиянието на примеси от водород в активната среда на лазера, и създават нов вариант на лазера с пари на медта, наречен „хибриден лазер“ (CuHyBrID). Този лазер е също нискотемпературен меден лазер и с него е достигната максимална средна изходна мощност до 200 W [15]. Постигнатите научни резултати от учените в лаборатория „Лазери с медни пари“ по използване на медния бромид и силния ефект на водорода намират приложение и в работата на екипа от университета „Макуори“ (Macquarie University) в Сидни, Австралия, с ръководител проф. Джим Пайпър. Те получават меден лазер с висока мощност (над 150 W) и го наричат „кинетично обогатен меден лазер“ (KECVL) [16].

Откриването на ефекта на водорода създава условие за изготвяне на мощен лазер с пари на меден бромид. В началото на 90-те години по IV Рамкова

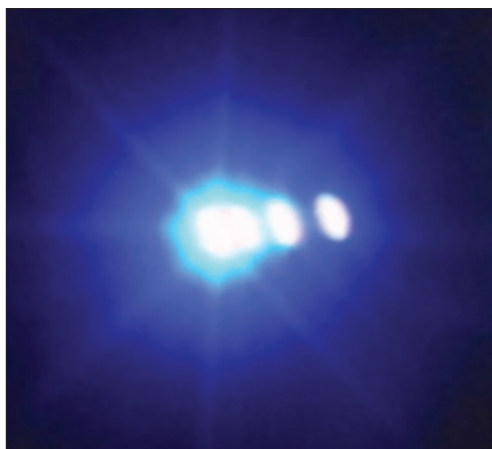


Фигура 1. Експериментални изследвания на мощен лазер с пари на меден бромид.

програма „Коперникус“ на Европейската общност е финансиран проект на тема: „Ново поколение лазери за прецизна обработка на материали“ и колектив от учени на България, Великобритания и Полша започва работа по създаване на мощен лазер. Достигната е рекордно висока мощност от 120 W (Фигура 1) [17] и рекордно висока специфична средна изходна мощност от $1,4 \text{ W.cm}^{-3}$ [18]. По линия на програмата „Наука за мир“ на НАТО екип от наши учени и учени от Германия, Италия и Полша създават мощна МОРА (Master Oscillator Power Amplifier) лазерна система с мощност 100 W [19]. В

работата по тези проекти при научните изследвания екипът, ръководен от акад. Съботинов, предлага две нови електрически схеми (IPС и IC) за импулсно захранване на лазерната тръба. При тях се образуват взаимодействащи контури, в резултат на което се получава по-добро съгласуване между лазерната тръба и импулсното електрическо захранване и резултатите са налице. С помощта на тези схеми е реализирана висока средна изходна мощност и ефективност на CuBr лазера [20].

В активната среда на меден бромид за първи път е получена генерация в дълбоката ултравиолетова спектрална област на медните йонни линии: 248,6 nm, 252,9 nm, 260,0 nm и 270,3 nm в наносекунден импулсен надлъжен разряд (Фигура 2) [21]. Постигната е рекордно висока средна изходна мощност 1,3 W и за четирите лазерни линии. За линията с дължина на вълната 248,6 nm са получени рекордни максимална пикова мощност 3,25 W и максимална средна изходна мощност 0,85 W [22]. Добавянето на малко



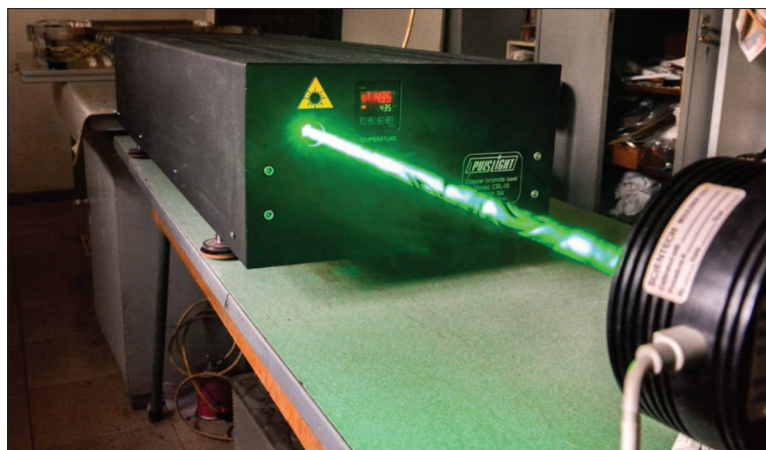
Фигура 2. Визуализация на лазерната генерация в дълбокия ултравиолетов спектрален диапазон.

количество водород с парциално налягане около 0,03–0,05 Torr довежда до увеличаване на лазерната мощност над 5 пъти [23]. С финансиране на изследванията отново от договор на програмата „Наука за мир“ на НАТО е създадена МОРА лазерна система, генерираща лазерно лъчение с дължина на вълната 249 nm за приложение в микроелектрониката.

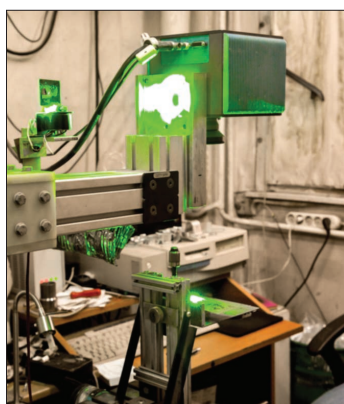


Фигура 3. Лазер с пари на меден бромид със средна мощност 40 W и време на живот над 500 часа осветява небето над гр. София по случай Годината на светлината 2005.

Първото промишлено внедряване на лазера с пари на меден бромид е извършено през 1984 г. на основата на договор между ИФТТ – БАН и фирмата „Оптични технологии“ – Пловдив. През 1985 г. на Международния технически панаир в Хановър, Германия е демонстриран за първи път в чужбина българският лазер в действие. Втората българска фирма с основен предмет на производство лазера с пари на меден бромид е „Пулслайт“, основана през 1990 г. Фирмата „Пулслайт“, като резултат на сътрудничество с ИФТТ – БАН, започва производство на серия лазери с пари на меден бромид в диапазона от 1 W до 100 W (Фигура 3). Фирмата извършва продажби на лазери и лазерни системи в Европа, САЩ, Канада и други страни по света (Фигури 4 и 5).



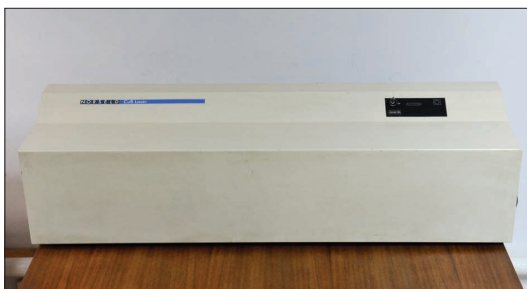
Фигура 4. Лазер с пари на меден бромид със средна мощност 10 W и време на живот над 1000 часа, производител „Пулслайт“, България.



Фигура 5. Промислена система за обработка на материали, производител „Пулслайт“, България.

След успешно проведените научни изследвания в лаборатория „Лазери с медни пари“ и патентоване на всички нови технически и конструктивни решения, е предложен лиценз за производство на лазера с пари на меден бромид на някои световно известни фирми производители на лазери. Най-успешни предварителни преговори са осъществени с фирмата „Куентрон“ (Quentron), Австралия и „Метал Лейзър Текнолъджи“ (Metal Laser Technology), САЩ. Проведените предварителни експерименти и с двете фирми, които проявяват интерес за закупуване на лиценз за производство на лазера, са също успешни. Най-изгодни условия обаче са предложени от фирмата „Норселд“ (Norseld),

Австралия (Фигура 6), която е правоприменник на фирмата „Куентрон“, и по-късно се налага като най-големия производител на лазера с пари на меден бромид за медицински и индустриални приложения. Впоследствие и фирмата „Байсън“ (Bison) от Южна Корея предлага договор за производство на лазера с пари на меден бромид. Като резултат е организирано съвместно производство между българската фирма „Пулслайт“ и южнокорейската „Байсън“.



Фигура 6. Лазер с пари на меден бромид със средна мощност 10 W и време на живот над 1000 часа, производител „Норселд“, Австралия.

Лазерът с пари на меден бромид е една оригинална научна българска иновация, създадена в Института по физика на твърдото тяло към Българската академия на науките. Този лазер, чийто откриване е осъществено през 1974 г., преминава през всички етапи на развитие: от изобретяването, през научните изследвания до индустриално производство в България и извън България. Той е оригинално постижение в областта на квантовата електроника, високо оценено от редица водещи учени от САЩ, Великобритания, Русия, Германия, Япония и Австралия [24].

И днес в лабораторията „Лазери с метални пари“ на ИФТТ продължават изследванията на световно ниво, давайки нови ценни приноси по отношение на усъвършенстване на съществуващите и създаване на нови лазери. При лазера с пари на меден бромид е постигната рекордно висока средна изходна мощност – 150 W за линиите с дължина на вълната 510,6 nm и 578 nm [25]. Създадени са и лазери с пари на stronций и stronциев дибромид [26, 27], генериращи в средната инфрачервена област на няколко stronциеви йонни и атомни самоограничени прехода, като е достигната рекордни средна изходна мощност 29 W и енергия на лазерния импулс 2,9 mJ, които са над два пъти по-високи от постигнатите до този момент при този тип лазери. Получено е също така дифракционно ограничено лазерно лъчение във видимата и средната инфрачервена спектрални области чрез МОРА лазерни системи на основата на лазерите с пари на меден бромид и stronций [28, 29]. Осъществени са редица уникални приложения на лазерите с пари на метали и метални халогениди, генериращи в ултравиолетовия, видимия и инфрачервения спектрални диапазони за прецизна микрообработка, модификация и охарактеризиране на редица материали [30 – 32].

В научноизследователската и научно-приложна дейност под ръководството на академик Никола Съботинов (вписан в Златната книга на откривателите и изобретателите на България (1994), носител на наградата „Питагор“ на МОН за цялостен принос в развитието на науката (2020), на орден „Св. св. Кирил и Методий“ огърлие (2022) за особено значимите му заслуги в областта на науката) са участвали доц. Петър Телбизов, Стоян Калчев, проф. Николай Вучков, доц. Димо Астажов, гл.ас. Красимир Димитров, доц. Тодор Петров, доц. Маргарита Грозева, Иван Ангелов, Иван Костадинов, проф. Красимир Темелков, доц. Петър Захариев, инж. Иван Радков, Стефан Рижииков, Милко Божилов, инж. Стефан Раднев, д-р Ивайло Балчев и доц. Николай Минковски.

Литература

- [1] N. Sabotinov, Investigation of He-Cd Laser, operating at 4416 E, Electrical Industry an Instrumentation („Electropromishlenost i Priborostroene“ – EP), vol. 1, 1972, 21 (in Bulgarian).
- [2] N. Sabotinov and P. Telbizov, He-Cd-Se Gas Laser, IEEE Journal of Quantum Electronics, QE-9 (8), 1973, 857.
- [3] N. Sabotinov and P. Telbizov, Mixed gas laser of the three basic colors, Opto-electronics, 6 (3), 1974, 185 (Letter).
- [4] M. Grozeva and N. Sabotinov, Coil hollow cathode for metal vapor lasers, Optics Communications, 41 (1), 1982, 57.
- [5] H. Koch, Cu II laser with a helical hollow cathode discharge, Journal of Physics E: Scientific Instruments, 16 (2), 1983, 122.
- [6] J. Mentel, N. Reich, J. Schulze, M. Grozeva, N. Sabotinov, and J. Mizeraczyk, Radio frequency excited CW gas ion lasers, Transactions of IEEE of Japan, 116-A (11), 1996, 964.
- [7] W. Walter, N. Solimene, M. Piltch, and G. Gould, Efficient pulsed gas discharge lasers, IEEE Journal of Quantum Electronics, QE-2 (4), 1966, 474.
- [8] C. S. Liu, E. W. Sufov, and L. A. Weaver, Copper superradiant emission from pulsed discharges in copper iodide vapor, Applied Physics Letters, 23 (2), 1973, 92.
- [9] C. J. Chen, N. M. Nerheim, and G. R. Russel, Double-discharge copper-vapor laser with copper chloride as a lasant, Applied Physics Letters, 23 (9), 1973, 514.
- [10] N. V. Sabotinov, P. K. Telbizov, and S. D. Kalchev, Bulgarian Patent No: 28674, 1975.
- [11] S. Gabay, I. Smilanski, L. A. Levin, and G. Erez, Comparison of CuCl, CuBr, and CuI as lasants for copper-vapor lasers, IEEE Journal of Quantum Electronics, QE-13 (5), 1977, 364.

- [12] N. V. Sabotinov, N. K. Vuchkov, and D. N. Astadjov, Progress in CuBr lasers, CLEO'86 – Washington, DC, 1986, OSA Technical Digest (Optical Society of America), WE3, 1986, 160.
- [13] D. N. Astadjov, N. V. Sabotinov, and N. K. Vuchkov, Effect of hydrogen on CuBr laser power and efficiency, Optics Communications, 56 (4), 1985, 279.
- [14] J. J. Chang, Pressure dependence of copper laser output characteristics, Applied Optics 32 (27), 1993, 5230.
- [15] E. S. Livingstone, O. R. Jones, A. Maitland, and C. E. Little, Characteristics of a copper bromide laser with flowing Ne-HBr buffer gas, Optical and Quantum Electronics, 24 (1), 1992, 73.
- [16] M. J. Withford, D. J. W. Brown, and J. A. Piper, Effects of H₂ buffer gas additive on repetition rate scaling of a copper vapour laser, Optical and Quantum Electronics, 26 (12), 1994, 1089.
- [17] D. N. Astadjov, K. D. Dimitrov, D. R. Jones, V. K. Kirkov, L. Little, C. E. Little, N. V. Sabotinov, and N. K. Vuchkov, Copper Bromide Laser of 120 W Average Output Power, IEEE Journal of Quantum Electronics, 33 (5), 1997, 705.
- [18] D. Astadjov, K. Dimitrov, C. Little, N. Sabotinov, and N. Vuchkov, A CuBr laser with 1.4 W/cm³ average output power, IEEE Journal of Quantum Electronics, 30 (6), 1994, 1358.
- [19] N. Sabotinov, I. Kostadinov, H. Bergmann, R. Salimbeni, and J. Mizeraczyk, 50-Watt copper bromide laser, in XIII International Symposium on Gas Flow and Chemical Lasers and High Power Laser Conference, Proceedings of SPIE, Vol. 4184, 2001, 203.
- [20] N. Vuchkov, D. Astadjov, and N. Sabotinov, Influence of the excitation circuits on the CuBr laser performance, IEEE Journal of Quantum Electronics, 30 (3), 1994, 750.
- [21] N. Vuchkov, K. Temelkov, and N. Sabotinov, UV lasing on Cu⁺ in a Ne-CuBr pulse longitudinal discharge, IEEE Journal of Quantum Electronics, 35 (12), 1999, 1799.
- [22] N. K. Vuchkov, K. A. Temelkov, P. V. Zahariev and N. V. Sabotinov, Influence of the Active Zone Diameter on the UV-Ion Ne-CuBr Laser Performance, IEEE Journal Quantum Electronics, 37(12), 2001, 1538.
- [23] N. K. Vuchkov, K. A. Temelkov and N. V. Sabotinov, Effect of Hydrogen on the Average Output Power of the UV Cu⁺ Ne-CuBr Laser, IEEE Journal Quantum Electronics, 41(1), 2005 62.
- [24] N. Sabotinov, The Laser, Prof. Marin Drinov Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, 2020.
- [25] I. Kostadinov, K. Temelkov, D. Astadjov, S. Slaveeva, G. Yankov, and N. Sabotinov, High-power copper bromide vapor laser, Optics Communications, 501 (15), 2021, art. No. 127363.

- [26] K. A. Temelkov, N. K. Vuchkov, I. Freijo-Martin, A. Lema, L. Lyutov, and N. V. Sabotinov, Experimental study on the spectral and spatial characteristics of a high-power He-SrBr₂ laser, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 42, 2009, art. No. 115105.
- [27] I. Kostadinov, K. Temelkov, S. Slaveeva, B. Ivanov, and N. Sabotinov, High-power single-tube Sr vapor laser oscillating in the mid-IR spectral range, *IEEE Journal of Quantum Electronics*, 57 (5), 2021, art. No. 1500206.
- [28] I. K. Kostadinov, K. A. Temelkov, G. P. Yankov, and B. L. Ivanov, High-beam-quality sealed-off laser system oscillating in middle infrared spectral range on strontium atomic transitions, *Optical and Quantum Electronics*, 52, 2020, art. No. 94.
- [29] K. Kostadinov, D. N. Astadjov, G. P. Yankov, L. T. Popova, S. I. Slaveeva, Yu. I. Fedchenko, and K. A. Temelkov, High-beam-quality sealed-off master oscillator–power amplifier system oscillating in visible spectral range on copper atomic transitions for micromachining in science and technology, *Journal of Physics: Conference Series*, 1859(1), 2021, art. No. 012056.
- [30] K. A. Temelkov, S. I. Slaveeva, V. I. Kirilov, I. K. Kostadinov, and N. K. Vuchkov, High-power metal halide vapour lasers oscillating in deep ultraviolet, visible and middle infrared spectral ranges, *Physica Scripta*, 149, 2012, art. No. 014015.
- [31] J. T. Mouchovski, K. A. Temelkov and N. K. Vuchkov, The growth of mixed alkaline-earth fluorides for laser host applications, *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*, 57(1), 2011, 1.
- [32] M. Ilieva, A. Stoyanova, V. Tsakova, N. K. Vuchkov, K. A. Temelkov and W. Erfurth, Effect of deep UV laser treatment on electroless silver precipitation in supported poly-3,4-ethylenedioxythiophene layers, *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 11(10), 2009, 1444.

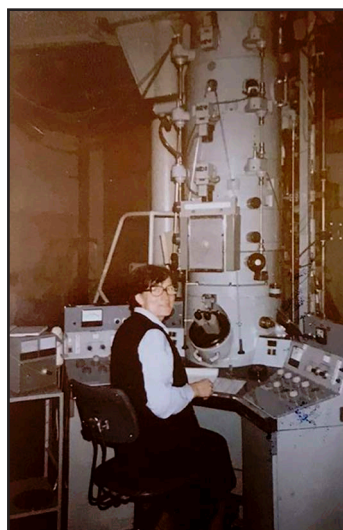
ЗА ЛАБОРАТОРИЯТА ПО ЕЛЕКТРОННА МИКРОСКОПИЯ И ЕЛЕКТРОНОГРАФИЯ И НЕЙНИЯ ОСНОВАТЕЛ ПРОФ. НИКОЛАЙ ПАШОВ

доц. Мария Калицова

Въведение

Електронната микроскопия е направление от физиката, посредством което се изучава реалната структура на твърди тела. Терминът „електронна микроскопия“ е използван за първи път през 1932 г. от Макс Кнол и Ернст Руска (Нобелов лауреат за 1986 г.) в една публикация в списанието *Annalen der Physik*. С тази публикация се дава и първото експериментално потвърждение на теоретичните изводи на Ханс Буш относно възможността да се използват магнитните полета с ротационна симетрия за получаване на електронно-оптични изображения при работа с параксиални лъчи.

Още в зората на електронната микроскопия се формират две основни направления: инструментално, в което главна роля играят постиженията на електронната оптика и методично, което се занимава с физическите закономерности, свързани с взаимодействието на електроните с веществото. Методиката на електронната микроскопия включва голямо разнообразие на техники за препариране на обекти за наблюдение и микроскопиране, а също така – няколко основни подхода за коректна интерпретация на получените при различни режими на работа електронни изображения. В методично отношение електронната микроскопия започва да се развива бързо едва след появата на първите, колкото и несъвършени да са били, лабораторни прибори. След построяването през 1939 г. на първия истински електронен микроскоп от Ернст Руска и Бодо фон Борис, създаден по договор с фирмата Сименс в Берлин, започва важен период в историята на тази значима за физиката изследователска техника. В последвалите 10 – 15 години двата основни клона на електронната микроскопия, в резултат на силната обратна връзка помежду им и с мащабно-



Фигура 1. Електронен микроскоп в Института по физика и електронна микроскопия в гр. Хале, Германия, на който са работили и сътрудници от ЛЕМЕ.

то участие в процеса на научни и производствени центрове не само в Европа, но и в САЩ и Япония, изграждат стабилна научна основа, върху която продължава да се развива нейната силно разклонената структура. Усъвършенстването на електронномикроскопската техника и компютъризацията на управлението ѝ достига до такова ниво, че електронният микроскоп все повече добива облика на една своеобразна „черна кутия“ (Фигура 1).

С развитието на приборостроенето на преден план излизат методичните проблеми на електронномикроскопската практика. Реализацията на много изследователски програми се ограничава вече не от възможностите на прибора, а от недостатъчно бързото развитие на методичните основи и главно от несъвършенствата на препаративната техника при изучаване на реалната структура на твърди тела.

Историческо развитие на ЛЕМЕ в ИФГТ

Началото на Лабораторията по електронна микроскопия и електрография (ЛЕМЕ) е поставено от научните работници Николай Пашов и Михаил Михайлов още през втората половина на 50-те години на миналия век, когато те са служители във Физическия институт (ФИ) на Българската академия на науките с директор академик Георги Наджаков (Фигура 2). След построяването на сградата на ФИ и на реактора в началото на 60-те години на 20-и век ЛЕМЕ започва да функционира в новата сграда и след разделянето през 1972 г. на Физическия институт на Институт за ядрени изследвания и ядрена енергетика и Институт по физика на твърдото тяло



Фигура 2. М. Борисов, А. Стригачев, Н. Пашов, Е. Ватева, Р. Зайков, Е. Карамихайлова, Н. Калицин във ФИ (таванските помещения на ЦУ-БАН в края на 50-те години на 20-и в.).

(ИФТТ) тя става част от научноизследователската инфраструктура на ИФТТ. Основната част от научните изследвания на колектива са насочени към различни режими на работа на трансмисионната електронна микроскопия (ТЕМ).

В началото на 60-те години на миналия век е закупен и монтиран в сградата на ръководения от акад. Наджаков институт трансмисионен електронен микроскоп на фирмата Hitachi с максимално ускоряващо напрежение 100 keV. Монтажът и пускането му в действие се осъществява с помощта на японски специалист от фирмата производител. Към работната група на ЛЕМЕ са включени още физикът Евгения Кантарджиева и техническият помощник Мария Георгиева. Акад. Георги Наджаков изпраща Николай Пашов на дългосрочна специализация в Института по физика на твърдото тяло и електронна микроскопия на Академията на науките на ГДР в гр. Хале, където по това време електронната микроскопия е най-силно развита от всички страни в социалистическия лагер. При престоя си в ГДР Николай Пашов създава стабилни научни връзки с немските колеги акад. Бетге и проф. Хайденрайх. По-късно през 70-те години в Хале е създаден Организационен комитет по електронна микроскопия, който се ръководи от акад. Бетге и проф. Хайденрайх, а проф. Николай Пашов е негов член като представител на България. Организационният комитет има за цел усъвършенстване на специалистите от социалистическия блок. Той периодично организира школи, които се провеждат в немския Институт по физика. Изтъкнати специалисти от цял свят в областта на електронната микроскопия изнасят лекции, съпътствани от лабораторни упражнения за изучаване на най-съвременните за времето си техники на електронната микроскопия (ЕМ) и електронната дифракция (ЕД).

Към средата на 70-те години към ЛЕМЕ се присъединяват и научните сътрудници Стефан Симов и Мария Калицова, работещи дотогава в лабораторията „Научна апаратура и специални проблеми“, която е ръководена от акад. Георги Наджаков (Фигура 3).

Проф. Николай Пашов като ръководител на ЛЕМЕ в ИФТТ (1973 – 1994) и член на Организационния комитет по ЕМ редовно изпраща своите сът-



Фигура 3. Сътрудниците на ЛЕМЕ в планината (от ляво на дясно: Ст. Симов, Н. Пашов, М. Калицова и М. Георгиева).

рудници М. Михайлов, Ст. Симов и М. Калицова на школите, провеждани в Хале и така допринася за повишаването на тяхната научна квалификация. На школите се създават международни връзки, които спомагат на учените от ЛЕМЕ да развиват научна дейност на съвременен ниво. През 1987 г. Николай Пашов защитава хабилитационен труд „Върху някои приложения на електронната микроскопия при изучаване на реалната структура на твърди тела“, след което е избран за професор в ИФТТ. Ст. Симов е изпратен в началото на 80-те години на дългосрочна специализация в Реймс, Франция. Там се насочва към определен тип изследвания, които са в основата на защитената от него през 1989 г. докторска дисертация със заглавие „Един подход за тримерна реконструкция от двумерни изображения на електронномикроскопски обекти“. В резултат на съвместената му работа с колеги от Реймския университет се установява дългосрочно научно сътрудничество между България и Франция. По това време научен сътрудник М. Калицова е изпратена на едномесечна специализация върху проблеми на йонната имплантация и взаимодействието ѝ с твърдо тяло в Римския университет, Италия. На тази основа е установено сътрудничество между БАН и Римския университет, а тя защитава докторска дисертация на тема „Дефектна структура в германиеви кристали, имплантирани с Te^{+} йони“. Тези три сътрудничества допринасят за постигането на значими на международно ниво научни резултати в ЛЕМЕ. След пенсионирането на проф. Николай Пашов за ръководител на Лабораторията е назначена доцент Мария Калицова. Тя успява да привлече на работа две млади физички – Анита Пеева и Теменужка Телбизова. Установените научни връзки с Германия позволяват както на Пеева, така и на Телбизова да започнат редовна докторантура в гр. Хале, която всяка от тях завършва успешно, и двете остават на работа там. Лабораторията по електронна микроскопия и електронография продължава да съществува до оттеглянето на доц. Калицова от активна дейност.

Основни научни резултати, получени в ЛЕМЕ

Основните научни постижения на учените от Лабораторията по електронна микроскопия и електронография могат да бъдат групирани в няколко направления:

- Развиване на ефективна методика за получаване на тънки кристали Ge и LiF при кристализация на разтопени течни фази от тези материали и тяхното изследване с конвенционална електронна микроскопия [1, 2].

С помощта на получените по този метод Ge кристали са установени неочаквани от гледна точка на тогавашните представи ефекти на аномално силна вторична електронна емисия и са изследвани нейните зависимости от работното напрежение и дебелината на кристала. Изследвани са също причините, довели до генерация на дислокации в тях. Показано е, че в об-

разци с променлива дебелина от съществено значение са процесите на масова генерация на дислокации в клиновидните зони на кристала. На базата на тези представи е предложен модел за образуване на дислокационните системи (Фигура 4) и на сплитания в решетката на Ge (Фигура 5).



Фигура 4. Зони на образуване на дислокационни системи, означени с А и В, $E=65\text{ kV}$.



Фигура 5. Сплитания и зони с висока концентрация на точкови дефекти, означени със стрелки, $E=1\text{ MV}$.

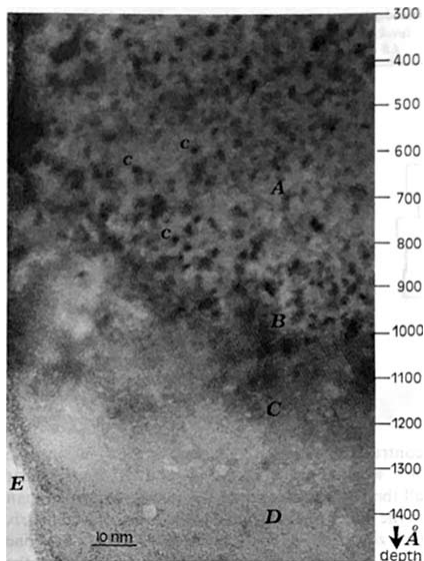
Тази тематика е разработена главно от основателя на Лабораторията по електронна микроскопия и електронография проф. Николай Пашов (1929 – 2008). Неговите научни приноси и разработки са разнообразни и включват не само изследване на различни химични съединения и на радиационни дефекти в различни типове кристали, но и на тънки метални и полупроводникови слоеве, на дисперсни системи, прах в атмосферата, на обекти в микробиологията и вирусологията. Многобройни са неговите анализи и експертизи в различни области на индустрията. Той е автор на 70 научни публикации в наши и международни списания, цитирани многократно, на над 30 научно-популярни статии, на монографията „Електронна микроскопия” (ДИ „Наука и техника”, София, 1961). Бил е ръководител по проблеми на електронната микроскопия на шест договора – три у нас и три в чужбина, на две докторски дисертации у нас и консултант на три докторски дисертации у нас и в чужбина. За своята научноизследователска, приложна и научно-организационна дейност е отличен с редица наши и чуждестранни награди и отличия – медал „100 години БАН” (1969); Златна значка на БАН (1973); медал на АН ГДР „20 години научно сътрудничество с БАН – 1957 – 1977” (1977); орден „Кирил и Методий” II ст. (1980); Златна значка на СНРБ (1981) медал „Готфрид Вилхем Лайбниц” на АН ГДР (1993) и др.

В резултат от установеното от доц. Мария Калицова научно сътрудничество на ИФТТ и Римския университет, както и с помощта на действащото вече сътрудничество между ЛЕМЕ и Германия започват изследвания с високо-разделителна трансмисионна електронна микроскопия (ВРТЕМ) на радиационно повредени структури в елементарни и комплексни полупроводници.

- Изучена е в дълбочина дефектната структура на имплантирани със Si йони кристали от GaAs чрез използване на метода на напречни сечения във ВРТЕМ [3]. Установено е наличието на дифузна (сива) зона с протяжност 200 – 300 Å при използваните експериментални условия, която е разположена между имплантираната и неимплантираната част на кристала (Фигура 6).
- При изследването на елементарни имплантирани полупроводници са използвани шайби от монокристален Si и Ge, от които са приготвени образци за ВРТЕМ [4, 5].

– Извършено е едно от първите в света директни наблюдения на атомната структура на изолирани клъстери от точкови дефекти, индуцирани от йонна имлантация на Te^+ в Ge. Получените резултати са сравнени с числено моделираното с код MARLOWE разпределение на дефектите в кристала и е постигнато съществено

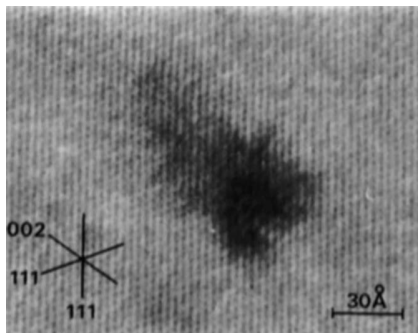
уточняване на научната информация относно реалната структура на радиационното повреждане на твърдо тяло. Потвърдена е експериментално валидността на предложен в литературата механизъм за създаване на локален радиационен безпорядък. Установени са три типа клъстери на радиационни повреждания: с добра кохерентност с матрицата, с нарушена кохерентност и с аморфна зона. Предложен е феноменологичен модел за обяснение на атомната структура, който се базира на разглеждане на плътността на отложената в мишената енергия, свързана с различна концентрация на ваканциите в различните типове клъстери. Наблюдаван е добре изразен интерфейс на границата клъстер – ненарушена кристална матрица (Фигура 7). Показано е, че моделът на енергетичния спайк дава по-добро обяснение в сравнение с модела на линейната колизионна каскада за възниква-



Фигура 6. Микрофотография от ВРТЕМ на $\langle 110 \rangle$ напречно сечение на $\langle 100 \rangle$, имплантиран със Si⁺ йони. Дифузната зона е отбелязана с С.

нето на локален радиационен безпорядък в Ge, имплантиран с тежки йони. Спайковите области възникват при плътност на отложената енергия на порядък по-ниска от стойността на специфичната топлина на топене на Ge, с което е потвърден предложението от Thompson и Walker механизъм на енергийния спайк, според който във възбудената кристална решетка възниква локализиран атермален колапс.

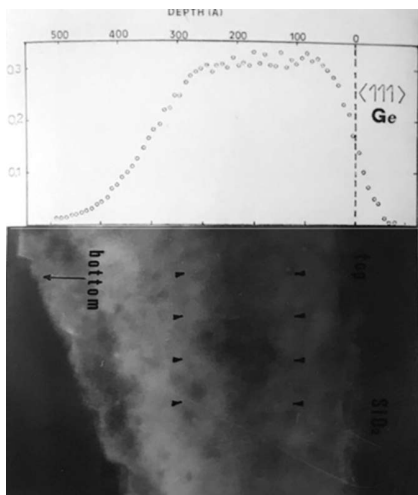
- Установено е влияние на ефектите на каналиране в кристалната решетка върху степента на йонноиндуцирания безпорядък при определена имплантационна доза за три кристалографски направления $\langle 100 \rangle$, $\langle 111 \rangle$ и $\langle 110 \rangle$. Установено е, че най-ниската степен на повреждане на Ge кристал отговаря на най-малката числено пресметната плътност на отложената енергия в най-отвореното кристалографско направление $\langle 110 \rangle$.



Фигура 7. Тъмнополово трилъчево ВРТЕМ изображение на клъстер на повреждане с добре изразена интерфейсна област на границата на клъстера с ненарушената кристална матрица (показана със стрелки) в $\langle 110 \rangle$ Ge.

- Използвайки метода на напречно сечение при ВРТЕМ е получена директна информация на атомно ниво за дълбочинното разпределение на имплантационното повреждане като интегрален ефект (Фигура 8).

- Изследван е близкият порядък на създадената при йонно бомбардиране аморфна фаза в германия посредством фурие анализ на радиалното разпределение на интензитета на електронната дифракционна картина. Установени са фини изменения на близкия порядък в аморфната фаза при вариране на имплантационната доза в интервала $10^{12} - 10^{16}$ йони/см². Обяснението на дозовата зависимост на близкия порядък се свързва с изменението на параметрите на елементарния тетраедър в кристалната решетка на Ge.



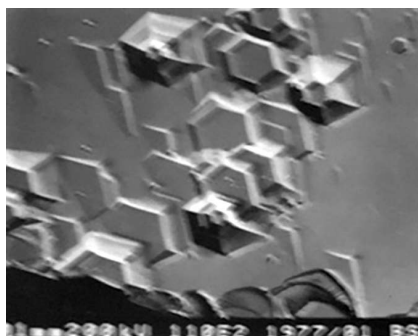
Фигура 8. ВРТЕМ на имплантиран $\langle 111 \rangle$ Ge, ($1.3 \times 10^{12} \text{ Te}^+ \text{ cm}^{-2}$, 46 keV), профил на подреждането, получен от Ръдърфордско обратно разсейване (RBS)/каналране.

- Разработена е проблематика на тримерна реконструкция – определяне на обемната структура и размера на обекти от техните двумерни електронномикроскопски изображения, където водеща роля има доц. Ст. Симов [6, 7]. Тя е продиктувана от изискванията на металознанието, микроелектрониката, микробиологията и др. и отговаря на тенденциите в електронната микроскопия за извличане на максимална информация чрез методите за количествена интерпретация на електронномикроскопските изображения.

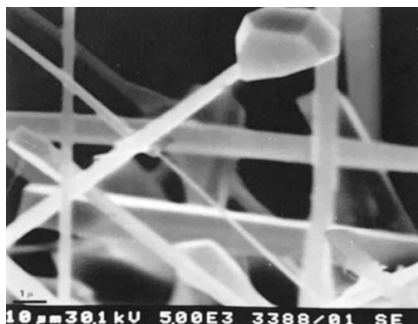
- Разработени са алгоритми за пресмятане на пространствените координати на дискретни точки, способ за оценка на текстури и намиране на параметричните уравнения на криволинейни електронномикроскопски обекти.

- Развит е геометричен метод за тримерна реконструкция на електронномикроскопски обекти от техните двумерни изображения, като са разгледани всички възможни варианти както при ортогонална, така и при централна проекция с дефинирани условия и точност при прехода между тях. Методът е програмно осигурен и това го прави лесно приложим за решаване на конкретни задачи като контрол на обекти за микроелектрониката: анализиране формата на V – образни ями на ецване върху (100) Si, предназначени за сензори, определяне на геометричните параметри на контактни Al шини за MOS интегрални схеми. Той е приложен също за морфометрия на микрокристали върху епитаксиални слоеве и на кристални образувания върху уискери с индексирание на хабитусните им кристалографски плоскости

(Фигура 9). Извършен е оригинален анализ на текстури на тънки слоеве, както и на формата на огънати уискери (Фигура 10).



Фигура 9. Микрофотография от сканиращ електронен микроскоп (PHILIPS SEM 505) на повърхност на епитаксиален слой от CdS, нанесен върху $\langle 111 \rangle$ Ge.



Фигура 10. Микрофотография от сканиращ електронен микроскоп – микрокристално образувание на върха на уискер от кадмиев окис.

Представените резултати са получени от проведените съвместни изследвания на сътрудниците от Лабораторията по електронна микроскопия и електронография в Института по физика на твърдото тяло и изследователи от Академията на науките в ГДР, гр. Хале, Департамента по енергетика на Римския университет, Италия и Университета в гр. Реймс, Франция. Те са докладвани на редица международни конференции, конгреси и симпозиуми, проведени в България, Унгария, Германия, Япония и САЩ. Публикувани са в международни научни списания с голяма научна тежест като: *Physica Status Solidi*, *Journal of Crystal Growth*, *Kristall und Technik*, *Journal of Materials Science*, *Journal of Applied Crystallography*, *Journal of Microscopy*, *Philosophical Magazine A*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, *Japanese Journal of Applied Physics*, *Thin Solid Films*, *Applied Physics A*.

Литература

- [1] N. Paschoff, Wachstum und structur dünner aus schmelz-flüssigen filmen auskristallisierter germanium kristalle, *Phys. Stat Sol.*, vol. 22, 1967, 83.
- [2] P. Metreveli, N. Pashov, Observations of LiF foils grown from the melt, *Journal of Crystal Growth*, vol. 6, No 4, 1970, pp. 314-318.
- [3] M. G. Kalitzova, N. K. Pashov, G. Vitali and M. Rossi, About some peculiarities in defect appearance in elemental and III-V compound semiconducting materials, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, 128, 1989, 683.
- [4] M. G. Kalitzova, D. S. Karpuzov and N. K. Pashov, Radiation defects in Te⁺ implanted germanium. Electron microscopy and computer simulation studies, *Phil. Mag. A*, vol. 51, No 3, 1985, 373.
- [5] M. Kalitzova, G. Zollo, R. Yankov, Ch. Angelov, S. Simov, C. Pizzuto, J. Faur, L. Kilian, R. Bonhomme, D. Manno, M. Voelskow, and G. Vitali, Ion-beam-assisted nanocrystal formation in silicon implanted with high doses of Pb⁺ and Bi⁺ ions, *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 40, No 10R, 2001, 5841.
- [6] S. Simov, E. Simova, B. Davidkov, G. Mechenov, A geometric method incorporated with a computer program for indexing crystal faces of microcrystallites, *J. Appl. Cryst.*, vol. 16, 1983, 559.
- [7] S. Simov, E. Simova, B. Davidkov, Electron microscope study of surface topography by geometrical determination of metric characteristics of surface elements, *J. Microsc.*, vol. 137, No 1, 1985, pp. 47-55.

ИЗСЛЕДВАНИЯ ПО ФИЗИКА НА НИСКИТЕ ТЕМПЕРАТУРИ В ИФТТ – БАН

доц. дфн Елена Назърова

Физическият институт на БАН е създаден през 1946 г. По това време единствените физици членове на академията са акад. Георги Наджаков и чл.-кор. Александър Христов. По-късно за асистент във Физическия институт е назначен д-р Разум Андрейчин. През март 1947 г. институтът получава първото си помещение – кръгла стая на таванския етаж под североисточната кула на сградата на БАН до Народното събрание. Следват години на упорита работа и то не само научна. Построена е нова сграда на института, а след това и експериментален ядрен реактор, пуснат в действие през 1961 г. Така под ръководството на акад. Г. Наджаков, институтът с персонал от само двама научни сътрудници израства като Физически институт с атомно-научна експериментална база (ФИ с АНЕБ) с 6 секции с по няколко лаборатории, 6 специализирани работилници и 120 души персонал, 40 от които научни сътрудници. С пускането в действие на реактора се разширяват възможностите за научни изследвания, но се появява и необходимост от нови съпътстващи дейности, една от които е изграждане на база за получаване на втечнени газове. След проведен конкурс на 27 август 1959 г. в института е назначен инженер химикът Евгени Илиев Леяровски (1933 – 1999). Възложено му е да подготви заявката, закупуването, монтажа и пускането в действие на апаратурата за втечняване на кислород и азот от въздуха. Година след стартиране на тази дейност на 10 октомври 1960 г. ФИ с АНЕБ вече разполага с течен азот. Мечтите на 26 годишния инженер обаче надхвърляли далеч рамките на производствената работилница за втечнени газове. Той искал да се създаде лаборатория по ниски температури, в която да се провеждат научни изследвания при тези условия. Оценявайки ерудицията и ентузиазма на Е. Леяровски, за неговата идея се застъпва зам.-директорът проф. Саздо Иванов. Извървян е труден път за преодоляване съпротивата на директора акад. Г. Наджаков. На заседание на Бюрото на Президиума на БАН, проведено на 5 юни 1963 г., е одобрена структура на ФИ с АНЕБ, състояща се от 13 секции, ядрен реактор и Лаборатория ниски температури с производствен отдел (Протокол 20, т. 9 от 5 юни 1963 г.). Така още в рамките на ФИ с АНЕБ се появява и поема по своя труден път една нова лаборатория, а по същество и една нова идея: развитие на нискотемпературната физика в България. Когато през 1972 г. от „порасналия“ институт на акад. Г. Наджаков се формират няколко научни

института, специализирани в различни области – ядрена физика, физика на кондензираната материя и електроника, лаборатория „Ниски температури“ остава в рамките на Института по физика на твърдото тяло (ИФТТ).

Лаборатория „Ниски температури“ и нейните производни през периода 1963 – 2016 г. „Магнетизъм и ниски температури“, „Свръхпроводимост и свръхпроводими материали“, „Криогеника и криогенно инженерство“ и „Физика на околната среда“ формират направлението „Нискотемпературна физика“ в ИФТТ. Всички те дават неограничен принос за развитие на изследванията в областта на нискотемпературната физика и свръхпроводимостта, в обучението и изграждането на специалисти в тази област. Изследователите от тези лаборатории участват в работата и управлението на международни организации и проекти, подпомагат дейността на различни държавни органи и организации. Не малка част от тяхната работата е насочена към разрешаване на проблеми, свързани с конкретни нужди на научни и производствени организации.

Без претенции за изчерпателност ще се опитаме да разкажем за едни от най-ярките научни и научноприложни постижения на тези лаборатории през годините на тяхното съществуване, за които е писано по-подробно и преди [1, 2].

Първоначалните стъпки на новата лаборатория „Ниски температури“ (ЛНТ) са свързани с два важни проекта с Държавния комитет за наука и технически прогрес: изследвания, свързани с построяването на малък хелиев турбодетандер и метод за получаване на неон и хелий от отпадъчните газове в азот/кислородното производство.

За днешните изследователи, свикнали да работят с фирмени апаратури, поемането на първата задача звучи неразбираемо. Обаче, какви изследвания могат да се правят в лаборатория по ниски температури, в която няма възможност за получаване на течен хелий?! Затова хелиевият втечнител е бил цел и мечта на всички в лабораторията доста години. По спомени на доц. Борислав Николов на мероприятие, свързано с научното сътрудничеството в рамките на СИВ, (проведено в Прага) Е. Леяровски и Л. Калоферов представят доклад, базиран на идеята за използване на турбодетандер за втечняване на хелий. Първоначалната оценка на присъстващия там, световно признат корифей във физиката на ниските температури, Нобеловия лауреат акад. Пьотр Леонидович Капица за доклада е меко казано негативна. Младите изследователи са силно смутени. През 1966 г. в страната пристигат световно известните руски професори Н. Е. Алексеевски и В. П. Пешков (ученик на Капица). При разговорите си с председателя на Държавния комитет за наука и технически прогрес проф. Иван Попов те питат за инженера, който работи по втечняването на хелий с турбина. Въпросът бързо е отнесен до акад. Наджаков и той изпраща Е. Леяровски на разговор при проф. Иван Попов. На

разговора Леяровски отива заедно с Б. Николов. Те пристигат на тази среща твърде притеснени и едва към средата на разговора разбират, че проф. Попов им предлага да получат финансиране, за да реализират своята идея.

Константин Ненков си спомня: „Турбината вече работеше доста добре, до към 200 000 об. в мин. и стигнахме температура към 60 К. По разчетите на Евгени за достигане температурата на втечняване на неона (27 К) бяха необходими 260 000 оборота, а за хелий – около 300 000 оборота. Накрая имахме много добра турбина. Трябваше да получим детандер от ИФП, (Институт физических проблем – Москва) а останалата част – криостат, топлообменници да се правят от нас.“ Й. Георгиев (1942 – 2015) си спомня, че на Пловдивския панаир през 1969 г. е представен модел на неонов втечнител с турбодетандер. Идеята за втечняване на неона чрез използване на турбодетандер е патентована в САЩ през 1969 г. [3].

В металургичния комбинат в Кремиковци съществуват блокове за разделяне на въздуха с цел получаване на кислород. Той е необходим за продухване в пещите с разтопен чугун. Съдържанието на въглерода в чугуна е около 40%. Продушването с кислород цели получаване на въглероден диоксид, намаляване количеството на въглерода и получаване на стомана, в която въглеродното съдържание е около 3 – 5 %. Въздухът се втечнява като се прекарва под високо налягане през топлообменници, в които тече течен азот. Кислородът и азотът се втечняват, но се формира остатъчна газова смес, съдържаща ценните газове аргон, хелий, криптон, ксенон и неон. Представлява проблем по-нататъшното разделяне на неона и хелия, защото течният неон разтваря хелия. През 1970 г. Леяровски публикува своята идея за получаване на неон и хелий от въздуха (или газовата смес в кислородната индустрия) чрез адсорбция при азотни температури [4]. Методът позволява да се получат много чисти неон (99,98%) и хелий (99,90%) без каквито и да е междинни фракции и висок коефициент на екстракция за двата газа. Той се базира на процеси на адсорбция – десорбция при ниски температури и при нарастващо или частично намалено налягане съответно. Предимство пред другите методи е, че двата газа се получават едновременно и не е необходимо да се пречиства сместа от водород независимо от неговата концентрация [5]. Първоначалната идея е патентована в България, а след това патентът „Получаване на инертни газове неон и хелий от промишлени инсталации за разделяне на въздуха“ е признат последователно в САЩ, Индия, Франция, Англия и Австралия [6]. Колективът ръководен от Е. Леяровски, в който влизат още Б. Николов и Йордан Георгиев получава златни медали на Международния салон за изобретения, патенти и иновации в Женева (1973 г.) и на Световния салон за иновации в Брюксел (1975 г.).



Златните медали на Е. Леяровски, Б. Николов и Й. Георгиев получени в Женева и Брюксел.

Въпреки огромните усилия (подготвени са 200 – 300 папки с проекти) тази разработка не се внедрява в Кремиковци. Обяснението е дадено от директора на комбината. При евентуално производство на неон и хелий това ще бъдат продукти, които ще се реализират по така нареченото второ направление (за валута). На комбината ще бъде спуснат план за печалбата при не изпълнението, на който ще се носи сериозна отговорност и ще се налагат наказания. За да си спести това, директорът не е заинтересован от внедряване на предложението.

През 1974 г. Е. Леяровски е избран за зам.-директор на Международната Лаборатория за Силни Магнитни Полета и Ниски Температури (МЛСМПНТ) и той заминава за Вроцлав, Полша. Това събитие има огромно значение и за развитието на Лаборатория „Ниски температури“ в ИФТТ. Отваря се изключителна възможност за изследвания по магнетизъм и свръхпроводимост. Подготвяйки експериментите и образците си, колегите отиват в командировка и в продължение на един месец провеждат изследвания заедно с полските сътрудници в МЛСМПНТ. През този период (1974 – 1978 г.) Л. Леяровска и Е. Леяровски провеждат изследвания върху серия борида от вида MeB_2 ($Me=Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo$) [7]. Те търсят свръхпроводимост в тези съединения до температура 0,42 К. Оказва се, че само NbB_2 е свръхпроводник с критична температура $T_c = 0,62$ К. Синтезирани и изследвани са съединения на бора с някои преходни и непреходни метали $CaB_6, SrB_6, BaB_6, W_2B_5, CrB, Cr_3B_3, UB_2, UB_4$ и UB_{12} . За съжаление MgB_2 не е синтезиран, а свръхпроводимост не е търсена в съединението UBe_{13} , което е било получено [8]. Така е пропусната възможността да се открие свръхпроводимост в MgB_2 и в UBe_{13} още в 1979 г. Когато в 2001 г. е открита свръхпроводимост в MgB_2 [9], статията на Л. Леяровска и Е. Леяровски получава над 130 цитата. По-късно се установява, че в това съединение свръхпроводимостта се базира на електрон-фононно взаимодействие и то притежава най-високата критична температура $T_c = 39$ К за този



Вроцлав, 1971 г. Отляво надясно: К. Калайджиев, Е. Леяровски, Ал. Мирков, проф. С. Иванов, В. Ловчинов.

клас (класически) свръхпроводници. Полските колеги от МЛСМПНТ и Института по ниски температури и структурни изследвания във Вроцлав провеждат систематични изследвания на MgB_2 и проучват възможността за получаване на свръхпроводими жици от него.

След завръщането си от Вроцлав Евгени Леяровски и Ламбриня Леяровска, заедно с Христо Попов и Йордан Георгиев полагат много усилия, за да направят специален криостат и вставка за кондензация на хелий 3 и получаване на рекордно ниски температури. Когато системата заработи, отивайки на работа сутрин, виждахме лист поставен на вратата на стаята от колегите, свързани с експеримента. На този лист те ни уведомяваха до колко градуса са успели да понижат температурата предната вечер. От дневника на Л. Леяровска се вижда, че на 20 януари 1982 г. успешно е достигната температура 0,323 К. Рекордът, който беше постигнат от тях в нашата лаборатория, беше 0,270 К! Това е толкова близо до абсолютната нула!

С назначаването на Михаил Бушев, Николай Тончев, Димо Узунов, Никола Тодоров, Йонко Милев, Елка Коручева, проф. Е. Леяровски насърчава и спомага да се формира в ръководеното от него звено, група от теоретици, работещи в областта на теорията на фазовите преходи и критичните явления, свръхпроводимостта, магнетизма и квантовата механика като области, тясно свързани с обяснението на редица физични явления, които са характерни за нискотемпературната физика. От голяма важност за тяхната работа в началото е сътрудничеството с водещи съветски институции и особено с Обединения институт за ядрени изследвания в Дубна. По-важни теми

в теоретичните изследванията са: строги резултати в теорията на фазовите преходи, свързани с метода на апроксимиращия хамилтониан, теория на крайно-размерното подобие в критичните явления, съществуване на магнетизъм и структурни фазови преходи, свръхпроводимост и феромагнетизъм, флукуационни явления, изследвани по теория на пертурбациите с метода на ренормализационната група, неконвенционална свръхпроводимост и др. Публикувани са множество статии, посветени на най-модерните области на теорията в реномирани международни списания. Издадени са и знаковите монографии [10 – 13], приносите в които са признати от международната научна общност и са многократно цитирани в специализираната литература. В частност, в своя предговор към монографията [10], акад. Николай Николаевич Боголюбов високо оценява приноса на авторите – руски и български учени „в един от най-интересните и ефективни методи в статистическата физика – метода на апроксимиращия хамилтониан“.



Монографии, учебник и глава в книга с автори от лабораторията.

В областта на експеримента трябва да добавим още и монографиите на колегите експериментатори: проф. Веселин Ковачев [14]; Павлина Симеонова и Васил Ловчинов [15], в които е обобщен техният значим международно признат принос в съответните области.

Друго специфично направление на изследвания, ръководено от проф. Веселин Ковачев, са променливотоковите загуби в свръхпроводниците от втори род: А-15 (Nb_3Sn , Nb_3Ge), С-15 (V_2Hf и някои тройни фази на Лавес) и В-1 (NbN). Стойностите на загубите са определяни с електронен ватметър, който умножава два сигнала: единия пропорционален на напрежението, индуцирано в образеца, и втори пропорционален на компонентите на



Електронен ватметър за изследване на променливо-токовите загуби на енергия в свръхпроводниците.

променливото магнитно поле. Електронният ватметър, който нашата лаборатория имаше за измерване загубите на енергия, беше признат като най-подходящата техника за изследване на дисипация на енергия от индуцирано променливо магнитно поле в свръхпроводник [16] и предложена в САЩ като стандартна за подобен род изследвания. Това ни правеше една от най-квалифицираните лаборатории в света по изследване на дисипативни процеси в свръхпроводници [14]. За пръв път в литературата беше докладвано за съществуването на минимум в променливо-токовите загуби в Nb_3Sn при наличието на променливо и постоянно магнитни полета [17]. Подобен минимум експериментално е наблюдаван не само в Nb_3Sn , а в обемни образци Nb [18] и тънки слоеве от NbN [19]. Установено е, че положението на минимума не зависи от нивото на обемния пининг [20], но той е по-дълбок за образците Nb_3Sn с относително по-слаб обемен пининг. Експериментално получените данни за минимума на загубите могат да се използват за определяне на зависимостта на критичния ток“ и повърхностния барьер от магнитното поле ($J_c(B)$, $\Delta H(B)$) [18 – 19]. Минимум на загубите е наблюдаван и при суперпозиция на постоянно и променливо магнитни полета и постоянен транспортен ток в Nb като е установено известно „запълване на минимума предизвикано от транспортния ток [18].

Месеци след излизане на съобщението на J. G. Bednorz, K. A. Müller [21] за възможна високотемпературна свръхпроводимост в Ba-La-Cu-O в института е получен и изследван първият образец. С помощта на проф. М. Господинов (ръководител на Лабораторията по израстване на кристали) е синтезиран образец Y-Ba-Cu-Pt-O и в него е регистриран свръхпроводим преход при $T = 86,5$ K. Наблюдавано е антиферомагнитно подреждане в този материал [22]. През следващите години следва лавина от съобщения за нови фамилии от свръхпроводими съединения с нарастваща критична температура. В лабораторията са синтезирани и образци от системата Bi-Sr-Ca-Cu-O и са получени сребърно обвити ленти на базата на този материал [23]. Поради отсъствие на условия за работа със силно токсични елементи друг тип образци не са синтезирани. Единствен колегата Н. Балчев работи с Hg – базираната система при дългосрочната си командировка в Белгия [24]. След откриване на желязо базираните свръхпроводници през 2008 г. в лабораторията са синтезирани и изследвани поли- и монокристални образци от FeSe и FeSeTe [25, 26, 27]. Проведени са едни от първите

докладвани в литературата изследвания за влиянието на добавката на сребро в системата FeSe [28, 29]. Установена е корелация между минимума на скоростта на пълзене на потока като функция на магнитното поле ($S(H)$) и наблюдавания в FeSeTe втори пик в кривата на намагнитване ($M(H)$) – предизвикващ аномално нарастване на критичния ток с полето ($J_c(H)$) [30].

През 1988 г. е открито така нареченото „гигантско“ магнитосъпротивление. Това е квантово-механичен ефект, позволяващ създаването на структури, в които незначителни изменения на магнитното поле предизвикват значими промени в електрическото съпротивление. Тази технология намира приложение при разработването на компютърните харддискове и позволява значително намаляване на размерите им и увеличаване на обема от информация. Емил Влахов в сътрудничество с колеги от Института по твърдо тяло и материалознание в Дрезден, Германия изследват тънки слоеве от $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ - δ , получени чрез магнетронно разпръскване и $La_{0.7}Pb_{0.3}MnO_3$ - δ – с лазерно отлагане. И в двата материала е установено отрицателно магнитосъпротивление при температури далеч под температурата на Кюри. То може да бъде изменяно в рамките на няколко порядъка чрез контролиране на кислородното съдържание и е възможно да се дължи на тунелиране на спин поляризирани носители през границите на зърната [31].

За нуждите на Националния метрологичен център е изпълнена задача за „Проучване, разработване и проектиране на система от затворени ампули за тройна точка на нискокипящи газове на основни реперни точки от МПТС – 68“ (Международна практическа температурна скала 1968). Създаването на криогенна система за реализиране на основните реперни точки от МПТС – 68 е необходима за осъществяване на държавната проверовъчна схема в нискотемпературния интервал и развитие на еталонната база на страната в температурния интервал 1,8 – 83,79 К.

Колегите Антон Захариев, Йордан Георгиев и Димитър Димитров са работили по проект с НФНИ на тема „Изследване на тънкослойни термометри“. Целта е да се отговори на въпроса: „Дали тънкослойните платинов термометри са по-добри от жичните такива в интервала от 4,2 К до 77 К?“. Количеството на скъпата платината, в тънкослойните термометри е значително по-малко в сравнение с това в жичните термометри и замяната ще има положителен икономически резултат. Изследванията показват, че чистата платина има различно съпротивление от тънкослойния платинов слой заради влиянието на подложката (кварц) върху платиновия слой. За описание на калибровката на тънкослойните термометри е предложен полином от 7 степен, който с голяма точност описва споменатото отклонение на съпротивлението на тънкослойните термометри [32], произвеждани от Прибор АД, Копривщица.

В наши дни свръхпроводимите технологии намират все по-широко приложение в различни области: магнити за ускорители, медицинска

и научна апаратура, за магнитна сепарация; кабели за пренос на енергия; електрически мотори, генератори, трансформатори; транспорт базиран на магнитна левитация и др. Липсата на специалисти в това направление в страната затруднява не само разработването, но и използването на подобни вносни устройства (например медицинската апаратура за ядрен магнитен резонанс, в която магнитното поле се генерира от свръхпроводим магнит).

Авторът изказва дълбоката си благодарност на проф. Николай Тончев, ръководител на направление „Нискотемпературна физика“ в ИФТТ за текста, свързан с теоретичните изследвания и за ползотворната дискусия по целия ръкопис.

Литература

- [1] N. S. Tonchev and V. Kovachev, Journ. of the Bulgarian Acad. of Sci., No 4, 2005, 18-23.
- [2] N. S. Tonchev, K. Kalaydjiev, M. Bushev, Chr. Popov, N. Todorov, M. Kirov and M. Baychev, Jubilee Collection, 30th Anniversary of ISSP, BAS, ed. A. G. Petrov, 2002, p.151.
- [3] Evgeni Iliev Leyarovski and Zvetan Spassov Nanev, Method and Apparatus for Liquefaction of Neon, United States Patent Office 3 473 342 Patented Oct. 21, 1969.
- [4] E. I. Leyarovski, Cryogenics, vol., 10, 1970 48-52.
- [5] E. Leyarovski, J. Georgiev, B. Nikolov, Cryogenics, vol. 26, 1986, 431.
- [6] E. Leyarovski, B. Nikolov, Patents Bg. Nr. 10549 (25.05.1964), Nr. 16129 (1970), Nr. 15719 (1971), USA Nr. 5548 (02.07.1965), Nr. 3854914 (1974), UK Nr. 1372602 (1972), Australian Nr. 470487 (1976).
- [7] L. Leyarovska, E. Leyarovski, J. Less-Common Metals, vol. 67, 1979, 249.
- [8] D. Kaczorowski, J. Klamut, A. J. Zaleski, arXiv:cond-mat/0104479 v1.
- [9] J. Nagamatsu, N. Nakagawa, T. Muramaka, Y. Zenitani, J. Akimitsu, Nature vol. 410, 2001, 63.
- [10] Н. Н. Боголюбов(мл.), Й. Г. Бранков, В. А. Загребнов, А. М. Курбатов, Н. С. Тончев „Метод Аппроксимирующего Гамильтониана в Статистической Физике“, Издательство БАН, София, 1981.
- [11] J. G. Brankov, D. M. Danchev and N. S. Tonchev “Theory of Critical Phenomena in Finite-Size Systems; Scaling and Quantum Effects” in: Series in Modern Condensed Matter Physics, vol. 9, World Scientific, 2000.
- [12] M. Bushev, „SYNERGETICS: Chaos, Order, Self-organization” издадена от World Scientific, Singapore, 1994.
- [13] Dimo I. Uzunov, „Introduction to the theory of critical phenomena” (World Scientific, 1992); Second edition, World Scientific, 2010.

- [14] V. Kovachev, „Energy Dissipation in Superconducting Materials“, Oxford University Press, UK, 1991.
- [15] П. Симеонова и В. Ловчинов, „Увод във физиката на околната среда“, изд. „Авангард Прима“, 2008.
- [16] M. Majoros, F. Gemery, I. Kokavetz, L. Krempaski, M. Polak, L. Tzesnak, P. Dolgosheev, N. Poliakova, V. Sitnikov, V. Dzugutov, L. Fisher, V. Kovachev, K. Nenkov, E. Nazarova, M. Czyczek, *Electrotech. J.*, Bratislava, Czechoslovakia, vol. 39, 1988, 202.
- [17] V. Kovachev, *J. Appl. Phys.*, vol. 51, 1980, 3812.
- [18] V. Kovachev, K. Nenkov, E. Nazarova, E. Vlahov, M. Mikhailov, *Cryogenics*, vol. 25, 1985, 178.
- [19] V. Kovachev, V. Lovchinov, K. Nenkov, E. Nazarova, M. Bichkova, A. Korjov, *Phys. Stat. Sol. (a)*, vol. 91, 1985, K151.
- [20] V. T. Kovachev, E. K. Nazarova, *Proceed. of ICMC*, 11-14 May 1982, pp. 162-166, Kobe, Japan.
- [21] J. G. Bednorz, K. A. Müller, *Zeitschrift für Physik B: Cond. Matter*, vol. 64, 1986, pp. 189-193.
- [22] V. Kovachev, E. Vlachov, K. Nenkov, V. Lovchinov, M. Gospodinov, A. Stoyanova – Ivanova, D. Dimitrov, T. Mydlarz, *Int. J. of Modern Physics B*, vol. 1, 1987, 223-229.
- [23] V. Lovchinov, D. Dimitrov, P. Simeonova, G. Kallias and E. Moraitakis, *Supercond. Sci. Technol.*, vol. 13, 2000, 1042.
- [24] N. Balchev, F. Van Allemeersch, F. Persyn, Jeannot Schroeder, R. Deltour, Serge Hoste, *Supercond. Sci. Technol.*, vol. 10, 1999, 65.
- [25] K. Buchkov, M. Polichetti, K. Nenkov, E. Nazarova, D. Mancusi, N. Balchev, D. Kovacheva, A. Zahariev, S. Pace, *Supercond. Sci. Technol.*, vol. 28, 2015, 035009.
- [26] A. Galluzzi, K. Buchkov, V. Tomov, E. Nazarova, A. Leo, G. Grimaldi, S. Pace and M. Polichetti, *J. Appl. Phys.*, vol. 123, 2018, 233904.
- [27] A. Galluzzi, K. Buchkov, E. Nazarova, V. Tomov, A. Leo, G. Grimaldi, S. Pace and M. Polichetti, *J. Appl. Phys.*, vol. 128, 2020, 073902.
- [28] E. Nazarova, N. Balchev, K. Nenkov, K. Buchkov, D. Kovacheva, A. Zahariev, G. Fuchs, *Supercond. Sci. Technol.*, vol. 28, 2015, 025013.
- [29] E. Nazarova, N. Balchev, K. Nenkov, K. Buchkov, D. Kovacheva, A. Zahariev, G. Fuchs, *Supercond. Sci. Technol.*, vol. 28, 2015, 125013.
- [30] M. Polichetti, A. Galluzzi, K. Buchkov, V. Tomov, E. Nazarova, A. Leo, G. Grimaldi & S. Pace, *Scientific Reports*, vol. 11, 2021, 7247.
- [31] K. Dörr, K.-H. Müller, E. S. Vlahov et al., *Journal of Applied Physics*, vol. 83, 1998, 7079.
- [32] A. L. Zahariev, J. K. Georgiev, G. A. Kolev, J. N. Petrinski and Tz. Ivanov, *Cryogenics*, vol. 34, 1994, 487-489.

ТЕОРЕТИЧНИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ В ИФТТ НА БАН

проф. дфн Хасан Шамати

Исторически бележки

Началото на направление „Теория“ е поставено през 1970 г., когато е създадена секция „Квантова механика и теория на твърдото тяло“ във Физическия институт на Българската академия на науките. Първият му ръководител е акад. А. Дацев. След обособяването на ИФТТ като самостоятелен институт, отделът е преименуван на „Проблемна група по теория на твърдото тяло“. От 1977 до 1981 г. ръководител на групата е доц. кфн Караиванов. През 1981 г. ст.н.с. дфмн Д. Пушкарков е избран за ръководител (до пенсионирането му в края на 2010 г.) на проблемната група, която след промяна в структурата на ИФТТ става „Направление теория“. За кратко време този пост заема проф. дфн Н. Иванов, а от април 2012 г. до сега, ръководител е проф. дфн Х. Шамати.

Първоначално в звеното са назначени 4-ма учени. През годините в теоретичната група са работили голям брой учени, повечето от които притежават научната степен „доктор“ от престижни университети на различни страни. Обучавани са млади кадри, които са израснали като учени с международно признание. Някои от тях работят в чужбина, а други продължават делото на създателите му и обучават и те на своя ред достойни ученици.

Богатото разнообразие на физическите свойства на кондензираните среди, включително и на наноразмерни материали, предоставя огромен потенциал за тяхното практическо приложение в съответствие с ежедневните потребности на хората в съвременния свят. Те могат да се използват в направата на прибори за различни технологични сфери като електроника, сензорика, фотоника, енергетика и други. В направлението са провеждани и се провеждат теоретични изследвания с цел разбиране ролята на фундаменталните взаимодействия, включващи множество степени на свобода и въздействието на външни източници. Основната цел е изучаването на основните физически механизми, които водят до появата на определени физически явления и намирането на начини за въздействие върху тяхното поведение. Изследванията касаят фундаментални аспекти във физиката и са приложими в съвременното материалознание и нанотехнологията.

Научна дейност

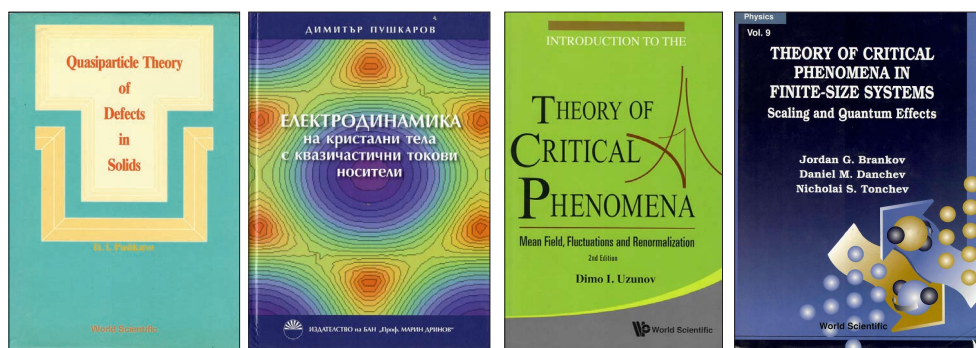
Едно от направленията в теорията на кондензираната материя, което се развива през 70-те години на миналия век, е изследването на дефекти в

кристални твърди тела и тяхното влияние върху термодинамичните, електрическите, магнитните и транспортните свойства на различни материали. Локализираните състояния на квазичастиците, които възникват около точкови дефекти (примеси, празни места и т.н.), както и в близост до дислокации и равнинни дефекти, са разгледани в серия от работи на Х. Пушкаров и др. Изследвани са различни видове елементарни възбуждания – магнони, екситони, електрони и др. Резултатите са получени с помощта на мощни теоретични методи и техники, в това число температурни функции на Грийн, анзац на Бет, уравнение на Дайсън и др. Централна тема е изследването на феро- фери- и антиферо- магнити, слоести магнитни структури и др. Магнитните възбуждания и техният ефект върху физичните характеристики на твърдите тела са разгледани на базата на Хамилтониана на Хайзенберг и неговите модификации („лесна“ ос и „лесна“ равнина). Специално внимание е отделено на ролята на дислокациите и повърхностите.

Основен проблем на магнитните възбуждания е свързан с техните колективни свойства (статистика). Кинематичното взаимодействие между магнони в различни представяния води до сложен спектър от възбуждания, който се състои от единични и свързани състояния. Този проблем е разгледан първо от Блок и енергийният спектър на магنونните свързани състояния е получен за изотропен магнит. Обща формула за магنونно свързани състояния в анизотропна Хайзенбергова верига е получена от И. Гочев. По-късно в някой свои работи той показва, че някои солитонни образувания могат да бъдат представени като серии от магنونни свързани състояния. Стъпвайки върху тези резултати, съвсем скоро бяха определени оптималните условия за контрол върху състоянието на кубит посредством магнитни солитони в нелинейни среди от колектив под ръководството на Х. Шамати. Важен принос в теорията на магнетизма има и в трудовете на Н. Иванов.

Друга област на изследване, която обединява усилията на учени от Направлението, е теорията на нелинейните явления и солитоните във физиката на кондензираната материя. В България изследванията в тази модерна област започват с научните трудове на Д. Пушкаров и Х. Пушкаров, последвани от работите на Р. Атанасов, М. Приматарова, К. Стойчев, Р. Камбурова и др. Заслужава да се отбележи и първата квантова теория на краудионите, новите нелинейни квазичастици, въведени в различни решетъчни структури и т.н. Решени са редица нови нелинейни уравнения и са намерени нови солитоноподобни решения. Теорията на краудионите е използвана за обяснение на някои особености в масовата дифузия в Na и K. Учените от направление „Теория“ имат също значителен принос в теорията на нелинейните явления и солитоните в нелинейните оптични среди.

Относително независима област на изследване е теорията за дефектите в квантовите кристали, където са получени редица нови резултати и някои прог-



нозирани ефекти са потвърдени експериментално. Важни постижения са постигнати в теорията на квантовите структури от Р. Атанасов в сътрудничество с проф. Ф. Басани (Пиза) и проф. В. М. Агранович. Разгледани са подробно единични и множество симетрични и асиметрични квантови ями и е изчислен тензорът на нелинейната оптична чувствителност. Резултатите са приложени към различни материали, включително хибридни органично-неорганични.

С присъединяването на Н. Тончев, Е. Коручева и Д. Узунув към Направлението се открива нова област на изследване – съвременни проблеми на статистическата механика: колективни явления, критични явления и фазови преходи. Теорията на фазовите преходи се основава на разглеждане на „идеализирани“ класически модели, например модела на Изинг (Ising): система от магнитни моменти (намиращи се на възлите на проста кубична решетка), всеки от които има две възможни състояния. За простота се предполага, че взаимодействието е само между най-близки съседни моменти. За такива системи статистическата физика дава детайлно описание на поведението на редица термодинамични величини в непосредствена близост до точката на фазовия преход. Фазовите преходи от своя страна са свързани със сингулярности (имащи място в термодинамичната граница: безкраен обем и безкраен брой на моментите при постоянна плътност) на термодинамичните величини. Въпреки относително простия им вид, тези модели могат да описват много добре преходното поведение на някои реални вещества. Тези открития се потвърждават и от най-прецизните експерименти. От друга страна съществуват и други случаи, в които трябва да се отчитат и други свойства, като симетрията, характерът и обсегът на взаимодействието или комбинация от тях. Такива взаимодействия отчитат например наличието на дефекти, кулонови взаимодействия или електромагнитни флуктуации. Те могат да повлияят на рода на фазовия преход, който има място в идеалните модели или не го допускат.

Освен от характера на взаимодействието, термодинамичното поведение се влияе и от геометричната форма на системата, изследвана посред-

ством експериментални техники или компютърно моделиране. Такива системи са или крайни във всички направления (напълно крайни), или тънки слоеве. Ефектите на крайните размери на системата и граничните условия са от фундаментално значение за съвременната теория на фазовите преходи. Нарастващата роля на компютърното моделиране дава силен тласък за развитието на теорията при конкретното изследване на преходни явления, свързани с магнетизма, свръхпроводимостта, структурните фазови преходи и др. Особено важни за теорията са скейлинговите свойства на различните термодинамични величини като свободната енергия, възприемчивостта и др. Например частните значения на скейлинговите функции в точката на фазов преход от втори род определят т.нар. критични амплитуди. Критичната амплитуда, даваща поправките към свободната енергия при наличие на краен размер, се нарича амплитуда на Казимир. Тя е свързана с т. нар. ефект на Казимир в критични системи. Именно с ефекта на Казимир в последно време са свързани надеждите за експериментално наблюдение на редица „тънки“ крайно-размерни ефекти в критични системи.

Мощните методи на статистическата механика бяха и продължават да бъдат успешно приложени от П. Иванов при разглеждане на скалиращите и фракталните свойства на сърдечната динамика и връзката ѝ с поведението на други органи в човешкото тяло. Едно от ярките постижения е доказателството, че човешкият организъм е една „комплексна мрежа“ от взаимно свързани физиологични системи, всяка със собствен регулаторен механизъм, които взаимодействат помежду си и в случай на нарушаване на функциите на една от тях цялата мрежа „се разпада“.

Разработена е обща нелинейна теория на кинетиката и динамиката на квазичастиците с произволен закон на дисперсия в нестационарни деформируеми кристали в електромагнитни полета. Теорията обединява нелинейната теория на еластичността, теорията за транспорта на Болцман и уравненията на Максвел за кристални тела, съдържащи квазичастични възбуждения (електрони, дупки, екситони, дефектони и др.). Изведен е пълен самосъгласуван набор от уравнения, който описва електродинамиката на деформируеми твърди тела с квазичастици. Така е решен проблем, който се появи в самото начало на квантовата теория на твърдите тела. Важно постижение е извеждането на квантово-механичен Хамилтониан на квазичастиците в деформирани твърди тела. Резултатите, получени с помощта на тази теория, като дифузия на дефектони във въртящи се квантови кристали, закрепване на линиите на магнитното поле към кристалната решетка и т.н. не могат да бъдат получени в рамките на предишни теории.

Изследванията в рамките на Направлението се разширяват с включване на математическо моделиране на кондензирани среди. За правилно описание на сложни физически системи, каквито са металите, е много важно да

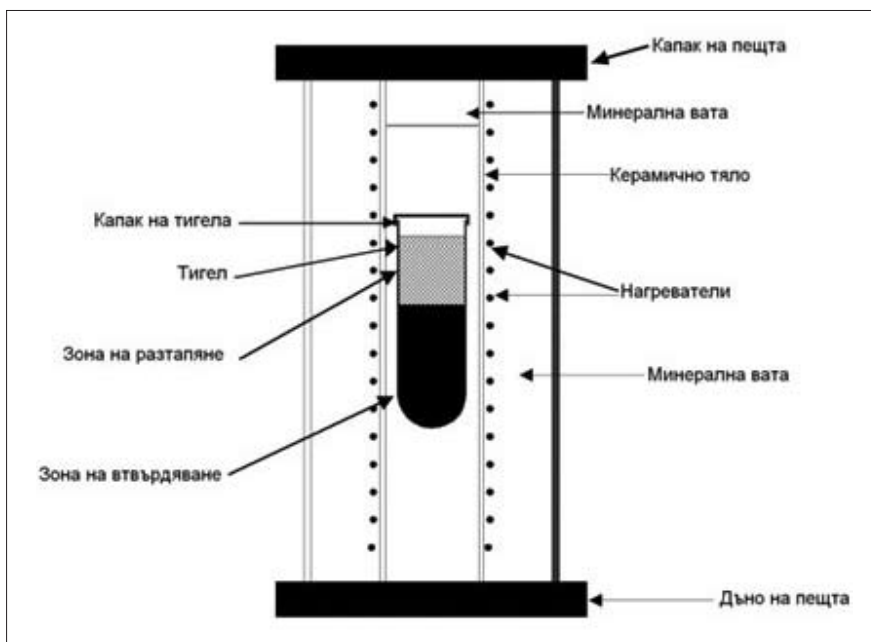
се познава потенциалът на взаимодействие между атомите. Той трябва да дава правилно описание на основни физически свойства, сред които централно място заемат фононните спектри, еластичните константи, модулите на топлинно разширение и др. Определен успех в това отношение е получаването на потенциал на взаимодействие, който правилно пресъздава симетрията на кристалната решетка и параметрите на елементарната клетка на идеалния кристал. Това, което е много важно за съвременното материалознание и приборостроене, е използването му за изследване на свойствата на даденото вещество в наноразмерната област. Съвременните технологии все повече се насочват към получаването и използването на нанокластери, и възможността да се предсказват и/или обясняват техните свойства е от първостепенно значение. Друга важна страна на изследванията в тази област е ролята на дефектите в такива структури. Тези изследвания са стъпка напред към разбирането на сложните физически процеси в класически и квантови кристали с дефекти. Компютърното моделиране дава възможност да се проверяват различни хипотези за ролята на отделни видове взаимодействия, както и точността на различни феноменологични модели. Както вече споменахме, потенциалът на взаимодействие между атомите в една система играе ключова роля в компютърното моделиране. Веднага трябва да отбележа, че ерата на двучастичните взаимодействия отдавна отмина и най-използваните потенциали в съвременната литература са такива, които съдържат много-частични взаимодействия. Съществено за тях е, че те вземат под внимание локалната плътност на електроните в изследваната система.

Научната дейност на учените от направление „Теория“ през последните години, касаят откриването и изследването на нови магнитни материали или нови свойства в известни магнитни материали. Това отваря пътя към тестването и потвърждаването на съществуващите теории и хипотези за описание на магнитните явления и предоставя насоки за възможното им технологично приложение в спинтрониката и нанотехнологиите. Особен интерес представляват материалите, в които има конкуриращи се магнитни взаимодействия, тъй като при тях външните параметри като температура, външно магнитно поле, налягане, изменение на концентрацията влияят по различен начин върху конкуриращите се взаимодействия и дават възможност техните свойства да бъдат управлявани. При теоретичното описание на магнетизма в реални вещества със сложна кристална структура и химичен състав освен обменното взаимодействие е необходимо да се вземат предвид спин-орбиталното (анизотропното) взаимодействие, особено при системи с ниска кристална симетрия, както при двумерни и квазидвумерни системи. Обикновено възникналите магнитни структури имат период, който е съизмерим с този на кристалната решетка, тоест може да бъде изразен като цяло число периоди на тази решетка.

ЛАБОРАТОРИЯ „ИЗРАСТВАНЕ НА КРИСТАЛИ“

проф. дфн Марин Господинов

Лабораторията по израстване на кристали в Института по физика на твърдото тяло (ИФТТ) беше създадена 1981 година като „проблемна група“ с решение на ръководството на Българска академия на науките. В началото тя се състоеше от д-р Марин Господинов, аспиранта Петър Свещаров, химика Светослава Попова и майстор специалиста Петър Велинов. Лабораторията се разрасна с постъпване на аспиранти и дипломанти, като кандидатски дисертации защитиха колегите: доц. Петър Свещаров, доц. Теодор Миленов, доц. Димитрина Петрова, доц. Владимир Тасев, гл. ас. Вихрен Томов, доц. Петя Петкова, инж. Никола Петков, д-р Абубакар Сидик Сампил (Гвинея) и д-р Нгуен Ву – Виетнам. Освен аспирантите в лабораторията с ръководител проф. Марин Господинов работиха също гл. ас. Лидия Янкова, гл. ас. Мариана Велева, доц. Светла Добрева, доц. Здравка Анева, доц. Веселка Памуччиева, доц. Зелма Леви и доц. Петър Рафаилов.



Принципна схема на пещ за израстване на кристали.

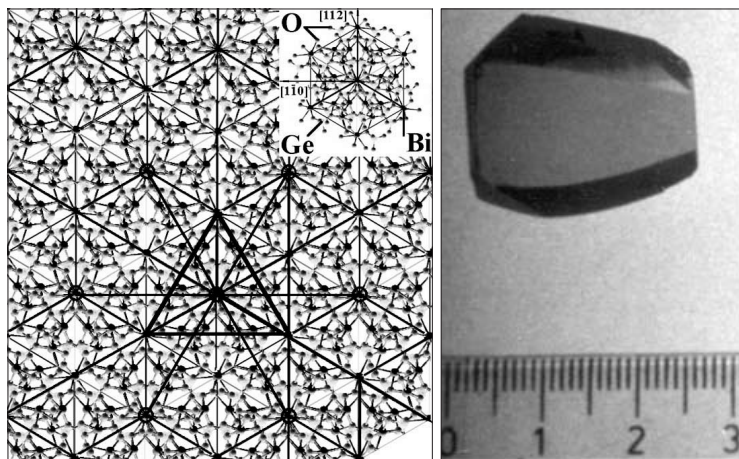
До оттеглянето на проф. Марин Господинов от активна дейност в ръководената от него лаборатория е работено основно по израстване на кристали



Кристал от $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$, получен в Лабораторията по метода на Чохралски.

кристал, за която бяха разработени необходимите софтуер и методика. На тази апаратура се получаваха монокристали от бисмутов силикат ($\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ – материал за нелинейни оптични и акусто-оптични устройства и холографски паметни) и евлитин ($\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ – основен материал за сцинтилационни детектори) с постоянен диаметър до 50 мм., дължина до 150 мм. и тегло до 6 килограма.

по методите: Чохралски, Бриджмен; израстване в разтворители; израстване по метода на газов транспорт; израстване от газова фаза с химически транспорт; твърдофазна кристализация и други. Наред с това голяма част от времето и усилията на колектива бяха насочени в създаването на апаратури за израстване и на компоненти към тях. Създадена беше апаратура за израстване на окисни кристали с тегловен контрол на израствания



Евлитин: кристална решетка (в ляво) и голям шлифован монокристал (в дясно).

Към Лабораторията по израстване на кристали беше създадена и група по електроника за изработване на прецизни регулатори на температура за контрол на технологични процеси, която се ръководеше от инж. Никола Петков и специалиста Орлин Михайлов. Изработени бяха около 50 прецизни терморегулатора, като по-голямата част от тях бе продадена от ИФТТ на други организации – например стъklarските заводи за производството на епруветки за медицината.

Едно от най-големите постижения за времето си на Лабораторията по израстване на кристали е синтезирането на системата Y-Ba-Cu-Pt-O.

Нейното получаване и изследване започна в началото на 1986 година, преди да бъде публикувана работата по високотемпературна свръхпроводимост на Bednorz и Müller от IBM – Zürich, излязла в Zeitschrift für Physik през април 1986 г. [1]. Проф. Марин Господинов беше поканен за провеждане на експерименти по израстване на кристали с перовскитна структура в Университета в Кьолн, където немските колеги активно са обсъждали високотемпературните свръхпроводници – един много интересен и много актуален проблем. При завръщането на проф. Господинов от Германия, още в началото на 1986 година, бяха стартирани експерименти по получаване на този материал в ИФТТ. През февруари 1986 г. беше получен свръхпроводящият материал, което беше установено с ефекта на Майснер в ИФТТ, а провеждането на изследвания се извършваше във Физическия факултет на СУ „Св. Кл. Охридски“ от групата на проф. Матей Матеев. На Първата международна конференция в Шанхай – Китай през юни 1986 г. проф. Матеев представя доклад за този материал с преход към свръхпроводяща фаза при 90 К, с автори от ИФТТ и СУ. Поради това, че синтезът е направен при високи температури – около 1100 °С в тигел от платина, се оказва, че се е получило ефективно легиране с платина на обемния материал, което прави съединението по-стабилно в широк температурен диапазон без промяна в свръхпроводящите свойства. Съединението беше изследвано от групата на проф. Веселин Ковачев в ИФТТ, и в него тя регистрира свръхпроводящ преход при $T = 86,5$ К. Наблюдавано е и антиферромагнитно подреждане в този материал [2].

В Лабораторията се работеше непрекъснато по проекти, финансирани от Фонда за научни изследвания. На четири от тях ръководител е проф. Марин Господинов, две са с ръководител доц. Теодор Миленов и един с ръководител Владимир Тасев. Всички тези проекти приключиха в срок и при отчитането получиха високи оценки.

Освен с проекти на Министерството на науката и образованието колективът на Лабораторията по израстване на кристали е участвал и в два



Изолirana с минерална вата пещ за израстване на кристали, използвана в Лабораторията.

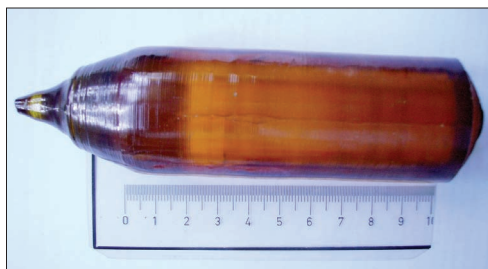
проекта с външни възложители. Те бяха изключително наукоемки, свързани с високотехнологично оборудване и употреба на скъпи материали и технологии. Първият от тях, който е озаглавен „ЖИКАТЕЛ“, е по т.н. по това време „специален план“ с Министерство на отбраната по линия на Варшавския договор. Той се изпълняваше съвместно с Полската военнотехническа академия и специалните звена на Съветската отбранителна промишленост. Договорът започна през 1987 г. и трябваше да продължи 5 години. Задачата беше да се получат и изследват детектори на инфрачервено излъчване в двете важни за приложения области на спектъра: 3 – 4 микрона за излъчването на танкове, камиони и соплата на самолетите и 8 – 12 микрона за топлинното излъчване на т.н. „жива сила“ (човека). Финансирането на проекта от Варшавския договор беше на стойност 1 000 000 лева и 30 000 долара. Бяха закупени съответните необходими апарати, окомплектовки и материали. Задачата беше създаване на необходимите кристали за тези съединения – $\text{Hg}_{0,3}\text{Cd}_{0,7}$ за областта 3 – 5 микрона в инфрачервения спектър и $\text{Hg}_{0,2}\text{Cd}_{0,8}$ – за областта 8 – 12 микрона, също в инфрачервената област.

В Лабораторията по израстване на кристали бяха създадени необходимите технологични условия и бяха получени кристалите от състава $\text{Hg}_{0,3}\text{Cd}_{0,7}$. Необходимите измервания и характеризирание на параметрите бяха проведени във Варшава. Полската лаборатория създаде детектора на основата на кристалите с нужните параметри, получени в София. В съответните организации в Москва се проведеха изпитания за изготвяне на устройството за нощно наблюдение. Към края на 1989 г. беше получено съобщение от Варшава да продължим с израстване на другия състав за областта 8 – 12 микрона и работата започна. Бяха получени голямо количество кристали от състава за областта 8 – 12 микрона и съгласно договора между министерствата – предадени във Варшава. Съвсем скоро след промените в Източния блок Варшавският договор беше разпуснат и нашето Министерство на отбраната прекрати финансирането. По тези изследвания не бяха публикувани никакви резултати, съгласно изискванията на подписания тристранен договор. А това означава, че усилията и работата на един висококвалифициран колектив във важна научна област са пропаднали безвъзвратно.

Вторият проект се отнасяше за подобно съединение – $\text{Cd}_{0,8}\text{Zn}_{0,2}\text{Te}$ и беше между ИФТТ и Nuclear advances – Oak Ridge (Оук Ридж), щата Тенеси – САЩ. Този кристал е за създаване на неохлаждаеми детектори на ядрено излъчване, основно за гама излъчване от около 30 keV до 1 MeV. Американската фирма имаше в Германия база за производство на апаратура, оборудвана с такъв тип детектори. Детекторите за апаратурата, която се използва за контрол на ядрени материали по граничните пунктове в много държави по света за установяване какви източници влизат и излизат от

държавите, купуваха от Латвия на висока цена и искаха да направят свои материали. От Лабораторията по израстване на кристали беше разработена технология за получаване на $\text{Cd}_{0.8}\text{Zn}_{0.2}\text{Te}$ кристала по метода на Бриджмен и оформяне на детектора. Договорът беше за 20 000 долара и продължителност 6 месеца. Американската фирма беше закупила необходимата апаратура и материалите, а колективът на Лабораторията трябваше да проведе експеримента по израстване и оформяне на детектора. Полученият в Лабораторията $\text{Cd}_{0.8}\text{Zn}_{0.2}\text{Te}$ материал за детектори беше усвоен от фирмата и се оказа с високо качество, с което проектът беше изпълнен в срок и приключи успешно.

Основните и по-съществени научни резултати от дейността в Лабораторията по израстване на кристали са публикувани досега в 313 научни труда в реферирани списания с импакт фактор. Те са цитирани над 4000 пъти, като самоцитатите са по малко от 1% и имат H- index 38, а i10-Index им е 106. Една част от тях са публикувани в реномираните научни издания като Physical Review B – 31 бр., Physical Review Letters – 9 бр., J. Physics Condensed Matter – 14 бр., J. Applied Physics – 9 бр., J. Crystal Growth – 9 бр., Solid State Communication – 5 бр., Scientific Reports – 5 бр., Scientific Advances – 3 бр., а останалите в по-специализирани списания.



Кристал от $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$, получен в Лабораторията по метода на Чохралски.



Синтезирани в Лабораторията кристалчета от феромагнитни и фероелектрични материали със структура тип перовскит.

От синтезираните в Лабораторията от проф. Марин Господинов монокристали най-силен отзвук в научната общественост са получили сложните метало-окисни кристали тип мултифероици и релаксорни фероелектрици. Мултифероиците са съединения с тясно взаимосвързани магнито-електрични свойства и са едновременно феромагнетици и фероелектрици. За релаксорните фероелектрици е характерно, че преминаването им от паравъв фероелектрично състояние представлява каскада от структурни преходи при постепенно охлаждане за разлика от конвенционалните фероелектрици, при които това става с рязък фазов преход при определена температура. Както мултифероиците, така и релаксорните фероелектрици са материали с

уникални свойства и потенциал за приложение в съвременната електроника. Мултифероиците представляват интерес за приложения, където е необходимо да се контролира магнетизмът чрез електрични полета. Такива приложения включват сензори, клапани с електрически регулируеми функции, микровълнови устройства, памети с нов вид четене и запис и много други. Релаксорните фероелектрици се характеризират със забележително високи стойности на диелектричната проницаемост, пиезоелектричните, електроеластичните и електро-оптичните си коефициенти, което също ги прави перспективни за многобройни технологични приложения. Благодарение на създадените сътрудничества с изследователски лаборатории в страната и чужбина задълбочено са изучавани фундаменталните физични свойства на тези материали и са получени много конкретни резултати, представляващи принос в разработката на бъдещи технологии за тяхното приложение.

Следват няколко конкретни примера за постигнати съществени резултати при изследвания на кристали, синтезирани в Лабораторията, които са довели до публикации с широк отзвук и многобройни цитирания:

1. Проведено е изследване на мултифероичната серия RMnO_3 ($R = \text{La, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Y}$) с перовскитна структура с поляризирана Раманова спектроскопия. Проследено е изменението на фононните честоти в зависимост от йонния радиус r_R на редкоземния метал R . Подробно е изучено смесването на вибрационните модове на разтягане $\text{Ag}(1)$ и огъване $\text{Ag}(3)$, както и на ротационните модове $\text{Ag}(2)$ и $\text{O}_1(x)[\text{Ag}(7)]$ с намаляване на r_R . Честотите на ротационните модове $\text{Ag}(2)$ и $\text{Ag}(4)$ се изменят в линейна зависимост от ъглите на завъртане на октаедъра MnO_6 съответно в посоките $[101]$ и $[010]$ и могат да бъдат използвани за количествено определяне на техните стойности [3].

2. Изследвани са магнитни и магнитокалорични свойства на монокристали от мултифероика HoMn_2O_5 . HoMn_2O_5 претърпява силен конвенционален магнитокалоричен ефект около 10 К. Магнитокалоричният ефект представлява промяна на температурата на магнитен материал като реакция към промяната на външното магнитно поле, в което материалът се намира. В конкретния случай е установено, че поради голямата анизотропия на кристала силен магнитокалоричен ефект възниква просто при въртене на кристала в постоянно магнитно поле, без да има нужда той периодично да се вкарва и извежда от зоната на полето. Наблюдаваният ефект е с потенциал за внедряването на компактни, опростени и ефективни ротационни магнитни хладилници [4].

3. През 2009 г. в лабораторията са синтезирани кристали от $\text{Vi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ по метода на високотемпературните разтвори. Резултатите от рентгеноструктурния анализ доказват, че това фероично съединение кристализира в пространствена група $Pbam$ и има изключително оригинална и ненаблюдавана

досега магнитна структура. Поради нечетния брой връзки, падащи се на елементарна клетка, тази решетка, подложена на антиферромагнитни взаимодействия между най-близки съседни Fe^{3+} йони, е предразположена към геометрична фрустрация и реализира първия известен аналог на магнитна петоъгълна решетка. Магнитните свойства на $\text{Vi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ са изследвани чрез макроскопични магнитни измервания и неутронна дифракция. Наблюдаваната неколинеарна магнитна подредба води до петоъгълна решетка със сложна свързаност. Установен е и фазов преход от втори род при температура $550\text{ }^\circ\text{C}$ с помощта на диференциален термичен анализ. Интересът към материалите на основата на $\text{Vi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ е обусловен от възможността за практическо приложение на мултифероичните им свойства при температури, близки до стайната [5].

4. Демонстрирано е, че намагнитването на феромагнит в контакт с антиферромагнитен мултифероик (LuMnO_3) може скоростно да бъде обърнато в противоположна посока посредством пулсиращо електрично поле и знакът на отклонението на магнитния обмен може да се превключва и възстановява изотермично. Тъй като LuMnO_3 не е фероеластик, получените резултати убедително показват, че това превключване не е обусловено от деформационни ефекти, а се дължи на уникално разединяване на стените на фероелектричните и антиферромагнитните домейни, предизвикано от електричното поле. Резултиращите самостоятелни и различни динамики на двата вида стени са от съществено значение за наблюдаваното магнитно превключване [6].

5. В отсъствие на магнитни полета температурната зависимост на диелектричната константа на хексагоналния фероелектрик HoMnO_3 бележи тесен пик при температурата $32,8\text{ K}$ на фазов преход, свързан с ротация на мангановия спин. Прилагането на магнитно поле обаче превръща този тесен пик в плато, което обхваща цял температурен интервал и в този интервал се наблюдава нова реентрантна фаза на материала. Изследвана е аномалията на диелектричната константа в тази реентрантна фаза и е установено, че аномалията се проявява както като функция на температурата, така и като функция на магнитното поле без забележим хистерезис. Установено е също, че тази аномалия се дължи на индиректното свързване между фероелектричното (FE) и антиферромагнитното (AFM) подреждане, произтичащи от ефекта на стената на FE-AFM домена [7].

Литература

- [1] J. G. Bednorz, K. A. Müller, *Zeitschrift für Physik B: Cond. Matter*, vol. 64, 1986, pp. 189-193.
- [2] V. Kovachev, E. Vlachov, K. Nenkov, V. Lovchinov, M. Gospodinov, A. Stoyanova – Ivanova, D. Dimitrov, T. Mydlarz, *Int. J. of Modern Physics B*, vol. 1, 1987, 223-229.

- [3] M. N. Iliev, M. V. Abrashev, J. Laverdiere, S. Jand, M. M. Gospodinov, Y-Q Wang, Y-Y Sun, Distortion-dependent Raman spectra and mode mixing in RMnO_3 perovskites (R= La, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Y), *Physical Review B*, vol. 73, 2006, 064302.
- [4] M. Balli, S. Jand, P. Fournier, and M. M. Gospodinov, Anisotropy-enhanced giant reversible rotating magnetocaloric effect in HoMn_2O_5 single crystals, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 104, 2014, 232402.
- [5] E. Ressouche, V. Simonet, B. Canals, M. Gospodinov, and V. Skumryev, Magnetic Frustration in an Iron-Based Cairo Pentagonal Lattice, *Phys. Rev. Lett.*, vol. 103, 2009, 267204.
- [6] V. Skumryev, V. Laukhin, I. Fina, X. Martí, F. Sánchez, M. Gospodinov, E. Ressouche, V. Simonet, B. Can, Magnetization reversal by electric-field decoupling of magnetic and ferroelectric domain walls in multiferroic-based heterostructures, *Physical Review Letters*, vol. 106 (5), 2011, 057206.
- [7] B. Lorenz, A. P. Litvinchuk, M. M. Gospodinov, and C. W. Chu, Field-Induced Reentrant Novel Phase and a Ferroelectric-Magnetic Order Coupling in HoMnO_3 , *Phys. Rev. Lett.*, vol. 92, 2004, 087204.

ФИЗИКА НА МЕКАТА МАТЕРИЯ В ИФТТ-БАН: ФУНДАМЕНТАЛНИ И ПРИЛОЖНИ ПОСТИЖЕНИЯ С НАЦИОНАЛНО И СВЕТОВНО ПРИЗНАНИЕ

проф. Виктория Виткова и проф. дфн Йордан Маринов

През 2006 г. с решение на Научния съвет на Института по физика на твърдото тяло към Българската академия на науките (ИФТТ – БАН) е създадено направление „Физика на меката материя“ (ФММ), което обединява лабораториите „Течни кристали“ и „Биомолекулни слоеве“. Негов основател и дългогодишен ръководител е академик Александър Георгиев Петров, директор на ИФТТ (1999 – 2015 г.). В направлението се осъществяват фундаментални и приложни изследвания в областта на физиката на меката и живата материя. Изучават се теоретично и експериментално свойствата на термотропни и лиотропни течни кристали, моделни липидни мембрани, липидни монослоеви и биомембрани, ултратънки молекулни слоеве върху твърди подложки, фероелектрични, полимер-диспергирани и наноструктурирани течни кристали.

Изследванията в областта на физиката на течните кристали и меката материя – върху частично подредените системи – едно от най-модерните направления във физиката на кондензираната материя са започнати от Александър Иванов Держански (1933 – 2015 г.). Той поставя основите на използването на ядрено-магнитния резонанс (ЯМР) за изучаване на такива системи и е основоположник на течнокристалната физика в България. Създава Лабораторията по ядрено-магнитен резонанс (1966 г.) във Физическия институт на БАН, която две години по-късно се трансформира в Лаборатория по течни кристали. От 1972 до 1992 г. ръководи лаборатория „Течни кристали“ в ИФТТ. През периода 1982 – 1988 г. е ръководител на секцията по „Физикохимия на мембраните“ към Централната лаборатория по биофизика на БАН, прераснала по-късно в Институт по биофизика.

Александър Держански е член-кореспондент на БАН от 1995 г. и академик от 2008 г. Той е носител на орден „Кирил и Методий“ II и I степен (1978 и 1983 г.), на медал „Марин Дринов“, на юбилеен медал „100 години БАН“, на почетен знак „Георги Наджакков“ на лента, на награда „Акад. Никола Обрешков“ и е почетен член на ИФТТ.

Акад. Держански създава оригинална апаратура за измерване на абсорбцията и дисперсията при ЯМР и открива нов термично стимулиран конформационен преход в миоглобина (мускулен протеин). Изучава биологични структури, както и свойствата и възможностите за приложение на

нови материали, ефекти и среди за електрониката и оптоелектрониката. Изследва механизмите на токопроводимост в течни кристали; пространственото разпределение на заряди и йони, приелектродните явления, поляризациялни и ориентациялни ефекти; еластичните свойства на течните кристали от първи и втори ред, диелектричните свойства и ориентиращото влияние на електрическите полета. Под негово ръководство е открит градиентният флексоелектричен ефект, явление, широко изследвано в лабораторията и потвърдено по-късно от известни групи в университетите в Харвард, Бордо и Орсе.

Научните приноси на акад. Держански са в основата на разработването на методи за електронно-аналогово моделиране на степенна и логаритмична функция; група методи за изследване на молекулната структура, основани на ядрено магнитния резонанс; експлоатационните характеристики и електрическото възбуждане на електрооптични течнокристални индикатори.

В лоното на основаната от акад. Держански българска школа по течни кристали израстват поколения български учени (Снимка 1). Под неговото научно ръководство са изработили своите дисертации академик Александър Георгиев Петров, проф. дфн Изак Маир Бивас, доц. д-р Марин Димитров Митов и други.



Снимка 1. Научна дискусия в лаборатория „Течни кристали“ в началото на 70-те години на 20-и век, от ляво надясно: акад. Александър Петров, акад. Александър Держански, доц. дфн Христо Хинов, доц. д-р Марин Д. Митов.

Основните моменти от историята на физическите изследвания на меката материя са обобщени в спомените на Акад. Держански за създаването и развитието на лаборатория „Течни кристали“ през нейните ранни години¹: „През далечната 1968 г. научната политика на Българската академия на науките изискваше индустриални приложения на новите научни резултати. Инициран от Института по физика на твърдото тяло, БАН, Изследователският център на Индустриалния съюз за изчислителна техника „ИЗОТ“ включи в изследователската си програма предварителни проучвания на течни кристали по отношение на евентуално по-нататъшно приложение и производство на цифрови дисплеи с течни кристали в България. Успоредно с методологичните проучвания за прилагане на импулсен ЯМР във физиката на течните кристали, учените от новосъздадената лаборатория извършиха експериментални изследвания върху стабилността и живота на течнокристални екрани под въздействието на различни химикали при различни режими на електрическо възбуждане. Иницирани като чисто предварителни и технологично ориентирани, тези изследвания естествено се превърнаха във фундаментални. По време на тези изследвания беше открит градиентният флексоелектричен ефект – феномен, който впоследствие беше потвърден експериментално и задълбочено изследван в лабораторията, както и от известни групи в университетите Харвард, Бордо и Орсе. Резултатите на софийската течнокристална група привлякоха вниманието на научната общност и членовете на лабораторията станаха желани партньори, съорганизатори, организатори и поканени лектори на научни конференции. С естественото нарастване на своя човешки потенциал Лабораторията по течни кристали разшири и полето на научната си дейност. Поколения учени от Лабораторията са защитили докторска степен и хабилитация, като всеки от тях успешно се развива като лидер в своята научна област. Александър Петров защитава две докторски дисертации, придобива титлата професор, активно се занимава с изследване на флексоелектричеството в термотропните и впоследствие в лиотропните системи (течни кристали и мембрани). На тази основа той развива изследвания върху живи мембрани и през 1990 г. създава новата Лаборатория по биомолекулни слоеве. Христо Хинов е дългогодишен активен изследовател в областта на еластичността от втори порядък в термотропните течни кристали, сегнетоелектричеството и флексоелектричеството [1]. Антония Желязкова активно работи в областта на ЯМР. Станимира Найденова, химик по образование, е естествен лидер в изследването на химичната структура и физикохимичните свойства. Нина Шонова изучава взаимодействията между течнокристални клетки и

¹ Паметните бележки представляват редактиран текст по спомените на акад. Держански от аудиозапис на магнитен носител, осъществен и предоставен от доц. Марин Д. Митов през 2009 г.

електронни схеми. Изак Бивас и Марин Митов се развиват като водещи учени в изследването на еластичните свойства на термотропни течни кристали, а по-късно и в изучаването на лиотропните течни кристали и липидни мембрани.”

Неговият талантлив ученик и последовател акад. Александър Георгиев Петров (р.1948 г.) се развива като бележит български физик от световна величина, чийто творчески път очертава облика на школата по течни кристали в ново време. Научните му постижения са в областта на физиката на меката и живата материя, мембранната биофизика, бионанотехнологиите [2 – 4]. Той е известен и със своите преподавателски и организационни дейности у нас и в чужбина.

Научните и иновационните заслуги на акад. Петров са свързани с експерименталното наблюдаване и теоретичното обясняване на шест нови ефекта във физиката на течните кристали, меката и живата материя. Между тях се откроява откритието на биофлексоелектричеството и създаденото учение за ролята на това ново явление във физиката на живата материя. Тези нови ефекти се прилагат в оптоелектрониката, бионанотехнологиите, мембранната биофизика. Постиженията му обхващат откриването на флексоелектричество и фероелектричество в биологичните мембрани – явление, което установява реципрочна връзка между механичните и електричните свойства на живите клетки. Четири нови механоелектрични ефекта са предсказани теоретично и открити експериментално в моделни и в живи клетъчни мембрани [5]: прав биофлексоелектричен ефект; обратен биофлексоелектричен ефект; фотофлексоелектричен ефект; хелиелектричен ефект. Той организира заедно с водещи биофизици от САЩ провеждането на два симпозиума по биофлексоелектричество в Бъфало, 2001 г. и в Тексас, 2003 г. През 2016 г. акад. Петров изнася откриващ поканен доклад на Симпозиума по физика на възбудимите мембрани в института „Нилс Бор” (Копенхаген).

Акад. А. Г. Петров е президент на Българското течнокристално общество от 2000 г. Носител е на медала „Фредерикс” на Руското течнокристално общество за „Забележителни работи в областта на физиката на течните кристали” (2004 г.) и на високото държавно отличие – орден „Св. св. Кирил и Методий” огърлие (2018 г.) за особени заслуги в областта на образованието и природните науки.

Проф. дфн Изак Маир Бивас (р. 1950 г.) е почетен член на Института по физика на твърдото тяло „Акад. Георги Наджаков” с особени заслуги и принос в развитието на българската школа по физика на кондензираната материя. Той е един от ръководителите на лаборатория „Течни кристали“ и заместник-директор на ИФТТ – БАН. Неговите научни постижения са свързани с теоретичното и експериментално изследване на механичните, електричните, и

реологични свойства на двумерни и тримерни течнокристални системи.

Проф. Бивас е един от авторите на световнопризнатия флукуационно-спектроскопски метод за определяне на еластичността на липидната мембрана – физичното свойство, което стои в основата на редица мембранно-свързани процеси в биологичната клетка и предопределя разработването на перспективни приложения в биомедицината и фармакологията [6]. Теоретично изследва механичните свойства на липиден бислой, съдържащ примесни молекули и доказва, че амплитудите на термичните флукуации на формата на квазисферична липидна везикула зависят от еластичността на огъване на мембраната на везикулата при свободен обмен на молекули между двата съставляващи я монослоя. Извежда модула на еластичност на огъване като функция на концентрацията на примеса за случая на достатъчно ниски концентрации и изчислява автокорелационната функция на флукуационните модове на квазисферична липидна везикула, доказвайки, че зависи от коефициента на латерална дифузия на примеса в мембраната [7].

Проф. Бивас ръководи двустранни научни проекти с Швейцария, Русия и Словения и активно работи за развитието на българо-френското научно сътрудничество като дългогодишен ръководител на Българо-френската лаборатория „Везикули и мембрани” към БАН, Софийския университет „Св. Кл. Охридски” и Френския национален център за научни изследвания (CNRS). Със задълбочен аналитичен подход при разрешаването на всеки научен и научно-организационен проблем, с критичен поглед и внимание към детайлите проф. Бивас допринася за изграждането на поколения млади учени, започнали своя професионален път в направление „Физика на меката материя” на ИФТТ.

Изтъкнатият български физик доц. д-р Марин Димитров Митов (1951 – 2011 г.), блестящ теоретик и експериментатор, е оставил богато научно наследство за българската и световна наука. Доц. Митов има съществени международно признати научни приноси в областта на физиката на меката материя, включващи термотропни и лиотропни течни кристали, биомембрани, моделни липидни мембрани [8, 9].

Научните му постижения са свързани предимно с теоретични и експериментални изследвания на физичните свойства на липидни мембрани. Между тях се откроява приносът му в разработването на молекулната теория на еластичността на липиден монослой, известна като *модел на Петров, Держански и Митов*. Съществен методологичен принос представлява възвеждането на стробоскопично осветление на пробата при измерването на модула на огъване на липидни мембрани чрез флукуационна спектроскопия (Снимка 2). За първи път извежда членовете от трети и четвърти порядък в развитието на еластичната енергия на базата на инвариантите на огънат липиден бислой, разгледан като двумерно Риманово пространство. Тези членове определят формата на мембраната в случаите,

когато модулите на еластичност от втори порядък намаляват силно или изчезват. Резултатите за еластичността от по-висок порядък са публикувани в една от най-цитираните статии на „Доклади на БАН” [10].

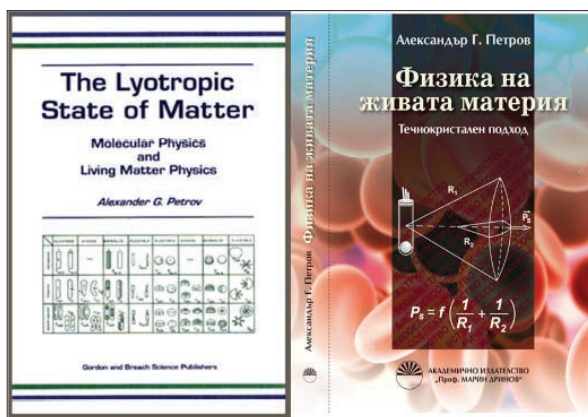


Снимка 2. Експериментална установка в лаборатория „Течни кристали и биомолекулни слоеве” за измерване на еластичността на огъване на липидни мембрани чрез анализ на техните термични флукутации.

Доц. Марин Д. Митов разработва и усъвършенства термичнофлукуационния спектроскопски метод за измерване на еластичността на огъване и механичното напрежение на моделни липидни мембрани. Създава и реализира идеята за стробоскопично осветяване на везикулите за запис и анализ на бързите флукутации на формата им. Разработва и написва програмния пакет за анализ на термичните флукутации на формата на квазисферични липидни везикули и за изчисление на модула на еластичност на огъване и механичното напрежение на мембраната. Понастоящем разработеният и усъвършенстван в лаборатория „Течни кристали” анализ на термичните флукутации на формата на квазисферични липидни везикули е предпочитан метод при измерването на модула на еластичност на огъване на хомогенни липидни мембрани в течна фаза. Освен в лаборатория „Течни кристали” на ИФТТ, доц. Митов имплементира стробоскопичното осветяване и в Националното висше училище по химия в Рен, Франция.

За краткия си път доц. Марин Д. Митов е бил дългогодишен ръководител на лаборатория „Течни кристали” (от 1996 до 2011 г.) и един от стожерите на Българо-френската лаборатория „Везикули и мембрани”. Бил е заместник-директор на ИФТТ в периода 1995 – 1999 г., член на Научния съвет на института от 1993 г. до края на дните си. През 2011 г. доц. Митов е удостоен с Почетен знак на лента „Георги Наджаков”.

Сред многото постижения в направление „Физика на живата материя“ се открояват разработките на редица методи, като голяма част от тях са патентовани. Сред тях са: *Течнокристален метод за определяне на качеството на вина и други напитки*, използван в областта на хранително-вкусовата промишленост, винопроизводството и пивоварната промишленост; *Електрооптичен метод за характеризирание на наноструктурирани нематични течни кристали*, намиращ приложение в областта на течнокристалната оптоелектроника, интегралната електрооптика, светлинната модулация, научните изследвания и ред други, които са приложими в молекулната електроника, визуализацията на информация, гъвкавата електроника, контрола и модулацията на светлина, енергийната ефективност и сигурността.



Снимка 3. *The Lyotropic State of Matter: Molecular Physics and Living Matter Physics*, A.G.Petrov; e-Book Edition, Taylor & Francis (2007); “Физика на живата материя. Течнокристален подход”, А. Г. Петров, АИ „Проф. Марин Дринов”, София, 2014.

Едно от най-бързо развиващите се през последните години направления във физиката на меката материя е физиката на живата материя – интердисциплинарен дял от науката, чийто предмет на изследване са биологичните системи на различно структурно и функционално равнище, изучаването и описването на които се осъществява с помощта на физични модели и методи. Особен интерес представляват биологичните мембрани поради тяхното важно значение за биологичната клетка. Биомембраните ограничават пространствено различните клетъчни органели и наред с това участват в многобройни жизненоважни клетъчни процеси като екзо-, ендцитоза, клетъчно делене, клетъчно сливане и др. – процеси, в които механичните свойства на мембраната са от съществено значение. Обект на изследване в направление „Физика на меката материя” са моделните липидни и биомембрани, изучаването на физичните свойства (еластичност, пропускливост, електричен капацитет и др.) на които е от изключително значение за разкриване на техните структурни и функционални особености. В направ-

лението е разработен алгоритъм и програмно осигуряване за определяне на флукуациите на формата на мембраната на квазисферични липидни везикули, наблюдавани във фазов контраст. Разработеният цялостен модул за стробоскопично осветяване и запис на флукуациите на формата на везикули позволява заснемането на моментни образи на флукуиращата мембрана и по този начин прави възможен анализа на трептения с характеристични времена, които са по-кратки от времето на интеграция (40 ms) на конвенционалните камери за наблюдение и запис. Експерименталните данни, получени чрез прилагането на стробоскопично осветяване на наблюдаваните и записвани везикули, могат да бъдат напълно интерпретирани само чрез два параметъра: модула на еластичност на огъване и напрежението на мембраната. Снемането на моментни картини на флукуациите на формата на везикулата осигурява определянето на още две механични константи: коефициента на триене между монослоеве, съставляващи мембраната, както и на модула на еластичност на огъване при блокиран обмен на молекули между двата монослоя.

Новооткритото и впоследствие задълбочено изучавано в направление „ФММ“ явление биофлексоелектричество е от фундаментално значение за физиката на живата материя и разрешава на мембранните структури да функционират като активен интерфейс, притежаващ както сензорни, така и актюаторни свойства [11, 12] (Снимка 3). За първи път е получена регистрация на биофлексоефекта при два вида деформации: с мембрана от мускул на скакалец и осцилиращо налягане, и в култури от нервни клетки – астроцити при подаване на правоъгълни импулси. Развитиият нов течнокристален подход във физиката на живата материя е приложен за описание на еластичността, образуването на дефекти и флексоелектричеството на биомембраните и техните модели по отношение на обобщена молекулярна асиметрия. Този подход разкрива биологичното значение на такива течнокристални свойства на биоструктурите като еластичност на кривината, флексоелектричество, фотофлексоелектричество, хелиелектричество (Снимка 4) по отношение на редица явления в живата материя: самоасемблиране на мембрани от липидни и протеинови компоненти, неустойчивости на мембранна конфигурация (промени във формата, осцилации на кривината, образуване на пори, екзо- и ендоцитоза, делене и сливане), енергийна трансформация в живите мембрани, мембранна пропускливост, пасивен и активен йонен транспорт, механочувствителност на мембраните и криоконсервационна стабилност [13]. Континуалният характер на течнокристалния подход в мембранологията осигурява ефективни средства за описание на мембранната система като цяло, докато разкриването на молекулярните му основания демонстрира как вариациите в обобщената молекулярна асиметрия се отразяват в глобалните свойства на системата.

Към изброеното трябва да добавим открития нов повърхнинен ефект

в тънки нематични слоеве „гост-домакин” с добавка на фотоизомеризиращо азосъединение, което се самоорганизира под формата на адсорбционни нанослоеви върху граничните повърхности на слоя, наречен „фотофлексоелектричество”. Потвърдена е предложената хипотеза, доказваща молекулната природа на фотофлексоелектричеството в хомеотропни нематичи [14]. Фотофлексоелектричният ефект, който комбинира няколко степени на свобода в течните кристали: оптична, електрична и механична, е изключително перспективен за създаване на настройваеми светлинни модулатори и превключватели за ефективен електрооптичен контрол в областта на фотониката и електрооптиката. Разработената оригинална методика и установка за флексоелектрична спектроскопия позволява изследването на повърхностната дисипация на енергията в планарни и пространствено ограничени нематични течни кристали. С тази методика са характеризирани нови наноструктурирани течнокристални материали с оглед използването им като оптични среди за модулиране на светлина. На базата на нанодобавки са получени нови фотоактивни среди, подходящи за създаване на устройства с допълнително оптично управление на тяхната оптична пропускливост. В направлението се работи и върху получаването на наноконплекси от твърд полимерен електролит за натриево-йонни акумулаторни батерии с потенциал за разрешаване на актуални проблеми с литиевите презареждаеми батерии.



Снимка 4. Поляризационна микрография на спирално поляризирана ламеларна липидна фаза, проявяваща хелиелектричество, открита в направление „Физика на меката материя“ [15].

Литература

- [1] Н. Р. Hinov, *Electro-Optic Effects in Thermotropic Liquid Crystals*, ISBN: 978-1-63482-065-3, Nova Science Publishers, Inc., Hauppauge, NY, 11788 USA, 2015, 198 pages.
- [2] A. G. Petrov, *Mechanoelectric properties of BLMs*, Chapter 6 in: *Planar Lipid Bilayers (BLMs) and their Applications*, Eds. H T Tien and A. Ottova, Elsevier Science, Amsterdam and New York, 2003, pp. 205-238.
- [3] A. G. Petrov, *Measurements and interpretation of flexoelectricity (Invited review)*, *Physical Properties of Liquid Crystals*, EMIS Datareviews Series, Inst. Electrical Engineers, UK, vol. 25, 2001, pp. 251-264.
- [4] A. G. Petrov, *Flexoelectricity: a universal sensoric mechanism in*

- biomembranes and chem.-biosensors, In: *Functionalized Nanoscale Materials, Devices and Systems*, A. Vaseashta and I. N. Mihailescu Eds., Springer, 2008, pp.87-100.
- [5] A. G. Petrov, Flexoelectricity in Lyotropics and in Living Liquid Crystals, in: *Flexoelectricity in liquid crystals: theory, experiments and applications*, N. Eber, A. Buka (Eds.), Imperial College Press, Singapoure, 2012, pp. 169-202.
- [6] A. G. Petrov, I. Bivas, Elastic and flexoelectic aspects of out-of-plane fluctuations in biological and model membranes, *Progress in Surface Science*, vol. 16, No 4, 1984, pp. 389-511.
- [7] J. F. Faucon, M. D. Mitov, P. Méléard, I. Bivas et P. Bothorel, Bending elasticity and thermal fluctuations of lipid membranes. Theoretical and experimental requirements, *J. Phys. France*, vol. 50, No 17, 1989, pp. 2389-2414.
- [8] In Memory of Marin Dimitrov Mitov (1951-2011), *Bulgarian Journal of Physics*, vol. 39, No 1, Edited by Victoria Vitkova, Alexander G. Petrov, 2012.
- [9] A Tribute to Marin D. Mitov, in *Advances in Planar Lipid Bilayers and Liposomes*, vol. 17, Edited by Aleš Iglič, Julia Genova, Pages 2-368, 2013.
- [10] M. D. Mitov, Third and fourth order curvature elasticity of lipid bilayers, *C.R. Acad. Bulg. Sci.*, vol. 31, No 5, 1978, pp. 513-515.
- [11] A. G. Petrov, *The Lyotropic State of Matter: Molecular Physics and Living Matter Physics*, Gordon & Breach, Amsterdam, 1999.
- [12] Александър Петров, *Физика на живата материя. Течнокристален подход*, АИ „Проф. Марин Дринов“; ISBN: 9789543227990, 535 стр. 2014 г.
- [13] A. G. Petrov, Flexoelectricity of model and living membranes, *Biochim. Biophys. Acta – Review on Biomembranes*, vol. 1561, 2002, pp. 1-25.
- [14] A. G. Petrov, Y. G. Marinov, G. B. Hadjichristov, S. Sridevi, U. S. Hiremath, C. V. Yelamaggad, S. K. Prasad, New photoactive guest-host nematics showing photoflexoelectricity, *Mol. Cryst. Liq. Cryst*, vol. 544, No 1, 2011, pp. 3/[991]-13/[1001].
- [15] John Harden, Nicholas Diorio, Alexander G. Petrov, Antal Jakli, Chirality of lipids makes fluid lamellar phases piezoelectric, *Phys Rev E*, vol. 79, 2009, 011701.

ЛАБОРАТОРИЯ „ОПТИКА И СПЕКТРОСКОПИЯ” –
ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВОТА НА НОВИТЕ МАТЕРИАЛИ,
ТЕХНОЛОГИИ, МЕТОДИ И ПРИЛОЖЕНИЯ

доц. Мариана Кънева, доц. Тихомир Тенев

Създадена заедно с възникването на Института по физика на твърдото тяло (ИФТТ) лаборатория „Оптика и спектроскопия” има разнообразна и богата изследователска дейност. Основател на Лабораторията и най-дългогодишен неин ръководител е проф. Параскева Симова, с чието име са свързани първите изследвания в областта на спектроскопията във Физическия институт на БАН, започнали през 1951 г. Веднага след създаването (1951) на Секцията по спектроскопия започва разработката на нови методи за емисионен спектрален анализ с приложение в индустрията. Установяват се полезни контакти с редица научни и промишлени звена, подпомага се създаването на нови лаборатории за спектроскопични изследвания, както в научните институти по физика, химия, геология и медицина, така и в индустрията.

През 1972 г. Секцията се трансформира в сектор „Оптика и спектроскопия”. Започват интензивни изследвания по молекулна спектроскопия на твърдото тяло, сформират се групите по тънкослойна оптика (1975 г., с ръководител Георги Зартов), интегрална оптика (1976 г., с ръководител Иванка Саватинова), дифракционни решетки за интегралната оптика (1978 г., с ръководител Любен Машев) и влакнеста оптика (1985 г., с ръководител Андрей Андреев). За високата квалификация на учените от Лабораторията допринасят правилната кадрова стратегия и назначаването на млади, добре подготвени и ентузиазирани специалисти.

Ръководители на Лабораторията са: проф. Параскева Симова (от 1951 до 1990 г.), проф. Николай Киров (от 1990 до 2001 г.), проф. Минко Петров (от 2001 до 2010 г.), проф. Светослав Рашев (от 2010 до 2016 г.) и доц. Тихомир Тенев (от 2017 г.).

*

От самото създаване на Лабораторията голям дял в нейната дейност заемат изследванията с практическо приложение в индустрията, започвайки от качествен и количествен спектрален анализ и достигайки до най-модерни материали и структури, технологии за получаването им и спектроскопични методи за изследването и охарактеризирането им.



Фигура 1. Част от състава на Лабораторията през 2007 г. (от ляво надясно: Н. Киров, Х. Нарадикян, П. Симова, Б. Катранчев, К. Панайотов, М. Петров, Б. Петров, Е. Видолова-Ангелова, Т. Тенев, Н. Коленцов (лаб. „Електрични и оптични явления в широкозонни полупроводници“), Б. Божков, Р. Пеева, Е. Караколева, Б. Зафирова, Б. Панчев, Л. Цонев, М. Кънева, Т. Кехлибаров, И. Милушев).

В Лабораторията се провеждат изследвания в осем тематични направления: тънкослойни и многослойни структури, интегрална оптика, холографски дифракционни решетки, влакнеста оптика, оптика и спектроскопия на течни кристали и нанокomпозитни материали, лазерна физика и нелинейна оптика, електронни и вибрационни спектри на многоатомни молекули, йонна имплантация.

Тънкослойни и многослойни структури

Учените от групата по тънкослойна оптика имат дългогодишен опит при получаване на едно- и многослойни структури чрез изпарение на метали за производство на лазерни огледала и филтри с предварително зададени параметри. Добрите резултати още в първите години са причина за включване на ИФТТ в проекта „Интеркосмос България 1300“, като учениците с ръководител Георги Зартов изработват тесноивични (с полуширина 20 nm) интерференчни филтри за спектрометъра „ЕМО-5“ – част от оборудването на спътника за научни цели „Б-1300“, изстрелян през 1981 г.

Работата в това направление продължава с уникални разработки по договори с Института по специална оптика (НИИСО) и Оптико-механичния завод, София за моделиране и изработване на специални оптични елементи

за близката инфрачервена спектрална област, както и изработване на лазерни огледала, интерференчни филтри и поляризатори за колеги в ИФТТ и за външни клиенти. Разработките са предмет на авторски свидетелства [1-3].

Сред постиженията са получаването на различни многослойни широкоивични отражателни покрития за близката инфрачервена (ИЧ) и видимата област с изследване на зависимостта на коефициента на отражение и дисперсията от технологичните параметри за всеки от материалите, конструирането и изработването на тесноивични интерференчни филтри във видимата област с полуширина под 2 nm, изготвянето на лазерни огледала за ултравиолетовата област (УВ), създаването на редица модузатори, базирани на тънкослойни покрития (филтри тип Фабри-Перо) [4], конструирането на хибридни оптични бистабилни устройства [5]. В рамките на договор с фирмата OPTIX AD са разработени и оптимизирани многослойни интерференчни структури – лазерни огледала, филтри, делители, антиотражателни покрития и др.



Фигура 2. Многослойни тесноивични интерференчни филтри за дължини на вълната 488 nm (син), 512 nm (зелен) и 633 nm (червен).

Провеждат се и експерименти за получаване на метал-дielekтрични структури върху различни повърхности и дифракционни решетки за получаване на плазмонен оптичен резонанс с високо отражение и малки оптични загуби, с акцент върху възможността за практическото им използване в оптични сензори във видимата и близката ИЧ област [6].

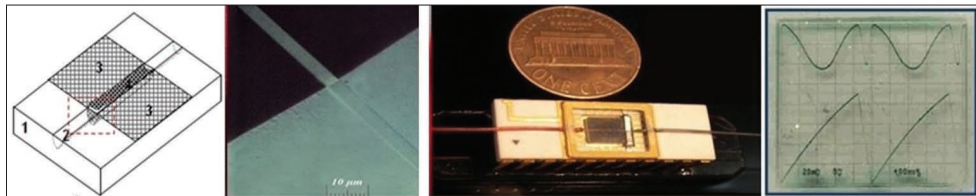
Интегрална оптика

Основните дейности в тематично направление интегрална оптика са разработване, модифициране и оптимизиране на технологии (йонен и електростимулиран йонен обмен в стъкла, титанова дифузия в литиев ниобат и протонен обмен в сегнетоелеkтрични кристали – LiNbO_3 , LiTaO_3 , КТР) за получаване на висококачествени планарни и ивични вълноводи и елементи на тяхна основа – фазови и амплитудни модузатори, призми, дефлектори, лещи, превключватели за нуждите на фотониката [7], както и фундаментални изследвания по материалознание за определяне на механизмите, обуславящи вълноводния ефект и за охарактеризиране на вълноводите.

В това направление най-съществен е приносът в получаването и из-

следването на оптични вълноводи, получени с протонен обмен (PE) в литиев ниобат и литиев танталат, от самото създаване на технологията, която в наши дни е една от двете основни технологии за локално повишаване на показателя на пречупване в тези кристали. Предимствата на устройствата, използващи оптични вълноводи, получени с протонен обмен в литиев ниобат, са възможността за работа при по-високи оптични мощности и по-малки дължини на вълната, отколкото тези с вълноводи, получени с термична дифузия на титан в същия кристал, както и поляризиращото действие на PE вълноводи, поради което не се налага в устройството да се въвежда допълнителен поляризиращ елемент, необходим за работата на много от сензорните елементи.

Сред постиженията са и създаването на нови методи за охарактеризиране на вълноводи – вълноводна Раманова спектроскопия [8], метод за определяне на електро-оптичните коефициенти на вълноводните слоеве [9], за изследване на фоторефракцията и механизмите, обуславящи загубите в протонно-обменените вълноводи, изследването на влиянието на стехиометрията върху параметрите на вълноводите, на механичното напрежение във вълноводите в зависимост от степента на протониране, предложената комбинирана спектроскопична методика за охарактеризиране на вълноводите [10], както и различни технологични модификации за получаване на вълноводи с нови параметри [11].



Фигура 3. Едноивичен Мах-Цендер модулатор (BG Patent No. 63788, 2002).

Предложен е и модулатор от принципно нов тип – едноивичен Мах-Цендер (Фигура 3) [12], базиран на поляризиращите свойства на вълноводите, получени с протонен обмен в литиев ниобат и литиев танталат, с изключителна простота на конструкцията и възможности за миниатюризация.

Холографски дифракционни решетки

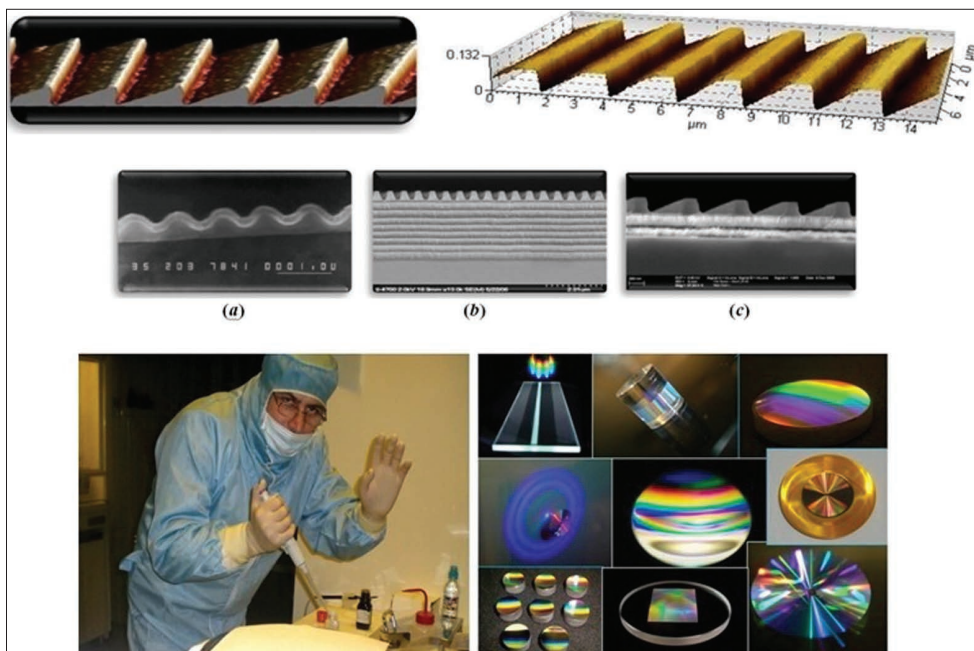
Дейността в тази област включва разработка на теоретични методи и експерименти, които се провеждат едновременно с фундаментални изследвания върху разпространяването на светлината в периодични структури, като основно внимание се отделя на приложенията в науката и производството.

Разработени са числени методи на основата на диференциалната и

интегралната теория за разпространение и дифракция на светлината в диелектрични и метални периодически структурирани среди. Този теоретичен модел, основан на използване на бърза Фурие факторизация, е важен инструмент при дизайна на конкретните дифракционни структури [13].

Основните експериментални изследвания обхващат асиметрични решетки и релефни многослойни структури, двумерни решетки, фотонни кристали:

- Разработен е оригинален метод за холографски запис на дифракционни решетки с асиметричен профил (блестящи решетки). Методът дава възможност за получаване на високоефективни решетки за работа в ултравиолетовата, видимата и близката инфрачервена области на спектъра [BG Patent **BG 33552A1**].
- За първи път е наблюдавано явлението оптичен резонанс при взаимодействие на дифракционен порядък с повърхнинна вълна (вълноводен или изтичащ мод, повърхнинен плазмон) [BG Patent **BG38132A1**]. Явлението е изследвано теоретично, като са създадени софтуерни продукти за числено моделиране на такива резонансни дифракционни решетки.
- Експериментално са създадени редица нови резонансни структури с уникален дизайн и висока ефективност за различни конкретни приложения (Фигура 4):
 - Свръхвисокоефективни дифракционни решетки за зададена дължина на вълната в първи дифракционен порядък с ефективност до 99,8% [14];
 - Дифракционни решетки за формиране на фемтосекундни лазерни импулси [15];
 - Ефективно управление на лазерното излъчване чрез замяна на едно от лазерните огледала с резонансна решетка – поляризационен контрол (линейна, радиална и аксиална поляризация), стесняване на лазерната линия, работа на лазера само в TEM_{00} мод [16];
 - Разработен е външнорезонаторен поляризационен трансформатор, който ефективно преобразува линейната поляризация на лазерния лъч в радиална. Елементът е получен на базата на резонансна структура от хидрогениран аморфен силиций [17];
 - Резонансно преминаване на светлината през тънки метални слоеве [6];
 - Дифракционни елементи за повишена сигурност на документи.
- Разработен е оригинален холографски метод за създаване на дифракционни решетки с точен брой линии върху стената на цилиндър, ориентирани по оста му (демонстрирано е с 2^{15} линии) [EU Patent **EP2562568A1** и US Patent **US013/0052592A1**].



Фигура 4. AFM профил на асиметрични холографски решетки: (а) синусоидална, (б) диелектрична и (с) хибридна. Резонансни структури.

- Използван е нов подход за динамично записване на дълги дифракционни решетки, които могат да служат и като фазови маски за подготовка на дифракционни решетки с голяма площ. Експериментално е демонстриран запис на дифракционна решетка с период 500 nm и дължина над 300 mm [18].
- Изследвани са условията за образуване на „самоорганизиран“ релеф върху метална повърхност при излагане на свръхбързи лазерни импулси чрез стимулирано възбуждане на повърхностен плазмон-поляритон (SPPs) с помощта на дифракционна решетка [19].

Влакнеста оптика

В тематично направление влакнеста оптика се провежда теоретично моделиране, изработване и изследване на различни влакнестооптични компоненти на основата на разпределено свързване между странично полирано (D-образно) едномодово оптично влакно и планарен вълновод, разположен върху полираната част на влакното. Създадени са тесноивични спектрални филтри, използвани за направата на рефрактометрични сензори за газове (бутан и амоняк) и течности (вода и етанол). Постигната е висока чувствителност на сензорните елементи към промените в показателя на пречупване на средата, която е в контакт с планарния вълновод [20].

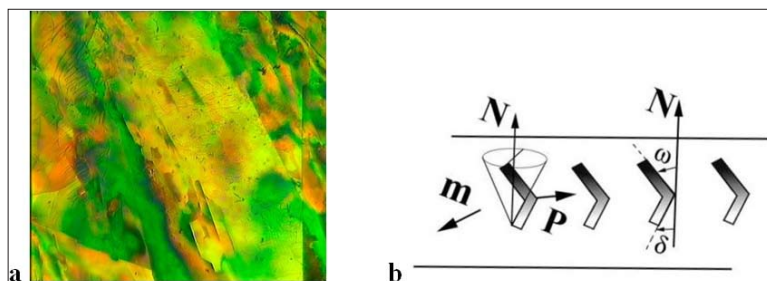
При изработването на влакнестооптичните елементи са приложени успешно няколко различни вакуумни техники за непрекъснато физическо отлагане на слоеве от оптично прозрачни материали, за да се произведат планарни вълноводи с възпроизводими параметри, висока адхезия към повърхността на влакната и дълготрайна стабилност. Създадена е оптична схема за *in situ* контрол на оптичната дебелина на филмите, която позволява спектралното положение на модовите резонанси да се контролира в рамките на няколко нанометра.

Извършено е и числено моделиране на вълноводните характеристики на D-образните влакна с използване на метода на Галеркин [21] с цел анализ и получаване на оптимални условия на работа на сензорните елементи с вписани в сърцевината Брегови решетки. Важен принос е усъвършенстването на този метод при пресмятане на фотоннокристални влакна (ФКВ) с произволно разположение на дупки с постоянен показател на пречупване и на ФКВ с дупки, съдържащи материални включения, с точно отчитане на показателя на пречупване на ФКВ [22], както и аналитичното пресмятане на интегралните матрични елементи за определяне на константите на разпространение и напречните разпределения на електромагнитните полета на вълноводните модове на ФКВ.

Оптика и спектроскопия на течни кристали и нанокомпозитни материали

Систематичните експериментални и теоретични изследвания в тази област започват в Лабораторията в началото на 70-те години с вибрационна спектроскопия на широк клас термотропни течни кристали [23, 24]. Предложен е модел, обясняващ наблюдаваната електродинамична нестабилност на смектичните *C* и нематичните с близък смектичен порядък кристали, при които е установен и ефектът електрооптична памет. Открити и обяснени са редица ефекти в нематичните течнокристални фази и са създадени теоретични модели за взаимодействието на мономерни и димерни с хидрофилни и хидрофобни повърхности и за формирането на дендрити в нематичите [25].

Откриването на фероелектричната смектична фаза C_G [26] в нискомолекулни димерни течни кристали и създаването на електрохидродинамичната теория на смектик *C* течен кристал са от съществени научни приноси на Лабораторията. Открит е уникален структурен преход между класически нематик и нематик с близък смектичен *C* порядък. Значим резултат е и установяването на C_G фаза с възможно най-ниската триклинна симетрия и фероелектрична обемна поляризация (Фигура 5), аналог на твърдотелен фероелектрик, но с подобрени електрооптични свойства.



Фигура 5. (а) Структура на хиралната смектична CG фаза в нанокмозитния ахирален с водородни връзки течен кристал (70BA) –CNTs09 (б) Най-ниската триклинна симетрия, характеризираща смектичната CG фаза.

Съществен дял от дейността по тази тематика е получаването и изследването на нови материали – композити от наноструктурирани течни кристали и наночастици с различна форма и големина и трикомпонентни нанокмозити (с добавен фоточувствителен или фотоактивен агент), нанокмозити на базата на дискотични течни кристали и въглеродни нанотръбички, твърди йоннопроводящи полимерни композитни електролити с добавени наночастици или течни кристали, композитни електролити на основата на полимер и нематичен течен кристал.

Многобройните научноприложни изследвания са свързани с възбуждането на повърхнинен плазмонен резонанс в система анизотропен хирален диелектрик-метал [27], с нелинейните ефекти в тънки течнокристални слоеве [28], с електрооптичните дифракционни характеристики на еднослойни фазови решетки от полимерно диспергиран течен кристал, с оптималната концентрация на смесите, водеща до най-ефективни електрооптични процеси и т.н. Всички те са насочени към потенциалните практически приложения на тези нови материали във фотониката, за фотоконтролируема електрооптика, модулатори, атенюатори и сензорни елементи, елементи с електрооптично индуцирана памет, в органичната електроника (дисплеи, полеве транзистори), сензориката и мехатрониката, за ново поколение устройства за съхраняване на ел. енергия.

Разработената методика за изследване и охарактеризиране на течнокристалните материали и композити, базирана на набор от методи, успешно се използва и при други материали, напр. за получаване на физичните характеристики на двуслойни липидни мембрани или на фосфолипидни монослоеви за микро-биосензори [29].

Лазерна физика и нелинейна оптика

Тематиката обхваща изследвания в областта на нелинейната оптика, оптичните солитони, физиката на полупроводниковите лазери, фотонните кристали и нелинейната времево-пространствена динамика на оптоелек-

тронните системи. Основната част от тези изследвания е проведена в сътрудничество с редица чуждестранни университети.

Изследванията (експериментални и теоретични) са насочени основно към динамиката и поляризационните свойства на викселите (VCSEL) – полупроводникови лазери с вертикален резонатор [30], разработването на нови структури виксели с управляема поляризация и технология за намаляване на дебелината им, опаковането им в гъвкав носител с оглед на приложението им в оптичните комуникации и оптичните сензори, както и към разработване на подходящи модели и софтуер за изследване на комплексното поляризационно поведение на викселите и анизотропните резонатори.

Изследвани са експериментално и теоретично нови конфигурации на виксели: с два резонатора [31], с интегриран електро-оптичен модулатор с голяма дълбочина на модулация [32], с интегриран модулатор с електрически стимулирана абсорбция [33] и др. Изследвано е явлението оптичен детерминистичен хаос във викселите, като синхронизация на хаотичната динамика на два взаимно свързани виксела. Открити са стабилни дисипативни светлинни структури в резонатори на Кер, ограничени както в пространството, така и във времето (светлинни куршуми) [34], експериментално и теоретично е изследвана динамиката на едночестотен полупроводников лазер с инжектиран честотен гребен [35] с потенциално приложение при спектроскопични измервания или за поляризационно мултиплексиране при оптично предаване на данни.

Една група от тези изследвания са посветени на виксели, интегрирани с течни кристали, с цел използване на тяхната функционалност за пространствена модулация, поляризационно превключване и пренастройване на дължината на светлинната вълна.

Проведени са също изследвания върху работата на комбинация от виксел и фотонен кристал и влиянието на солитони при работата на викселите. Изследвана е динамиката на кръгов резонатор с фотонно оптично влакно [36]. Резултатите представляват интерес за възможните приложения на викселите с фотонни влакна при разработване на сензори.

В процеса на изследванията са създадени и редица теоретични модели като: макроскопичен аналитичен модел на диелектричната чувствителност на полупроводникова среда с квантови ями при анизотропно механично напрежение, модел на спинова релаксация за полупроводникови лазери с широка апертура и с насищаем поглъtitел, модел, описващ динамиката на електрично- и оптично-напомпвани виксели с огледало, включващо насищаем поглъtitел и др.

Електронни и вибрационни спектри на многоатомни молекули

Работата по тази тематика включва теоретични изследвания върху структурата на вибрационните нива и процесите на вътрешномолекулярна ре-

лаксия в изолирани многоатомни молекули. Към тази изцяло теоретична област могат да се включат и изследванията в областта на математическите основи на квантовата механика, също част от дейността на Лабораторията.

Разработен е вариационен метод за пресмятане на вибрационни състояния в многоатомни молекули при много високи енергии на възбуждане и е изследвана вибрационната релаксация на тези състояния [37, 38]. Извършени са широкомащабни изчисления на вибрационни вариации за различни молекули [39, 40]. Приложени са редица статистически методи при изследванията и теоретичните резултати показват добро съответствие с експерименталните.

Изследвано е поведението на светлината чрез методите на квантовата механика, например за теоретична оценка на шумовете в интерферометрични системи, в частност в интерферометър на Мах-Цендер [41], за теоретично описание на движението на заредена квантова частица в тороидално магнитно поле и създаване на квантов модел на плазма при управляем термоядрен синтез, за определяне на фундаменталния квантов лимит в интерферометър [42]. Реализиран е експериментално влакнесто-оптичен жироскоп и с цел подобряване на чувствителността му е предложен нов метод на модулация – модулация на тока на лазерния диод [41].

В светлината на еволюцията на отношението на неопределеността на Шрьодингер, е обсъдена важността на двете основни отношения на неопределеност в квантовата механика и квантовите флуктуации на електрони в лазерен ондулатор със свободни електрони, работещ на нанометрова дължина на вълната [43]. Този нов квантовомеханичен подход при разглеждане на движението на електроните в ондулатора подпомага разбирането на ефектите в него, което е от критично значение при проектирането на този тип лазери.

Йонна имплантация

Дейността по тази тематика обхваща експерименти по наноструктуриране чрез йонна имплантация и лазерно-индуцирано нагряване на прозрачни полимерни материали и на аморфен силициев карбид с приложение в интегралната, адаптивната, нелинейната оптика и фотониката.

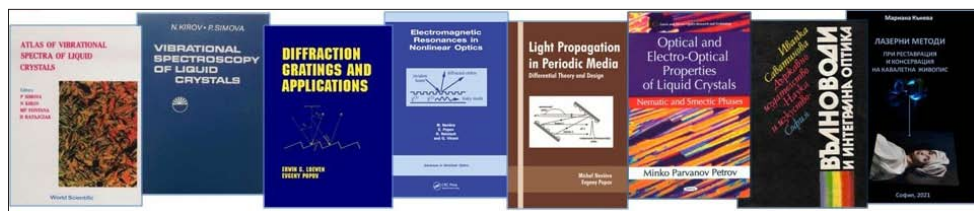
Изследвани са полимери, имплантирани със Si^+ и с C^+ [44]. Наблюдан е ефект на усилване на луминесценцията (до 5 пъти) в определени полимерни материали при имплантирането им със силиций. Изследвано е модифицирането на оптичните свойства в слоеве от аморфен силициев карбид, третиран с фокусирани йонни лъчи (протони и алфа-частици), както и възможностите за приложението му за наноразмерен оптичен запис на информация [45] и създаването на субмикронни литографски маски.

Получени и охарактеризирани са наноструктурирани йонно-имплантирани (Si^+) слоеве от полиметилметакрилат (PMMA), който, поради модифицираната от Si^+ йони полимерна мрежа, се характеризира с нелинейно разпределение на комплексния показател на пречупване в дълбочината на наноструктурираната област на полимера и възможност за лазерно-индуцирана промяна на показателя на пречупване на йонно-имплантирания слой [46]. Тези резултати са от практическо значение за нелинейнооптични и фотонни приложения на йонно-имплантирани прозрачни полимерни материали в интегралната и адаптивната оптика и фотониката.

Изследван е и нов материал – диамантеноподобен въглерод – във връзка с приложението му за целите на наноразмерен електрически и оптичен запис на информация [47].

Съпътстващи тематика в Лабораторията за различни периоди от време са: интердисциплинарни проучвания оптика – археология [48 – 52], фотохимични процеси в нуклеинови киселини при взаимодействие с УВ лазерно лъчение [53], изследване на високо възбудени състояния на тежки атоми [54], колориметрия, изучаване на структурните и механичните свойства на хидрогениран аморфен силиций, важни за пълното охарактеризиране на този материал във връзка с приложението му в електронната промишленост [55].

Лабораторията е имала и има редица международни сътрудничества с Русия, Полша, Италия, Франция, Испания, Германия, Белгия и др. Учени от Лабораторията са участвали във впечатляващи международни проекти в най-бързо развиващите се технологично области от науката и практиката като телекомуникациите и 3D телевизия, преподавали са в престижни университети, издадени са редица монографии и справочници (Фигура 6).



Фигура 6. Някои монографии от членове на лаборатория „Оптика и спектроскопия”.

Литература

- [1] Р. Пеева, Б. Зафирова, Г. Зартов, К. Антонова, Авторско свидетелство № 30286 от 07.12.1979 г., Институт за изобретения и рационализации (издаден акт за внедряване).
- [2] Г. Зартов, К. Антонова, Р. Пеева, Б. Зафирова, Авторско свидетелство № 30436 от 07.12.1979 г., Институт за изобретения и рационализации (издаден акт за внедряване).

- [3] Г. Зартов, Б. Зафирова, К. Антонова, Р. Пеева, Авторско свидетелство № 33709 от 17.03.1980 г., Институт за изобретения и рационализации.
- [4] G. Zartov, R. Peyeva, K. Panajotov, *Optica Acta*, vol. 32, 1985, 1339.
- [5] G. Zartov, K. Panajotov, R. Peyeva, *Opt. Comm.*, vol. 61, 1987, 6.
- [6] T. Tenev, I. Miloushev, R. Peyeva, S. Tonchev, O. Parriaux, *Plasmonics*; vol. 9, 2014, 311.
- [7] M. Kuneva, *AIP Conf. Proc.*, vol. 1203, 2010, 760.
- [8] I. Savatinova, S. Tonchev, M. Kuneva, *Appl. Phys. A*, vol. 56, 1993, 81.
- [9] I. Savatinova, S. Tonchev, R. Todorov, M. Armenise, V. Passaro, C. Ziling, *IEEE J. Lightwave technology*, vol. 14, 1996, 403.
- [10] M. Kuneva, S. Tonchev, R. Gorgorov, *Advances in Microelectronics: Reviews*, vol. 2, 183, Ed. by S. Yurish, IFSA Publishing, 2019.
- [11] M. Kuneva, *Bulgarian Chemical Communications*, vol. 48, 2016, 21.
- [12] S. Tonchev, M. Kuneva, *Proc. SPIE*, vol. 3950, 2000, 246.
- [13] E. Popov, M. Nevriere, *JOSA A*, vol. 18, 2001, 2886.
- [14] N. Destouches, A. Tishchenko, J.-C. Pommier, S. Reynaud, O. Parriaux, S. Tonchev, M. Abdou-Achmed, *Optics Express*, vol. 13, 2005, 3230.
- [15] F. Canova, O. Uteza, J.-P. Chambaret, M. Flury, S. Tonchev, R. Fechner, O. Parriaux, *Optics Express*, vol. 15, 2007, 15324.
- [16] S. Tonchev, A. V. Tishchenko, O. Parriaux, *AIP Conf. Proc.*, vol. 1203, 2010, 973.
- [17] T. Kämpfe, S. Tonchev, G. Gomard, Ch. Seassal, O. Parriaux, *IEEE Photonics Journal*, vol. 3, 2011, 1142.
- [18] P. Mëuller, Y. Jourlin, C. Veillas, G. Bernaud, Y. Bourgin, S. Tonchev, O. Dellea, *Optical Engineering*, vol. 50, 2011, 038001.
- [19] F. Garrelie, J. P. Colombier, F. Pigeon, S. Tonchev, N. Faure, M. Bounhalli, S. Reynaud, O. Parriaux, *Optics Express*, vol. 19, 2011, 9035.
- [20] A. Andreev, B. Pantchev, P. Danesh, B. Zafirova, E. Karakoleva, E. Vlaikova, E. Alipieva, *Sensors and Actuators B*, vol. 106, 2005, 484.
- [21] E. Karakoleva, A. Andreev, B. Zafirova, *Journal of Optics A*, vol. 8, 2006, 1034.
- [22] E. Karakoleva, B. Zafirova, A. Andreev, *Bulgarian Chemical Communications*, vol. 47, 2015, 21.
- [23] Н. Киров, П. Симова, *Vibrational Spectroscopy of liquid crystals*, Publishing House of the BAS, Sofia, 1984.
- [24] P. Simova, N. Kirov, M. Fontana and H. Ratajczak, *Atlas of Vibrational spectra of liquid crystals*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, Singapore, 1988.
- [25] S. Torgova, M. Petrov, A. Strigazzi, *Liq. Cryst.*, vol. 28, 2001, 1439.
- [26] M. Petrov, *Optical and Electro-optical Properties of Liquid Crystals: Nematic and Smectic Phases*. Nova Science Publishers, Inc. New York, 2010.

- [27] K. Zhelyazkova, G. Dyankov, M. Petrov, B. Katranchev, *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 558, 2014, 012023.
- [28] A. Ayriyan, E. Ayrjan, A. Egorov, G. Hadjichristov, Y. Marinov, I. Maslyanitsyn, A. Petrov, J. Pribis, L. Popova, V. Shigorin, A. Strigazzi, S. Torgova, *Physics of Wave Phenomena*, vol. 24, 2016, 259.
- [29] G. Hadjichristov, Y. Marinov, T. Vlahov, N. Scaramuzza, *Advances in Biomembranes and Lipid Self-Assembly*, vol. 34, 2021, 129.
- [30] K. Panajotov, B. Ryvkin, J. Danckaert, M. Peeters, H. Thienpont, I. Veretennicoff, *IEEE Phot. Techn. Lett.*, vol. 10, 1998, 6.
- [31] M. Zujewski, H. Thienpont, K. Panajotov, *Opt. Express*, vol. 20, 2012, 26184.
- [32] M. Marciniak, L. Piskorski, M. Gebski, M. Dems, M. Wasiak, K. Panajotov, J. Lott, T. Czyszanowski, *Journal of Lightwave Technology*, vol. 36, 2018, 3185.
- [33] K. Panajotov, R. Schatz, *Applied Sciences*, vol. 10, 2020, 6128.
- [34] K. Panajotov, M. Tlidi, Y. Song, H. Zhang, *Optics Letters*, vol. 46, 2021, 4072.
- [35] Y. Doumbia, T. Malica, D. Wolfersberger, K. Panajotov, M. Sciamanna, *Optics Express*, vol. 28, 2020, 30379.
- [36] F. Tabbert, T. Frohoff-Hülsmann, K. Panajotov, M. Tlidi, S. Gurevich, *Physical Review A*, vol. 100, 2019, 013818-1.
- [37] S. Rashev, D. Moule, S. Djambova, A. Angelow, L. Tsonev, D. Zhechev, *JOAM*, vol. 2009, 1, 521.
- [38] S. Rashev, D. Moule, R. Judge, *Int. J. Quant. Chem.*, vol. 111, 2011, 279.
- [39] S. Rashev, D. Moule, *Chem. Phys*, vol. 295, 2003, 109.
- [40] S. Rashev, D. Moule, *Spectrochim. Acta A*, vol. 87, 2012, 286.
- [41] A. Angelow, E. Stoyanova, *Bulg. J. Phys.*, vol. 43, 2016, 100.
- [42] A. Angelow, E. Stoyanova, *Bulgarian Chemical Communications*, vol. 47, 2015, 275.
- [43] A. Angelow, T. Dimitrova, D. Trifonov, V. Angelov, H. Hristov, *J. Nanophotonics*, vol. 5, 2011, art. no. 051823.
- [44] S. Balabanov, T. Tsvetkova, E. Borisova, L. Avramov, L. Bischoff, *Journal of Physics: Confer.Series*, vol. 113, 2008, 012038.
- [45] T. Tsvetkova, *Ion Beam Applications*, IntechOpen, vol. 23, 2018, 89.
- [46] S. Balabanov, T. Tsvetkova, E. Borisova, L. Avramov, L. Bischoff, *J. Phys.: Conf. Series*, vol. 223, 2010, 012032.
- [47] T. Tsvetkova, M. Berova, M. Sandulov, S. Kitova, L. Avramov, R. Boettger, L. Bischoff, *Surface and Coatings Technology*, vol. 306, 2026, 341.
- [48] A. Gonzalez-Garcia, D. Kolev, J. Belmonte, V. Koleva, L. Tsonev, *The Journal of Astronomy in Culture*, XXII, 2009, 21.
- [49] L. Tsonev, D. Kolev, *Archaeoastronomy and Ancient Technologies*, vol. 1, 2013, 55.

- [50] L. Tsonev, *Advances in Bulgarian Science*, 34, 2013.
- [51] Л. Цонев, *Паметници, реставрация, музеи*, брой февруари-април, 61, 2016.
- [52] L. Tsonev, *AIP Conference Proceedings*, vol. 2075, 2019, 200014.
- [53] D. Angelov, F. Lenouvel, F. Hans, C. Müller, P. Bouvet, J. Bednar, E. Moudrianakis, J. Cadet, S. Dimitrov, *Journal of Biological Chemistry*, vol. 279, 2004, 42374.
- [54] E. Vidolova-Angelova, C. Baharis, G. Roupakas, M. Kompitsas, *J. Phys. B*, vol. 29, 1996, 2453.
- [55] P. Danesh, B. Pantchev, J. Wiezorek, B. Schmidt, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, vol. 268, 2010, 2660.

ФИЗИКА НА АТОМИТЕ И НИСКОТЕМПЕРАТУРНАТА ПЛАЗМА

*проф. дфн Кирил Благоев, доц. Валентин Михайлов,
гл. ас. Христина Христова*

Началото на изследванията в областта на физиката на нискотемпературната плазма и атомната спектроскопия в Института по физика на твърдото тяло е поставено от проф. Йорданка Пачева. В лабораторията по атомна спектроскопия се изследва разряда с кух катод като източник на спектри на атоми и йони със значително приложение в аналитичната спектроскопия. Основно направление е изучаването на елементарните процеси в плазмата на кухия катод.

В резултат на изследванията, проведени от проф. Д. Жечев и проф. Р. Дюлгерова, беше създадена лампа с модифициран кух катод с конусно дъно, която позволи спектрални анализи с повишена чувствителност [1]. Изработените в лабораторията лампи бяха приложени в аналитичните индустриални лаборатории. На базата на комплексните и задълбочените изследвания се оказа възможно да се проследи разпределението на елементите в дълбочината на материала на проба, поставена в кухия катод и следователно провеждането на послоен анализ на тънки слоеве [2].

В областта на опотогалваничната спектроскопия беше изследван механизъм на възникване на ефекта при различни атомни и йонни преходи при взаимодействието на разряда с кух катод със спектрални линии от външен източник [3, 4].

На базата на изследванията на елементарните процеси в разряда с кух катод от доц. П. Праматаров и доц. М. Стефанова бяха създадени лазерни източници, активна среда на които е разряд с кух катод [5, 6]. Проведени бяха изследвания на микроразряд при високо налягане и от особеностите на функцията на разпределение на електроните по енергии беше разработен детектор за определяне на замърсявания на газове [7].

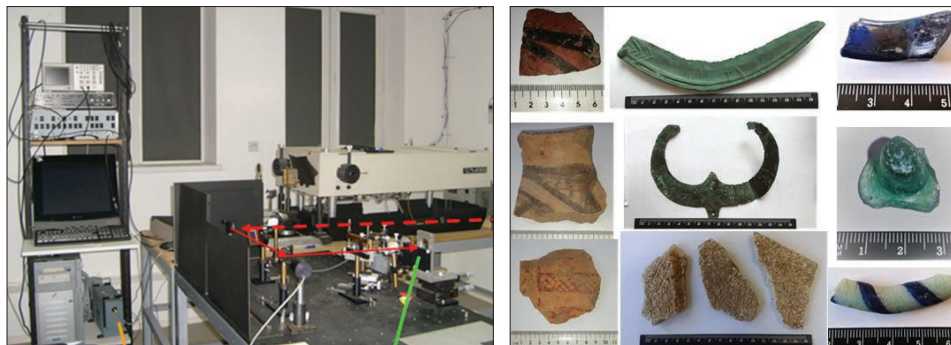
Наред с традиционната тематика в лабораторията по атомна спектроскопия започна работа и по определяне на атомните константи на възбудените атомни и йонни състояния като радиационни времена на живот на възбудените състояния, вероятности за преходи между тях и сечения за възбуждане с електронен удар. Методът на зъдържаните съвпадения, приложен за тези изследвания, е модифициран аналог на метода, който се прилага в ядрената физика. Апаратурата беше достатъчно модерна за времето си с възможността за регистрация на отделни фотони и възбуждане с наносекундни импулси, както и с натрупване на сигнала. Бяха изследвани състояния на йоните на инертните газове, състоянията на атомите и йоните

на живак и кадмий, все елементи, които са в газообразна фаза при не особено високи температури [8].

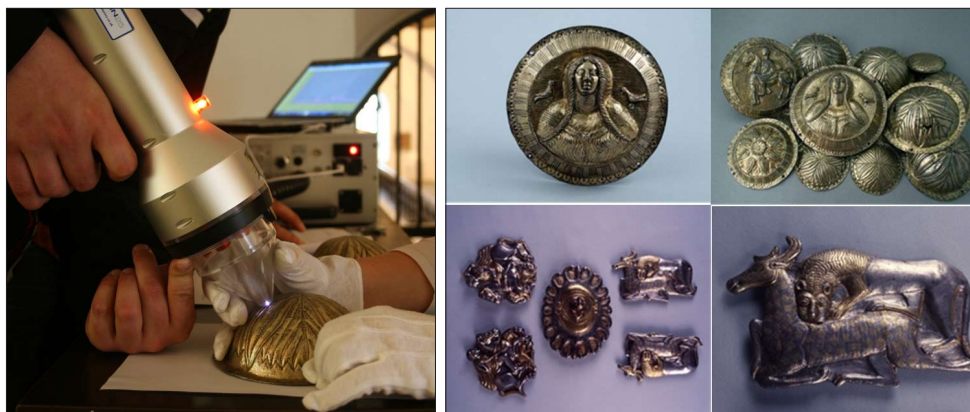
Използвайки същата методика и апаратура, доц. Е. Димова определи сеченията на елементарните процеси за предаване на възбуждане на състоянията на хелия към състоянията на други газове [9].

В резултат на международното сътрудничество в рамките на програмата LaserLabinEurope по инициатива на проф. Благоев съвместно с доц. Малчева тези изследвания бяха продължени в Lund Laser Center на Техническия университет в Лунд, Швеция, където с използването на високо технологична апаратура, съдържаща импулсни пренастройваеми лазери и натрупване на сигнала, прилагайки лазерно-индуцирана плазма, бяха изследвани атомните константи на редица елементи [10]. Заедно с колегите от университета в Мадрид бяха определени вероятностите за преход на възбудените йонни състояния в т.ч. на многократни йони на редица елементи [11]. Данни от проведените общи експерименти с Техническия университет в Лунд и с университета в Мадрид са особено важни за астрофизическите изследвания.

Съвместно с колеги от Лабораторията по лазери с метални пари в ИФТТ и от Института по археология с музей на БАН започнаха изследвания на елементния състав на археологически обекти от метал и керамика по метода на лазерно индуцирана плазмена спектроскопия (LIBS). Беше създадена експериментална установка оборудвана с модерна апаратура, включваща Nd-YAG лазер и многоканална регистрация, както и съпътстваща електронна апаратура (Фигура 1). Бяха проведени изследвания на концентрацията на елементи в археологически обекти от метал и керамика от различни археологически обекти [12 – 14]. Тези изследвания имат интердисциплинарен характер и са със съществено значение за практиката. Лабораторията разполага и с портативна версия на експерименталната апаратура, която се прилага за полеви, експресен елементен анализ (Фигура 2).

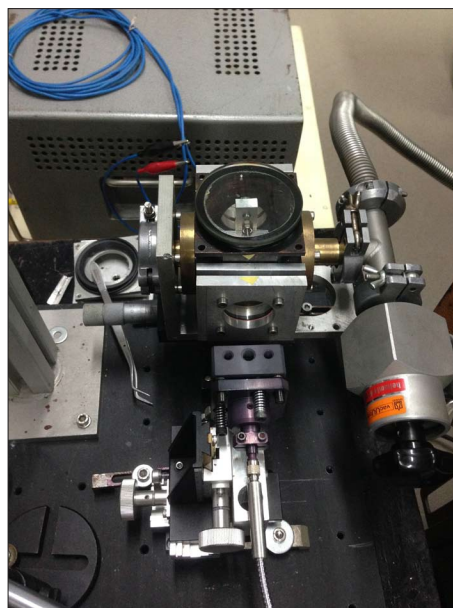


Фигура 1. Общ план на апаратурата за LIBS (ляво) и част от изследваните артефакти (дясно).



Фигура 2. Портативната апаратура за анализ с LIBS метода и изследвани артефакти.

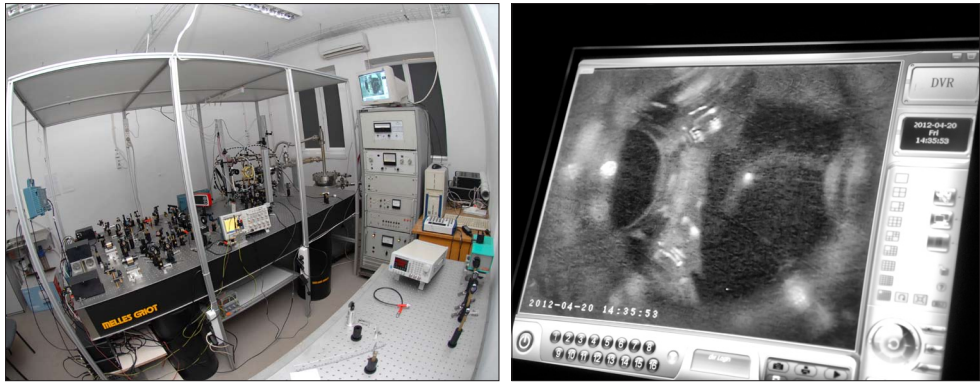
Доц. В. Михайлов и гл. ас. С. Каратодоров разработиха спектрален плазмен източник с повишени аналитични характеристики, комбиниращ лазерна аблация с разряд в кух катод (Фигура 3). Експерименталните резултати показват усилване на аналитичните спектрални линии на аблационната проба и пространствено разделяне на процесите на атомизация и възбуждане. Резултатите за времевата еволюция на интензитета на аналитичните спектрални линии, излъчвани от хибридният източник, показват разделяне във времето на процесите на атомизация и възбуждане. Наблюдава се усилване на интензитета на аналитичните спектрални линии в хибридният източник спрямо самостоятелната лазерна аблация [15].



Фигура 3. Хибриден плазмен източник, комбиниращ лазерна аблация с разряд в кух катод.

През последните години в лабораторията по атомна спектроскопия се разви ново, модерно направление – квантова оптика. Началото беше положено по инициатива на доц. Е. Димова и продължено от доц. Б. Торосов и гл. ас Хр. Христова. По това време теоретични изследвания в това направление се провеждаше от групата на акад. проф. Н. Витанов във Физическия факултет на СУ „Св. Кл. Охридски“. Естествено беше да се работи в тясно взаимодействие с тази група, като в резултат беше създадена високотехнологична апаратура за лазерно охлаждане

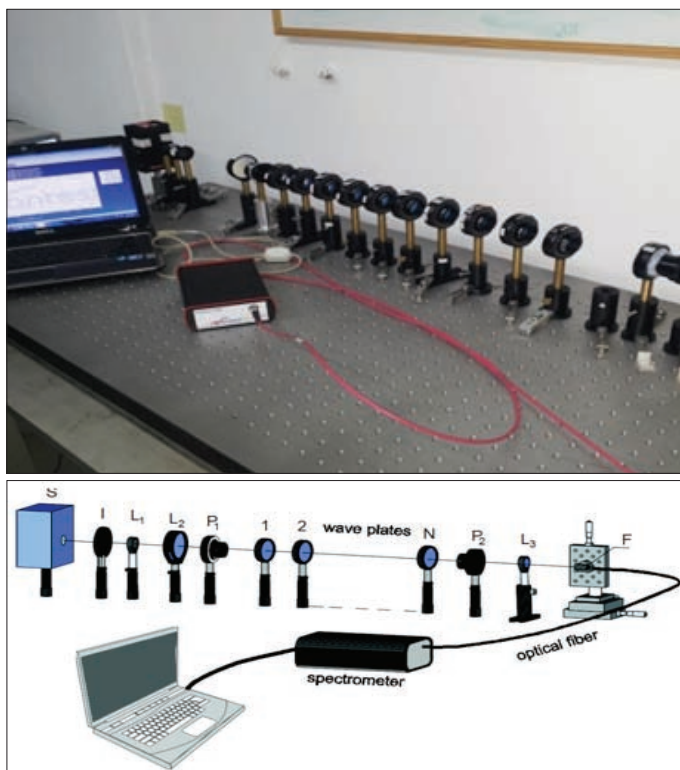
на атоми до сверхниски температури, включваща сверхвисоковакуумна апаратура, система от лазери и съответната съпътстваща електроника за точна настройка и поддържане на честотата на лазерните източници (Фигура 4).



Фигура 4. Експериментална установка за лазерно охлаждане на рубидиеви атоми.

Със създадената апаратура се охлаждат рубидиеви атоми до температури $100 \mu\text{K}$ чрез магнито-оптичен капан (MOT) с полупроводникови лазери. Изследвана е експерименталната техника за бърз и стабилен контрол на квантовите състояния на Rb атоми, охладени в MOT и меласа. Контролът на експеримента се осъществява чрез лазерни импулси с продължителност микросекунди. Прилага се и бърз контрол на магнитното поле. Студени атоми при микро- и нанокелвинови температури се използват успешно за целите на квантовата комуникация, квантовите изчисления, симулациите и квантовата метрология и сензори [16].

По-нататък работата продължи с експериментални и теоретични изследвания върху квантови аналогии [17 – 19]. Конструират се и се тестват нов тип оптични устройства за контрол на поляризацията: забавители, филтри, ротатории оптични изолатори. Те са проектирани като композитни структури от стандартни оптични елементи (например полувълнови пластини) с определена ориентация на оптичните им оси. Теоретично те са базирани на аналогия с метода на композитните импулси, известен от ядрената и квантовата физика, като по този начин се постига ефективно разширение и възможност за удобно регулиране на работния честотен диапазон. Изследваните устройства могат да бъдат директно приложени за проектиране на стабилни оптични елементи в техники за оптично измерване, базирани на поляризация. Освен това, контролираното въртене на поляризацията на светлината е основният принцип, на който се основават телекомуникационните технологии.



Фигура 5. Примерна експериментална установка за изследване на квантово-оптични аналогии.

Проведени са серия от теоретични изследвания за реализиране на квантов контрол при наличието на разнообразни източници на грешки. Разработени са редица нови методи в областта на квантовата оптика като оценка на вибрационната температура на охладени йони и за контрол на свръхпроводящи кубити, както и за лазерно охлаждане на йони, който е базиран на композитни импулси. В областта на квантовата оптика и квантово-оптичните аналогии продължава работата по теоретичното разработването на нови композитните импулси и създаването на техники за ширококолентово преобразуване на честоти [20, 21].

Литература

- [1] R. Djulgerova, D. Zechev, S. Popova and E. Momtchilova, Hollow cathode spectral lamps for atomic absorption analysis, *Spectroscopy Letters*, vol. 16 (10), 1983 pp. 765-774.
- [2] R. Djulgerova, V. Mihailov, Laser-assisted photoelectric optogalvanic analysis of thin films and surfaces using a hollow-cathode glow discharge, *Applied Physics B*, vol. 56 (5), 1993 pp. 301-305.

- [3] V. Mihailov, R. Djulgerova, A. Blagoev, An Interpretation of NeI (5s1-2p4) optogalvanic signal in a hollow-cathode discharge, *Europhysics Letters*, vol. 30 (1), 1995, 25.
- [4] G. M. Petrov, V. Gencheva, R. Djulgerova, V. Mihailov, Time-dependent description of N2 (B3Πg–C3Πu) optogalvanic effect in a hollow cathode discharge, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, vol. 64 (6), 2000, 563-572.
- [5] M. Stefanova and P. Pramatarov, Pulsed He-Kr laser with electrodes of helical configuration, *Measurement Science and Technology*, vol. 1, 1990, 345.
- [6] M. Stefanova and P. Pramatarov, He-Zn laser with helical configuration of the electrodes, *Physics Letters A*, vol. 139, 1989, pp. 391-394.
- [7] МЕТОД И ЙОНИЗАЦИОНЕН ДЕТЕКТОР ЗА АНАЛИЗ НА ПРИМЕСИ В ГАЗОВЕ, Патент с автори: Анатолий А. Кудрявцев, Маргарита Стефанова, Петко Праматаров, 30.11.2017 г.
- [8] K. Blagoev, P. Bogdanovich, A. Momkauskaite, N. Dimitrov, Radiative Lifetimes of 5d10nl States of Hg II, *Phys. Rev. A*, vol. 13, 1988, 4683.
- [9] K. Blagoev, E. Dimova, G. Petrov, Quenching of 4He(21S, 21P) and 3He(21S, 21P) states by collisions with Ne(1S0) atoms, *J. Quant. Spectroscopy Rad. Transfer*, vol. 87, 2004, 69.
- [10] H. Lundberg, H. Hartman, L. Engström, H. Nilsson, A. Persson, P. Palmeri, P. Quinet, V. Fivet, G. Malcheva and K. Blagoev, Radiative decay parameters for highly excited levels in Ti II, *MNRAS* 000, 1–7, 2015.
- [11] G. Malcheva, K. Blagoev, R. Mayo, M. Ortiz, H. L. Xu, S. Svanberg, P. Quinet, E. Biémont, Radiative lifetimes and transition probabilities of astrophysical interest in Zr ii, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 367, 2006, pp. 754–762.
- [12] K. Blagoev, M. Grozeva, G. Malcheva, S. Neykova, Investigation by laser induced breakdown spectroscopy, X-ray fluorescence and X-ray powder diffraction of the chemical composition of white clay ceramic tiles from Veliki Preslav, *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, vol. 79–80, 2013, pp. 39-43.
- [13] V. Atanassova, L. Ghervase, I. M. Cortea, V. Mihailov, V. Tankova, V. Nikolov, Multi-analytical approach for characterization of archaeological pottery excavated in the Early-Neolithic settlement of Chavdar, Bulgaria, *Spectroscopy Letters*, vol. 54 (7), 2021, pp. 549-559.
- [14] A. Pirovska, K. Antonova, G. Malcheva, V. Tankova, K. Blagoev, Nature and physicochemical features of the incrustated white decoration on pottery from two sites in Bulgaria, dated to the chalcolithic period (IV mill BC), *Journal of Archaeological Science: Reports*, vol. 29, 2020, 102142.
- [15] S. Karatodorov, V. Mihailov, M. Grozeva, Emission characteristics of laser ablation-hollow cathode glow discharge spectral source, *Open Chemistry*,

- vol. 13 (1), 2015, pp. 187–192.
- [16] E. Dimova, O. Morizot, G. Stern et al., Continuous transfer and laser guiding between two cold atom traps, *The European Physical Journal D*, vol. 42, 2007, pp. 299–308.
 - [17] E. Dimova, W. Huang, G. Popkirov, A. Rangelov, E. Kyoseva, Broadband and ultra-broadband modular half-wave plates, *Optics Communications*, vol. 366, 2016, pp. 382–385.
 - [18] E. Dimova, A. Rangelov, E. Kyoseva, Tunable bandwidth optical rotator, *Photonics Research*, vol. 3 (4), 2015, pp. 177–179.
 - [19] E. Stoyanova, M. Al-Mahmoud, H. Hristova, A. Rangelov, E. Dimova, and N. V. Vitanov, Achromatic polarization rotator with tunable rotation angle, *Journal of Optics*, vol. 21, 2019, 105403.
 - [20] B. T. Torosov, S. Guérin, N. V. Vitanov, High-fidelity adiabatic passage by composite sequences of chirped pulses, *Physical Review Letters*, vol. 106 (23), 2011, 233001.
 - [21] B. T. Torosov, B.W. Shore, N. V. Vitanov, Coherent control techniques for two-state quantum systems: A comparative study, *Physical Review A*, vol. 103 (3), 2021, 033110.

ЗА ПЪРВИЯ ДИРЕКТОР НА ИФТТ И МЕЖДУНАРОДНАТА ШКОЛА ПО ФИЗИКА НА КОНДЕНЗИРАНАТА МАТЕРИЯ

проф. дфн Хасан Шамати



Академик Милко Борисов (1921 – 1998) е първият директор на Институт по физика на твърдото тяло. Той се дипломира през 1945 г. със специалност „Физика“ във Физикоматематическия факултет на Софийския университет и е назначен като асистент на акад. Георги Наджакон в Катедрата по опитна физика. В продължения на два периода 1947 – 1961 г. и 1972 – 1991 г. ра-

боти в Българската академия на науките. Най-напред като научен сътрудник (1948 – 1957), старши научен сътрудник от 1957 г. и чл.-кор. от 1967 г. във Физическия институт, на който е и зам.-директор (1957 – 1961), а по-късно като директор на Института по физика на твърдото тяло (1973 – 1991) и академик от 1984 г.

Първите научни изследвания на акад. Милко Борисов са в областта на фотоелектретните явления в широкозонни полупроводници и заедно със Стефан Кънев открива отрицателния вътрешен фотоэффект в ZnO, който не е обявен за откритие, но е международно признат и е включен през 1960 година в монографията на R.H. Vube *Photoconductivity in solids* на издателството J. Wiley and Sons. След това се ориентира към акустоелектрониката – една модерна за 70-те години на миналия век област във физиката на твърдото тяло, където със своите сътрудници създава научна школа по изучаване на взаимодействието на повърхностни акустични вълни (ПАВ) с електрони и тяхното приложение. Неговите първи изобретения са свързани с направата на резонансен излъчвател на ПАВ с генератор, генератор на ниски честоти, пиезоелектричен трансформатор и др. Той е съавтор и на няколко изобретения в областта на кварцовите резонатори и сензори.

Творческата, преподавателска, научна и приложна дейност на акад. Милко Борисов е всеобхватна. Той е автор и съавтор на повече от 80 публикации, цитирани многократно, на едно откритие, официално признато от Патентното ведомство, на 15 изобретения, сред които е метод и устройство за комплексно изследване и анализ на пространственото разпределение на повърхностните състояния в полупроводници, на над 60 обзорни и научно-популярни статии, на университетски учебници и на монографията „По-

върхностни акустични вълни и някои техни приложения“. Той е инициатор на осъвременяването на учебниците по физика за средните училища през периода 1966 – 1976 г. и на провеждане на изследвания в областта на историята на българската физика, които са включени в книгите „Предшественици на разпространението и развитието на физиката в България“ (1985) и „Основоположници на обучението по физика в България“ (1988).

Акад. Милко Борисов е носител на редица академични и държавни отличия. Сред тях са три ордена „Св. св. Кирил и Методий“ I ст. (1959, 1963, 1968), званието „Заслужил деятел на науката“ (1985), вписан е в Златната книга на българската експериментална, приложна и инженерна физика и е вторият след акад. Георги Наджаков избран за почетен член на ИФТТ.



*Академик Милко Борисов на основаната от него
Международна школа по физика на конзензираната материя, 1980 г.*

Една негова много важна и полезна научноорганизационна дейност е свързана с провеждането на редица научни конференции, симпозиуми и школи, с което допринася за научния обмен и разпространението на постиженията в областта на физиката на твърдото тяло. Той е председател на Организационните комитети на конференцията „Физика – производство“, на международния симпозиум „Физика и електронизация“, основател е на Международната школа по физика на кондензираната материя, която се провежда на всеки две години от 1980 г. Първоначално, Школата е създадена като форум, където могат да се срещат учени от Изтока с колегите си от Запада, за да споделят последните си научни постижения и обменят идеи за развитието на науката. Тази негова инициатива продължава да съществува и се развива благодарение на усилията на всички директори на Института от създаването му досега, като всяко едно издание е посветено на актуалните за времето му научни тематики.



*Проф. Шамати открива 22-та Международна школа
по физика на кондензираната материя, 2022 г.*

Литература

К. Коленцов, Постижения на приложната физика в БАН, АИ „Проф. Марин Дринов“, София, 2010, 61-66.

50 години ИФТТ – БАН

Съставители:
акад. Никола Съботинов
акад. Александър Г. Петров
чл.-кор. Лозан Спасов
проф. Николай Тончев

Българска
Първо издание

Формат 70/100/16
Печатни коли 9

Издателство „Авангард Прима“
София, 2022

ISBN 978-619-239-769-2



**ИНСТИТУТ ПО ФИЗИКА НА ТВЪРДОТО ТЯЛО
„АКАДЕМИК ГЕОРГИ НАДЖАКОВ”**

**бул. „Цариградско шосе“ 72
1784 София
<http://www.issp.bas.bg>**



9 786192 139769 2