

**Авторска справка за научни приноси на**

**гл. ас. д-р Кръстьо Милчев Бучков**

**I. Творческа биография**

**Образование и професионален опит**

**1999-2004** – бакалавърска степен, специалност „Физика и Математика“,

Пловдивски университет „Паисий Хилендарски“

**2004-2006** – магистърска степен, специалност „Медицинска радиационна физика и техника“,

Пловдивски университет „Паисий Хилендарски“

**2007-2013** – докторска степен, защитена дисертация на тема „Изследване на свръхлегираното състояние в свръхпроводимата система  $Y(Ca)BaCuO$ “

Институт по физика на твърдото тяло „акад. Георги Наджаков“, БАН

**Заемани научни длъжности**

**2010-2013** – физик, лаб. Нискотемпературна физика,

Институт по физика на твърдото тяло „акад. Георги Наджаков“, БАН

**2013 - досега** - главен асистент към лаб. Физика на материалите и ниските температури,

Институт по физика на твърдото тяло „акад. Георги Наджаков“, БАН

## Участие в проекти

- (1) Изследване на свръхлегираното състояние в свръхпроводимата система Y123**  
Междуакадемично сътрудничество (Институт за структурни изследвания и ниски температури – Вроцлав, Полша / Институт по физика на твърдото тяло – София, България), 2008-2010
- (2) Легиране на 1-2-3 ВТСП материали и неговото влияние върху АС загубите, критичния ток, пининг и активационна енергия**  
Европейски проект по програма “Euroatom”, 2008-2013
- (3) Получаване и изследване на Fe – базирани свръхпроводници**  
Европейски проект по програма “Euroatom”, Хоризонт 2020, 2014
- (4) Изследване на Fe – базирани свръхпроводници**  
Междуакадемично сътрудничество – Физически факултет на Университета в Салерно, Италия / департамент CNR-SPIN / Институт по физика на твърдото тяло, 2013-2016
- (5) Изследване на смесеното състояние и електро-транспортните свойства на свръхпроводимата FeSe система с добавка на Ag**  
Междуакадемично сътрудничество (Международна лаборатория за силни магнитни полета и ниски температури), Вроцлав, Полша / Институт по физика на твърдото тяло – София, България), 2013-2017, (ръководител)
- (6) Изследване на АС магнитен отклик на Fe-базирани свръхпроводници и мултифероични материали**  
Младежки проект от програмата за подпомагане на млади учени, БАН, 2016-2017 (ръководител)
- (7) Изследване на неконвенционални свръхпроводници и магнитни биогенни наночастици**  
Междуакадемично сътрудничество (Институт за структурни изследвания и ниски температури – Вроцлав, Полша / Институт по физика на твърдото тяло – София, България), 2018-2020, текущ (ръководител)

**(приложение 13 в документите)**

## Наукометрична информация

Кандидатът д-р Кръстьо Бучков е автор и съавтор на общо **26** научни публикации. (представени в **приложение 9**).

- докторската дисертация е базирана на **5** публикации, от които **3** с импакт фактор и глава от книга (статии 2, 3, 4, 6, 7 от хронологичния списък - **приложение 9**).
- В конкурса участва с **21** научни публикации, от които **16(17)** са с импакт фактор (ранг) и две глави от книги (**приложение 9: 1, 5, 8-26**).
- **12** от представените научни статии са публикувани в специализираните журналы по основните теми Свръхпроводимост и Магнетизъм.
- **5** публикации са представени на международни конференции.
- Отделно кандидатът има принос към б други публикации, за които има изказана благодарност.  
**41 независими цитирания, h-index (4)** – определен от база данни: Scopus, ResearchGate.

### **Участие на конференции и форуми:**

8-ма Конференция на Балканско физическо дружество – 2012, Констанца, Румъния

*“Reduction of YBCO melting temperature by simultaneous Ca substitution and Ag addition”*

(представен постер)

9-та Конференция на Балканско физическо дружество – 2015, Истанбул, Турция

„Electro-transport studies of silver doped FeSe<sub>0.94</sub> superconducting system“

(презентация)

Втори национален конгрес по физика, 2013, София, България

„Изследване на свръхлегираното състояние в свръхпроводимата система Y(Ca)BCO“

(презентация)

**Обучителни дейности:** Консултант на дипломна работа (бакалавър) на студент Евелина Георгиева, Физически факултет, СУ на тема: „Получаване и изследване на свръхлегирани Y(Ca)BCO обемни образци“

**Заявка за патент N 111870/ 10.12.2014, „Желязо базиран свръхпроводим материал“**

(в процедура)

## II. Описание на научните приноси, съдържащи се в публикуваните трудове

Основните научни интереси на д-р Кръстьо Бучков са в областта на свръхпроводимостта, магнетизма и нискотемпературната физика, включително синтез на материали и анализ на техните свръхпроводими и магнитни характеристики чрез провеждане на набор от различни AC/DC магнитни и електро-транспортни експерименти. Научната дейност и приноси могат да бъдат обобщени в следните тематични групи.

### Получаване на свръхпроводими образци и тяхното структурно охарактеризиране

За провеждане на изследванията описани в публикуваните трудове са синтезирани чрез различни подходи, набор от свръхпроводими образци в различни структурни форми (поликристални, стопилкови, кристали).

Чрез 3 степенен твърдофазен синтез са получени поликристални купратни образци от вида: **YBCO**, **HoBCO** и серии **Y(Ca)BCO** с различна степен на субституция на Y с Ca (**2.5%**, **5%**, **10%**, **20%**), както и такива с допълнителна добавка **Ag** или **Sn**. С част от изброените серии е работено и по темата на докторската дисертация.

Синтезирани са различни поликристални, стопилкови и монокристални серии образци от **Fe** базирани свръхпроводници (общо около 40): основните системи от халкогенидната група: **FeSe**, **FeSe<sub>0.5</sub>Te<sub>0.5</sub>**, **FeSe<sub>0.94</sub>**, както и серия допълнително модифицирани **FeSe<sub>0.94</sub>** с добавка **Ag (4%, 6%, 8%, 10% wt.)**. Получени са и кристали **Fe<sub>1.02</sub>Se** по флукс метод (**NaCl/KCl**) и монокристални образци **FeSe<sub>0.5</sub>Te<sub>0.5</sub>**, съответно по два различни метода на израстване: от стопилка и по Бриджман технология.

**Fe** базираните свръхпроводници, като цяло изискват по-специфични условия за синтез: подготовка на прекурсорите в инертна среда (glove box), най-малко два последователни етапа на синтезиране, високи работни температури  $\sim 1100^\circ\text{C}$ , използване на двойни кварцови ампули с висок вакуум ( $\sim 10^{-5}\text{ torr}$ ), поради волатилния и летлив характер на стопилките, продължителни процеси (1 месец) на израстване на кристали **Fe<sub>1.02</sub>Se** и **FeSe<sub>0.5</sub>Te<sub>0.5</sub>**.

Кандидатът, д-р К. Бучков участва в цялостната подготовка на всички изброени серии образци, [статии: **2-11**, **13-20**, **23-26**], както и в подготвяне на необходимите условия и инфраструктура: работа с вакуумни инсталции и адаптиране на тръбна пещ "Carbolite" за синтез във вакуумна среда и др.

Кристалната структура, строеж, фазов състав и хомогенност на изследваните материали са характеризирани посредством рентгено-структурен анализ (**XRD**) и сканираща електронна микроскопия, енергетично-дисперсионна рентгенова

спектроскопия (**SEM-EDX**). Получените данни са анализирани от гледна точка на изучаването на комплексното влияние върху базови физични (свръхпроводими, магнитни и електрични) свойства в свръхпроводящо и нормално състояние в зависимост от наблюдавани вариации на параметрите на кристалната решетка, наличие на примесни фази, морфологични особености и др.

Специфичния процес на синтез и израстване на халкогенидните **Fe**-базирани свръхпроводници води до едновременно формиране на няколко фази: основна (тетрагонална) свръхпроводяща и други халкогенидни фази (основно феро(и)магнитни) фази. При изследваните **Fe<sub>1.02</sub>Se** кристали чрез **XRD** анализ е установено приблизително процентно съотношение **80/20** на основната свръхпроводима  $\beta$ -**FeSe** и примесна хексагонална **Fe<sub>7</sub>Se<sub>8</sub>** фаза. Наличието на примесните фази при получените **FeSe<sub>0.5</sub>Te<sub>0.5</sub>** кристали е минимално и основно в границите на чувствителност на **XRD**. В допълнение, добавката на **Ag** в системата **FeSe<sub>0.94</sub>** води до значително количествено редуциране на хексагоналната фаза. Друг важен резултат е откритата систематична промяна в параметрите на решетката (отместване на **00l** пикове) с нарастване на съдържанието на **Ag**, предполагащо и навлизане в кристалната структура, без негативна промяна в свръхпроводимите свойства. Резултатът е интересен от гледна точка, че мнозинството изследвани химични субституции при **FeSe** водят до силно негативен ефект върху свръхпроводимостта [статии: **11, 13, 14, 16, 17, 19, 20**].

Корелации между вариациите на параметрите на структурата са изследвани и по темата на дисертацията при **Y(Ca)BCO** образци с индиректна оценка на кислородно съдържание и съответно определяне на нивото на легиране.

Морфологичният (SEM) анализ на повърхността на образците е използван за оценка на форма и размер на гранули при поликристални образци (**YBCO**), както и за изследване на различни структурни форми, като домени и наличие на граници на двойникуване (кристали **Fe<sub>1.02</sub>Se** и **FeSe<sub>0.5</sub>Te<sub>0.5</sub>**) [статии: **11, 14, 15, 25, 26**].

Участието на кандидата в гореописаните групи изследвания е свързано със систематизиране на получени данни, обстояйни литературни справки с цел сравнителен анализ на характеристиките с тези на аналогични образци, както и интерпретация на резултатите от гледна точка на влиянието върху базовите физични свойства.

## Изследвания на свръхпроводими и мултифероични материали

Изследвани са разнообразни групи свойства на различните свръхпроводими материали. Първоначалният анализ включва определяне на основни параметри: температура и ширина на свръхпроводящия преход, критични полета ( $H_{c1}$  and  $H_{c2}$ ) и плътност на тока, дължина на кохерентност, диамагнитно екраниране и количество на свръхпроводящата фракция. Мнозинството от проведените изследванията са фокусирани, като цяло върху изучаване на природата на смесеното състояние от фундаментална научна гледна точка, но същевременно и за оценка на потенциала за практически силнотокowi приложения.

При серията образци  $FeSe_{0.94}$ , с 5 различни концентрации -  $FeSe_{0.94}(Ag: 0, 4, 6, 8, 10\% \text{ wt.})$  са изследвани ефектите върху основните критични параметри с варирането на **Ag**, като са открити редица позитивни ефекти върху свръхпроводимите свойства по отношение на критични параметри (например по-високи  $T_c$ ,  $H_{c2}$ ), стабилност на прехода в магнитно поле, преход единичен/колективен пининг и съответно линия на необратимост отместени към по-високи температури и полета. Обстойно са изследвани и електричните им свойства в нормално състояние и анализирани от гледна точка на модификацията на електронната им структура. [Статии: 11, 13, 17, 19, 24]

Чрез сравнителен анализ е определена оптималната концентрация - **6% Ag**, съответно с най-високи и стабилни критични параметри и поради тази причина бяха проведени по-детайлни измервания на интергрануларните транспортни свойства, разкриващи SNS тип връзки (в температурен интервал от 1K в близост до  $T_c$ ) и доминиращ колективен пининг на вихрите (при приложен променлив ток с различна амплитуда). Определени са функционалните зависимости на критичния ток  $J(T,H)$  и енергията на пининг  $U_p(T,J,H)$ . В колаборация с полски колеги е изследвано влиянието на високо изостатично налягане ( $\sim 1 \text{ GPa}$ ) върху морфологията и свръхпроводящите свойства. [Статии: 18, 19, 20]

Изследвани са обстойно и характеристиките в смесено състояние на кристали от системата  $Fe_{1.02}Se$ , които както вече беше отбелязано, притежават комплексна доменна морфология със силен ефект върху свръхпроводящите и магнитни свойства. В допълнение, доменната структура променя пининг топологията на материала [Статии: 15, 16], което се проявява в т.нар „псевдо“ пик ефект на магнитния хистерезис, който типично се наблюдава при бикристални структури. Детектирани са и вихрови лавини, чието поведение също е обусловено от структурните особености. Анализирана е еволюцията на различните процеси на вихровата динамика на  $Fe_{1.02}Se$  кристалите [14]: преходът от стабилност на пининга в критично състояние до доминация на дисипативните режими. Чрез хармоничен АС магнитен анализ е установено наличието на геометричен бариер [14]

възникващ в случаите, когато магнитния профил на проникване на АС полето в свръхпроводника е силно деформиран.

Проведен е и сравнителен анализ на  $\text{Fe}_{1.02}\text{Se}$  кристали с тънки слоеве  $\text{FeSe}_{0.5}\text{Te}_{0.5}$  с подложка  $\text{CaF}_2$  за оценка на потенциала за приложения. Построена е магнитната фазова диаграма, както са определени и функционалните зависимости на  $U_p(H, T)$  и силата на пининг  $F_p$  до 14Т [16].

Изследвани са и фазовите преходи във вихровата система на кристали  $\text{FeSe}_{0.5}\text{Te}_{0.5}$  (израстнати по Бриджман метод). Аналогично, свойствата им са определени от морфологията и наличието на разнообразни дефекти (пининг центрове) в структурата: точкови и планарни дефекти: граници на двойникуване, които са едни от най-ефективните центрове на пининг. В резултат на това, свръхпроводника проявява двоен пик ефект на магнитния хистерезис, последвано от нарастване на критичния ток при високи магнитни полета. Построена е и магнитната фазова диаграма на вихровата система, като различните преходи и състояния са идентифицирани чрез техните температурни зависимости [25].

Изследвани са свойствата на кристали  $\text{FeSe}_{0.5}\text{Te}_{0.5}$  израстнати от стопилка, като при тях също са видими граници на двойникуване, но далеч по-слабо изразени и съответно не се наблюдава вторичен пик на намагнитване и критичния ток е по-нисък. Направен е сравнителен анализ на кристалите получени по двата различни метода [25, 26].

Анализирани са също и магнитните им свойства (в нормално състояние), които се определят от поведението на хексагоналната фаза  $\text{Fe}_7\text{Se}_8$ , също повлияна от структурните особености (в различна степен за двата вида кристала), тъй като съществува във вид на наноразмерни клъстери в основната свръхпроводяща матрица. Установен е магнитен преход - завъртане на основната ос на намагнитване по  $c$  - оста ( $c$  – spin axis transition) [26].

Провеждани са изследвания на купратни свръхпроводници (извън резултатите включени в докторската дисертация), като е проучвано влиянието на степента на легиране при  $\text{Y}(\text{Ca})\text{BCO}$  и  $\text{Ho}(\text{Sn})\text{BCO}$  върху основните критични параметри и вихровата динамика. Чрез  $\text{DTA}$  (диференциален термо-гравитометричен анализ) са изследвани факторите влияещи върху евтектиката и формирането на морфологията при  $\text{Y}(\text{Ca})\text{BCO}$  в зависимост от степента на  $\text{Ca}$  субституция [9, 10].

Друга основна тема в която кандидатът специализира е в изследването на магнитната природа на мултифероични материали. Определени са магнитните характеристики на мултифероичната система  $\text{Pb}_3\text{Mn}_7\text{O}_{15}$  с частична субституция на  $\text{Ni}$ ,  $\text{Ti}$  на позицията на  $\text{Mn}$ . Съединението има многослойна кристална структура със силна анизотропия на свойствата, определяща сложна фазова диаграма с разнообразни

състояния: парамагнитно, антиферромагнитно с близък и далечен порядък, спин кантинг ефекти и спиново преориентиране при най-ниските температури. Системата е силно фрустрирана, което води до формирането на метамагнитен хистерезис [22].

Изследвани са и магнитни наночастици от типа  $\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_{2.5}\text{O}_4$  получени чрез механохимичен синтез, като е анализирано суперпарамагнитното им поведение и са определени блокиращите им температури [12].

Кандидатът е участвал в гореописаните изследвания с обработване, анализ и интерпретация на резултати, с проучване и ситематизиране на наличната информация от литературата по основните работни теми и отворени въпроси.

### **Използвани експериментални техники**

За провеждане на представените изследвания е използван широк набор от експериментални техники при ниски температури и силни магнитни полета, които могат да се разделят в две групи:

**Електрични методи:** AC/DC резистивни, магнито-резистивни, V-A характеристики, ефект на Хол.

**Магнитометрични методи:** AC/DC намагнитване, анализ на термомагнитната история в широк температурен интервал (ZFC-FC протоколи), магнитен хистерезис, релаксационни измервания (магнитен момент, като функция на времето).

Научният опит на кандидатът, включва също и специализация в провеждане на изброените типове експерименти, като оператор на криостатна система Quantum Design: PPMS-9T. Експериментални анализи изпълнени от д-р Бучков, са използвани в статии [10-15, 17, 18, 22-25], като те включват както основното характеризане на наблюдаваните явления така и предварителни проучващи експерименти и съответно такива за селектиране на образците с най-добри параметри.

Кандидатът основно специализира в прилагането на метода на AC магнитна възприемчивост и по-конкретно в анализа на високите хармонични компоненти. Техниката дава възможност за детайлно характеризане на процесите (линейни и нелинейни) формиращи магнитния отклик на свръхпроводник и даден магнитен материал. При свръхпроводниците това включва разнообразни процеси свързани със стабилността на пининга, дисипативните процеси (Flux Creep, TAFF и Flux Flow) [10, 14], бариерни ефекти, фазите и преходи на вихровата материя. Обстойно анализирани са и безразмерните Cole-Cole представяния, които дават възможност за сравняване с различни



теоретични модели [14]. При магнитните материали се разглеждат спиновата динамика и подреждане в магнитните фазови преходи, така и поведението на доменните стени [22].

Някои от изследванията изискват и изпълнение на проучващи експерименти, за да се определят параметрите даващи най-добра точност и чувствителност, какъвто е случаят с хармоничен анализ на АС магнитна възприемчивост на мултифероичната система  $\text{Pb}_3\text{Mn}_7\text{O}_{15}$ , която е с анти-ферромагнитна природа и съответно факторът (сигналът) на нелинейност е в лимита на чувствителност на прибора [22].