

## Ниско-температурна физика и свръхпроводимост

Васил Ловчинов

**Първа част:** Докато за философския въпрос „кое е първично – яйцето или кокошката“ все още няма конкретен отговор, то за явлението свръхпроводимост такъв въпрос не стои! Този странен феномен на изчезване на съпротивлението на някои материали нямаше да бъде открит ако нямаше ниски температури или по-точно, ако не беше втечен газът хелий, който има най-ниската температура на кипене от всички газове – 4,20 К. Напълно естествено е, този който пръв е втечил хелия, той да бъде и откривател на странното явление – свръхпроводимост. Този човек е Хайке Камерлинг Онес. На 10 юли 1908 година в Лайденската лаборатория в Дания той пръв успява да втечни един от изотопите на хелия – хелий 4 и веднага започва да изследва свойствата на различни чисти метали при тази най-ниска за времето си температура. По това време са съществували две теории за електрическото съпротивление като основна характеристика на металите. Паул Друде предсказвал линейно намаляване на съпротивлението с температурата, докато лорд Келвин предполагал, че при хелиеви температури проводящите електрони в метала ще *замръзнат* и при абсолютната нула електросъпротивлението би трябвало да стане безкрайно. Опитите на Камерлинг Онес се оказали от решаващо значение за разрешаването на този научен спор. Онес започва измерването на електрическото съпротивление на възможно най-чисти метали – живак, олово, калай и много други. Започнал е с живакът, тъй като този метал лесно можел да се получи много чист чрез дестилация. Експериментът бил много прост. Състоял се от скачени капилярни тръбички пълни с живак – една права и две успоредни перпендикулярни на нея. По правата тръбичка се пускал електрически ток, измерван с амперметър, а с волтметър, включен между успоредните перпендикулярните тръбички, се измервал падът на напрежението създаван от този ток. При намаляване на температурата съпротивлението на живака падало линейно, както предсказал Друде. Обаче, при достигането на температура 4,1 К напрежението със скок ставало нула, а ток продължавал да тече. Това странно явление Камерлинг Онес наименоувал сполучливо свръхпроводимост, което име и до днес не се е променило. Събитието се случило на 8 април 1911 година, което се счита за рождена дата на свръхпроводимостта. Температурата, при която изчезва съпротивлението нарекли критична  $T_k$  и тя е характерна за дадения материал. За това свое откритие през 1913 година Камерлинг Онес получава Нобелова награда.

Новото откритие развълнувало цялата световна научна общност. Във всички лаборатории, които можели да си позволят да имат течен хелий, започнали денонощни експерименти. Били открити много нови свръхпроводими вещества. Започнало изследването и на други физични свойства на тези вещества. Оказало се, че свръхпроводниците имат аномалии не само в електрическите но и в топлинните, магнитните, оптичните и ред други свойства. Така например през 1933 година е направено ново откритие свързано със свръхпроводниците. Майснер и Оксенфелд откриват, че вътре в масивен свръхпроводник при температура по-малка от критичната

$T_k$ , магнитната индукция  $B$  е равна на нула т.е. магнитното поле се изтласква от обема на свръхпроводника. Впоследствие се оказало, че изтласкването не е от целия обем, а само до дълбочината на проникване на магнитния поток в тънък повърхностен слой с дебелина  $\delta \sim 10^{-5} - 10^{-6}$  cm.

Започнали и първите опити за теоретично обяснение на странното явление. В самото начало към тези опити се присъединили такива корифеи на физиката като Айнщайн, Бор, Хайзенберг, които изказали предположението за квантовата природа на явлението. Появили се редица модели и теории, обясняващи отделни експериментални особености на свръхпроводниците – двутечностен модел на Гортер–Казимир, теорията на братята Лондон, теорията на Гинзбург–Ландау, теорията на Абрикосов и Горков и т.н. Липсвала обаче единна теория, която да обяснява всички особености в поведението на измерените характеристики на свръхпроводниците. Ако една теория обяснявала добре електричните свойства, то тя не можела да обясни магнитните или пък ако обяснявала електричните и магнитните, то тя не можела да обясни топлинните. Такъв е например скокът на топлоемкостта при прехода в свръхпроводящо състояние без отделяне или поглъщане на топлина, т.е. фазовият преход от II род. Липсвала единна теория, която да свърже трите основни параметри на свръхпроводниците – критична температура  $T_k$ , критично магнитно поле  $H_k$  и критичната плътност на тока  $J_k$ , т.е. това са температурата, магнитното поле и тока до които свръхпроводящото състояние съществува.

Близо 50 години след откриването на свръхпроводимостта такава единна теория все още не била разработена. Едва през 1957 година американските физици Бардийн – Купър – Шрифър разработиха микроскопска теория на свръхпроводниците известна като *теория БКШ*. В основата ѝ лежат две идеи за сдвояването на електроните в електронни двойки и за енергетичната празнина между основното състояние на сдвоените електрони и възбуденото състояние. Идеята за сдвояване на електроните в електронни двойки се базира на теоремата на Купър която доказва, че при определени условия в една електронна система могат да възникнат сили на привличане между електроните въпреки Кулоновата сила на отблъскване между тях. Това може да стане единствено ако електроните си взаимодействат с трептенията на кристалната решетка – фононите по такъв начин, че да се екранира Кулоновата сила на отблъскване между тях и те да се окажат сдвоени. Всички сдвоени електрони образуват един кондензат, който е отделен от останалите възбудени електрони с енергетична празнина. Ако искаме да възбудим свързаните електрони в свръхпроводниците трябва да вкараме толкова енергия, че да се възбуди цялата съвкупност за да се преодолее този енергетичен праг между основното и възбудено състояние на електроните. Механизмът на възникване на такива свързани двойки електрони наречени купърови, е типично квантов: електроните обменят помежду си фонони, в резултат на което между тях възниква привличане. Затова с право може да се счита, че свръхпроводимостта е ново състояние на веществото при което в една макросистема се проявяват квантови закономерности. Теорията БКШ не отрича, а дава обяснение на предшестващите я феноменологични теории. Освен това, тя намира връзка между основните параметри на свръхпроводниците – критична температура  $T_k$ ,

критично магнитно поле  $H_k$  и критичната плътност на тока  $J_k$ . Наред с това теорията БКШ позволи да се предскажат редица нови ефекти в свръхпроводниците, най-забележителни от които са ефектите на Джозефсън. Основен недостатък на теорията е, че според нея съществува пределна температура от порядъка на 35 – 36 K, над която не могат да се образуват сдвоени електрони. Цели 30 години това не се считаше недостатък, а просто предсказан предел на възможностите на съществуващите свръхпроводници да провеждат тока без съпротивление в рамките на този механизъм на сдвояване на електроните. В подкрепа на това предсказание на теорията говореха многобройните търсения на нови свръхпроводящи сплави, интерметални съединения, керамики, даже и органични съединения и нито едно от тях нямаше температура на прехода по-висока от предсказаната в теорията БКШ. За 75 години от откриването на свръхпроводимостта най-високата критична температура беше постигната за интерметалното съединение  $Nb_3Ge$  – 23,2 K, далече от предсказания предел от 36 K. От много технологичната метална сплав Nb – Ti, макар и с критична температура на прехода 9K, започва масово производство на жица от която да се навиват свръхпроводящи магнити. Започва се широкото използване на свръхпроводимостта в практиката. И така теорията БКШ тържествено шестваше до 1986 година! За нея американските физици Бардийн – Купър – Шрифър получиха през 1963 година Нобелова награда.

През 1983 год. в един швейцарски филиал на американската фирма IBM в Цюрих, швейцарският изследовател Алекс Мюлер успява да убеди своя бивш студент Георг Беднорц, да разработи своята докторска работа върху изучаване свойствата на перовскитни материали, в които да се търси такава комбинация от вещества и стехиометрии, водещи до висока концентрация на електрони в зоната на проводимост. След две години неуспешна работа Мюлер прочита през 1985 година в една френска публикация, че френските колеги са изследвали оксид с перовскитна структура, който показал добра проводимост в широк температурен интервал. Това дало надежда на Мюлер и Беднорц, че са на прав път и те удвоили усилията си. Само година след това през 1986, на тях им се отдава да получат трошливото керамично съединение  $La_{1-x}Ba_xCuO_3$ . При  $x = 0.2$  и  $x = 0.15$  това съединение давало свръхпроводящ преход при 30 градуса Келвин! При останалите стойности на  $x$  то било изолатор. Невиждана и рекордна до този момент температура на преход и то в керамика, която по принцип трябва да е изолатор! Двамата изследователи били изумени и от отличната повтаряемост на резултатите. Само след няколко седмици при разлина термична обработка на тези образци, те успели да повишат температурата на прехода до 35K. Първата статия по този въпрос се появява в списанието *Zeitschrift für Physik B* 64 (2): 189–193., J. G. Bednorz, K. A. Mueller (1986). “Possible high  $T_c$  superconductivity in the Ba-La-Cu-O system”. Статията е с много внимателно подбрано заглавие: *Вероятна високо-температурна свръхпроводимост в системата Ba-La-Cu-O*.

Ето че 75 години след откриването на свръхпроводимостта световната научна общност отново е шокирана от това странно явление. Отново картината от 1911 година

когато Камерлинг Оннес е обявил своето откритие се повтаря. Денонощно лабораториите в света се мъчат да повторят откритието на Мюлер и Беднорц. Започват трескави експерименти в търсенето на нови комбинации от този нов клас вещества. В началото всичко се правеше в строга секретност. Никой не казваше какви вещества използва, как и при какви технологични режими ги обработва. Важното беше да си пръв, който ще докладва нещо ново. Само 5 месеца след Мюлер и Беднорц през 1987 година от Хюстън дойде новина, че Ву, Чу и сътрудници, заменяйки лантана с итрий са получили свръхпроводник с температура на преход 90 K. Нов рекорд! За пръв път от ерата на хелиевите свръхпроводници се прави скок в ерата на азотните свръхпроводници. Вече не е необходимо да се използва скъпо струващия и рядък течен хелий с температура на кипене 4,2 K за да се провеждат експерименти със свръхпроводници. Сега той се заменя с евтиния и широко разпространен течен азот с температура на кипене 77 K. Това ново постижение и лесна достъпност до течен азот, увеличи още повече интензивността на научните търсения. Към опитите на физиците се включиха химици, хора от металознанието, биолози даже и фармацевти. За кратък период от време бяха публикувани над 200 000 статии за нови и нови материали от този клас, показващи свръхпроводимост.

През 1988 година дойде съобщението за намиране на свръхпроводимост в съединение без участието на редкоземен елемент. Авторите Н. Maeda, Y. Tanaka, M. Fukutumi, T. Asano (1988). "A New High- $T_c$  Oxide Superconductor without a Rare Earth Element", *Japanese Journal of Applied Physics* 27: L209–L210, откриха съединението Bi-Sr-Ca-Cu-O (BSCCO) с критична температура на преход в свръхпроводящо състояние 108 K. Още същата година Z. Z. Sheng, A. M. Hermann (1988). "Bulk superconductivity at 120 K in the Tl–Ca/Ba–Cu–O system", *Nature* 332 (6160): 138–139. Bibcode 1988 Natur.332.138S, публикуваха талиевото съединение с критична температура на преход 120 K. През 1993 година беше докладвана живачната система с критична температура на преход в СП 150 K, обаче под налягане (C. W. Chu *et al.* (1993) "Superconductivity above 150 K in HgBa<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>8+δ</sub> at high pressures". *Nature* 365 (6444): 323). Пак под налягане тази температура беше доведена до 164 K от Гао и сътрудници (L. Gao. *et al.* (1994). "Superconductivity up to 164 K in HgBa<sub>2</sub>Ca<sub>m-1</sub>Cu<sub>m</sub>O<sub>2m+2+δ</sub> (m=1, 2, and 3) under quasihydrostatic pressures", *Physical Review B* 50 (6): 4260–4263). За сега това се счита за най-високата критична температура на преход в свръхпроводящо състояние.

В процеса на тези търсения не може да не се спомене откриването на свръхпроводимост в съединението MgB<sub>2</sub> през 2000 година с критична температура на преход в СП 39 K и откриването през 2008 година на цял клас от желязо – базирани слоисти свръхпроводници от типа La[O<sub>1-x</sub>F<sub>x</sub>]FeAs с критична температура на преход в СП до около 56 K (Y. Kamihara, T. Watanabe, M. Hirano, and H. Hosono (2008), "Iron-Based Layered Superconductor La[O<sub>1-x</sub>F<sub>x</sub>]FeAs (x = 0.05–0.12) with  $T_c = 26$  K", *Journal of the American Chemical Society* 130 (11): 3296–3297; H. Takahashi *et al.* (2008) "Superconductivity at 43 K in an iron-based layered compound LaO<sub>1-x</sub>F<sub>x</sub>FeAs", *Nature* 453 (7193): 376–378). Тези съединения се оказват не толкова важни за практическото

използване на свръхпроводниците колкото за разбирането на природата на високотемпературната свръхпроводимост. Тук историята напълно повтаря събитията развили се за класическите свръхпроводници. Минават по-вече от 25 години и все още няма единна теория, която да обяснява всичко и за всички високотемпературни свръхпроводници. По-скоро както и по времето на класическата свръхпроводимост и сега има много теории и модели за високотемпературната свръхпроводимост, но няма една единна теория, обясняваща богатото разнообразие от високотемпературни свръхпроводящи материали и техните особености.

Класическите свръхпроводници чакаха близо 50 години своята теория БКШ. От откриването на високотемпературната свръхпроводимост са изминали вече 25 години. Огромното предизвикателство към съвременните теоретици е не да чакат още 25 години за разработване на нова теория за високотемпературната свръхпроводимост, а в близките няколко години да успеят да разработят такава, която да обяснява съществуващите експериментални факти да обясни как възниква свръхпроводимостта във високотемпературните свръхпроводници, да предсказва нови ефекти и евентуално да даде нови идеи в търсенето на стайни свръхпроводници. Съществуващите в момента властващи два модела на спинови вълни като помощен механизъм при сдвояването на електроните (вместо фононите при класическите свръхпроводници) дават само качествено обяснение на някои явления.

Свръхпроводимостта хвърля предизвикателство и към експериментаторите. За тях остава да търсят, макар и на сляпо без теоретични съображения нови комбинации от вещества, сплави и интерметални съединения, които да доведат до откриването на така мечтаните стайни свръхпроводници. Залогът е голям! Това ще бъде следващата Нобелова награда в областта на ниските температури и свръхпроводимостта. Няма област от физиката, която да има толкова много Нобелови награди. За ниските температури и свръхпроводимостта те са седем!

**Втора част:** Видяхме, че ниските температури и свръхпроводимостта са тясно свързани, защото без ниски температури няма свръхпроводимост. Освен това, разбрахме за големите предизвикателства, които това странно явление и до ден днешен поставя както пред теоретиците така и пред експериментаторите. Нека сега проследим пътя на ниските температури и свръхпроводимостта в България.

За ниски температури в България се заговорва усилено през 1959 година. Във връзка с построяването и пускането в експлоатация на научно-експерименталния реактор или както тогава се наричаше Физически институт с Атомна научно-експериментална база при БАН. Ръководството на Академията решава да създаде звено към ФИ с АНЕБ за ниски температури. Мотивацията е била, че някои радиоактивни изотопи от Реактора ще се нуждаят от ниски температури за тяхното съхраняване, а експериментите ползващи ефекта на Мьосбауер изискват колкото се може по-ниски температури. Освен това много групи в Академията, например биолози, зоолози, медици и др. се нуждаели от ниски температури за своите изследователски цели.

Така, ръководството на Академията след конкурс, още същата 1959 година възлага на младия ентузиазирани инженер химик Евгений Илиев Леяровски да основе група, с която да подготви всички условия за заявяването, закупуването, монтажа и пускането на апаратура за втечняване на кислород и азот от въздуха. Такава апаратура до този момент в България не е била известна. Макар и само на 26 години амбициозният инженер, е показал своя лидерски талант при работата си в Химичния комбинат в Димитровград и Металургичния комбинат в Перник. Той сформира група (инж. Лозко Цеков, Фердинанд Джери, Димитър Стоянов-Муци, Симеон Петров, Тодор Цанов, Христо Медаров) и рамо до рамо хората от нея изкопават основите, изливат фундамента и правят заявка за модерната за времето си ректификационна колона за течен кислород и азот ЖАК-80. Доставка е от Съветския съюз и включва монтажа и обучаване на екип от хора за работа с апаратурата. Първите капки азот потичат на 10 октомври 1960 година. Това може да се счита и рождената дата на ниските температури в България. Появяват се апетити за течни газове от цялата страна. Започва на няколко смени денонощната експлоатация на инсталацията.

Студентската мечта на инженер Леяровски, обаче, не била да се занимава с втечняването и разпределянето на течни газове за академичните звена. Той мечтаел да работи в научна лаборатория, да изследва свойствата на материалите при ниски температури и по специално да разделя чрез ниски температури онези газове които остават след втечняване на кислорода и азота - много скъпите и редки аргон, неон, ксенон, водород и хелий. И тъй като такава лаборатория нямало до този момент в България той започнал борбата да я създаде. Борбата се оказала много трудна, защото опонент на тази идея бил не кой да е, а самия директор на ФИ с АНЕБ при БАН академик Георги Наджаков. Чували са го да казва: *"инженерите да си гледат дюарите, а физиците науката"*! Инженер Леяровски, обаче, за да покаже твърдите си намерения и любовта си към знания и прогрес, записва специализирания курс за висшисти по физика на кондензираната материя, който по това време четял проф. Милко Борисов във Физическия факултет на СУ. Завършва го успешно и може би това смекчава позицията на академик Наджаков. Първоначално той се съгласява да назначи един физик – Любчо Калоферов и един инженер електроник – Магдалина Захаријева. Към тази група се присъединява и студента задочник по електроника в МЕИ – Константин Ненков.

Друга крачка към създаването на мечтаната лаборатория било изпращането през 1964 година на двама души от екипа – инж. Лозко Цеков и Димитър Стоянов на специализация във Физическия институт на Руската Академия на Науките в Москва в криогенната лаборатория на Фрадков. Целта на тази специализация била да се научат българските специалисти как се втечнява водород и хелий и да работят с руските втечители на тези газове. Още същата година след завръщането им от Москва в България е внесена и монтирана апаратура, даваща възможност за втечняване на водород, аргон и неон в специално построена за целта сграда с чупещ се покрив.

Инженер Леяровски започва да мисли за привличането и на млади научни кадри към звеното за течни газове. Единственият физик – Л. Калоферов го е напуснал, а инженерите – Цеков, Захаријева и Ненков помагат в тежката административна и организаторска работа по

снабдяването и изграждането на бъдещата лаборатория. Освен това те участват в експериментите, които инженер Леяровски провежда за разделяне на сместа от газове след ректификацията на въздуха от азот и кислород.

През 1964 година под ръководството на инженер Леяровски правят своите дипломни работи и успешно ги защитават в МЕИ, София двама млади инженери – Борислав Николов и Мария Жегнева. След защитата Борислав Николов отива да отбива военната си служба, а през 1965 година е назначен от проф. Цветан Бончев във физическия факултет на СУ с цел да оборудва подобна база за втечняване на газове и при тях. Така от 1965 година може да се счита че в България се е оформил втори център за ниски температури.

През същата 1965 година като дипломант при инженер Леяровски постъпва Бонка Иванова от МЕИ, а месец след нея при него се появява първия млад физик – студент в трети курс на СУ – Васил Ловчинов. Пленен от идеите на нискотемпературната физика и перспективите на новосъздаващата се лаборатория Васил Ловчинов успява да убеди свой приятел и колега от следването – Петко Василев да посещават инженер Леяровски като негови кръжочници.

Този невероятен възход на звеното за втечняване на газове, ентузиазмът и размаха на неговия ръководител, привличането на млади хора, не остават незабелязани от директора на ФИ с АНЕБ при БАН - академик Наджакков. Този опитен администратор на науката в България и учен с огромна ерудиция съзрял потенциала на това звено и неговия ръководител въпреки, че преди това е бил против неговото научно утвърждаване сам предложил звеното да прерасне в научна лаборатория по ниски температури, а за инженер Леяровски да се открие конкурс за научен сътрудник.

5 юли 1965 година се счита рождената дата на лаборатория Ниски температури, когато Научния съвет на ФИ с АНЕБ приема решение за преименуване на звеното за втечняване на газове в научна лаборатория. За неин пръв ръководител, обаче, е избран проф. Саздо Иванов, който по това време беше заместник директор на ФИ с АНЕБ при БАН и ръководител на българската делегация от експерти по ниски температури в Съвета за икономическа взаимопомощ (СИВ). Основните дейности на Лабораторията, обаче, се движеха от н.с. Евгений Леяровски. Тази година се оказва една щастлива година и за научното утвърждаване в чужбина на ново създадената лаборатория, тъй като през септември 1965 година се провежда *Четвъртата международна конференция по Физика и техника на ниските температури на страните участнички в СИВ* в град Дрезден, ГДР. Лабораторията е заявила доклад, за който експериментите не бяха още довършени! Закипя бурна дейност – експеримент след експеримент, фигура след фигура, оформяше се научното съобщение. Работеше се денонощно, спеше се в лабораторията! Докладът беше готов и всички членове на лабораторията включително и студентите Ловчинов и Василев бяха негови съавтори. Нещо повече по настояване и със съдействието на Леяровски всички заминаха за Дрезден за да се докоснат за пръв път до постиженията на известни учени, да се срещнат с тях, да поговорят. Конференцията се оказа мощен катализатор за създаване на дружелюбен и творчески дух сред членовете на лабораторията, които заживяха като едно семейство. Този дух пролича особено силно на следващата международна

конференция по Физика и техника на ниските температури на страните участнички в СИВ в град Вроцлав, Полша през 1967 година, където българската делегация се представи със седем доклада. На тази конференция студентите Васил Ловчинов и Петко Василев представиха самостоятелни пленарни доклади разработени на базата на техните дипломни работи. Още през декември същата година те защитиха тези свои работи и се дипломираха 6 месеца преди колегите си от випуска. Веднага след дипломирането си те са избрани с конкурс за научни сътрудници към лаборатория Ниски температури.

Междувременно на работа към лабораторията бяха назначени инж.Бонка Иванова, физиците Светла-Мария Брънекова, Никола Тодоров, инж. Йордан Георгиев и завършилия в Москва инженер Веселин Ковачев. Привлечен е като член на лабораторията и инж. Борислав Николов от ФФ на СУ. Трябва веднага да се отбележи, че този голям човешки потенциал от млади хора нямаше да бъде отпуснат за лаборатория Ниски температури, ако не беше осъществена срещата между председателя на Комитета за наука и технически прогрес проф. Иван Попов и ръководството на лабораторията в лицето на проф. Саздо Иванов и н.с. Евгений Леяровски,. На тази среща проф. Иван Попов е бил впечатлен от идеята на Леяровски за създаването на турбодетандер, който да се използва за разделянето на неон и хелий от остатъчните газове след ректификацията на въздуха в огромните инсталации на гигантския комбинат Кремиковци. Простата сметка показвала, че при евентуалното реализирането на идеята на Леяровски България би могла да печели по няколко милиона лева годишно и да реши въпроса за получаването на тези редки газове от въздуха. Не напразно тази идея и разработения на нейна основа патентован проект спечелиха златен медал на изложението в Брюксел за иновационни технологии.

Председателят на Комитета за наука и технически прогрес проф. Иван Попов дава своята пълна подкрепа на ръководителя на проекта Леяровски, като отпуска необходимите средства и човешки ресурси за неговото реализиране. В лаборатория Ниски температури, настанаха времена за усилена работа. На отпуснатите персонално на лабораторията бройки се назначиха гореспоменатите научни работници и нови майстори специалисти на научна апаратура. Започна се заявяването, вноса и монтирането на новите необходими за проекта инсталации и линии. Успоредно с това вървяха научните изследвания. Те бяха тясно свързани с проекта, тъй като трябваше да се избере материал от който да се създаде работещият при хелиеви температури бъдещ турбодетандер. Физическите характеристики на този материал трябваше внимателно да се изучат, за да се предотвратят всякакви неизправности при понижаването на температурата и огромните обороти на турбината при тези температури. Изследваха се както топлинните и якостни, така и магнитните и електрически свойства на бъдещия материал.

Нов етап в научната дейност на лаборатория Ниски температури и на българската нискотемпературна физика, настъпва след подписване на споразумението за създаване на Международна лаборатория за силни магнитни полета и ниски температури (МЛСМПНТ) в гр. Вроцлав, Полша през 1968 година. Разговорите за нейното създаване започват на конференцията във Вроцлав през 1967 година и успешно завършват с подписване на съглашение между четирите страни учредителки – България, ГДР, Полша и Русия на



25април 1968 година. От този момент всеки български учен можеше да работи при хелиеви температури и мощни магнитни полета. Първ от тази възможност от българска страна се възползва н.с. В. Ловчинов, който още първата година работи 10 месеца в Полша за запознаване и усвояване на новата техника. Макар че през 1968 година на две места в България – ФИ с АНЕБ при БАН и Физическия факултет на Софийския университет, бяха внесени от Чехословакия втечнители на хелий, Международна лаборатория за силни магнитни полета и ниски температури в гр. Вроцлав, Полша и до днес си остава най-евтиното и привлекателно място за работа при хелиеви температури и силни магнитни полета. Там българските учени имат възможност да се срещнат и обменят опит със свои колеги от много страни в света и да направят контакт с известни учени в областта на ниските температури и магнетизма. Именно в тази лаборатория българските учени през 1969 година започват своите първи сериозни и систематични изследвания върху класически свръхпроводници.

Нарасналият авторитет на българската нискотемпературна физика и многобройните срещи на българските учени със свои колеги от чужбина бяха достатъчно основание да се гласува доверие на България да организира Десетата юбилейна международна конференция по *Физика и техника на ниските температури на страните участнички в СИВ* в град Варна, от 23- септември до 3 октомври 1971 година. На тази конференция бяха изнесени 4 доклада по свръхпроводимост от лаборатория Ниски температури и един от Физическия факултет на Софийския университет. Много пъти след тази първа конференция у нас на българските учени е засвидетелствано уважение, признание и доверие като им е възлагано да организират отговорни международни форуми по ниските температури и свръхпроводимост. Като едно своеобразно признание за авторитета на българската нискотемпературна физика може да се счита приемането на двама млади български учени за докторанти на световно известни корифеи на физиката и техниката на ниските температури. От 1967 до 1971 година Веселин Ковачев е докторант на академик Пьотр Леонидович Капица (впоследствие Нобелов лауреат) в Института за физически проблеми – Москва, а от 1971 до 1974 година Михаил Бушев е докторант на Алексей Алексеевич Абрикосов (също Нобелов лауреат) в същия институт.

В България по това време вече са натрупани знания, умения, възможности и човешки потенциал и сериозно започва да се мисли за практическото приложение на класическите свръхпроводници. За това голяма роля изиграва ст.н.с. д-р Веселин Ковачев, който след завръщането си от докторантурата в Москва през 1977 година става зам. директор на Института по Физика на Твърдото Тяло. Той разделя лаборатория Ниски температури на три лаборатории: Свръхпроводимост и свръхпроводими материали, Ниски температури и магнетизъм и Криогенна техника и става ръководител на първата лаборатория. Лаборатория Свръхпроводимост и свръхпроводими материали, запознава Министерството на енергетиката с перспективите на свръхпроводимостта и започва съвместна дейност с неговото най-голямо научно обединение Енергопроект. Така Институтът по Физика на твърдото тяло се включва в проблема *Разработка и създаване на опитни участъци от свръхпроводящи и криорезистивни линии за пренасяне на енергия и оборудване за тях,*

по програмата на Съвета за икономическа взаимопомощ. През 1979 година сътрудници от ИФТТ участват в международното съвещание на тема: *Диелектрически и конструкционни материали за криогенни линии за пренасяне на енергия*. През 1982 година ИФТТ съвместно с Министерството на енергетиката и Енергопроект организират във Варна в рамките на същата програма Международната школа *Свръхпроводимост в електроенетгетиката и електротехниката*. На тази школа лабораторията по Свръхпроводимост и свръхпроводими материали се представи с множество доклади, но най-силно впечатление направиха работите по десипативни процеси в свръхпроводниците, тъй като много малко страни в света имаха апаратура за тяхното определяне, а България беше една от тях. През 1983 година България отново става страна организатор и домакин на международен форум. Във Варна от 11 до 14 октомври се провежда Двадесет и първата международна конференция по Физика и техника на ниските температури на страните участнички в СИВ. На конференцията изнасят доклади такива корифеи на теорията и експеримента на ниските температури и свръхпроводимостта като Нобеловият лауреат А. А. Абрикосов, Боровик-Романов, А. Ф. Андреев, Н. Е. Алексеевски, Н. Б. Брандт, Р. С. Шафрата и много други. И така българската наука по физика на ниските температури и свръхпроводимостта достига до заветната 1986 година. По това време, тя има вече създадена най-необходимата материална база за работа и има макар и не многоброен но добре обучен, амбициозен научен състав в голямата си част натрупал дългогодишен международен опит и признание.

Новината, че в системата  $\text{La}_{1-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_3$  се наблюдава “вероятна” свръхпроводимост при 35 K, намери неподготвени не само физиците от целия свят, но и нашите. Основното съревнование се водеше между три утвърдени и имащи опит групи, занимаващи се с ниски температури и свръхпроводимост – едната от Физическия факултет на Софийския университет и двете лабораториите по Свръхпроводимост и свръхпроводими материали и Ниски температури и магнетизъм от Института по Физика на твърдото тяло. Към това съревнование веднага се включиха колегите от Института по електроника, Института по обща и неорганична химия, Химико-технологичния университет и много други любопитни да наблюдават новото чудо – и по-високотемпературната свръхпроводимост. Колегите от лаборатория Ниски температури и магнетизъм при Физическия факултет на Софийския университет се опитваха да получат лантановата система на Мюлер и Беднорц. В това време ръководителят на лаборатория Свръхпроводимост и свръхпроводими материали и заместник директор на ИФТТ Веселин Ковачев се свързва с ръководителят на лаборатория Израстване на кристали при ИФТТ Марин Господинов. Неговият огромен опит при работа със сложни комбинации от вещества му позволи веднага да получи системата на Пол Чу – Y-Ba-Cu-O. На 20 април 1987 година в 16:18 часа В. Ловчинов е записал в лабораторния си дневник *“Днес е Велик ден, за пръв път наблюдавам преход в свръхпроводящо състояние при азотни температури и температура на преход 86,5 K, колко е просто!”*. И действително, това събитие е станало на първия ден от християнския празник Възкресение Христово. Записите, които беше направил Ловчинов бяха многократно повтаряеми, ясни и без остатъчно съпротивление при азотни температури и

затова се показваха на всички делегации които минаха през лабораторията. Междувременно се разбра, че и във Физическия факултет на Софийския университет са получили високотемпературен свръхпроводник само че с остатъчно съпротивление при азотни температури и температура на преход 48,5 К.

Ентузиазмът беше завладял всички. Интересът беше огромен! Държавни, партийни, академични, институтски и всякакви други ръководители сипеха хвалебствия и обещания за закупуването на модерна апаратура и материали за новите свръхпроводници. Заговори се за създаването на междуведомствен технологичен център по свръхпроводимост. Към този Център изявиха желание да се включат много стопански организации, които имаха интереси в практическото приложение на високотемпературните свръхпроводници. Излезе даже решение на Министерския съвет № 46 от 10 август 1987 година, с което се разрешаваше да се създаде този Център. Когато се стигна до въпроса за финансите и кой да ги управлява Центърът не можа да се реализира. Независимо от това България може да се гордее, че беше една от първите страни в света преди Русия, преди Англия и преди много други развити икономики, която успя да повтори ефекта само три месеца след откриването на високотемпературните свръхпроводници. Това беше една отлична атестация на българските учени, занимаващи се с ниски температури и свръхпроводимост и чест за цялата българска наука.

Още от самото откриване на високотемпературната свръхпроводимост започва и борбата за нейното внедряване в практиката. Оказа се, че и тук природата е сложила много и трудни прегради. Новооткритите високотемпературни свръхпроводници са сложни керамични съединения с крехка структура, трошливи и трудни за обработка. От такъв не технологичен материал се оказа почти невъзможно да се направят жици за пренасяне на енергия или каквото и да е друг апарат, използващ явлението свръхпроводимост. Откритите нови керамични съединения на базата на бисмута, талия или живака имаха същия недостатък – не технологични. Отново учените тръгнаха да търсят пътища да заобиколят преградите на природата.

На базата на два проекта с Националния фонд за научни изследвания в лаборатория Свръхпроводимост и свръхпроводими материали, под ръководството на нейния ръководител проф. Васил Ловчинов, беше усвоена модерната технология OPIT за производство на опитни участъци от свръхпроводящи ленти за пренасяне на енергия. Достигна се до съвместни действия с Комбината за цветни метали в Пловдив за производството на тези ленти. На основата на тази разработка беше спечелен грант на НАТО за обучаване на гръцки колеги от центъра Демокритос в Атина в тънкостите на тази технология и съвместни изследвания на получените ленти. В продължение на 4 години от 1996 до 2000 година българските учени предаваха своя опит и знания на своите гръцки колеги.

Съвместно с белгийски колеги доц. д-р Николай Балчев усвои получаването и изследва живачната система. За сега той остава може би единствения български учен,

който продължава да търси нови комбинации от съединения с цел получаването на нови свръхпроводници с уникални свойства.

Доц. д-р Емил Влахов съвместно с колеги от Дрезден, Розендорф и Полша участва в няколко разработки по изследване и оптимизиране на тънкослойни структури на манганати, някои от които имаха практическа насоченост. На базата на тези изследвания бяха издадени няколко патента в България и Германия.

Отново с цел усвояване на високотемпературните свръхпроводници в рамките на международния проект Евроатом под ръководството на проф. В. Ковачев и на ръководителя на лаборатория Нискотемпературна физика от ИФТТ – БАН доц. д-р Елена Назърова в момента се провеждат изследвания върху класическата итриева система със субституция на калций за повишаване критичната плътност на тока на тези перспективни свръхпроводящи материали. Изброени са само някои дейности по свръхпроводимост свързани с международни проекти, за да се подчертае авторитета на българските учени в тази област.

С какво свръхпроводниците вече 100 години примамват изследователите? Преди всичко с революционните промени, които биха настанали при евентуалната тяхната масова употреба в живота. Счита се, че техническите преобразувания, които ще се случат след откриването на стайна свръхпроводимост, ще са по-големи от тези които настъпиха след откриването на транзистора. Да припомним само някои от възможните приложения на свръхпроводниците в живота ни:

1. Свръхпроводящи влакове на магнитни възглавници, достигащи скорости до 500-600 км/час със загуби само от триенето в заобикалящия ги въздух и минимален разход на енергия за тяхното предвижване – тук се използва ефекта на Майснер за изтласкване на магнитното поле от обема на свръхпроводника.

2. Свръхпроводящи акумулатори с минимални размери – тук се използва способността на свръхпроводниците да провеждат и акумулират огромни плътности на тока  $10^6 - 10^8$  Ампера/см<sup>2</sup> без загуби. С такива миниатюрни акумулатори ще могат да се придвижват всички транспортни средства.

3. Свръхпроводящи линии за пренасяне на енергия – сегашните електрически мрежи пренасят енергията с 10-20 % загуби, а загубите при свръхпроводящите линии ще бъдат 0%, поради нулевото им съпротивление.

4. SQUID - свръхпроводящи квантово интерференчни прибори със свръхчувствителност към магнитното поле, дължаща се на ефекта на Джозефсон.  $10^{-10}$  Тесла е сигналът, който идва от сърцето, а  $10^{-13}$  Тесла е сигналът от човешкия мозък. Тези сигнали могат да се уловят и изследват само с помощта на свръхпроводящи квантово интерференчни прибори с чувствителност  $10^{-16}$  Тесла.

5. Свръхпроводящи магнити за томографи, колайдери, магнитни оръдия, даже такива, които да изстрелват космически кораби. Тези магнити и сега се произвеждат и масово се използват, но за тях е необходим скъпо струващия и рядък течен хелий с температура на кипене 4,2 К. При използването на високотемпературни свръхпроводници,

разходите ще се намалят многократно, а при евентуалните стайни свръхпроводници революцията ще е огромна.

Защо на България са необходими специалисти и изследвания по ниски температури и свръхпроводимост? Отговорът е много прост. Ако гиганта Ай Би еМ разсъждаваше така: защо са ми специалисти изследователи, а не си гледам производството? То той нямаше да поддържа в Швейцария изследователска лаборатория и сега нямаше да се хвали със своите Нобелови лауреати Мюлер и Беднорц. Ако България нямаше подготвени специалисти в областта на ниските температури и свръхпроводимостта, тя нямаше да бъде сред първите страни потвърдили високотемпературната свръхпроводимост и да покаже на своите управници богатите възможности на това ново явление. Нямаше да има финансиране от Националния фонд за научни изследвания, проекти с НАТО, Розендорф, Евроатом и редица други. В един прекрасен ден, а той сигурно ще дойде, ще бъде открита свръхпроводимостта при стайни температури. Ако няма подготвени български специалисти, които да посрещнат това ново откритие, да обучат хора за производството да произвеждат стайните свръхпроводници, то със сигурност България няма да я има сред списъка на развитите страни!

### References

1. J. G. **Bednorz**, K. A. **Müller**, Possible high- $T_c$  superconductivity in the Ba-La-Cu-O system, *Zeitschrift für Physik B*, **64**(2) 189-193 (1986).
2. H. **Maeda**, Y. **Tanaka**, M. **Fukutumi**, T. **Asano**, A New High-Tc Oxide Superconductor without a Rare Earth Element, *Japanese Journal of Applied Physics*, **27**, L209-L210 (1988).
3. Z. Z. **Sheng**, A. M. **Hermann**, Bulk superconductivity at 120°K in the Tl-Ca/Ba-Cu-O system, *Nature*, **332**(6160) 138-139 (1988).
4. C. W. **Shu** et al., Superconductivity above 150°K in  $HgBa_2Ca_2Cu_3O_{8+\delta}$  at high pressure, *Nature*, **365**(6444): 323 (1993).
5. L. **Gao** et al., Superconductivity up to 164°K in  $HgBa_2Ca_{m-1}Cu_mO_{2m+2+\delta}$  ( $m = 1, 2, 3$ ) under quasihydrostatic pressures, *Physical Review B*, **50**(6) 4260-4263 (1994).
6. Y. **Kamihara**, T. **Watanabe**, M. **Hirano**, H. **Hosono**, Iron-Based Layered Superconductor  $La[O_{1-x}F_x]FeAs$  ( $x=0.05-0.12$ ) with  $T_c = 26 K$ , *Journal of the American Chemical Society*, **130**(11) 3296-3297 (2008).
7. H. **Takahashi** et al., Superconductivity at 43 K in an iron-based layered compound  $LaO_{1-x}F_xFeAs$ , *Nature*, **453**(7193) 376-378 (2008).