

КРАТКО ОПИСАНИЕ (СПРАВКА) НА НАЙ-ВАЖНИТЕ НАУЧНИ ПОСТИЖЕНИЯ на проф. кфн ТОДОР МИШОНОВ

Научните ми интереси, както и преподавателската ми активност, са фокусирани върху няколко области на физиката: физика на свръхпроводимостта и теория на конвенционалната и високотемпературната свръхпроводимост (ВТСП); физика на свръхфлуидите, магнитохидродинамика на космическата плазма и организиране на експерименти в областта на високотемпературната свръхпроводимост в активно сътрудничество с колеги експериментатори.

Научни ми постижения могат да бъдат резюмирани както следва:

1. През 1989 г. беше предсказано съществуването на двумерни плазмони разпространяващи се в тънки свръхпроводящи филми [Т. Mishonov and A. Groshev, "Plasmon Excitations in Josephson Arrays and Thin Superconducting Layers", Phys. Rev. Lett. 64, No. 18 (1990) 2199]; впоследствие, тяхното съществуване беше експериментално потвърдено през 1994 г. от групата на проф. О. Бюисон от института НЕЕЛ (L'institut NEEL) в Гренобъл, Франция. Експериментаторите дадоха кредит на теоретичното предсказание и тяхната работа също беше публикувана няколко години по-късно във Phys. Rev. Lett. 73, 3153 (1994).
2. През 1991 г. предсказах нов физичен ефект [Т. Mishonov, "Predicted Plasma Oscillations in the Bi₂Sr₂CaCu₂O₈ High-Temperature Superconductor", Phys. Rev. B 44, 12033 (1991)]; инфрачервената прозрачност на бисмутовия купрат (Bi₂Sr₂Ca₁Cu₂O₈ или Bi:2212). Грубо казано, един метал става прозрачен при охлаждане в радиочестотната област. В обема на свръхпроводника могат да се разпространяват плазмони с честота по-малка от свръхпроводящия процеп. Това предсказание беше експериментално потвърдено и получи признание в много лаборатории в Съединените щати и Япония. Явлението може да се формулира съвсем просто: при охлаждане свръхпроводникът Bi:2212 става прозрачен за електромагнитни вълни в терагерцовата област. Терагерцовият диапазон е последния, който не е бил използван дълго време за технически приложения, такива като бърза междуспътникова връзка, преглед на пътниците на летищата за пренасяне на експлозиви, диагностика на рак на кожата и много други. Тази теоретична работа даде начало на широкомащабни изследвания и в Лос Аламоската национална лаборатория. През 2006 г. в Южна Корея бе постигнато устойчиво възбуждане на плазмоните чрез електрично поле. Теоретично предсказаната инфрачервена прозрачност получи над 40 цитата от водещи лаборатории и известни теоретици.
3. В много учебници ефективната маса на куперовите двойки бе обявена за експериментално недостъпен параметър, например в монографиите на де Жен, М. Тинкхам, А. Абрикосов и

енциклопедията на Ландау и Лифшиц. Моята цел беше да докажа как ефективната маса на куперовите двойки може да бъде експериментално определена от данните за елестростатично модулиране на кинетичната индуктивност на тънки купратни филми. Изведената формула, публикувана във *Phys. Rev. Lett.* 67 (1991) 3195, беше използвана в лабораториите на Бел Телефон (1991) при първото определяне на този важен за физиката на свръхпроводимостта параметър. Аз предложих модификация на този експеримент – мас-спекроскопия на куперовите двойки, базирана на ефекта на Бернули. В настоящия момент, в София, се изгражда експериментална постановка за тази методика, а образците, които ще бъдат изследвани са в процес на изработка в технологично-водещи фирми в САЩ и Германия.

4. През 1999 г. бяха изведени флукуационните поправки към свободната енергия, намагнитеността и топлинния капацитет за двумерни и слоести свръхпроводници в перпендикулярно магнитно поле, а също така и за анизотропни обемни свръхпроводници (*Int. J. Mod. Physics B*, Vol. 14, No.32, 3831-3879, (2000)). Решението на тази статистическа задача стана възможно благодарение на прилагането на известния от квантовата теория на полето метод на дзета-функцията за ултравиолетова регуляризация.
5. В рамките на зависещата от времето теория на Гинзбург–Ландау беше изведено Болцмановото кинетично уравнение описващо кинетиката на флукуационните куперови двойки (*Phys. Rev. B* 68, No. 5, 054525 (2003)). Чрез решаване на това уравнение беше изведена и формула за флукуационния ток за силни електрични полета, която допълва известния резултат на Л. Горков, получен директно в БКШ-теорията.
6. Предложен е метод за определяне на времеконстантата на теорията на Гинзбург–Ландау чрез експериментално измерени флукуационна проводимост и магнитна възприемчивост (*Comment on "First Observation for a Cuprate Superconductor of Fluctuation-Induced Diamagnetism Well Inside the Finite-Magnetic-Field Regime"*, *cond-mat/0007178*). Резултатите от прилагането на метода (работа извършена в сътрудничество с експериментатори) показаха, че в рамките на експерименталната неопределеност времеконстантата е в съответствие с пресмятанията в рамките на БКШ-теорията и в този смисъл високотемпературните купрати показват конвенционално поведение.
7. Беше доказано и обяснено, че линейния ход на температурната зависимост на съпротивлението, наблюдаван за някои слоести купрати може да бъде свързан с термодинамични флукуации на електричното поле в диелектричното направление и свързаните с тях флукуации на електронната плътност.
8. Друга хипотеза се отнася за свръхпроводници преохладени под критичната температура във външно електрично поле, при които може да се наблюдава отрицателна диференциална проводимост. Тази отрицателна диференциална проводимост би могла да се използва за

създаване на нов тип генератори на електромагнитни вълни в терахерцовата област. Този принцип е патентован ([WO/2004/079893](#)) [Generation of electric oscillations by continuous, supercooled superconductors under a voltage](#). Това би могло да бъде един алтернативен тип терахерцов генератор, който има потенциална пазарна ниша в случаи, когато е необходима висока ефективност получена чрез охлаждане с течен азот. Този патент може да намери приложение при реализиране на бързи междуспътникови връзки, диагностика на рак на кожата, преглед на багажа на пътниците на летищата за пренасяне на експлозиви, и други. По този начин фундаментално теоретично изследване на високотемпературните свръхпроводници може да намери техническо приложение.

9. Допълнена е теорията на Гинзбург-Ландау за повърхностното напрежение на свръхпроводници от първи род, като е пресметната корекцията от ненулевото значение на параметъра на Гинзбург-Ландау (*Journal de Physique* 51 No. 5 (1990) 447-457). С помощта на тази поправка е получен аналитичен израз за свободната енергия на свръхпроводимостта на плоскостта на двойникуването. Този резултат е част от кандидатската ми дисертация защитена през 1989 г. Нобеловият лауреат В.Л. Гинзбург (*Успехи Физических Наук*, том 168, март 1998) цитира публикацията като продължение на неговата работа от 1950 г., която му донесе Нобелова премия през 2003 г. Тази работа е цитирана и в научната автобиография на В.Л. Гинзбург [*V.L. Ginzburg, On Superconductivity and Suprefluidity: A. Scientific Autobiography* (2009)].
10. Електрон-зонната структура е една от най-важните характеристики на кристалите, която лежи в основата на теорията на високотемпературната свръхпроводимост (ВТСП). В рамките на модела на линейните комбинации на атомните орбитали (ЛКАО), са изведени аналитични формули за зонната структура, които описват контурите с постоянна енергия в импулсното пространство, повърхността на Ферми, груповата скорост на зарядовите носители, и неявно енергията като функция от импулса (Т.М. Mishonov, "*In search for the vortex charge and the Cooper pair mass*" & *J. Phys.: Condens. Matter* 15, No. 25, 4429-4456 (2003)). Тези резултати описват добре експерименталните данни получени с помощта на ъглово разделителната фотоемисионна спектроскопия. Изведените зонни вълнови функции са основа за по-нататъшното отчитане на ефектите свързани с взаимодействието на зарядовите носители. Постигнато е едно адекватно описание на зонната структура на купратите и работата [Т.М. Mishonov and E.S. Penev, "*Tight-binding modelling of band structure of layered superconducting perovskites*", *J. Phys.: Condens. Matter* 12, No. 2 (2000) 143-159; *cond-mat/0001049*] се цитира от нобеловия лауреат А. Абрикосов като едно особено ясно изложение на електронзонната структура на ВТСП [А.А. Abrikosov, "*Metal-insulator transition in layered cuprates (SDW model)*", *Physica C* **391** 147-159 (2003)].
11. Въпреки, че не съществува консенсус по въпроса за микроскопичния механизъм на ВТСП, повечето изследователи споделят мнението, че обяснението трябва да се търси в силните

електронни корелации. Ние предлагаме двуелектронното s-d обменно взаимодействие да бъде разглеждано като търсеният от повече от 20 години механизъм на високотемпературната свръхпроводимост. Показано е, че едно и също s-d взаимодействие може да създава, както свръхпроводимостта на купратите така и магнетизма на преходните елементи. Демонстрирано е, че основни свойства на свръхпроводимостта на силнолегираните (overdoped) купрати, като анизотропията на свръхпроводящия процеп и корелацията между критичната температура и медното $4s$ ниво могат да бъдат обяснени като следствие на s-d взаимодействието включено в стандартната БКШ теория. В този смисъл, беше показано, че високотемпературната свръхпроводимост не е мистерия, а може да бъде разбрана в рамките на методи изложени в учебниците и нейната теория за силнолегирания случай е тривиализирана. Предложената от мен теория разглежда и обяснява цялостната картина на високотемпературната свръхпроводимост, а не отделни нейни свойства, както правят други активно работещи в тази област учени предлагащи алтернативни обяснения. Споменатата по-горе корелация между енергията на медното ниво и критичната температура, емпирично установена в Макс Планк института по физика на тъвдото тяло в Щутгарт, се счита от института за едно от най-важните му постижения за съответната година – тази корелация обаче няма алтернативни обяснения в рамките на другите теоретични подходи.

12. Друг аргумент в полза на предлаганата теория на високотемпературната свръхпроводимост е факта, че общите формули изведени за s-d модела на високотемпературните свръхпроводници са приложими практически за всички известни свръхпроводници. Показано е, че изведените формули за топлинния капацитет, уравнението за температурната зависимост на параметъра на подреждане и коефициентите на теорията на Гинзбург–Ландау са в съответствие с известните резултати на Покровски, Горков и Москаленко за анизотропни свръхпроводници получени в БКШ-епохата. Новите изводи дават някои технически преимущества – резултатите могат лесно да се обобщят за случая на Ван Хове особености на плътността на състоянията. Нещо повече, новият извод е значително по-прост и може да се преподава на студенти, което правя вече доста години.
13. Нека спомена и някои текущи задачи в друга област на научен интерес, в която работя усилено с малка група мои бивши студенти и очаквам в близките години да получим интересни резултати. Това са някои от нерешените проблеми в астрофизиката, като светенето на квазарите, нагряването на слънчевата корона и преноса на ъглов момент в акреционните дискове. В последните години, теоретичните методи разработени от мен за изследване на флукуационни явления във високотемпературната свръхпроводимост (виж т.5, т.6 и т.9) бяха приложени за решаване на астрофизични задачи. Получени са аналитични резултати за усилване на бавни магнитозвукови вълни в срязващ поток от замагнитена плазма. Образно казано, ако в

късовълново ВКБ приближение третираме Алфвеновите вълни като частици, това усилване представлява така наречения ефект на 'лазеруване на Алфвеновите'. При аналитичния извод се използва формалното редуциране на магнитохидродинамични уравнения до ефективно уравнение на Шрьодингер. Показано е, че това усилване води до един ефективен механизъм на нагряване на турбулентна замагнитена плазма и аз съм убеден, че това е теоретичното обяснение на загадката на механизма на светене на квазарите. Първоначалният стадий на това изследване е представен в дисертацията на моя докторант, З. Димитров, а основният резултат е публикуван в Принстънското списание *Physics of Plasmas*. Показано е, че аналогичен механизъм на поглъщане на магнитозвукови вълни води и до нагряване на слънчевата корона. Изказана е хипотеза, че плазменото нагряване предизвикано от затихването на Алфвенови вълни в много случаи е общ механизъм за нагряване на астрофизична плазма, от Слънчевата корона до активните галактични ядра, и разрешаването на тези загадки заслужава активно интердисциплинарно изследване. Пресмятанията от лятото на 2014 г. показаха, че механизма на нагряване на слънчевата корона може да се използва за нагряване и на плътна плазма. Концепцията за самоиндуцирана непрозрачност показва, че нагряването чрез визкозно триене става все по-ефективно при нарастване на температурата. Значи не токамака на Сахаров, а пробкотрона на Будкер снабден с антени за възбуждане на Алфвенови вълни е бъдещето на термоядрения синтез и навигацията в слънчевата система. <http://arxiv.org/pdf/1103.2233v2.pdf>

14. В този контекст съм участвал в организирането на пет научни конференции по космическа плазма с международно участие (Китен 2006, Созопол 2008, Китен 2010, Албена 2012, Китен 2014) и съм съ-редактор на четири от сборниците на конференциите, които се публикуват от American Institute of Physics. От 2008 г. започнах да водя курс по "Хидродинамика и кинетика на космическата плазма" към новата магистърска специалност по Космическа физика на Физически факултет, на която съм координатор.
15. През 2014 г. участвах в българо-индийски проект и посетих обсерваторията в Наинитал към университета в Кумаун, Индия. Целта на този проект е да се установи сътрудничество между двата университета и да се изследват магнитохидродинамични явления в слънчевата атмосфера. По-конкретният научен интерес предполага намиране на наблюдателни данни за алфвеновия модел за нагряване на слънчевата корона от алфвеновите вълни, които да бъдат интерпретирани с вече разработени теоретични модели.
16. През 2013 г. бях поканен да се присъединя към международен проект свързан с изследване на повърхнинни явления на границата на два Бозе кондензата. Това е една нова област на научен интерес и по време на едномесечното посещение на Университета в Льовен получих формули за дисперсията на капилярните вълни на граничната повърхност на Бозе кондензатите. Резултатът "Capillary waves at the interface of two Bose-Einstein condensates", беше докладван на Francqui

Symposium "Fluctuation-induced phenomena" проведен на 20 и 21 август 2013 г. в Льовен, Белгия, организиран в чест на проф. Кардар, МТИ, номиниран от Университета в Льовен за International Francqui Professor за 2013 г. Първите резултати от това сътрудничество бяха докладвани на още две конференции и поставени в електронния архив arXiv:1410.6124. За решаването на тази задача, отново беше използван подход и математичен апарат разработени и прилагани от мен в областта на свръхпроводимостта.

17. Автор или съавтор съм на повече от 96 научни публикации, от които 61 в реферирани списания с импакт фактор като J. Phys.: Condensed Matter; J. Phys. B; Phys. Lett. A; J. Physique-LETTRES; Mol. Phys.; Phys. Stat. Sol. (b); Sov. J. Low Temp. Phys.; Superlattices and Microstructures; Europhys. Lett.; Physica A; Int. J. Mod. Physics B; Phys. Status Solidi B; Eur. Phys. J. B; Phys. Rev.; Supercond. Sci. Technol.; Phys. Plasmas и др. Имам публикации в сборници на конференции. По данни на Scopus имам H-индекс (h-index) 11 и над 285 цитирания към 30.10.2014. Изнесъл съм поканени доклади на конференции и симпозиуми в различни държави: Германия (1998), Полша (1990), България (1998), Съединени щати (2000), Германия (2000), Италия (2001), Русия (2002), Франция (2003), Холандия (2003), САЩ (2003), Германия (2004), Англия (2004), Франция (2004, 2010), Швейцария (2005), Турция (2006), Русия (2011), Белгия (2013) и др., както и множество доклади и постери на конференции в Германия, Япония, Италия, Англия, Унгария, Чехия, САЩ, Франция и др. Имам и четири участия в Общите научни срещи на Белгийското физично дружество в периода 1999-2002.
18. Също така съм автор или съавтор на 4 книги: *Theory of high-temperature superconductivity. A Conventional Approach*, World Scientific, 2011; *Фазови преходи и критични явления*, Наука и Изкуство, София, 1987; *Задачи по Механика, Термодинамика и Молекулна Физика*, Министерство на просветата, 1983 г. София; *Увод във физиката на свръхпроводимостта*, Издателство на Софийски университет, 450 стр., 189 фигури (предадена за печат). Редактор съм на няколко сборника на конференции (на английски език) и рецензирам научни статии за списанията Phys. Rev. B; Journal of Physics Cond. Matter; Journal of Physics A, Bulgarian Journal of Physics, International Journal of Modern Physics B и др. В България съм писал рецензии на докторски дисертации, на дисертации за присъждане на научна степен дфн и една рецензия за хабилизация; рецензии на български научни проекти кандидатстващи за финансиране от Европейски фондове и рецензии на отчети по научни проекти към Националния фонд за научни изследвания.
19. Участвам активно в организирането на конференции, научни срещи и работилници (workshops). Освен споменатите по-горе конференции по космическа плазма съм участвал и в организирането на следните научни форуми: (1) Co-Director of NATO Advanced Study Institute on "High-Tc Superconductors and Related Materials. Material Science, Fundamental Properties and Some Future

Electronic Applications”, 1998, Albena, Bulgaria; (2) член на организационния комитет на международна лятна школа и конференция “*Arrays of Quantum Dots and Josephson Junctions*”, Китен, България, 9-25 юни 2005; (3) член на организационния комитет на Научна конференция с международно участие в памет на академик Матей Матеев (Scientific Conference in memory of Prof. Matey Mateev, Sofia, 11–12 April 2011), (4) Генерален секретар на Втория Национален Конгрес по Физически Науки организиран от Съюза на физиците в България, Българска академия на науките и Софийски университет «Св. Климент Охридски», 25-29 септември 2013 г., София, като за подобряване на организацията създадох и поддържах интернет страница на Конгреса <http://congress2013.bgphysics.eu>; (4) съпредседател и съорганизатор на „Национална научна конференция по физика – Пловдив 2014“, <http://plovdiv2014.bgphysics.eu/> . Като председател на Софийски клон (СК) на Съюза на физиците в България (от 2011 г. до сега), за улесняване на комуникацията с всички учители по физика в страната и за популяризиране на дейността на СК създадох нова, по-функционална интернет страница на СК (<http://bgphysics.eu>). На страницата публикуваме също така информация за събития, организирани от други дружества и организации на колеги физици, както и информация за интересни лекции по физика. Участвам активно в организирането на научни лектории и срещи на учителите по физика в България; на ученически конкурси, състезания и други традиционни мероприятия на СК свързани с популяризирането на физиката. През 2013 г. се установени сътрудничество със Съюза на физиците в Македония, във връзка с отварянето на нашия конкурс за прибори за кабинета по физика за международно участие (http://www.standartnews.com/bulgariya-obrazovanie/mezhdunaroden_konkurs_po_fizika_sabra_talantlivi_detsa_v_stolitsata-241216.html).

София, 29 октомври 2014 г.

проф. кфн Т. Мишонов