

ОТЗЫВ
официального оппонента о диссертации
Людмилы Валериевны ОМЕЛЬЧЕНКО
“НАДЛИШКОВА ПРОВІДНІСТЬ В КУПРАТНИХ
ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ НАДПРОВІДНИКАХ
REBa₂Cu₃O_{7-δ} (RE=Y, Pr)”

на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
(специальность 01.04.07 – физика твердого тела)

Начну с истории вопроса о природе избыточной проводимости при температурах выше критической – T_c . В начале эры высокотемпературной сверхпроводимости наблюдение подобных эффектов связывали с реализацией сверхпроводящего состояния с очень высокими значениями T_c (был придуман даже термин “very high temperature superconductivity”). Эти представления не выдержали испытания временем... Нелишне напомнить, что эффекты, связанные с флуктуационной проводимостью, были рассмотрены в известной работе Л.Г. Асламазов, А.И. Ларкин. ФТТ. **10**, 4, 1104 (1968), опубликованной задолго до открытия явления высокотемпературной сверхпроводимости.

Диссертационная работа Людмилы Валериевны Омельченко и посвящена развитию современных представлений о природе явления избыточной проводимости в ВТСП. **Целью** диссертационной работы является “отримання нової інформації про основоположні електронні процеси і взаємодії, які формують нормальну і надпровідну фазу у високотемпературних надпровідниках YBa₂Cu₃O_{7-δ}, як при зміні рівня допування киснем, так і при прикладанні гідростатичного тиску до 1 ГПа, а також в сполуках типу Y_{1-x}Pr_xBa₂Cu₃O_{7-δ} і YBa₂Cu₃O_{7-δ} - PrBa₂Cu₃O_{7-δ} при зміні вмісту магнітних атомів Pr і шарів PrBa₂Cu₃O_{7-δ}” (стр. 21 диссертации).

По моему глубокому убеждению, тема диссертационной работы, в которой в рамках модели локальных пар исследована избыточная проводимость и температурная зависимость псевдощели в купратных высокотемпературных сверхпроводниках, а именно, в монокристаллах ReBa₂Cu₃O_{7-δ} (Re=Y, Pr) и пленочных гетероструктурах YBa₂Cu₃O_{7-δ} - PrBa₂Cu₃O_{7-δ} является **актуальной**.

Об актуальности диссертационной работы свидетельствует также то, что работа выполнялась в рамках тематического плана ФТИНТ НАНУ им. Б.И. Веркина, утвержденного Президиумом НАН Украины, в соответствии с ведомственной темой: «Электронный транспорт в новых проводящих и надпроводящих системах» (номер державної реєстрації 0112U002637, термін виконання 2012-2016 рр.).

Для достижения цели работы разработана и реализована адекватная программа исследований, включающая решение следующих конкретных задач:

- экспериментально исследовать влияние гидростатического давления на температурные зависимости сопротивления в слабо допированных и оптимально допированных монокристаллах $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$;
- в модели локальных пар провести анализ влияния давления на особенности поведения температурной зависимости избыточной проводимости и псевдощели в слабо допированных и оптимально допированных монокристаллах $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$;
- исследовать температурную зависимость сопротивления монокристаллов $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ с разной концентрацией магнитного празеодима (Pr) «x»;
- исследовать влияние Pr на особенности поведения температурной зависимости избыточной проводимости $\sigma'(T)$ и псевдощели $\Delta^*(T)$ в оптимально допированных монокристаллах $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ при изменении концентрации Pr от $x=0$ до $x=0.43$;
- экспериментально исследовать температурные зависимости сопротивления в сверхрешетках и гетероструктурах $YBa_2Cu_3O_{7-\delta} - PrBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ (YBCO-PrBCO) с разным содержанием $PrBa_2Cu_3O_{7-\delta}$;
- увеличивая число слоёв $PrBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ изучить изменение сопротивления, избыточной проводимости и псевдощели;
- для выяснения физической природы взаимодействия сверхпроводимости и магнетизма, провести сравнительный анализ результатов

с данными, полученными при исследовании железосодержащих сверхпроводников.

Свою основную роль как официального оппонента я вижу в установлении на основании ознакомления с диссертацией и опубликованными работами Людмилы Валериевны того, что цель работы достигнута, а поставленные задачи успешно решены. Для этого необходимо рассмотреть структуру диссертационной работы и, естественно, новизну и достоверность, а также ценность для современной физики твердого тела основных полученных в работе результатов.

Структура диссертации Л. В. Омельченко такова. Работа состоит из аннотации, списка условных обозначений и сокращений, введения, пяти разделов, Выводов и библиографического списка, включающего 121 назв.

Аннотация и Введение написаны в полном соответствии с требованиями ДАК МОНУ, предъявляемыми к данным разделам кандидатских диссертаций.

Раздел 1 “*Властивості купратних високотемпературних надпровідників $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, а також надграток і гетероструктур $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ - $PrBa_2Cu_3O_{7-\delta}$* ”) являет собой классический литературный обзор. При этом, однако, диссертантка возлагает завышенные, по моему мнению, надежды на установление природы псевдощелевого состояния и высокотемпературной сверхпроводимости в целом на результаты изучения электрофизических свойств ВТСП системы $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$.

К сожалению, обзор не содержит никаких данных относительно электрофизических свойств гетероструктур $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ - $PrBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ (забегая вперед, должна отметить, что именно результаты исследования этих гетероструктур носят пионерский характер и представляют максимальный интерес для достижения цели работы).

Раздел 2 “*Об’єкти та методи експериментальних досліджень*”. В данном разделе подробно и профессионально описаны методические аспекты “измерительной части” диссертации (см. п. 2.3).

С излишней лаконичностью описан процесс получения монокристаллов (см. п. 2.1) – диссертантка ограничилась подробнейшим описанием выращивания монокристаллов $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, выращиванию же основных объектов исследования (монокристаллов $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$) не посвящено ни единого слова. В то же время сложнейший технологический процесс получения и контроля гетероструктур YBCO-PrBCO описан весьма подробно.

Раздел 3 “*Вплив гідростатичного тиску на монокристали $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$* ”

В настоящем разделе приведены результаты изучения влияния гидростатического давления на электрофизические свойства монокристаллов ВТСП $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, находящихся в двух различных структурных состояниях: $YBa_2Cu_3O_{6.5}$ и $YBa_2Cu_3O_{6.94}$ – ОП- фаза и ОI-фаза. Надежно установлено, что различия влияния давления на критическую температуру T_c и электросопротивление при $T > T_c$ (рост T_c , уменьшение ρ) носят чисто *количественный* характер для объектов с ОП и ОI структурами (слабо допированные и оптимально допированные монокристаллы по терминологии диссертантки). Получены величины и температурные зависимости избыточной проводимости $\sigma'(T)$ и псевдощели $\Delta^*(T)$ в обоих структурных состояниях $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ при приложении гидростатического давления до 1 Гпа.

Раздел 4 “*Дослідження монокристалів $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ з різним вмістом празеодима*”. В данном разделе исследуется влияние носителей магнитного момента – атомов Pr на температурные зависимости флуктуационной проводимости и псевдощели в монокристаллах $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$.

Раздел 5 “*Дослідження надграток і гетероструктур $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ - $PrBa_2Cu_3O_{7-\delta}$* ” содержит наиболее оригинальные и интересные, по моему мнению, результаты работы. А именно: изучение флуктуационной проводимости и ПЩ в сверхрешетках и гетероструктурах $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ - $PrBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ (YBCO-PrBCO). Варьируя “архитектуру” объектов исследования (сверхрешеток и гетероструктур) диссертантке удастся эффективно менять соотношение немагнитных и магнитных атомов. Фактически речь идет о

попытке установления взаимосвязи двух фундаментальных физических явлений – магнетизма и сверхпроводимости.

Структура диссертационной работы вполне логична.

Остановлюсь на анализе новизны, достоверности и ценности для современной физики основных выводов диссертации Л. В. ОМЕЛЬЧЕНКО (с. 104).

С моей точки зрения как официального оппонента, Выводы 1 – 3, относящиеся к рассмотрению различных аспектов поведения избыточной проводимости монокристаллов $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ в зависимости от содержания кислорода и величины приложенного давления, естественнее было бы объединить. Советы давать легко, но приходится оценивать те выводы, которые выносятся на защиту.

1. Вперше вивчена величина і температурна залежність надлишкової провідності $\sigma'(T)$ і псевдощільни $\Delta^*(T)$ в слабо і оптимально допованих монокристалах $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ під впливом гідростатичного тиску до ~ 1 ГПа з використанням моделі локальних пар. Показано, що під тиском псевдощільни зростає відповідно як $d\ln\Delta^*/dP = 0.36$ ГПа⁻¹ (для СД монокристалів) та $d\ln\Delta^*/dP = 0.32$ ГПа⁻¹ (для ОД монокристалів), що найбільш ймовірно обумовлено зменшенням частот фононного спектру надпровідника при прикладанні тиску.

Защите данного вывода частично посвящен Раздел 3 (пп. 3.1, 3.2). Новизна и достоверность данного вывода не вызывает сомнений. Диссертантка связывает различия в параметрах псевдощели при приложении гидростатического давления к СД монокристаллам и ОД монокристаллам с изменением частот фононного спектра. По моему убеждению, причина этих различий гораздо глубже – динамика кристаллических решеток СД и ОД монокристаллов различна в связи с существенным различием в строении (ОП- и ОI-фазы соответственно), изменение же частот фононного спектра вторично по отношению к изменению типа кристаллической решетки. Тем не менее, обнаружение даже очень небольших различий в поведении псевдощели

$d\ln\Delta^*/dP$ несомненно имеет *ценность* для развития представлений о сверхпроводимости металлооксидных соединений.

2. Вперше виявлено нижче T_{01} різке зростання (~ 80 К) псевдощільни $\Delta^*(T)$ у вузькому інтервалі температур ~ 1.5 К, що є специфікою поведінки $\Delta^*(T)$ в оптимально допованих високотемпературних надпровідниках.

Защите данного вывода частично посвящен Раздел 3 (п. 3.2). Если рассматривать только фактическую сторону вопроса, то *новизна и достоверность* данного вывода сомнений не вызывает. Меня несколько смущает, что столь *сильное* утверждение делается на основании измерений на одном объекте $YBa_2Cu_3O_{6.94}$, да и то только при атмосферном давлении. Попытки расширить “сферу действия” данного вывода на другие объекты и условия эксперимента (сс. 73 – 75) звучат не особенно убедительно.

Ценность данного вывода соответственно имеет место лишь для конкретного объекта в конкретных условиях.

3. Показано, що вплив тиску в оптимально допованих монокристалах на T_c дуже малий: $dT_c/dP \approx 0.73$ К·ГПа⁻¹, тоді як $d\ln\rho/dP \approx -(17\pm 0.2)$ % ГПа⁻¹ такого ж порядку, що і в слабо допованих монокристалах YBCO. Отже механізми впливу тиску на T_c і $\rho(T)$ різні. Проте, незалежно від тиску і рівня допування в інтервалі температур $T_c - T_{01}$ надлишкова провідність $\sigma'(T)$ завжди добре описується флуктуаційними теоріями 3D-АЛ і 2D-МТ, демонструючи 3D-2D кросовер при збільшенні температури.

Данный вывод защищает *новизну и достоверность* экспериментально обнаруженного диссертанткой эффекта – универсальность появления 3D-2D кроссовера при изменении температуры. То обстоятельство, что кроссовер имеет место в ОП- и ОI-фазах крайне *ценно* для углубления представлений об избыточной проводимости ВТСП различного состава.

4. Вперше вивчено вплив зміни інтенсивності магнітної взаємодії на надлишкову провідність і псевдощільну в монокристалах $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_7$.

δ при збільшенні концентрації Pr, а також в надгратках і гетероструктурах $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ - $PrBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ при збільшенні числа шарів PrBCO. Показано, що при збільшенні магнітної взаємодії на залежності $\Delta^*(T)$ виникає «магнітний» максимум при високих температурах, за яким слідує лінійна ділянка з позитивним нахилом, що характеризується температурами T_S і T_{SDW} . Також показано, що перехід $\Delta^*(T)$ в надпровідний стан нижче T_{O1} у всіх вивчених сполуках відбувається подібним чином.

Защите данного вывода в основном посвящены два раздела диссертации (4 и 5). Наверное, диссертантка поступает вполне разумно, уделяя особое внимание экспериментальному изучению роли магнитоактивных атомов Pr в поведении избыточной проводимости ВТСП $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$. Разумно также то обстоятельство, что к достижению важнейшего результата диссертационной работы Л. В. Омельченко идет двумя различными путями: “стандартным” (часть магнитонейтральных атомов Y замещается магнитоактивными атомами Pr) и “нестандартным” (формируются гетероструктуры, в которых слои $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ и $PrBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ пространственно разнесены, а связь слоев осуществляется за счет дальнедействующего эффекта косвенного обменного взаимодействия, характерного для РЗМ).

“Стандартный” путь приводит, естественно, к получению интуитивно ожидаемого результата – увеличение концентрации Pr в монокристалле $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ приводит к заметному увеличению $\rho(T)$ и температуры открытия псевдощели T^* , а также к резкому уменьшению T_c (см. Рис. 4.1).

Результаты полученные “нестандартным” путем *качественно* подобны приведенным выше. Однако, при увеличении числа слоев PrBCO сдвиг T_c значительно меньше (см. Рис. 5.1).

Несомненной заслугой диссертантки является обнаружение и установление природы магнитного максимума на температурной зависимости псевдощели (см. Рис.4.3 и 5.4). *Новизна и достоверность* данного вывода сомнений не вызывают. *Ценность* же данного вывода, с моей точки зрения, в основном

заключается в развитии и становлении методических аспектов изучения явления избыточной проводимости ВТСП.

5. Отримані результати дозволяють зробити висновок про те, що природа механізму взаємовпливу між надпровідними флуктуаціями і магнетизмом, подібна у всіх вивчених нами магнітних надпровідниках.

Защите данного вывода посвящены два раздела диссертации (4 и 5). Основные результаты, свидетельствующие в пользу *новизны и достоверности* данного вывода, представлены на Рис. 4.4, 5.5 и 5.6. Сущность методического подхода диссертантки заключается в проведении сравнительного анализа температурных зависимостей псевдощели основных объектов исследования – монокристаллов $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ и гетероструктур $YBa_2Cu_3O_{7-\delta} - PrBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ – с одной стороны, и Fe-пниктидов $SmFeAsO_{0.85}$ и $EuFeAsO_{0.85}F_{0.15}$, с другой стороны. *Ценность* данного вывода заключается в развитии и эффективном применении метода сравнительного анализа избыточной проводимости объектов с различной структурой и химическим составом для решения фундаментальной задачи физики твердого тела – установление взаимосвязи сверхпроводимости и магнетизма ВТСП.

У меня нет замечаний, относящихся к диссертационной работе Л. В. ОМЕЛЬЧЕНКО *в целом*. Однако работа не лишена ряда недостатков. Приведу лишь три замечания:

1. Литературный обзор (Раздел 1) не содержит никаких данных относительно электрофизических свойств ВТСП на основе Fe, играющих важную роль в *идейной* части работы (см. Введение, Раздел 4 и Раздел 5). Кроме того, в методической части диссертации (Раздел 2) ни слова не сказано о методике получения важного объекта *экспериментальных* исследований – пниктида $EuFeAsO_{0.85}F_{0.15}$.

2. Результаты структурных исследований композитов $YBa_2Cu_3O_{7-\delta} - PrBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ методами дифракции медленных электронов, Оже-спектроскопии и туннельной спектроскопии, анонсированные в Разделе 2 оригинальной части

работы, не приводятся (строго говоря, представления диссертантки об архитектуре систем $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ - $PrBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ приходится принимать априори, а не как результат структурных исследований). С моей точки зрения, это обстоятельство не позволяет в должной степени оценить результаты исследований по “нестандартному” алгоритму (см. Вывод 4).

3. С моей точки зрения, Вывод 5, который достаточно высоко мною оценен (см. выше), звучит скорее как заключение к диссертации в целом, а не как задокументированный конкретный результат исследований в кандидатской диссертации. В диссертации Л. В. Омельченко имеет место некий дисбаланс между “информационной емкостью” – от минимальной (Выводы 1 – 3) до глобальной (Вывод 5).

Все высказанные замечания не носят принципиального характера, не затрагивают общей высокой оценки диссертации и не могут повлиять на положительное впечатление от полученных в работе новых и важных результатов и ее содержания.

Научная значимость работы Людмилы Валериевны ОМЕЛЬЧЕНКО заключается в установлении роли химического состава (содержание атомов празеодима и кислорода), особенностей кристаллической структуры (орторомбические ОI- и ОII-фазы), структурного состояния (монокристаллы, гетероструктуры, сверхрешетки), характера и величины внешних и внутренних воздействий (давление, магнетизм) на природу и поведение температурных зависимостей избыточной проводимости и псевдощели на примере высокотемпературных сверхпроводников $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$.

Практическое значение полученных результатов заключается в расширении ассортимента методов исследования эффекта флуктуационной проводимости путем привлечения объектов, существующих в различных структурных состояниях, и проведении сравнительного анализа проявления этого эффекта на образцах ВТСП с различной атомной, кристаллической и магнитной структурой.

Диссертационная работа Л. В. Омельченко оформлена в соответствии с требованиями ДАК МОН Украины к кандидатским диссертациям и написана хорошим научным языком. Основные результаты работы Людмилы Валериевны Омельченко опубликованы в отечественной и Международной научной печати и доложены на ряде Международных конференций.

Автореферат отражает основное содержание и структуру диссертационной работы.

На основе изложенного выше считаю, что диссертационная работа **Л. В. Омельченко** “**Надлишкова провідність в купратних високотемпературних надіпровідниках $REBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ($RE=Y, Pr$)**” полностью соответствует паспорту специальности 01.04.07, физ.-мат. науки, является завершённой научной работой и отвечает всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а именно пунктам 9, 11, 12 “Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника” и требованиям Департамента по аттестации кадров Министерства образования и науки Украины, а ее автор заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – “физика твердого тела”.

Официальный оппонент
старший научный сотрудник
ІПЦ ХФТИ НАНУ,
доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник



Т.В. Сухарева

Годпись Сухаревой Т.В.
з а в е р я ю



ген. директор
Шульга Н.Ф.

