

УДК 538.945

ОТКРЫТИЕ ФАЗЫ ШУБНИКОВА (СВЕРХПРОВОДНИКОВ II РОДА)

В.В. Слєзов, И.И. Папиров, А.Г. Шепелев

Национальный научный центр "Харьковский физико-технический институт",
 Украина, г. Харьков, ул. Академическая, 1.
 Поступила в редакцию 23 августа 2008г.

«Шубников с сотрудниками [1] сделали решающий эксперимент и правильно его интерпретировали»
 Из доклада Т.Г. Берлинкорта на Симпозиуме, посвященном 75-летию открытия сверхпроводимости [2].

Детально рассмотрен непростой путь открытия сверхпроводников II рода, который на протяжении 7 лет экспериментов проходило Международное научное сообщество, а теоретическое объяснение явления было найдено ещё через 20 лет. Показано влияние на современную физику и технику этого открытия, совершенного в Украинском физико-техническом институте в 1935/1936гг. выдающимся физиком Л.В. Шубниковым и его сотрудниками.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сверхпроводимость, электрические свойства, магнитные свойства, сверхпроводники II рода, магнитные системы.

Около 50 лет сверхпроводимость (рис.1) оставалась загадкой для крупнейших физиков мира (с 1911г., когда Камерлинг-ОНнес [3] открыл это явление, по 1957г., когда Бардин, Купер, Шриффер [4] создали микроскопическую теорию сверхпроводимости). На сегодняшний день сверхпроводимость обнаружена у 27 чистых металлов и во многих тысячах сплавов и соединений. Температура сверхпроводящего перехода T_c и критическое магнитное поле $H_c(0)$ в чистых металлах находится в пределах, соответственно, от 0,01 К и 1 Э (для вольфрама) до 9,2 К и 2 кЭ (для ниобия), в то время как наивысшая $T_c = 138$ К у высокотемпературного сверхпроводника Hg-Ba-Ca-Cu-O(F), а оценка $H_c(0)$ в некоторых ВТСП керамиках даёт величину порядка 1млн Э.

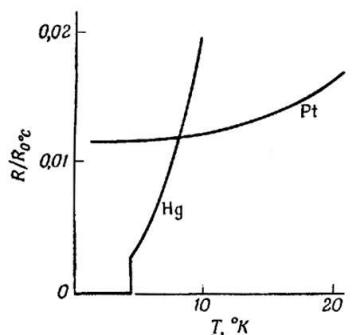


Рис.1. Зависимость отношения электросопротивлений R/R_0 при 0°C от температуры для платины и ртути [3]

В работах 1914 и 1926гг. [5] (см. также [6]) Камерлинг-ОНнес с сотрудниками обнаружили, что сверхпроводимость в чистых металлах (сверхпроводниках I рода) резко разрушается при наложении внешнего магнитного поля величиной H_c , о чём свидетельствует скачкообразное изменение электросопротивления образца от нуля до значения, характерного для $T > T_c$ (см. рис.2).

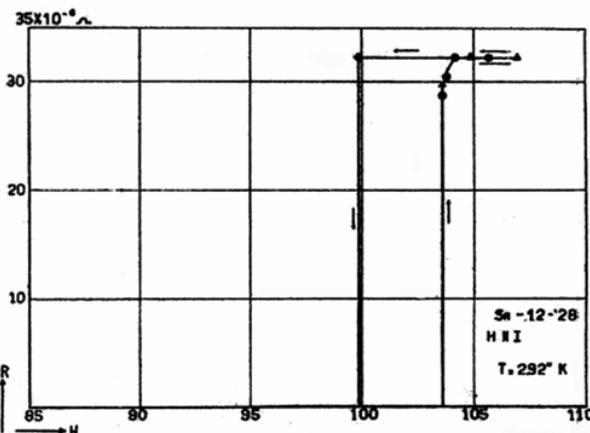


Рис.2. Зависимость электросопротивления олова при $T < T_c$ от магнитного поля [6]

Надо отметить, что кроме особенности электрических свойств сверхпроводников I рода (нулевое электрическое сопротивление) вторая его фундаментальная характеристика (магнитные свойства) также имеет необычную особенность. Мейсснер и Оксенфельд [7] в 1933г. обнаружили, что магнитное поле величиной меньше H_K в чистый сверхпроводник не проникает (индукция в нём $B=0$). Однако при наложении внешнего магнитного поля величиной H_K магнитные свойства чистого сверхпроводника (намагниченность и индукция) также скачком изменяются (рис.3).

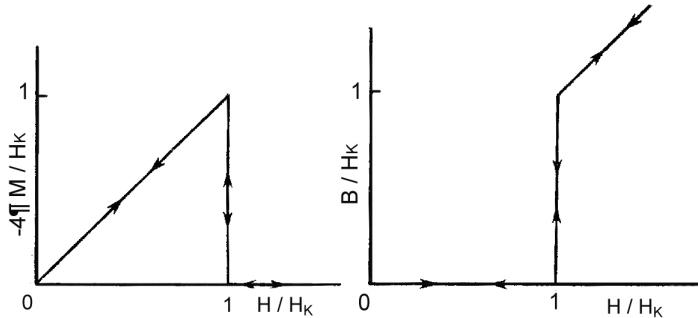


Рис.3. Магнитные свойства чистого сверхпроводящего длинного цилиндра
слева – кривая намагничивания; справа – кривая индукции

Еще до обнаружения эффекта Мейсснера в Лаборатории Камерлинг-Оннеса Де Гаазом, Воогдом [8] было найдено отличие в поведении в магнитном поле электросопротивления поликристаллов сверхпроводящих сплавов от чистых сверхпроводников. Эта особенность выявила в том, что в сплавах Bi-Tl, Sn-Bi, Sn-Cd, Pb-Tl, Pb-Bi, Sb-Sn, Pb-Hg, Au-Bi (исследовалось по одному образцу каждого сплава) разрушение сверхпроводимости происходило в широком интервале магнитных полей (рис.4, 5).

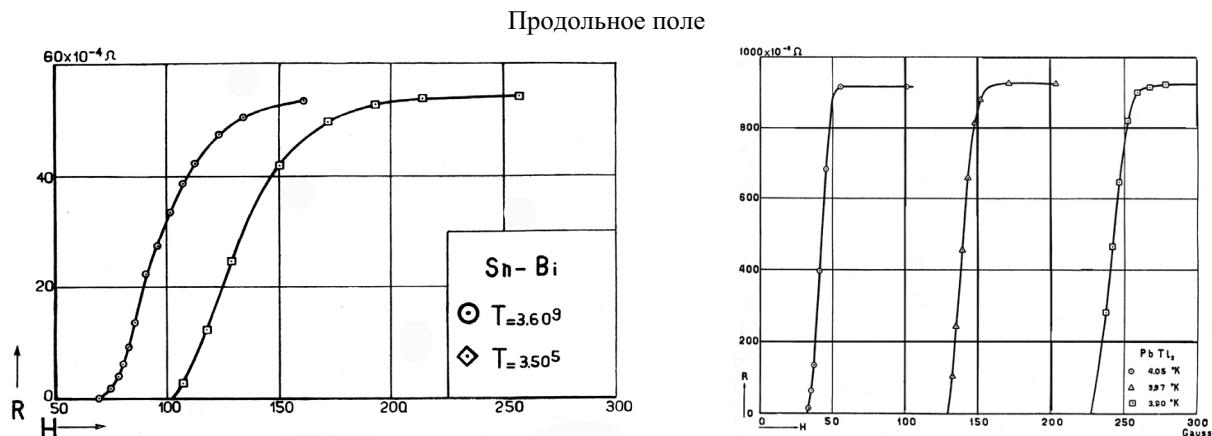


Рис.4. Изменение электрического сопротивления сверхпроводящих сплавов Sn-Bi, Pb-Tl от магнитного поля [8]

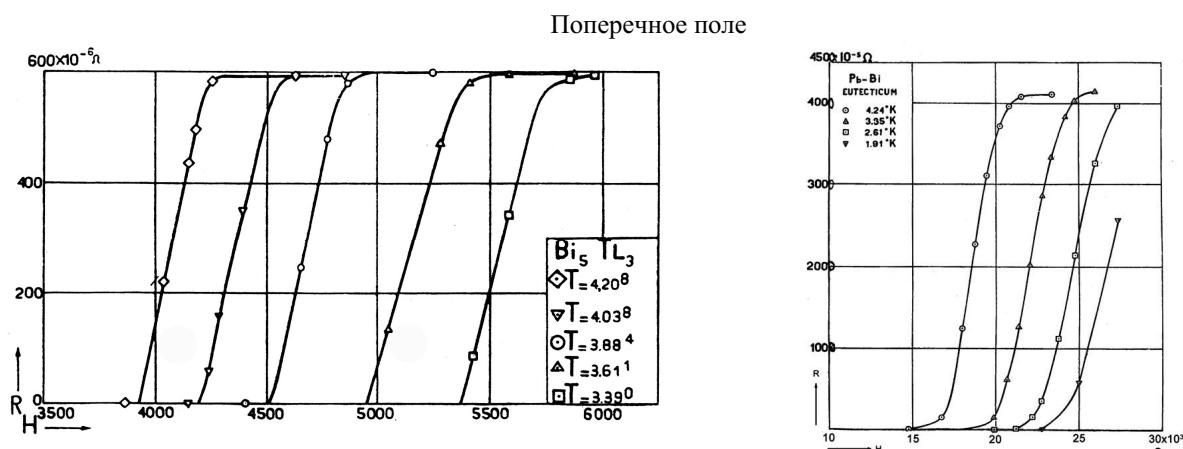


Рис.5. Изменение электрического сопротивления сверхпроводящих сплавов Bi-Tl, Pb-Bi от магнитного поля [8]

Авторы [8] указали, что в случае эвтектик (Sn-Bi, Sn-Cd, Pb-Bi) образцы представляли собой смесь двух фаз, одна из которых шунтировала весь образец. Что касается различия в разрушении магнитным полем сверхпроводящих сплавов Sn-40% Sb и Pb-67% Tl по отношению к чистым сверхпроводникам, авторы [8] отнесли это различие к возможному влиянию неоднородностей в образцах.

Дальнейшими исследованиями было показано, что и магнитные свойства сверхпроводящих сплавов также имеют особенности под действием магнитного поля. 14 сентября 1934г. канадские ученые Тарр и Вильхельм направили в печать статью [9], в которой изучались магнитные свойства сплавов, в частности, сообщалось, что в сверхпроводящих сплавах Pb-Sn (20; 63; 80%) и в сплаве Bi (50%) + Pb (27,1%) + Sn (22,9%) эффект Мейсснера не выполняется: магнитный поток проникает в сверхпроводящие сплавы и зависит от состава сплавов.

Мендельсон с сотрудниками из Оксфордского университета в статье [10], которая была направлена в печать 26 октября и опубликована 17 ноября 1934г., также установили, что при постоянной температуре в сплавах Pb-Bi, Sn-Cd и Sn-Bi «в большинстве случаев изменение индукции происходит не при определенной величине магнитного поля, а растягивается на интервал поля в 10-20% от порогового значения».

В докладе на заседании Королевской Академии Нидерландов 22 декабря 1934г. Де Гааз и Казимир-Йонкер [11] сообщили, что в поликристаллах сплавов Bi-Tl (38%) и Pb-Tl (65%) непосредственным исследованием распределения магнитного потока внутри образцов обнаружено постепенное проникновение внешнего магнитного поля внутрь сверхпроводящих сплавов (рис.6).

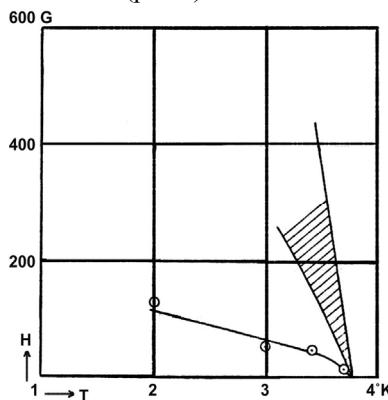


Рис.6. Температурная зависимость 3-х магнитных полей в сверхпроводящем сплаве [11,12]

Таким образом, оказалось, что в сверхпроводящих сплавах существует три характерных магнитных поля – слабое поле начала проникновения магнитного потока в сплав, поле начала разрушения сверхпроводимости по данным электросопротивления и поле полного его перехода в нормальное состояние. Авторами [11] была измерена и температурная зависимость всех этих 3-х полей. Статьи [12] об этих исследованиях авторы направили в авторитетный журнал «Nature» 7 декабря 1934г. и в единственный на то время журнал по физике низких температур «Communication from the Physical Laboratory of the University of Leiden». Во втором издании одной из первых в мире монографий по сверхпроводимости Шенберга [13] отмечалось, что «Де Гааз и Казимир-Йонкер [12], применяя висмутовые измерители поля, показали, что на самом деле магнитное поле начинает проникать в сплав задолго до того, как оно достигнет величины, достаточной для восстановления первых следов сопротивления. Это проникновение оказывается почти полным в полях такого же порядка величины, как и для чистых элементов. Подобные результаты получили Мендельсон и Мур [14] и Рябинин и Шубников [15]».

Л.В. Шубников, который, как известно, очень успешно работал с осени 1926г. по лето 1930г. в Лаборатории Камерлинг-Оннеса с Де Гаазом (именно там был открыт эффект Шубникова-Де Гааза – осцилляции электросопротивления чистого металла при низких температурах), хорошо знал о его исследованиях сверхпроводящих сплавов. Создав в УФТИ первую в СССР Криогенную Лабораторию, в 1934г. он включился в эти исследования. В 2-х работах, направленных в печать и опубликованных в 1935г. [15], он вместе с Ю.Н.Рябининым подтвердили существование поля начала проникновения в ранее исследованные Де Гаазом, Воогтом сверхпроводящие сплавы Pb-Tl (67%) и Pb-Bi (35%) и ввели соответствующее его обозначение H_{k1} . Поле полного разрушения сверхпроводимости сплавов было названо ими H_{k2} . При этом авторы [15], как и ранее Де Гааз, Воогд [8], не исключили возможность того, что «необычное поведение сверхпроводящих сплавов может вызываться их неоднородностью, которая может объясняться распадом твердого раствора и образованием новой сильнодисперсной фазы».

В том же 1935г. Мендельсон и Мур [14] также подтвердили наличие поля начала проникновения в сплав Pb-Bi (70%) и предложили гипотезу о «губке Мендельсона» (подробней см. [16]), которая доминировала около 25 лет при объяснении свойств сверхпроводящих сплавов. Достаточно упомянуть монографию В.Л. Гинзбурга «Сверхпроводимость» под редакцией Л.Д. Ландау [17], где указано: «Свойства сверхпроводников сильно зависят от примесей, натяжений и различных неоднородностей состава и структуры. Свойства сплавов, в которых эти неоднородности практически всегда присутствуют, существенно отличаются поэтому от свойств чистых сверхпроводников». Гипотеза о «губке Мендельсона», которая позже была признана ошибочной (см., например, [2]) предполагала, что в сверхпроводящих сплавах имеются неоднородности состава, структуры и

внутренних напряжений, вследствие чего образуются многосвязные тонкие образования с аномально высокими критическими полями, которые служат токовыми путями.

Несмотря на то, что 9 из 13 вышеуказанных экспериментальных исследований сверхпроводящих сплавов, выполнившихся на протяжении 7 лет учеными разных стран (Де Гаазом [8, 11, 12], Вильхельмом [9], Мендельсоном [10, 14, 16] и Шубниковым [15] с сотрудниками), были опубликованы в высокорейтинговых журналах «Nature» и «Commun. Phys. Lab. Univ. Leiden», на них практически никто не ссылался. Причина четко обозначена в Нобелевской лекции В.Л. Гинзбурга [18], где он, обсуждая свою с Л.Д. Ландау феноменологическую теорию сверхпроводимости [19], отметил, что в отношении сверхпроводящих сплавов «понимания ситуации не было, и мы с Ландау, как и многие другие, считали, что сплавы – «дело грязное», и не интересовались ими, ограничившись материалами с $\alpha < \alpha_c$, для которых $\sigma_{ns} > 0$, т.е. сверхпроводниками I рода.» Много позже после создания теории Гинзбурга-Ландау [19], отмечалось, со ссылкой на работы Шубникова с сотрудниками [1], что «Наиболее яркое применение теории Гинзбурга-Ландау относится к описанию свойств сверхпроводящих сплавов» [20].

Следует выделить критическое значение параметра Гинзбурга-Ландау $\alpha_c = 1/\sqrt{2}$, найденное в теории Гинзбурга-Ландау [19], при котором межфазная поверхностная энергия $\sigma_{ns}=0$. Чистые металлы (кроме ниobia), у которых $\alpha < \alpha_c$, являются сверхпроводниками I рода; сплавы и соединения, у которых $\alpha > \alpha_c$, – сверхпроводники II рода. Однако теоретическое объяснение сверхпроводимости II рода было достигнуто Абрикосовым [21] только в 1957г., т.е. спустя 20 лет после экспериментального обнаружения явления.

К сожалению, приходится констатировать, что все изучавшиеся в вышеперечисленных экспериментальных работах образцы, кроме образца сплава Pb-Tl, как следует из фазовых диаграмм (см, например, [22]), были неоднозначными, т.е. были явно неоднородными.

Таково было состояние изучения сверхпроводящих сплавов во всем мире ко времени публикаций Шубникова, Хоткевича, Шепелева, Рябинина [1]. В этих публикациях, направленных в печать в 1936г., излагались результаты детальных исследований магнитных свойств однофазных монокристаллов сплавов Pb-Tl (0,8; 2,5; 5; 15; 30 и 50%) и Pb-In (2; 8%), тщательно отожженных при предплавильных температурах.

В этих работах впервые было обнаружено, что:

a) Существует граница по концентрации примеси в сверхпроводящих сплавах, до которой их магнитные свойства подобны магнитным свойствам чистых сверхпроводников (полный эффект Мейсснера при полях меньше критических и резкое разрушение сверхпроводимости при дальнейшем увеличении поля) (см. рис.7).

При увеличении концентрации примеси за эту границу (в рамках современных представлений – с ростом параметра Гинзбурга-Ландау $\alpha = \lambda/\xi$, где λ – глубина проникновения магнитного поля в сверхпроводник, а ξ – длина когерентности между электронами в парах) магнитные свойства сплавов резко отличаются: эффект Мейсснера существует только до магнитного поля $H < H_{k1}$. С ростом поля сплавы остаются сверхпроводящими до $H < H_{k2}$, но при этом магнитное поле постепенно проникает в образец (см. рис.8).

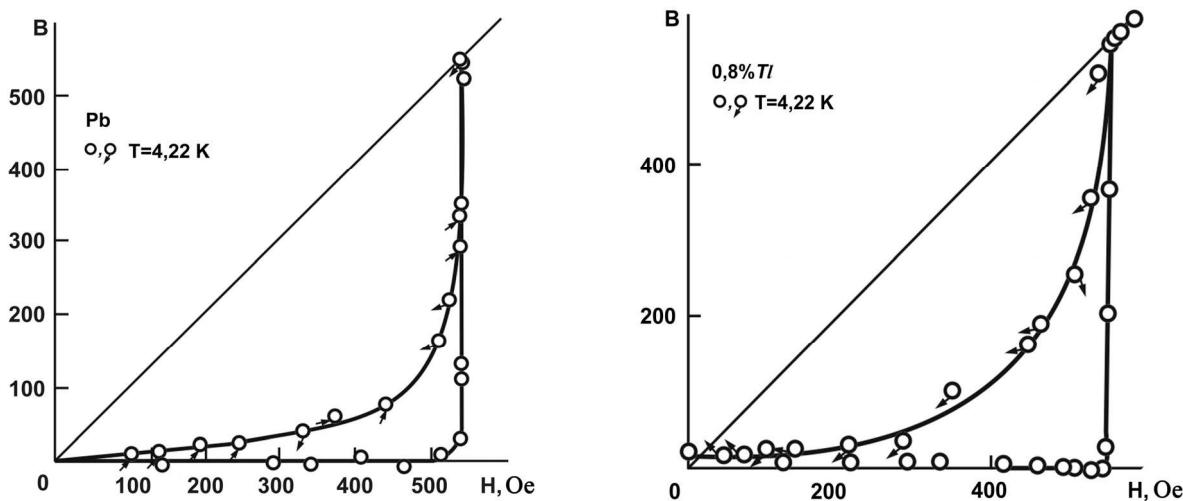


Рис.7. Зависимость индукции от магнитного поля в монокристаллических сверхпроводниках:
чистый свинец (слева) и сплав Pb с 0,8% Tl (справа) [1]

Интервал между H_{k1} и H_{k2} расширяется с увеличением концентрации примеси – H_{k1} уменьшается, а H_{k2} растет (с увеличением параметра α) (см. рис.9).

b) Столь необычные магнитные свойства сверхпроводников не могут быть объяснены гистерезисными явлениями, т.к. как раз при высоких увеличивающихся и уменьшающихся полях явление довольно хорошо

обратимо, и гистерезис довольно мал.

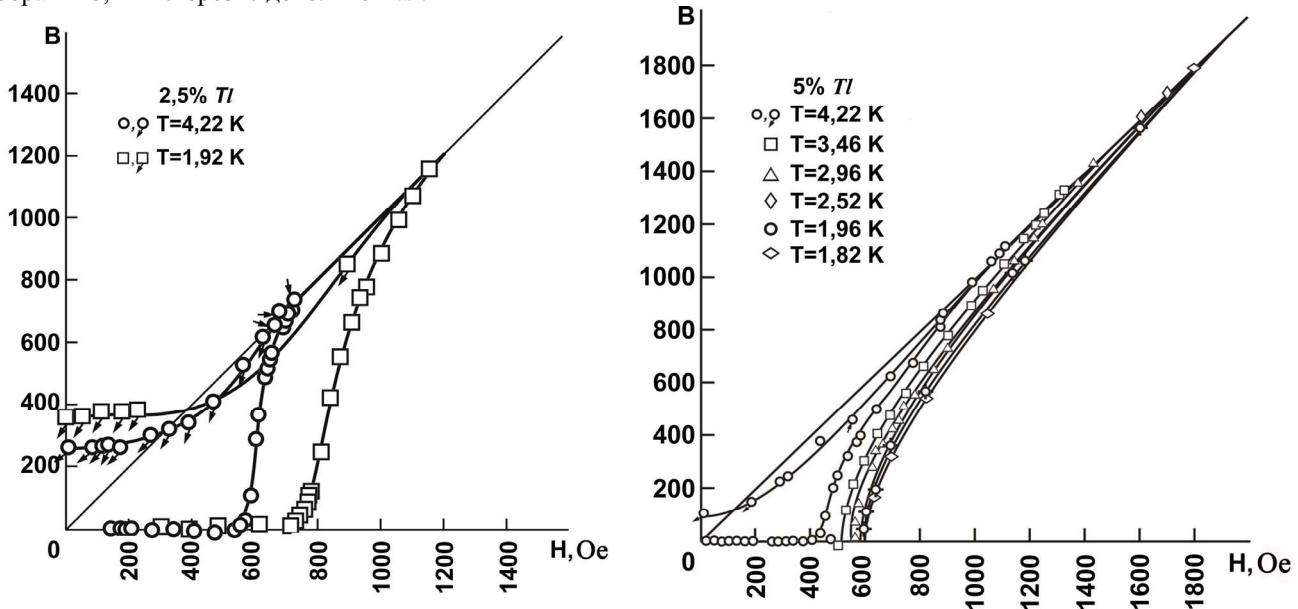


Рис.8. Зависимость индукции от магнитного поля в монокристаллах сверхпроводящих сплавов:
Pb с 2,5% Tl (слева) и Pb с 5% Tl (справа) [1]

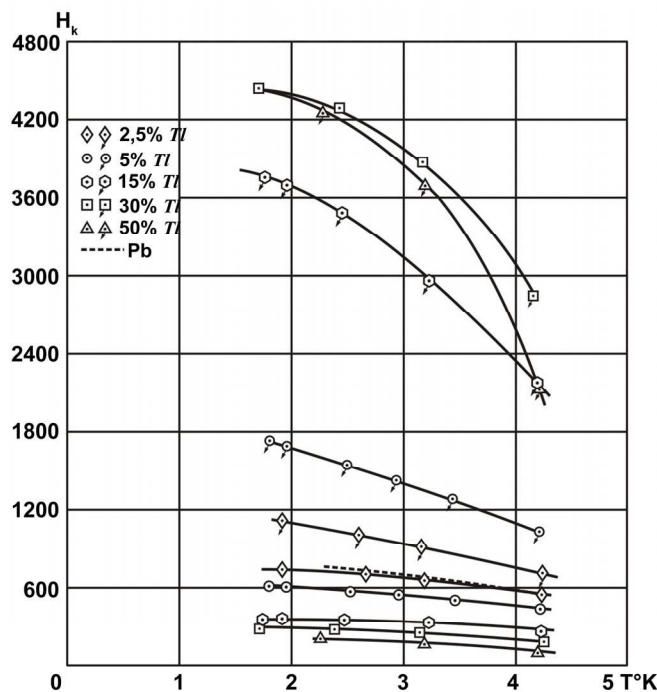


Рис.9. Изменение критических магнитных полей H_{k1} и H_{k2} для сплавов PbTl при изменении концентрации примеси Tl. Пунктирная кривая – H_k для чистого свинца [1]

c) Разность свободной энергии намагниченного и нормального сверхпроводника дается площадью кривой $\Delta F = \int M dH$, где M – намагниченность, а разность энтропии – производной $\Delta S = -\left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_B$. Подсчет разности энтропий, произведенный для сплавов, показал, что в этом случае так же, как и в случае чистых металлов, это величины одного порядка, подобным образом зависящие от температуры. Поэтому скачок теплоемкости в нулевом магнитном поле для сплава сопоставим с чистым сверхпроводником.

d) Показано, что по рентгеновским исследованиям сверхпроводящих сплавов отсутствует распад твердого раствора (сплавы однофазны), что противоречило предыдущим представлениям о том, что их особые сверхпроводящие свойства вызваны влиянием неоднородностей.

Таким образом, именно в этих работах Шубникова, Хоткевича, Шепелева, Рябинина [1] впервые был сделан правильный вывод о существовании нового типа сверхпроводников в противоположность более ранним работам [8-12, 14], в том числе и работам Рябинина, Шубникова 1935 г. [15], обосновывавшим получавшиеся до того результаты неоднородностями состава и структуры образцов.

Диссертация Г.Д. Шепелева «Магнитные свойства сверхпроводящих сплавов» (1938 г.), посвященная именно этой проблематике, была первой диссертационной работой, защищенной в Криогенной Лаборатории Л.В. Шубникова.

Обсуждаемое открытие сопровождалось творческой драмой и большой человеческой трагедией, повлиявшей на судьбы 2-х великих ученых – Л.Д. Ландау и Л.В. Шубникова и на развитие физики. Нобелевский лауреат В.Л. Гинзбург в выступлении на Международной конференции «Фундаментальные проблемы высокотемпературной сверхпроводимости» (2004 г.) отметил: «Л.В. Шубников с учениками и коллегами всего за несколько лет успел сделать очень много, особенно нужно упомянуть исследования сверхпроводящих сплавов и фактическое открытие сверхпроводников II рода. Уверен, что Шубников добился бы еще многих других успехов в науке, и тем горше думать о его безвременной (в возрасте всего 36-ти лет!) и совершенно безвинной гибели под топором сталинского террора» [23].

Творческая драма определялась тем, что большой друг Л.В. Шубникова – Л.Д. Ландау, с которым они обсуждали все работы лаборатории Шубникова, не признал экспериментальное открытие Шубникова с сотрудниками [1] ни в 1936 г., ни в 1950 г., когда он с В.Л. Гинзбургом создал феноменологическую теорию сверхпроводимости [19], где и был введен параметр Гинзбурга-Ландау α . В публикации 1997 г., названной «Сверхпроводимость и сверхтекучесть (что удалось и чего мне не удалось сделать)», Гинзбург, обсуждая теорию [19], определенно указал: «Таким образом, возможность существования сверхпроводников II рода мы, фактически, просмотрели» [24].

Большая человеческая трагедия заключалась в том, что в 1937 г. Шубников был безосновательно арестован и решением Ежова и Вышинского от 28.10.1937 г. расстрелян (реабилитация произошла через 20 лет). Ландау был арестован весной 1938 г. уже как сотрудник Института физических проблем, однако через год был вызволен из тюрьмы под поручительство П.Л. Капицы (Ландау был также посмертно реабилитирован только в 1990 г.).

Первая ссылка на работу Шубникова, Хоткевича, Шепелева, Рябинина, как на пионерскую, содержится в статье А.А. Абрикосова [21], опубликованной через 20 лет, где автор на основе экспериментальных результатов Шубникова, Хоткевича, Шепелева, Рябинина [1] построил теорию сверхпроводников II рода, которая смогла описать, даже количественно, эти экспериментальные результаты. Оказалось, что термодинамическое критическое поле H_k примерно равно среднему геометрическому полей H_{k1} и H_{k2} :

$$\frac{H_k}{H_{k1}} \approx \frac{H_{k2}}{H_k} \approx \sqrt{2} \quad \alpha.$$

Таким образом, чем больше α , тем меньше величина H_{k1} и тем больше H_{k2} , что соответствует экспериментальным результатам Шубникова с сотрудниками [1]. При этом, в то время как в сверхпроводниках I рода разрушение сверхпроводимости совершается по механизму фазового перехода первого рода, в сверхпроводниках II рода при H_{k1} и H_{k2} имеют место фазовые переходы второго рода.

Абрикосов [21] показал, что в области между H_{k1} и H_{k2} магнитный поток пронизывает сверхпроводящие сплавы в виде своеобразной вихревой структуры тонких трубок потока, размера ξ (что определяется отрицательной межфазной поверхностной энергией), а не слоями, как в сверхпроводниках I рода [25]. Каждая из трубок потока несет квант магнитного потока

$$\Phi_0 = \frac{hc}{2e} = 2,07 \cdot 10^{-7} \text{ Гс} \cdot \text{см}^2,$$

а вокруг каждой трубки потока в слое толщиной λ циркулируют незатухающие токи.

Триумфальное признание работ Шубникова, Хоткевича, Шепелева, Рябинина произошло на Международной конференции по сверхпроводимости (США, 1963 г.), где Решением конференции из 350 специалистов по сверхпроводимости под председательством единственного дважды Нобелевского лауреата по физике Дж. Бардина было признано [26]: «Следует отметить, что наше теоретическое понимание сверхпроводников II рода связано в основном с Ландау, Гинзбургом, Абрикосовым и Горьковым, а первые определяющие эксперименты были выполнены в 1937 г. Шубниковым».

На конференции «Сверхпроводимость в науке и технике», состоявшейся в США в 1966 г., Дж. Бардин, излагая историю сверхпроводников II рода, отметил [27]: «Явление было открыто экспериментально русским физиком Шубниковым [1] около 1937 г.».

Классику низкотемпературной физики Мендельсону принадлежит такая оценка работы Шубникова с сотрудниками: «Сделать однородный сплав без дефектов решетки исключительно трудно. Из всех групп,

занятых низкотемпературными исследованиями в тридцатых годах, группа Л.В. Шубникова в Харькове имела, очевидно, наилучший комплекс знаний в области металлургии» [28].

В известном двухтомнике «Superconductivity», изданном в 1969 г, Нобелевский лауреат Ф. Андерсон [29] указал, что Запад недооценивал работу Абрикосова [21] и эксперименты Шубникова, Хоткевича, Шепелева, Рябинина [1], «которые вместе обосновали и почти завершили науку о сверхпроводниках II рода». В статье «Сверхпроводники II рода. Эксперименты» [30] известный специалист в области сверхпроводимости Б. Серин начал описание ранних исследований сверхпроводников II рода словами: «Первые основополагающие эксперименты были сделаны Шубниковым с сотрудниками [1] в 1937 г.».

40 лет тому назад Нобелевский лауреат П. Де Жен [31], со ссылкой на работу Шубникова с сотрудниками 1937г. [1], ввел определение «фаза Шубникова», которое широко используется мировой научной общественностью.

Созданная Л.В.Шубниковым с сотрудниками [1] и А.А. Абрикосовым [21] концепция сверхпроводников II рода вошла в Золотой фонд мировой науки и излагается во всех монографиях, посвященных сверхпроводимости. Авторы теории сверхпроводимости Гинзбурга-Ландау [19] и основанной на ней теории сверхпроводников II рода Абрикосова [21], базирующейся на экспериментальных результатах Шубникова, Хоткевича, Шепелева, Рябинина [1], как известно, получили Нобелевскую премию в 2003 г.

Следует отметить, что все открытые за последние почти полвека сверхпроводники, начиная с Nb₃Sn и кончая ВТСП купратами, фуллеренами, MgB₂ – все являются сверхпроводниками II рода. Оценки показывают, что вблизи абсолютного нуля температур H_{k2}, например у купратов, может превышать многие сотни кЭ.

В последние годы во всем мире сверхпроводники II рода начали широко применяться во многих областях науки и техники:

- Еще 20 лет тому назад в мире насчитывалось более тысячи сверхпроводящих соленоидов из Nb-Ti с отверстием 1 м для ЯМР-исследований всего тела человека [32];
- Около 6 лет тому назад в США и Дании начали эксплуатироваться 3 линии электропередач на Ви-ВТСП [33];
- Заметный прогресс достигнут на пути создания поездов на магнитной подвеске – в декабре 2003 г. в Японии зафиксирована скорость 581 км/ч [34];
- Без сверхпроводников II рода невозможно создать ни одну крупную магнитную систему. Упомянем уже созданную магнитную систему (около 2 тысяч сверхпроводящих соленоидов) Большого Адронного Коллайдера длиной 27 км [35]) (рис.10), а также крупнейший в мире на сегодняшний день сверхпроводящий соленоид длиной 13 м, внутренним диаметром 6 м с магнитным полем 40 кЭ и запасенной энергией 2,5 ГДж [36] (рис.11), созданный для Мюонного Спектрометра. Все эти соленоиды изготовлены из Nb-Ti сверхпроводника.



Рис.10. Большой Адронный Коллайдер

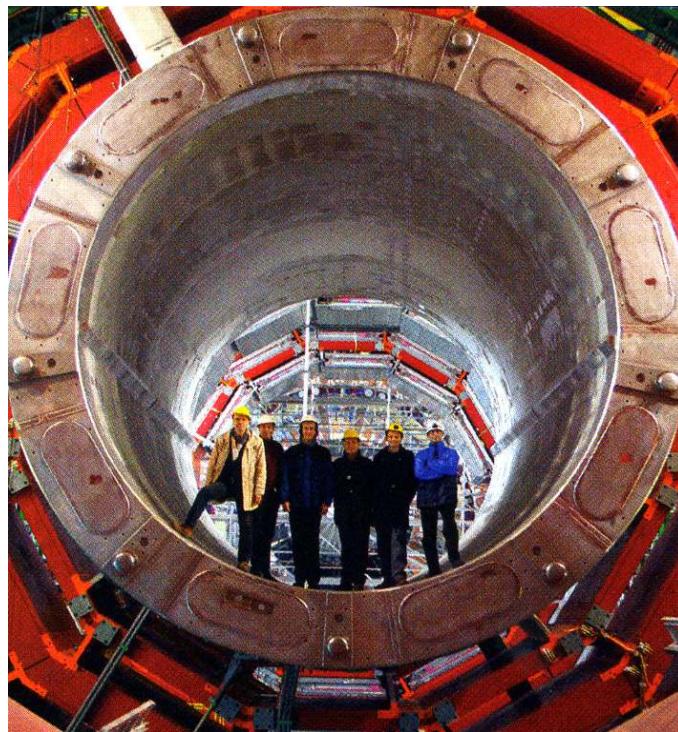


Рис.11. Сверхпроводящий соленоид длиной 13 м, внутренним диаметром 6 м с магнитным полем 40 кЭ и запасенной энергией 2,5 ГДж [36], созданный для Мюонного Спектрометра.

Сложная магнитная система создаваемого Международного термоядерного реактора ИТЭР (см. рис.12) должна состоять из 3-х подсистем: центрального соленоида, 18 катушек тороидального поля и 6 катушек перпендикулярного поля. Центральный соленоид, изготовленный из Nb₃Sn, создаёт поле до 135 кЭ, катушки тороидального поля из того же сверхпроводника создают осевое поле 60 кЭ (максимальное поле около 120 кЭ); катушки перпендикулярного поля, изготовленные из Nb-Ti, создают поле 60 кЭ [37]. Интересно отметить, что запасенная магнитная энергия только в катушках тороидального поля этой гигантской установки (диаметром и высотой около 30м) составляет 41 ГДж!

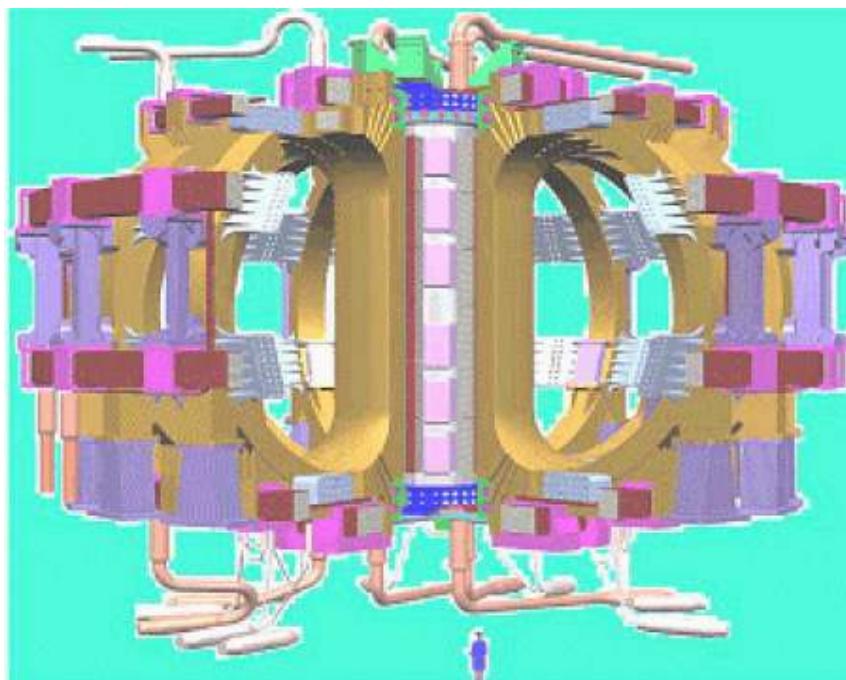


Рис.12. Магнитная система создаваемого Международного термоядерного реактора ИТЭР.

Учитывая значение для физики и техники работ Л.В. Шубникова, Президиум НАН Украины в 2001г. принял Постановление об учреждении премии имени Л.В. Шубникова за выдающиеся работы в области экспериментальной физики.

Отметим также, что в США учреждено почетное звание «Шубниковский профессор», которым отмечен директор Центра прикладной сверхпроводимости Д. Ларбалестиер.

Имея в виду вышеизложенное, авторы настоящей статьи внесли предложение о присвоении имени выдающегося физика Л.В. Шубникова Институту физики твердого тела, материаловедения и технологий ННЦ ХФТИ. Подавляющее большинство членов Научно-технического Совета ИФТТМТ подписали соответствующее обращение к генеральному директору ННЦ ХФТИ академику НАН Украины И.М. Неклюдову.

Наряду с этим, понимая, что роль и значение сверхпроводников II рода будут еще больше возрастать, охватывая все большее число областей науки и техники, мы внесли предложение и об установке на главном корпусе старой площадки Института соответствующей Мемориальной доски:

**ВПЕРВЫЕ В МИРЕ В 1935/1936гг. В ЭТОМ ЗДАНИИ УЧЕНЫЕ УФТИ Л.В. ШУБНИКОВ,
В.И. ХОТКЕВИЧ, Г.Д. ШЕПЕЛЕВ, Ю.Н. РЯБИНИН ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО ОТКРЫЛИ ЯВЛЕНИЕ
СВЕРХПРОВОДИМОСТИ II РОДА (ФАЗУ ШУБНИКОВА).**

Ученый Совет Института Теоретической Физики им. А.И. Ахиезера на своем заседании 27.06.2008г. единогласно поддержал это предложение (протокол №9).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Schubnikow L.W., Chotkewitsch W.I., Schepeliev J.D., Rjabinin J.N.. Magnetische Eigenschaften supraleitender Metalle und Legierungen // Phys. Z. Sowjet. - 1936. - Bd.10. - H.2. - S.165-192; Шубников Л.В., Хоткевич В.И., Шепелев Ю.Д., Ю.Н. Рябинин Магнитные свойства сверхпроводящих металлов и сплавов // ЖЭТФ. - 1937. - Т.7, №2. - С.221-237.
2. Berlincourt T.G. Type II superconductivity: quest for understanding // IEEE Trans. Magnetics. - 1987. - Vol.MAG-26, №2. - P.403-412.
3. Kamerlingh Onnes H.The disappearance of the resistance of mercury // Comm. Phys. Lab. Univ. Leiden. - 1911. - №122b.- P.13-15; Report on the researches made in the Leiden cryogenic laboratory between the Second and Third International Congress of Refrigeration // ibid, 1913, Suppl. №34b to №133-134. - P.37-70.
4. Bardeen J., Cooper L.N., Schrieffer Microscopic theory of superconductivity // Phys. Rev. - 1957. - Vol.106, №1. - P.162-164; Bardeen J., Cooper L.N., Schrieffer Theory of superconductivity // ibid. - Vol.108, №5. - P.1175-1024.
5. Kamerlingh Onnes H.The appearance of the resistance in superconductors, which are brought into a magnetic field, at a threshold value of the field // Comm. Phys. Lab. Univ. Leiden. - 1914, №139f. - P.65-71; Tuy W., Kamerlingh Onnes H. The disturbance of supra-conductivity by magnetic field and currents. The hypothesis of Silsbee // ibid, 1926, №174a. - P.3-39 .
6. Sizoo G.J., De Haas W.J., Kamerlingh Onnes H. Measurements on the magnetic disturbance of the superconductivity with tin. 1. Influence of elastic deformation. 2. Hysteresis phenomena // ibid. - 1926, №180c. - P.29-53; De Haas W.J., Sizoo G.J., Kamerlingh Onnes H. Measurements on the magnetic disturbance of the superconductivity with mercury // ibid.- 1926, №180d. - P.57-103; De Haas W.J., Voogd J. The magnetic disturbance of the superconductivity of single-crystal wires of tin // ibid. - 1931, №212c. - P.29-36.
7. Meissner W., Ochsenfeld R. Ein neuer Effekt bei Eintritt der supraleitfähigkeit // Naturwiss. - 1933. - Bd.33, №.44. - S.787-788
8. De Haas W.J., Voogd J. Disturbance of the superconductivity of the compound Bi_5Tl_3 and of the alloys Sn-Bi and Sn-Cd by magnetic fields // Comm. Phys. Lab. Univ. Leiden. - 1929, №199d. - P.31-40; De Haas W.J., Voogd J. The influence of magnetic fields on superconductors //ibid, 1930, №208b - P.9-20; De Haas W.J., Voogd J. Further investigations on the magnetic disturbance of the superconducting state of alloys // ibid, 1931, №214b. - P.9-16.
9. Tarr F.G.A., Wilhelm J.O. Magnetic effects in superconductors // Canad. J. Research. - 1935. - Vol.12. - P.265-271.
10. Keeley T.C., Mendelssohn K., Moore J.R. Experiments on supraconductors // Nature. - 1934. -Vol.134, №.3394. - P.773-774.
11. De Haas W.J., Casimir-Jonker J.M. Penetration of magnetic field into superconductive alloys // Proc. Roy. Acad. Amsterdam, Proc. Sec. Sci. - 1935. - Vol.38, №1. - P.2-7.
12. De Haas W.J., Casimir-Jonker J.M. Penetration of magnetic field into superconductive alloys // Nature. - 1935. - Vol.135, №3401. - P.30-31; De Haas W.J., Casimir-Jonker J.M. Penetration of magnetic field into superconductive alloys // Comm. Phys. Lab. Univ. Leiden. - 1935. - №233c. - P.1-7; Casimir-Jonker J.M., De Haas W.J. Some experiments on a supraconductive alloy in a magnetic field // ibid, 1935. - №237c. - P.1-8.
13. Shoenberg D. Superconductivity (2nd ed.). Cambridge, University Press, 1952.- 253 р.; Шенберг Д. Сверхпроводимость. - М.: ИЛ, 1955. - 242c.
14. Mendelssohn K., Moore J.R. Surpa-conducting alloys // Nature. - 1935. - Vol.135, №3420. - P.826-827.
15. Rjabinin J.N., Shubnikow L.W. Magnetic properties and critical currents of superconducting alloys // Nature. - 1935. - Vol.135, №3415. - P.581-582; Rjabinin J.N., Schubnikow L.W. Magnetic properties and critical currents of superconducting alloys // Phys. Z. Sowjet. - 1935. - Vol.7, №1. - P.122-125.
16. McLennan J.C., Cockcroft J.D., Shoenberg D., Keesom W.H., Meissner W., de L. Kronig R., Brillouin L., Kurti N., Simon F., Peierls R., London F., Mendelssohn K., Bernal D., Mott N.F., Blackman M. A Discussion on superconductivity and other low temperature phenomena // Proc. Roy. Soc. - 1935. - Vol.152A, №875. - P.1-46.
17. Гинзбург В.Л. Сверхпроводимость. - М.: Изд-во АН СССР, 1946. - 204c.

18. Гинзбург В.Л. О сверхпроводимости и сверхтекучести (что мне удалось сделать, а что не удалось), а также о «физическом минимуме» на начало XXI века // УФН. - 2004. - Т.174. - С.1240-1255.
19. Гинзбург В.Л., Ландау Л.Д. К теории сверхпроводимости // ЖЭТФ.- 1950. - Т.20, №12. - С.1064-1082.
20. Chandrasekhar B.S. Early experiments and phenomenological theory. In: Superconductivity (ed. Parks R.D.), N.Y.: Marcel Dekker, Inc. - 1969. - Vol.1 - P.1-49.
21. Абрикосов А.А. О магнитных свойствах сверхпроводников второй группы // ЖЭТФ. - 1957. - Т.32, №6.- С.1442-1452.
22. Binary Alloy Phase Diagrams. (Massalski T.B., Editor-in-Chief), Metals Park, Ohio: American Society for Metals, 1987, 2vol. 2224p.
23. Гинзбург В.Л. Несколько замечаний об изучении сверхпроводимости // УФН. – 2005 - Т.175, №2. - С.187-189.
24. Гинзбург В.Л. Сверхпроводимость и сверхтекучесть (что удалось и чего мне не удалось сделать) // УФН. - 1997. - Т.167. - С.429-454.
25. Ландау Л.Д. К теории сверхпроводимости // ЖЭТФ. - 1937. - Т.7, №3. - С.371-378; Ландау Л.Д. К теории промежуточного состояния сверхпроводников // там же, 1943 - Т.13, №11-12. - С.377-387.
26. Bardeen J., Schmitt R.W. International conference on the science of superconductivity // Rev. Modern Physics. - 1964. - Vol.36, №1. - Pt.1. - P.1-2.
27. Bardeen J. Theory of superconductivity. In: Superconductivity in Science and Technology (ed. M.H.Cohen), Chicago&London: University of Chicago Press. - 1968. - P.1-17.
28. Mendelsohn K. The Quest for Absolute Zero. The Meaning of Low Temperature Physics, N.Y.: McGraw-Hill Book Company, 1966. - 256p.; Мендельсон К. На пути к абсолютному нулю. Введение в физику низких температур. - М.: Атомиздат, 1971. - 225c.
29. Anderson P.W. Superconductivity in past and future. In: Superconductivity (ed. Parks R.D.), N.Y.: Marcel Dekker, Inc. - 1969. - Vol.2. - P.1343-1358.
30. Serin B. Superconductivity. Experimental part. In: Superconductivity (ed. Parks R.D.), N.Y.: Marcel Dekker, Inc. - 1969. - Vol.2. - P.925-976.
31. De Gennes P.G. Superconductivity of metals and alloys, N.Y.; Amsterdam: Benjamin W.A., Inc, 1966. - 274p.; Де Жен П.. Сверхпроводимость металлов и сплавов. - М.: Мир, 1968. - 280c.
32. Andrews D.E. Magnetic resonance imaging in 1987 // Adv. in Cryogenic Engineering. – 1988. - Vol.33. - P.1-7.
33. Черноплеков Н.А. Состояние работ по сильноточной прикладной сверхпроводимости // УФН. - 2002. - Т.172, №6. - С.716-722.
34. http://www.rtri.or.jp/rd/maglev/html/english/maglev_frame_E.html
35. Anon. First dipole descends to LHC // CERN Courier. - 2005. - Vol.45, №3. - P.5; Rossi L. The longest journey: the LHC dipoles arrive on time // Ibid. - 2006. - Vol.46, №8. - P.28-32.
36. Anon. CMS magnet reaches full field after eight years of construction // Ibid. P.6; Anon. CMS closes up for magnet test and cosmic challenge // Ibid. №6. - P.28-29.
37. Salpietro E. Status of the ITER magnets // Supercond. Sci. Technol. - 2006. - Vol.19. - P.84-89.

DISCOVERY OF THE SHUBNIKOV PHASE (TYPE II SUPERCONDUCTORS)

V.V. Slezov, I.I. Papirov, A.G. Shepelev

National Science Center "Kharkov Institute of Physics and Technology",
1 Akademicheskaya St., Kharkov 61108, Ukraine

A nonsimple path of type II superconductor discovery, which was covered by the International scientific community over 7 years, is considered in some detail. The impact of this discovery, made in 1935/1936 by the outstanding physicist L.V. Shubnikov and his co-workers at the Ukrainian Physical-Technical Institute (former name of NSC KIPT), on present-day physics and engineering is demonstrated.

KEY WORDS: superconductivity, electrical properties, magnetic properties, type II superconductors, magnetic systems.