

75 РОКІВ ВІДКРИТТЮ ЯВИЩА НАДПРОВІДНОСТІ ІІ-ГО РОДУ (ФАЗИ ШУБНІКОВА)

А.Г. ШЕПЕЛЄВ

Національний науковий центр “Харківський фізико-технічний інститут”

НАН України

(Вул. Академічна, 1, Харків 61108; e-mail: shepelev@kipt.kharkov.ua)

УДК 537.9
© 2011

Коротко викладено непростий шлях, який пройшли експериментатори чотирьох країн світу до відкриття в 1936 р. в Українському фізико-технічному інституті (м. Харків) явища надпровідності ІІ-го роду. Наведено основні результати, оцінку відкриття найбільшими спеціалістами світу, відзначено роль цього явища в сучасній науці і техніці.

Як відомо, Нобелівський лауреат Камерлінг-Оннес ще в 1913 р. запропонував використовувати чисті надпровідники для створення магнітів, що можуть працювати без джоулевих втрат. Але в 1914–1926 рр. ним і його співробітниками було чітко встановлено, що надпровідність **чистих надпровідників** руйнується під дією магнітного поля при певному критичному значенні поля $H_c < 1$ кЕ.

В 1929–1935 рр. роботами чотирьох (Лейден, Торонто, Оксфорд, Харків) з п'яти кріогенних лабораторій світу, в яких у той час проводили дослідження при температурах рідкого гелію, було виявлено, що надпровідність сплавів руйнується в інтервалі магнітних полів. Зважаючи на те, що досліджувались в основному полікристали неоднородних сплавів, всі дослідники вважали, що виявлена відмінність викликана неоднорідностями в зразках. Такі міркування знайшли відображення в гіпотезі “губки Мендельсона” [1], яка передбачала наявність в сплавах неоднорідностей складу, структури і внутрішніх напружень, що приводило до створення тонкої багатов'язної структури з сильними магнітними полями та струмовими шляхами. Гіпотеза “губки Мендельсона” домінувала в літературі близько 25 років, після чого була визнана помилковою. Теорії К. Гортера

і Г. Лондона [2], що з'явилися в тому самому 1935 р. і передбачали розбиття сплавів без неоднорідностей в магнітному полі на тонкі (менші за глибину проникнення магнітного поля λ) надпровідні і нормальні шари, не привернули великої уваги дослідників.

В 1936 р. Л.В. Шубніков, В.Г. Хоткевич, Г.Д. Шепелєв, Ю.М. Рябінін направили до друку статті [3] з результатами досліджень магнітних властивостей **монокристалів однофазних сплавів Рb–Тl та Рb–In** в магнітному полі, ретельно відпалених при передплавильних температурах. Ці автори вперше виявили, що зміна концентрації домішки в сплавах приводить до появи нового типу надпровідності. Відзначимо головні підсумки досліджень:

1. Було знайдено критичну концентрацію домішки, до якої сплави поведуть себе в магнітному полі як чисті надпровідники (повний Майсснер-ефект з подальшим різким руйнуванням надпровідності при H_c), рис. 1,а.

2. При збільшенні концентрації домішки понад критичну концентрацію (в рамках сучасних уявлень, зі збільшенням параметра Гінзбурга–Ландау $\xi > \xi_c = 1/\sqrt{2}$) відбувається різка зміна властивостей сплавів у магнітному полі порівняно з властивостями чистих надпровідників – Майсснер-ефект існує тільки до початку проникнення магнітного потоку в сплав $H_{k1} < H_c$, а за подальшого збільшення поля сплав залишається надпровідним до поля повного руйнування надпровідності $H_{k2} > H_c$ з поступовим проникненням магнітного потоку в сплав, рис. 1,б.

3. Було встановлено, що зі збільшенням концентрації домішки (тобто із зростанням параметра ξ) інтер-

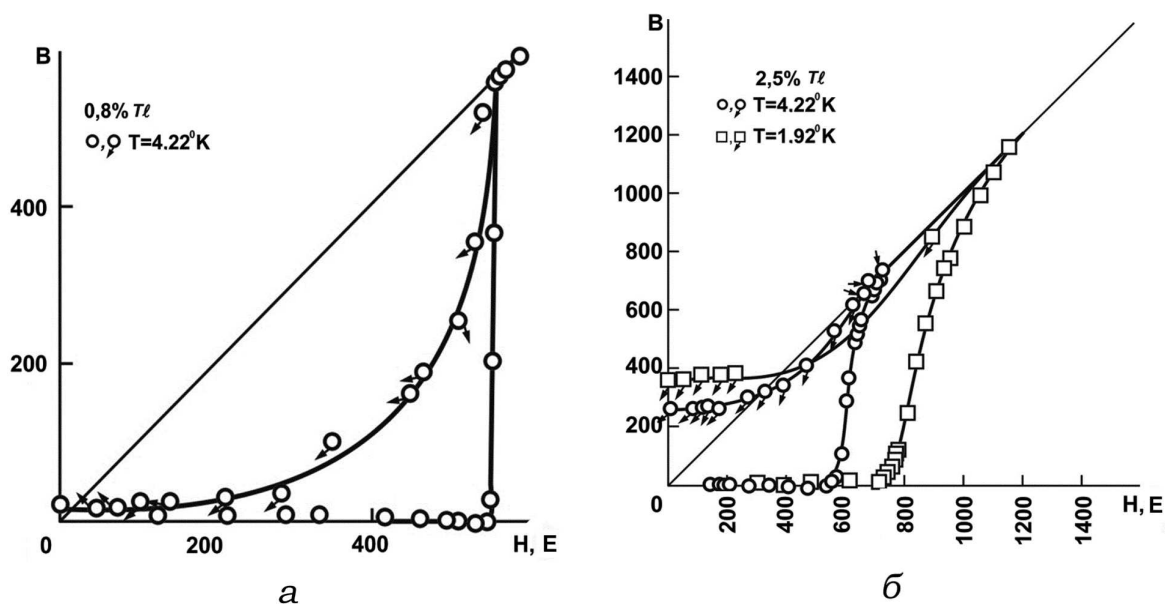


Рис. 1. Індукція довгих циліндрів монокристалів сплавів у поздовжньому магнітному полі: а – Pb+0,8%Tl; б – Pb+2,5%Tl

вал між H_{k1} і H_{k2} розширюється, оскільки H_{k1} зменшується, а H_{k2} зростає, рис. 2.

Відзначимо, що ні “тубка Мендельсона”, ні теорії Гортера і Лондона не могли пояснити проникнення магнітного потоку в надпровідні сплави при $H < H_c$. На жаль, це відкриття супроводжувалося творчою драмою і великою людською трагедією. Друг Л.В. Шубнікова Л.Д. Ландау, перебуваючи в полоні гіпотези “тубки Мендельсона”, не визнав це відкриття ні в 1936 р., ні 14 років потому, коли разом з В.Л. Гінзбургом створив феноменологічну теорію надпровідності [4], котра, як з’ясувалося пізніше (див., наприклад, [5]), добре описує надпровідники ІІ-го роду. Незважаючи на те, що результати Шубнікова, Хоткевича, Шепелева, Рябініна [3] було повідомлено в 1936 р. М. Руеманном на VI Міжнародному Конгресі Холоду в Гаазі (оскільки радянська влада не випустила Л.В. Шубнікова за кордон), а номер часопису *Sondernummer Phys. Z. Sowjet* [3] було поширено серед учасників Конгресу, ніхто із вчених, що займалися дослідженнями надпровідності, не зважився підтвердити або розширити ці дослідження. Зазначимо, що посилення на публікації Шубнікова зі співробітниками [3] містяться в багатьох публікаціях відомих авторів того часу [6], але перше експериментальне підтвердження відкриття було опубліковано тільки в 1963 р. [7].

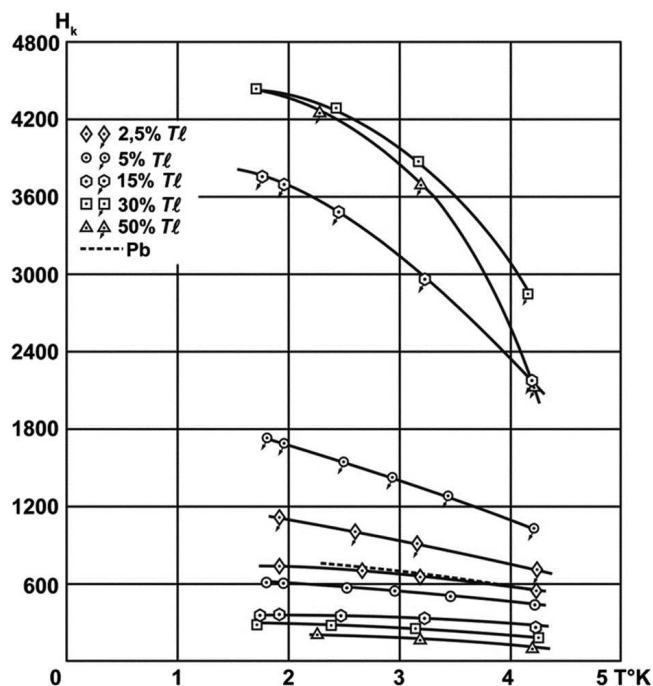


Рис. 2. Температурна залежність H_{k1} і H_{k2} для монокристалів сплавів Pb–Tl вказаних концентрацій і H_c для чистого свинцю

Трагічні події, що вплинули не тільки на долі двох видатних учених Л.В. Шубнікова і Л.Д. Ландау, а й на розвиток фізики, відбулися в 1937 р., коли за

фальшивим звинуваченням у числі сотень тисяч інших жертв сталінських репресій був розстріляний Шубніков, а в 1938 р. був на рік заарештований Ландау.

Результати Шубнікова зі співробітниками [3] сильно випередили час, і тільки через 20 років А.А. Абрикосов [8] на основі теорії Гінзбурга–Ландау [4] і експериментальних результатів [3] створив теорію надпровідників II-го роду. У Нобелівській лекції Абрикосов [9] зазначив: “Я порівняв теоретичні передбачення щодо кривих намагнічування з експериментальними даними для сплавів Pb–Tl, отриманими Львом Шубніковим і його співробітниками в 1937 р. [3]. Згода виявилася дуже хорошою”.

Тріумфальне визнання відкриття Шубнікова, Хоткевича, Шепелєва, Рябініна [3] сталося на Міжнародній конференції з надпровідності (1963 р., США), де авторитетні фахівці з різних країн К. Гортер, К. Мендельсон, Б. Гудман, Т. Берлінкорт [10] високо оцінили в своїх доповідях це відкриття. Голова конференції Дж. Бардін, єдиний двічі Нобелівський лауреат з фізики, і секретар конференції Р. Шмітт [11] офіційно визнали: “Слід зазначити, що наше розуміння надпровідників II-го роду в основному пов’язано з Ландау, Гінзбургом, Абрикосовим і Горьковим, а перші визначаючі експерименти було виконано ще в 1937 р. Шубніковим”. Нобелівський лауреат де Женн [12] ввів термін “фаза Шубнікова” для області існування надпровідності між H_{k1} і H_{k2} (в англійській транскрипції H_{c1} і H_{c2}).

Цікаво відзначити, що всі надпровідники, відкриті за останні півстоліття (починаючи з Nb_3Sn і до купратів, органічних надпровідників, фулеренів, MgB_2 , систем на основі заліза) – всі є надпровідниками II-го роду. Такі надпровідники знайшли широке застосування: наприклад, вже до 1988 р. в медицині по всьому світу використовувалося понад 1100 надпровідних соленоїдів з діаметром 1 м для ЯМР-досліджень всього тіла людини [13]. Більше того, жодна велика магнітна система (наприклад, Великий Адронний Коллайдер [14] або Міжнародний Термоядерний Експериментальний Реактор ITER [15]) не може бути створена без десятків чи тисяч надпровідних соленоїдів на основі надпровідників II-го роду.

Більш докладно інформацію на цю тему викладено в роботі [16].

1. K. Mendelssohn and J.R. Moore, *Nature* **135**, 826 (1935); K. Mendelssohn, *Proc. Roy. Soc. A* **152**, 34 (1935).
2. C.J. Gorter, *Physica* **2**, 449 (1935); H. London, *Proc. Roy. Soc. A* **152**, 650 (1935).
3. L.W. Schubnikow, W.I. Chotkewitsch, J.D. Schepelew, and J.N. Rjabinin, *Sondernummer Phys. Z. Sowjet* No. 6, 39 (1936); *Phys. Z. Sowjet* **10**, 165 (1936); L.W. Schubnikow, W.I. Chotkewitsch, J.D. Schepelew, and J.N. Rjabinin, *Zh. Eksp. Teor. Fiz.* **7**, 221 (1937); L.W. Schubnikow, W.I. Chotkewitsch, J.D. Schepelew, and J.N. Rjabinin, *Ukr. J. Phys.* **53**, Special Issue, 42 (Reprinted in English, 2008).
4. В.Л. Гинзбург, Л.Д. Ландау, *ЖЭТФ* **20**, 1064 (1950).
5. B.S. Chandrasekhar, in: *Superconductivity*, edited by R.D.Parks, (Dekker, New York, 1969), Vol. 1, P. 1.
6. M. Ruhemann and B. Ruhemann, *Low Temperature Physics* (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1937); D. Shoenberg, *Superconductivity* (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1938); L.C. Jackson, *Repts. Progr. Phys.*, **6**, 338 (1940); E.F. Burton, H.G. Smith, and J.O. Wilhelm, *Phenomena at the Temperature of Liquid Helium* (Reinhold, New York, 1940); K. Mendelssohn, *Repts. Progr. Phys.* **10**, 362 (1946); D. Shoenberg, *Superconductivity* (2nd ed.), (University Press., Cambridge, 1952), pp. 41, 44; Д. Шенберг, *Сверхпроводимость*, (ИЛ, Москва, 1955), с. 47, 49.
7. J.D. Livingston, *Phys. Rev.* **129**, 1943 (1963).
8. А.А. Абрикосов, *ЖЭТФ* **32**, 1442 (1957).
9. А.А. Абрикосов, *УФН* **174**, 1238 (2004).
10. C.J. Gorter, *Rev. Mod. Phys.* **36**, 6 (1964); K. Mendelssohn, *ibid*, 10; B.B. Goodman, *ibid*, 15; T.G. Berlincourt, *ibid*, 19.
11. J. Bardeen and R.W. Schmitt, *ibid*, 2.
12. P.G. de Gennes, *Superconductivity of Metals and Alloys* (Benjamin, New York, 1966); П. Де Жен, *Сверхпроводимость металлов и сплавов*, 54 (Мир, Москва, 1968).
13. D.E. Andrews, *Adv. in Cryog. Eng.* **33**, 1 (1988).
14. L. Rossi, *Supercond. Sci. Techn.* **23**, 1 (2010).
15. E. Salpietro, *Sci. Techn.* **19**, 84 (2006).
16. А.Г. Шепелєв, in: *Superconductor*, edited by А.М. Luiz, (InTech, 2010), p. 17; <http://www.intechopen.com/books/show/title/superconductor>.

Одержано 22.07.2011

75 ЛЕТ ОТКРЫТИЮ
ЯВЛЕНИЯ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ
ІІ-ГО РОДА (ФАЗЫ ШУБНИКОВА)*A.G. Shepelev*

Резюме

Коротко излагается непростой путь, который прошли экспериментаторы четырех стран мира к открытию в 1936 г. в Украинском физико-техническом институте (г. Харьков) явления сверхпроводимости ІІ-го рода. Приведены основные результаты, оценка открытия высокими специалистами мира, отмечена роль этого явления в современной науке и технике.

75 YEARS OF THE DISCOVERY OF TYPE-II
SUPERCONDUCTIVITY (SHUBNIKOV PHASE)*A.G. Shepelev*

National Scientific Center "Kharkiv Physico-Technical Institute"
Nat. Acad. of Sci. of Ukraine
(1, Akademichna Str., Kharkiv 61108, Ukraine;
e-mail: shepelev@kipt.kharkov.ua)

Summary

The paper gives a brief description of the complicated way covered by the experimentalists of 4 countries prior to the discovery of type-II superconductivity at the Ukrainian Physico-Technical Institute in 1936. Basic results and appraisals of the discovery by the foremost experts of the world are presented. The role of the phenomenon in the present-day science and technology is indicated.