НОБЕЛІВСЬКІ ПРЕМІЇ ЗА ВІДКРИТТЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ НАДПРОВІДНОСТІ

Галина ШОПА

Львівський національний університет ім. Івана Франка
вул. Саксаганського 1, Львів 79005

Редакція отримала статтю 4 травня 2012 р.

Минуло сто років від часу дивовижного відкриття надпровідності. Дивовижного – адже впродовж минулого сторіччя величезна кількість теоретиків і експериментаторів різних країн світу досліджували це явище. Відкривали нові можливості, отримували престижні премії, ставили нові завдання...

І видається, що й у XXI сторіччі фізики успішно працюватимуть над цією проблемою та зроблять ще чимало нових відкриттів.

1911

Нідерландський фізик Гейке Камерлінґ-Оннес (Heike Kamerlingh-Onnes, 1853–1926), який керував знаменитою Лейденською лабораторією, 1911 року зробив дивовижне відкриття. Він досліджував властивості твердих тіл за низьких температур і придумав спосіб одержати рідкий гелій у середовищі з наднизькою температурою, лише на декілька градусів вищою від абсолютного нуля.

Охолоджуючи ртуть, Камерлінґ-Оннес помітив, що її електричний опір став дорівнювати нулю! Це явище учений назвав надпровідністю. Хоча теоретично його пояснити не змогли, було очевидно, наскільки воно важливе, адже електрика тоді щораз більше входила у повсякденне життя.

1913

Гейке Камерлінґа-Оннеса нагородили Нобелівською премією з фізики *"За дослідження властивостей речовини за низьких температур, що зумовили одержання рідкого гелію"*.

1931

У Лейденській лабораторії впродовж багатьох років працювали видатні фізики Вандер Йоганнес де Гааз (Wander Johannes de Haas, 1878–1960) і Віллєм Гендрік Кеєзом (Willem Hendrik Keesom, 1876-1956), які також безпосередньо причетні до відкриття надпровідності у металах з домішками.

1933

Німецькі фізики Вальтер Мейснер (Walther Meissner, 1882–1974) і Роберт Оксенфельд (Robert Ochsenfeld, 1901–1993) відкрили надзвичайно характерне для надпровідників явище. З'ясувалося, що матеріали у надпровідному стані стають ідеальними діамагнетиками. Це означає, що в них не може проникати магнетне поле (так званий ефект Мейснера).

PACS number: 01.60.+q

Гейке Камерлінґ-Оннес

1935

Німецький фізик Фріц Лондон (Fritz London, 1900–1954) разом із братом Гайнцом (Heinz London, 1907–1970) припустили, що надпровідність зумовлена певним квантовим ефектом, який виявляється в усьому об'ємі тіла в макроскопічному масштабі. Це була перша спроба теоретично пояснити поведінку надпровідників у магнетному полі. Брати записали рівняння електродинаміки надпровідників і показали, що діамагнетизм і є фундаментальною прикметою надпровідного стану. Теорія Лондонів дала змогу пояснити ефект Мейснера.

1950

Видатні радянські фізики Лев Ландау (Lev Landau, 1908–1968) і Віталій Ґінзбурґ (Vitaly Ginzburg, 1916–2009) 1950 року створили феноменологічну теорію надпровідності (теорія Ґінзбурґа-Ландау).

1957

На мікроскопічну теорію надпровідності довелося чекати довгих 50 років. Її створили фізики Джон Бардін (John Bardeen, 1908–1991), Леон Купер (Leon Cooper, 1930 р. н.) і Джон Шріффер (Robert Schrieffer, 1931 р. н.). За цією теорією, електрони у надпровіднику поводяться як сукупність так званих куперівських пар, виникнення яких зумовлено взаємодією електронів з коливаннями кристалічної ґратки. Електронна система куперівських пар рухається крізь кристалічну ґратку металу, "не помічаючи" її, а отже, не втрачаючи енергію.

1962

Лева Ландау нагородили Нобелівською премією з фізики *"За фундаментальні теорії конденсованої матерії, зокрема рідкого гелію".*

1962

Англійський фізик-теоретик Брайан Девід Джозефсон (Brian David Josephson, 1940 р. н.), будучи ще аспірантом у Кембриджі, 1962 року відкрив явища, які названо його іменем.

Незадовго до цього А. Джайевер виявив: якщо електричний контакт виготовлено з надпровідного матеріалу й нормального металу з дуже тонким прошарком ізолятора, що розділяє два провідники, то його електричні

Лев Ландау

властивості дають змогу одержати докладнішу інформацію про надпровідник.

Брайан Джозефсон теоретично обчислив, як поводитиметься аналогічний контакт між надпровідниками. Він з'ясував, що струм може проходити крізь ізолятор, якщо відсутня різниця потенціалів між двома провідниками (стаціонарний ефект Джозефсона).

Це був несподіваний результат, який не узгоджувався з класичними фізичними моделями. Б. Джозефсон також зауважив: якщо прикладати до контакту різницю потенціалів, крізь нього проходитиме осцилюючий струм із частотою, що залежатиме від величини прикладеної напруги (нестаціонарний ефект Джозефсона). Обидва ефекти дуже чутливі до магнетного поля в ділянці контакту.

Ці явища незабаром підтвердили експериментально, вони повністю узгоджувались із теорією Джозефсона.

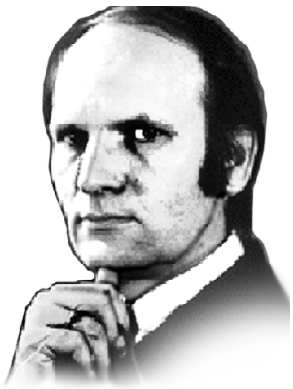
Джон Бардін

1972

Джона Бардіна, Леона Купера та **Роберта Шріффера** нагородили Нобелівською премією з фізики *"За створення теорії надпровідності, яку зазвичай називають БКШ-теорією"*.

1973

Брайана Джозефсона нагородили Нобелівською премією з фізики *"За теоретичне передбачення властивостей струму, що проходить крізь тунельний бар'єр, зокрема явищ, відомих нині як ефект Джозефсона"*.



Роберт Шріффер

1986

Німецький фізик Ґеорґ Йоганнес Беднорц (Georg Johannes Bednorz, 1950 р. н.) і швейцарський фізик Карл Александер Мюллер (Karl Alexander Mtiller, 1927 р. н.), які працювали в цюріхському філіалі фірми IBM, 1986 року неочікувано виявили надпровідність у деяких керамічних матеріалах за температури на 35 градусів вищої від абсолютного нуля. Вони досліджували високотемпературні надпровідники, які є надпровідниками II роду.

Їхнє відкриття ще й досі супроводжується величезною кількістю публікацій із тематики високотемпературної надпровідності. Конгрес США навіть присвятив йому спеціальне засідання. Очікувалось, що вдасться отримати надпровідники за кімнатної температури. Крім цього, більшість експертів були переконані, що це відкриття стимулюватиме переворот у техніці, порівнянний з тим, що настав за винаходом транзистора. Однак їхні очікування не цілком справдились. З'ясувалося, що ті речовини, в яких була зафіксована високотемпературна надпровідність, мають великі технологічні проблеми.

1987

Ґеорґа Йоганнеса Беднорца та **Карла Александера Мюллера** нагородили Нобелівською премією з фізики *"За відкриття в галузі надпровідності керамічних матеріалів"*.

1987

П. Чу (Paul Ching-wu Chu, 1941 р. н.) з групою дослідників із Гюстонського університету та М. Ву (Maw-Kuen Wu) з групою з університету Алабами (США) першими досягнули температури охолоджених атомів до

Леон Купер

77 К. Це добре узгоджувалось із теоретичними уявленнями про найнижчу температуру, якої можна досягти доплерівським охолодженням атомів натрію. Вже в перших експериментах з'ясувався вплив сили тяжіння на охолоджені атоми. Під дією цієї сили вони вже за секунду випадали з точки перетину світлових пучків. Щоб стабільно утримувати охолоджені атоми, потрібні були досконаліші методи, як от створений у 1987 році метод магнето-оптичної пастки.

Метод полягає в тому, що шість лазерних променів, які використовувались у попередніх експериментах, науковці доповнили двома магнетними котушками, що створили малоградієнтне магнетне поле з мінімумом індукції на ділянці перетину лазерних променів. Магнетне поле, діючи на енергетичні рівні атома, розщеплює їх (ефект Зеємана) і зумовлює силу, спрямовану в точку перетину променів, яка переважає силу земного тяжіння. Завдяки цим удосконаленням науковці локалізували в точці перетину лазерних променів охолоджені атоми та отримали змогу їх вивчати.

2003

Віталія Ґінзбурґа, Олексія Абрикосова (Alexei A. Abrikosov, 1928 р. н.) та **Ентоні Леґґетта** (Anthony Leggett, 1938 р. н.) нагородили Нобелівською премією з фізики *"За вагомий внесок у пояснення двох феноменів квантової фізики надпровідності та надплинності".*

Існуюча теорія надпровідності поширюється лише на так звані низькотемпературні надпровідники. Природу висококотемпературної надпровідності (ВТН), яку відкрили Ґ. Беднорц і К. Мюллер, теоретикам пояснити не вдалося.

Надпровідники I роду – це чисті метали. Вони характеризуються також наявністю ефекту Мейснера – здатністю "не пускати до себе" зовнішнє магнетне поле (звичайно, якщо поле не перевищує деяке критичне значення, після чого надпровідність руйнується і зразок переходить у нормальний стан).

В. Ґінзбурґ і Л. Ландау ввели для опису надпровідного конденсату параметр порядку, що дало змогу пояснити ефект Мейснера. Якщо цей параметр менший від 0.71, то реалізується класичний надпровідник I роду (наприклад, у ртуті він дорівнює 0.16, у чистих металів – близький до

Ґеорґ Йоганнес Беднорц

Карл Александер Мюллер

цього). Під час охолодження намагніченого зразка з такого надпровідника поле різко виштовхується, коли температура нижча від критичної, тобто зразок переходить у надпровідний стан.

Однак згодом були відкриті надпровідники II роду, в які зовнішнє магнетне поле може входити хоча б частково. Це сплави та сполуки металів, зокрема, з міддю і неметалами. Такі надпровідники зберігають надпровідність навіть у дуже сильних магнетних полях. Їх властивості не пояснюються теорією БКШ. Олексій Абрикосов математично показав, як можна описати поведінку провідників II роду.

Англійський фізик Ентоні Леґґетт пояснив, як взаємодіють один з одним і розміщуються у надтекучій рідині атоми речовини.

Ці відкриття і теорії, за які 2003 року науковці одержали Нобелівську премію з фізики, були зроблені дуже давно. В. Ґінзбурґ і О. Абрикосов розробили свої теорії ще в 1950-х роках, праці Е. Леґґетта датовані 1970-ми роками. Нині максимальна температура надпровідного переходу (за

умов високого тиску) становить 165 К.

Науковою сенсацією стало відкриття японського фізика Гідео Госоно (Hideo Hosono) з Токійського інституту технологій. Йому вдалося виявити принципово новий вид надпровідних матеріалів, до складу яких входило залізо.

Відкриття Госоно було значною мірою випадковим. Госоно прагнув синтезувати прозорий напівпровідник, тому він почав експериментувати зі сполуками різних хемічних елементів: залізом, миш'яком, киснем і рідкісноземельним металом лантаном. Бажаючи збільшити електропровідність отриманої речовини, частину атомів кисню він замінив на атоми фтору. В результаті виявив повне зникнення електричного опору зразків за температури 26 К.

За декілька тижнів експерименти Госоно відтворили у Пекінському інституті фізики, працівники якого замінили атоми лантану на атоми церію і довели температуру надпровідного переходу до 41 К. Розвиваючи досягнутий успіх, китайські фізики продовжують просуватися догори по шкалі температур.

Сяньхунь Чень із Китайського університету науки і технології замінив атоми лантану на атоми самарію і добився підвищення температури надпровідного переходу на два градуси. Тоді він знову замінив лантан – на неодим і празеодим, і температура надпровідного переходу знову зросла – до 50 К.

Невдовзі температуру надпровідного переходу вдалось збільшити до 55 К. Цей результат отримала в тому ж Інституті фізики в Пекіні дослідницька група під керівництвом Жонга Ксіан Жао.

У травні 2008 року дослідники з Флоридського державного університету зазначили в своїй публікації, що надпровідність у матеріалах такого класу починає руйнуватися лише за дуже великих значень магнетних полів (близько 45 Тесла). З цієї причини "залізні" надпровідники можуть стати незамінними, якщо йтиметься про виготовлення потужних електромагнетів.

Китайські фізики вже виготовили перші експериментальні зразки дротів із надпровідних матеріалів на основі арсеніду заліза і лантану.

Опубліковані в березні 2009 року нові експериментальні результати групи Госоно ще дивовижніші. З'ясувалось, що деякі сплави стають надпровідниками внаслідок поглинання водяної пари, яка є в повітрі.

За два десятиріччя від часу відкриття Беднорца і Мюллера вивчення надпровідності знову поставило перед фізиками запитання, відповіді на які знайти дуже не просто.

Ці дослідження, можливо, згодом також привернуть увагу Нобелівського комітету.

Майже за сто років після історичного відкриття Камерлінґа-Оннеса перед фізиками знову постало амбітне завдання, і сподіваємось, що на його розв'язання не доведеться чекати декілька десятиріч...

NOBEL PRIZES FOR DISCOVERIES AND RESEARCH IN THE FIELD OF SUPERCONDUCTIVITY

Halyna SHOPA

Ivan Franko National University of Lviv
1 Saksahanskoho Str., Lviv UA-79005, Ukraine

A hundred years have passed since the surprising discovery of superconductivity. We say surprising because during the twentieth century a large number of theorists and experimenters around the world investigated this phenomenon. They managed to discover new capabilities of superconductivity, received prestigious awards, put forward new challenges, etc.

It seems obvious that in the twenty-first century physicists successfully working on this problem making numerous discoveries.