

Б. В.Васильев

**Сверхпроводимость, сверхтекучесть и
нулевые колебания**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 53
ББК 22.3
В19

В19 **Васильев Б.В.**
Сверхпроводимость, сверхтекучесть и нулевые колебания / Б. В.Васильев – М.: Lennex Corp, — Подготовка макета:
ООО «Книга по Требованию», 2024. – 102 с.

ISBN 978-5-458-60088-0

Сверхтекучесть и сверхпроводимость, которую можно рассматривать как сверхтекучесть электронного газа, являются родственными явлениями. Рассматривая эти явления как следствия упорядочения нулевых колебаний удастся построить теоретические механизмы, отличительной особенностью которых является возможность получить оценки для критических параметров рассматриваемых систем, удовлетворительно согласующиеся с данными измерений. В результате первые удастся показать, что в основе двух родственных явлений, как сверхпроводимости, так и сверхтекучести, лежит единый физический механизм - упорядочение нулевых колебаний. Данная книга, хотя и содержит много формул, написана, как кажется автору, понятным языком и ориентирована на довольно широкий круг читателей -от старших школьников до профессиональных ученых, которые интересуются этими явлениями.

ISBN 978-5-458-60088-0

© Lennex Corp, 2024
© Б.В. Васильев, 2024

Сверхтекучесть и сверхпроводимость, которую можно рассматривать как сверхтекучесть электронного газа, являются родственными явлениями. Рассматривая эти явления как следствия упорядочения нулевых колебаний удастся построить теоретические механизмы, отличительной особенностью которых является возможность получить оценки для критических параметров рассматриваемых систем, удовлетворительно согласующиеся с данными измерений.

В результате первые удастся показать, что в основе двух родственных явлений, как сверхпроводимости, так и сверхтекучести, лежит единый физический механизм - упорядочение нулевых колебаний.

Данная книга, хотя и содержит много формул, написана, как кажется автору, понятным языком и ориентирована на довольно широкий круг читателей - от старших школьников до профессиональных ученых, которые интересуются этими явлениями.

Б.В.Васильев

Сверхпроводимость,
сверхтекучесть
И
нулевые колебания

2012

Оглавление

I	Развитие науки о сверхпроводимости	7
1	Введение	9
1.1	Сверхпроводимость и общество	9
1.2	Открытие сверхпроводимости	13
2	Основные вехи в исследовании сверхпроводимости	17
2.1	Теория Ф. и Х.Лондонов	18
2.2	Теория Гинзбурга-Ландау	22
2.3	Важные экспериментальные данные	24
2.3.1	Особенности фазового перехода	24
2.3.2	Энергетическая щель и теплоемкость сверхпроводника	24
2.3.3	Квантование магнитного потока в сверхпроводниках	26
2.3.4	Изотопический эффект	29
2.4	БКШ	31
2.5	Сверхтекучесть	35
2.6	Новая эра - ВТСП	41
II	Сверхпроводимость, сверхтекучесть и нулевые колебания	45
3	Конденсат нулевых колебаний	47
3.1	Механизм сверхпроводимости	49
3.2	Конденсат нулевых колебаний	52
3.3	Спаривание электронов	52
3.4	Образование конденсата нулевых колебаний	54
3.4.1	Взаимодействие нулевых колебания	54
3.4.2	Амплитуда нулевых колебаний.	57

4	Критические параметры конденсата	59
4.1	Критическая температура сверхпроводников I рода	59
4.2	Критические параметры сверхпроводников I рода .	63
4.3	Нулевые колебания и критическое магнитное поле .	67
4.4	Плотность сверхпроводящих носителей	69
4.5	Скорость звука в конденсате нулевых колебаний. .	73
4.6	Отношение Δ_0/kT_c	74
4.7	Другие сверхпроводники	75
4.7.1	Оценка свойств сверхпроводников II рода . .	75
4.7.2	Сплавы и высокотемпературные сверхпро- водники	78
5	О лондоновской глубине	81
5.1	Магнитная энергия движущегося электрона	82
5.2	Магнитная энергия и лондоновская глубина	83
6	Три слова экспериментаторам	85
6.1	О комнатной сверхпроводимости	85
6.2	О магнитном спаривании электронов	88
6.3	О изотопном замещении	89
7	Сверхтекучесть	91
7.1	Нулевые колебания атомов	91
7.2	Дисперсионное взаимодействие	92
7.3	Нулевые колебания атомов гелия-4	94
7.4	Гелий-3	95
8	Выводы	97

Часть I

Развитие науки о сверхпроводимости

Глава 1

Введение

1.1 Сверхпроводимость и общество

Сверхпроводимость - красивейшее и уникальное явление природы - была открыта в начале 20 века. Ее уникальность происходит из того, что сверхпроводимость - это результат действия квантовых законов, управляющих макроскопическим ансамблем частиц как единым целым. Она привлекает своей необычностью и красотой, которая понятна не только кругу ученых-профессионалов и людей, интересующихся физикой, но и всему образованному сообществу.

Необыкновенный общественный интерес к этой проблеме проявился в реакции научного сообщества на сообщение об открытии высокотемпературной сверхпроводимости в 1986 году. Толпы ученых людей собирались послушать новости из лабораторий. На моей памяти не было другой научной проблемы, которая вызывала бы такой интерес у узких специалистов и широкой околonaучной публики.

Этот интерес отразился и в общественном признании, одним из признаков которого является присуждение Нобелевских премий. Пожалуй, нет другой области физической науки, за исследования в которой было бы присуждено столько Нобелевских премий. Вот их хронология:

Хейке Камерлинг-Оннес был удостоен Нобелевской премии по физике в 1913 году «за исследования свойств вещества при низких температурах, которые привели к получению жидкого гелия» (т.е. за открытие сверхпроводимости).

Лев Давидович Ландау был удостоен Нобелевской премии по

физике в 1962 году «за пионерские теории конденсированной материи, в особенности жидкого гелия» (т.е. за объяснение явления сверхтекучести).

Джон Бардин, Леон Н. Купер, Дж. Роберт Шриффер разделили в 1972 году Нобелевскую премию по физике «за создание теории сверхпроводимости, обычно называемой БКШ теорией».

Брайан Д. Джозефсон был удостоен Нобелевской премии по физике в 1973 году «за теоретические предсказания свойств сверхпроводящего тока, проходящего через туннельный барьер, в частности явлений, общеизвестных ныне под названием эффектов Джозефсона»

Петр Леонидович Капица был удостоен Нобелевской премии по физике в 1978 году «за фундаментальные изобретения и открытия в области физики низких температур» (т.е. за открытие сверхтекучести).

Георг Беднорц и Алекс Мюллер получили Нобелевскую премию по физике в 1987 году «за важный прорыв в открытии сверхпроводимости в керамических материалах».

Алексей Алексеевич Абрикосов, Виталий Лазаревич Гинзбург и Энтони Легетт получили Нобелевскую премию по физике за 2003 году «за пионерский вклад в теорию сверхпроводников и сверхтекучих жидкостей».

Однако конечно всеобщее внимание к сверхпроводимости вызвано не ее уникальной научной привлекательностью, а теми надеждами на огромный технический прогресс, который был бы возможен, если бы удалось создать технологические условия для ее широкого применения в практической деятельности человеческого общества.

Может показаться, что фундаментальная сверхпроводимость не слишком нужна - самые важные открытия в сверхпроводимости уже вроде бы сделаны, хотя и более или менее случайным образом. Один из крупнейших советских физиков академик И.К.Кикоин, внесший весомый вклад в исследования сверхпроводимости еще на раннем их этапе¹, имея в виду сверхпроводимость, говорил, что многие великие научные открытия делаются методом Колумба, когда, образно говоря, открывается "Америка" исследователем, направлявшимся в "Индию". Подобным путем к своему открытию шел и Камерлинг-Оннес, и позже ряд других исследователей сверхпроводимости.

¹Кикоин в начале 30-х первым изучил гиромангнитный эффект в сверхпроводнике, определив присущий сверхпроводящим носителям гиромангнитный фактор.