ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ 1996 г.

По физике — Д.Ли, Д.Ошерофф и Р.Ричардсон

НОБЕЛЕВСКАЯ премия по физике за 1996 г. присуждена американским ученым Д.М.Ли, Д.Д.Ошероффу и Р.С.Ричардсону «за открытие ими сверхтекучести в гелии-3».

Дэвид М. Ли (David M. Lee) родился в 1931 г. в Райе (штат Нью-Йорк, США). Докторскую степень получил в 1959 г. в Йельском университете. Профессор Корнеллского университета. Лауреат премий Саймона (1976) и Бакли Американского физического общества (1980).

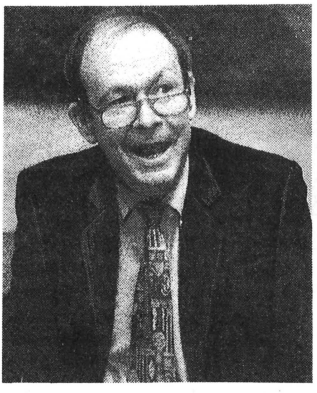
Дуглас Д. Ошерофф (Douglas D. Osheroff) родился в 1945 г. в Абердине (штат Вашингтон, США). Докторскую степень получил в 1973 г. в Корнеллском университете. Профессор Станфордского университета. Лауреат премий Саймона (1976) и Бакли Американского физического общества (1980).

Д. Ли.

Роберт С. Ричардсон (Robert C. Richardson) родился в 1937 г. в Вашингтоне (округ Колумбия, США). Докторскую степень получил в 1966 г. в Университете Дьюка (США). Профессор Корнеллского университета. Лауреат премий Саймона (1976) и Бакли Американского физического общества (1980).

Понятие «сверхтекучесть» ввел в физику П.Л.Капица. Так он назвал обнаруженное им в 1937 г. новое явление — способность жидкого ^{4}He (наиболее распространенного изотопа гелия, ядро которого состоит из двух протонов и двух нейтронов) протекать по узким капиллярам, не испытывая трения. Сверхтекучим жидкий ^{4}He становится при охлаждении до температур ниже 2.17 K. При этом происходит кардинальное изменение его свойств, и исчезновение вязкости — лишь одно из наиболее ярких черт этого явления. При таких температурах де-бройлевская длина волны теплового движения атомов гелия сравнима с межатомным расстоянием и свойства жидкости определяются законами квантовой, а не классической механики. Это в равной степени относится как к ^{4}He, так и к ^{3}He. По указанной причине при не очень высоких давлениях оба изотопа гелия не затвердевают вплоть до абсолютного нуля температур, и их называют квантовыми жидкостями.

Д. Ошерофф.

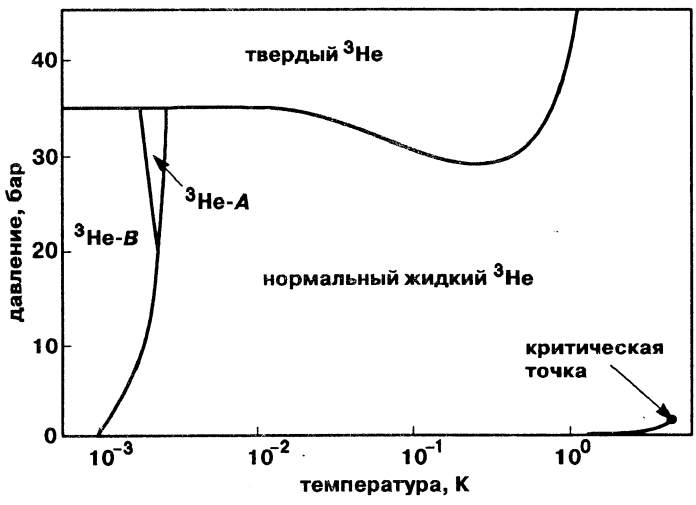


Р. Ричардсон.

Согласно квантовой механике, все частицы (как элементарные, так и сложные) в зависимости от величины их спина делятся на две группы: фермионы, у которых спин полуцелый, и бозоны, обладающие целым спином. ^{3}He и ^{4}He принадлежат к разным группам. ^{4}He — бозон (его спин равен нулю), такие частицы могут накапливаться в одном квантовом состоянии — испытывать бозевскую конденсацию. Именно

с такой конденсацией связывают переход ^{4}He в сверхтекучее состояние. В ядрах атомов ^{3}He на один нейтрон меньше, поэтому его атомы имеют спин $^1/_2$ и, подобно электронам, подчиняются принципу Паули и не могут образовывать бозе-конденсат. При температурах, при которых ^{4}He становится сверхтекучим, ^{3}He остается нормальной вязкой жидкостью. Однако его атомы, как и электроны в сверхпроводниках, могут объединяться в пары, которые называют «куперовскими». Эти пары имеют целый спин (0 или 1), т.е. являются бозевскими частицами и приобретают способность к бозе-конденсации. Температура сверхтекучего перехода определяется энергией связи частиц в паре. В ^{3}He эта энергия очень мала, и переход происходит лишь при температурах порядка 0.001 К.

К моменту открытия сверхтекучести ^{3}He уже имелись количественные теории сверхтекучести ^{4}He и сверхпроводимости. Теория сверхтекучести ^{4}He была построена Л.Д.Ландау в 1941 г., а сверхпроводимости — Дж.Бардином, Л.Купером и Р.Шриффером в 1957 г. Эти работы, как и исследования П.Л.Капицы, отмечены Нобелевскими премиями соответственно в 1962, 1972 и 1978 гг. Чем же так интересна сверхтекучесть ^{3}He? Дело в том, что куперовские пары в нем существенно отличаются от куперовских пар в известных сверхпроводниках. Прежде всего полный спин пары в ^{3}He равен единице, а в сверхпроводниках — нулю. Кроме этого, пары в ^{3}He обладают ненулевым моментом количества движения. Наличие у пар спина делает ^{3}He магнитной сверхтекучей жидкостью, а отличный от нуля момент количества движения пары делает жидкость еще и анизотропной. Можно условно сказать, что свойства сверхтекучего ^{3}He есть произведение свойств сверхпроводника, магнетика и жидкого кристалла. Нет другого вещества, где бы все эти свойства проявлялись одновременно и имели одну физическую природу.



Фазовая диаграмма ^{3}He в области низких температур и слабых магнитных полей.

На возможность образования куперовских пар с ненулевым моментом количества движения первым указал Ландау. Сверхтекучесть ^{3}He была предсказана, и ее искали, хотя разные теоретические оценки температуры перехода различались на несколько порядков[1]. Интересно отметить, что Ли, Ошерофф и Ричардсон в этих поисках не участвовали: их целью был поиск магнитного фазового перехода в твердом ^{3}He, который ожидался в этой области температур[2].

Для охлаждения они пользовались методом Померанчука, который предполагает присутствие в ячейке одновременно твердого и жидкого ^{3}He. Обнаружив изменения состояния такой смеси, они сначала приписали это магнитным переходам в твердом гелии. Однако их дальнейшие исследования показали, что наблюдаемые изменения происходят в жидкой фазе и связаны с переходами в разные сверхтекучие фазы. В первых экспериментах были обнаружены две фазы, названные *A* и *B* (см. рисунок). Затем в сильных магнитных полях была найдена еще одна сверхтекучая фаза — *A*1 (на рисунке не показана). Возможность существования нескольких сверхтекучих фаз — новая черта, отличающая ^{3}He как от ^{4}He, так и от обычных сверхпроводников.

Открытие сверхтекучести ^{3}He привлекло в эту область многих исследователей. В течение нескольких лет после открытия этого явления число лабораторий, оснащенных сверхнизкотемпературным оборудованием, увеличилось в десятки раз. Перед физиками открылось обширное поле деятельности. Ситуация была такой, как

[1] Подробнее об открытии сверхтекучести ^{3}He см.: Халатников И.М., Фомин И.А. Сверхтекучесть и фазовые переходы в жидком гелии-3 // Природа. 1974. № 6. С. 15.

[2] Магнитные переходы в твердом ^{3}He впоследствии все же были обнаружены, и один из нобелевских лауреатов (Д.Д.Ошерофф) внес определяющий вклад в их идентификацию.

если бы биологи, изучавшие растительный и животный мир тундры, вдруг оказались в тропических лесах с их обильными флорой и фауной. Были обнаружены и исследованы новые явления, как, например, сочетание сверхтекучести и магнетизма. Однако и ранее известные явления и объекты приобрели совершенно новые черты. Квантованные вихри, ранее наблюдавшиеся в сверхтекучем ^{4}He и сверхпроводниках, оказались более сложными и разнообразными[3]. Были обнаружены и принципиально новые вихри, не имеющие особенностей на своей оси.

Исследования сверхтекучего ^{3}He продолжаются. Однако уже можно подвести некоторые итоги. Прежде всего это открытие не поколебало фундамент науки, а, напротив, укрепило его. Произошел значительный прогресс в технике получения сверхнизких температур, были развиты методы исследований при таких температурах. Благодаря развитию этого направления в физику вошли и распространились современные математические методы, например методы гомотопической топологии. Наука получила уникальный объект со свойствами, близкими к свойствам физического вакуума. С открытием сверхтекучих фаз ^{3}He существенно расширилось представление о сверхтекучести и сверхпроводимости, возможность образования куперовских пар с ненулевым моментом количества движения перестала быть абстрактной: сейчас такая возможность обсуждается применительно к высокотемпературным сверхпроводникам.

Согласно завещанию Нобеля, премии его имени должны присуждаться тем, кто «принес наибольшую пользу человечеству». Своим решением Нобелевский комитет еще раз подчеркнул первостепенную важность фундаментальных исследований для развития человеческого сообщества.

© Академик **А.Ф.Андреев**
В.В.Дмитриев,
доктор физико-математических наук
И.А.Фомин,
доктор физико-математических наук
Институт физических проблем

[3] Цакадзе Д.С. Сверхтекучесть в природе // Природа. 1984. № 2. С.3.