53(048)

НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОТДЕЛЕНИЯ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ И АСТРОНОМИИ АКАДЕМИИ НАУК СССР

(25—26 февраля 1976 г.)

25 и 26 февраля 1976 г. в конференц-зале Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР состоялась научная сессия Отделения общей физики и астрономии АН СССР. На сессии были заслушаны доклады:

1. И. М. Копылов. Большой азимутальный телескоп: технические параметры и научные перспективы.
2. Ю. Н. Парийский. Первые результаты наблюдений на радиотелескопе РАТАН-600.
3. А. Ф. Андреев. Диффузия в квантовых кристаллах.
4. Б. Н. Есельсон, В. Н. Григорьев, В. А. Михеев, Экспериментальное обнаружение и исследование квантовой диффузии в твердом гелии.

Доклад А. Ф. Андреева составлен на основе обзорной статьи, опубликованной в УФН 118, 251 (1976), в связи с чем его краткое содержание не публикуется.

Ниже публикуется краткое содержание четвертого доклада.

539.128.53(048)

Б. Н. Есельсон, В. Н. Григорьев,, В. А. Михеев. Экспериментальное обнаружение и исследование квантовой диффузии в твердом гелии. Благодаря большой роли нулевых колебаний и малой энергии межатомного взаимодействия твердый гелий занимает особое место среди других кристаллических веществ. Это обстоятельство обусловливает появление целого ряда необычных явлений, среди которых особенно интересным оказывается поведение примесей и дефектов в кристаллах.

Теоретический анализ, проведенный Андреевым и Лифшицем[1], показал, что в квантовых кристаллах, характерным представителем которых является твердый гелий, коренным образом меняется характер движения примесных частиц и точечных

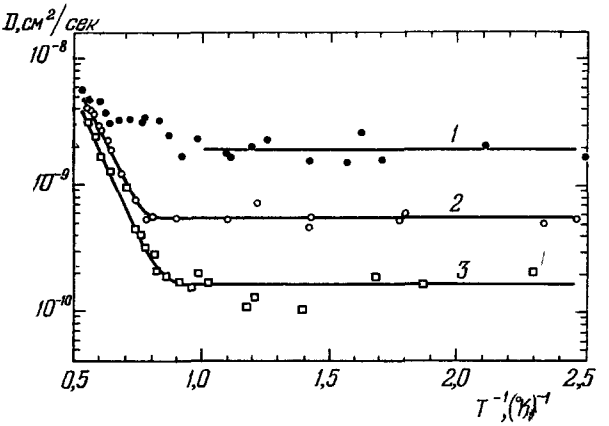

Рис. 1. Температурная зависимость коэффициента диффузии He^3 в ГПУ фазе растворов при значении молярного объема 20,7 *см³/моль* и различных концентрациях He^3 — 0,25% (*1*), 0,75% (*2*) и 2,17% (*3*).

дефектов. Большое перекрытие волновых функций соседних атомов приводит к превращению примесей и дефектов в своеобразные квазичастицы — примесоны, практически свободно движущиеся по кристаллической решетке. Это явление, получившее название квантовой диффузии, сопровождается аномальным поведением коэффициента диффузии D примесей — вместо обычного экспоненциального спада при понижении температуры наблюдается возрастание $D \sim T^{-9}$ [1] или независимость от температуры и изменение обратно пропорционально концентрации x [2, 3]. Первый случай имеет место при условии, что определяющую роль в движении примесонов играют столкновения с фононами, второй — в условиях взаимодействия примесонов друг с другом.

Для обнаружения явления квантовой диффузии были проведены методом спинового эха измерения D в ГПУ фазе твердых растворов изотопов He^3—He^4 в интервале концентраций 0,25—2,17% He^3 вплоть до температуры 0,4 К. (Усовершенствование

методики измерений позволило существенно расширить диапазон измеряемых значений D до величин $\sim 10^{-10}$ *см²/сек*.) В условиях этих экспериментов измеряемые коэффициенты спиновой диффузии практически совпадают со значениями коэффициентов взаимной диффузии.

В результате измерений было показано, что при $T < 1°$ К и $x \lesssim 2\%$ He^3 коэффициент диффузии не зависит от температуры (рис. 1) и изменяется обратно пропорционально x (рис. 2). Зарегистрирован непрерывный переход от вакансионной диффузии к диффузии примесонов и обнаружена сильная зависимость D от плотности кристалла ρ. Коэффициент диффузии примесонов изменяется приблизительно в 3 раза сильнее, чем коэффициент спиновой диффузии в чистом He^3 при одинаковом изменении ρ.

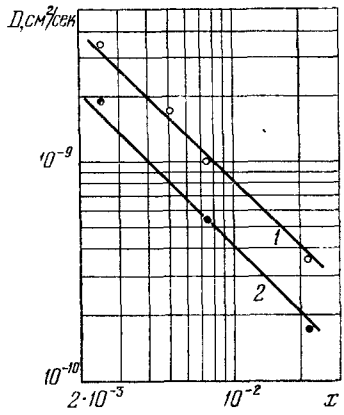

Рис. 2. Зависимость коэффициента диффузии примесонов от концентрации He^3 при различных значениях молярного объема — 21,0 *см³/моль* (*1*) и 20,7 *см³/моль* (*2*).

Найденные закономерности свидетельствуют об определяющем вкладе квантовых эффектов в процесс диффузии примесей He^3 и соответствуют ситуации, в которой подвижность примесных возбуждений ограничивается их взаимными столкновениями. Сильная зависимость D (ρ) подтверждает наличие нелинейной зависимости коэффициента диффузии примесонов от величины обменного интеграла I_3.

Исследования диффузии в ОЦК фазе позволили установить, что в растворах, содержащих $\lesssim 2\%$ He^3, D экспоненциально убывает с понижением температуры, что свидетельствует о вакансионном механизме диффузии. В области вакансионной диффузии значения D в ОЦК фазе в несколько десятков раз превосходят соответствующее значение D в ГПУ фазе [7]. Это обстоятельство позволило построить фазовые диаграммы в окрестности перехода ОЦК-ГПУ слабых твердых растворов He^3 — He^4.

В более концентрированных растворах, для которых ОЦК фаза существует вплоть до $T \approx 0{,}4°$ К, исследования, проведенные до $x = 1$, показали наличие ряда дополнительных особенностей поведения D. Обнаружен плавный переход от экспоненциального спада при высоких температурах к плато при $T < 0{,}7$ К[8]. В области плато при $x < 19\%$ He^3 D очень слабо зависит от x и по порядку величины совпадает с величиной коэффициента диффузии примесонов в ГПУ фазе при $x \approx 2\%$ He^3. Этот факт свидетельствует о существовании нового механизма диффузии He^3 в области промежуточных концентраций. При $x \approx 20\%$ He^3 найдено резкое возрастание D, сопровождающееся появлением зависимости D от времени диффузионного пробега t — коэффициент диффузии уменьшается приблизительно в 2 раза при возрастании t от 0,1 до 50 *сек*. Последние особенности могут быть объяснены появлением в этой области концентраций непрерывных цепочек из атомов He^3 с размерами порядка диффузионной длины, обеспечивающих спиновую диффузию, и уменьшением числа цепочек при увеличении их длины [9].

Таким образом, эксперименты, проведенные в ГПУ фазе растворов He^3 — He^4, позволили обнаружить явление квантовой диффузии примесей He^3, оценить основные параметры, характеризующие это явление и показали решающую роль взаимодействия примесей друг с другом. Результаты, полученные для ОЦК фазы свидетельствуют о наличии новых особенностей, характеризующих диффузию в такой сложной системе.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Ф. Андреев, И. М. Лифшиц, ЖЭТФ 56, 2057 (1969).
2. В. А. Слюсарев, М. А. Стржемечный, Физ. низких темп. (ФНТ — Труды ФТИНТ АН УССР), вып. 19, 67 (1972).
3. A. Widom, M. G. Richards, Phys. Rev. A6, 1196 (1972).
4. В. Н. Григорьев, Б. Н. Есельсон В. А. Михеев, Ю. Е. Шульман, Письма ЖЭТФ 17, 25 (1973).
5. V. N. Grigor'ev, B. N., Esel'son, V. A. Mikheev, V. A. Slusarev, M. A. Strzchemechny, Yu. E. Shul'man, J. Low. Temp. Phys. 13, 65 (1973).
6. В. Н. Григорьев, Б. Н. Есельсон, В. А. Михеев, Письма ЖЭТФ 18, 189 (1973).
7. В. Н. Григорьев, Б. Н. Есельсон, В. А. Михеев, ЖЭТФ 64, 607 (1973).
8. В. Н. Григорьев, Б. Н. Есельсон, В. А. Михеев, ЖЭТФ 66, 321 (1974).
9. В. Н. Григорьев, Б. Н. Есельсон В. А. Михеев, ФНТ 1, 1318 (1975).