

546.291+533.132

ОБ ЭНЕРГИЧНОМ НЕЙТРАЛЬНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ НОВОГО ТИПА В СВЕРХТЕКУЧЕМ ГЕЛИИ

Возбуждение, о котором идет речь в заголовке, было обнаружено в эксперименте Сурко и Райфом¹. Прежде чем говорить об этом подробно, напомним, что спектр возбуждений, т. е. совокупность возможных возбужденных состояний квантовомеханической системы, является ее основной характеристикой. Знание спектра возбуждений позволяет детально описывать поведение такой системы, поэтому открытие нового возбуждения в жидком гелии, безусловно, интересно. Сурко и Райф изучали прохождение электрического тока через границу жидкий

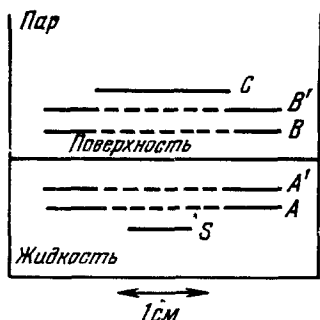


Рис. 1.

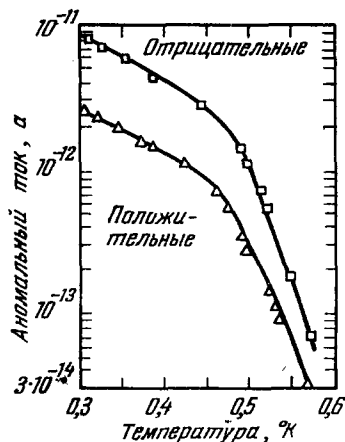


Рис. 2. Зависимость аномального тока от температуры.

гелий — пар. Схема их прибора показана на рис. 1. Жидкость находится в нижней половине сосуда, граница с паром обозначена сплошной линией. На электрод S нанесен $Рo^{210}$, он испускает α -частицы с энергией в несколько $Мэв$, эти частицы проникают в гелий на глубину $\sim 0,2$ мкм и по дороге производят ионизацию атомов гелия. С помощью сеток A, A', B, B' можно управлять движением ионов, электрод C служит коллектором.

При температурах выше $1^\circ K$ ток проходил через границу жидкость — пар и величина его уменьшалась с понижением температуры. Вблизи $1^\circ K$ величина тока становилась ничтожной. Такое поведение сопротивления границы согласуется с наблюдениями других авторов² и объясняется наличием электростатических сил изобращения, которые препятствуют удалению ионов из жидкости. Неожиданным было то, что при $0,7^\circ K$ ток вновь возникал и увеличивался по мере понижения температуры (см. рис. 2). Дальнейшее исследование показало, что ток через границу при температурах ниже $0,7^\circ K$ состоит из двух сравнимых по величине, но отличающихся свойствами частей. Одна часть — «нормальный ток» — связана, по-видимому, с особенностями движения в гелии отрицательных зарядов, и мы не будем о ней говорить. Более интересна другая часть — «аномальный ток». На его величину, в отличие от «нормального тока», не влияли электрические поля в жидкости, и он продолжал существовать даже при

таких полях, которые не позволяют заряженным частицам доходить до границы с паром. В то же время величина тока зависела от интенсивности полониевого источника, а при удалении источника ток прекращался. Носителями тока в области между поверхностью жидкости и коллектором могли быть как положительные, так и отрицательные заряды; в этом можно было убедиться, меняя направление поля между сетками A' и B . Измерение времени пролета заряженных частиц от поверхности до коллектора и отклонение частиц магнитным полем позволили определить отношение заряда носителей тока к их массе. Оказалось, что отрицательными зарядами являются электроны, а положительными — ионы He_2^+ , если считать, что ионы однозарядные.

Наличие «аномального тока» Сурко и Райф истолковывают как указание на то, что в жидком гелии существует энергичное нейтральное возбуждение, которое рождается вблизи радиоактивного источника и пролетев до границы раздела фаз, образует на ней пару He_2^+ и электрон. Чтобы образовать такую пару, возбуждение должно иметь энергию порядка энергии ионизации атома гелия (24,6 эв).

Для проверки своего предположения и для выяснения свойств нового возбуждения Сурко и Райф провели дальнейшие исследования. Оказалось, в частности, что нейтральное возбуждение может вырывать заряды из металлической пластинки, погруженной в гелий, однако такой метод обнаружения возбуждений значительно менее эффективен, чем образование заряженных частиц на границе раздела фаз. С помощью прибора, изображенного на рис. 3, было установлено, что при температурах ниже $0,45^\circ$ К нейтральные возбуждения распространяются прямолинейно, почти

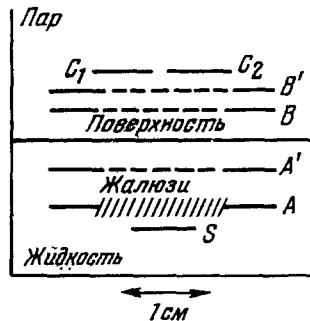


Рис. 3.

не рассеиваясь. Отличие этого прибора от прибора, показанного на рис. 1, состоит в том, что между источником и поверхностью помещены жалюзи и вместо одного коллектора S имеется два, C_1 и C_2 . При таком наклоне жалюзи, какой показан на рисунке, ток через коллектор C_2 был гораздо сильнее, чем через коллектор C_1 . Произвести подобные измерения при более высоких температурах не удалось из-за того, что жалюзи ослабляли ток, который, как видно из кривых на рис. 2, и без того мал при $T \approx 0,45^\circ$ К.

Важной характеристикой возбуждения является время его жизни. Чтобы получить сведения о величине этого времени, определялось влияние изменения толщины слоя жидкости между источником и поверхностью на величину аномального тока. Оказалось, что изменение расстояния между источником и поверхностью при неизменном значении телесного угла, под которым граница раздела фаз видна с источника, не влияет на величину аномального тока. Это значит, что возбуждение живет достаточно долго для того, чтобы пройти расстояние от источника до поверхности, т. е. ~ 1 см. Правда, эти наблюдения не позволяют оценить время жизни возбуждения, поскольку неизвестна его скорость.

Все описанные выше эффекты могли быть вызваны фотонами энергии ~ 25 эв, испущенными вблизи источника. Чтобы устранить возможность такого объяснения, Сурко и Райф помещали между источником и границей раздела фаз алюминиевую пленку толщиной 900 \AA ; такая пленка прозрачна для фотонов с энергией от 16 до 55 эв, однако ток при этом прекращался. В другом случае преградой для возбуждений служил кристалл LiF ; его область пропускания $0,1-12$ эв. Ток прекращался и в этом случае.

Возникает вопрос о природе нового возбуждения. Сурко и Райф высказывают предположение о том, что новое возбуждение связано с возбужденным состоянием атома гелия (He^*). У изолированного атома гелия имеются метастабильные состояния 2^3S_1 и 2^1S_0 с энергиями относительно основного состояния 19,7 и 20,6 эв соответственно. Время жизни возбужденного состояния атома в жидком гелии будет, вообще говоря, отличаться от времени жизни такого состояния для изолированного атома. Вопрос о соотношении этих времен качественно рассматривался в работе ³, где были высказа-

ны соображения, по которым в сверхтекучем гелии-4 время жизни возбужденного состояния атома должно уменьшаться, а в гелии-3, наоборот, увеличиваться. Однако точные оценки сделать трудно и можно надеяться, что метастабильным состояниям изолированного атома гелия будут соответствовать долгоживущие возбуждения в жидкости. Такие возбуждения могут возникать как при непосредственном взаимодействии α -частицы с атомом гелия, так и при рекомбинации положительного иона гелия и электрона. На поверхности жидкости возбужденный атом может образовать пару заряженных частиц в реакции $\text{He}^* + \text{He} \rightarrow \text{He}_2^+ + e^-$; такой процесс наблюдался при изучении свойств ионов в газообразном гелии высокой плотности ⁴. Хотя эксперименты не позволяют с полной определенностью считать, что природа нового возбуждения именно такова, однако интерпретация эта очень правдоподобна.

И. А. Фомин

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. J. C. M. Surko, F. Reif, Phys. Rev. Lett. 20, 582 (1968).
 2. G. Careri, U. Fasoli, F. S. Gaeta, Nuovo Cimento 15, 774 (1960).
 3. Ю. В. Петров, ЖЭТФ 49, 1923 (1965).
 4. Bruschi, B. Maraviglia, F. S. Moss, Phys. Rev. Lett. 17, 682 (1966);
J. A. Hornbeck, J. P. Molnar, Phys. Rev. 84, 621 (1951).
-