

зованы полностью в оболочке магнитных ионов (Mn^{2+} , Co^{2+} , Fe^{2+}), а распределены по всему кристаллу. Причем оказалось, что знак спиновой плотности на ядрах фтора и ядрах рубидия различен, т. е. имеются пространственные осцилляции спиновой плотности. Исследование делокализации спиновой плотности является непосредственным проявлением эффектов ковалентности химической связи и косвенного обменного взаимодействия в неметаллических твердых телах. Теоретически и экспериментально удалось показать, каким образом влияет характер симметрии кристалла и электронная структура оболочек магнитных ионов на конкретный вид распределения спиновой плотности^{3,5}.

Измерение полей на ядрах фтора в $RbNiF_3$ позволило также проследить за температурным ходом намагниченностей подрешеток в этом ферримагнетике⁶. Было обнаружено новое явление — так называемый индуцированный ферримагнетизм. Это явление заключается в том, что в ферримагнетике образуется сложная магнитная структура при температурах, значительно превосходящих точку Кюри (в полтора-два раза), если образец помещен во внешнее магнитное поле. В $RbNiF_3$ методом ЯМР обнаружено, что при $T_0 > T > T_c$ существуют две противоположно направленные магнитные подрешетки, если образец находится во внешнем поле ($T_0 \approx 2T_c$). Этот эффект легко объяснить в рамках теории молекулярного поля следующим образом. На каждую подрешетку действует суммарное магнитное поле, состоящее из внешнего поля и внутреннего эффективного обменного поля. Так как взаимодействие между подрешетками антиферромагнитно, то при $T > T_0$ эффективное поле направлено навстречу внешнему; при понижении температуры к T_0 суммарное поле на одной из подрешеток обращается в нуль, а намагниченность этой подрешетки меняет знак. Заметим, что благодаря неэквивалентности подрешеток (это необходимое условие) суммарное поле другой подрешетки знак не меняет.

Детальное сопоставление экспериментальных данных с расчетом в рамках метода постоянной связи позволяло также определить область температур, где важную роль играют эффекты ближнего магнитного порядка^{6,7}.

Существенно другие значения полей на ядрах и условия наблюдения ядерного резонанса реализуются в ферримагнетиках при температурах ниже T_c . В магнитоупорядоченных кристаллах поле на ядрах достигает значений в сотни и тысячи килоэрстед, а интенсивность ядерного резонанса возрастает на несколько порядков. В этих условиях эффективным методом исследования становится метод ядерного спинового эха во внутренних полях. Наблюдение ядерного эха позволяет изучать процессы ядерной релаксации, которые в магнитных кристаллах обусловлены взаимодействием ядерных моментов с упорядоченной электронной системой, причем здесь имеют место существенно новые процессы релаксации, например процесс спин-спиновой ядерной релаксации, обусловленной взаимодействием ядер через испускание и поглощение виртуальных спиновых волн (сул-накамуровское взаимодействие), спин-решеточная релаксация, обусловленная рассеянием спиновых волн на ядерных моментах. Важную роль при этом играют многомагнитные процессы и затухание спиновых волн. В докладе приведены результаты исследований спин-спиновой и спин-решеточной релаксации ядер ^{57}Fe в ферримагнетике $Y_3Fe_5O_12$.

Результаты исследований содержатся в приведенном списке литературы.

ЛИТЕРАТУРА

1. R. G. Shulman, S. Sugano, Phys. Rev. 130, 506, 1963.
2. R. E. Watson, A. J. Freeman, Phys. Rev. 134, A1526, 1964.
3. М. П. Петров, Г. А. Смоленский, ФТТ 7, 2156 (1965).
4. М. П. Петров, Г. М. Недлии, ФТТ 9, 3246 (1967).
5. М. П. Петров, ЖЭТФ 56, 1823 (1960).
6. Г. А. Смоленский, М. П. Петров, В. В. Моксалев, В. С. Львов, В. С. Касперович, Е. В. Жирнова, ФТТ 10, 1307, 1968.
7. M. P. Petrov, V. V. Moskalev, G. A. Smolenskyi, Sol. State. Comm. 8, 157, 1970.
8. Е. А. Туров, М. П. Петров, Ядерный магнитный резонанс в ферро- и антиферромагнетиках, М., «Наука», 1969.

В. А. Алексеев. А. А. Веденов. Об электропроводности плотных паров цезия

Вопрос о появлении электропроводности при сжатии паров металлов неоднократно рассматривался в литературе¹. Наиболее интересным представляется исследование электропроводности Cs , имеющего наиболее низкий потенциал ионизации

3,9 эв и критические параметры $p_k = 115$ атм, $T_k = 1775^\circ\text{C}$, $\rho_k = 0,445 \text{ г/см}^3$,² такие, что при $T \sim T_k$ разреженный Cs представляет собой идеальную слабо ионизованную плазму с электропроводностью $\sim 1 \text{ мо/см}$.

Эксперименты по измерению электропроводности Cs в закритическом состоянии в течение последних лет велись в Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова³ (аналогичные эксперименты велись в университете Карлсруэ, ФРГ⁴).

Успех в измерении электропроводности цезия в закритическом состоянии целиком обусловлен выбором материалов, так как цезий имеет довольно высокую критическую температуру и повышенную реакционную способность. Из изоляторов мы выбрали чистую окись бериллия. Из металлов лучше всего вольфрам, и для коротких по времени экспериментов может использоваться ниобий.

В основу эксперимента положена идея о возможности создания жидкого поршня из исследуемого металла, который бы передавал давление рабочего газа в зону высокотемпературных измерений.

По этому принципу была сконструирована измерительная ячейка. Корпус ячейки изготавлялся из трубы ниobia электронной плавки диаметром 6,3 мм. К нижней части трубы электронным лучом приваривался нижний электрод из такой же марки ниobia, на который плотно надевался капилляр из окиси бериллия. В верхний конец капилляра вставлялся верхний электрод из ниobia диаметром 2,5 мм так, что расстояние между электродами, где находился цезий, составляло 2–3 мм. К боковой части ячейки прикреплялась термопара ВР-5/ВР-20 в плоской соломке из окиси бериллия. Спай термопары устанавливался напротив зазора между электродами с точностью $\pm 0,2$ мм.

Для определения температуры в ячейке проводилось сравнение показаний термопары у корпуса ячейки и термопары, вставленной в зону вместо цезия. Концы термопары пропускались через конусные вводы, а второй спай помещался в дьюар с тающим льдом. Длина ячейки подбиралась такой, чтобы можно было вместить цезий, расширяющийся при нагревании. Ячейка нагревалась трубчатым нагревателем из молибденовой фольги длиной 10 см, к которому подводился переменный ток 250 а. Специальный механизм позволял под давлением регулировать положение ячейки относительно печи. Токовод

сделан в виде конусного уплотнения на нижнем обтюраторе и служит нижним держателем нагревателя. Корпус нагревателя выполнен из листа нержавеющей стали и приварен точечной сваркой по периметру обтюратора. Теплоизоляция печи достигалась засыпкой порошком из окиси магния между нагревателем и корпусом. Ячейка с нагревателем помещалась в камеру для высокотемпературных исследований, которая наполнялась очищенным аргоном под необходимым давлением. Аргон марки «чистый» очищался от кислорода, воды и углекислого газа путем пропускания под давлением через брикеты из мелкой стружки отожженной красной меди и жидкого натрия при температуре до 400–450° С. После очистки аргон поступал в термокомпрессор, действие которого основано на сжижении аргона при температуре жидкого азота с последующим нагревом до нижних давлений. Термокомпрессор представлял собой стальную бомбу емкостью около 0,5 л. Давление в камере измерялось с помощью образцовых манометров. Сопротивление цезия определялось по возникновению разности потенциалов между ниобиевыми электродами при прохождении постоянного тока с записью на автоматический потенциометр.

Результаты измерений электропроводности^{3,4} приведены на рис. 1.

Наблюдаемая в экспериментах экспоненциальная зависимость электропроводности от плотности может быть обусловлена взаимодействием «свободных» электронов с нейтральными атомами⁵. Действительно, в области плотностей цезия $0 < n \leq n_k$ (где наблюдается эта экспоненциальная зависимость) взаимодействие между электронами, связанными в различных атомах, еще не очень велико; в то же время средняя энергия «свободных» электронов из-за их большого поляризационного взаимодействия с нейтральными атомами понижается на величину $U_1 = n\hbar^2\sqrt{\pi q}/m$, где q — полное сечение упругого рассеяния медленных электронов на атоме газа. Энергия иона в газе также понижается из-за поляризации соседних нейтральных атомов на величину $U_2 = 4\pi le^2\alpha/r_0$ ⁶. Понижение потенциала ионизации I на величину $U_1 + U_2$ приводит к экспоненциальному росту с плотностью газа электронной

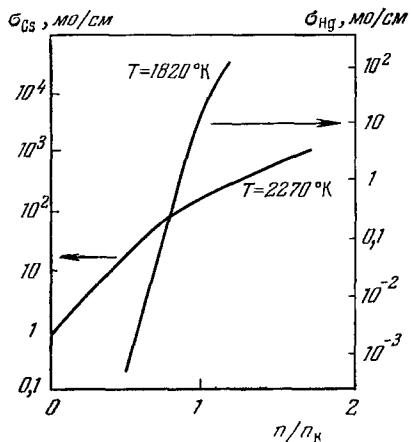


Рис. 1.

концентрации

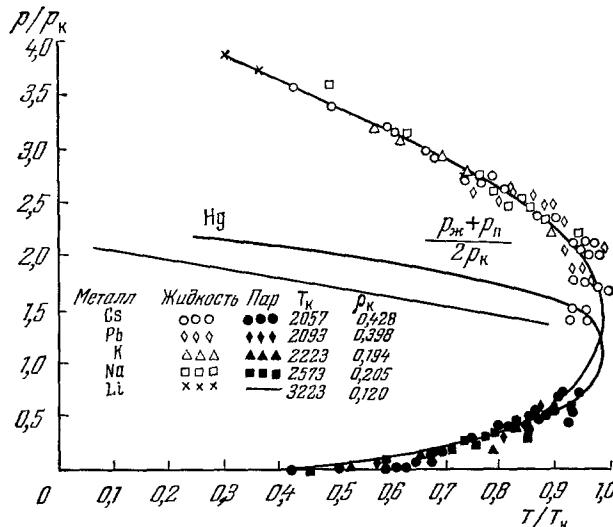
$$n_e \approx \exp(-I + U_1 + U_2)/2T$$

и (при постоянной подвижности) электропроводности

$$\sigma \approx \exp(-I/2T) + (n/n^*),$$

$$1/n^* \approx (2mT/\sqrt{\pi q \hbar^2})^{-1} + (Tr_0/2\pi e^2 \omega)^{-1}.$$

При оценке q по сдвигу оптической линии ($q = 2 \cdot 10^{-13} \text{ см}^2$), $r_0 = 2,6 \text{ \AA}$, поляризуемости $\alpha = 400 \text{ ам-ед.}$ получаем n^* , удовлетворительно согласующееся с экспериментальным значением $n^* = 1,7 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$. Заметим, что рассмотрение с отдельными пробными заряженными частицами в окрестности критической точки становится чреватым из-за неидеальности и вырождения плазмы.

Рис. 2. $\rho_{\text{ж}}$ — плотность жидкости, $\rho_{\text{п}}$ — плотность пара.

Таким образом, при повышении плотности электропроводность Cs не возрастает скачком в результате фазового перехода диэлектрик — металл, а монотонно растет от значения, соответствующего идеальной слабо ионизированной плазме $\sim 1 \text{ мо/см}$, до значения, соответствующего жидкому Cs, $5 \cdot 10^4 \text{ мо/см}$. В интервале плотности $0 < n < n_k$ экспоненциальный рост σ соответствует линейному уменьшению потенциала ионизации с плотностью вследствие поляризационного взаимодействия электронов и ионов с атомами.

В заключение отметим, что отличие (ρ, T) -диаграмм равновесия ⁷ (рис. 2) и электропроводности Cs от аналогичных результатов для Hg ⁸ (см. рис. 1, 2) обусловлено в жидкой фазе большей сжимаемостью Cs, а в газовой фазе (где кривые равновесия практически совпадают) значительно меньшим потенциалом ионизации Cs, приводящим к значительной плазменной проводимости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Я. Б. Зельдович, Л. Д. Ландау, ЖЭТФ 14, 32 (1944); Я. И. Френкель, Введение в теорию металлов, М.—Л., Гостехиздат 1948; N. F. Mott, Rev. Mod. Phys. 40, 677 (1968); Р. Г. Ахрапов, ЖЭТФ 49, 1601 (1965).
2. G. F. Oster, I. L. Silver, C. F. Bonilla, Отчет США АТ-2660-40, (1968).
3. В. А. Алексеев, ТВТ 6, 961 (1968).
4. H. Renkert, F. Hensel, E. U. Frank, Phys. Lett. 30A, 494 (1969).
5. А. А. Веденов, Доклад на конференции по физике спокойной плазмы, Фраскати, Италия, 1966.
6. Б. Л. Тиман, ЖЭТФ 27, 708 (1959); 25, 733 (1958); А. А. Ликальтер, ЖЭТФ 56, 240 (1969).
7. J. G. Dillon, D. A. Nelson, B. S. Swanson, J. Chem. Phys. 44, 4229 (1966).
8. F. Birch, Phys. Rev. 41, 641 (1932); И. К. Кикоин и др., ЖЭТФ 49, 124 (1966); E. U. Frank, F. Hensel, Phys. Rev. 147, 109 (1966).