

Наконец, в работе ¹⁵ сообщается о наблюдении двойного электронно-ядерного акусто-магнитного резонанса $U^{4+} \leftrightarrow {}^{19}F$ в монокристаллах CaF_2 . Этот результат интересен тем, что обычный двойной электронно-ядерный резонанс в этом веществе не может быть эффективно наблюден из-за того, что ион U^{4+} является некрамерсовым и магнитные переходы с изменением квантового числа $\Delta m = \pm 2$ слабы. Соответствующие же звуковые переходы имеют большую интенсивность.

Среди новых возможных двойных резонансов с участием фононов отметим следующие эффекты, которые пока что рассмотрены только теоретически: Обнаружение акустических резонансов на возбужденных ядрах при помощи эффекта Мессбауэра и $\gamma\gamma$ -угловой корреляции ¹⁶. В частности, интересна возможность детектирования ЭПР на Cr^{3+} и ЯМР на ${}^{27}Al$ в корунде при помощи эффекта Мессбауэра и $\gamma\gamma$ -угловой корреляции на ядрах хрома. Оптические методы могут быть использованы для обнаружения акустических резонансов в возбужденных состояниях атомов и молекул. В частности, генерируемые кристаллом лазерное излучение может быть использовано для детектирования акустических резонансов в том же кристалле. Так как во время действия лазера сильно изменяются разности заселенностей спиновых уровней, то, по-видимому, генерирующие лазеры могут так же одновременно генерировать гиперзвук. Нетрудно понять, что развитие двойных резонансов с участием фононов находится только в начальной стадии своего развития и, несомненно, может привести к интересным научным результатам.

ЛИТЕРАТУРА

1. У. Х. Копвиллем, В. Д. Корепанов, ЖЭТФ 41, 211 (1961); ФТТ 3, 2014 (1961).
2. С. Н. Townes, Proceedings of the Quantum Electronics Conference, Columbia Univ. Press, New York (1960), стр. 402.
3. С. Kittel, Phys. Rev. Lett., 6, 449 (1961).
4. Е. В. Тукер, Phys. Rev. Lett. 6, 547 (1961).
5. А. Р. Кессель, У. Х. Копвиллем, ФТТ 5, 667 (1963).
6. В. Р. Нагибаров, У. Х. Копвиллем, ЖЭТФ 45, 2006 (1963).
7. N. S. Shiren, Appl. Phys. Lett. 7, 142 (1965).
8. У. Х. Копвиллем, В. Р. Нагибаров, ФТТ 9, 1287 (1967); ЖЭТФ 52, 936 (1967).
9. В. А. Голенищев-Кутузов, У. Х. Копвиллем, В. Р. Нагибаров, Письма ЖЭТФ 9, 445 (1968).
10. С. А. Альшулер, ДАН СССР 85, 1235 (1952).
11. D. F. Volef, M. Menes, Phys. Rev. 114, 1441 (1959).
12. У. Х. Копвиллем, В. А. Голенищев-Кутузов, Ю. В. Владимирцев, Н. А. Шамуков, XV Всесоюзное совещание по физике низких температур (Тбилиси, 7—12 октября 1968 г.). Тезисы докладов, стр. 121; Письма ЖЭТФ 9, 85 (1969).
13. В. А. Голенищев-Кутузов, У. Х. Копвиллем, Н. А. Шамуков, Письма ЖЭТФ 10, 240 (1969).
14. K. H. Hausser, D. Schweitzer, Magnetic Resonance and Radiofrequency Spectroscopy. North-Holland Publishing Company Amsterdam (1969), стр. 452.
15. C. M. Bowden, H. C. Meyer, P. F. McDonald, Phys. Rev. Lett. 22, 224 (1969).
16. У. Х. Копвиллем, XII Всесоюзное совещание по физике низких температур. (Казань, 25—29 июня 1965 г.). Тезисы докладов, стр. 54.

М. П. Петров, Г. А. Смоленский. Распределение спиновой плотности и ядерное эхо в магнитных кристаллах

Магнитные моменты ядер являются естественными магнитными зондами в твердых телах, позволяющими исследовать пространственное распределение магнитных полей и спиновой плотности в интересующих нас объектах.

В магнитных кристаллах имеется так называемый эффект переноса спиновой плотности ^{1,2}, т. е. появление спиновой раскомпенсации электронных оболочек немагнитных ионов. При этом в тех точках, где находятся ядра немагнитных ионов, появляется магнитное поле. Величина этих полей может быть невелика, но тем не менее легко измерима методом ЯМР благодаря его высокой разрешающей способности. В докладе приводятся результаты экспериментальных исследований величины спиновой плотности на ядрах немагнитных ионов (Rb^+ , F^- и др.) в парамагнитной области антиферромагнетиков $RbMnF_3$, $RbCoF_3$, $RbFeF_3$, $TlMnF_3$. Методом ЯМР удалось обнаружить спиновую плотность как на ядрах фтора, так и на ядрах таллия и рубидия, т. е. экспериментально показать, что электроны с неспаренными спинами не локали-

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. Исследования 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 ферримагнетике ⁶. 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. Недлин, ФТТ 9, 3246 (1967).
5. М. П. Петров, ЖЭТФ 56, 1823 (1960).
6. Г. А. Смоленский, М. П. Петров, В. В. Москалев, В. С. Львов, В. С. Касперович, Е. В. Жирнова, ФТТ 10, 1307, 1968.
7. M. P. Petrov, V. V. Moskalov, G. A. Smolenskiy, 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 литературе ¹. Наиболее интересным представляется исследование электропроводности Cs, имеющего наиболее низкий потенциал ионизации