

СОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ

530

**НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОТДЕЛЕНИЯ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ  
И АСТРОНОМИИ АКАДЕМИИ НАУК СССР**

(27 мая 1970 г.)

27 мая 1970 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. У. Х. Копвиллем, В. А. Голенищев-Кутузов, Н. А. Шамуков. Двойные акусто-магнитные резонансы.
2. М. П. Петров, Г. А. Смоленский. Распределение спиновой плотности и ядерное эхо в магнитных кристаллах.
3. В. А. Алексеев, А. А. Веденов. Об электропроводности плотных паров цезия.

Ниже публикуется краткое содержание докладов.

**У. Х. Копвиллем, В. А. Голенищев-Кутузов, Н. А. Шамуков. Двойные акусто-магнитные резонансы**

Двойные магнитные резонансы в настоящее время широко используются в магнитной спектроскопии для повышения чувствительности измерений, поляризации ядер, получения мазер-эффекта и изучения тонких деталей взаимодействий между спинами. В докладе показано, что применение техники двойных резонансов в квантовой акустике позволяет решить ряд аналогичных задач, которые оказались неразрешимыми методами обычного акустического магнитного резонанса.

В работе<sup>1</sup> была высказана идея о существовании фононного мазер-эффекта на уровнях электронных и ядерных спинов. Теория фононного мазер-эффекта показала, что это явление может быть обнаружено экспериментально.

Аналогичные предположения были высказаны также в работах<sup>2,3</sup>. Генератор и усилитель гиперзвука был осуществлен на корунде с примесями ионов  $\text{Cr}^{3+4}$ . Двухквантовый фононный мазер-эффект был теоретически предсказан в работах<sup>5,6</sup> и обнаружен в работе<sup>7</sup>. Существование когерентного спонтанного фононного излучения было предсказано в работе<sup>8</sup> и экспериментально обнаружено в<sup>9</sup>.

Основное затруднение, встречающееся при детектировании ядерного акустического магнитного резонанса<sup>10</sup>, состоит в том, что современная техника квантовой акустики позволяет обнаруживать коэффициенты поглощения звука, удовлетворяющие условию  $\sigma \geq 10^{-8} \text{ см}^{-1}$ <sup>11</sup>. Поэтому этот эффект обнаружен непосредственными измерениями только на немногих монокристаллах. Применение же техники двойных резонансов в рубине показало<sup>12,13</sup>, что легко могут быть измерены  $\sigma \sim 10^{-10} - 10^{-12} \text{ см}^{-1}$ . Например, в виде провала на фоне линии ЯМР на  $^{27}\text{Al}$  был впервые детектирован акустический ЯМР на ядрах парамагнитных ионов ( $^{53}\text{Cr}$  в  $\text{Cr}^{3+}$ ). При этом ат. концентрация ионов  $\text{Cr}^{3+}$  составляла  $5 \cdot 10^{-4}$ , а ядер  $^{53}\text{Cr}$  составляла  $5 \cdot 10^{-5}$ . Таким образом, техника двойных электронно-ядерных и ядерно-ядерных магнито-акустических резонансов значительно расширяет круг веществ, доступных исследованию методами акустических резонансов. Исследование формы линии акустического ЯМР ядер  $^{53}\text{Cr}$  на фоне линии ЯМР от  $^{27}\text{Al}$  показало, что при достаточной интенсивности звуковой накачки часть спин-системы  $^{27}\text{Al}$  приобрела отрицательную спиновую температуру. Отметим, что были также обнаружены двухквантовые и запрещенные переходы ядра  $^{53}\text{Cr}$  под действием звукового и переменного магнитного полей.

Поляризация гиперзвуком атомных ядер  $^{29}\text{Si}$  в кремнии, легированном фосфором, была осуществлена в работе<sup>14</sup>. Генерация гиперзвука при  $1,6^\circ \text{ K}$  была осуществлена при помощи пленок  $\text{CdS}$ . Эти результаты показывают, что гиперзвук, по-видимому, может быть также использован для поляризации ядер в металлах.

Наконец, в работе <sup>15</sup> 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 <sup>16</sup>. В частности, интересна возможность детектирования ЭПР на  $Sr^{3+}$  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. Тускер, 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. Shigen, 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. Альтшулер, 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 <sup>1,2</sup>, 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-