

НОВЫЙ ВИД МАГНЕТИЗМА – АРОМАГНЕТИЗМ

Н.А. Толстой, А.А. Спартаков

Обнаружен принципиально новый вид постоянного магнетизма, наблюдаемый в целом классе органических веществ, находящихся в виде суспензии мелких кристалликов в жидкости (в частности, в воде). Постоянный магнитный момент пропорционален объему кристалликов.

Маленькие кристаллики ряда ароматических веществ, отличающихся плоским строением молекул без заместителей в их кольцах (антрацен, фенантрен, пирен, р-терфенил, трифенилен, нафтацен, перилен, пицен, пентацен, бенз (*ghi*) перилен, 1,2,6,7-добензперилен, а также азулен) обладают, как показывают опыты, сделанные с суспензиями этих кристалликов в воде и других жидкостях (концентрированные или разбавленные H_2SO_4 , D_2O , CCl_4 , HCl , KOH или минеральное масло высокой очистки), неизвестными до сих пор магнитными свойствами, совокупность которых была нами названа аромагнетизмом. Эти свойства одни и те же во всех перечисленных дисперсионных средах.

Исследовались суспензии микрокристалликов очень малой концентрации перечисленных выше веществ. При ориентации этих кристалликов (всегда несферических) возникает дурассеяние – дитиндализм – консервативный дихроизм (терминология Планка). Следовательно, поляризованный луч света ослабляется по-разному в зависимости от того, совпадает ли направление поляризации с направлением ориентации, или они взаимно перпендикулярны и при неизменной поляризации периодическое изменение осей ориентации частиц (в нашем случае в магнитном поле) вызывает периодическую модуляцию света, регистрируемого на осциллографе.

При наложении на суспензию знакопеременных прямоугольных импульсов магнитного поля возникает волна модуляции света, начинающаяся с момента смены знака поля и затухающая к концу импульса. Поскольку наблюдаемая переориентация может быть связана только с наличием у частиц постоянного магнитного момента μ , это доказывает его существование.

Напомним, что ориентация частиц, связанная с анизотропией магнитной поляризуемости, является квадратичным по полю H эффектом (одна степень H тензорно наводит момент, а вторая степень H его поворачивает вместе с частицей). Указанное поле H является полем, в

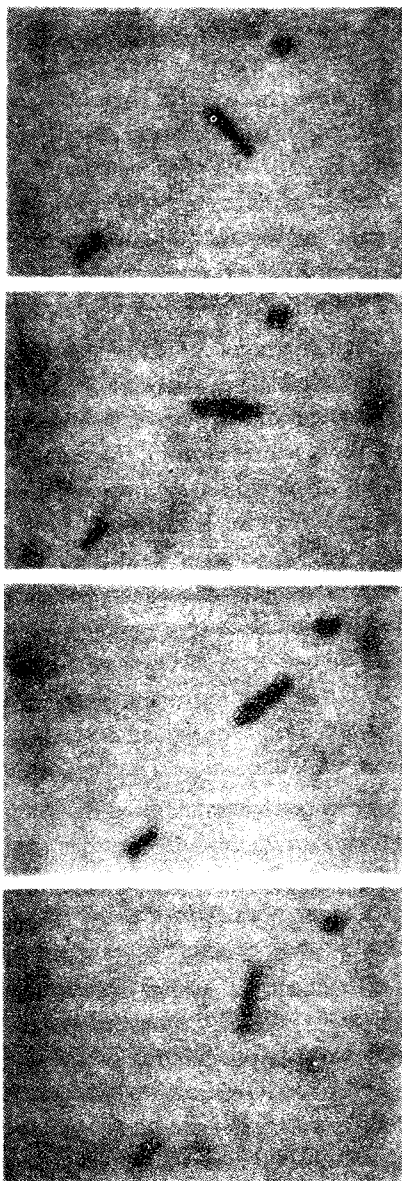


Рис. 1. Микрофотография кристаллика пирена. Переворачивание ароматного кристаллика при мгновенном изменении направления магнитного поля на противоположное: а) длинная ось кристаллика установилась вдоль поля; б) в), г) последовательные положения кристаллика после изменения направления магнитного поля на противоположное (два неподвижных изображения на фотографиях — кристаллики, осевшие и закрепившиеся на дне кюветы)

котором $H^2 = \text{const}$; оно не может вызвать переориентацию частиц и модуляция света не может иметь места. Факт модуляции доказывает существование кристалликов с магнитным моментом μ . Контрольные опыты с кристалликами, в которых отсутствует ароматизм, показывают отсутствие модуляции.

Если суспензия помещена во вращающееся поле H постоянной величины с небольшой частотой вращения ω , то кристаллики вращаются вслед за полем, результирующая ось ориентации вращается также и поляризованный свет модулируется с частотой 2ω . Вследствие трения результирующая ось ориентации отстает от поля H на угол α . Опыт показывает, что α остается постоянным при пропорциональном увеличении ω и H . Поскольку момент трения пропорционален ω , то и вращательный момент вызываемый H пропорционален ω . Следовательно, кристаллики, следующие за полем, имеют постоянный, не зависящий от H магнитный момент μ ; иначе не выполнялось бы $\alpha = \text{const}$ при $\omega/H = \text{const}$.

Вещества исследованных нами кристалликов, как известно, являются превосходными диэлектриками и обычными анизотропными диамагнетиками. Последнее, как мы выяснили, справедливо лишь в полях $H > (3 \div 5) \cdot 10^3$ Э, когда начинает проявляться нормальная анизотропная магнитная поляризуемость, пропорциональная H , и когда она начинает доминировать над постоянным μ . вращательный момент становится пропорциональным H^2 и измерения показывают, что в этих больших полях $\alpha = \text{const}$ при $\omega/H^2 = \text{const}$. Результаты наших измерений совпали с табличными данными по анизотропии диамагнетизма, имеющимися в литературе. Однако, наши исследования в полях $H \lesssim (3 \div 5) \cdot 10^3$ Э дают совершенно иную картину: заметная часть кристалликов обладает *постоянным* магнитным моментом μ , который пропорционален объему кристалликов (что проверено при вариации объемов в интервале пяти десятичных порядков). Те же частицы данного ансамбля, которые не обладают μ показывают аномально большую анизотропно-магнитную нелинейную поляризуемость и наводимый момент практически насыщается уже в слабых H . У достаточно крупных кристалликов (например, для палочки длиной 300 мкм) μ достигает $2 \cdot 10^8$ М_Б. В расчете на одну ароматическую молекулу постоянный магнитный момент составляет $1,8 \cdot 10^{-4}$ М_Б и эта величина примерно одинакова у всех перечисленных в начале этой статьи веществ. Направление вектора $\vec{\mu}$ кристаллика таково, что он ориентируется во внешнем поле $H \lesssim (3 \div 5) \cdot 10^3$ Э, также, как при $H \gtrsim (3 \div 5) \cdot 10^3$ Э, когда доминирующим фактором ориентации становится *обычная* диамагнитная анизотропия. Таким образом, среднее направление $\vec{\mu}$ перпендикулярно среднему направлению нормалей к плоскостям бензольных колец молекул.

Наличие постоянного μ , даже у крупных кристалликов, хорошо видных под микроскопом, прямо следует из фотографий приведенных в статье: переориентация кристаллика при изменении знака поля на обратный происходит почти на 180° и хорошо наблюдается, поскольку поворот сильно удлиненного кристаллика происходит за $5 \div 20$ с. Ясно, что наведенный (квадратичный по полю H) вращательный момент не мог бы произвести поворот на 180° .

Некоторые из указанных веществ (пирен, фенантрен), как мы установили, претерпевают фазовый переход при температурах 69°C и 97°C , соответственно. При этом, ось диамагнитной анизотропии и ось μ одновременно поворачиваются на $\pi/2$ относительно габитуса кристаллика. Этот процесс может быть обратим. Отсутствие ферромагнитных загрязнений у исследованных кристалликов, тем более в виде ферромагнитных доменов, твердо установлено. Отметим, что кристаллик размером $1-2$ мкм имеет в магнитном поле Земли энергию ориентации $\gtrsim kT$;

В заключение отметим, что все исследованные ароматические вещества — превосходные диэлектрики с молекулярной решеткой. Свободных электронов нет. Молекулы анизотропно диамагнитны, общий диамагнетизм велик, молекулы этих веществ не имеют спина и, следовательно, не могут быть парамагнитными. Тем не менее кристаллики этих веществ, как было обнаружено нами, являются постоянными магнитами с весьма устойчивым магнетизмом, ко-

торый не может быть объяснен на базе обычных представлений о спиновом магнетизме того или иного типа.

Ленинградский
государственный университет

Поступила в редакцию
8 февраля 1990 г.

После переработки
19 июня 1990 г.
