

$$a \int d\epsilon_{\vec{n}} = \frac{2}{3} \frac{e^2 a^2}{c} \gamma^2 \left[\left(\gamma^2 + \frac{1}{16} \right) E \left(\frac{\pi}{2}, b \right) - \frac{1}{2} F \left(\frac{\pi}{2}, b \right) \right] \int_0^{\pi} \frac{d\theta}{\sin^2 \theta}. \quad (11)$$

Здесь $F \left(\frac{\pi}{2}, b \right) = \int_0^{\pi/2} \frac{d\psi}{\sqrt{1 - b^2 \cos^2 \psi}}$ и $E \left(\frac{\pi}{2}, b \right) = \int_0^{\pi/2} \sqrt{1 - b^2 \cos^2 \psi} d\psi$ — пол-

ные эллиптические интегралы соответственно 1-го и 2-го рода. Естественно, что полная энергия излучения рассматриваемого источника за бесконечное время представляет собой расходящийся результат.

ЛИТЕРАТУРА

1. Schott G. A. Phil. Mag., **29**, 49, 1915.
2. Fulton T., Rohrlich F. Ann. of Phys., **9**, 499, 1960.
3. Rohrlich F. Nuovo Cim., **21**, 802, 1961.
4. Никишов А. И., Ритус В. И. ЖЭТФ, **56**, 2035, 1969
5. Гинзбург В. Л. «Успехи физических наук», **98**, 569, 1969.
6. Паули В. Теория относительности. М., 1947.
7. M. v. Laue. Relativitätstheorie, 3-rd ed., Braunschweig, 1919.
8. Dirac P. A. Proc. Roy. Soc., **A 167**, 148, 1938.
9. Бейтман Г., Эрдейи А. Высшие трансцендентные функции, т. 2. М., 1966.
10. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория поля. М., 1967.

Поступила в редакцию
15.11 1972 г.

Кафедра
теоретической физики

УДК

Н. М. ИЕВСКАЯ, А. Л. КОТКИН, Б. Д. МАЛЫШЕВ, Р. М. УМАРХОДЖАЕВ

К ИЗМЕРЕНИЮ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ЯДЕР В СРЕДНИХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

Исследование динамической поляризации ядер в жидкости и измерение времен релаксации при работе в магнитных полях с напряженностью до 1000 эрст и невысокой однородностью поля затрудняется малой величиной сигналов ЯМР, наблюдаемых в отсутствие поляризации. В этих условиях для наблюдения ЯМР-сигналов более целесообразно использовать метод адиабатического быстрого прохождения, при котором амплитуда сигналов ЯМР значительно возрастает по сравнению с амплитудой стационарных сигналов¹.

Из общих соображений теории (см. А. Абрагама) следует, что на значения коэффициентов динамической поляризации не должен оказывать влияния метод наблюдения сигналов. Значения времен релаксации ядер, измеренные при поляризации и в ее отсутствие, также должны сохраняться из-за сильного различия значений времен релаксации ядер и электронов.

Наши эксперименты подтверждают, что если поляризованный и неполяризованный сигналы наблюдаются с помощью одного и того же метода, то значения коэффициентов динамической поляризации совпадают в пределах точности измерений (10%). Были использованы метод наблюдения стационарных сигналов ЯМР в слабых р.ч. полях и метод адиабатического быстрого прохождения. Коэффициенты поляризации измерялись в полях с напряженностью 500 и 1000 эрст. Образцами служили водные растворы соли Ферми.

Было также установлено, что времена релаксации поляризованных и неполяризованных ядер имеют одни и те же значения. Измерения проводились при адиабатическом быстром прохождении по методу точки инверсии.

Однако во время экспериментов было обнаружено, что на измеряемые значения коэффициентов динамической поляризации и времен релаксации может оказы-

¹ А. Абрагам. Ядерный магнетизм. М., ИЛ, 1963.

вать влияние характер используемой модуляции (модуляции частоты или поля) и индекс модуляции. При модуляции магнитного поля при свипировании магнитного поля в методе адиабатического быстрого прохождения (поскольку при этом обычно используются большие амплитуды свипирующего поля, чем при наблюдении стационарных сигналов) может произойти смещение по сигналу ЭПР. Тогда амплитуда наблюдаемых поляризованных сигналов ЯМР будет уменьшаться из-за уменьшения среднего значения фактора насыщения электронного резонанса, влияющего на поляризацию.

Кроме того, при использовании метода боковых полос наличие дополнительного модулирующего поля может также привести к уменьшению эффективного значения фактора насыщения электронных спинов, поскольку при больших индексах модуляции амплитуда дополнительного магнитного поля может стать сравнимой с шириной сигнала ЭПР. В этом случае значения измеренных коэффициентов поляризации могут быть значительно занижены.

Перечисленные выше замечания относятся и к измерению времен релаксации. Как показали эксперименты, измеренные значения времен релаксации для одного и того же образца могут отличаться на порядок, если измерения магнитного поля при его свипировании выходят за пределы сигнала на ЭПР.

В случае применения свипирования частоты задающего ЯМР генератора частота электронного резонанса постоянна, и тогда при перестройке СВЧ генератора изменяется лишь величина коэффициента поляризации, а измеряемое время релаксации сохраняется.

Таким образом проведенное исследование показывает, что при измерении коэффициента динамической поляризации при применении модуляционных методов и измерении времен релаксации поляризованных сигналов желательно использовать свипирование и модуляцию частоты задающего ЯМР генератора. Модуляция и свипирование поляризующего поля могут привести к ошибочным результатам, поскольку одновременно производится свипирование и модуляция сигнала ЭПР.

Поступила в редакцию
19.10 1971 г.

НИИЯФ