

МАГНИТОМЕТРИЯ

УДК 550.838.084

А. Н. КОЗЛОВ, Ю. Л. МАЛИНКЕВИЧ (ИЗМИРАН)

ИЗМЕРЕНИЕ РЕЛАКСАЦИИ В ОПТИЧЕСКИ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ПАРАХ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

Одним из важнейших параметров ячеек с парами щелочных металлов является скорость затухания ориентации ансамбля атомов при их оптической накачке. В зависимости от сорта накачиваемых атомов, а также условий накачки (типа покрытий, наличия буферных газов и др.) релаксация мультипольных моментов основного состояния атомов определяется несколькими параметрами [5]. В рамках наиболее простой двухуровневой модели скорость релаксации продольной компоненты ориентации определяется одним параметром $1/T_1$.

Известно несколько динамических методов измерения T_1 [1, 3, 4]. Одним из основных различий этих методов является способ создания начальных условий для переходного процесса. Так, при резонансном методе [1] наблюдают изменения интенсивности прошедшего через ячейку светового потока при выключении резонансного радиополя, действующего на ансамбль атомов. В условиях сильных помех схема измерений усложняется, так как необходимо введение устройства стабилизации или слежения за изменениями магнитного поля.

В методе релаксации в темноте [4] наблюдают изменение интенсивности прошедшего через ячейку света в начале и в конце цикла прерывания накачки. При изменении времени нахождения поляризованного ансамбля атомов в темноте получается ряд переходных процессов, по которым определяется значение T_1 . Этот метод обычно используется при сравнительно больших временах релаксации ($T > 0,1$ с). Такое ограничение обусловлено быстродействием механических затворов, используемых для прерывания света накачки.

Ранее [3] при измерении T_1 по переходному процессу использовалась адиабатическая реверсия направления магнитного поля. Резонансное радиополе при этом не используется. Изменение прозрачности ячейки, регистрируемое в эксперименте, задается сменой направления магнитного поля. Измерительная установка включает в себя систему колец, которая должна обладать высокой однородностью.

Известно, что для ячеек поглощения с парами щелочных металлов неоднородное постоянное магнитное поле является релаксационным фактором [5]. Механизм такой релаксации состоит в следующем. Хаотическое движение рабочего атома в неоднородном постоянном магнитном поле эквивалентно воздействию изменяющегося во времени

поля на « неподвижный » атом. Так как движение атома случайно, временная зависимость эквивалентного поля также является случайной функцией. Спектральная плотность мощности для этой функции может быть отличной от нуля в резонансной области частот, что приводит к релаксационным переходам между зеемановскими подуровнями атомов. Указанный спектр случайного процесса зависит, как известно, от автокорреляции этого процесса. В рассматриваемом случае спектр определяется параметрами движения атома в ячейке, т. е. размером ячейки и ее типом (давлением рабочих атомов, буферного газа и т. д.). Количественная теория релаксации в неоднородном постоянном магнитном поле построена в работе [2].

Наложение неоднородного магнитного поля можно использовать для создания начальных условий для переходного процесса. Оценим градиент поля, который необходимо создать для практически полного разрушения намагниченности паров. Для ячейки с покрытием и парами цезия в земном магнитном поле теория [2] дает следующее выражение для T_1 (в случае $\omega_0\tau_2 \gg 1$, реализуемом здесь):

$$\frac{1}{T_1} = 2\gamma^2\tau_v \frac{\Delta H_x^2}{\omega_0^4 \tau_2^4},$$

где $\tau_v = L/v$ — время пролета атома между стенками; L — характерный размер ячейки (около 4 см); $v \approx 5 \cdot 10^4 - 10^5$ см/с — средняя скорость атома цезия; $\omega_0 \approx 2 \cdot 10^5$ Гц — резонансная частота в земном поле; $\tau_2 = 5 \cdot 10^{-3}$ с — время поперечной релаксации; γ — гиромагнитное отношение (для цезия $\gamma = 3,5$ Гц/нТл); $\Delta H_x = dH/dx$ — среднее изменение поля вдоль ячейки.

Задавая $T_1 \approx 10^{-3} - 10^{-4}$ с, получаем $\Delta H \approx 10^4 - 10^5$ нТл. Такие значения градиентов легко реализуются в эксперименте. Снятие градиентного магнитного поля восстанавливает условия создания поляризации, при которых начальную намагниченность паров можно считать нулевой. Регистрация переходного процесса в таком цикле позволяет определить T_1 , используя обычную процедуру экстраполяции зависимости эффективного "времени продольной релаксации $1/\tau_1$, от интенсивности света накачки I [4]. При $I \rightarrow 0$ время накачки $\tau_p \rightarrow \infty$.

На рис. 1 представлена схема установки по измерению эффективного времени продольной релаксации τ_1 . Она содержит: 1 — генератор возбуждения спектральной лампы и устройство стабилизации светового потока; 2 — безэлектродную цезиевую лампу; 3 — световод для передачи света от лампы к ячейке поглощения; 4 — линзы; 5 — круговой поляризатор; 6 — нейтральный фильтр; 7 — ячейку поглощения; 8 — встречно включенные катушки для создания неоднородного магнитного поля; 9 — генератор импульсов типа

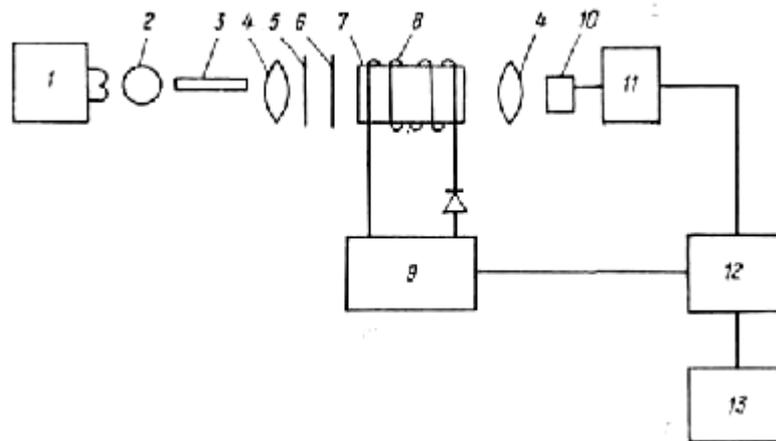


Рис. 1. Схема установки для измерения эффективного времени продольной релаксации

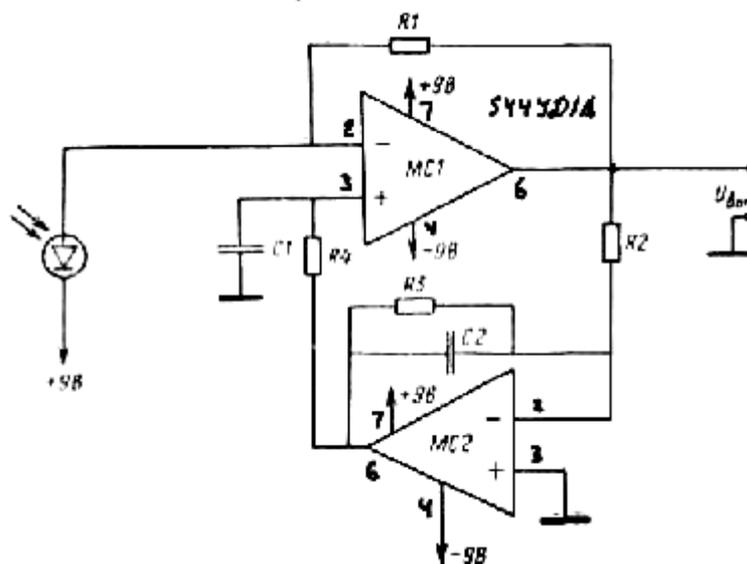


Рис. 2. Схема усилителя.

Г6-26; 10— фотоприемник; 11— усилитель; 12 — синхронный накопитель сигналов типа Ф36; 13 — самопишущий потенциометр типа КСП-4.

Так как переходный процесс наблюдается на фоне световой засветки, которая более чем на два порядка по интенсивности превышает полезный сигнал, в установке применен усилитель с подавлением постоянной составляющей от световой засветки посредством отрицательной обратной связи по постоянному току. Схема усилителя приведена на рис. 2.

В качестве задатчика неоднородного магнитного поля применен генератор токовых импульсов инфранизких частот типа Г6-26, который обеспечивает выдачу синхроимпульсов различной длительности для накопления сигнала прибором Ф36.

Импульсы тока, подаваемые во встречно включенные катушки, имеют полярность одного знака; амплитуда тока лежит в пределах 20—30 мА

при числе витков катушки, равном $30 + 30$. Уровень неоднородного магнитного поля устанавливается по отсутствию изменения в амплитуде сигнала переходного процесса при увеличении тока в катушках.

В качестве первичного регистратора используется синхронный накопитель сигналов типа Ф36, позволяющий улучшить отношение сигнал/шум переходного процесса путем синхронного накопления.

По завершении накопления, если таковое необходимо, информация с прибора Ф36 выводится на самопишущий потенциометр или другое выводное устройство (перфоратор ПЛ-150М, цифропечатающее устройство Ц-68000К).

Используемый метод наблюдения переходного процесса для измерения эффективного времени продольной релаксации допускает исследование ячеек поглощения без буферного газа при флуктуациях постоянного поля более 200 нТл и наличии сетевой помехи амплитудой более 300 нТл.

Точность измерения T_1 ($T_1 = \lim_{\tau_p \rightarrow \infty} \tau_1$) определяется стабильностью светового потока во время цикла измерений (<1 %) и погрешностями в определении коэффициентов пропускания нейтральных фильтров (<2 %) и экстраполяции данных $1/\tau_1$ к нулевой интенсивности света (~10—15 %).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисова Ю. П., Козлов А. Н., Синельникова С. Е. Экспериментальное исследование релаксационных характеристик ячеек поглощения с парами цезия. В кн.: Геомагнитное приборостроение. М., Наука, 1977, с. 22—28.
2. Довгопол С. Г., Путырский В. Г., Вотяков С. И. Релаксация оптически ориентированных атомов в неоднородном магнитном поле. — Оптика и спектроскопия, 1973, т. 35, вып. 6, с. 1025—1030.
3. *Dehmelt H. G.* Slow spin relaxation of optically polarized sodium atoms.—*Phys. Rev.*, 1957, v. 105, p. 1487—1489.
4. *Franzen W.* Spin relaxation of optically aligned rubidium vapor. — *Phys. Rev.*, 1959, v. 115, p. 850—856.
5. *Happer W.* Optical pumping. — *Rev. Mod. Phys.* ; 1972, v. 44, p. 169—225.

Опубликовано в сб. Геофизическая аппаратура, вып. 80, Л. Недра, 1984, с.3-6