

02;07;10;12

©1994

ДИХРОИЗМ ПОГЛОЩЕНИЯ ПРОБНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В АТОМНОМ ГАЗЕ, ВОЗБУЖДАЕМОМ СИНХРОТРОННЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

В.Ю.Бакман, С.В.Бобашев, О.С.Васютинский

Перспективными источниками синхротронного излучения (СИ) являются накопители, вигглеры и ондуляторы [1-3], излучение которых характеризуется высокой степенью линейной или эллиптической поляризации. Исследование этой поляризации представляет интерес для целей калибровки источников синхротронного излучения, а также оптических элементов в диапазоне вакуумного ультрафиолетового (ВУФ) излучения.

В настоящей работе теоретически исследовано взаимодействие произвольным образом поляризованного СИ с атомным газом, приводящее к дихроизму поглощения этого газа для пробного излучения, резонансного одной из атомных линий. В качестве примера рассмотрено фотовозбуждение атомов гелия.

Схема уровней энергий атома, поясняющая исследуемый фотопроект, представлена на рис. 1. Предполагается, что сначала атомы возбуждаются СИ из своего основного состояния 1 с угловым моментом j_1 , в состояние 2 с угловым моментом j_2 , а затем возбужденный атомный пар зондируется с помощью пробного поляризованного излучения на переходе 2 → 3. Циркулярный или линейный дихроизм поглощения этого пробного луча регистрируется по интенсивности флуоресценции с уровня 3 на уровень 4.

Выражение для интенсивности излучения флуоресценции на переходе 3 → 4, полученное на основе формул теории матрицы плотности [4] в первом порядке по интенсивности СИ и пробного излучения может быть записано в виде

$$S = I_0 \sum_{\kappa_1, \kappa_2=0}^2 G_{\kappa, \kappa_1 \kappa_2}(j_1, j_2, j_3, j_4) \times \\ \times [\{\Phi_{\kappa_1}(\mathbf{e}_1) \otimes \Phi_{\kappa_2}(\mathbf{e}_2)\} \Phi_{\kappa}(\mathbf{e})], \quad (1)$$

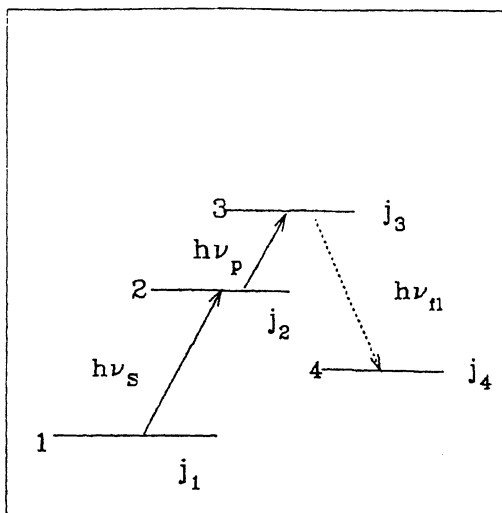


Рис. 1.

$$G_{\kappa\kappa_1\kappa_2} = (2\kappa_1 + 1)^{1/2}(2\kappa_2 + 1)^{1/2} \times \\ \times \left\{ \begin{matrix} 1 & 1 & \kappa \\ j_3 & j_3 & j_4 \end{matrix} \right\} \left\{ \begin{matrix} 1 & 1 & \kappa_1 \\ j_2 & j_2 & j_1 \end{matrix} \right\} \left\{ \begin{matrix} j_3 & j_2 & 1 \\ j_3 & j_2 & 1 \\ \kappa & \kappa_1 & \kappa_2 \end{matrix} \right\},$$

где I_0 — константа, определяемая интенсивностью синхротронного и пробного излучений, e, e_1, e_2 — векторы поляризации излучения флуоресценции, СИ и пробного излучения, соответственно, выражения в фигурных скобках — 6- j и 9- j символы, а \otimes — знак неприводимого векторного произведения [5]. Функции $\Phi_{\kappa Q}(e), \Phi_{\kappa_1 Q_1}(e_1), \Phi_{\kappa_2 Q_2}(e_2)$ характеризуют поляризацию и направление излучения флуоресценции, СИ и пробного излучения [4] и определяются следующим образом:

$$\Phi_{\kappa Q}(e) = - \sum_{q, q'} C'_{1q1q'}{}^{\kappa Q} (e^*)_q e_{q'}, \quad (2)$$

где e_q — круговые компоненты вектора поляризации e , а $C'_{1q1q'}{}^{\kappa Q}$ — коэффициенты Клебша-Гордана [5].

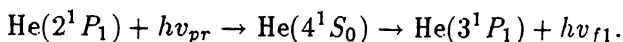
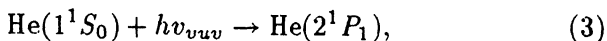
Полученные результаты могут быть применены, например, для определения состояния поляризации СИ в ВУФ области. Определение состояния поляризации ВУФ излучения в диапазоне длин волн $\lambda < 1050 \text{ \AA}$ обычными методами [1-3] представляет собой трудноразрешимую задачу, поскольку в этом спектральном диапазоне возможно применение лишь отражающих фазосдвигающих элементов и

поляризаторов, которые обладают малой эффективностью и не могут быть откалиброваны с удовлетворительной точностью. В работе [6] был предложен способ определения состояния поляризации СИ излучения, основанный на создании ориентации и выстраивания в возбужденном состоянии в атомном или молекулярном газе под действием СИ (например, в состоянии 2 на рис. 1) и в регистрации поляризации флуоресценции из этого состояния, с последующим вычислением состояния поляризации исходного ВУФ излучения по известным формулам.

В настоящей работе показано, что возможен другой подход к этой проблеме. Ориентация и выстраивание атомного газа, возникающие в состоянии 2 под действием СИ, могут быть зарегистрированы по дихроизму поглощения пробного луча света резонансного перехода $2 \rightarrow 3$. Преимущества этого подхода по сравнению с предложенным в работе [6] заключаются в увеличении чувствительности, а также, для случая использования в качестве источника пробного излучения импульсного лазера, в возможности радикально избавиться от деполяризации состояния 2 при его каскадном заселении и вследствие пленения излучения флуоресценции в объеме занятом газом.

Методика определения состояния поляризации ВУФ излучения поясняется рис. 2, на котором 1 — камера поглощения, содержащая атомный газ; 2 — источник пробного излучения, в качестве которого может быть использован перестраиваемый лазер; 3 — фазосдвигающие элементы; 4 — монохроматор; 5 — фотоприемник; 6 — регистрирующее устройство. В результате проведения четырех измерений, в каждом из которых используется определенная поляризация пробного луча и измеряется интенсивность излучения флуоресценции, параметры Стокса исследуемого ВУФ излучения могут быть определены по формулам, приводимым ниже.

В качестве примера определения состояния поляризации ВУФ излучения с длиной волны $\lambda = 58.4$ нм рассмотрим следующую реакцию фотовозбуждения атомов гелия:



Здесь длина волны пробного излучения — $\lambda_{pr} = 504.8$ нм, а длина волны излучения флуоресценции — $\lambda_{f1} = 2074$ нм.

Последовательность проведения измерений может быть, например, следующей. Пусть произвольным образом поляризованное СИ излучение распространяется вдоль оси Z лабораторной системы координат, а пробное излучение распространяется ему навстречу, как это показано на

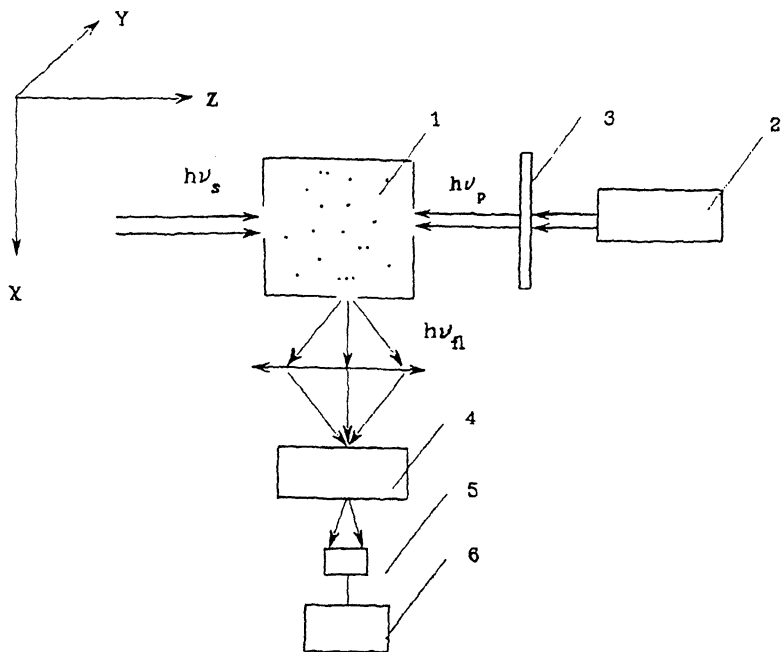


Рис. 2.

рис. 2. В первом измерении следует выбрать пробное излучение линейно, поляризованное вдоль оси X . Этому излучению соответствуют следующие нормированные параметры Стокса [7]: $P_1 = 1, P_2 = P_3 = 0$. При втором измерении следует использовать линейно поляризованное вдоль оси Y пробное излучение с параметрами Стокса: $P_1 = -1, P_2 = P_3 = 0$. В третьем измерении — линейно поляризованное под углом 45° к оси X излучение с параметрами Стокса: $P_2 = 1, P_1 = P_3 = 0$ и, наконец, в четвертом измерении — циркулярно поляризованное излучение с параметрами Стокса: $P_3 = 1, P_1 = P_2 = 0$. В каждом опыте измеряется интенсивность флуоресценции S_i на переходе $\text{He}(4^1S_0) \rightarrow \text{He}(3^1P_1)$, где i — номер опыта. Тогда на основе (1) можно получить следующие соотношения между нормированными параметрами Стокса ВУФ излучения I_i и определяемыми из эксперимента интенсивностями S_i :

$$I_1 = \frac{11 S_1 - S_2}{3 S_1 + S_2},$$

$$I_2 = \frac{11 S_1 + S_2 - 2S_3}{3 S_1 + S_2}, \quad (4)$$

$$I_3 = \frac{11 S_1 + S_2 - 2S_4}{5 S_1 + S_2}.$$

Для определения состояния поляризации ВУФ излучения с другими длинами волн могут быть использованы реакции с другими атомами или ионами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда фундаментальных исследований, проект № 93-02-14269 и гранта R65000 Фонда Сороса.

Список литературы

- [1] *Winick H., Doniach S.* Synchrotron Radiation Researches. N.Y., 1980. 356 с.
- [2] *Elleaume P.* // Rev. Sci. Instr. 1989. V. 60. P. 1830.
- [3] *Bahrtdt J. et al.* // Rev. Sci. Instr. 1992. V. 63. P. 339.
- [4] *Александров Е.Б., Хвостенко Г.И., Чайка М.П.* Интерференция атомных состояний. М., 1991. С. 255.
- [5] *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Квантовая механика. Нерелятивистская теория. М., 1974.
- [6] *Бобашев С.В., Васютинский О.С.* // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. В. 23. С. 1453.
- [7] *Шерклифф У.* Поляризованный свет. М., 1965. С. 130.

Физико-технический
институт им. А.Ф.Иоффе
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию
19 июля 1994 г.