

УДК 539.184.5 : 546.57

ОПТИЧЕСКАЯ САМОНАКАЧКА АТОМОВ СЕРЕБРА

Е. Б. Александров, В. К. Прилипко и Н. Н. Яковсон

Показано, что оптическая самонакачка в газовом разряде в парах серебра образует инверсию населенностей в СТС основного состояния. Радиооптическими методами наблюдался магнитный резонанс $\Delta F=1$ в СТС ^{109}Ag , сигналы которого позволяют установить распределение населенностей.

В работах [1-3] сообщалось об обнаружении резкого отклонения от теплового распределения населенностей атомов таллия [1, 2] и рубидия [3] по подуровням сверхтонкой структуры (СТС) основного состояния в условиях газового разряда. Как было показано в [2], нарушение теплового распределения возникало вследствие явления, названного оптической самонакачкой атомов (ОСА), основанного на процессах пленения резонансного излучения и приводящего, как правило, к избыточному заселению подуровня с минимальным стат.-весом. В случае таллия, в парах которого явление наблюдалось впервые, это был нижний подуровень СТС основного состояния $6^2P_{1/2}$ с полным угловым моментом $F=0$. В парах ^{87}Rb избыточно заселялся также нижний подуровень $F=1$. Таким образом, для этих двух объектов механизм ОСА приводил к эффективному

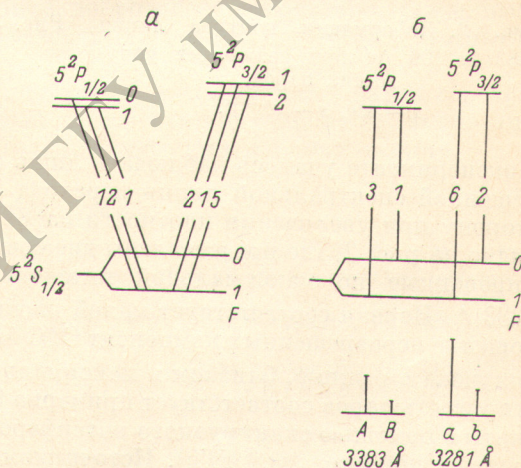


Рис. 1. Схема нижних электронных уровней (а) и распределение интенсивностей сверхтонких компонент резонансного дублета (б) атома серебра.

охлаждению системы — увеличению разности населенностей в пользу нижнего подуровня.

Следовало ожидать, что для атомов с обращенной последовательностью уровней СТС самонакачка должна приводить к инверсии населенностей. В связи с этим были предприняты поиски эффекта ОСА в разряде в парах серебра. Структура трех нижних энергетических уровней атома серебра с указанием относительных интенсивностей спектральных компонент резонансных линий 3383 \AA ($5^2S_{1/2} - 5^2P_{1/2}$) и 3281 \AA ($5^2S_{1/2} - 5^2P_{3/2}$) схематически представлена на рис. 1, а. Сверхтонкое расщепление основного состояния составляет 1976.94 МГц для ^{109}Ag и 1712.56 МГц для ^{107}Ag [4]. Сверхтонкое расщепление возбужденных состояний много меньше, и соответствующая структура резонансных линий неразрешима. В условиях разряда в инертном газе подуровни СТС возбужденных состояний серебра перемешаны столкновениями с атомами серебра в основном состоянии и с атомами инертного газа. Поэтому схема резонансных переходов факти-

чески сводится к представленной на рис. 1, б. Эта структура благоприятна для развития аномалии интенсивностей компонент СТС резонансных линий [5]. Троекратное различие вероятностей переходов между общим верхним уровнем ($P_{1/2}$ или $P_{3/2}$) и подуровнями СТС основного состояния должно с ростом плотности паров серебра в разряде приводить к перекачке излучения из более сильных компонент «А» и «а» в компоненты «В» и «b». Этот аномальный рост интенсивности слабых компонент резонансных линий является предпосылкой к развитию эффекта ОСА. Действительно, аномальный рост интенсивности выходящих из разряда линий «В» и «b» означает избыточный приток атомов через возбужденное состояние на верхний подуровень СТС основного состояния.

В принципе указанная аномалия для серебра должна быть выражена еще ярче, чем в таллии [5], поскольку отношение сил конкурирующих компонент у серебра больше (3 : 1, в то время как у таллия 2 : 1), однако развитию и обнаружению аномалии в серебре препятствует малое сверхтонкое расщепление, сравнимое с шириной спектральных линий. Поэтому

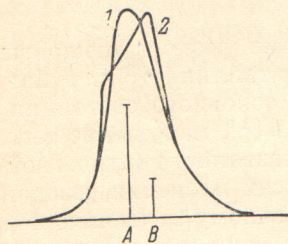


Рис. 2. Деформация контура линии 3383 Å 109 Ag при различных упругостях паров.

1 — 830, 2 — 900° С.

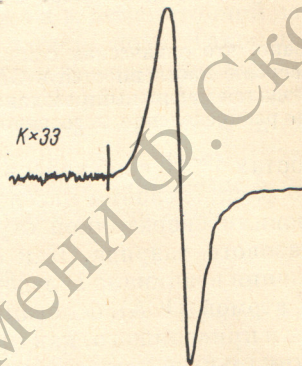


Рис. 3. Запись сигнала магнитного резонанса $F = 1 m_F = -1 \leftrightarrow F = 0$.

в эксперименте удалось наблюдать лишь смещение центра тяжести неразрешенной спектральной линии перехода $5^2P_{1/2} - 5^2S_{1/2}$ в длинноволновую сторону при увеличении плотности паров серебра в разряде. Это хорошо видно на рис. 2, где представлены две совмещенные по длинам волн и нормированные по максимальной интенсивности интерферограммы линии 3383 Å. Первая соответствует малой плотности паров серебра, когда соотношение неразрешенных компонент СТС близко к теоретическому, а вторая получена в режиме, близком к максимальной интенсивности линии 3383 Å (упругость паров соответствует примерно 900° С). Интерферограммы были сняты с помощью сканируемого интерферометра Фабри—Перо с базой 7 мм (разрешение около 0.6 ГГц). Источником излучения служил газовый высокочастотный разряд в парах серебра с неонам при давлении несколько тор. Плотность паров серебра регулировалась температурой печи, в которой находилась кварцевая разрядная трубка. Аналогичным образом эволюционирует контур линии 3281 Å.

Обнаруженная деформация контуров резонансных линий явилась основанием для поиска разности населенностей подуровней СТС основного состояния серебра в разряде, осуществленного методом двойного резонанса в основном по схеме работы [3]. Кварцевая разрядная трубка диаметром 10 мм помещалась в пучности индукции магнитного поля полуволнового резонатора, выполненного в виде замкнутой на концах линии, свернутой из ленты нержавеющей стали. На одном конце линия возбуждалась петлей связи от СВЧ генератора. Второй конец с разрядной трубкой помещался в печь с бифилярной нагревающей обмоткой. Изучение разряда в парах изотопа серебра ^{109}Ag с неонам направлялось через вспомогательную фильтрующую кювету с парами ^{107}Ag на фотоэлемент. Пары серебра в фильтрующей кювете преимущественно поглощают коротковолновое крыло линии

излучения [6], что давало возможность обнаружить перераспределение интенсивности излучения по контуру линии при возбуждении СВЧ полем переходов $F=1 \leftrightarrow F=0$. Для удобства регистрации наблюдались переходы $F=1 m_F = \pm 1 \leftrightarrow F=0$. Частота СВЧ поля фиксировалась, соответствующий переход выделялся постоянным магнитным полем напряженностью несколько эрстед и сканировался в окрестности резонанса. Сигнал с фотоэлемента усиливался и детектировался синхронно с модуляцией магнитного поля. На рис. 3 показана запись наблюдавшегося резонанса. Для иллюстрации мощности сигнала там же записан уровень шумов в канале регистрации при усилении увеличенном в 33 раза. Запись производилась при постоянной времени 0.5 с. Фототок не превышал 10^{-7} А. Ширина линии целиком определялась неоднородностью магнитного поля.

В соответствии с ожиданием было найдено, что сигнал резонанса исчезает при вымораживании паров серебра в фильтрующей кювете, поскольку перераспределение населенностей подуровней СТС при резонансе не меняет интегрального выхода резонансного излучения. Из соотношения фаз сигнала и модуляции магнитного поля было установлено, что СВЧ резонанс сопровождается увеличением интенсивности длинноволновых крыльев резонансных линий, составляемых компонентами «В» и «b» (рис. 1, б) Такое увеличение интенсивности свидетельствует об уменьшении в резонансе населенности подуровня $F=0$, ответственного за пленение компонент «В» и «b», т. е. об избыточном заселении этого уровня в отсутствие СВЧ поля.

Проведенное исследование подтверждает предсказания о возникновении в разряде в парах серебра инверсии населенностей подуровней СТС основного состояния. Это положение может быть использовано для построения мазера на парах серебра, что требует, однако, решения технических проблем реализации высокой добротности резонатора, связанных с высокой температурой парообразования серебра и высокочастотными потерями в плазме разряда.

В заключение отметим, что демонстрация самонакачки в парах серебра еще раз подтверждает тезис об универсальности этого процесса, высказанный в работе [2] на основании анализа ситуации в парах таллия.

Литература

- [1] Е. Б. Александров, Н. Н. Якобсон. Письма ЖЭТФ, 26, 436, 1977.
- [2] Е. Б. Александров, Н. Н. Безуглов, Н. Н. Якобсон. Опт. и спектр., 46, 1061, 1979.
- [3] Е. Б. Александров, Н. Н. Якобсон. Опт. и спектр., 48, 828, 1980.
- [4] G. Wessel, H. Lew. Phys. Rev., 92, 641, 1953.
- [5] Е. Б. Александров, Н. Н. Безуглов. Опт. и спектр., 45, 218, 1978.
- [6] P. Brix, H. Korfmann, R. Martin, W. Walcher. Zs. f. Phys., 130, 88, 1951.

Поступило в Редакцию 13 февраля 1980 г.