

УДК 535.343.4

НАСЫЩЕНИЕ ПОГЛОЩЕНИЯ НА СВЕРХТОНКОЙ СТРУКТУРЕ ЛИНИИ D_1 АТОМА РУБИДИЯ

А.М. БАДАЛЯН, С.М. ВАРЖАПЕТЯН, М.Е. МОВСЕСЯН

Институт физических исследований НАН Армении

(Поступила в редакцию 15 ноября 1999 г.)

Экспериментально исследовано поглощение линейно-поляризованного непрерывного лазерного излучения в разреженных парах рубидия (плотность атомов $\sim 10^{10} \text{ см}^{-3}$) на сверхтонкой структуре (СТС) резонансной линии D_1 атомов рубидия. Увеличение интенсивности падающего лазерного излучения приводит к насыщению (ослаблению) поглощения. При наличии в среде одновременно пробного излучения и излучения накачки, распространяющихся навстречу друг другу, на сверхтонких переходах атомов рубидия наблюдается расщепление доплеровски уширенных линий поглощения на сверхтонких переходах атомов рубидия.

Пары щелочных металлов являются одним из наиболее удобных объектов для спектроскопических исследований (см., например, [1-7] и ссылки в них). В последние десять-пятнадцать лет особенно интенсивно развивается лазерная спектроскопия тяжелых щелочных металлов – рубидия и цезия [2,4,5], в частности, с использованием в качестве источника излучения диодных лазеров [5,7]. Малая спектральная ширина линий излучения таких лазеров в сочетании с возможностью перестройки и достаточно большой мощностью в непрерывном режиме позволяет проводить спектроскопию сверхтонких компонент спектральных линий.

Изучение паров щелочных металлов проводилось в основном методами спектроскопии насыщения либо поляризационной спектроскопии, в частности, спектроскопии селективной по скоростям оптической накачки [3]. В работе [4], например, детально исследован спектр поглощения вблизи линии D_2 атома цезия. Методом поляризационной спектроскопии в спектре пробного излучения при наличии более мощного излучения накачки наблюдаются спектральные линии всех сверхтонких переходов, включая сигналы пересечения. В работах [2,3] в линейно-оптическом приближении рассчитаны относительные интенсивности компонент линий D_1 рубидия и цезия, обуславливающие форму сигнала в спектре пробного излучения.

В настоящей работе экспериментально исследован спектр поглощения паров рубидия в области частот, соответствующих переходу $5S_{1/2} \rightarrow 5P_{1/2}$ (линия D_1) при зондировании излучением диодного лазера. Эксперимент проводился на установке, схематически изображенной на рис.1. Лазер на диоде SHARP LT024/MF был сконструирован в лаборатории оптики ИФИ НАН Армении. Лазерная установка позволяла менять температуру диода в пределах от -10 до $+60$ °С с точностью до $0,1$ °С и силу инжекционного тока от 0 до 140 мА. Изменение температуры и тока в указанных пределах позволяло перестраивать частоту в области от 782 до 796 нм с шириной линии излучения ~ 20 МГц. В пределах рабочей спектральной области грубая настройка длины волны проводилась подбором температуры (при ступенчатой зависимости длины волны от температуры); в пределах же каждой ступеньки плавная линейная настройка осуществлялась посредством изменения инжекционного тока. Для обеспечения линейного сканирования частоты лазера использовался пилообразный ток с частотой повторения 75 Гц, позволявший охватить спектральную область шириной ~ 15 ГГц вокруг линии D_1 атома рубидия. Плотность мощности лазерного излучения достигала 30 мВт/см².

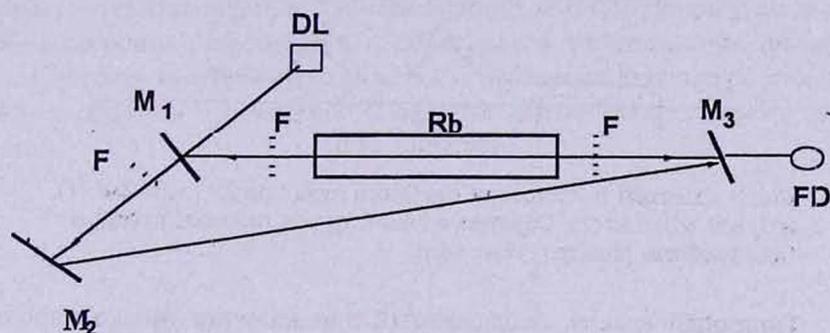


Рис.1. Ход лучей в оптической части экспериментальной установки. DL – диодный лазер, M_1 – полупрозрачное зеркало, M_2, M_3 – зеркала с коэффициентом отражения $\sim 99\%$, Rb – кювета с парами рубидия, FD – фотодиод с операционным усилителем, F – оптические фильтры.

Непрерывное лазерное излучение направлялось параллельным пучком на полупрозрачное зеркало M_1 , отраженный от которого пучок проходил через стеклянную кювету длиной 30 см, содержащую пары рубидия. Излучение, прошедшее через кювету, регистрировалось фотодиодом. В описываемом эксперименте температура паров в кювете была постоянна и равна 20°C , что соответствует давлению паров $\sim 3 \cdot 10^{-6}$ Торр. Выходной сигнал фотодиода ФД24К после усиления регистрировался либо осциллографом, либо графопостроителем НЗ06, позволяя получать спектр поглощения паров.

Излучение, прошедшее через зеркало M_1 , с помощью зеркал M_2 и M_3 могло поступать в кювету в направлении, обратном направлению распространения отраженного пучка; при этом обеспечивалось перекрытие пучков в кювете. Применение различных фильтров (F) позволяло независимым образом менять интенсивности обоих пучков. Следуя установившейся терминологии, будем называть регистрируемое излучение пробным, а распространяющееся в обратном направлении – излучением накачки. В данном случае соотношение интенсивностей обоих пучков может быть произвольным.

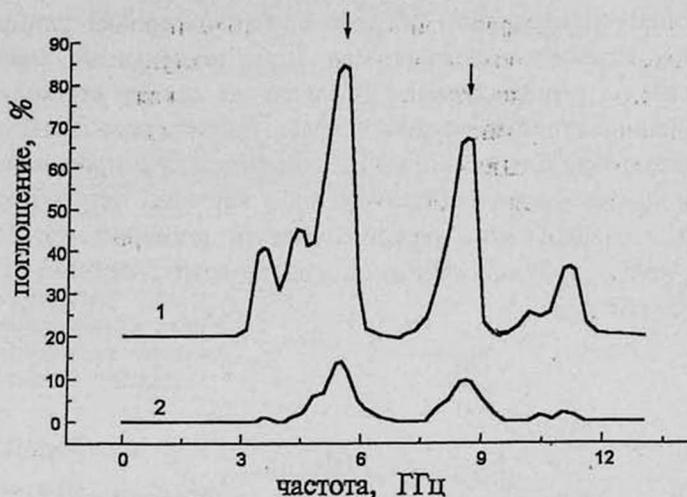


Рис.2. Спектры поглощения пробного луча при $I_n=3$ мВт/см² (1) и $I_n=30$ мВт/см² (2). Обратный идущий пучок накачки перекрыт (для удобства спектр (1) смещен).

Типичный спектр, наблюдаемый при наличии только пробного излучения, ослабленного примерно в 10 раз (до интенсивности, меньшей, чем 1 мВт/см²), показан на рис.2, кривая 1. Это хорошо известный (см., например, [6]) спектр паров природного рубидия, состоящего из двух изотопов ⁸⁵Rb (~75%) и ⁸⁷Rb (~25%). Пики, отмеченные на рис.2 стрелками, соответствуют линиям $L_{1,2}$ (переходы $5^2S_{1/2}$, $F=3 \rightarrow 5^2P_{1/2}$, $F'=2;3$, соответственно) и $H_{1,2}$ (переходы $5^2S_{1/2}$, $F=2 \rightarrow 5^2P_{1/2}$, $F'=2;3$, соответственно) изотопа ⁸⁵Rb; неотмеченные пики соответствуют переходам $F=1;2 \rightarrow F'=1;2$ другого изотопа (схемы уровней изотопов и соответствующие сверхтонкие расщепления уровней $5^2S_{1/2}$ и $5^2P_{1/2}$ приведены на рис.3). Поскольку доплеровская ширина линий при указанной температуре равна 530 МГц, то линии $L_{1,2}$ и $H_{1,2}$ с расстоянием между компонентами 362 МГц спектрально не разрешены, а соответствующие компоненты изотопа ⁸⁷Rb (разнесенные на 812 МГц) разрешены.

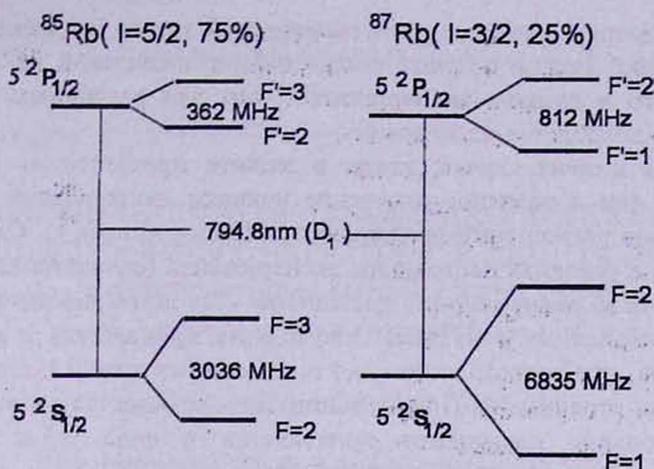


Рис.3. Схема уровней сверхтонкого расщепления атомов рубидия.

Если фильтры, ослабляющие пробное излучение, поставить после кюветы, то наблюдается спектр, приведенный на рис.2, кривая 2. Интенсивность пиков, как видно на рисунке, значительно меньше. Уменьшение поглощения при неизменной ширине пиков (как показывают измерения), по-видимому, объясняется оптической накачкой атомов с уровня $F=1(2)$ на уровень $F=2(3)$ основного состояния атома ^{87}Rb (^{85}Rb) и обратно, в зависимости от того, какой именно переход зондируется.

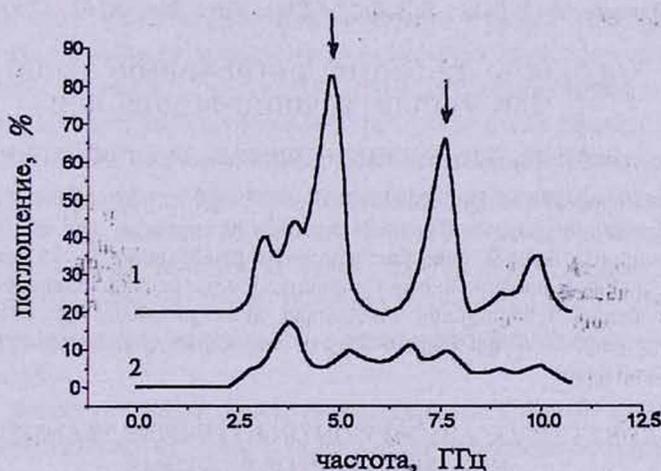


Рис.4. Спектры поглощения паров рубидия при отсутствии (1) и наличии (2) обратного пучка накачки $I_H=20$ мВт/см². Интенсивность пробного пучка $I_N=3$ мВт/см² (для удобства спектр (1) смещен.)

Измеряя отношение интенсивностей пиков на экспериментальных кривых, можно оценить число циклов оптической накачки, имеющих место в данном эксперименте. Оно для различных линий двух изотопов колеблется от 30 до 40.

Во втором случае, когда в кювете присутствуют как прямое пробное, так и обратное излучение накачки, доплеровски уширенные максимумы поглощений расщепляются (рис.4, кривая 2). Следует отметить, что в условиях настоящего эксперимента (величина интенсивности и длина кюветы) ширина насыщения (без доплеровского уширения) достаточно велика и на рис.4 насыщение проявляется в виде общего минимума, что хорошо видно для интенсивных линий поглощения ^{85}Rb (отмечены стрелками). При меньших интенсивностях пучка накачки и длины кюветы насыщение проявляется в виде узких отдельных минимумов на атомных частотах переходов СТС и их пересечений. Таким образом, в случае интенсивного пробного излучения происходит оптическая накачка между подуровнями сверхтонкой структуры атомов рубидия, а во втором случае – расщепление линий поглощения точно на частоте переходов СТС из-за насыщения линий поглощения.

ЛИТЕРАТУРА

1. S.Nakayama, G.W.Series, W.Gawlik. Opt. Comm., 34, 382 (1980).
2. S.Nakayama. Opt. Comm., 50, 19 (1984).
3. S.Nakayama. JOSA B, 2, 1431 (1985).
4. D.H.Yang, Y.Q.Wang. Opt. Comm., 74, 54 (1989).
5. J.Bowie, J.Boyce, R.Chiao. JOSA B, 12, 1839 (1995).
6. Y.Q.Li, M.Xiao. Phys.Rev. A, 51, R2703 (1995).
7. J.Gea-Banacloche, Y.Q.Li, S.Z.Jin, M.Xiao. Phys. Rev. A, 51, 576 (1995).

ԿԼԻՆՍԱՆ ՀԱԳԵՑՈՒՄԸ ՈՌԻԲԻԴԻՈՒՄԻ ԱՏՈՒԻ D₁ ԳԾԻ ԳԵՐԼՈՒՐԲ ԿԱՌՈՒՅՎԱԾՔԻ ՎՐԱ

Ա.Ա. ԲԱԴՅԱՆ, Ս.Ս. ՎԱՐՇԱՊԵՏՅԱՆ, Մ.Ե.ՄՈՎՍԵՍՅԱՆ

Ուսումնասիրված է գծային քվեռացված լազերային անընդհատ ճառագայթման կլանումը ռոբիդիումի նոսր գոլորշիներում (ատոմների խտությունը $\sim 10^{10}$ սմ⁻³) D₁ գծի գերնորր կառուցվածքի վրա: Գրգռող ճառագայթման ինտենսիվության մեծացումը բերում է միջավայրի կլանման հագեցման: Երբ միջավայրում միաժամանակ առկա են փորձնական և նրան հակառակ ուղղությամբ տարածվող ճառագայթները, դիտվում է կլանման դոպլերյան լայնացման գծերի ճեղքում Rb-ի ատոմի գերնորր կառուցվածքի ռեզոնանսային անցումների վրա:

SATURATION OF ABSORPTION ON HYPERFINE TRANSITIONS FOR THE D₁ LINE OF Rb ATOMS

A.M. BADALYAN, S.M. VARZHAPETYAN, M.E. MOVSESSIAN

The absorption of linearly polarized cw laser radiation in Rb rare vapors (the number density of atoms $\sim 10^{10}$ cm⁻³) on the D₁ line hyperfine structure is investigated. Dependence of absorption saturation on the laser intensity is studied. When in the absorbing medium the probe and counterpropagating pump radiations are present, a splitting of the Doppler broadened absorption lines at hyperfine structure resonances is observed.