

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СУЖЕНИЯ ЛИНИИ ФЛЮОРЕСЦЕНЦИИ ДЛЯ
ВНУТРИДОПЛЕРОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ РЕЗОНАНСНОЙ ЛИНИИ
ЦЕЗИЯ

А. М. Акульшин, В. Л. Величанский, А. С. Зибров,
В. В. Никитин, В. А. Саутенков, Е. К. Юркин

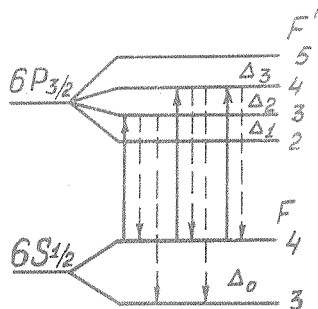
УДК 535.338.334

На D_2 -линии цезия проведено исследование спектрального распределения флуоресценции, переизлученной навстречу возбуждающему лазерному лучу. Наблюдались внутридоплеровские резонансы флуоресценции.

Сужение линии флуоресценции (СЛФ) при регистрации спонтанного излучения атомов газа в малом телесном угле навстречу или вдоль возбуждающего лазерного луча можно отнести к наиболее простым методам внутридоплеровской спектроскопии /1,2/. Выбор объекта исследования ранее был ограничен требованием, чтобы в процессе возбуждения атомов спонтанный распад происходил на промежуточные уровни, достаточно удаленные от основного состояния. Линии флуоресценции и лазерного излучения разделялись монохроматором и спектр флуоресценции анализировался с помощью интерферометра /1,2/.

В настоящей работе впервые реализован метод СЛФ на атомной резонансной линии с одним каналом спонтанного распада возбужденного состояния (без учета сверхтонкой структуры). Регистрировалось спектральное распределение флуоресценции на длинноволновой компоненте D_2 -линии ^{133}Cs (длина волны $\lambda = 852,1$ нм, радиационная ширина $\gamma_r = 5,3$ МГц, доплеровское уширение $\Delta\nu_D = 0,4$ ГГц). Соответствующие атомные переходы показаны на рис. 1.

Прежде чем перейти к эксперименту (рис. 2), кратко рассмотрим спектральные характеристики флуоресценции атомного газа с

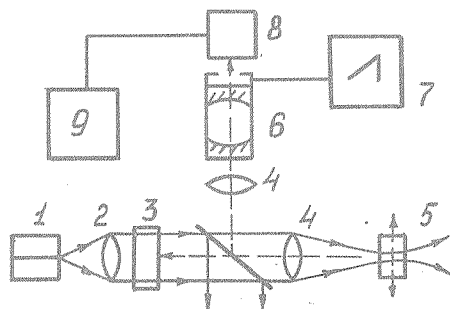


Р и с. 1. Схема оптических уровней D_2 -линии ^{133}Cs

одним резонансным переходом, переизлученной в конус с углом при вершине $2\theta \ll \gamma_T / \Delta \nu_D$ в направлении к лазеру. Монохроматическое лазерное излучение с частотой ν , отстроенной от резонансной на величину $\delta = \Delta \nu$, возбуждает группу атомов со средней проекцией скорости на направление луча $v_z = \delta c / \nu$. Поскольку волновые вектора поглощенного и переизлученного назад света противоположны по знаку, то вершина контура резонансной флуоресценции будет сдвинута на величину 2δ относительно ν (из-за дополнительного доплеровского сдвига). Измерение отстройки можно проводить путем регистрации линии флуоресценции и непосредственно линии лазерного излучения на одном спектральном приборе.

В отсутствие эффектов насыщения и самопоглощения линия флуоресценции имеет форму лоренцовского контура с шириной $2\gamma_T$.

В эксперименте (рис. 2) использовался непрерывный инжекционный лазер, стабилизированный по перестраиваемому конфокальному интерферометру. Линия излучения была близка по форме и лоренцовскому контуру с шириной $\Gamma = 20$ МГц. Описание лазера дано в [3]. Излучение лазера мощностью $w = 0,5$ мВт фокусировалось линзой ($f = 14$ см) на тонкую кювету ($l = 1$ см) с парами цезия. Кювета находилась при комнатной температуре, которой соответствует давление насыщенных паров $p \sim 10^{-6}$ мм. рт.ст. Спектральное распределение резонансной флуоресценции паров цезия (в конусе с углом при вершине $2\theta = 0,1$ рад) анализировалось с помощью конфокального сканирующего интерферометра (КСИ) с базой $d = 12,5$ см. В процессе эксперимента частота генерации ν фик-

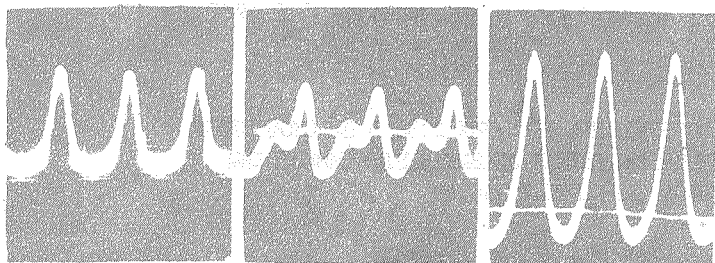


Р и с. 2. Схема установки: 1 - инжекционный лазер, 2 - микро-объектив, 3 - оптическая развязка, 4 - линза, 5 - кювета, 6 - КСИ, 7 - сканирующее устройство, 8 - ФЭУ, 9 - осциллограф

сировалась. Для измерения отстройки δ одновременно со спонтанным излучением на КСИ направлялась небольшая часть лазерного излучения, отраженного от окна кюветы.

Из-за сверхтонкой структуры D_2 -линии спектр флуоресценции, вообще говоря, сложнее, чем в рассмотренном выше случае двухуровневых атомов. Так, при настройке частоты лазера на длинноволновую компоненту D_2 -линии $6S_{1/2}(F=4) - 6P_{3/2}(F'=3, 4, 5)$ (для цезия имеют место соотношения $\Delta_0 > \Delta_D$, $\Delta_{1,2,3} < \Delta_D$) в спектре флуоресценции содержится пять линий, связанных с переходами $F - F'$ (рис. 1). Однако в условиях эксперимента из-за селективной по скоростям атомов оптической накачки на "незамкнутых" переходах /4/ все линии, кроме ($F=5$) - ($F'=4$), в значительной степени подавлены.

Экспериментальные результаты приведены на рис. 3. Резонансы КСИ от прямого лазерного излучения показаны на рис. 3а ($|\delta| \gg \Delta_D$). Каждый наблюдаемый резонанс соответствует совпадению одной из линий пропускания КСИ с линией лазерного излучения λ (перестраивалась длина КСИ а по линейному закону). Частотный интервал между резонансами КСИ равен $\Delta_{\text{сон}}^{\lambda} = c/4d = 600$ МГц. На следующей осциллограмме (рис. 3б) видны уже две системы эквидистантно расположенных резонансов КСИ, одна из которых обусловлена непосредственно лазерным излучением, а другая (с меньшей амплитудой) - спонтанным излучением атомов цезия.



Р и с. 3. Резонансы КСИ

По осциллограмме можно определить отстройку $\delta \approx 0,3\Delta_D$. Ширина резонансов КСИ, обусловленных флуоресценцией, значительно меньше доплеровского уширения $\Delta\nu_D = 380$ МГц. При точной настройке ($\delta = 0$) наблюдалась одна система резонансов (рис. 3в), но уже с заметно большей амплитудой.

Таким образом продемонстрирована возможность применения метода СЛФ для внутридоплеровской спектроскопии резонансных атомных линий. Отметим, что эффективность метода СЛФ может быть повышена при использовании техники оптического гетеродинирования /5/, которая позволяет одновременно реализовать высокую чувствительность и высокое спектральное разрешение.

Авторы благодарны А. П. Казанцеву за полезные обсуждения и С. Д. Якубовичу за предоставление инжекционного лазера.

Поступила в редакцию
4 февраля 1983 г.

Л и т е р а т у р а

1. Лазерная спектроскопия атомов и молекул. Под ред. Г. Вальтера, М., "Мир", 1979 г., с. 127.
2. В. С. Летохов, В. П. Чеботаев, Принципы нелинейной лазерной спектроскопии, М., "Наука", 1975 г., с. 146.
3. В. А. Саутенков, В. Л. Величанский и др., Краткие сообщения по физике ФИАН № 2, 13 (1982).
4. В. Л. Величанский, А. С. Зибров и др., Квантовая электроника 7, 2145 (1980).
5. Д. Бенедек, УФН, 106, 481 (1972).