

РЕГИСТРАЦИЯ КОНТУРОВ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ
С ВЫСОКИМ РАЗРЕШЕНИЕМ

С. В. Панько и В. П. Рузов

Предложена простая система для осуществления синхронного сканирования полос пропускания интерферометра Фабри—Перо и монохроматора. Синхронное сканирование позволило расширить регистрируемый спектральный интервал до 1.8 Å при разрешающей способности $R=10^6$ в желтой области спектра. Работа установки проверена при записи контура излучения зеленой линии ртути $\lambda=5461$ Å и контура поглощения D_1 линии натрия на фоне излучения сплошного спектра.

Исследование контуров спектральных линий выдвигает ряд требований к используемой спектральной аппаратуре. Спектральный прибор должен обеспечить высокую разрешающую способность и максимальную светосилу, а регистрируемый спектральный интервал должен составлять несколько ангстрем и более [1] для того, чтобы исследовать особенности контура в крыле.

Наиболее удобным прибором высокой разрешающей силы является интерферометр Фабри—Перо (ИФП). Он удовлетворяет первым двум требованиям [2, 3], однако область свободной дисперсии ИФП ($\Delta\nu$) мала и уменьшается с увеличением разрешающей силы

$$\Delta\nu = \frac{F\nu}{R_{\text{ИФП}}}, \quad (1)$$

ν — волновое число максимума пропускания ИФП, F , $R_{\text{ИФП}}$ — его резкость и разрешающая сила.

Малая область свободной дисперсии ограничивает участок спектра, регистрируемый с помощью ИФП без наложения порядков. Для устранения переложения порядков можно использовать монохроматор (М), который выделяет один максимум пропускания ИФП. Интерференционная картина проектируется на входную щель М, высота которой (h_s) выбирается близкой к величине

$$h_s = 2 \sqrt{\frac{2}{R_{\text{ИФП}}}} f, \quad (2)$$

где f — фокусное расстояние объектива, формирующего картину. Ширина щелей выбирается такой, чтобы М обеспечивал выделение одного максимума пропускания ИФП (рис. 1, а). Такую систему иногда называют спектрометром с интерферометром Фабри—Перо (СФП). Следует отметить, что при заданной разрешающей способности светосила СФП превосходит светосилу М [2]. Применение СФП позволяет регистрировать интервал спектра, существенно превышающий область свободной дисперсии ИФП. Достигается это за счет одновременного смещения полос пропускания ИФП и М.

В настоящее время известно несколько схем, позволяющих осуществлять одновременное смещение полос пропускания ИФП и М. Однако эти схемы либо сложны и требуют уникального оборудования [4, 5], либо не позволяют добиться синхронности сканирования [6]. Несинхрон-

ность же сканирования ограничивает как разрешающую способность СФП (R_c), так и регистрируемый интервал спектра ($\Delta\nu_p$). Чтобы установить связь между указанными величинами, положим, что несинхронность, т. е. относительное смещение максимумов пропускания ИФП и М при сканировании единичного интервала частот, равна η , а функция пропускания М имеет плоскую вершину $\Delta\nu_B$ (рис. 1, а). Регистрируемый контур не искажается аппаратной функцией М, если относительное смещение

максимумов пропускания ИФП и М ($\Delta\nu_{см.}$) на всем сканируемом участке меньше $\Delta\nu_B$

$$\Delta\nu_{см.} \leq \Delta\nu_B. \quad (3)$$

Наложение порядков не искажает регистрируемый контур при условии (рис. 1, б)

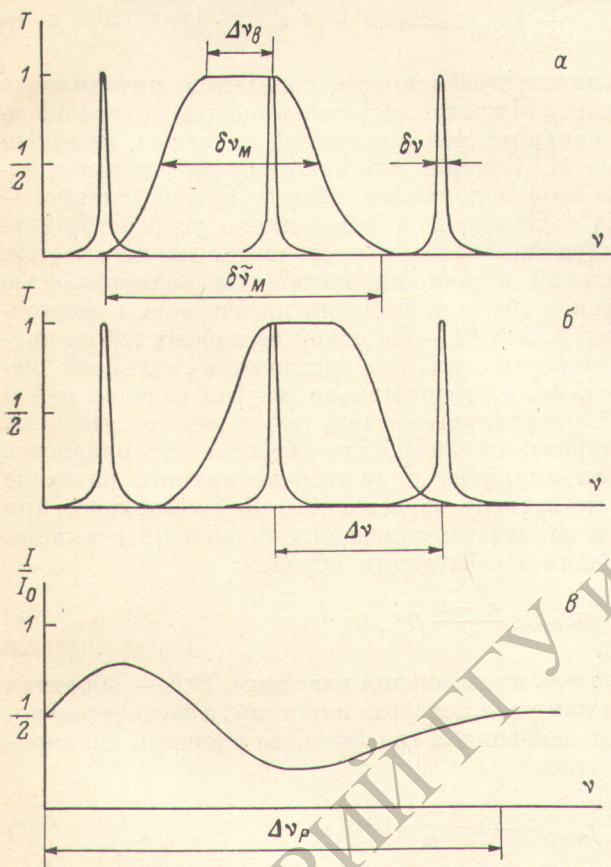


Рис. 1. Функции пропускания СФП.

а — положение полос пропускания ИФП и М в начале сканирования; б — положение полос пропускания ИФП и М в конце сканирования; в — изменение пропускания ИФП при смещении полос пропускания ИФП и М на один порядок; в начале сканирования полосы пропускания ИФП и М сдвинуты на четверть порядка.

$$\delta\tilde{\nu}_M + \Delta\nu_{см.} \leq 2\Delta\nu. \quad (4)$$

Можно считать, что

$$\delta\tilde{\nu}_M = 2\delta\nu_{норм.} + \Delta\nu_B, \quad (5)$$

где $\delta\nu_{норм.}$ — полуширина аппаратной функции М при нормальных щелях. Подставляя (5) в (4) и используя (3) и (1), получаем

$$R_c = R_{ИФП} = \frac{F\nu}{\delta\nu_{норм.} + \Delta\nu_{см.}} = \frac{F\nu}{\delta\nu_{норм.} + \eta\Delta\nu_p}. \quad (6)$$

Из (6) видно, что разрешающая способность СФП максимальна при полной синхронности сканирования ($\eta=0$) и определяется разрешающей способностью М (R_M) и резкостью ИФП: $R_c = FR_M$. Если сканирование несинхронное, то разрешающая сила СФП тем меньше, чем больше η и $\Delta\nu_p$. Так, в работе [6] из-за несинхронности сканирования авторам пришлось уменьшить разрешающую силу СФП от $2 \cdot 10^7$ до $1.6 \cdot 10^6$, а регистрируемый интервал — почти вдвое.

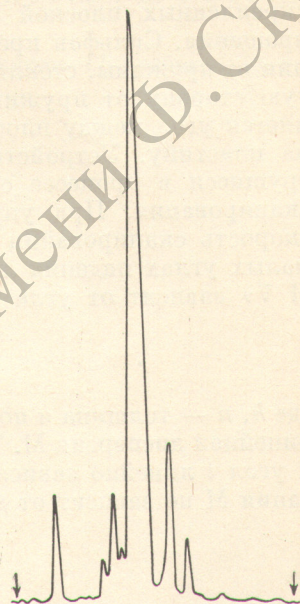


Рис. 2. Контур зеленой линии ртути $\lambda = 5461 \text{ \AA}$.

Стрелками указаны начало и конец регистрируемого спектрального интервала.

Нами предложена и реализована простая система, обеспечивающая синхронность сканирования полос пропускания ИФП и М. Установка собрана на базе серийных приборов ИФП ИТ-28-30 ($F \approx 15$) и М ДФС-8-3 ($R_M = 1.5 \cdot 10^5$) и позволяет регистрировать спектральный интервал, превышающий 5 см^{-1} с разрешающей способностью 10^6 . ИФП сканировался изменением давления воздуха в барокамере. При сканировании давлением скорость смещения полосы пропускания ИФП не зависит от давления (p)

$$\left(\frac{d\nu}{dp}\right)_{\text{ИФП}} = -\alpha\nu, \quad (7)$$

где α — константа, определяющая зависимость показателя преломления газа от давления. Сканирование М производилось с помощью поворачиваемой на малые углы плоскопараллельной стеклянной пластины, помещенной перед выходной щелью М. Поворот пластины осуществлялся с помощью упругого сильфона при заполнении общего объема сильфон-барокамера воздухом через натекаТЕЛЬ. Конструктивно устройство сканирования М состоит из двух параллельно расположенных плоскостей, скрепленных плоской стальной пружиной, которая и является осью вращения. Сильфон крепится к обеим плоскостям на некотором расстоянии от пружины, стеклянная пластина — на одной из плоскостей по другую сторону от пружины. При сжатии или растяжении сильфона меняется угол между плоскостями, а следовательно, и угол падения лучей на пластину. Устройство сконструировано так, что в нем отсутствуют трущиеся в процессе сканирования части, что обеспечивает плавность сканирования. При упругом сильфоне и достаточно толстой пластине скорость сканирования М не зависит от давления. Действительно, при малых углах падения лучей на пластину смещение полосы пропускания М $\nabla\nu$ зависит от угла падения i следующим образом:

$$\nabla\nu = hi \frac{n-1}{n} D^{-1}, \quad (8)$$

где h , n — толщина и показатель преломления пластины, D^{-1} — обратная линейная дисперсия М. Так как угол поворота пластины, а следовательно, и угол i линейно зависят от давления в сильфоне, то скорость сканирования М не зависит от давления

$$\left(\frac{d\nu}{dp}\right)_{\text{ИФП}} = -h \frac{n-1}{n} D^{-1} \alpha_1, \quad (9)$$

где α_1 — коэффициент, который определяется жесткостью сильфона и расстоянием его от оси вращения.

В изготовленной нами системе угол падения лучей на пластину менялся от -1.5 до $+1.5^\circ$, что обеспечивало линейность изменения $\nabla\nu$ с точностью 0.2% . Для того чтобы добиться достаточно больших сдвигов частот, толщина стеклянной пластины выбрана большой $h=4$ см.

Скорости сканирования ИФП и М легко уравнивать, изменяя «жесткость» α_1 . Это достигается либо изменением положения сильфона относительно оси вращения пластины, либо изменением положения дополнительных пружин, которые можно укрепить параллельно сильфону. Синхронность контролируется по постоянству светового потока на выходе СФП при записи сплошного спектра (рис. 1, ϵ). Испытания показали, что относительное смещение максимумов пропускания ИФП и М в процессе сканирования легко уменьшить до 0.2% от сканируемого интервала. При таком смещении пропускание СФП уменьшится лишь на 0.4% относительно максимального даже при бесконечно узких щелях М.

Интервал регистрируемого спектра определяется диапазоном изменения давления газа в барокамере ИФП. При сканировании давлением воздуха от 0 до 1 атм он равен 1.8 \AA в спектральной области $\lambda=5890 \text{ \AA}$.

Для проверки работы установки в целом производилась регистрация структуры излучения лазера ЛГ-56, контура излучения зеленой линии

ртути $\lambda=5461 \text{ \AA}$, а также контура поглощения D_1 линии натрия на фоне излучения сплошного спектра.

Запись всех контуров велась с ИФП толщиной 2 см. При регистрации излучения лазера в одномодовом режиме генерации разрешалась структура линии излучения, следовательно, полуширина аппаратной функции ИФП не превышала области свободной дисперсии резонатора лазера, т. е. $F \geq 15$. На рис. 2 приведена регистраграмма контура зеленой линии ртути, структура которой насчитывает 14 отдельных компонент. Разрешены 8 из них, остальные маскируются доплеровским уширением.

Литература

- [1] A. Gallagher. Atom. Phys. 4, Proc. Intern. Conf. Heidelberg, 1974.
- [2] Н. И. Калитеевский, М. П. Чайка. В сб.: Спектроскопия газоразрядной плазмы. «Наука», Л., 1970.
- [3] П. Жакино. Усп. физ. наук, 78, 123, 1962.
- [4] J. M. Helbert, P. Laforie, P. Mische. Appl. Opt., 16, 2119, 1977.
- [5] К. И. Тарасов. Спектральные приборы. «Машиностроение», Л., 1977.
- [6] J. P. Deleage, D. Kunth, G. Testor, F. Rostas, E. Roueff. J. Phys. B., Atom. Mol. Phys., 6, 1892, 1973.

Поступило в Редакцию 17 ноября 1978 г.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ имени Ф. Скоринны