

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЯРКОСТИ В СТС СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ

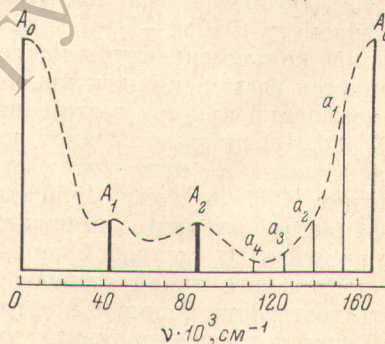
В. С. Бабеев, В. В. Дунаев, А. Г. Жиглинский и Э. Н. Фафурина

Экспериментально доказана справедливость модели о существенном влиянии нестабильности аппаратного и собственного контуров на перераспределение яркости в картине СТС. Существование корреляционных связей между различными участками интерференционной картины подтверждено на высоком уровне точности регистрации яркости.

Ранее нами была предложена новая модель формирования наблюдаемого распределения яркости в СТС спектральных линий, основанная на представлениях о нестабильности свойств разряда и интерферометров [1]. Одно из основных положений модели состоит в том, что распределение яркости в СТС спектральных линий подвержено непредсказуемым изменениям, причины которых трудноконтролируемы. Отсюда ясно, что

Рис. 1. Схема СТС линии MgI 880.7 нм.

Штриховой линией обозначено наблюдаемое распределение яркости в интерференционной картине. Толстые вертикальные линии соответствуют положению спектральных линий изотопов ^{24}Mg (A_0), ^{25}Mg (A_1), ^{26}Mg (A_2); тонкие вертикальные линии соответствуют положению ординат a_i , относительные значения которых выбраны в качестве параметров корреляции.



невозможна такая экспериментальная проверка модели, когда контролируемым образом непрерывно изменяются в некотором диапазоне процессы, ответственные за изучаемое явление. Поэтому в данной работе мы пошли по пути последовательного исключения факторов, влияющих, согласно модели, на перераспределение яркости в СТС, исследуя одновременно изменение величины этих перераспределений.

Другое основное утверждение модели — существование корреляционных связей в спектре СТС. Это положение ранее проверялось на уровне точности измерения яркости 1.2%. В настоящее время качество измерений в спектроскопии высокой разрешающей силы повысилось и возникла необходимость проверить, можно ли пользоваться моделью на более высоком уровне точности измерений яркости. Это вторая задача предпринятой здесь экспериментальной проверки модели формирования яркости в спектре СТС.

Изучалось распределение яркости в СТС линии Mg I 880.7 нм (рис. 1). Как видно из рис. 1, СТС этой линии довольно типична для исследований в спектроскопии высокой разрешающей силы. Применявшаяся установка

также была обычной [2]. Измерялись относительные по отношению к компоненту A_0 ординаты распределения яркости в СТС. Результаты этих измерений представлены на рис. 2, 1а и 2, 1б. По оси ординат здесь отложена относительная яркость компонентов СТС A_1 и A_2 . По оси абсцисс — номер опыта. Разные опыты выполнены в разные дни, а иногда и месяцы. Все условия опытов, поддающиеся контролю, поддерживались постоянными. Каждая точка на рис. 2 получена путем усреднения результатов 10–16-кратной записи одного из порядков интерференционной картины. Вертикальный штрих около точек дает среднеквадратичную ошибку определения положения точки. На оси ординат утолщенным отрезком указано среднее квадратичное изменение относительной яркости компонентов СТС от опыта к опыту, вычисленное по всем точкам рис. 2, 1а или 2, 1б (соответствующие этим изменениям коэффициенты вариации указаны в подписи к рис. 2). Аналогично построены остальные графики рис. 2.

Из рис. 2, 1а и 2, 1б видно, что при измерении яркостей компонентов СТС отношение этих яркостей меняется спонтанно от опыта к опыту. Величина этих изменений, как обычно в спектроскопии высокой разрешающей силы при измерении отличающихся на порядок яркостей компонент СТС, составляет 4–5%, что значительно выходит за пределы ошибок фотометрических измерений яркости, указанных около каждой точки вертикальным штрихом.

Согласно модели, одной из главных причин этих перераспределений яркости являются вариации формы аппаратного контура интерферометра. Последние же обусловлены в первую очередь неконтролируемыми отклонениями от параллельности зеркал интерферометра и перемещениями в пространстве его оптической оси. Поэтому в следующих экспериментах мы последовательно исключили роль этих причин перераспределений яркости для того, чтобы оценить, существенно ли изменятся коэффициенты вариации яркости в картине СТС.

В соответствии с этой программой в следующем нашем эксперименте интерферометр Фабри—Перо был заменен таким, в котором пластины и распорное кольцо скреплены посредством оптического контакта. При этом устраняется взаимное смещение зеркал друг относительно друга. Результаты измерений яркости с этим интерферометром представлены на рис. 2, 2а и 2, 2б. Из рисунка следует, что устранение взаимного смещения зеркал действительно приводит к уменьшению перераспределений яркости в картине СТС до 2 раз. Вероятность того, что приведенные на рис. 2 коэффициенты вариации принадлежат разным генеральным совокупностям, не менее 0.8 для любой пары графиков (за исключением 2, 3а и 2, 4а). Для достижения такой степени надежности выводов было необходимо делать достаточно большое количество измерений распределения яркости (более чем в тысяче порядках интерференционной картины).

Для устранения перераспределений яркости, обусловленных перемещением в пространстве оси интерферометра относительно выходной диафрагмы установки, применялась установка [3], в которой жестко скреплялись друг с другом камера интерферометра с выходной диафрагмой и барокамера с интерферометром Фабри—Перо, описанным выше. Результаты измерений яркости в этом случае представлены на рис. 2, 3а и 2, 3б. Распределение яркости измерялось в течение года (примерно по одному опыту в месяц). Между опытами установка не юстировалась и на ней непрерывно выполнялась работа по другим программам. Как следует из рис. 2, 3, устранение основных причин вариаций формы аппаратного контура привело к уменьшению коэффициентов вариации распределения яркости в картине СТС до 1.5–1.8%, т. е. примерно в 3 раза.

Итак, мы доказали правильность модели в той ее части, где указывается на непредсказуемые изменения во времени формы аппаратного контура как на одну из главных причин спонтанных перераспределений яркости в картине СТС, ограничивающих извлечение информации из СТС и контуров спектральных линий.

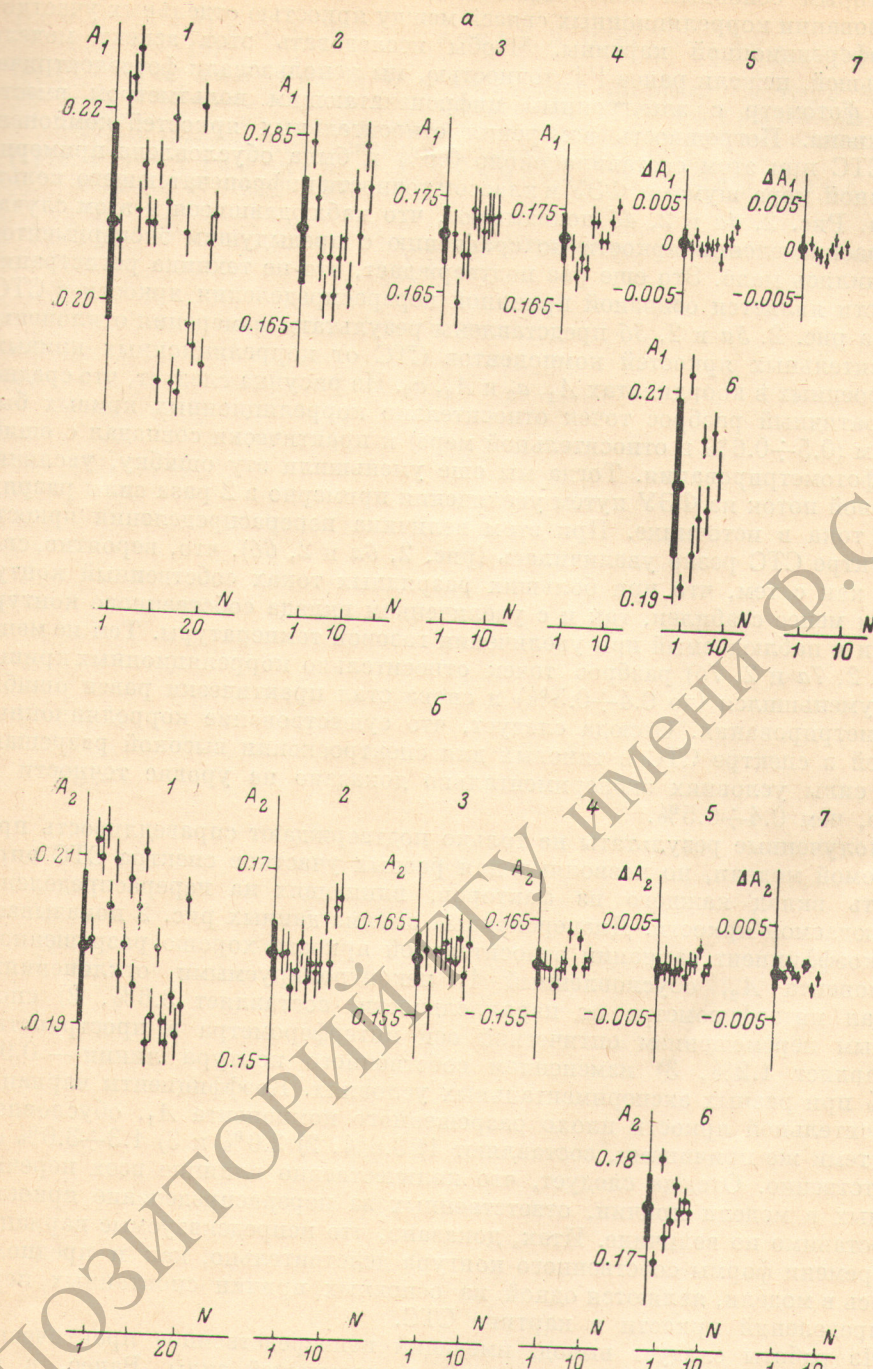


Рис. 2. Результаты экспериментальной проверки модели формирования распределения яркости в СТС спектральных линий на примере линии MgI 880.7 нм.

а — результаты измерений яркости компонента A_1 и их коэффициенты вариации: 1 — $\sigma_{A_1/A_1}=4.8\%$, 2 — $\sigma_{A_1/A_1}=3.2\%$, 3 — $\sigma_{A_1/A_1}=1.8\%$, 4 — $\sigma_{A_1/A_1}=1.5\%$, 5 — $\sigma(\Delta A_1)/A_1=0.6\%$, 6 — $\sigma_{A_1/A_1}=3.6\%$, 7 — $\sigma(\Delta A_1)/A_1=0.4\%$. б — результаты измерений яркости компонента A_2 и их коэффициенты вариации: 1 — $\sigma_{A_2/A_2}=4.1\%$, 2 — $\sigma_{A_2/A_2}=1.9\%$, 3 — $\sigma_{A_2/A_2}=1.5\%$, 4 — $\sigma_{A_2/A_2}=1.1\%$, 5 — $\sigma(\Delta A_2)/A_2=0.5\%$, 6 — $\sigma_{A_2/A_2}=2.0\%$, 7 — $\sigma(\Delta A_2)/A_2=0.5\%$. В качестве источника излучения использовался полый катод, длиной 15 мм, диаметром 7 мм, изготовленный из магния. Сила разрядного тока и давление поддерживались равными 30 мА и 0.7 тора соответственно в опытах 2, 1-5 и 50 мА и 0.9 тора — в опытах 6-7.

Вторым основным положением модели является утверждение о существовании корреляционных связей между яркостью отдельных участков интерференционной картины. Чтобы исследовать этот аспект модели с большей, нежели ранее [4], точностью, мы использовали фотоэлектрический фотометр с электронным цифроречающим вольтметром вместо самописца. Погрешность измерения относительных яркостей компонентов СТС при этом составила около 0.6% и была обусловлена примерно в равной мере шумами ФЭУ и классом точности цифроречающего вольтметра. Рис. 2, 4а и 2, 4б показывают, что наблюдавшиеся в этом случае перераспределения яркости по сравнению с предыдущим экспериментом изменились мало. Это еще раз подтверждает, что не техника регистрации яркости является основной причиной перераспределения яркости в СТС.

На рис. 2, 5а и 2, 5б представлены результаты измерения отклонений относительных яркостей компонентов СТС от корреляционных кривых, построенных в координатах A_1, a_3 и A_2, a_3 . Из рисунка следует, что среднеквадратичный разброс точек относительно корреляционных кривых был малым (0.5–0.6% в относительной мере) и практически совпадал с ошибкой фотометрирования. Тогда мы еще уменьшили эту ошибку, увеличив световой поток на ФЭУ путем увеличения примерно в 2 раза силы разрядного тока в источнике. При этом величина перераспределения яркости в спектре СТС резко увеличилась (рис. 2, 6а и 2, 6б), что, вероятно, связано как с тем, что при больших разрядных токах собственный контур линии менее стабилен, так и с увеличением вклада собственного контура линии в наблюдаемый при увеличении газовой температуры. Тем не менее (рис. 2, 7а и 2, 7б) разброс точек относительно корреляционных кривых еще уменьшился (до 0.4–0.5%) и снова стал практически равен ошибке фотометрирования. Отсюда следует, что существование корреляционных связей в спектре СТС в типовых для спектроскопии высокой разрешающей силы условиях экспериментально доказано на уровне точности не хуже, чем 0.4–0.5%.

Полученные результаты не только подтверждают справедливость проверяемой модели, но позволяют для разных участков спектра СТС определить вклад каждого из факторов, влияющих на перераспределение наблюдаемой яркости. Дисперсионный анализ данных рис. 2 показывает, что коэффициент вариации относительной яркости хорошо разрешенного компонента A_2 , обусловленный 1) неконтролируемыми отклонениями зеркал интерферометра от параллельности, составляет 3.6%, 2) спонтанным перемещением оптической оси интерферометра в пространстве, составляет 1.2%, 3) изменением собственного контура контура линии — 0.9–2.0% при разных экспериментальных условиях. Коэффициенты вариации относительной яркости плохо разрешенного компонента A_1 , обусловленные теми же причинами, составляют 1) 3.6%, 2) 2.6% и 3) 1.3–3.6% соответственно. Отсюда следует, что количественно влияние всех перечисленных в модели причин, ответственных за перераспределение яркости, сопоставимо по величине. Итак, доказано, что непредсказуемые вариации во времени формы собственного контура действительно, как и предполагалось в модели, являются одной из основных причин спонтанных перераспределений яркости в картине СТС.

Из работы следует вывод, имеющий непосредственное практическое значение для спектроскопии высокой разрешающей силы. Ранее, в работе [4], было показано, что при использовании корреляционных связей ошибки спектроскопических измерений яркости могут быть сведены к средним квадратичным отклонениям результатов измерений от корреляционной прямой, которые в данной работе в относительной мере составляют 0.4–0.5%. Следовательно, последовательно устраняя причины, влияющие согласно модели на перераспределение яркости, можно существенно увеличить точность спектроскопических измерений яркости компонентов СТС (в наших условиях на порядок: с 4–5 до 0.4–0.5%).

Литература

- [1] В. С. Бабаев, А. Г. Жиглинский, Э. Н. Фафурина. Опт. и спектр., 39, 839, 1975.
- [2] А. Г. Жиглинский, Э. Н. Фафурина. Ж. прикл. спектр., 5, 557, 1966.
- [3] В. С. Бабаев, А. Г. Жиглинский, Э. Н. Фафурина. Матер. Всесоюзн. Симп. по исследованию пространственно-неоднородной плазмы по контурам спектральных линий. Петрозаводск, май 1974.
- [4] А. Г. Жиглинский, А. А. Калмаков, Э. Н. Фафурина. Опт. и спектр., 27, 998, 1969.

Поступило в Редакцию 18 ноября 1975 г.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ имени Ф.СКОРИНЫ