

## ИЗМЕРЕНИЕ СЕЧЕНИЯ ПЕРЕДАЧИ ВОЗБУЖДЕНИЯ В ГАЗЕ СОБСТВЕННЫХ АТОМОВ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

*Н.В.Карлов, Б.Б.Крынецкий, В.А.Мишин,  
А.М.Прохоров*

Экспериментально определено сечение передачи возбуждения в парах атомарного европия. Наблюдалось изменение спектра люминесценции, возбуждаемой излучением узкополосного лазера на красителе, при столкновительной передаче возбуждения по изотопической структуре спектра люминесценции европия.

К настоящему времени процессы передачи возбуждения в газе собственных атомов теоретически изучены достаточно подробно и их сечения в рамках бинарной модели могут быть вычислены с высокой степенью точности [1], экспериментальные данные по непосредственному измерению сечений для тяжелых атомов, знание которых представляет самостоятельный интерес для физики атомных столкновений, отсутствуют.

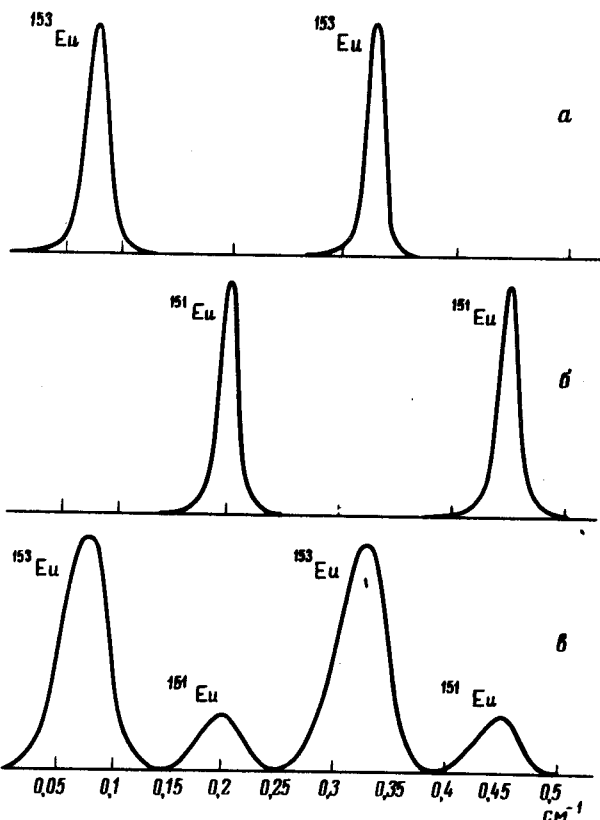
Процессы передачи возбуждения в газе собственных атомов проявляются при относительно больших плотностях сталкивающихся атомов. При этом их прямое экспериментальное исследование обычными спектроскопическими методами затруднено пленением излучения.

В нашей работе предлагается метод прямого наблюдения и измерения сечений процессов передачи возбуждения в газе собственных атомов свободный от этих недостатков. Экспериментально метод реализован для паров европия.

Для тяжелых атомов удобным объектом исследования процессов передачи возбуждения является передача возбуждения между отдельными изотопами в атомном паре. В этом случае выполнены условия резонансности передачи возбуждения, так как дефект энергии взаимодейству-

ющих атомов пренебрежимо мал, и сами атомы достаточно идентичны. Вместе с тем, спектроскопически изотопы хорошо различимы, и это обстоятельство позволяет независимо изучать процесс передачи возбуждения по изотопической структуре спектра атомов.

Эксперимент выполнен на парах металлического европия. Необходимая плотность атомного пара получалась испарением металла из молибденового тигля в вакуумной камере. Начальный вакуум —  $10^{-6}$  мм рт.ст., температура тигля поднималась до  $1200^{\circ}\text{C}$ , максимальная плотность паров европия составляла  $10^{15}$  см $^{-3}$ . Непосредственно на срезе тигля пар облучался излучением узкополосного ( $\Delta\nu = 1,3 \cdot 10^{-3}$  см $^{-1}$ ) лазера на красителе Родамин-6G непрерывного действия. Мощность лазера — 100 мвт. Лазер использовался для селективного возбуждения одного из изотопов Eu на переходе  $^8S_{7/2} - ^6P_{7/2}$  ( $\lambda = 5765\text{\AA}$ ). Люминесценция, которой сопровождалось это возбуждение, регистрировалась с помощью ФЭУ и двухкоординатного самописца. Спектральный анализ люминесценции проводился сканируемым интерферометром Фабри — Перо, область дисперсии которого могла изменяться от 5 до  $3,3 \cdot 10^{-2}$  см $^{-1}$ , резкость — 35.



Спектр люминесценции в парах  $^{153}\text{Eu}$  и  $^{151}\text{Eu}$ :  
 а — спектр люминесценции  $^{153}\text{Eu}$ , б — спектр люминесценции  $^{151}\text{Eu}$ ,  
 в — спектр люминесценции при передаче возбуждения от изотопа  $^{153}\text{Eu}$  к изотопу  $^{151}\text{Eu}$

При малых плотностях атомного пара по зависимости интенсивности от длины волны возбуждающего излучения регистрировалась изотопическая структура выбранного оптического перехода. Затем лазер настраивался на один из изотопов и с помощью сканируемого интерферометра Фабри — Перо регистрировался спектр люминесценции этого изотопа.

При увеличении плотности паров атомов наблюдались изменения спектра люминесценции, выраженные в уширении и в появлении линии люминесценции радиационно невозбуждаемого изотопа. На рисунке (*a - в*) приведены записи спектра люминесценции как при малой плотности атомов Eu, когда радиационно возбуждаются атомы  $^{153}\text{Eu}$ , либо  $^{151}\text{Eu}$ , так и при большой плотности, когда возбужденные атомы  $^{153}\text{Eu}$  передают возбуждение атомам  $^{151}\text{Eu}$ . Поскольку возникновение линии люминесценции радиационно невозбуждаемого изотопа обусловлено столкновительным процессом резонансной передачи возбуждения, то, зная плотность атомного пара в области облучения можно определить величину сечения этого процесса.

Действительно, измеряемое в экспериментах отношение интенсивностей люминесценции атомов *A* и *B* равно отношению плотностей возбужденных атомов,  $a = N_A^*/N_B^*$ . Вместе с тем, из кинетических уравнений, описывающих в двухуровневом приближении процессы радиационного возбуждения атомов *A* и столкновительной передачи возбуждения между атомами *A* и *B*, для стационарных условий и в предположении спонтанного распада возбужденных состояний с одинаковой для *A* и *B* скоростью  $A_{21}$ , следует, что сечение передачи  $\sigma$  может быть определено, если известно отношение концентраций атомов *A* и *B*,  $b = N_A/N_B$  и их суммарная плотность *N*:

$$\sigma = \frac{A_{21}}{a - b} \frac{1 + b}{N} \frac{1}{v},$$

где *v* — средняя скорость атомов.

Результаты измерений в диапазоне плотностей от  $5 \cdot 10^{12}$  до  $5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$  дают для сечения столкновительной передачи возбуждения между изотопами  $^{153}\text{Eu}$  и  $^{151}\text{Eu}$  величину равную  $1,4 \cdot 10^{-13} \text{ см}^2$ .

В заключение отметим, что метод прямого наблюдения процесса передачи возбуждения и измерения его сечения может быть применен и для изучения процессов миграции энергии внутри доплеровского контура линии.

Физический институт им. П.Н.Лебедева  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
30 апреля 1977 г.

### Литература

- [1] И.И.Собельман. Введение в теорию атомных спектров, М., ГИЗ, Физматлит, 1963.
- [2] Б.Н.Смирнов. Асимптотические методы в теории атомных столкновений. М., Атомиздат, 1973.