

# К ВОПРОСУ О СОРТИРОВКЕ МОЛЕКУЛ В ПУЧКОВОМ МАЗЕРЕ

УДК 621.378.333

А. Ф. Крупнов, В. А. Скворцов

Для получения активных молекул в пучковых лазерах обычно используется разделение молекулярного пучка неоднородным электрическим полем сортирующей системы. Отклонение молекулы полем зависит от ее квантового состояния, в частности, от квантового числа  $M$ . Таким образом, сортирующая система нарушает равновероятное распределение молекул по ориентациям в пространстве. Так как от пространственной ориентации молекулы зависит степень ее взаимодействия с полем резонатора СВЧ, то при оценке эффективности той или иной сортирующей системы следует принимать во внимание взаимную ориентацию полей в сортирующей системе и резонаторе [1]. По расчету [2] в случае перехода  $J = 3$ ,  $K = 3$  аммиака сортирующая система с продольным полем (кольцевая и спиральная [3]) вдвое выгоднее системы с поперечным полем (типа квадрупольной [4]). Однако эффективность сортирующих систем зависит также от их конструктивных особенностей (толщины электродов и т. д.), поэтому выделение этого эффекта в случае аммиака затруднительно.

Эта задача значительно облегчается для перехода  $1_{01} - 0_{00}$   $\text{CH}_2\text{O}$ . В этом случае проекция  $M$  момента количества движения  $J$  на направление поля в сортирующей системе (которое принимается за ось  $z$ ) может принимать значения 0 или  $\pm 1$ , причем молекулы с  $M = 0$  отклоняются к оси сортирующей системы, а молекулы с  $M = \pm 1$  рассеиваются [4, 5]. Квадраты матричных элементов перехода в нашем случае равны  $\mu_{12}^2 = (\mu^2/3)(1 - M^2)$  для перехода с  $\Delta M = 0$ , когда направление поля  $\mathcal{E}$  совпадает с направлением оси  $z$ , относительно которой определено  $M$ , и  $\mu_{12}^2 = (\mu^2/3)M^2$  для перехода с  $\Delta M = \pm 1$ , когда направления  $\mathcal{E}$  и оси  $z$  перпендикулярны. В резонатор влетают молекулы только с  $M = 0$ , поэтому в случае одинакового направления полей в резонаторе и сортирующей системе вероятность излучения при пролете молекулы через резонатор максимальна, в случае же перпендикулярных полей вероятность излучения равна нулю. Таким образом, применение рассуждений, аналогичных [1, 2], приводит в нашем случае к результату, который весьма четко может быть проверен на опыте.

Опыты проводились на пучковом лазере с резонатором на тип колебания  $E_{010}$  без диафрагм. Кольцевая и квадрупольная системы имели одинаковый внутренний диаметр 2 мм и одинаковую длину 17 мм. На них подавалось одинаковое напряжение, и так как зазоры между электродами были одного порядка, в сортирующих системах создавались примерно одинаковые напряженности поля. Зависимость числа активных молекул от напряженности на сортирующей системе имеет плато [4], поэтому было естественно выбирать рабочую точку именно на плоском участке кривой. Благодаря использованию укороченных сортирующих систем мазер работал в недовозбужденном режиме. Эффективность сортирующих систем определялась максимальным параметром возбуждения лазера  $\eta^*$ , методика измерения которого описана авторами ранее [9]. Измерения проводились при различных расстояниях  $d$  между концом сортирующей системы и резонатором. Результаты измерения приведены в таблице. У кольцевой системы пробаовали менять знак потенциала нижнего кольца. Это не повлияло на значение  $\eta$ . Испытывалась также спиральная сортирующая система, которая дала такие же результаты. При постановке кольцевой системы нормальной длины ( $\sim 45$  мм) мазер генерировал примерно так же, как и с квадрупольной системой той же длины.

Таким образом, эксперимент показывает примерно одинаковую эффективность кольцевой и квадрупольной систем. Эти результаты не укладываются в вышеизложенную схему.

Результаты эксперимента можно объяснить, учитывая, что для молекул, выходящих из области поля сортирующей системы, выполняется условие адиабатичности [7] в случае молекулы с дипольным моментом  $\mu$ , находящейся в поле  $E$ , может быть записано в виде

$$\frac{\hbar}{(w_2 - w_1)^2} \mu_{12} \frac{\partial E}{\partial t} \ll 1, \quad (1)$$

где  $w_1$  и  $w_2$  — энергетические уровни рассматриваемого перехода;  $\mu_{12} \partial E / \partial t$  — матричный элемент производной по времени от гамильтониана взаимодействия

\* Условие  $\eta \geq 1$  определяет режим генерации лазера.



молекулы с внешним полем. Считая, что изменение поля от нуля до максимального значения происходит на расстоянии  $\sim 1$  м.м., для перехода  $1_{01}-0_{00}$  левая часть (1) по порядку величины равна  $2,5 \cdot 10^{-6}$ . Для перехода с изменением квантового числа  $M$ , принимая  $\mu_{12} = 3\sqrt{2}\mu^2 E / 40\hbar B_z$ , [8], где  $B_z = (B+C)/2$  [4] — вращательная постоянная молекулы, для левой части (1) получим  $6 \cdot 10^{-6}$ . Таким образом, при выходе из области поля сортирующей системы молекула не переходит с уровня на уровень, а поворачивается в пространстве, следуя за изменением направления электрического поля. По-видимому, для этого использовать мазер с резонатором типа Фабри — Перо, один и тот же характер, что и объясняет их примерно одинаковую эффективность. Представляет интерес наблюдение преимущественной ориентации молекул в отсортированном пучке. Естественно для этого использовать мазер с резонатором типа Фабри — Перо, в котором можно направлять пучок молекул под любым углом к направлению поля  $E$  СВЧ. Опыты проводились с резонатором типа Фабри — Перо, описанным авторами ранее [6]. В резонаторе создавалось колебание в одном направлении мумом поля СВЧ на диаметре и с известной поляризацией. Пучок молекул, отсортированных в другом поперек направления  $E$ . Ширина спектральной линии излучения в обоих случаях была одинаковой,  $\sim 15$  кГц. При направлении пучка вдоль поля  $E$  параметр возбуждения  $\eta = 0,55$ , а при направлении поперек  $\eta = 0,2$ , что указывает на преимущественно продольный характер поля в сортирующей системе, а от направления пучка зависит не от направления поля по отношению к вектору  $E$  поля резонатора, разумеется, справедлив и для аммиачного мазера.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Г. Басов, Доктoрск. диссертация, ФИАН СССР, 1956.
2. О. И. Медников, В. Н. Парыгин, Радиотехника и электроника, 1963, 8, 4, 653.
3. А. Ф. Крупнов, Изв. вузов МВО СССР (Радиофизика), 1959, 2, 4, 658.
4. А. Ф. Крупнов, В. А. Скворцов, Изв. вузов МВССО СССР (Радиофизика), 1963, 6, 3, 513.
5. А. Ф. Крупнов, В. А. Скворцов, ЖЭТФ, 1963, 45, 2(8), 101.
6. Д. Бом, Квантовая теория, ГИФМЛ, 1961.
7. Н. К. Hughes, Phys. Rev., 1947, 72, 7, 614.
8. А. Ф. Крупнов, В. А. Скворцов, ЖЭТФ, 1964, 47, 5(11), 1605.

Поступило в редакцию  
1 II 1964