

УДК 621.378

## ПОВОРОТ ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ ИЗ-ЗА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВСТРЕЧНЫХ ВОЛН В ДИАПАЗОНЕ 3,39 мк

*И. Л. Берштейн, В. А. Рогачев*

Проведено экспериментальное исследование поворота плоскости поляризации волны в диапазоне 3,39 мк из-за взаимодействия со встречной волной при распространении в активной среде. Активной средой являлась разрядная трубка с гелий-неоновой смесью. Был получен поворот  $\sim 1,5^\circ$ .

В работе Якубовича [1] впервые было показано теоретически, что при распространении в активной среде встречных линейно поляризованных волн одинаковой частоты возможен поворот направлений их поляризаций. Эффект связан с тем обстоятельством, что из-за нелинейности среды имеет место пространственная периодичность  $\kappa_2$  — мнимой составляющей восприимчивости среды. В настоящей работе описывается проведенное экспериментальное исследование эффекта в диапазоне 3,39 мк при прохождении встречных волн через разрядную трубку с гелий-неоновой смесью.

Согласно [1], угловая скорость вращения плоскости поляризации волны 1 вдоль оси распространения  $z$  равна

$$\frac{d\psi_1}{dz} = \pi k B \sqrt{\frac{P_2}{P_1}} \sin \psi, \quad (1)$$

где  $\psi$  — угол между поляризациями обеих волн,  $P_1$  и  $P_2$  — мощности волны 1 и встречной волны 2 соответственно,  $k$  — волновое число,  $B$  — амплитуда составляющей  $\kappa_2$ , изменяющейся по закону  $\cos(2kz)$ .

Определение величины  $B$  для случая газовой среды затруднительно, и для ее оценки ограничимся простыми, хотя и нестрогими, соображениями. Квадрат поля в среде пропорционален величине

$$P_1 + P_2 + 2 \sqrt{P_1 P_2} \cos \psi \cos(2kz). \quad (2)$$

Периодичность  $\kappa_2$  определяется последним членом. Так как рассматриваемый спектральный переход является неоднородно уширенным, то периодичность  $\kappa_2$  имеет место лишь для частот, примыкающих к середине линии перехода (в полосе порядка естественной ширины линии). Кроме того, движение молекул существенно «смазывает» периодичность  $\kappa_2$ ; это учтем введением коэффициента  $\alpha$ , значения которого, по-видимому, лежат в пределах 0,1 — 0,3. Среднее значение  $\tilde{\kappa}_2$  можно считать функцией  $P_1 + P_2$ . Значение же  $B$ , исходя из сказанного, можно оценить:

$$B \simeq \frac{\tilde{d}\kappa_2}{d(P_1 + P_2)} 2 \sqrt{P_1 P_2} \alpha \cos \psi. \quad (3)$$

Подставив в (1), имеем

$$\frac{d\psi_1}{dz} \simeq \pi k P_2 \alpha \frac{\tilde{d}x_2}{d(P_1 + P_2)} \sin(2\psi). \quad (4)$$

Приняв для указанного выше участка частот аппроксимацию

$$\tilde{x}_2 = \frac{-A}{\sqrt{1 + \gamma(P_1 + P_2)}} \quad (5)$$

и положив  $P_1 \ll P_2$ , получаем

$$\frac{d\psi_1}{dz} \simeq \frac{\pi}{2} k \alpha A \frac{\gamma P_2}{(1 + \gamma P_2)^{3/2}} \sin(2\psi). \quad (6)$$

Максимум этой величины имеет место при  $\gamma P_2 = 2$ . Разумеется, это условие, а также  $P_1 \ll P_2$  не могут иметь место при всех значениях  $z$ ; однако даже весьма существенные отклонения от этих условий уменьшают оптимальное значение не более чем в 1,5—3 раза. Беря поэтому для оценки  $\gamma P_2 = 2$ ,  $\psi = \pi/4$ ,  $\alpha = 0,2$  и имевшие место в наших опытах  $A = 4,2 \cdot 10^{-7}$  и длину разряда трубки  $L = 65$  см, получаем поворот поляризации  $\Delta\psi_1 \simeq 3,5^\circ$ . Из сказанного очевидно, что на опыте следует ожидать меньшее значение  $\Delta\psi_1$ .

Малость эффекта в нашем случае требовала создания соответствующей экспериментальной установки. На рис. 1 приведена блок-схема основных элементов установки. Источником излучения является одно-

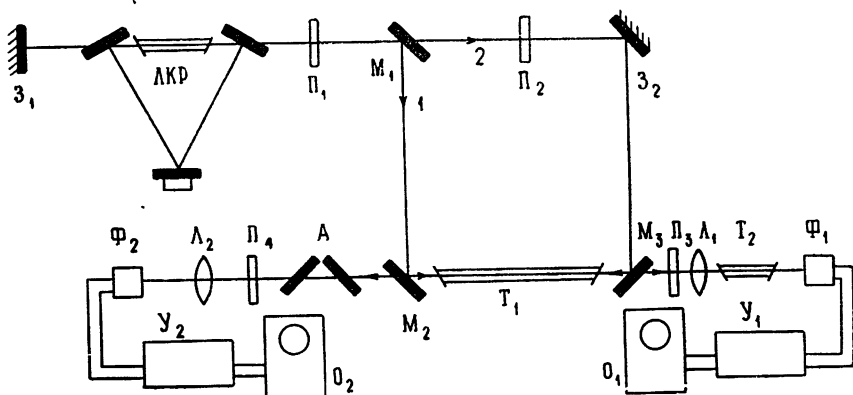


Рис. 1.

частотный ЛКР-лазер с треугольным резонатором на волне 3,39 мк, одно из зеркал которого укреплено на пьезоцилиндре; подача переменного напряжения ( $\sim 200$  гц) на последний позволила проходить всю область генерации (примерно 440 Мгц). Полупрозрачные пластинки  $M_1, M_2, M_3$  и зеркало  $3_2$  обеспечивают прохождение менее мощной волны 1 и более мощной волны 2 через трубку  $T_1$  навстречу друг другу. Трубка  $T_1$  при диаметре 3 мм, длине разряда 65 см, давлении 1,2 тор (соотношение He-Ne равно 5,6:1) питалась постоянным током 20—25 ма\*\*. Полярироид  $P_2$  служил для регулировки угла между поляриза-

\* Е. И. Якубович обратил наше внимание на то, что при достаточно больших мощностях волн (при их входе в активную среду) и большой длине взаимодействия  $L$  условия максимума  $\Delta\psi_1$  отличаются от рассмотренных выше.

\*\* Трубка  $T_1$  имела брюстеровские окна, что не являлось необходимостью для данного исследования.

циями волн. Поляроиды  $\Pi_3$  и  $\Pi_4$ , фотодиоды  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  (InSb, охлаждаемые жидким азотом) с линзами  $L_1$  и  $L_2$  впереди позволили проводить измерения параметров волн после прохождения  $T_1$ . Перед  $\Phi_1$  имеется небольшая гелий-неоновая трубка  $T_2$ , усиливающая изучение примерно в 15 раз. Выходы  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  после усилителей  $U_1$  и  $U_2$  наблюдались на экранах осциллографов  $O_1$  и  $O_2$ ; на пластины разверток подавалась часть переменного напряжения, подводившегося к пьезоцилиндру ЛКР. Перед  $\Pi_4$  установлен аттенуатор А.

Легко видеть, что некоторая доля мощности волны 2 (и волны 1) после усиления трубкой  $T_1$  проходит обратно в источник излучения, создавая нежелательную реакцию. Применение в качестве источника обычного лазера по этой причине практически не было бы возможным без высококачественного оптического вентиля, и поэтому был использован ЛКР. В этом случае обратная реакция приводит к ослаблению используемой волны (по часовой стрелке на рис. 1); для борьбы с этим установлено зеркало  $Z_1$ . Ориентация плоскости поляроида  $\Pi_1$  соответствует поляризации излучения, выходящего из ЛКР; этот поляроид установлен для того, чтобы исключить возможность влияния обратных реакций на поляризацию излучения.

Отметим еще следующее: плоскость поляризации волны 1 (без учета искомого эффекта) перпендикулярна плоскости ее падения на полупрозрачные пластинки, а для волны 2 угол между этими плоскостями равен примерно  $\pi/4$ . Как показал опыт, поляризация волны 2 (из-за свойств полупрозрачных пластинок) имеет небольшую эллиптичность, с отношением осей эллипса 0,005—0,01 по мощности. Так как оптимальное значение  $\psi$ , согласно (6), весьма не критично, такая эллиптичность более мощной волны 2 существенного значения не имеет.

Методика опытов заключалась в следующем. При перекрытии волны 2 поляроид  $\Pi_3$  (снабженный верньерным механизмом для вращения его плоскости вокруг ее нормали) устанавливался на нуль прохождения волны 1. При повороте его плоскости от этого положения на небольшой угол  $\varphi$  появлялся сигнал, пропорциональный  $\sin^2 \varphi \approx \varphi^2$ . Установив угол  $\varphi = 0$ , а затем пропустив встречную волну 2, на экране  $O_1$  можно было наблюдать сигнал, причем, согласно указанному выше, его полоса частот меньше области частот генерации. Изменением  $\varphi$  в соответствующую сторону можно «скомпенсировать» сигнал. Квадратичная зависимость выходных показаний от  $\varphi$  приводит к большой погрешности в определении таким методом угла поворота поляризации волны 1 под воздействием встречной волны 2. Поэтому угол  $\varphi$  изменялся в пределах примерно  $\pm 10^\circ$ , и наблюдался уровень сигнала в середине области частот как при перекрытии волны 2, так и при ее наличии. При этом были получены две параболические кривые, середины которых смещены на величину, обязанную искомому эффекту.

Установка позволила легко определить и другие характеристики системы: контуры усиления активной средой волны малой мощности (при линейности системы), волны 1 (как при отсутствии, так и при наличии встречной волны 2), волны 2. Это производилось сравнением сигналов при зажженной и потушенной трубке  $T_1$ . Примерные данные следующие: в середине линии перехода усиление слабого сигнала  $G_0 \approx 550$ , усиление волны 1 при отсутствии и наличии встречной волны составляло 420 и 220 соответственно, усиление волны 2 равнялось  $20^*$ . При средней частоте мощность волны 2 при входе в трубку  $T_1$  соответствовала примерно 20 мквт, волны 1—порядка 0,5 мквт.

\* Величина  $G_0$  позволяет определить приведенное выше значение А по соотношению  $A = (1/4 \pi k) (\ln G_0/L)$ .

Определение из опытных данных угла поворота плоскости поляризации волны 1 под воздействием встречной волны 2, проведенное несколько раз, дало значение  $\Delta\psi_1 = 1,3 \div 1,6^\circ$ . Заметим, что небольшая разъюстировка системы (оси пучков излучения волн 1 и 2 в трубке  $T_1$  слегка не совпадают) заметно уменьшает значение  $\Delta\psi_1$ . Полученные на опыте значения  $\Delta\psi_1$ , удовлетворительно согласуются с приведенными выше оценками эффекта. Эффект максимален при  $\psi = \pi/4$ , но этот оптимум расплывчат. Знак эффекта таков, что из-за него угол между поляризациями волн возрастает. Все это также согласуется с выводами теории.

Приведем фотографии, иллюстрирующие процессы в системе. На рис. 2 и 3 приведены картины сигналов, характеризующие соответственно волну 1 и волну 2 после их взаимодействия в трубке  $T_1$ ; ось абсцисс соответствует частоте, ось ординат—мощностям волн (в разных масштабах). Полоса частот—на уровне 0,5 от максимума—для волны 1 равна примерно 210 Мгц, а для волны 2—275 Мгц. На рис. 4

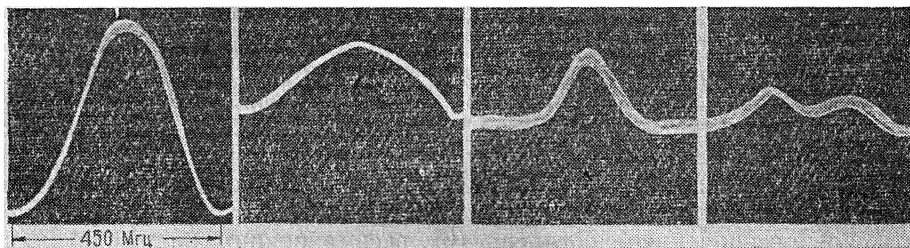


Рис. 2, 3, 4, 5.

приведена картина искомого эффекта: поляризатор  $P_3$  установлен на  $\varphi = 0$  (непропускание волны 1 при перекрытии волны 2). Полоса частот в этом случае получилась 110 Мгц. Согласно сказанному выше, эта величина примерно соответствует естественной полосе линии излучения среды (с учетом столкновений молекул). И, наконец, на рис. 5 приведена картина, полученная при небольшом повороте плоскости  $P_3$ ; при этом в середине области частот имеет место частичная «компенсация» эффекта.

Пользуемся возможностью поблагодарить Е. И. Якубовича за предоставление статьи до ее опубликования и полезные обсуждения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Е. И. Якубович, ЖЭТФ, 56, 676 (1969).

Научно-исследовательский радиофизический институт  
при Горьковском университете

Поступила в редакцию  
17 марта 1969 г.

#### ROTATION OF POLARIZATION PLANE DUE TO INTERACTION OF OPPOSITE WAVES IN THE RANGE OF 339 $\mu$

I. L. Bershtein, V. A. Rogachev

The rotation of polarization plane of a wave in 339  $\mu$  range caused by interaction with an opposite wave, propagating in the active medium, is experimentally investigated. As an active medium serves a discharged tube with helium-neon mixture. The rotation obtained was about of 1.5°.