

*Письма в ЖЭТФ, том 18, вып. 2, стр. 102 – 106*

*20 июля 1973 г.*

**ИЗМЕНЕНИЕ ФОРМЫ ЛИНИИ ПОГЛОЩЕНИЯ  
И ДИСПЕРСИИ ДВУХУРОВНЕВОЙ СИСТЕМЫ  
В КВАЗИРЕЗОНАНСНОМ МОНОХРОМАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ ИЗЛУЧЕНИЯ**

*Е. Б. Александров, А. М. Болч-Бруевич, В. А. Ходовой,  
Н. А. Чигирь*

Исследовано изменение формы зеемановских линий поглощения и дисперсии паров кадмия под действием резонансного и квазирезонансного излучения. Подтверждено предсказываемое теорией изменение знака коэффициента поглощения двухуровневой системы под действием мощного монохроматического излучения без создания инверсии населенности.

В настоящей статье мы сообщаем об экспериментах по исследованию изменения восприимчивости оптически ориентированных разреженных паров  $\text{Cd}^{113}$  вблизи частоты зеемановского расщепления основного

состояния под действием квазирезонансного поля излучения. Результаты экспериментов показывают, что двухуровневые системы без инверсии населенности при наложении сильного поля излучения могут быть использованы для построения усилителей и генераторов стимулированного излучения с перестраиваемой длиной волны.

В эксперименте использовалась одна из схем оптической ориентации атомов кадмия в присутствии буферного газа, рассмотренных в [1, 2]. В основном состоянии атом  $\text{Cd}^{113}$  имеет момент  $l = 1/2$ , так что в постоянном магнитном поле  $H_z$  основное состояние расщепляется на два уровня. Преимущественное заселение одного из этих уровней (ориентация) создавалось освещением паров  $\text{Cd}^{113}$  пучком резонансного излучения  $3261 \text{ \AA}$  от лампы с  $\text{Cd}^{114}$ , помещенной в местное аксиальное магнитное поле  $\sim 0,5 \text{ кэ}$ . Схема эксперимента представлена на рис. 1.

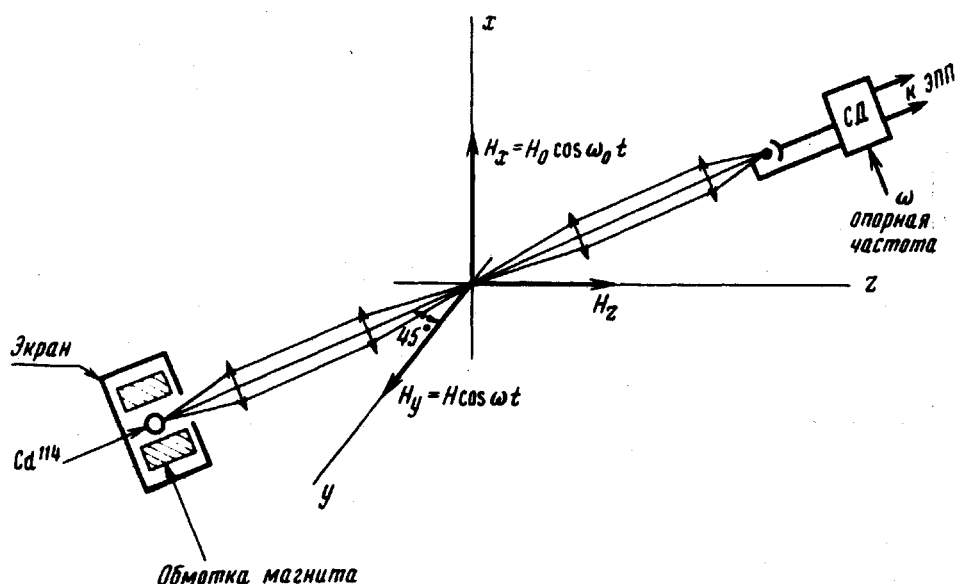


Рис. 1

Кювета с насыщенными при  $220^\circ \text{C}$  парами  $\text{Cd}^{113}$  в присутствии буферного газа (ксенон,  $100 \text{ тор}$ ) помещалась в центр системы из трех пар колец Гельмгольца, создававших взаимноперпендикулярные магнитные поля: постоянное поле  $H_z = 5 \text{ э}$  и два радиочастотных  $H_x(t) = H_0 \cos \omega_0 t$  (сильное) и  $H(t) = H \cos \omega t$  (слабое), частота которого  $\omega$  варьировалась. Ориентирующий луч направлялся в плоскости  $YOZ$  под углом  $45^\circ$  к осям  $Y$  и  $Z$  и являлся одновременно регистрирующим. Как известно [3], при таком расположении световой луч после прохождения кюветы приобретает модуляцию на частотах движения поперечной составляющей углового момента, возникающей под действием переменных полей. С помощью синхронного детектора с опорным напряжением частоты  $\omega$  измерялась составляющая модуляции света на частоте слабого поля  $H_y(t)$ . В непосредственной близости  $\omega$  к  $\omega_0$  наблюдается знакопеременный паразитный сигнал прохождения модуляции с частотой  $\omega_0$ , не интегрируемый полностью фильтром синхронного детектора.

В зависимости от разности фаз опорного и регистрируемого сигнала мы могли измерять либо реальную, либо мнимую часть поляризации (т. е. восприимчивости) паров кадмия на частоте  $\omega$ . Частота зеемановского расщепления  $4,7 \text{ кГц}$  на много порядков меньше частот переходов до ближайших уровней, что позволяет считать такую систему двухуровневой и исследовать изменение ее восприимчивости под действием сильного квазирезонансного поля в наиболее чистом виде. На рис. 2 и 3 представлены полученные нами сигналы, пропорциональные мнимой (т. е. показателю поглощения, рис. 2) и реальной (т. е. показателю пре-

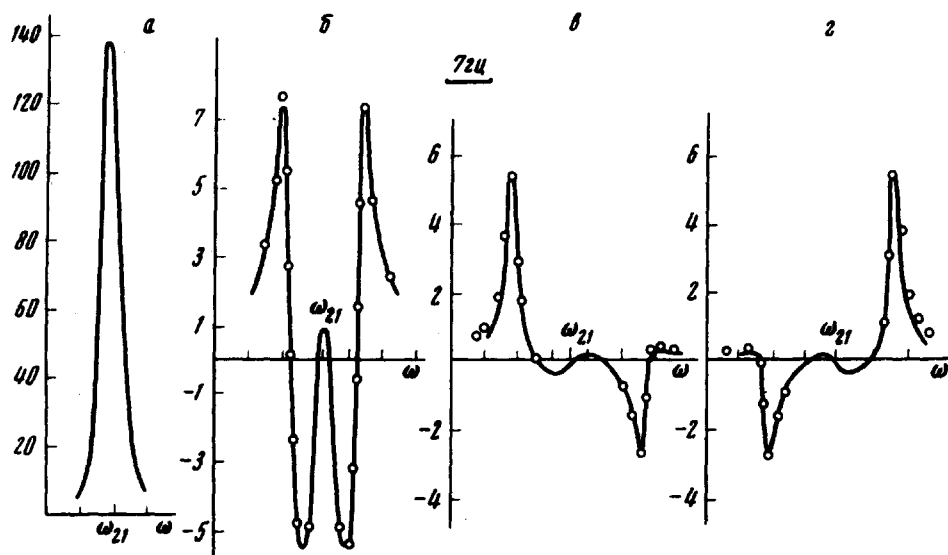


Рис. 2. Зависимость мнимой части восприимчивости  $\chi''(\omega)$ : а - при  $H_0 = 0$ ; б - при  $\omega_0 = \omega_{21}$ ,  $V_0 = 2\gamma$ ; в - при  $\mathcal{E}_0 = \omega_{21} - \omega_0 = -2\gamma$ ,  $V_0 = 5\gamma$ ; г - при  $\mathcal{E}_0 = 2\gamma$ ,  $V_0 = 5\gamma$ . Сплошные кривые на рис. а - эксперимент, на рис. б, в и г - теория; на рис. б, в и г крестики  $\times$  - эксперимент

ломления рис. 3) частям восприимчивости в случае точного резонанса сильного поля  $\omega_0 = \omega_{21}$  и в случае отклонения от резонанса на  $\sim 1,6$  ширины линии  $\gamma = 1,6 \text{ кГц}$ . Видно, что в случае резонанса  $\omega_0 = \omega_{21}$  происходит инверсия знака мнимой части восприимчивости в области частот  $\omega$ , близких к  $\omega_0$ , причем ширина этой области возрастает линейно с увеличением амплитуды сильного поля  $H_0$ . Эта картина резко изменяется при отклонении  $\omega_0$  от  $\omega_{21}$  на величину  $\gamma$  даже в случае весьма больших  $H_0$ , соответствующих расщеплению линии на величину, много большую  $\gamma$ . В этом случае наблюдается расщепление линии поглощения на величину, пропорциональную  $H_0$ , причем знаки компонентов расщепления различны и изменяются при изменении знака  $\mathcal{E}_0 = \omega_0 - \omega_{21}$  (рис. 2, г, в). Любопытно, что в случае нерезонансного воздействия сильного поля ширина области инверсии знака поглощения примерно равна ширине поглощения, а максимально достижимая величина усиления уменьшается с увеличением  $\mathcal{E}_0$  как  $\sim 1/\mathcal{E}_0$ .

Теория изменения формы линии поглощения и дисперсии двухуровневой системы в поле интенсивного излучения развита Раутианом и Собельманом в 1961 г. Ими было впервые предсказано изменение знака показателя поглощения без инверсии населенности [4]. Восприим-

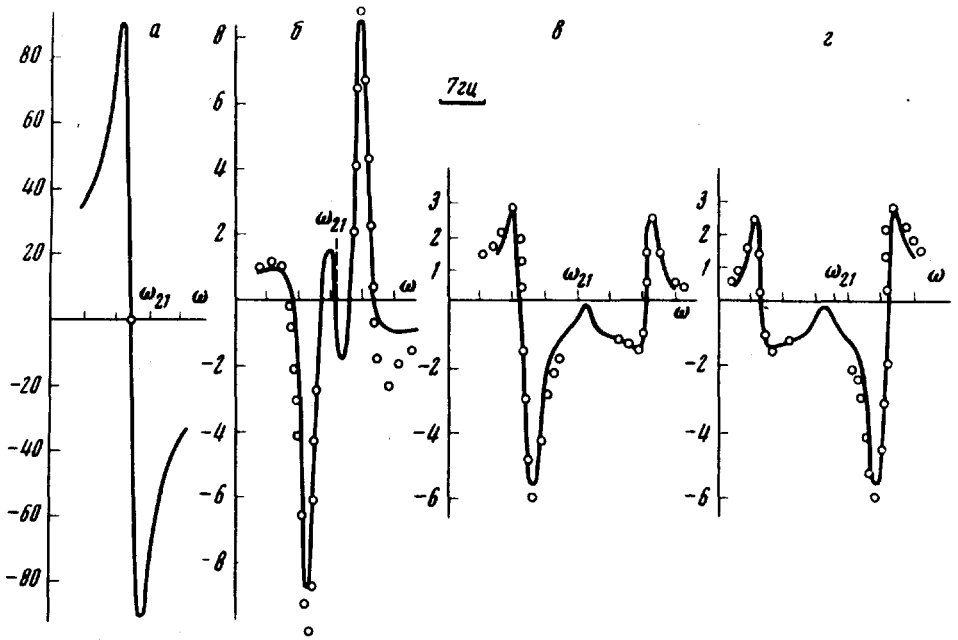


Рис. 3. Зависимость реальной части восприимчивости  $\chi'(\omega)$  при тех же параметрах, что на рис. 2

чивость двухуровневой системы в наиболее удобной для сравнения с результатами наших экспериментов форме получена в [5] и имеет вид:

$$\chi'(\omega) = -\frac{|\mu|^2}{\hbar} q_{\text{ст}} \operatorname{Im} \left\{ \frac{(\gamma - i\xi)(\gamma - i\xi_0)(\gamma - i\xi_0 - i\xi) + 2i\xi |V_0|^2}{(\gamma - i\xi_0)L(-i\xi)} \right\},$$

$$\chi''(\omega) = \frac{|\mu|^2}{\hbar} q_{\text{ст}} \operatorname{Re} \left\{ \frac{(\gamma - i\xi)(\gamma - i\xi_0)(\gamma - i\xi_0 - i\xi) + 2i\xi |V_0|^2}{(\gamma - i\xi_0)L(-i\xi)} \right\},$$

$$q_{\text{ст}} = \frac{q_0}{1 + 4|V_0|^2(\xi_0^2 + \gamma^2)^{-1}},$$

$$L(x) = x^3 + 3\gamma x^2 + (\xi_0^2 + 3\gamma^2 + 4|V_0|^2)x + \gamma(\xi_0^2 + \gamma^2) + 4\gamma|V_0|^2.$$

Здесь  $\chi'(\omega)$  и  $\chi''(\omega)$  — действительная  $\operatorname{Re} \chi(\omega)$  и мнимая  $\operatorname{Im} \chi(\omega)$  части восприимчивости  $\chi(\omega) = \chi'(\omega) + i\chi''(\omega)$ ,  $q = \rho_{11} - \rho_{22}$  — разность населенности нижнего и верхнего уровня,  $q_0$  — начальная

разность населенности,  $V_0 = i \mu H_0 / 2\hbar$  – матричный элемент взаимодействия системы с полем  $H_0$ ,  $\mathcal{L} = \omega - \omega_0$ . Рассчитанные по этим формулам зависимости восприимчивости приведены на рис. 2 и 3 и находятся в соответствии с измеренными в пределах точности измерений.

Нам представляется, что возможность получения усиления без инверсии населенности может явиться новым интересным методом создания усилителей и генераторов стимулированного излучения. В оптическом диапазоне для этого, по-видимому, наиболее перспективны атомарные пары с узкими линиями поглощения и большими силами осцилляторов. Так, в насыщенных парах щелочных металлов основные дублеты поглощения имеют силу осциллятора  $\sim 1$ , а максимально достижимые коэффициенты поглощения составляют порядка  $10^4 \text{ см}^{-1}$  при ширине линии  $0,03 \text{ см}^{-1}$ . Оценки показывают, что при использовании лазеров с интенсивностью порядка  $10^8 \text{ вт/см}^2$  возможно получение коэффициентов усиления порядка  $10^2 \text{ см}^{-1}$  в диапазоне перестройки около атомарных линий порядка  $100 \text{ \AA}$  при ширине линии усиления порядка  $10^{-2} \text{ \AA}$ . Важным и в настоящее время неисследованным вопросом таких усилителей является требование к монохроматичности возбуждающего излучения. Эксперименты в этом направлении нами планируются.

Поступила в редакцию  
17 июня 1973 г.

#### Литература

- [ 1 ] Е.Б.Александров, А.П.Соколов. Письма в ЖЭТФ, 3, 419, 1966.
- [ 2 ] Е.Б.Александров, А.П.Соколов. Оптика и спектроскопия, 27, 896, 1969.
- [ 3 ] Л.Н.Новиков, В.Г.Показаньев, Г.В.Скороцкий, УФН, 101, 273, 1970.
- [ 4 ] С.Г.Раутиан, И.И.Собельман. ЖЭТФ, 41, 456, 1961.
- [ 5 ] П.А.Апанасевич. Доклады АН БССР, 12, 878, 1968.