

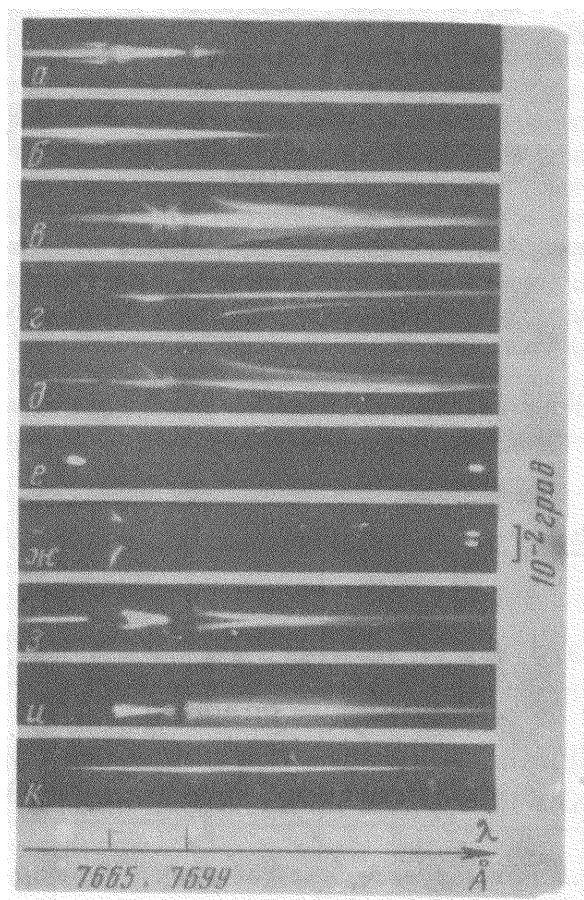
**НЕЛИНЕЙНЫЕ ЯВЛЕНИЯ
ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРОВ
С ШИРОКИМ СПЕКТРОМ ЧЕРЕЗ АТОМАРНЫЕ ПАРЫ КАЛИЯ**

А.М.Бонч-Бруевич, В.А.Ходовой, В.В.Хромов

Нами наблюдалось изменение углового распределения интенсивности света со спектральными компонентами вблизи D_1 ($\lambda = 7699 \text{ \AA}$) и D_2 ($\lambda = 7665 \text{ \AA}$) линий главного дублета калия при прохождении интенсивного светового луча через пары этого металла.

Источником интенсивного излучения служил лазер на растворе красителя (ЛК) с интенсивностью $I_0 = 10^7 \text{ вт/см}^2$ ($\Delta t = 20 \text{ нсек}$, угол расходимости луча $\alpha = 10^{-3} + 10^{-2} \text{ рад}$). Излучение было линейно поляризовано, а его спектр лежал в области $7600 - 8000 \text{ \AA}$, включающей D -линии поглощения калия (переходы $4S_{1/2} - 4P_{1/2, 3/2}$). С помощью спектрографа СТЭ-1 (дисперсия 13 \AA/мм) регистрировалось распределение по спектру и углам излучения ЛК, прошедшего через кювету с парами калия ($l = 6 \text{ см}$).

Было обнаружено, что при интенсивностях излучения $I_0 > 10^4 \text{ вт/см}^2$ (диаметр луча $\phi = 5 \text{ мм}$) с увеличением давления паров калия увеличивается расходимость луча ЛК вблизи D -линий поглощения. На рис. 1 представлены спектрограммы прошедшего через кювету излучения: a – при $T = 20^\circ\text{C}$, b – при 240°C (вертикальный размер спектрограммы пропорционален углу расходимости прошедшего луча, угловой масштаб указан на рисунке). Между D -линиями



имеется точка, в которой угловое распределение не меняется; в этой точке показатель преломления равен единице и не зависит от давления паров калия в кювете. При диафрагмировании луча (две диафрагмы $\phi = 0,5 \text{ мм}$ на расстоянии 500 мм друг от друга) :: увеличении температуры до $300 - 330^\circ\text{C}$ угловое распределение существенно изменяется: в длинноволновой области происходит "расщепление" луча, соответствующее аксиально симметричному его разбросу на определенный угол относительно направления падающего луча (рис. 1, g). Последнее было подтверждено непосредственным фотографирова-

нием в фокусе линзы $f = 100$ мм распределения интенсивности прошедшего через кювету луча ЛК, когда его спектр состоял из одной узкой полосы шириной $\sim 5 \text{ \AA}$, перекрывающей D_2 -линию (рис. 2). В дальнейших экспериментах были установлены следующие закономерности этого эффекта. 1) Разброса луча нет при малых интенсивностях излучения ЛК ($I_0 < 10^3 \text{ вт/см}^2$). В диапазоне давлений паров калия $10^{-3} - 10^{-1}$ мм рт. ст. угол разброса луча сначала возрастает с увеличением I_0 , а затем уменьшается и становится нулевым при насыщении линии поглощения. 2) Величина разброса возрастает при приближении длины волны излучения к длинам волн D -линий и резко зависит от наличия в спектре излучения ЛК длин волн, резонансных одной из D -линий. Так, если спектр излучения ЛК состоял из двух полос шириной $\sim 5 \text{ \AA}$ на расстоянии $\sim 100 \text{ \AA}$ одна от другой и одна из полос перекрывала D_2 -линию, четкий разброс наблюдался даже во второй полосе (рис. 1, в); в случае отсутствия резонансного перекрытия такой разброс отсутствует в обеих полосах (рис. 1, д). Величина разброса практически не изменяется при переходе от линейной к эллиптической поляризации луча ЛК. 3) При формировании достаточно однородного по сечению луча ЛК относительно большого диаметра ($\phi = 5$ мм) и интенсивности ($I_0 \sim 10^7 \text{ вт/см}^2$) эффекта разброса луча практически нет (рис. 1, е, $T = 320^\circ\text{C}$). Если же, однако, в этих условиях закрыть непрозрачным экраном верхнюю (или нижнюю) половину падающего луча, то наблюдается разброс прошедшего через кювету луча вверх (рис. 1, е) или соответственно вниз (рис. 1, ж); если же закрывается горизонтальной полоской шириной 1 мм центральная часть луча, то разброс происходит вниз и вверх (рис. 1, з).

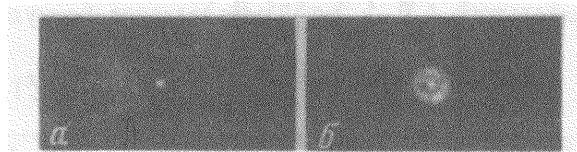


Рис. 2. Распределение интенсивности излучения ЛК, прошедшего через пары калия, в фокусе линзы $f = 100$ мм: а — $T = 20^\circ\text{C}$; б — $T = 310^\circ\text{C}$

С целью выяснения роли "затравочного" излучения схема эксперимента была несколько изменена. Диафрагмированный луч ЛК раздваивался, проходя через наклоненную под небольшим углом подложку, на одну из сторон которой было нанесено отражающее диэлектрическое покрытие с коэффициентом отражения 50%. После сведения обоих лучей линзой $f = 550$ мм в кювете распространялись два луча с соотношением интенсивностей $I_1(0) : I_0 = 1 : 50$, угол между которыми мог быть изменен поворотом подложки в диапазоне $\theta_1 = 10^{-3} - 10^{-2}$ рад. При этом было обнаружено, что в длинноволновой области не происходит существенного изменения эффекта, тогда как в коротковолновой на некоторых длинах волн слабый луч усиливается и появляется в плоскости падающих лучей дополнительный луч под углом $\theta_2 = -\theta_1$ (рис. 1, и, $T = 250^\circ\text{C}$). Этот эффект резко зависит от интенсивности падающего излучения I_0 и наблюдался при $I_0 = (0,3 - 1) \cdot 10^7 \text{ вт/см}^2$ в диапазоне температур $200 - 270^\circ\text{C}$. Область усиливаемых длин волн отодвигается от линии поглощения при увеличении давления калия или уменьшении θ_1 , и расширяется при уве-

личении I_0 . Максимальное усиление в наших условиях составляло ~ 10 , при этом интенсивность дополнительного луча $I_2(\ell)$ практически совпадала с интенсивностью усиленного слабого луча $I_1(\ell)$ (рис. 1, к). Величина максимального усиления слабо зависит от давления паров и практически не изменяется при переходе от линейной к эллиптической поляризации луча ЛК. При постановке на пути луча ЛК перед его раздвоением второй кюветы с парами калия ($T = 330^\circ\text{C}$, $\ell = 2 \text{ см}$) было установлено, что наблюдаемый в коротковолновой области эффект сохраняется и даже несколько возрастает с "выеданием" из спектра падающего луча компонент, резонансных с D -линиями, тогда как разброс луча в длинноволновых областях резко уменьшается.

Мы полагаем, что наблюдаемый разброс луча связан с изменением показателя преломления паров калия в результате поглощения резонансных фотонов и образованием при неравномерном распределении интенсивности по сечению луча линзы, рассеивающей нерезонансную часть излучения. В частном случае линейного изменения показателя преломления среды по радиусу луча линза превращается в конусообразную призму, что соответствует разбросу луча на определенные углы. Было проверено, что знак эквивалентной линзы отрицателен в длинноволновой области, а ее максимальное фокусное расстояние порядка 100 мкм . Вторым эффектом — усиление слабого и появление дополнительного луча в коротковолновых областях D -линий мы связываем с вынужденным четырехфотонным рассеянием [1]. Если считать, что вынужденное четырехфотонное рассеяние в каждой спектральной компоненте луча происходит независимо от присутствия других компонент, то условие синхронизма рассеяния выполняется в коротковолновой стороне линии поглощения для определенных углов θ_1^m . Для этих углов в пренебрежении ослабления сильного луча (т. е. вдали от линии поглощения) изменение интенсивностей слабого $I_1(\omega)$ и дополнительного $I_2(\omega)$ лучей определяется формулами:

$$I_1(\omega, \ell) = I_1(0) [\text{ch } g\ell/2]^2 \exp[-k(\omega)\ell],$$

$$I_2(\omega, \ell) = I_1(0) [\text{sh } g\ell/2]^2 \exp[-k(\omega)\ell],$$

$$g = k(\omega) d^2 E_\omega^2 \tau \hbar^{-2} (\omega - \omega_0)^{-1} [1 - \exp(-t/\tau)], \quad \theta_1^m = \sqrt{cg/\omega}.$$

Здесь: $k(\omega)$ — коэффициент линейного поглощения при бесконечно малых интенсивностях; τ — время жизни возбужденного состояния; d и ω_0 — дипольный момент и частота перехода; E_ω — амплитуда гармоники сильного луча; \hbar — постоянная Планка, деленная на 2π ; c — скорость света. Оценки по приведенным формулам удовлетворительно согласуются с данными эксперимента.

Мы считаем своим приятным долгом выразить глубокую благодарность Н.Н.Костину за весьма полезные обсуждения результатов данной работы.

Государственный
оптический институт

Поступила в редакцию
23 марта 1970 г.

Литература

[1] R.L.Carman, R.Y.Chiao, P.L.Kelley. Phys. Rev. Lett., 17, 1281, 1966.