

Особенности динамики ВКР при пересечении пучков накачки в активной среде

Н.В.Кравцов, Н.И.Наумкин

Исследованы особенности динамики комбинационного излучения в сжатом водороде при возбуждении в нем ВКР двумя пересекающимися под малым углом пучками накачки. Обнаружено возникновение комбинационного излучения в направлении, отличном от направлений пучков накачки. Дано качественное объяснение наблюдаемых экспериментальных результатов.

Ключевые слова: динамика ВКР, динамическая решетка, самопересечение пучков накачки.

Традиционным способом возбуждения вынужденного комбинационного излучения является способ, при котором накачка ВКР-активной среды осуществляется одним пучком, распространяющимся вдоль оптической оси системы. Наряду с этим для ряда практических приложений перспективным представляется возбуждение комбинационного излучения и двумя пучками накачки, взаимодействующими в активной среде.

Возможно несколько вариантов такого возбуждения. Во-первых, возбуждение ВКР двумя пучками накачки, имеющими разные частоты, но распространяющимися вдоль одной оси (бигармоническая накачка [1, 2]). К этому же варианту следует отнести и возбуждение ВКР, при котором в активную среду инжектируется, кроме излучения накачки, затравочное излучение на частоте стоксовой компоненты [3, 4]. Во-вторых, возбуждение комбинационного излучения при самопересечении пучка накачки или использовании двух пучков накачки, имеющих одинаковые частоты и пересекающихся в активном объеме под небольшим углом [5, 6].

Физические процессы, происходящие в лазерах с пересекающимися (или самопересекающимися) пучками накачки, оказываются весьма сложными. Они недостаточно полно исследованы, поскольку, как правило, характеризуются одновременным протеканием нескольких нелинейных явлений (ВКР, ВРМБ, ОВФ, возникновение в активной среде пространственных динамических решеток и др.). Экспериментальному исследованию некоторых особенностей динамики излучения таких лазеров и посвящена настоящая работа.

Схема экспериментальной установки показана на рис.1. Линейно поляризованное излучение одночастотного одномодового рубинового лазера, работающего в режиме модуляции добротности ($\tau = 50$ нс, $W_p = 0.2$ Дж), специальной призмой делилось на два параллельных пучка равной интенсивности.

Пучки накачки с помощью линзы ($f = 220$ или 680 мм) направлялись в камеру со сжатым водородом ($p =$

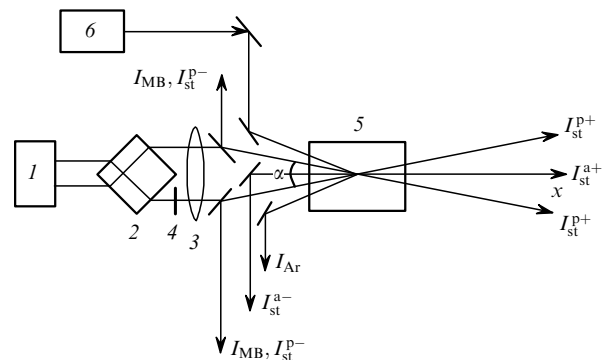


Рис.1. Схема экспериментальной установки: 1 – рубиновый лазер; 2 – светоделительный кубик; 3 – линза; 4 – фазовая пластинка; 5 – камера со сжатым водородом; 6 – аргоновый лазер.

40 атм), где они пересекались под небольшим углом α , который можно было изменять от 2 до 5.5° . Фазовая пластинка, введенная в один из пучков накачки, позволяла поворачивать направление его поляризации на $\pi/2$. Камера со сжатым водородом располагалась таким образом, чтобы нормали к ее окнам составляли с направлениями пучков накачки и биссектрисой между ними (осью x , см. рис.1) углы не менее $3-5^\circ$.

В ходе экспериментов регистрировались временные, энергетические и спектральные характеристики излучения на частоте накачки и частотах комбинационных компонент как в прямом и обратном направлениях пучков накачки, так и вдоль оси x . Эксперименты показали, что вынужденное излучение, возникающее при использовании такой схемы, распространяется не только вдоль пучков накачки в прямом и обратном направлениях, но и вдоль дополнительного канала, ось которого совпадает с биссектрисой плоского угла α , образованного осями пучков накачки.

Возникновение такого излучения, по-видимому, может быть объяснено тем, что в области пересечения пучков накачки в ВКР-активной среде образуется динамическая решетка (пространственная модуляция коэффициента усиления и показателя преломления). Эта решетка обеспечивает возникновение дополнительного канала комбинационного излучения вдоль оси x . Существова-

ние такой решетки было зафиксировано с помощью отражения (коэффициент отражения $\sim 0.01\%$) от нее излучения вспомогательного зондирующего лазера ($\lambda = 0.51$ мкм).

Вдоль направлений распространения пучков накачки, как и следовало ожидать, возникают компоненты встречного стокова (I_{st}^{p-}) и попутных стокова (I_{st}^{p+}) и антистокова (I_{ast}^{p+}) излучения. При этом перекрытие одного из пучков накачки приводит к заметному уменьшению интенсивности комбинационных компонент, возникающих в направлении второго пучка накачки. Кроме стоковых компонент в обратном направлении возникает и достаточно интенсивное излучение ВРМБ. На рис.2 приведены характерные осциллограммы, иллюстрирующие взаимное временное расположение импульсов накачки, ВРМБ, различных компонент стокова излучения и сигнала зондирующего лазера, отраженного от динамической решетки.

Из анализа полученных осциллограмм следует, что динамическая решетка возникает в области пересечения пучков накачки с задержкой примерно на 10 нс относительно начала импульса накачки (о чем свидетельствует задержка на 10 нс сигнала зондирующего лазера), но одновременно с возникновением ВРМБ. Образование этой решетки на несколько наносекунд опережает возникновение импульса попутного стокова излучения I_{st}^{p+} .

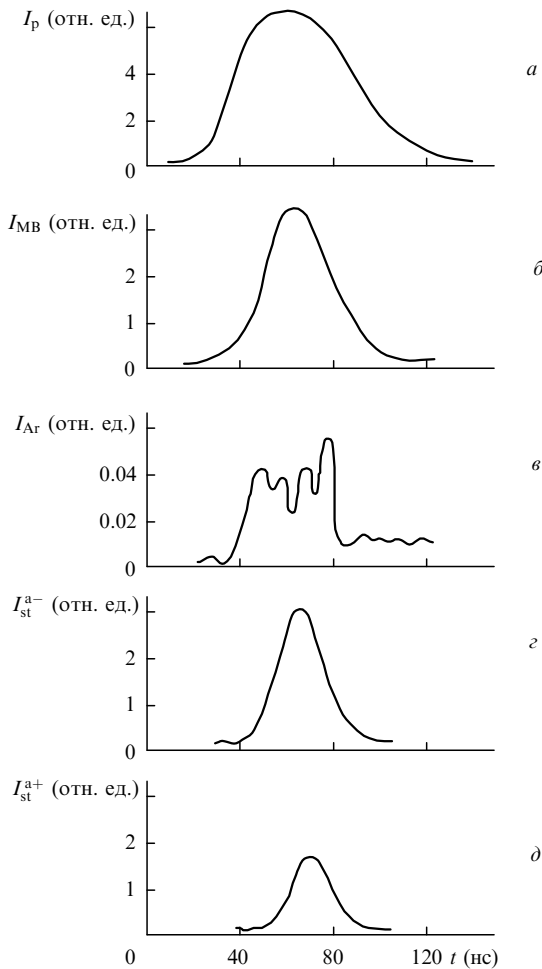


Рис.2. Осциллограммы, иллюстрирующие взаимное временное расположение импульсов накачки I_p (а), ВРМБ I_{MB} (б), излучения аргонного лазера, отраженного от динамической решетки, I_{Ar} (в) и стокова излучения, распространяющегося вдоль оси x (I_{st}^{a+} , I_{st}^{a-}) (г, д).

Наиболее интересной оказалась динамика излучения в дополнительном канале, где были обнаружены стоковы (I_{st}^{a-} , I_{st}^{a+}) и антистоковы (I_{ast}^{a-} , I_{ast}^{a+}) импульсы излучения во встречных направлениях. Необходимо отметить, что комбинационное излучение в дополнительном канале возникает только тогда, когда направления поляризации пучков накачки совпадают. В этом случае интенсивность I_{st}^{a+} составляет около 10–20 % от интенсивности I_{st}^{p+} .

В случае поворота направления поляризации одного из пучков накачки на $\pi/2$ динамическая решетка в области пересечения пучков накачки не возникает (что контролируется по отсутствию отражения излучения зондирующего лазера) и излучение в дополнительном канале отсутствует. Неожиданным оказалось наличие значительного временного сдвига τ между импульсами комбинационных компонент излучения, распространяющимися в дополнительном канале генерации во встречных направлениях. Было установлено, что этот временной сдвиг τ между стоковыми импульсами I_{st}^{a+} и I_{st}^{a-} зависит от интенсивности накачки I_p , достигая ~ 10 нс при максимальном I_p (рис.3).

Отметим, что если на пути излучения, распространяющегося вдоль дополнительного канала поставить отражатель (например, непросветленную стеклянную пластинку), то временная задержка между импульсами I_{st}^{a+} и I_{st}^{a-} исчезает, а интенсивности этих компонент возрастают примерно до 35–40 % от интенсивностей I_{st}^{p+} и I_{st}^{p-} соответственно. Задержка τ зависит также и от угла α : она увеличивается от нуля до ~ 10 нс при уменьшении α от 5.5 до 2° . Аналогичная задержка имеет место и между импульсами излучения I_{ast}^{a+} и I_{ast}^{a-} .

Особенности динамики излучения в дополнительном канале привели к необходимости более детального исследования механизмов взаимодействия излучения с динамической решеткой. Оказалось, что в схеме эксперимента, показанной на рис.1, вдоль оси x возникает излучение не только на комбинационных частотах, но и на частоте накачки ($\lambda = 0.6943$ мкм). Было установлено, что длительность импульса излучения с $\lambda = 0.6943$ мкм, отраженного от динамической решетки в направлении оси x , оказывается почти в два раза меньше длительности импульса излучения на выходе рубинового лазера. Спектр излучения вблизи $\lambda = 0.6943$ мкм содержит несколько компонент, сдвинутых относительно друг друга примерно на 0.14 см^{-1} , что совпадает со сдвигом Манделштама – Бриллюэна в водороде при давлении $p = 40$ атм. Такие же компоненты, соответствующие ВРМБ, сопровождают и излучение ВКР, распространяющееся в дополнительном канале.

Проведенные исследования еще раз подтвердили сложность динамики вынужденного излучения при само-

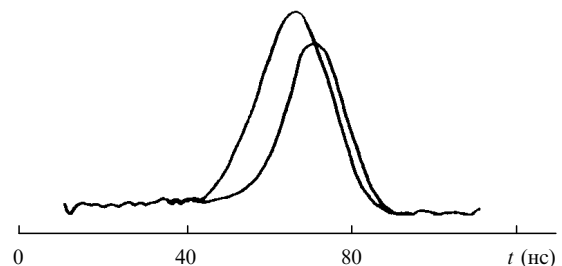


Рис.3. Осциллограммы, иллюстрирующие наличие временного сдвига между импульсами I_{st}^{a+} и I_{st}^{a-} .

пересечении пучков накачки, являющуюся следствием взаимовлияния различных физических процессов, развивающихся в нелинейной среде. Качественно наблюдаемые закономерности, по-видимому, можно объяснить следующим образом. Интерференция двух взаимно когерентных самопересекающихся пучков накачки в нелинейно-активной среде приводит к возникновению в ней амплитудно-фазовой решетки вследствие пространственной модуляции коэффициентов усиления и показателя преломления нелинейной среды, причем в образовании этой решетки существенную роль играет ВРМБ.

Возникновение в активной области динамической решетки приводит не только к энергообмену между взаимодействующими волнами, но и к их самодифракции на этой решетке. Естественно, все это возможно только при условии когерентности и одинаковой поляризации пуч-

ков накачки, что хорошо согласуется с экспериментальными результатами.

Работа выполнена при поддержке УНЦ «Лазерная физика и новые материалы».

1. Венкин Г.В., Крочик Г.М., Кулюк Л.Л. *Письма в ЖЭТФ*, **21**, 235 (1975).
2. Бутылкин В.С., Каплан А.Е., Хронополо Ю.Г., Якубович Е.И. *Резонансные взаимодействия света с веществом* (М., Наука, 1977).
3. Грасюк А.З., Лосев Л.Л., Луценко А.П., Сазонов С.Н. *Квантовая электроника*, **17**, 599 (1990); **17**, 1245 (1990).
4. Лосев Л.Л., Луценко А.П., Сазонов С.Н. *Квантовая электроника*, **17**, 960 (1990).
5. Ефимков В.Ф., Зубарев И.Г., Михайлов С.И., Смирнов В.Г., Соболев В.Б. *Квантовая электроника*, **20**, 213 (1993).
6. Аникеев И.Ю., Басов Н.Г., Глазков Д.А., Зубарев И.Г., Михайлов С.И. *Квантовая электроника*, **15**, 661 (1988).