

ПОДАВЛЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ ВЫНУЖДЕННЫХ РАССЕЯНИЙ, СХЛОПЫВАНИЯ ЛУЧА И ПРОБОЯ СРЕДЫ ПРИ СКАНИРОВАНИИ ЛУЧА САМОФОКУСИРОВКА "ГУЛЯЮЩИХ ЛУЧЕЙ"

Г.А.Аскаръян, Х.А.Диянов, М.А.Мухамаджанов

Экспериментально показано, что сканирование мощных лазерных лучей может устранить во многих случаях нежелательные нелинейные процессы: вынужденных рассеяний, пробоев и повреждений сред, инерционных процессов самофокусировки и т.п., если время сканирования луча на его диаметр меньше времени формирования или нарастания вынужденных процессов. Такое подавление вынужденных процессов исследовано на установке с самозапускаемым сканированием луча. Отмечено, что такая установка может быть использована также для исследования быстропеременных процессов и в некоторых случаях может заменить установки типа ЗОП и ФЭР.

Известно, что в мощных лазерных лучах возникают вынужденные нелинейные процессы: Мандельштам – Бриллюэновское (ВРМБ), комбинационное (ВКР) и другие виды рассеяний, самофокусировка, пробой и деструкция сред и т. д. Все эти процессы имеют определенные длительности времени τ формирования или нарастания. Поэтому следует ожидать подавления развития этих процессов при поперечном сканировании луча, если время смещения луча на свой диаметр $t_{\text{скан}} = a_{\perp} / v_{\perp}$ (равное отношению размера луча a_{\perp} к скорости сканирования v_{\perp}) меньше времени формирования нелинейного процесса $t_{\text{скан}} < \tau$. Например, при размерах сечения луча $a_{\perp} \lesssim 10^{-2} + 10^{-3}$ см и скорости сканирования $v \sim 10^7$ см/сек получим $t_{\text{скан}} \lesssim 10^{-9} : 10^{-10}$ сек, что близко к временам нарастания нелинейных процессов. Отметим, что почти все нелинейные процессы начинаются или протекают в наиболее концентрированных областях луча, что облегчает их срыв при поперечном сканировании.

В данной работе исследовалось экспериментально подавление нелинейных процессов при сканировании луча. Для этой цели была создана простая установка для осуществления самозапускаемого сканирования луча и наблюдения эффектов.

1. Сканирование лазерного луча.

В основе экспериментальной установки было использовано сканирующее устройство, запускаемое самим лазерным импульсом: лазерный луч своим фронтом вызывал срабатывание разрядника, который подавал линейно нарастающее в течение 40 нсек напряжение на сканирующую ячейку, в которой между электродами в нитробензоле возникал градиент показателя преломления, отклоняющий луч.

Схема установки дана на рис. 1. Луч неодимового лазера 1 ответвляется стеклянной пластинкой 2 на разрядник 12, который разряжал ем-

кость $C (\approx 3 \cdot 10^3 \text{ пф})$ через цепь с индуктивностью контура $L (\approx 0,3 \text{ мкг})$, что создавало в интересующем нас интервале времени линейное нарастание потенциала на сканирующей ячейке 4. Напряжение на ячейке через высоковольтный делитель 13 подавалось на осциллограф. Через ячейку проходила основная часть луча, который отклонялся на угол, зависящий от потенциала на сканирующей ячейке, проходил через лазерный усилитель 6 и попадал в кювету длиной 30 см, с нелинейной средой 9 или на экран. Кювета находилась на расстоянии 3 или 6 м от генератора для изменения условий и времени попадания отраженного импульса в генератор. На базе 6 м лазерный импульс не искажался отраженным и можно было следить за изменениями чистых лазерного и неусиленного в лазерной системе отраженного импульса. Перед средой помещалась стеклянная пластинка для направления падающего и отраженного излучения на два ФЭК-09, сигналы от которых подавались на быстрый многолучевой осциллограф 6-ЛОР 02-М (рис. 2).

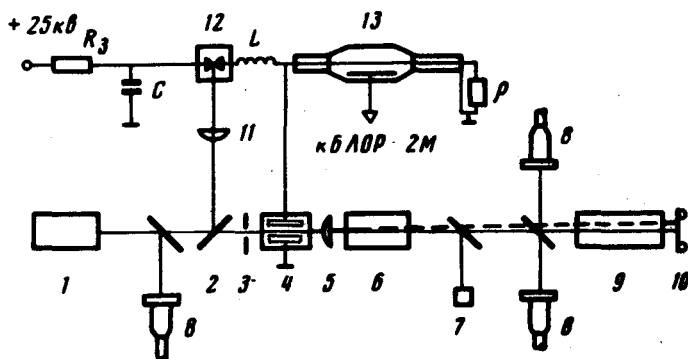


Рис. 1. Схема установки: 1 – Лазер-генератор; 2 – стеклянная пластинка, расщепляющая луч; 3 – диафрагма, 4 – сканирующая ячейка, 5 – подфокусирующая линза, 6 – лазерный усилитель, 7 – калориметр, 8 – фотозлектрические регистраторы (ФЭК-09), 9 – кювета с нитробензолом или сероуглеродом, 10 – фотоаппарат, 11 – линза, 12 – разрядник, инициируемый лазером, 13 – высоковольтный делитель напряжения

Лазер работал в одночастотном режиме. Мощность луча на входе в кювету составляло $\approx 1 \text{ Вт}$. Длительность импульса лазера составляла по полуширине 20 нсек, длительность линейного нарастания напряжения на ячейке скана составляла $\approx 40 \text{ нсек}$, т. е. весь лазерный импульс приходился на линейную часть нарастания напряжения развертки.

Так как угол сканирования зависит от квадрата напряженности поля в скан-ячейке, угловое и линейное смещение луча изменялось во времени квадратично, что проверялось специально с целью маркировки смещения во времени по следу луча на пленке или на экране (исследовался также скан луча по решетке-гребенке с регистрацией проходящего сканированного и модулированного гребенкой во времени луча с помощью

фЭК'а). Было получено при максимальном напряжении на ячейке скорость сканирования – угол $\theta \approx 10^{-2}$ рад за 30 нсек, что легко обеспечивало линейную скорость сканирования $3 \cdot 10^7$ см/сек. Сканирующая ячейка имела длину 10 см при расстоянии 2 мм между цилиндрическим и уголковым электродами¹⁾, обеспечивающими малое изменение градиента луча на размере диаметра луча (1 мм). Для уменьшения размеров луча на входе в нелинейную среду использовалась линза с большим фокусным расстоянием ≈ 60 см, которая подфокусировала луч, не меняя угла сканирования. При базе 6 м использовался также телескоп, который уменьшал размер и сдвиг луча при скане.

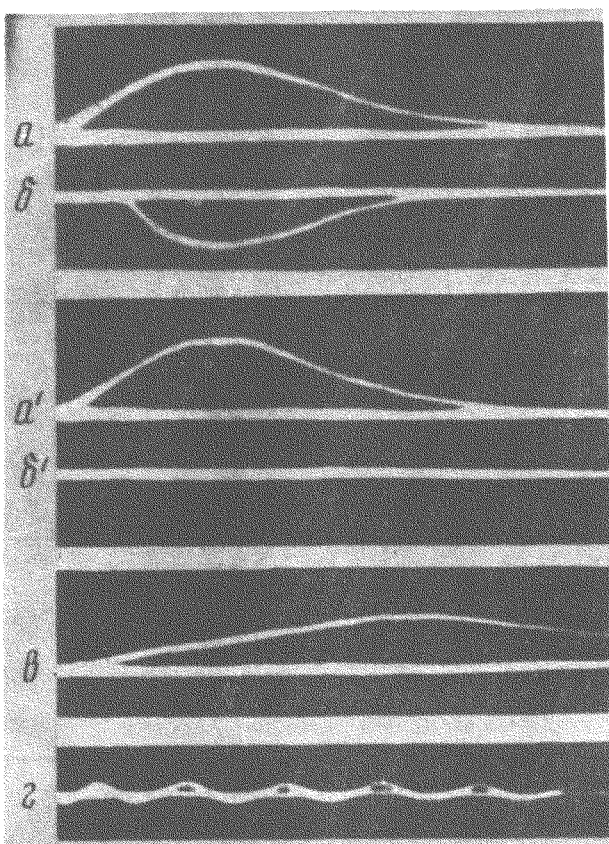


Рис. 2. Осциллограммы импульсов излучения и сканирующего напряжения: *a* – лазерный импульс без сканирования, *б* – импульс от нелинейного вынужденного рассеяния назад без сканирования, *а'* и *б'* – то же при действии сканирования. (Видно отсутствие отраженного импульса *б'*); *в* – нарастание напряжения на сканирующей ячейке, *z* – метки времени с частотой 100 МГц

¹⁾ См., например, В.К.Архипов, Е.И.Ершов, З.Л.Рыжкова, Р.И.Тарасов, Радиотехника и электроника, № 12, 2278, 1969. Выбор формы электродов уменьшал неоднородность градиента показателя преломления. Изменение расходимости от сканирования контролировалось. Оно было мало и практически не влияло на величину длин Келли и на исследуемые процессы.

2. Полученные результаты

а) *Подавление нелинейных индуцированных процессов.* При включении сканирования пропадали ВРМБ и ВКР в сероуглероде и нитробензоле уже при низких напряжениях сканирования. На рис. 2 показаны характерные осциллограммы: *a* – сигнал от лазерного импульса, *b* – отраженный импульс от нелинейного рассеяния в отсутствие скана, *a'* и *b'* – то же при действии скана, *c* – нарастание напряжения на сканирующей ячейке, *t* – метки времени частоты 100 МГц. Видно, что сканирование устраняет отражение полностью (*b'*). При расстоянии 6 м, от нелинейной среды до генератора, лазерный импульс не деформировался отраженным и не менялся при сканировании. (Осциллограммы приведены для этого расстояния). При расстоянии 3 м отраженный импульс налагается на лазерный и скан очищает его от отраженного. Полное подавление отражения наблюдалось уже при напряжениях, в 2–3 раза меньших максимального. Проводилось сопоставление времени нарастания сигнала отражения в отсутствие скана с временем сдвига луча на размер сечения. Показано, что подавление ВРМБ имеет место даже при скоростях скана, недостаточных для обрыва процесса на размере порядка начального размера луча (1 мм). По-видимому, зарождение и развитие вынужденных процессов связано с областями сжатия и фокусировки луча.

Было наблюдеено: устранение пробоев в средах при сканировании луча. В частности, сканирование устраняло искры, образующиеся в нитробензоле в точках схлопывания луча при остановке фокусов. Сканирование фокусированного луча размазывало концентрацию воздействия, район повреждения в стеклах расширялся, а повреждения становились все слабее и слабее по мере усиления сканирования.

б) *Сканирование самофокусирующегося луча.* Была исследована самофокусировка при сканировании. Выбирался режим, при котором без скана фокус входил вглубь кюветы (длина Келли 10 см в максимуме импульса), а пересекал торец кюветы со скоростью 10^9 см/сек. На рис. 3 дано изображение следа луча при развертке сканированием. Видно сжатие до минимального размера 40 мкм, длящееся 10 нсек, что указывает на существование волноводной протяжки за фокусом 10 см. (Отметим, что размер пятна луча на торце кюветы без самофокусировки составлял 0,5 мм, что проверялось при ослаблении мощности фильтрами перед кюветой¹⁾). Влияние скана на самофокусировку проявляется не только в устранении вынужденных рассеяний, но и в ослаблении действия механизмов самофокусировки с релаксацией.

Описанные выше эффекты подавления индуцированных процессов при сканировании лучей могут быть широко использованы на практике в тех случаях, когда эти процессы являются нежелательными. Аналогичные эффекты подавления неустойчивостей и схлопываний возможны при сканировании электронного пучка.

¹⁾ Движение фокуса наблюдалось как в прямом, так и в обратном направлениях, так как обратно фокус сдвигался по невозмущенной среде. В случае неодночастотного (изрезанного во времени) лазерного импульса, обеспечивающего многократное пересечение фокусом плоскости торца или при появлении интерференционных биений наблюдалась многофокусная торцевая картина.

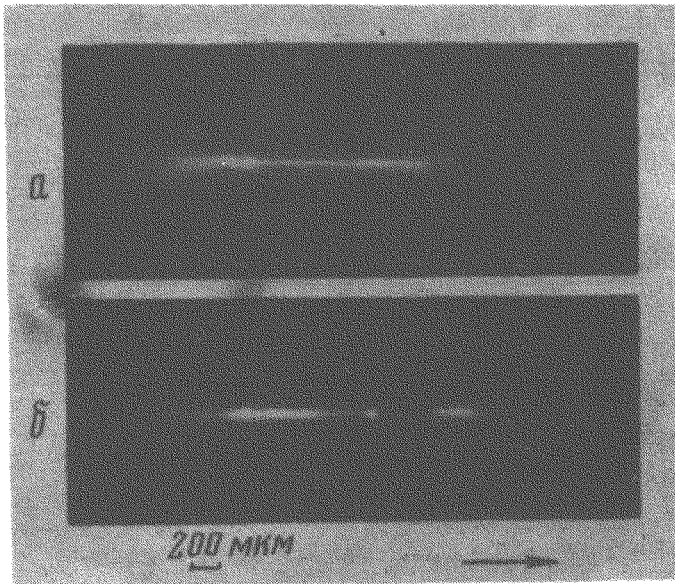


Рис. 3. Фотографии развертки самофокусировки: *a* – развертка на торце кюветы при сканировании луча с мощностью 1 Мвт. Размер минимального сжатия 40 мкм. Видна протяжка с длительностью ≈ 10 нсек свидетельствующая о волновой протяжке за фокусом ≈ 10 см. (При этой мощности без сканирования длина Келли ≈ 10 см в глубине кюветы), *б* – то же при мощности в 1,5 раза больше

Можно указать некоторые практические применения подавления сканированием: 1) ввод большой мощности в нелинейную среду, 2) передача большой мощности через среду, 3) подавление одних нелинейностей при сохранении других, имеющих меньшее время формирования (например, изучение самофокусировки или ВКР при устранении ВРМБ и др.) Исследование времени развития нелинейностей. 4) Устранение неустойчивостей в прямом и обратном токах для пропускания мощных электронных потоков через плазму.

Для многих нелинейных эффектов сканирование концентрированного луча предпочтительней его расфокусировки, уменьшающей мгновенную концентрацию воздействия, уменьшающих самосжатие луча.

Примененная простая система запускаемого сканирования может также в некоторых случаях заменить гораздо более сложные и дорогие электронно-оптические преобразователи–регистраторы быстропеременных процессов (ФЭР, ЭОП и др., как в непрерывной развертке, так и в режиме покадровой съемки, осуществляемой подачей ступенчатого нарастания напряжения на сканирующую ячейку.

Физический институт
им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
29 января 1974 г.