

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЛУЧА

ИЛИ ПОИСКИ КРАСОТЫ?

9 лет ученые из НПО "Астрофизика" разрабатывали этот необычный прибор, воплотивший в себе фундаментальные законы физики и творческий потенциал человека. То, что было получено с помощью этого прибора-изобретения, лишний раз доказывает эфемерность границы между наукой и искусством, реальностью и абстракцией. Мы не собирались искать красоту, она появилась внезапно и совершенно случайно.

Все началось с того, что перед учеными компании "Астрофизика" была поставлена необычная задача: поиски возможностей оценки качества лазерного луча, основанные на визуальной оценке его отклонения от некоего идеального образа. Другими словами, основанные на анализе возможных проявлений его "уродства", то есть на измерении (если возможно) степени этого уродства и принятии мер для уменьшения его влияния на качество лазерного луча. Под "уродством" понимались все виды оптических неоднородностей активной среды лазера, как стационарные, так и динамические, отрицательно влияющие на качество излучения. Многие под идеальным образом или качеством подразумевают оценки, основанные на энергии и мощности лазерного пучка, но это не всегда так. Во многих практически важных случаях на первый план по значимости выходят другие, более тонкие параметры луча, влияющие на такую оценку: модовый состав, расходимость, поляризация и др.

Они во многом зависят от оптических неоднородностей рабочей среды лазера. Для большинства применяемых сегодня высоких лазерных технологий: в фотолитографии,

передаче изображений, лазерной хирургии глаза и многих других требуется высокое качество лазерного луча.

Вместе с сотрудником НПО С.Фофановым мы приступили к выполнению такой задачи. К тому времени методы исследования оптических неоднородностей (интерференционные, теневые, голографические и др.) были хорошо изучены. Но в нашем случае выявилась одна почти непреодолимая трудность: указанные методы давали интегральную оценку оптических неоднородностей, то есть суммировали их на всем пути следования зондирующего луча. В ряде случаев такой оценки вполне достаточно, если кроме суммарной величины дается ее распределение в плоскости сечения перпендикулярного к оси прибора.

В нашем случае рабочее вещество, то есть активная среда лазера, имеет большую протяженность по ходу луча: от нескольких сантиметров до нескольких метров. Трудностей нет, если неоднородности сохраняют подобие по всему объему. Это упрощает их аппроксимацию, позволяя ограничиваться даже линейным приближением. Но в большинстве важных случаев этого не наблюдается.

Не только величина и характер, но и механизмы возникновения неоднородностей вдоль объема и по сечению, могут существенно отличаться. Поэтому необходимо изучение проблемы неоднородностей по отдельным сечениям или по относительно тонким слоям активной среды. Были перепробованы разные методы, например хорошо известный теневой метод "ножа и щели" (или ножа Фуко), показанный на рис.1.

Мною, в частности, были исследованы оптические неоднородности в криогенных средах. Криогенная среда – это жидкий кислород при $T=-196^{\circ}\text{C}$, хранящийся в криостате (выполненном в виде цилиндрической кюветы длиной 3 метра с изолирующей "вакуумной рубашкой") и охлаждаемый жидким азотом. Криогенная среда с обоих торцов была ограничена стеклянными пластинами. Активная среда накачивалась другими мощными лазерами. Для получения хорошего качества излучения при наличии вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) нужно было знать распределение неоднородностей как поперек, так и вдоль кюветы, а указанный теневой прибор (ИАБ-451) хорошо решал только одну задачу – получение распределения по сечению. Глубина его фокусировки, то есть глубина пространства четко изображаемых предметов, составляла около двух метров, что делает невозможным выделение какого-то предпочтительного сечения. Фотолюбители, пытающиеся фотографировать дальний пейзаж через мутное стекло или стекло с каплями (следами дождя), знают, что перемещая объектив можно "навести фотоаппарат на стекло", тогда на пленке резко отобразятся капли. Если же навести на удаленный пейзаж, капли получатся размытыми и почти невидимыми.

Сходная идея лежит и в теневом методе "острой фокусировки". Идея и метод известны с 1950 года (Мортенсен),

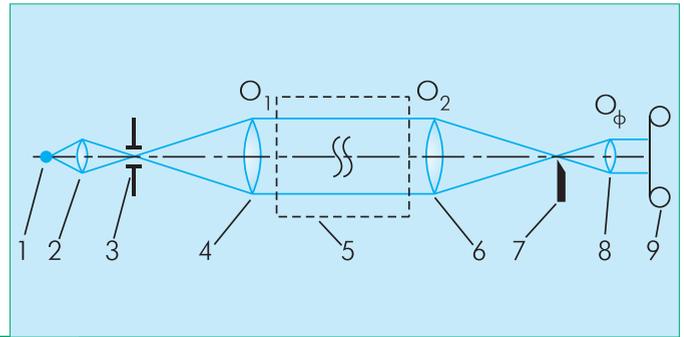


Рис. 1 Схема теневых методов "ножа и щели":

1 – источник света, 2 – конденсор, 3 – регулируемая щель, 4,6 – одинаковые объективы, 5 – объем с исследуемыми неоднородностями, 7 – нож (бритва), 8 – объектив фотоаппарата, 9 – пленка

но серийного прибора с надежной методикой измерения не было, хотя сама идея острой фокусировки сравнительно проста.

Одна из главных причин отсутствия такого прибора в следующем. Объекты, которые мы фотографируем в обыденной жизни, как правило, освещаются рассеянным светом, и их отражение рассеянно (диффузно). Поэтому каждая точка в пространстве предметов испускает конус лучей и изображается на пленке сходящимся конусом лучей, оптически сопряженным первому конусу.

Оптические неоднородности в преобладающем большинстве носят не амплитудный, а фазовый характер. Это означает, что тонкий луч, входящий в фазовую неоднородность, выходит из нее тоже тонким лучом (а не пучком), изменив лишь угол. Так как в приборе ИАБ-451 фокусы двух главных объективов (O_1 и O_2) около двух метров, а ширина щели составляет доли миллиметра, то говорить об острой фокусировке не приходится, ибо угол при вершине конуса падающего света очень мал.



Рис.2 "Мираж", или как выглядит оптическая неоднородность

Идея острой фокусировки состоит в искусственном увеличении угла этого конуса, что можно достичь двумя путями. Первый – основан на стереоскопическом эффекте, когда обычные теневые приборы располагаются под разными углами. Второй – использует растр и источник света с широким телом свечения. Трудности заключаются в расшифровке и анализе полученных результатов. Задача эта напоминает проблему распознавания зашумленного образа, хотя и имеет свои особенности. Первая особенность состоит в том, что выделяемый на фоне шума сигнал сам является шумоподобным. Вторая – в том, что обычно имеется априорная информация об анализируемом сигнале или образе. Так,

сигналом может быть речь или музыка, а образом – самолет или ракета. В нашем случае, однако, часто ничего нельзя сказать как о характере оптических неоднородностей, так и об их величине.

Эта задача до сих пор не решена в самом общем виде, хотя успехи решения частных случаев – хорошо известны. Нам пришлось внести существенные изменения в известную схему измерений. Одно из них заключалось в том, что оцениваемая оптическая неоднородность освещалась одновременно несколькими лазерными пучками света разной длины волны, то есть отличался цвет пучка. Кроме того, каждый пучок падал на неоднородность под своим углом, образуя в совокупности с другими пучками конус лучей, но не сплошной, а дискретный. Таким образом, неоднородности на экране (фотопленке) стали не только видимыми, благодаря визуализирующей диафрагме-ножу, но и цветными из-за разной окрашенности пучков света в конусе. Заметим, что если рассматривать фазовые неоднородности обычным глазом, то они почти не видны и бесцветны.

Вот тут-то и появилась красота. Точнее она была, но в скрытом виде, а наш прибор сделал ее видимой. На экране возникли динамичные яркоокрашенные картины – именно динамичные картины, а не просто цветная информация об оптических шумах. Ввиду своей необычности они казались нам похожими на миражи. Несомненная и сильная связь этих образов с образами нашей жизни была скрытой, неявной и ассоциативной.

После всего увиденного наша работа распалась на две части: научную и художественную. Что касается второй части, то мы стали модернизировать прибор, думая, прежде всего, о силе эмоционального воздействия, то есть об эстетической ценности получаемых образов. В силу характера и необычности этих изображений мы назвали наш прибор "Мираж".

Сначала мы были наблюдателями, а затем стали экспериментировать в создании картин-образов, изменяя интенсивность отдельных лазерных пучков для изменения окрашенности либо всей картины, либо отдельных ее частей. С помощью несложных приспособлений удавалось даже изменять отдельные детали и узоры в картинах. Наши цветные картины напоминали узоры на полированных срезах полудрагоценных камней, например "пейзажи" на яшме и агате.

Ради объективности отметим, что далеко не все люди разделяют наши восторги и что не все картины имеют нежную палитру. Многие из них резко контрастны и напоминают бурю или смерч, хотя и в них есть своя красота, несмотря на всю их непривычность, абстрактность или фантастичность. Радует то, что мы своим умением помогаем выявлять скрытую в них природой гармонию.