

Власов Николай Георгиевич (1937–2009)

Доктор технических наук, профессор Государственного технологического университета (Станкин), долгое время работал начальником лаборатории когерентной оптики и голографии ВНИИ оптико-физических измерений. Инструктор водного туризма. Автор 200 научных работ и изобретений.

Спекл-эффект

Рассказано о спекл-эффекте, т. е. о получении и наблюдении спекл-структуры электромагнитного поля. В простейшем случае спекл-структура наблюдается при рассеянии лазерного излучения матовой поверхностью.

Все предметы, отражающие свет, можно разделить на зеркально и на диффузно отражающие (рассеивающие). Именно к последнему типу относится большинство окружающих нас предметов и изделий. При диффузном отражении происходит рассеяние освещающего излучения в достаточно большом телесном угле. Это возможно, если средние размеры элементов микроструктуры поверхности сравнимы с дли-

ной волны света. Ещё в середине XX века академиком Обреимовым было показано, что микроструктура поверхности таких объектов описывается случайной функцией пространственных координат.

Вскоре после изобретения лазера было замечено, что эта случайная зависимость переносится и на лазерное излучение, рассеянное такой поверхностью. В результате об-

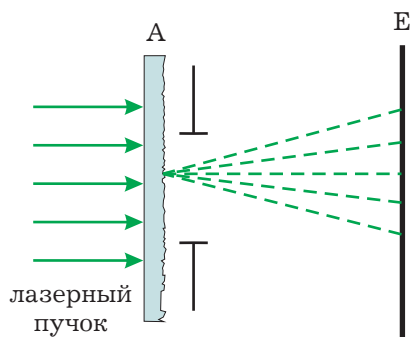


Рис. 1 а

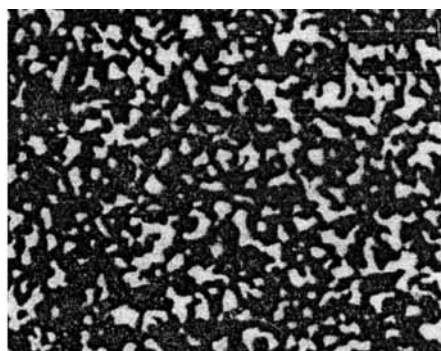


Рис. 1 б

Рис. 1. а) Схема наблюдения спекл-структуры на экране в плоскости Е при рассеянии лазерного пучка на матовом стекле А. Пунктирными линиями показаны лучи света, рассеянного малым участком матовой поверхности. б) Наблюдаемая спекл-структура

разуется так называемая спекл-структура, представляющая собой случайную модуляцию интенсивности и наблюдающаяся как в плоскости изображения, так и в любой промежуточной плоскости оптической системы или свободного пространства. В переводе с английского «speckle» означает «зерно», «пятно». Спекл-структуру можно наблюдать не только в отражённом свете, но и в прошедшем, например, через матовое стекло (рис. 1 а, б).

На первый взгляд может показаться, что эти хаотически распре-

делённые световые пятна не поддаются точному научному описанию и могут быть полезны только в изобразительном искусстве. Однако и здесь физики нашли «пищу» для своего пытливого ума. Их заинтересовали следующие вопросы. Что влияет на средний размер световых пятен в спекл-структуре? Какие параметры оптической системы нужно менять для получения желаемой картины? Оказалось, что спекл-эффект тесно связан с явлением дифракции на отверстиях.

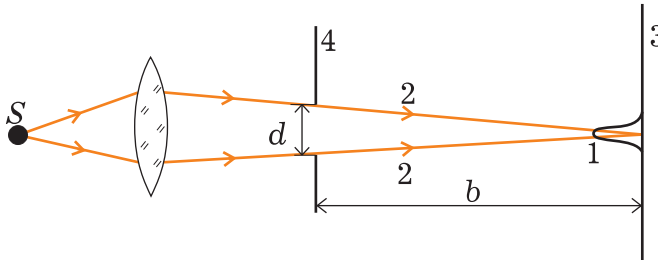


Рис. 2. К определению среднего размера спекл-структуры

Пусть от точечного источника S с помощью линзы получено изображение на экране 3 (рис. 2).

Напомним, что при прохождении монохроматических лучей 2 через малое отверстие в непрозрачном экране 4 в плоскости изображения 3 будет наблюдаться дифракционная картина. При этом если отверстие в экране имеет форму круга диаметром d , то диаметр светового пятна дифракционного максимума будет равен

$$\delta \approx 2(\lambda/d) \cdot b. \quad (1)$$

Здесь λ – длина волны падающего света, а b – расстояние от отверстия до плоскости наблюдения.

После этого небольшого экскурса в область дифракции вернёмся к спекл-эффекту. В достаточно сложных теоретических работах было показано, что средний размер δ элементов спекл-

структуры совпадает с размером дифракционного максимума 1, образованного сходящейся сферической волной 2 на рис. 2. Значит, этот размер может быть оценён по формуле 1. В этом случае под d следует понимать диаметр светового пучка, падающего на матовое стекло. В демонстрационном эксперименте, показанном на рис. 3, этот размер легко регулируется.



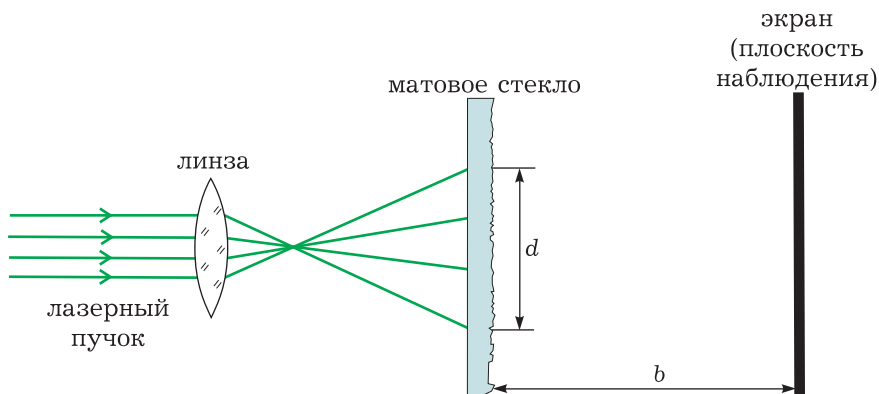


Рис. 3. Демонстрационный эксперимент

Действительно, если матовое стекло сместить в заднюю фокальную плоскость линзы (d – мало), то в плоскости наблюдения, например, на листе белой бумаги, будет всего 1–2 крупных элемента спекл-структуры. Удаление матового стекла от задней фокальной плоскости приводит к увеличению d и, соответственно, к уменьшению δ . Особенно красивая картина наблюдается, если сделать δ равным нескольким миллиметрам. Тогда полученная дифракционная картина будет напоминать вид звёздного неба в ясную погоду. Если же теперь смещать матовое стекло перпендикулярно плоскости рисунка, одни яркие элементы спекл-структуры будут гаснуть, а вместо них вспыхивать другие. Возможно, этот красивый эффект когда-нибудь найдёт применение в дискотеках.

Другая интересная возможность – изменение формы освещённого участка матового стекла, что приводит к изменению формы усреднённого элемента спекл-структуры, случайно изменяющейся по пространственным координатам (рис. 4).

Таким образом, с помощью спекл-эффекта можно получать различные рисунки и композиции. Дополнительные возможности открывает компьютерная обработка спекл-структуры.

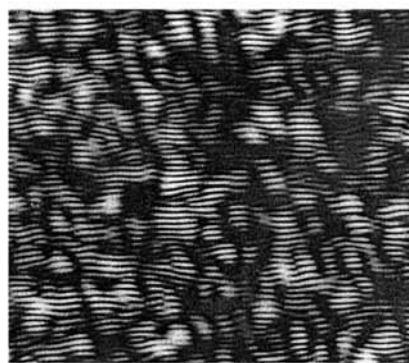


Рис. 4. Спекл-структура, полученная в свободном пространстве при освещении на матовом стекле двух круглых отверстий, расстояние между которыми в несколько раз больше, чем их диаметр

Действительно, спекл-эффект наблюдается в когерентном лазерном излучении, и поэтому он одноцветный. При помощи компьютерной обработки к спекл-эффекту можно добавить фон другого цвета, провести полутона в псевдоцветах, при которых каждому полутону ставится в соответствие свой цвет. Можно также законтрастировать спекл-структуру, провести её дифференцирование по какому-нибудь направлению и т. д. Так, например, на рис. 5 у спекл-эффекта был повышен контраст и добавлен однородный серый фон.



Рис. 5. Спекл-структура, полученная в свободном пространстве при освещении щелевого участка на матовом стекле при дополнительной компьютерной обработке

Спекл-эффект находит широкое применение в измерительной техни-

ке. Так, на его основе разработано новое направление в интерферометрии – спекл-интерферометрия. В рамках этого направления решён ряд задач, считавшихся в принципе неразрешимыми в классической и голографической интерферометрии. Например, оказалось возможным сравнивать по размерам и форме образцовое и контролируемые изделия, обладающие шероховатой поверхностью. Одним из полезных применений спекл-эффекта может быть проверка подлинности бумажных документов. Ведь шероховатость каждого клочка бумаги уникальна, и спекл-структура для неё является аналогом отпечатков пальцев человека.

Литература

1. М. Франсон. Оптика спеклов. – М.: Мир, 1980.

Калейдоскоп

Калейдоскоп

Калейдоскоп

Мышь в аэродинамической трубе

Те, кто наблюдал за полётом летучих мышей, отмечают удивительную быстроту смены ими направлений своего перемещения, превышающую манёвренность птиц, хотя летают они медленнее тех. Относительную медленность их движения можно объяснить тем, что перемещаться мышам в какой-то мере труднее, чем птицам. У последних при взмахе крыла вверх его перья поворачиваются, как пластины жалюзи, и частично пропускают воздух, чем снижают сопротивление движению. У мышей же кожистое сплошное крыло-мембрана испытывает сопротивление всей поверхностью.

Чтобы подробно изучить полёт мышей, шведский учёный Андрес Хеленстрем применил аэродинамическую трубу, в которой создавал искусственный туман для лучшей видимости завихрений потока воздуха вокруг них. Его исследования не объяснили пока высокой манёвренности рукокрылых, но установили похожесть их стиля передвижения на манеру полёта некоторых насекомых (по-видимому тех, которыми они питаются), зафиксировали образование отдельных вихрей около их конечностей и другие детали полёта.