



1953 – 2009

Власов Николай Георгиевич

*Доктор технических наук,
профессор Московского государственного
технологического университета
«Станкин».*

Спекл-эффект

В статье рассматриваются физические явления, приводящие к возникновению спекл-эффекта (пятнистой картины рассеянного света), описывается эксперимент, демонстрирующий этот эффект.

Все предметы, отражающие свет, можно разделить на зеркально и на диффузно отражающие (рассеивающие). Именно к последнему типу относится большинство окружающих нас предметов. Условие диффузного отражения, т. е. такого, при котором освещающее излучение рассеивается в достаточно большом телесном угле, заключается в том, чтобы средне-квадратическая высота микро-структуры поверхности была больше длины волны этого излучения. Ещё в середине XX века академиком И.В. Обреимовым было показано, что микроструктура поверхности объектов определяет картину диффузного отражения, которая описывается случайной функцией пространственных координат.

Вскоре после изобретения лазеров было замечено, что эта случайная зависимость переносится и на лазерное излучение, рассеянное такой поверхностью. В результате образуется так называемый спекл-эффект (рис. 1), представляющий собой случайную модуляцию интенсивности рассеянного излучения и наблюдающейся как в плоскости изображения, так и в любой промежуточной плоскости оптической системы или свободного пространства. (В переводе с английского «спекл» означает зерно, пятно.) Спекл-эффект можно

наблюдать не только в отражённом излучении, но и в прошедшем, например через матовое стекло.

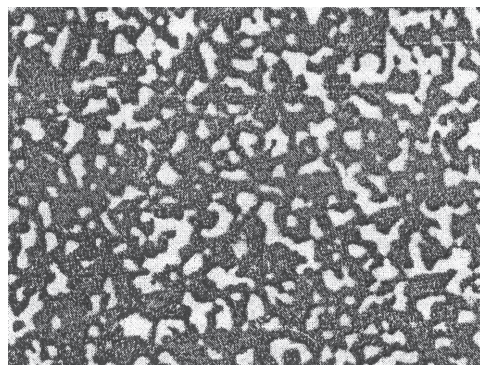


Рис. 1. Спекл-эффект в свободном пространстве, полученный при освещении излучением лазера круга диаметром 2 мм на матовом стекле

На первый взгляд может показаться, что эти хаотически распределённые 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 такие 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.

Напомним, что при прохождении монохроматических лучей 1, 2 (рис. 2) через малое круглое отверстие в непрозрачном экране 3 в плоскости изображения 4 будет наблюдаться дифракционная картина. При этом размер светового пятна дифракционного максимума будет равен

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

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

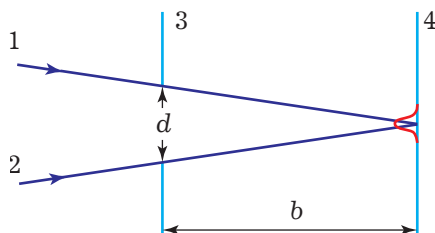


Рис. 2. К определению среднего размера спекл-структуры

В достаточно сложных теоретических работах было показано, что средний размер элементов спекл-структуры совпадает с размером дифракционного максимума. Значит, их размер может быть оценён по формуле (1). В этом случае под d следует понимать диаметр светового пучка, падающего на матовое стекло. В демонстрационном эксперименте, схема которого показана на рис. 3, размер d легко регулируется.

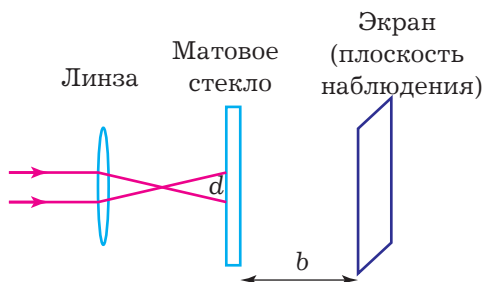


Рис. 3. Схема демонстрации спекл-эффекта

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 элемента спекл-структуры. Удаление матового стекла от этой плоскости приводит к увеличению d и, соответственно, к уменьшению δ . Особенно красивая картина наблюдается, если сделать δ равным нескольким миллиметрам – тогда она будет напоминать вид звёздного неба в ясную погоду. Если же смещать матовое стекло перпендикулярно плоскости рисунка, то одни яркие элементы спекл-структуры будут гаснуть, а вместо них вспыхивать другие. Возможно, этот красивый эффект когда-нибудь найдёт применение на дискотеках.

Другая интересная возможность – иное освещение участка матового стекла, что приводит к изменению формы усреднённого элемента спекл-структуры, случайно меняющейся в разных координатах (рис. 4).

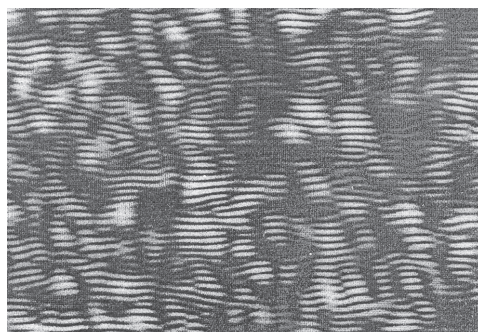


Рис. 4. Спекл-структура, полученная в свободном пространстве при освещении на матовом стекле двух круглых отверстий, расстояние между которыми в несколько раз больше, чем их диаметр

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

туры. Действительно, спекл-эффект наблюдается в когерентном лазерном излучении, и поэтому его «картинка» одноцветная. При помощи компьютерной обработки к ней можно добавить фон другого цвета, ввести полутона в псевдоцвета, т. е. каждому полутону поставить в соответствие свой цвет. Можно также «законтрастировать» спекл-структуру. Так, на рис. 5 представлен спекл-эффект, полученный при повышении контраста и добавлении однородного серого фона.

Спекл-эффект находит широкое применение в измерительной технике. Так, на его основе разработано новое направление в интерферометрии – спекл-интерферометрия. Оно позволило решить ряд задач, считавшихся в принципе неразрешимыми в классической и голографической интерферометрии. Например, оказалось возможным сравнивать по размерам и форме образцовое и контролируемые изделия, обла-

дающие 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 для человека.

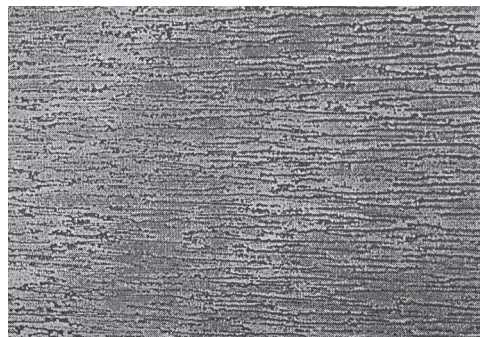


Рис. 5. Спекл-структура, полученная в свободном пространстве в случае освещения целого участка на матовом стекле при дополнительной компьютерной обработке

Литература

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

Юмор Юмор Юмор Юмор Юмор Юмор

Ньютон под яблоней

Справедливо и законно
С ветки яблоко слетело
На профессора Ньютона,
Превращая слово в дело!

Этот плод созрел, однако,
В час, когда созрев, повисли
У Ньютона Исаака
Выдающиеся мысли.

Не нуждался он в подсказке,
Мозг под яблоко подставя!
Он дождался только встряски –
Вековой нагрузки к славе!

Юнна Мориц

