

### 25.04.02 Новые эффекты сингулярной оптики

Новая, рождающаяся буквально на наших глазах область оптических исследований -- так называемая сингулярная оптика -- уже преподнесла целый ряд красивых и необычных явлений, происходящих в световой волне вблизи оптически сингулярных точек. Одно из этих явлений -- сильное искажение спектра световой волны в окрестности фазовой сингулярности -- было предсказано всего лишь несколько месяцев назад и уже получило экспериментальное подтверждение.

**Сингулярная оптика** -- термин, возникший всего лишь несколько лет назад -- охватывает совокупность направлений, интересующихся **фазовыми сингулярностями** (т.е. разрывами, точками ветвления фазы) в световой волне. Такие сингулярности могут возникать в тех точках, где интенсивность световой волны обращается в нуль, а значит, нет и требования на однозначность фазы волны. Кроме чисто фундаментального интереса (распределение поля в световой волне может быть очень нетривиальным в определенных геометриях!), есть подозрение, что такие "дислокационные дефекты" волнового фронта могут захватывать и удерживать атомы и молекулы (т.к. мы имеем здесь оптическую потенциальную яму). Для знакомства с темой, см. подробную популярную статью [Фотонный сканирующий микроскоп](#).

Интересно, что до сих пор подавляющее большинство работ относилось только к фазовым сингулярностям в **монохроматической** волне. Конечное спектральное распределение исследуемой волны считалось, по-видимому, чем-то, мешающим аккуратному изучению явления. Однако в работе [1] исследователи все же решили остановиться на **полихроматической** волне и в результате предсказали красивое явление **дифракционного искажения спектра**.

Суть явления достаточно проста. Пусть у нас есть полностью когерентный световой пучок, проходящий через достаточно большую, и для простоты, круглую диафрагму. Рассмотрим сначала случай строго монохроматического пучка. Тогда в режиме дифракции Фраунгофера мы получим в фокальной плоскости стандартную картину колец Эйри. При этом те точки, в которых происходит зануление интенсивности, являются кандидатами на точки фазовых сингулярностей.

Теперь предположим, что свет не строго монохроматичен, а имеет небольшой спектральный разброс (например, в виде гауссиана) вокруг центральной длины волны. Тогда окажется, что разные спектральные компоненты будут давать соответствующие темные кольца Эйри **в разных пространственных точках**. Таким образом, сканируя область вблизи фазовой сингулярности, отвечающей центральной длине волны, мы будем наблюдать сильные искажения спектрального распределения света.

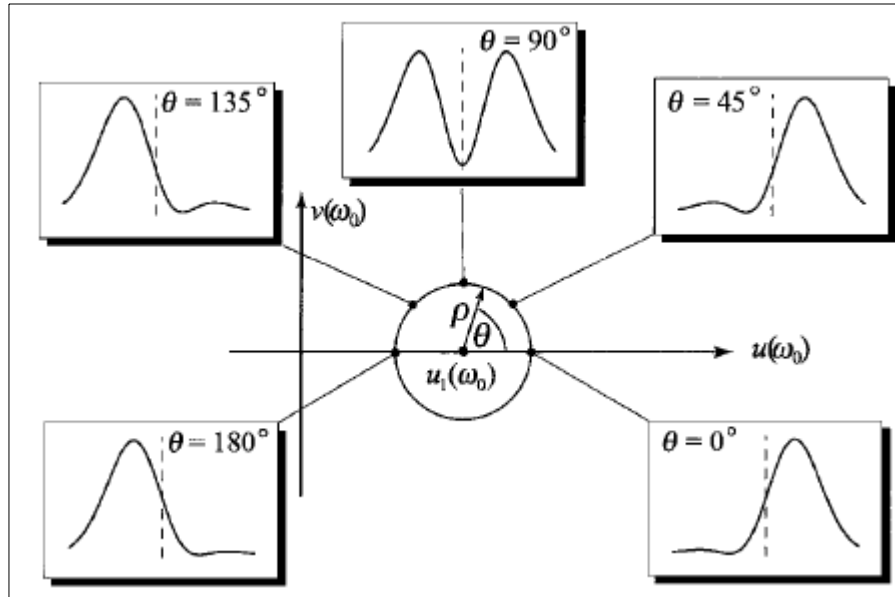


Рис.1 Теоретические предсказания искажений спектра световой волны вблизи фазовой сингулярности. Падающий спектр -- простой гауссиан с центром, отмеченным штриховой линией.

На Рис.1 показаны теоретические расчеты спектрального распределения в некоторых пространственных точках. Падающий свет имеет гауссово распределение с пиком, отмеченным вертикальной штриховой линией. Видно, что в зависимости от точки, снятый спектр может оказаться как смещенным в красную или голубую область, так и просто расщепленным на две части.

Такие интересные "игры" со спектральным распределением, естественно, не могли не заинтересовать экспериментаторов. Так, в недавней работе [2] экспериментальная группа из Университета Центральной Флориды в Орlando сообщила о прямом опытным подтверждении этого явления.

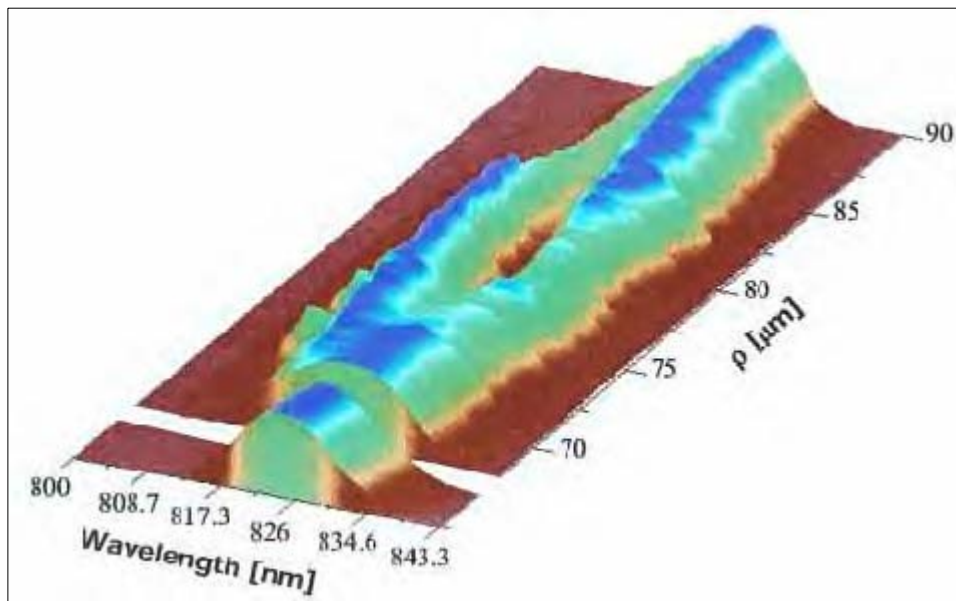


Рис.2 Высотно-цветовой профиль спектрального распределения волны в зависимости от расстояния до оси. Второе кольцо Эйри отвечает радиусу rho = 76.2 мкм.

На Рис.2 показаны результаты измерения спектрального распределения световой волны в фокальной плоскости (отвечающей центральной длине волны) в окрестности второго кольца Эйри. В этих экспериментах второе кольцо Эйри имело радиус 76.2 мкм; и, как видно на рисунке, именно в этой области эксперимент дает четкие двугорбый спектральный профиль. При удалении от этого кольца в пределах той же плоскости заметны также и другие, правда менее впечатляющие, эффекты: посинение и покраснение спектра.

Интересно, что для того, чтобы произвести эти, достаточно тонкие измерения, экспериментаторам потребовалось разработать новую методику исследования. Интерферометр, построенный авторами работы [2], работает с некогерентным пучком света, то есть, с маленькой продольной длиной когерентности, и при этом дает как интенсивность, так и фазу световой волны. Высокое пространственное разрешение достигается за счет того, что в качестве зеркала в измеряющем рукаве интерферометра использовалась перемещаемая металлическая сфера диаметром 0.75 мм, что позволяло достичь точности в поперечной координате порядка микрона.

Авторы надеются, что как сам эффект, обнаруженный в эксперименте, так и разработанная ими методика, станут стимулом для дальнейшего развития сингулярной оптики. Кроме того, авторы высказывают предположение, что аналогичные явления могут иметь место не только в световой, но и в других волнах.

Ссылки:

[1] G.Gbur, T.D.Visser, E.Wolf, Phys.Rev.Lett. 88, 013901 (2002)

[2] G.Popescu, A.Dogariu, Phys.Rev.Lett. 88, 183902 (2002)

[Игорь Иванов](#)

[Обсудить на форуме](#)

---

[На главную страницу](#)