

Тогда в соответствии с (33) эволюция квадратур  $x, y$  даётся соотношениями

$$x(t, z) = x_0(t - z/u) \exp(\beta \rho_H z),$$

$$y(t, z) = y_0(t - z/u) \exp(-\beta \rho_H z),$$

т. е. усиливается синфазная квадратура  $x$ , а противофазная  $y$  — подавляется. Для стационарного гауссова шума с дисперсией  $\sigma^2$  дисперсии квадратур изменятся так

$$\langle \Delta x^2 \rangle = \sigma^2 \exp(2\beta \rho_H z), \quad \langle \Delta y^2 \rangle = \sigma^2 \exp(-2\beta \rho_H z),$$

т. е. флуктуации квадратурных компонент при параметрич. усилении сигнала становятся неодинаковыми (рис. 14, б).

Аналогично ведут себя при параметрич. усилении квантовые вакуумные флуктуации в поле интенсивной классич. накачки. В квантовом сжатом состоянии вакуумные флуктуации одной из квадратурных компонент оказываются подавленными, а флуктуации другой увеличиваются. Естественно, при этом должно удовлет-

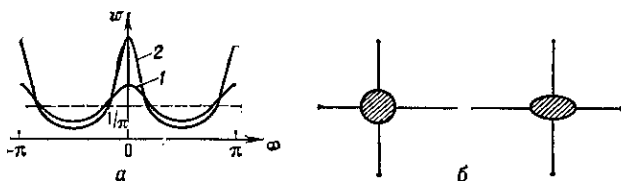


Рис. 14. Классический шумовой сигнал при параметрическом усилении: а — плотность вероятности распределения фазы обычного стационарного шума (штриховая линия) и шума при сжатом состоянии (кривые 1 и 2, для 2 коэф. усиления больше); б — области флуктуаций на фазовой плоскости обычного (слева) и сжатого (справа) шума.

воряться соотношение неопределённости. Если при измерениях система реагирует лишь на одну квадратуру, шум фотодетектирования оказывается ниже уровня дробового шума. Подробнее см. *Сжатое состояние*.

### 10. Нелинейный отклик в физике воздействия лазерного излучения на вещество

Нелинейный отклик среды играет важную, а часто и решающую роль в механизмах лазерного возбуждения и релаксации сильнонеравновесных состояний в атомах, молекулах и конденсиров. средах. Первой яркой демонстрацией этого стало открытие и практич. использование селективного многофотонного возбуждения и многофотонной диссоциации молекул в сильном лазерном ИК-поле. Оказалось, что молекула может быть сильно возбуждена и затем диссоциирована при резонансном поглощении десятков фотонов из лазерного ИК-импульса интенсивностью  $\sim 10$  МВт/см<sup>2</sup> и плотностью энергии  $\sim$  неск. Дж/см<sup>2</sup> (см. *Инфракрасная многофотонная диссоциация*). Этот процесс сильно влияет на хим. реакции; будучи селективной по частоте, многофотонная диссоциация в ИК-поле может быть использована для лазерного *изотопов разделения*.

Др. важный пример — своеобразные нелинейные самовоздействия волн на поверхности металлов и полупроводников, приводящие к возникновению периодич. поверхностных структур (рис. 15). Возникают они самопроизвольно, когда интенсивность лазерного излучения оказывается достаточно высокой; это связано с пространственно неоднородным нагревом поверхности. Необходимое для этого неоднородное поле является результатом интерференции падающей лазерной волны с полем поверхностной волны. При этом важную роль играет появляющаяся обратная связь, когда образовавшиеся периодич. структуры существенно влияют на условия рассеяния лазерного излучения в дифрактив. волны — возникают явления, имеющие много общего с вынужденным рассеянием. В разл. условиях могут возникать неустойчивости *поверхности*

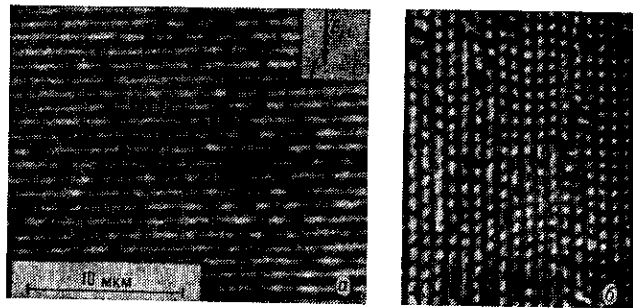


Рис. 15. Характерные периодические структуры, наводимые лазерным излучением на поверхности твёрдых тел: а — одномерная решётка на поверхности Ge, наводимая излучением неодимового лазера; б — двумерная решётка, возникающая на поверхности при увеличении интенсивности лазера.

ных акустических волн, капиллярных волн в расплавах и жидких металлах и интерференц. неустойчивости испарения поверхности. Создаваемый лазерным излучением рельеф может кардинально менять поглощат. и отражат. свойства поверхности: подавлять зеркальное отражение эл.-магн. волны, приводить к резкому возрастанию (до 100%) энерговода лазерного излучения в среду и т. п.

### 11. Быстрое управление фазой и генерация фемто-секундных лазерных импульсов

Нелинейные оптич. методы быстрого управления фазой и техника компрессии сверхкоротких импульсов (техника фокусировки во времени) сыграли важную роль в получении предельно коротких, фемтосекундных (длительностью  $\sim 10^{-15}$  с) световых импульсов. В основе методов лежит явление фазовой самомодуляции, приводящее к уширению спектра импульсов [см. ф-лы (35а) и (35б)]. Для компрессии таких импульсов в случае  $n_2 > 0$  необходима среда с аномальной дисперсией групповой скорости: макс. коэф. сжатия импульса [см. (35б)]

$$S_{\text{макс}} = \tau_0 / \tau_{\text{мин}} \approx \left| \frac{\partial^2 k}{\partial \omega^2} \right| n_2 I_0 L,$$

где  $\tau_{\text{мин}}$  — мин. длительность импульса при компрессии. В качестве сред с аномальной дисперсией могут быть использованы пары металлов (в области частот вблизи однофотонного резонанса), устройства, состоящие из двух дифракц. решёток, нек-рые типы интерферометров. Оптимальной величиной средой для получения фазовой самомодуляции оказываются однодольные волоконные световоды. Малость нелинейности (для кварцевого волокна  $n_2 = 3,2 \cdot 10^{-13}$  см<sup>2</sup>/кВт) с избытком компенсируется возможностью поддержания устойчивого поперечного профиля пучка диам. 5—10 мкм на расстояниях порядка длины поглощения  $l_n \approx \delta^{-1}$  (в видимом диапазоне  $l_n = 10^4 - 10^6$  см). Оптич. компрессор, состоящий из волновода с нормальной дисперсией и двух дифракц. решёток, позволяет получить  $S \approx 10^2$ . Существ. сжатия могут быть получены и при генерации оптич. солитонов.

### 12. Обработка информации и оптические компьютеры

Быстро развивающаяся область приложения методов Н. о. — разработка новых систем *оптической обработки информации*, создание оптич. цифровых и аналоговых процессоров.

В основу создания быстродействующих двоичных оптич. триггеров для цифрового оптич. процессора может быть положена амплитудная оптич. бистабильность. С практич. точки зрения наиб. впечатляющ. прогресс в технологии амплитудных оптич. триггеров на полупроводниковых микрорезонаторах. На рис. 16 показана ячейка бистабильных оптич. микрорезонаторов на GaAs — AlAs-сверхрешётках. Логич. устрой-