



# ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ РАССЕЯНИЕ

Авторы: Д. Н. Клышко, С. П. Кулик

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ РАССЕЯНИЕ света, неупругое рассеяние света в нелинейной среде, диэлектрич. проницаемость которой модулируется полем электромагнитной волны. П. р. объясняется спонтанным распадом фотонов падающего света на пары фотонов с меньшими энергиями в результате взаимодействия электромагнитного поля с веществом. При этом состояние вещества не изменяется, поэтому для взаимодействующих фотонов выполняется закон сохранения энергии:

$$\hbar\omega_{\text{н}} = \hbar\omega_{\text{с}} + \hbar\omega_{\text{х}},$$

где

$\omega_{\text{н}}$  – частота падающего света (накачки),

$\omega_{\text{с}}$  и

$\omega_{\text{х}}$  – частоты рассеянного света,

$\hbar$  – постоянная Планка. В спонтанном П. р., как и в вынужденных параметрич.

процессах, падающая волна – накачка (частоты

$\omega_{\text{н}}$ ), рассеянные волны – сигнальная (частоты

$\omega_{\text{с}}$ ) и холостая (частоты

$\omega_{\text{х}}$ ). Вынужденное П. р. лежит в основе действия [параметрических генераторов света](#)

и параметрич. усилителей света.

Для эффективного П. р. необходимо выполнение условия [фазового синхронизма](#):

$$\mathbf{k}_{\text{н}} = \mathbf{k}_{\text{с}} + \mathbf{k}_{\text{х}},$$

где

$\mathbf{k}_{\text{н}}$ ,

$\mathbf{k}_{\text{с}}$ ,

$\mathbf{k}_{\text{х}}$  – волновые векторы накачки, сигнала и холостой волны в веществе. П. р. имеет

следующие осн. свойства: 1) широкий непрерывный спектр рассеянного излучения, не зависящий от собств. частот атомов и молекул среды; 2) частота рассеянного света зависит от угла рассеяния; 3) рассеянный свет состоит из коррелированных попарно фотонов («бифотонов») и может быть «сжатым», т. е. иметь неодинаковые дисперсии квадратурных амплитуд. П. р. называют также параметрич. люминесценцией или параметрич. преобразованием частоты света вниз.

П. р. можно описать с помощью макроскопич. уравнений Максвелла и понятия нелинейной восприимчивости среды. Если в среде с квадратичной нелинейной восприимчивостью

$\chi^{(2)}$  распространяются 2 волны с частотами

$\omega_n$  и

$\omega_x$ , то возникает третья – сигнальная волна с разностной частотой

$\omega_c$ .

П. р. можно также трактовать как рассеяние падающего света накачки на квантовых флуктуациях холостого поля среды, напр. на поляритонах – квантах электромагнитного внутрикристаллич. поля. В среде с кубич. нелинейной восприимчивостью

$\chi^{(3)}$  наблюдается т. н. рассеяние света на свете – рассеяние с участием 2 фотонов накачки (гиперпараметрич. рассеяние).

В спонтанном режиме П. р. коэф. параметрич. преобразования холостых волн в сигнальные линейно зависит от интенсивности накачки.

В квантовой оптике и квантовой связи П. р. является эффективным источником излучения коррелированных пар фотонов. Формально это свойство спонтанного П. р. выражается в необычной статистике фотонов: корреляция чисел фотонов в модах, связанных условием синхронизма, совпадает со ср. числами фотонов в каждой моде (или объёме когерентности):

$\langle n_c n_x \rangle - \langle n_c \rangle \langle n_x \rangle = \langle n_c \rangle = \langle n_x \rangle \ll 1$ . При этом относительная корреляция

$\langle n_c n_x \rangle / \langle n_c \rangle \langle n_x \rangle \gg 1$  (эффект группировки фотонов, или «сверхпуассоновской статистики»).

За счёт полной корреляции фотонов в разных модах частотно-углового спектра на основе П. р. создаются «перепутанные» двухкомпонентные оптич. системы высокой размерности. При этом степень перепутывания, связанная с размерностью пространства состояний сигнальной и/или холостой мод, определяется отношением ширин корреляционных функций интенсивности 1-го и 2-го порядков и может принимать значения вплоть до нескольких тысяч. На основе П. р. также приготавливаются элементы поляризационной логики (кутриты и кукварты) и уникальное поляризационное состояние «скалярный свет». Двухфотонный характер поля П. р. можно использовать в фотометрии для абсолютного (безэталонного) измерения эффективности

$\eta$  фотодетекторов (т. н. метод Клышко). Если известно, что фотоны попадают на счётчик фотонов только парами, то вероятность появления на выходе счётчика двойного импульса

$p_2 = \eta^2$ , а вероятность одиночного импульса

$p_1 = 2\eta(1 - \eta)$ . Отсюда

$\eta$  определяется относит. числом двойных импульсов:

$\eta = (1 + p_1/2p_2)^{-1}$ . Др. фотометрич. применение П. р. – абсолютное измерение яркости источников излучения. Пространственные особенности П. р. света используются в [квантовой обработке изображений](#).

Эффект П. р. света применяется также в спектроскопии кристаллов для определения линейных и нелинейных параметров пьезокристаллов, их стехиометрич. состава, для обнаружения слабых колебаний кристаллич. решётки, исследования доменной структуры, фазовых переходов и др.

При большой интенсивности накачки коэф. параметрич. преобразования и спектральная яркость малоуглового П. р. зависят от интенсивности накачки экспоненциально (вынужденное П. р., или параметрич. сверхлюминесценция). Это явление используется для генерации мощных перестраиваемых по частоте пикосекундных импульсов света, а также в квантовой оптике и квантовой связи для создания «пучков-близнецов».

## Литература

Лит.: Клышко Д. Н. Фотоны и нелинейная оптика. М., 1980; Клышко Д. Н., Пенин А. Н.

Перспективы квантовой фотометрии // Успехи физических наук. 1987. Т. 152. № 8.

Processing math: 100%