

распада или слияния фотонов соответствующих частот. Напр., процесс параметрической люминесценции наглядно трактуется как распад фотонов накачки частоты ω_1 , происходящий под воздействием тепловых фотонов среды частот ω_2 и Ω .

Четырёхволновые взаимодействия. Для нецентросимметричных *нелинейных сред* в разложении поляризации (1) квадратичный член отсутствует, поэтому в таких средах существенна кубичная восприимчивость и в них возможны лишь четырёхволновые В. с. в. Участие во взаимодействии четырёх волн приводит к большому разнообразию нелинейных эффектов; некие из них имеют много общих свойств с трёхволновыми взаимодействиями.

В общем случае между частотами ω_n и волновыми векторами k_n световых волн, взаимодействующих в средах с кубичной нелинейностью, имеют место соотношения

$$\omega_4 = \pm \omega_1 \pm \omega_2 \pm \omega_3, \quad k_4 = \pm k_1 \pm k_2 \pm k_3. \quad (5)$$

Подстановка (2) в выражение для кубич. поляризации $P^{(3)} = \chi^{(3)} E^3$ показывает, что $P^{(3)}$ имеет компоненты на частотах $3\omega_1, 2\omega_1 - \omega_1, \omega_1 + \omega_2 - \omega_2, 2\omega_1 + \omega_2, \omega_1 + 2\omega_2, 2\omega_1 - \omega_2, 3\omega_2, \dots$ и т. д. Как уже отмечалось, каждая поляризация может приводить к переизлучению световой волны на соответствующей частоте. Т. о., в среде с кубической восприимчивостью $\chi^{(3)}$ возможна генерация световой волны третьей гармоники $3\omega_1$. На частоте ω_1 исходной световой волны имеются две поляризации, одна из к-рых соответствует комбинации волновых векторов $k_1 + k_1 - k_1$, а другая $-k_1 + k_2 - k_2$. С первой поляризацией связано явление *самовоздействия света*, а со второй — явление *кроссвзаимодействия*. Эти явления отсутствуют в квадратичных средах; в их основе лежит кубич. зависимость поляризации среды и, следовательно,

показателя преломления среды от интенсивности распространяющихся световых волн. Наличие эффектов самовоздействия и кроссвзаимодействия является характерной особенностью всех четырёхволновых В. с. в. Остальные указанные выше комбинации частот относятся к процессам четырёхфотонного смешения. Очень важным свойством обладает вырожденное

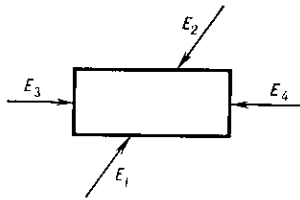


Рис. 2. Схема вырожденного четырёхволнового взаимодействия.

четырёхволновое взаимодействие волн одинаковой частоты (рис. 2). В случае, когда волны E_1 и E_2 с противоположными направлениями распространения являются интенсивными (накачками) и на среду падает слабая волна E_3 , в нелинейной среде возбуждается волна E_4 с амплитудой A_4 , комплексно сопряжённой амплитуде слабой волны ($A_4 \approx A_3^*$). Эта схема четырёхволнового взаимодействия используется для *обращения волнового фронта* с усилением.

Трёх- и четырёхволновые В. с. в. лежат в основе двух направлений современной лазерной оптики: *нелинейной спектроскопии* и прикладной нелинейной оптики, в к-рой нелинейнооптич. процессы используются для преобразования изображений и частот, обращения волнового фронта, для создания новых источников когерентного оптич. излучения и т. п.

Лит.: 1) Ахманов С. А., Хохлов Р. В., Проблемы нелинейной оптики, М., 1964; 2) Ахманов С. А., Коростев Н. И., Методы нелинейной оптики в спектроскопии рассеяния света, М., 1981; 3) Дмитриев В. Г., Тарасов Л. В., Прикладная нелинейная оптика, М., 1982; 4) Клычко Д. Н., Фотоны и нелинейная оптика, М., 1980; 5) Черник Ф., Миддлмантер Дж., Прикладная нелинейная оптика, пер. с англ., М., 1976. А. С. Чиркин.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЧАСТИЦ С ВОЛНАМИ — характерно для разреженной высокотемпературной плазмы

(так же как и взаимодействие волн с волнами) в отличие от жидкости или газа, где взаимодействуют только частицы с частицами. Даже в равновесной плазме флуктуации плотности в электрич. продольных колебаниях обладают заметными рассеивающими свойствами наряду с парными соударениями частиц. Рассеяния частиц и за счёт парных соударений, и на колебаниях (волнах) могут рассматриваться как частные случаи взаимодействия частиц с флуктуациями микрополей. При этом парные соударения — результат рассеяния на флуктуациях микрополей с пространственными размерами меньше *дебавевского радиуса экранирования* $r_D = \sqrt{T/4\pi n e^2}$, а рассеяние на флуктуациях с размерами, большими r_D , определяет вклад плазменных колебаний.

Длина l свободного пробега электрона из-за взаимодействия с равновесными флуктуациями электрич. полей в плазме определяется соотношением $l \approx 8r_D v^2 \times (m_e \omega_p / e E)^2$, где e — заряд электрона, m_e и v — его масса и скорость, ω_p — электронная ленгмювская частота, E — амплитуда электрич. поля равновесных колебаний. Принимая во внимание, что тепловой уровень флуктуац. колебаний $E^2 \approx 8\pi T / r_D^3$ (T — температура плазмы в энергетич. единицах), получаем, что длина рассеяния электронов на тепловых шумах $l \approx 10^3 T / n$ (n — плотность плазмы). Соизмерение этой длины рассеяния с длиной рассеяния за счёт парных электронно-ионных столкновений $l_{ei} \approx 4,5 \cdot 10^3 T^2 / n L_K$ (L_K — т. н. *кулоновский логарифм*) показывает, что $l / l_{ei} \sim L_K$, т. е. длина пробега электрона из-за рассеяния на термодинамически равновесном фоне плазменных колебаний в несколько ($L_K \sim 10$) больше длины свободного пробега из-за парных соударений. Т. о., вклад поля колебаний с $\lambda > r_D$ в процессы рассеяния электронов оказывается несколько на порядок меньше рассеяния из-за парных соударений.

В неравновесной плазме, когда её параметры приближаются к значениям, соответствующим границе устойчивости, увеличивается уровень флуктуац. колебаний. Соответственно увеличивается вклад колебаний в рассеяние частиц, к-рый может превзойти вклад от парных соударений. Возникает т. н. явление *опалесценции критической*, сходное с аналогичным оптич. явлением.

В неустойчивой плазме амплитуды плазменных колебаний возрастают до значений, на много порядков превышающих тепловой уровень. При этом рассеяние частиц на колебаниях становится преобладающим и отвечает за аномальные процессы переноса в плазме (*турбулентная диффузия, аномальное сопротивление плазмы* и т. п.).

В. ч. с. в. приводит не только к изменению со временем ф-ции распределения частиц в координатном пространстве и по компонентам скоростей, но и к изменению во времени характеристик волн (амплитуды, фазы, спектральных характеристик). В равновесной плазме В. ч. с. в. отвечает за *бесстолкновительное затухание* волн, возникающее за счёт поглощения энергии волны резонансными частицами (см. *Ландау затухание*).

В неравновесной плазме, когда ф-ция распределения частиц существенно отличается от максвелловской, В. ч. с. в. приводит к появлению разл. рода неустойчивостей (см. *Неустойчивости плазмы*).

Обратное воздействие возбуждаемых при неустойчивости колебаний на резонансные частицы приводит к релаксации исходного неустойчивого состояния, так что система возвращается на порог устойчивости. Такую бесстолкновительную релаксацию плазмы обычно исследуют в квазилинейном приближении (см. *Квазилинейная теория плазмы*).

В плазме возможно также нелинейное резонансное взаимодействие волна — частица, когда в резонанс с частицами попадает биеие двух волн (ω_1, k_1), (ω_2, k_2): $(\omega_1 - \omega_2) = (k_1 - k_2) v$. Этот процесс наз. *индуцированным рассеянием* волн на частицах плазмы. Индуцир. рассеяние особенно существенно, когда число