



ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СВЕТОВЫХ ВОЛН

Авторы: А. С. Чиркин

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СВЕТОВЫХ ВОЛН в нелинейной среде, связано с энергообменом между световыми волнами разных частот и разных направлений распространения и приводит к ряду нелинейно-оптич. явлений, напр. к генерации гармоник (см. [Нелинейная оптика](#)). В общем случае В. с. в. может происходить с участием индуцированных светом возбуждений в среде (оптич. и акустич. фононов, магнонов и т. п.). Такие нелинейные взаимодействия называются [вынужденным рассеянием света](#).

В сильных лазерных полях поляризация среды

P нелинейно зависит от напряжённости электрич. поля

$E: P = \chi^{(1)}E + \chi^{(2)}E^2 + \chi^{(3)}E^3 + \dots$, где $\chi^{(1)}$ – линейная диэлектрическая восприимчивость среды,

$\chi^{(2)}$ и $\chi^{(3)}$ – квадратичная и кубичная восприимчивости (см. [Нелинейные восприимчивости](#)).

Для сред с квадратичной нелинейностью характерны трёхволновые (трёхчастотные, трёхфотонные) В. с. в., для сред с кубичной нелинейностью – четырёхволновые (четырёхчастотные, четырёхфотонные) взаимодействия.

При распространении в среде с

$\chi^{(2)} \neq 0$ интенсивных плоских световых волн

$E_1 = A_1 \cos(\omega_1 t - k_1 z)$ и $E_2 = A_2 \cos(\omega_2 t - k_2 z)$, где

t – время,

ω_1, ω_2 – частоты,

k_1, k_2 – волновые числа,

A_1, A_2 – амплитуды волн,

z – направление распространения, создаются нелинейные поляризации на

комбинационных частотах. Возникают поляризации на удвоенных частотах

$2\omega_1$ и

$2\omega_2$ и на суммарной

$\omega_3 = \omega_1 + \omega_2$ и разностной

$\Omega = \omega_1 - \omega_2$ частотах, которые при определённых условиях приводят к переизлучению волны на соответствующей частоте. Так, для возникновения поля на суммарной частоте

ω_3 (с волновым числом

3) необходимо, чтобы выполнялось условие фазового синхронизма:

$\Delta = \beta_3 - \beta_1 - \beta_2 = 0$. В этом случае амплитуды световых волн, излучаемых разл.

диполями в разных точках среды, складываются в одинаковой фазе и происходит накопление нелинейного эффекта по мере увеличения размеров области В. с. в.

Кроме того, возникает постоянная поляризация среды

$P_0 = 0,5\chi^{(2)}(A_1^2 + A_2^2)$, используемая при оптич. детектировании (см. [Детектирование света](#)).

Синхронное В. с. в.

($\Delta = 0$) в нелинейно-оптич. кристаллах реализуется обычно для волн с разными поляризациями. При наличии пространственной модуляции нелинейной восприимчивости с периодом

Λ (в кристаллах с регулярной доменной структурой, в фотонных кристаллах)

возможны т. н. квазисинхронные взаимодействия, при которых

$\Delta = (2\pi/\Lambda)m$, где

m – порядок квазисинхронизма.

С поляризацией на разностной частоте

$\Omega = \omega_1 - \omega_2$ связаны процессы генерации разностной частоты и усиления волны

частоты ω_2 . Если на входе нелинейной среды одна из световых волн, напр. частоты

ω_1 , является более интенсивной, то она модулирует в пространстве и во времени

диэлектрич. проницаемость среды, что приводит к параметрич. нарастанию волн на частотах

ω_2 и

Ω (см. [Параметрический генератор света](#)). В случае вырожденного параметрич. В. с. в.

частота усиливаемой волны является субгармоникой по отношению к частоте накачки:

$\Omega = \omega_2 = \omega_1/2$. Трёхчастотные В. с. в. можно трактовать как когерентные процессы распада или слияния фотонов соответствующих частот. В параметрич.

невырожденном взаимодействии фотоны накачки частоты ω_1 распадаются на фотоны с частотами

ω_2 и

Ω . При этом на генерируемых частотах формируется свет с неклассическими, сугубо квантовыми свойствами: поля в сжатом состоянии или фотонные перепутанные состояния. Источники такого света представляют интерес для прецизионных измерений, обработки и передачи информации, квантовых вычислений (см. Квантовая оптика).

Для четырёхволнового взаимодействия характерно большое разнообразие нелинейных эффектов; некоторые из них имеют много общих черт с трёхволновыми взаимодействиями. В общем случае между частотами

ω_n и волновыми векторами

k_n световых волн, взаимодействующих в средах с кубической нелинейностью, имеют место соотношения:

$\omega_4 = \omega_1 \pm \omega_2 \pm \omega_3$, $k_4 = \pm k_1 \pm k_2 \pm k_3$. При этом в случае падающих на нелинейную среду двух интенсивных волн с частотами

ω_1 и

ω_2 кубическая поляризация

$P^{(3)} = \chi^{(3)} E^3$ имеет компоненты на частотах

$3\omega_1$, $2\omega_1 - \omega_1$, $\omega_1 + \omega_2 - \omega_2$, $2\omega_1 + \omega_2$, $\omega_1 + 2\omega_2$ и т. д. Т. о., в среде с кубической восприимчивостью возможна генерация третьей гармоники световой волны

$3\omega_1$. На частоте ω_1 исходной световой волны имеются две поляризации, одна из которых 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 – кроссвзаимодействие, т. е. перекрёстное взаимодействие волн с векторами

k_1 и

k_2 . Таких эффектов нет в квадратичных средах, они характерны только для

четырёхволновых В. с. в. и основаны на зависимости показателя преломления среды от интенсивности распространяющихся световых волн. Др. указанные выше комбинации частот относятся к процессам четырёхфотонного смешения. Очень важным свойством обладает четырёхволновое взаимодействие волн с одинаковыми частотами. Если противоположно направленные волны

E_1 и

E_2 являются интенсивными (накачками) и на нелинейную среду падает слабая волна E_3 , то в среде возбуждается волна

E_4 с амплитудой, комплексно-сопряжённой амплитуде слабой волны. При таком взаимодействии происходит перекачка энергии от волн

E_1 и

E_2 в волну

E_4 . Эта схема четырёхволнового взаимодействия используется для обращения волнового фронта с усилением. Трёх- и четырёхволновые В. с. в. составляют основу нелинейной спектроскопии, квантовой оптики, прикладной нелинейной оптики.

Литература

Лит.: Ахманов С. А., Хохлов Р. В. Проблемы нелинейной оптики. М., 1964; Клышко Д. Н. Фотоны и нелинейная оптика. М., 1980; Ахманов С. А., Коротеев Н. И. Методы нелинейной оптики в спектроскопии рассеяния света. М., 1981.

Processing math: 100%