

другом через поле излучения. В результате атомы, находящиеся в макроскопически большом объеме, излучают когерентно. Поскольку полная энергия, излучаемая коллективом атомов, равна $N\hbar\omega_0$ (ω_0 — частота перехода), то интенсивность излучения $I \propto N\hbar\omega_0/\tau \propto N^2$. В случае же обычного спонтанного излучения, когда атомы распадаются независимо друг от друга со временем спонтанного распада T_1 , не зависящим от числа излучателей, интенсивность $I \propto N\hbar\omega_0/T_1 \propto N$.

С ансамбля излучателей обуславливается воздействием поля, испущенного одним из осцилляторов, на все остальные излучатели ансамбля. Именно это воздействие способно привести к когерентизации процесса испускания излучения ансамблем осцилляторов. Эфф. самонаведение корреляций между дипольными моментами осцилляторов возможно лишь в том случае, когда время этого процесса τ_k меньше времени релаксации дипольного момента атома T_2 , а также меньше T_1 (обычно $T_2 < T_1$). Таким образом, С. представляет собой нестационарный процесс, протекающий за время, меньшее T_1 и T_2 . Установление корреляций между излучателями происходит самопроизвольно в процессе излучения, этим С. отличается принципиально от нестационарных когерентных процессов, обусловленных внеш. когерентной накачкой, таких, как *самоиндуцированная прозрачность, фотонное эхо* и др.

По характеристикам и условиям наблюдения С. отличается и от обычного спонтанного излучения, и от стимулиров. излучения. Это отличие можно рассмотреть на примере типичного эксперимента по наблюдению С. (рис. 1, б). Внутри макроскопически большого, вытянутого и открытого с обоих концов цилиндра длиной L и площадью основания Z ($L \gg \sqrt{Z}$, $V = LZ$,

мнених параметров: T_1, T_2, τ_k , а также $\tau = L/c$ — времени пролёта фотона через среду. Если плотность атомов настолько мала, что $T_1 < \tau_k$, то каждый атом распадается независимо от других и система излучает спонтанно и изотропно по всем направлениям с характерным временем T_1 (рис. 2, б).

Если же выполняется условие

$$\tau \ll \tau_k \ll T_2, T_1,$$

то наблюдается С. Правое неравенство означает, что коллективные процессы протекают быстрее, чем релаксация, процессы в каждом атоме. Левое неравенство означает, что фотоны покидают объём за время, меньшее времени наведения межатомных корреляций, так что стимулиров. процессами во время развития С. можно пренебречь. При выполнении этих условий система N атомов излучает импульс С., пиковая интенсивность к-рого на неск. порядков превосходит интенсивность спонтанного излучения, причём осн. часть излучения направлена вдоль наиб. вытянутости объёма (рис. 2, в). При $\tau \sim \tau_k$ часть излучённой энергии снова захватывается в атомную подсистему и излучение формируется в виде последовательности импульсов с уменьшающимися амплитудами (рис. 2, в) — осцилляторный режим С.

Важной характеристикой С. является время задержки импульса t_0 , определяемое по моменту наблюдения максимума импульса, к-рое примерно на порядок превосходит длительность самого импульса С. ($t_0 \sim \tau_k \ln N$). Такая задержка импульса С. объясняется тем, что процесс распада начинается с изотропного спонтанного излучения, и лишь благодаря взаимодействию атомов через поле излучения в системе происходит нарастание корреляций дипольных моментов атомов, к-рые достигают макс. значения как раз в момент t_0 .

В случае $T_2 < \tau \ll \tau_k$ наблюдается режим усиления спонтанного излучения. Левое неравенство означает, что поляризация быстро подстраивается под поле, а правое — то, что фотоны остаются внутри среды на время τ , достаточное для лавинообразного нарастания стимулиров. излучения (протекающего за время τ_k). В литературе процесс усиления спонтанного излучения наз. также часто *сверхлюминесценцией*. С. отличается от него тем, что в формировании С. вынужденные переходы атомов практически не играют роли.

Эффект С. имеет как общезнач., так и прикладное значение. С физ. точки зрения эффект С. является примером кооперативного поведения системы N частиц, взаимодействующих с эл.-магн. полем. Вопросы о формировании скоррелиров. состояния в такой системе, выяснение роли геометрии среды в формировании пространственной когерентности и влияния формы на скорость указанных процессов представляют общий интерес. С прикладной точки зрения эффект С. имеет значение как один из методов получения когерентного излучения в беззеркальных системах. Особенно это важно для КВ-диапазона (рентгеновского и гамма-излучения), где трудно надеяться на получение высокоотражающих зеркал. Теоретич. оценки показывают, что С. может оказаться возможным механизмом генерации когерентного излучения в этих диапазонах.

Лит.: 1) Dicke R. H., Coherence in spontaneous radiation processes, «Phys. Rev.», 1954, в. 93, р. 99; 2) Андреев А. В., Оптическое сверхизлучение: новые идеи и новые эксперименты, «УФН», 1990, т. 160, в. 12, с. 1; 3) Андреев А. В., Емельянов В. И., Ильинский Ю. А., Кооперативные явления в оптике. Сверхизлучение. Выходные процессы. Фазовые переходы, М., 1988; 4) Кооперативное излучение и статистика фотонов, Л., 1988.

А. В. Андреев.

СВЕРХИНЖЕКЦИЯ — явление, возникающее при инжекции неосновных носителей заряда в *гетеропереходе*, заключающееся в превышении концентрации неосновных носителей в материале, в к-рый происходит инжекция, по сравнению с концентрацией носителей в эмитте-

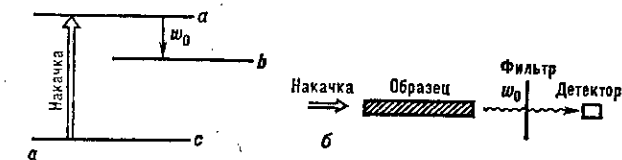


Рис. 1. Схема рабочих уровней (а) и экспериментальной установки (б) в типичном эксперименте по наблюдению сверхизлучения.

$n = N/V$ находится N двухуровневых атомов. Сначала атомы переводятся в верх. состояние (рис. 1, а) достаточно коротким ($\tau_n < \tau_k$) импульсом накачки так, чтобы состояние системы было некогерентным (т. е. корреляции между дипольными моментами отсутствуют). Затем начинается свободный распад системы инвертиров. атомов, характер к-рого зависит от соотношения вре-

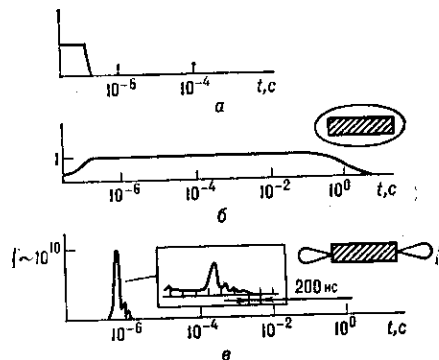


Рис. 2. Сравнение сверхизлучения и некогерентного спонтанного распада: а — импульс накачки, инвертирующий рабочий переход; б — интенсивность излучения в случае некогерентного спонтанного распада ($T_1 \sim 1$ с); в — наблюдаемый остронаправленный сигнал сверхизлучения (газ HF), пиковая интенсивность сигнала сверхизлучения примерно в 10^{10} раз превосходит интенсивность спонтанного распада.