

объяснить тот факт, что звук большей интенсивности кажется более богатым низкими тонами. Разностный тон определяет также способность уха возмещать низкие тона, срезаемые при передаче звука по каналам связи. Суммовой тон (частота $\omega_1 + \omega_2$) и др. К. т. более высокого порядка являются гораздо более слабыми и часто лежат вне слышимого диапазона частот.

Объективными и наз. К. т., образующиеся вне человеческого уха, напр. благодаря нелинейности самого источника звука или звукопроводящей среды (см. *Нелинейная акустика*).

К. т. находят широкое применение при измерении частот и фаз акустических сигналов, для исследования нелинейных искажений в акустической аппаратуре, при параметрическом излучении звука (см. *Параметрическое возбуждение колебаний*), а также имеют большое значение в теории музыкальных инструментов.

Лит.: Лэмб Г., Динамическая теория звука, пер. с англ., М., 1960.

КОМБИНАЦИОННЫЙ ЛАЗЕР — нелинейно-оптич. преобразователь когерентного света на основе вынужденного рассеяния (ВР). Назван также *лазером*, хотя в нём происходит не вынужденное излучение, а вынужденное рассеяние света. При возбуждении нелинейной среды (газа, жидкости, твёрдого тела) интенсивным (лазерным) светом с частотой ν_n (накачкой) последняя в результате ВР преобразуется в излучение другой, обычно низкочастотной (стоксовой) частоты $\nu_c = \nu_n - \Delta\nu_c$, где $\Delta\nu_c$ — стоксов сдвиг, зависящий от вида ВР и свойств среды. При таком

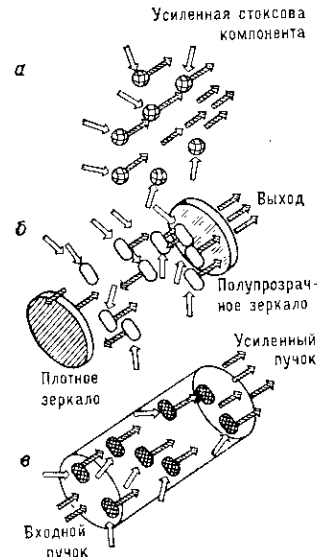


Рис. 1. Принцип действия основных типов комбинационных лазеров: светлые стрелки — фотоны накачки; заштрихованные стрелки — рассеянные (стоксовые) фотоны; кружки и овалы — центры рассеяния; а — суперлюминесцентный усилитель; б — генератор; в — попутный усилитель с насыщающим внешним стоксовым сигналом.

преобразовании частоты существенно меняются характеристики света: увеличивается его интенсивность, направленность, относит. диапазон перестройки частоты. Для создания К. л. используются почти все виды ВР, а особенно часто вынужденное *комбинационное рассеяние света* (ВКР) [1, 2] и вынужденное рассеяние Мандельштама — Бриллюэна (ВРМБ) [3] (см. *Вынужденное рассеяние света*).

К. л. можно условно разделить на три осн. типа (рис. 1): суперлюминесцентные усилители, комбинационные генераторы и комбинационные усилители с насыщающим внеш. сигналом. В суперлюминесцентном усилителе (рис. 1, а) спонтанно рассеянный свет усиливается до уровня, сравнимого с накачкой на одном (или нескольких) проходе пучка накачки через среду с высоким инкрементом усиления. Если считать, что рассеивается каждый фотон, то предельный кд частотного преобразования К. л. равен отношению энергии рассеянного фотона к энергии фотона накачки: $\eta = \nu_c / \nu_n = (\nu_n - \Delta\nu_c) / \nu_n$ и при $\Delta\nu_c \ll \nu_n$ может приближаться к 1. Однако высокий кд в суперлюминесцентном усилителе получить не удаётся вследствие развития не одной, а нескольких стоксовых и антистоксовых компонент. Суперлюминесцентный усилитель не уменьшает также расходимость пучка по сравнению с пучком накачки.

Комбинац. генератор (КГ) представляет собой усилитель, помещённый в *оптический резонатор*, поэтому энергетич., временные и пространств. характеристики генерируемого излучения определяются свойствами резонатора (рис. 1, б). Так, напр., с помощью резонатора расходимость пучка может быть уменьшена до минимально возможной, определяемой *дифракционной расходимостью*. Однако и в КГ невозможно добиться 100% квантового выхода накачки в первую стоксову компоненту, т. к. очень трудно подавить вторую.

От этих недостатков свободен третий тип К. л. — усилитель-преобразователь с насыщающим внеш. сигналом (рис. 1, в), в качестве к-рого обычно берётся пучок от КГ на стоксовой частоте. В этом случае практически все фотоны накачки преобразуются в стоксовы и т. к. на входе нет второй стоксовой компоненты, то в таком усилителе она развиваться и не будет. Т. о., в этом типе К. л. можно получить кд преобразования, близкий к предельному, а пучок на выходе — с дифракц. расходимостью. Такой усилитель может быть попутным (накачка и сигнал идут примерно в одном направлении) или встречным (накачка и сигнал идут навстречу друг дру-

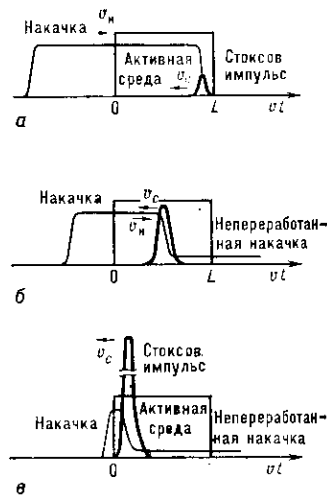


Рис. 2. Преобразование длинных импульсов накачки в короткие стоксовы импульсы (временная компрессия) во встречном комбинационном усилителе с насыщающим внешним сигналом.

гу). Встречная схема менее удобна, чем попутная, т. к. при одном и том же инкременте усиления во встречном варианте требуется более интенсивный входной сигнал. Однако встречный усилитель позволяет осуществлять временное сжатие (компрессию) импульса накачки за счёт усиления значительно более короткого встречного стоксова импульса (рис. 2) [4]. В момент, когда передняя половина импульса накачки (длительность τ_n , скорость ν_n) заполнила среду длиной $L = (\frac{1}{2})\tau_n\nu_n$, в неё с противоположной стороны входит короткий стоксов импульс длительностью $\tau_c \ll \tau_n$ (рис. 2, а). Двигаясь со скоростью ν_c в возбуждённой среде навстречу импульсу накачки (рис. 2, б), короткий стоксов импульс «перекачивает» в себя значит. часть её энергии (фотоны накачки переходят при рассеянии в стоксовы фотоны). В результате мощность стоксова импульса может многократно превзойти первонач. мощность накачки (рис. 2, в).

Применение профилированных импульсов накачки и стоксова сигнала (от спец. внеш. источников) позволяет преобразовать длинные импульсы ($\sim 10-20$ нс) из одной области спектра в короткие импульсы ($\ll 1$ нс) др. частоты [4, 5].

Рабочие частоты совр. К. л. охватывают разл. участки спектра от УФ- до среднего ИК-диапазона. Эти частоты определяются рабочими частотами лазеров, пригодных для использования в качестве источников накачки, а также величиной $\Delta\nu_c$, к-рая в зависимости от вида рассеяния может быть от 10^{-2} до $4,15 \cdot 10^3$ см⁻¹. Для К. л. УФ- и видимого диапазонов источниками накачки служат *экимерные лазеры* на молекулах KrF, XeCl, XeF с длинами волн λ соответственно 249, 308, 353 нм [6]. Для накачки К. л. видимого и ближнего ИК-диапазона используются *лазеры на красителях и твердотельные лазеры*. К. л. среднего ИК-диапазона