

ГАММА-ЛАЗЕР — источник когерентного эл.-магн. излучения γ -диапазона. Часто также используются сокращения «гразер» или «газер», являющиеся аббревиатурой англ. фразы «Gamma Ray Amplification by Stimulated Emission of Radiation» («усиление γ -излучения с помощью вынужденного излучения»). Пока генерация вынужденного излучения в γ -диапазоне не осуществлена. Получение генерации в рентг. и γ -диапазонах открыло бы новые перспективы в рентгеновском структурном анализе, ядерной физике (воздействие на течение ядерных реакций) и др.

Идея Г.-л. возникла в связи с появлением оптич. лазера и открытием Мёссбауэра эффекта. Открытие безотдачного излучения γ -квантов поставило вопрос о реализации вынужденного излучения системы возбуждённых ядер. Впервые на эту возможность указал Л. А. Ривлин в 1961. В 1961—65 одновременно и независимо несколько сов. и амер. групп физиков занимались разработкой схем Г.-л. на эффекте Мёссбауэра. Для создания активной среды предполагалось использовать радиохим. методы выделения долгоживущих ядерных изомеров с последующим введением их в кристалл (кристаллич. матрицу) или выращиванием из этих ядер активных кристаллов.

Для возникновения нарастающей лавины когерентных γ -квантов необходимо, во-первых, чтобы в среде было больше возбуждённых ядер, чем невозбуждённых, и, во-вторых, чтобы вероятность вынужденного излучения была выше вероятности поглощения или рассеяния γ -квантов ядрами среды. Т. о., возникшее в среде γ -излучение (в результате спонтанного распада отд. ядер) будет усиливаться, если концентрация возбуждённых ядер превышает нек-рое пороговое значение N^* , определяющееся из условия равенства коэф. μ резонансного вынужденного излучения (коэф. квантового усиления) и коэф. δ нерезонансных потерь энергии:

$$\mu = \delta. \quad (1)$$

Коеф. усиления μ определяется ф-лой:

$$\mu = \frac{\lambda^2}{2\pi} \frac{\hbar}{\Gamma\tau} \frac{\beta}{1+\alpha} N. \quad (2)$$

Здесь λ — длина волны γ -излучения, Γ — спектральная ширина резонансного перехода ядра в кристалле,

τ — время жизни ядра в изомерном состоянии, α — коэф. конверсии внутренней, β — т. н. коэф. ветвления, учитывающий возможность перехода ядра на др. уровни, лежащие выше нижнего рабочего, если генерация идёт с более высоких уровней, чем первый возбуждённый ($\beta=1$, если генерация идёт с первого возбуждённого уровня ядра). Нерезонансные потери в области энергий γ -квантов, при к-рых вероятность эффекта Мёссбауэра велика, определяются в осн. фотоэффектом, т. е. процессом, при к-ром атом поглощает γ -квант и испускает электрон. Для лёгких матриц $\delta \approx 10$ см⁻¹. Полагая в (2) $\lambda=1 \text{ \AA}$, $\alpha \approx \beta \approx 1$, получим для N^* след. выражение:

$$N^* (\text{см}^{-3}) = 1,3 \cdot 10^{17} \Gamma \tau. \quad (3)$$

Т. о., при естеств. ширине линии $\Gamma \tau = 1$ критич. плотность возбуждённых изомерных ядер составляет незначит. часть плотности атомов в твёрдом теле ($\sim 10^{23}$ атом/см³). Из (3) видно, что немёссбауэровский вариант γ -лазера практически невозможен. Действительно, для ядер со ср. ат. номерами Z доплеровское уширение линии $\Gamma_D \approx 10^{13}$ с⁻¹. Следовательно, согласно (3), пороговая плотность изомерных ядер выходит за пределы плотности твёрдого тела уже при $\tau = 10^{-7}$ с.

С ростом энергии γ -квантов вероятность безотдачного излучения резко падает. Вероятность эффекта Мёссбауэра близка к 1 только при значениях энергии перехода $\hbar\omega \approx 150$ кэВ. Это ограничивает верх. значение величины энергии γ -квантов, достижимое в γ -лазере на ядерных переходах. Ниж. значение энергии радиац. переходов ядер, пригодных для генерации γ -излучения, определяется быстрым ростом сечения фотоэффекта с уменьшением энергии γ -квантов. Поэтому область пригодных энергий радиац. переходов ядер определяется неравенствами: $10 \text{ кэВ} < \hbar\omega < < 150 \text{ кэВ}$.

Предложенные модели γ -лазера на ядерных переходах можно разделить на две группы: Г.-л. на короткоживущих ($\tau \leq 10^{-5}$ с) и долгоживущих ($\tau \gg 10^{-5}$ с) изомерах. Граничное значение $\tau = 10^{-5}$ с обусловлено тем, что при $\tau \leq 10^{-5}$ с ширина мёссбауэровской линии γ -перехода близка к естеств. ширине, когда $\Gamma\tau \approx 1$. При $\tau \gg 10^{-5}$ с ширина линии не зависит от времени жизни и равна приблизительно 10^6 Гц, следовательно, $\Gamma\tau \gg 1$ (рис. 1). Последнее обстоя-



Рис. 1. Зависимость ширины Γ линии мёссбауэровского излучения от времени жизни изомера τ ; пунктирная кривая соответствует естественной ширине линии, сплошная линия — результат экспериментов.