Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LI, вып. 3, 1970 г.

МОДУЛЯТОР ИНТЕНСИВНОСТИ ДЛЯ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ПУЧКОВ

А. Н. Беседина, В. Л. Федоров

Атомные и молекулярные пучки широко используются в ряде приборов квантовой электроники и радиоспектроскопии. Применение в этих устройствах модуляторов интенсивности упростило бы задачу индикации пучков, так как усиление слабых переменных сигналов более просто в техническом отношении, чем постоянных.

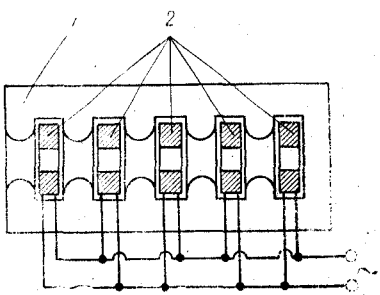


Схема модулятора

Рассмотрим модулирующую систему, состоящую из отрезков соленоида *2*, заключенных в экран *1* из магнитомягкого материала (см. рисунок), причем пучок атомов проходит вдоль оси системы. Допустим, что соленоиды подключены к генератору переменного напряжения с частотой ω. Магнитный потенциал U при определенной форме полюсных наконечников в такой системе составит

$$U = C \cos \omega t I_0 (kp) \cos kz,$$

где C — коэффициент пропорциональности; t — текущее время; z — координата вдоль оси системы; $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ (λ — пространст-

венный период системы); $I_0(k\rho)$ — функция Бесселя мнимого аргумента нулевого порядка; ρ — расстояние от оси системы.

Таким образом, в системе создается неоднородное переменное во времени магнитное поле, обладающее аксиальной симметрией

$$\vec{H} = -\operatorname{grad} U, \quad |\vec{H}| = -Ck\,|\cos\omega t\,|\,\frac{I_0}{B}\sqrt{B^2-\cos^2 kz},$$

где $B^2 = \dfrac{I_0^2}{I_0^2 - I_0'^2}$.

Силу, действующую на парамагнитный атом в неоднородном магнитном поле, можно выразить формулой

$$\vec{F} = -\mu \operatorname{grad} |\vec{H}|,$$

где μ — проекция магнитного момента атома на направление магнитного поля.

Проекция силы, действующая на атом и направленная по оси системы, определяется выражением

$$F_z = -|\mu|\,Ck^2\cos\omega t\,\frac{I_0}{B}\,\frac{\cos kz \sin kz}{\sqrt{B^2-\cos^2 kz}}.$$

Под воздействием этой силы атом, пролетев модулирующую систему, приобретает добавочную скорость Δv. Считая приращение скорости атома малым по сравнению с его начальной скоростью v, легко показать, что для атомов, летящих по оси системы или по траекториям, близким к оси, указанное приращение скорости составит

$$\Delta v = \frac{\pi}{2}\,\frac{\mu}{m}\,\frac{|\vec{H}|_{\max}}{v}\,n\cos kz,$$

где n — число секций в системе; m — масса атома; $|\vec{H}|_{\max}$ — максимальное значение поля на оси.

Таким образом, скорость атомов на выходе системы оказывается модулированной, за счет чего возникает процесс группирования атомов, подобный группированию электронов в однопролетных клистронах.* В результате группирования интенсивность пучка на расстоянии L от выхода из системы

* Клистроны. Изд-во «Сов. радио», 1952.

промодулирована, причем в спектре модуляции присутствуют как основная частота, так и высшие гармоники. Амплитуда ν-й гармоники определяется выражением

$$i_\nu = 2i_0 e^{-j\nu\theta_0} I_\nu(\nu X),$$

где i_0 — постоянная составляющая интенсивности пучка; I_ν — функция Бесселя порядка ν; θ_0 — угол пролета атома, $\theta_0 = \frac{\omega L}{v}$; X — параметр группирования, в нашем случае $X = \frac{\Delta v}{v^2}\omega nL$.

Для эффективной группировки атомов параметр X должен быть равным примерно 2. Такого значения параметра группирования можно легко достигнуть при модуляции пучка атомов цезия в системе, состоящей из пяти секций ($n=5$). В этом случае $\Delta v = 80$ *см/сек* (при $H_{max} = 5 \cdot 10^3$ *э*) и $X \cong 2$ (для $\omega = 2 \cdot 10^4$ *сек*$^{-1}$, $L = 1$ *м*). Таким образом, моноскоростной атомный пучок можно эффективно промодулировать по интенсивности.

Аналогичный модулятор можно создать и для молекул с электрическим дипольным моментом. В этом случае модулятор составляется из системы проводящих дисков с отверстием в центре, на которые подается переменное напряжение.