Расщепление электромагнитного импульса при резонансном отражении от плазменной пленки

Электромагнитные волны ТМ-поляризации (*transverse magnetic*) могут эффективно взаимодействовать с тонкими в масштабе длины волны пленками плазмоподобной среды (полупроводниковыми, металлическими). Тонкие плазменные пленки способны сильно отражать ТМ-волны при условии, что частота волны близка к плазменной частоте пленки (плазменный резонанс), а соударения достаточно малы – *эффект резонансного экранирования*. Возможно сильное поглощение ТМ-волн плазменными пленками также в условиях плазменного резонанса – *эффект резонансного поглощения*.

Рассмотрим следующий резонансный эффект — *сильную деформацию* огибающей квазимонохроматического электромагнитного импульса при отражении от плазменной пленки, расположенной на идеально проводящей подложке. Эффект обусловлен сильной дисперсией фазы коэффициента отражения в узкой области частот вблизи плазменной частоты пленки.

Падающий гауссовский импульс расщепляется во времени (полностью или частично) на два отраженных импульса, амплитудами которых можно управлять путем изменения соотношений между параметрами падающего импульса и пленки.

Пусть гауссовский квазимонохроматический импульс ТМ-поляризации с магнитным полем

$$B_z^i(\xi) = A_i(\xi/\tau) \cdot e^{i\omega_o \xi}, \tag{1}$$

$$A_i(\xi/\tau) = B_o \cdot e^{-\xi^2/2\tau^2}, \tag{2}$$

где $\xi = t - (x\cos\theta + y\sin\theta)/c$ и $\omega_o\tau \gg 2\pi$, падает под углом θ из вакуума ($x < 0$) на однородную плазменную пленку ($0 < x < d$), расположенную на идеально проводящей подложке ($x = d$). Пленка считается тонкой в масштабе длины падающей волны

$$\frac{\omega_o d}{c} \ll 1. \tag{3}$$

Несущая частота ω_o импульса (1) считается близкой к плазменной частоте пленки (плазменный резонанс).

Будем рассматривать отраженный импульс в точке $x = y = 0$ (для других точек результат отличается лишь сдвигом во времени: $t \to t + (x\cos\theta - y\sin\theta)/c$.

Отраженный импульс определяется интегралом Фурье от произведения спектра падающего импульса

$$F(\omega) = \frac{B_o\tau}{\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2}(\omega - \omega_o)^2\tau^2\right] \qquad (4)$$

на коэффициент отражения монохроматической волны $R(\omega)$:

$$R(\omega) = \frac{\omega - \omega_p + i\alpha\omega_p}{\omega - \omega_p - i\alpha\omega_p}, \qquad (5)$$

где α – малый параметр тонкости плазменной пленки (α<<1), ω_p – плазменная частота свободных носителей.

Модуль коэффициента отражения (5) равен единице ($|R(\omega)| = 1$), а его фаза

$$\arg R(\omega) = \arctan \frac{2\alpha\omega_p(\omega - \omega_p)}{(\omega - \omega_p)^2 - \alpha^2{\omega_p}^2} \qquad (6)$$

испытывает в зависимости от частоты резкое изменение на 2π в узком интервале частот шириной в несколько $\alpha\omega_p$ в окрестности плазменной частоты пленки ω_p.

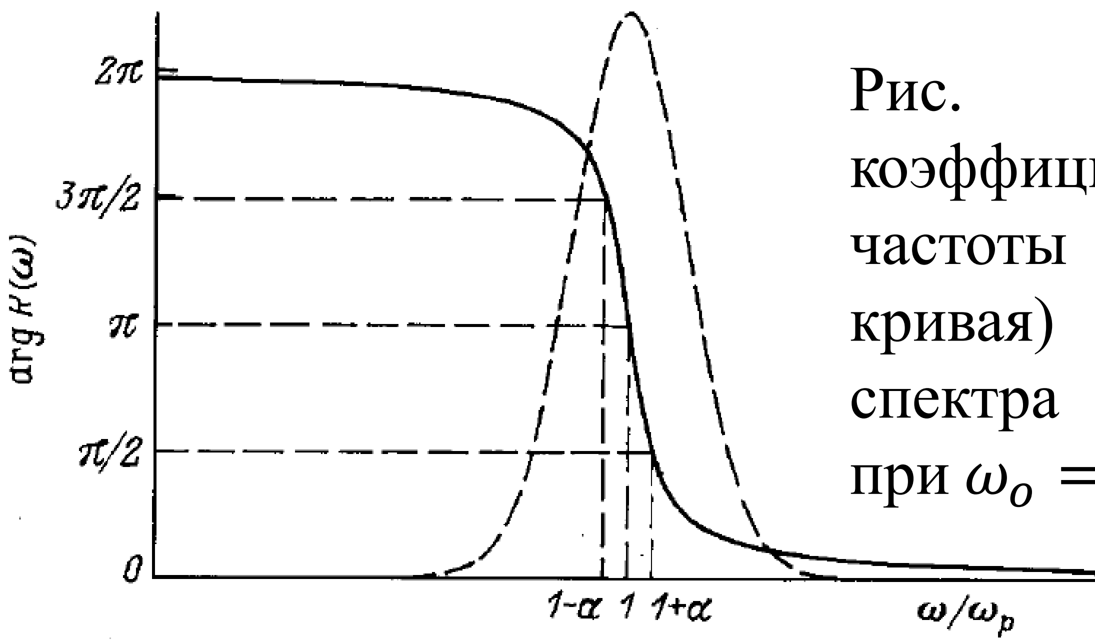

Рис. Зависимость фазы коэффициента отражения от частоты при $\alpha = 0.05$ (сплошная кривая) и качественный вид спектра падающего импульса при $\omega_o = \omega_p$ (штриховая кривая).

Имея в виду численный анализ формы огибающей $|A_r(t/\tau)|$ отраженного импульса

$$B_z^r(t) = A_r(t/\tau)\cdot e^{i\omega_o t}, \qquad (7)$$

удобно в интеграле Фурье перейти к безразмерной переменной $\eta = (\omega - \omega_o)\tau$. При этом для комплексной амплитуды $A_r(t/\tau)$ получаем выражение

$$A_r(t/\tau) = \frac{B_o}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\eta + \Delta + i\gamma}{\eta + \Delta - i\gamma} \exp\left(-\frac{\eta^2}{2} + i\eta\frac{t}{\tau}\right) d\eta\,, \qquad (8)$$

где $\Delta = (\omega_o - \omega_p)\tau$ – параметр отстройки от резонанса, параметр $\gamma = \alpha\omega_p\tau$ характеризует соотношение между шириной частотной области резонансного изменения фазы коэффициента отражения ($\sim\alpha\omega_p$) и шириной спектра входного импульса ($\sim 1/\tau$).

Задание №4

Расщепление электромагнитного импульса при резонансном отражении от плазменной пленки

Дана следующая зависимость:

$$A_r(t/\tau) = \int\limits_{-\infty}^{+\infty} \frac{\eta + \Delta + i\gamma}{\eta + \Delta - i\gamma} \exp\left(-\frac{\eta^2}{2} + i\eta\frac{t}{\tau}\right) d\eta$$

Построить зависимости $|A_r(t/\tau)|$:

а) Δ=0: γ = 0.1, 0.22, 0.6;

б) γ = 0.1: Δ=0.2, 0.7.

Примечание: интеграл берётся в диапазоне η ϵ [-5, 5]. Шаг интегрирования подбирается самостоятельно из учета сохранения высокой точности расчетов при малых временных затратах.

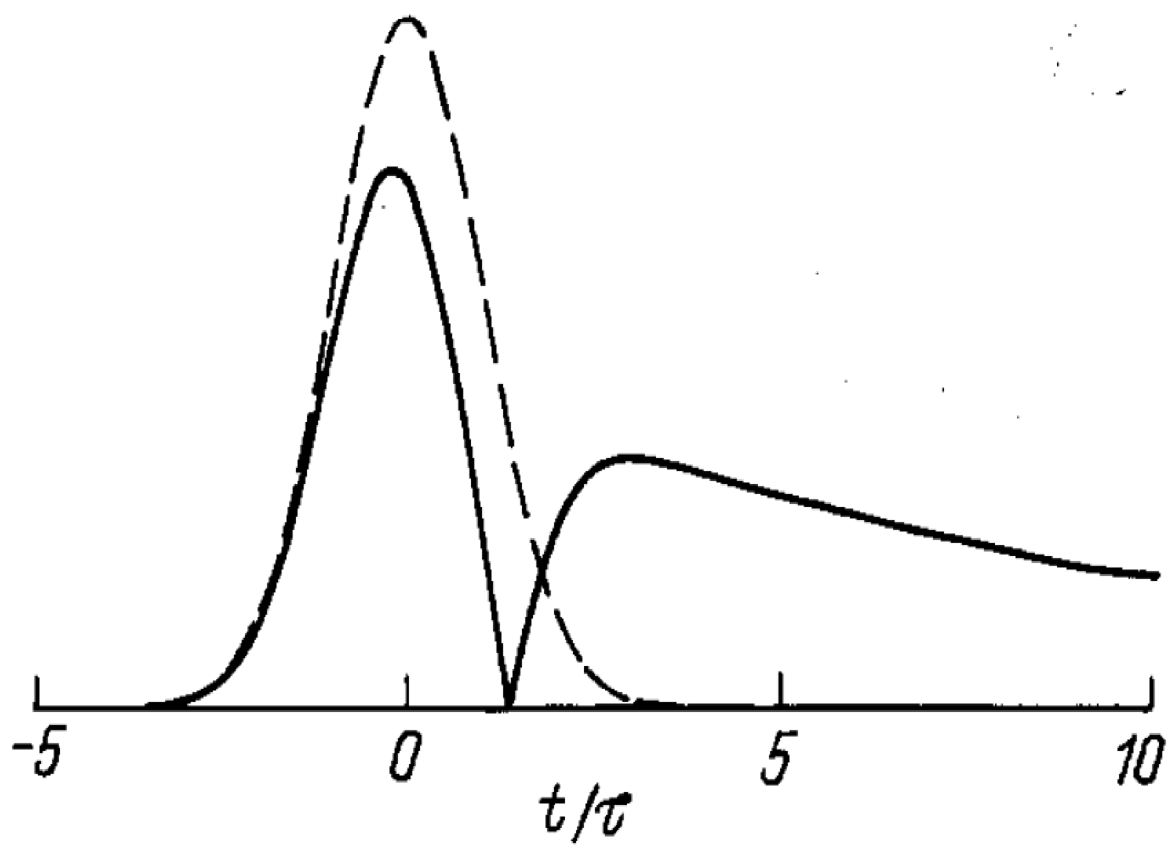

Рис. Огибающая отраженного $|A_r(t/\tau)|$ (сплошные линии) и падающего (штриховые линии) импульсов при Δ=0 и $\gamma =$ 0.1.