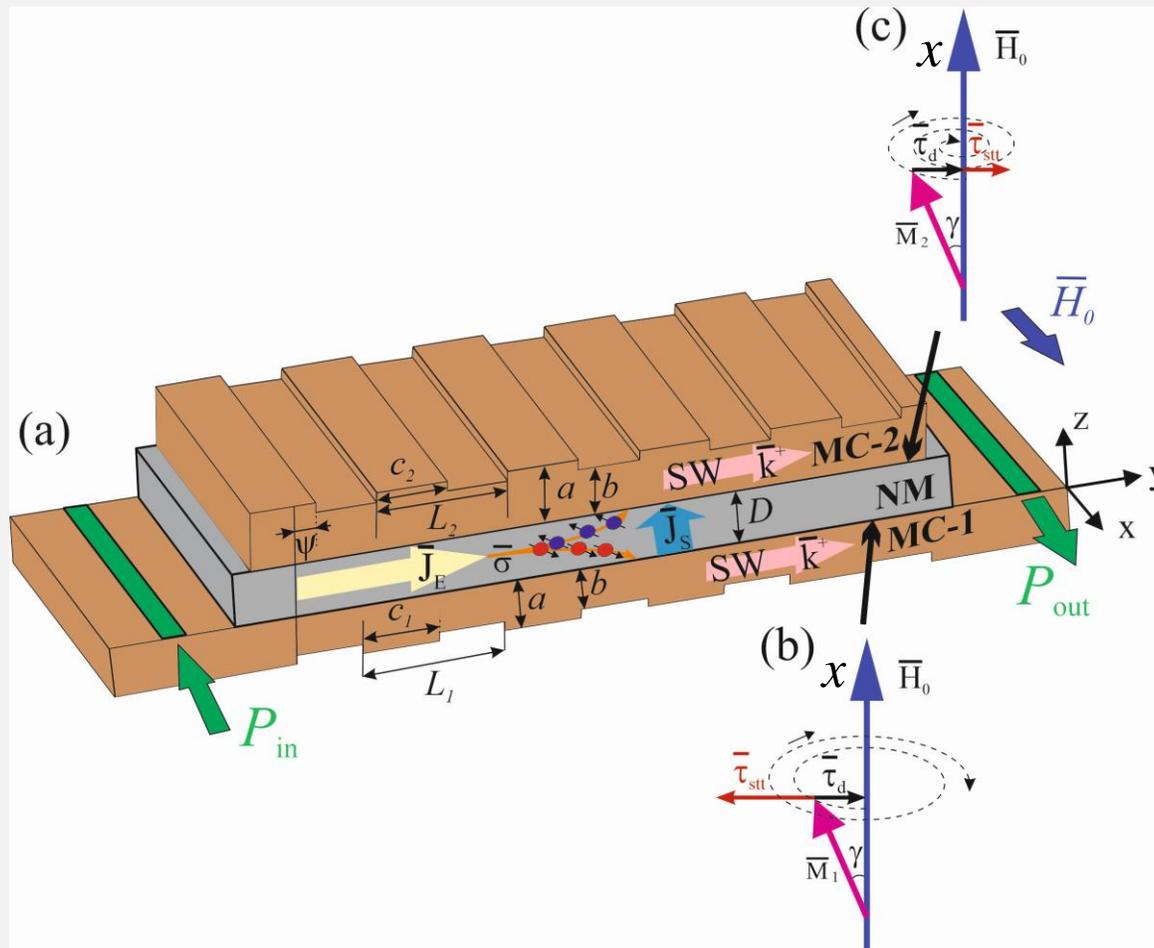


**ЧАСТОТНАЯ И АМПЛИТУДНАЯ
ОБРАБОТКИ СПИН-ВОЛНОВЫХ СИГНАЛОВ
В СВЯЗАННЫХ МАГНОННЫХ
КРИСТАЛЛАХ С ПОМОЩЬЮ СПИНОВОГО
ТОКА В ПРОСЛОЙКЕ НОРМАЛЬНОГО
МЕТАЛЛА**

Лобанов Никита Дмитриевич

Науч. рук.: д.ф.-м.н. Морозова Мария Александровна

МАГНОННЫЙ КРИСТАЛЛ/НОРМАЛЬНЫЙ МЕТАЛЛ/МАГНОННЫЙ КРИСТАЛЛ



При $\vec{p} \uparrow \downarrow \vec{M}_0$ спиновый ток усиливает ПМСВ и может скомпенсировать затухание.
 При $\vec{p} \uparrow \uparrow \vec{M}_0$ - ослабляет ПМСВ.

1. Morozova M. A., Lobanov N. D., Matveev O. V., Nikitov S. A. (2023). Spin current for tuning the band gaps of spin waves. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 588, 171418.
2. Lobanov N. D., Matveev O. V., Morozova M. A. (2024). Bragg Resonances in a Yttrium Iron Garnet–Platinum–Yttrium Iron Garnet Layered Structure. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*, 88(2), 254-259.

Толщина ферромагнитных пленок являются периодическими функциями, после разложения их в ряд Фурье получаем: $d^{1,2} =$

$$d_0 \left(1 + \delta_d^{1,2} \cos \left(\frac{\pi}{L_{1,2}} y + \Psi \right) \right), \text{ где } d_0^{1,2} = b + \frac{\Delta c}{L_{1,2}}, \delta_d^{1,2} = \frac{2\Delta}{\pi d_0^{1,2}} \sin \frac{\pi c}{L_{1,2}}$$

Решение в области первого брэгговского резонанса можно представить в виде суммы прямых волн $A_{1,2}$ и отраженных волн $B_{1,2}$:

$$m^{1,2} = A^{1,2} \exp[j(\omega t - k_0 y)] + B^{1,2} \exp[j(\omega t + k_{-1} y)],$$

k_0 - постоянная распространения гармоники «0», k_{-1} - постоянная распространения гармоники «-1», $k_{-1} = -k_0 + 2k_B$, где $k_B = \pi/L$ - волновое число Брэгга.

Эффективное магнитное поле:

$$\vec{H}^{eff1,2} = \vec{H}_0 + \vec{h}_{1,2} + \frac{2A_{ex}}{M_0} k^2 \vec{M}_{1,2} + \frac{K_{ex}}{M_0 D} \vec{M}_{2,1} + K_{dip} \vec{h}_{2,1},$$

\vec{H}_0 - основное магнитное поле, компонент обменного взаимодействия (A_{ex} - обменный коэффициент ФП-1 и ФП-2), компонент межслойного обменного взаимодействия РККИ (K_{ex} - константа РККИ), компонент дипольной связи между ФП-1 и ФП-2 ($\vec{h}_{1,2}$ - высокочастотные компоненты магнитных полей, $K_{dip} = \exp(-kD)$ - коэффициент связи).

Дисперсионные соотношения для прямых и отраженных волн

$$\eta_{0,-1}^{eff1} = 0 \text{ и } \eta_{0,-1}^{eff2} = 0:$$

$$\eta_{0,-1}^{eff1} = -\omega^2 + \left(\omega_{\perp 0,-1}^{eff1} \right)^2 + v^1 k_{0,-1}^1,$$

$$\eta_{0,-1}^{eff2} = -\omega^2 + \left(\omega_{\perp 0,-1}^{eff2} \right)^2 + v^2 k_{0,-1}^2$$

Определитель системы для ПМСВ в МК-1 - МК-2 с прослойкой НМ:

$$\begin{vmatrix} \eta_0^{eff1} & \kappa_0^1 & \chi_0^1 & \vartheta_0^1 \\ \kappa_{-1}^1 & \eta_{-1}^{eff1} & \vartheta_{-1}^1 & \chi_{-1}^1 \\ \chi_0^2 & \vartheta_0^2 & \eta_0^{eff2} & \kappa_0^2 \\ \vartheta_{-1}^2 & \chi_{-1}^2 & \kappa_{-1}^2 & \eta_{-1}^{eff2} \end{vmatrix} = 0,$$

$$\text{где } \chi_{0,-1}^1 = K_{dip} v^1 k_{0,-1}^1 + \gamma \frac{K_{ex}}{M_0 D} \left(\omega_M + \gamma \frac{K_{ex}}{M_0 D} \right), \quad \chi_{0,-1}^2 = K_{dip} v^2 k_{0,-1}^2 +$$

$$\gamma \frac{K_{ex}}{M_0 D} \left(\omega_M + \gamma \frac{K_{ex}}{M_0 D} \right), \quad \kappa_{0,-1}^1 = \frac{\delta_d^1}{2} v^1 k_{-1,0}^1, \quad \kappa_{0,-1}^2 = e^{\pm i(2\pi\Psi/L_2)} \frac{\delta_d^2}{2} v^2 k_{-1,0}^2,$$

$$\vartheta_{0,-1}^1 = \frac{\delta_d^1}{2} \chi_{-1,0}^1, \quad \vartheta_{0,-1}^2 = e^{\pm i(2\pi\Psi/L_2)} \frac{\delta_d^2}{2} \chi_{-1,0}^2, \quad v^{1,2} = \frac{\omega_M^2 d_0^{1,2}}{2}, \quad \omega_{\perp 0,-1}^{eff1} =$$

$$\sqrt{\omega_{H_{0,-1}}^{eff1} \left(\omega_{H_{0,-1}}^{eff1} + \omega_M \right)}, \quad \omega_{\perp 0,-1}^{eff2} = \sqrt{\omega_{H_{0,-1}}^{eff2} \left(\omega_{H_{0,-1}}^{eff2} + \omega_M \right)}$$

Эффективные частоты магнитного поля прямых и отраженных волн в МК-1 и МК-2:

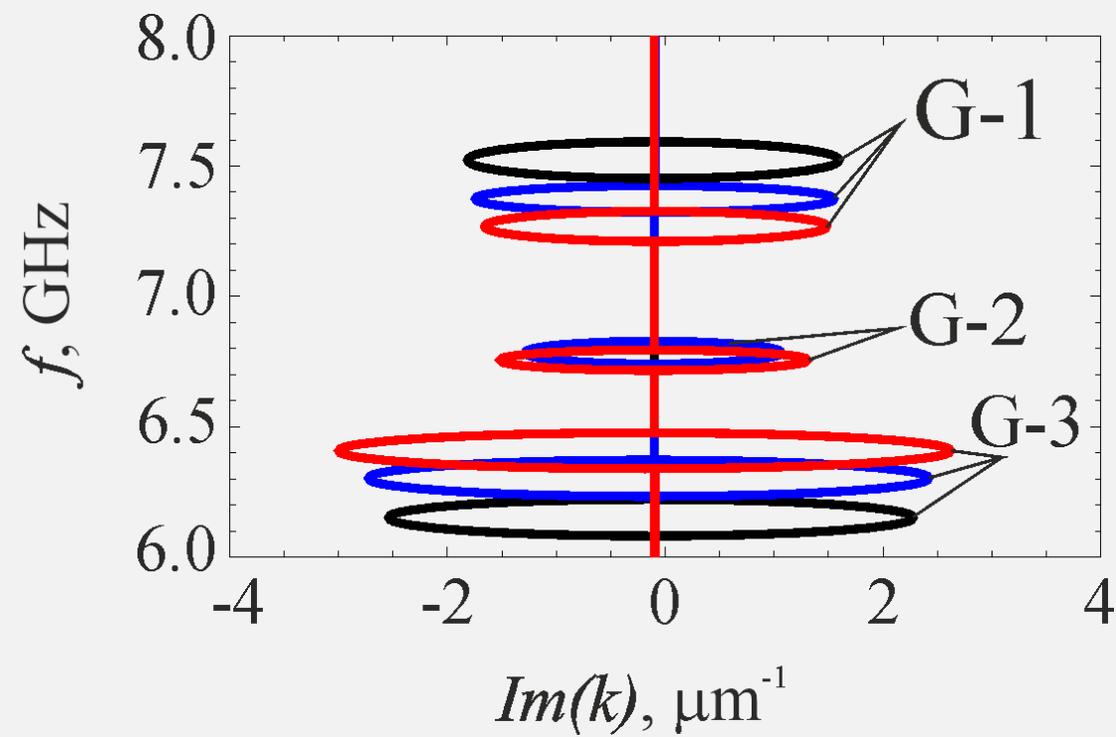
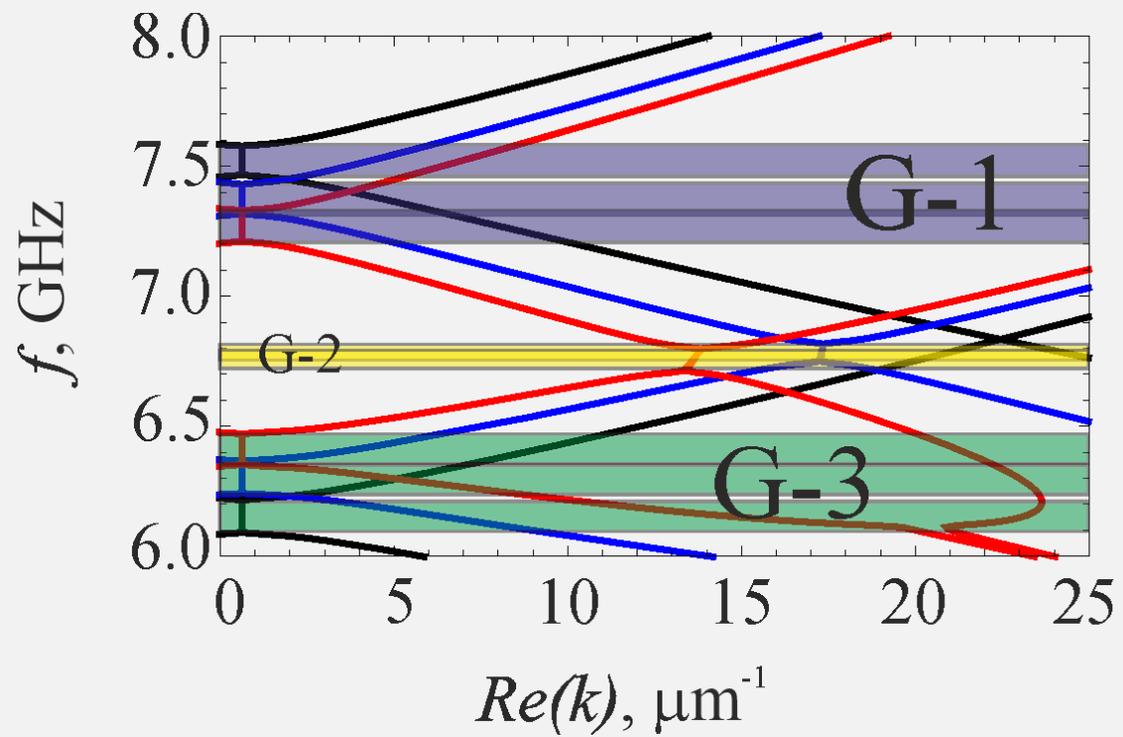
$$\omega_{H_{0,-1}}^{eff1} = \gamma H_0 + \gamma \frac{2A_{ex}}{M_0} k_{0,-1}^1{}^2 + \gamma \frac{K_{ex}}{M_0 D} \pm j(\omega\alpha + \tau)$$

$$\omega_{H_{0,-1}}^{eff2} = \gamma H_0 + \gamma \frac{2A_{ex}}{M_0} k_{0,-1}^2{}^2 + \gamma \frac{K_{ex}}{M_0 D} \pm j(\omega\alpha - \tau)$$

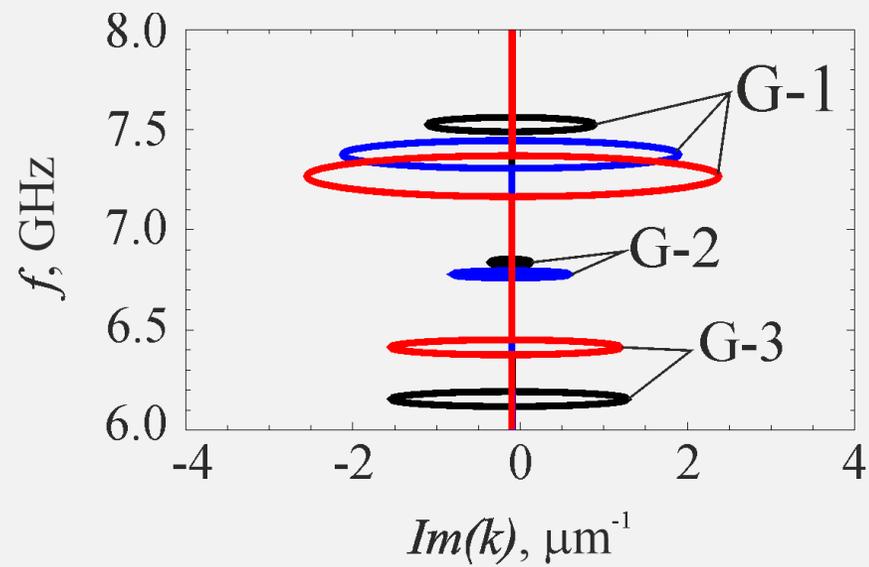
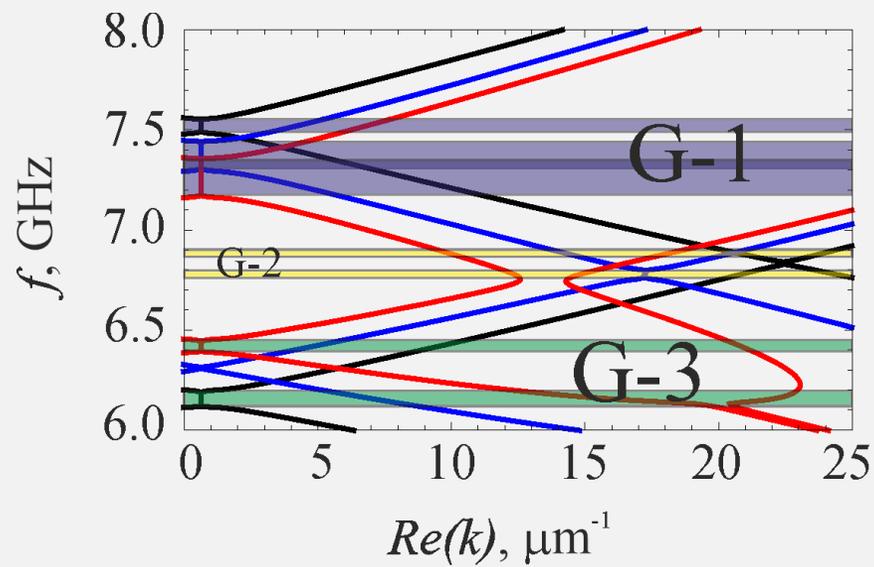
γ - гиромангнитное соотношение; α - параметр диссипации; τ - параметр, зависящий от спинового тока; $M_{1,2}$ - намагниченности насыщения МК-1 и МК-2.

Morozova M. A., Lobanov N. D., Matveev O. V., Nikitov S. A. (2023). Spin current for tuning the band gaps of spin waves. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 588, 171418.

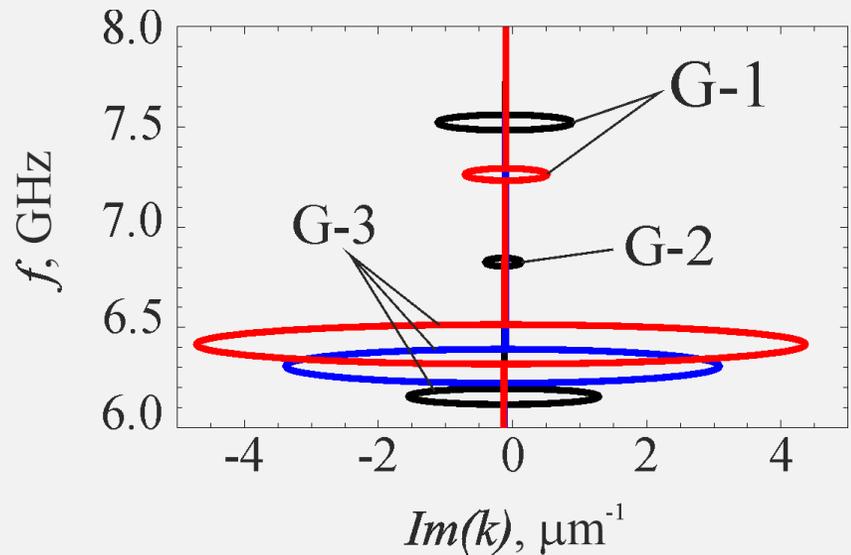
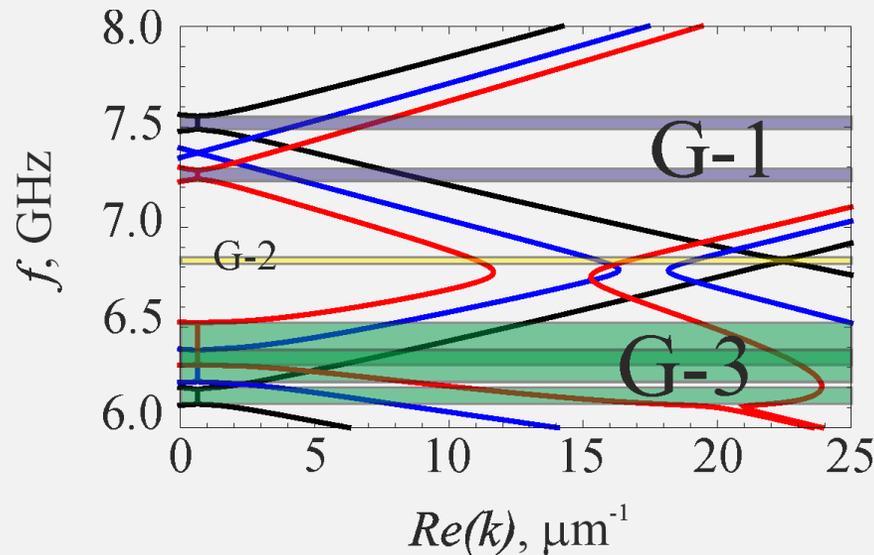
$$k_0 d_{01,02} \square 1$$



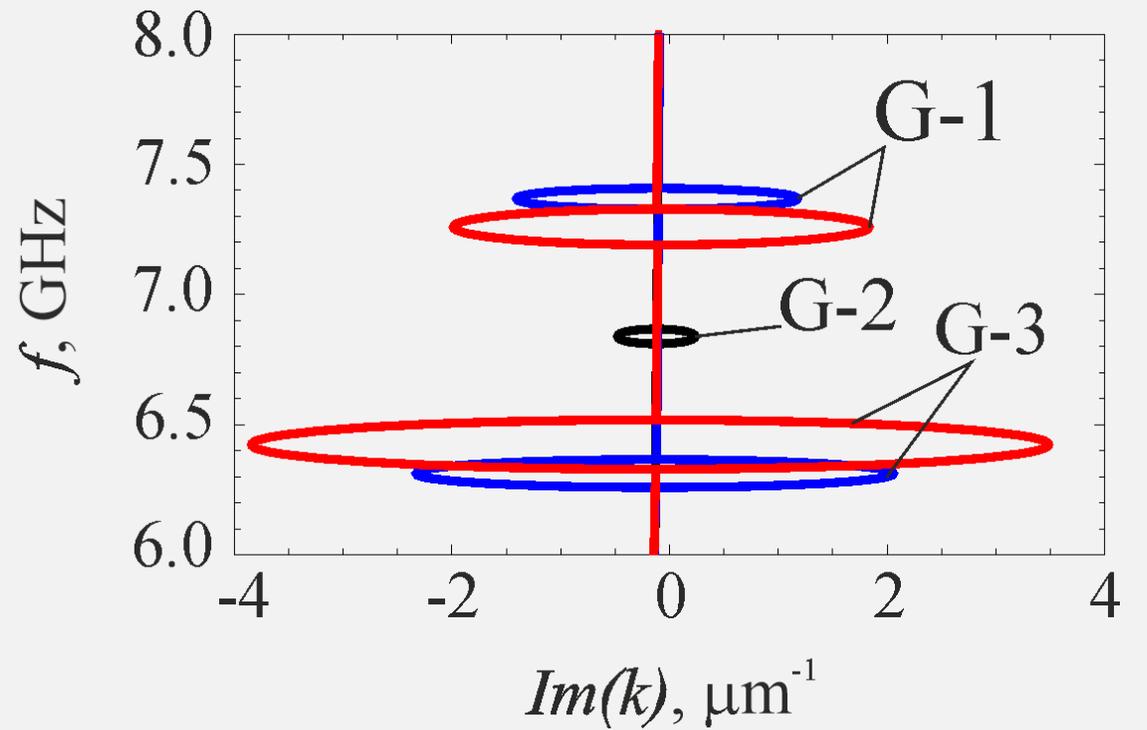
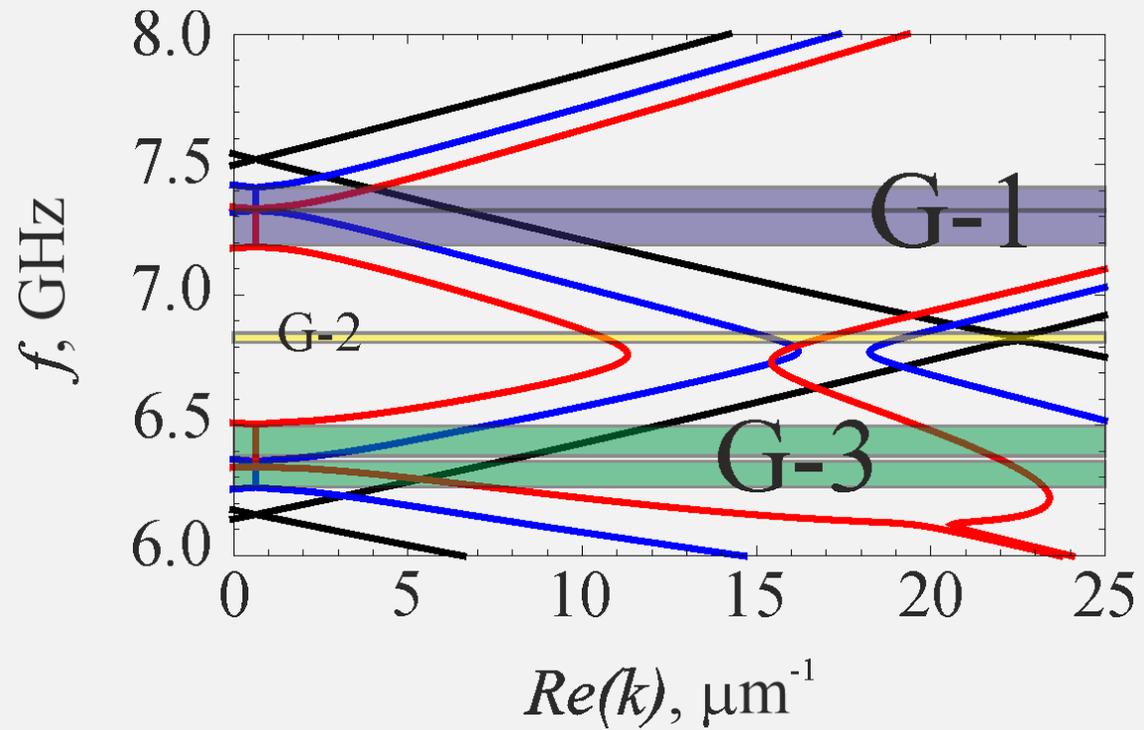
Симметричная структура MC-1/NM/MC-2 $\tau = 0$ (черные кривые), $\tau = 0.4$ GHz (синие кривые), $\tau = 0.5$ GHz (красные кривые)



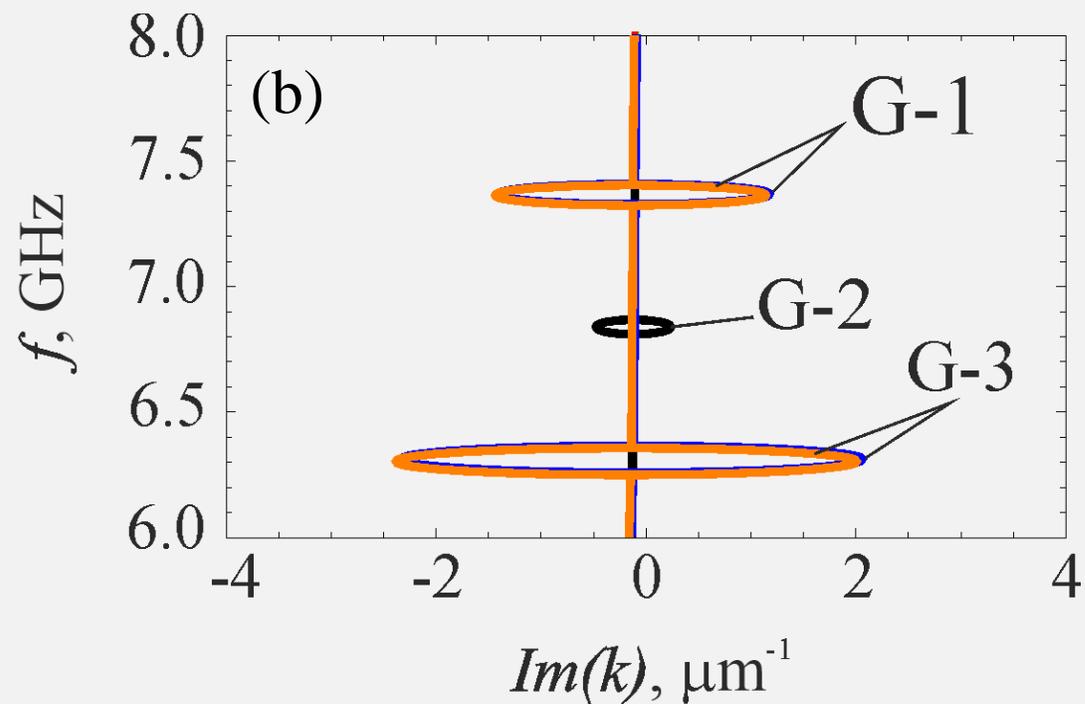
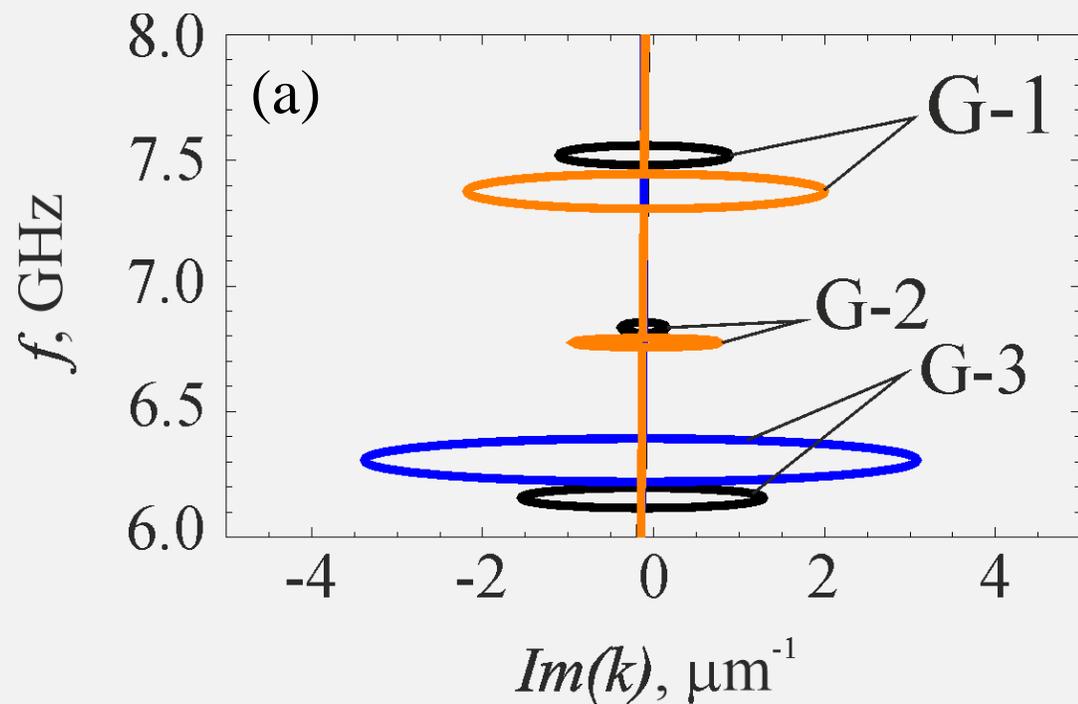
Несимметричная структура MC-1/NM/MC-2 при $\Psi=0.6\pi$ $\tau = 0$ (черные кривые), $\tau = 0.4$ GHz (синие кривые), $\tau = 0.5$ GHz (красные кривые)



Несимметричная структура MC-1/NM/MC-2 при $\Psi=0.6\pi$ $\tau = 0$ (черные кривые), $\tau = -0.4$ GHz (синие кривые), $\tau = -0.5$ GHz (красные кривые)



Несимметричная структура ($\Psi=\pi$) при $\tau=0$ (черные кривые), $\tau=0.4$ GHz (синие кривые), $\tau=0.5$ GHz (красные кривые).



Несимметричная структура с $\tau = 0$ (черные кривые), $\tau = -0.4$ GHz (синие кривые), $\tau = 0.4$ GHz (оранжевые кривые) при (a) $\Psi = 0.6\pi$, (b) $\Psi = \pi$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для многослойной структуры с нормальным металлом показано влияние спинового тока в симметричных и несимметричных структурах. Спиновый ток может привести к: созданию и подавлению запрещенных зон, изменению положения и ширины запрещенных зон, изменению глубины запрещенных зон.