



# «Сверхпроводящий спиновый клапан $SF_1S_1F_2s$ как триггер сверхпроводимости».

Неило А.А., Бакурский С.В., Клёнов Н.В., Соловьев И.И., Куприянов М.Ю.

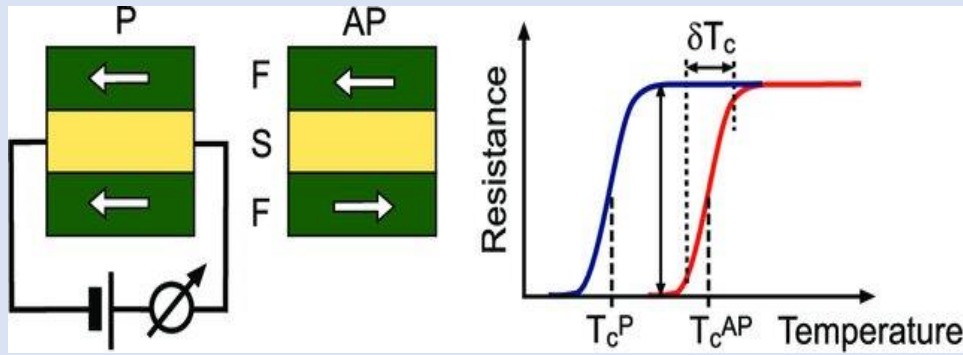
Лаборатория физики наноструктур НИИЯФ МГУ

Физический факультет МГУ

2023

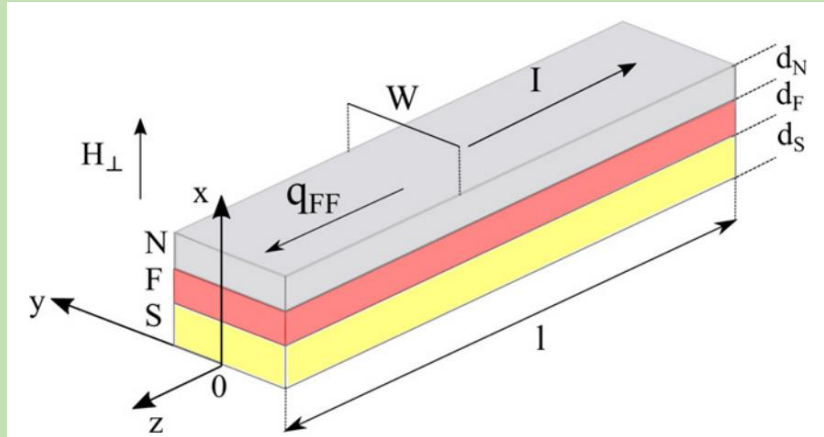
# ССК для сверхпроводящей электроники

## Управление критической температурой $T_C$

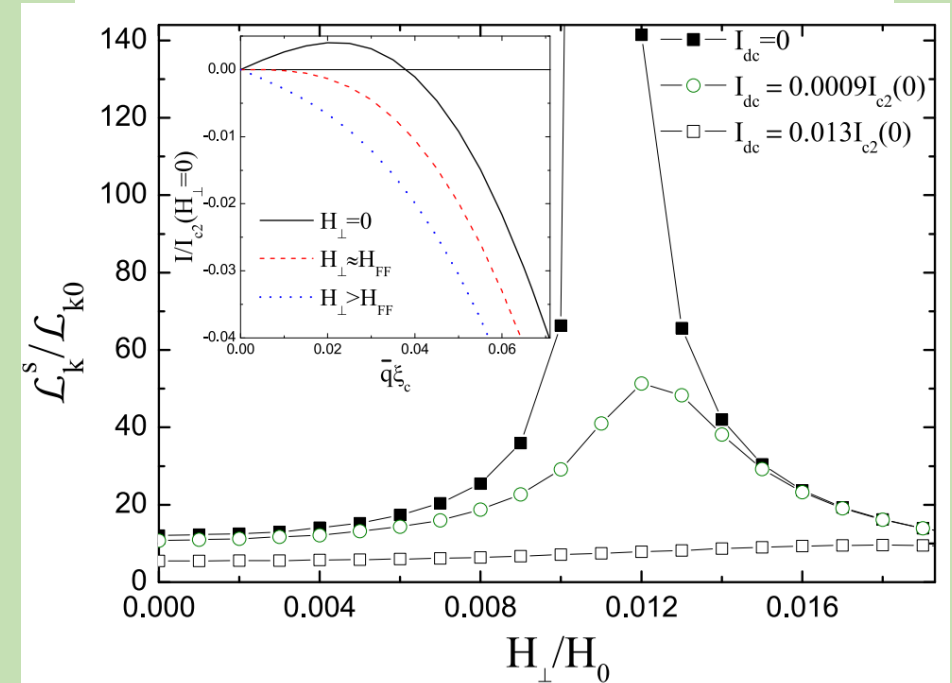
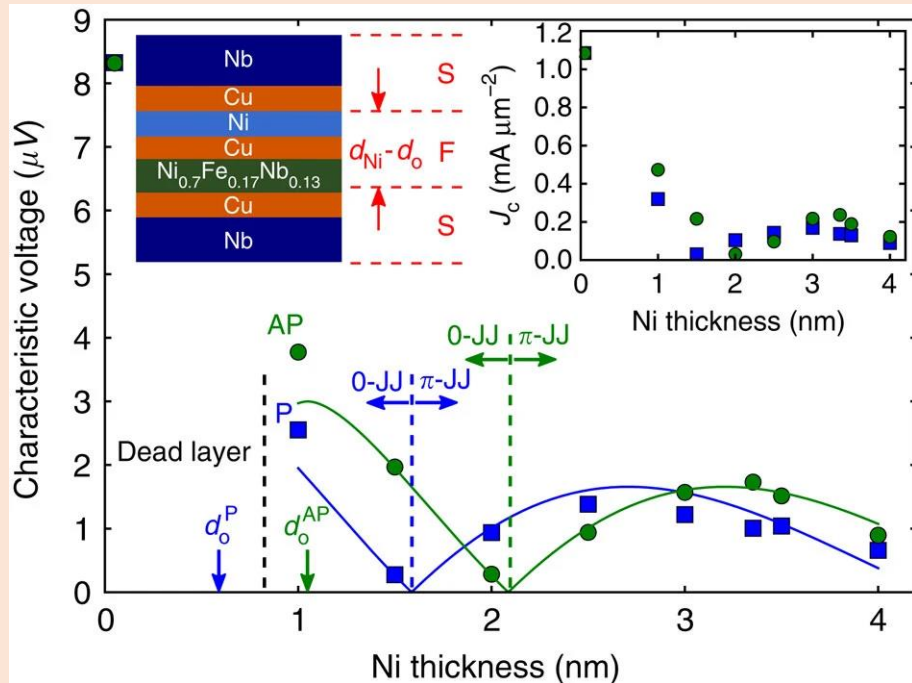


Christoph Sürgers, Ajay Singh et al., International Journal of Materials Research, 2010.

## Управление кинетической индуктивностью $L_K$

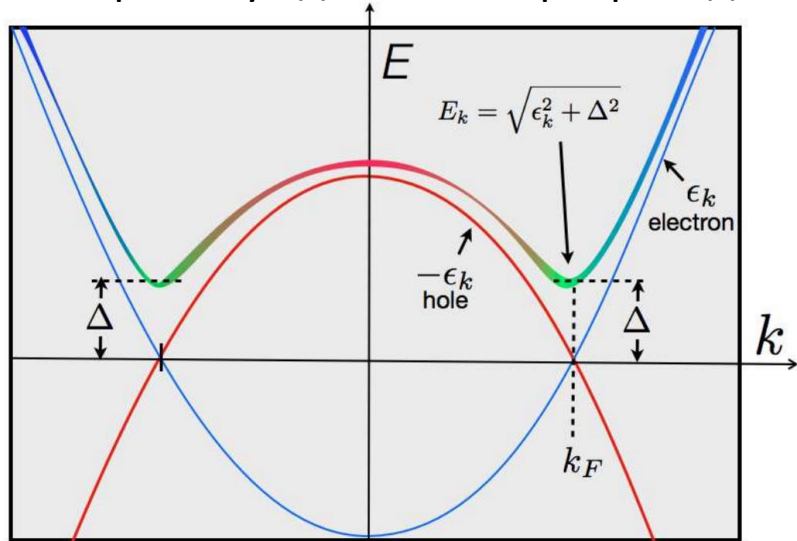


## Управление критическим током $J_C$



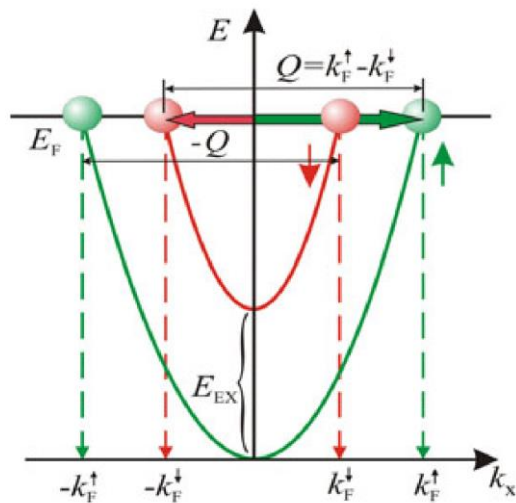
# Эффект близости

Спектр возбуждений в сверхпроводнике



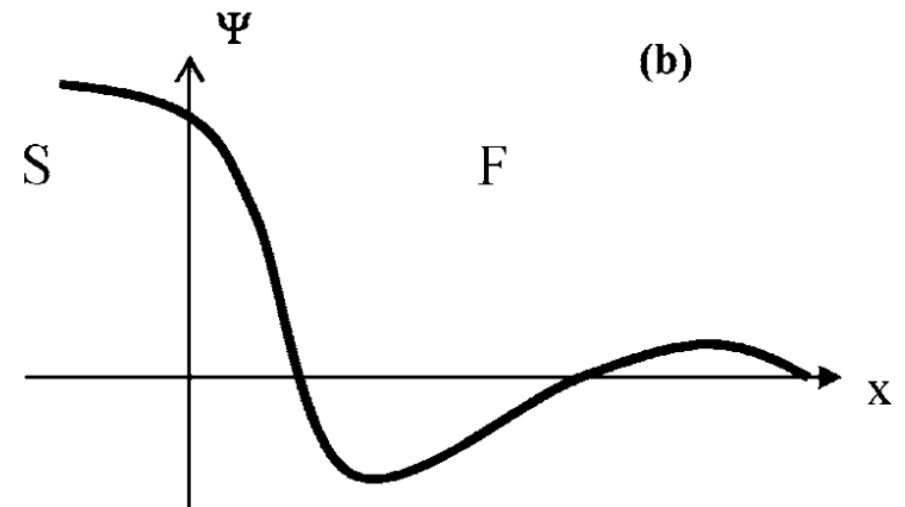
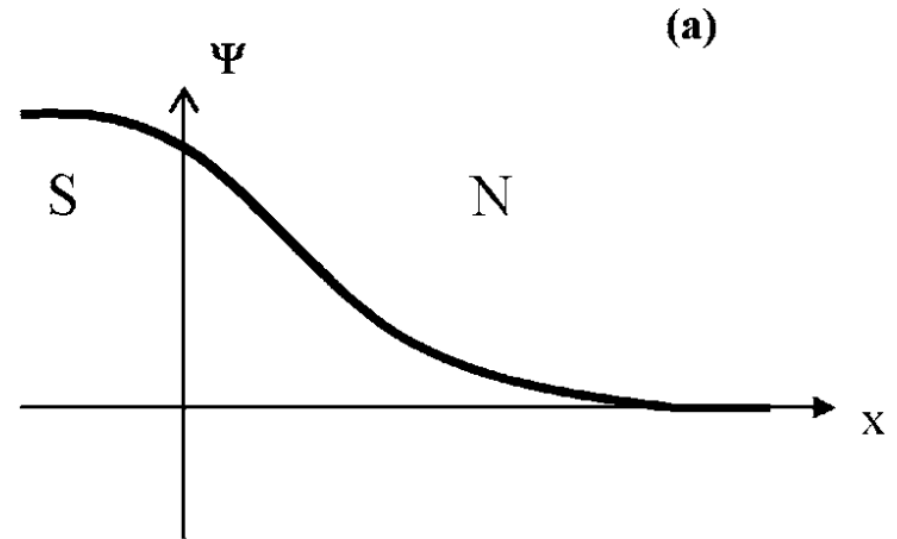
"Introduction to Many-Body Physics", P. Coleman, Cambridge, 2011

Расщепление спектра в ферромагнетике



A.S. Sidorenko, *Low Temp. Phys.* 43, 766 (2017)

Затухание и осцилляции сверхпроводящего параметра порядка



A. I. Buzdin, *Reviews of modern physics* 77, 935 (2005).

# Постановка задачи

Уравнения Узалея в  $\Phi$ -параметризации + согласования + ГУ

$$\frac{\pi T_C \xi_p^2}{\tilde{\omega}_p G_m} \frac{d}{dx} \left( G_p^2 \frac{d\Phi_p}{dx} \right) - \Phi_p = -\Delta_p$$

$$\Delta_p \ln \frac{T}{T_C} + \frac{T}{T_C} \sum_{\omega=-\infty}^{\infty} \left( \frac{\Delta_p}{|\omega|} - \frac{\Phi_p G_p}{\omega} \right) = 0,$$

$$\pm \gamma_{Bpq} \xi_p G_p \frac{d}{dx} \Phi_p = G_q \left( \frac{\tilde{\omega}_p}{\tilde{\omega}_q} \Phi_q - \Phi_p \right).$$

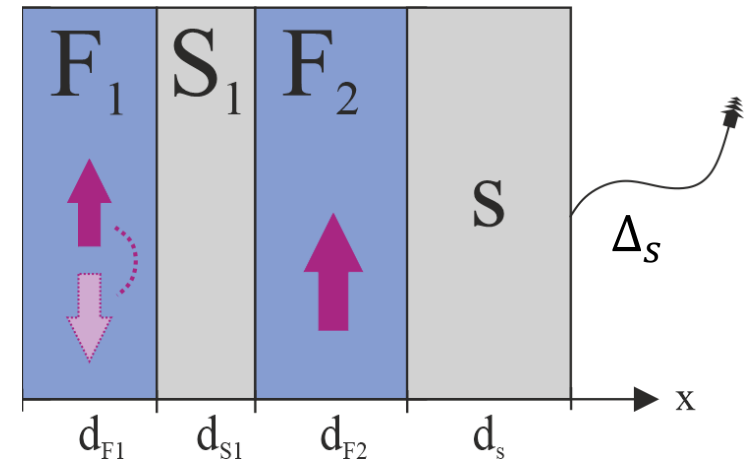
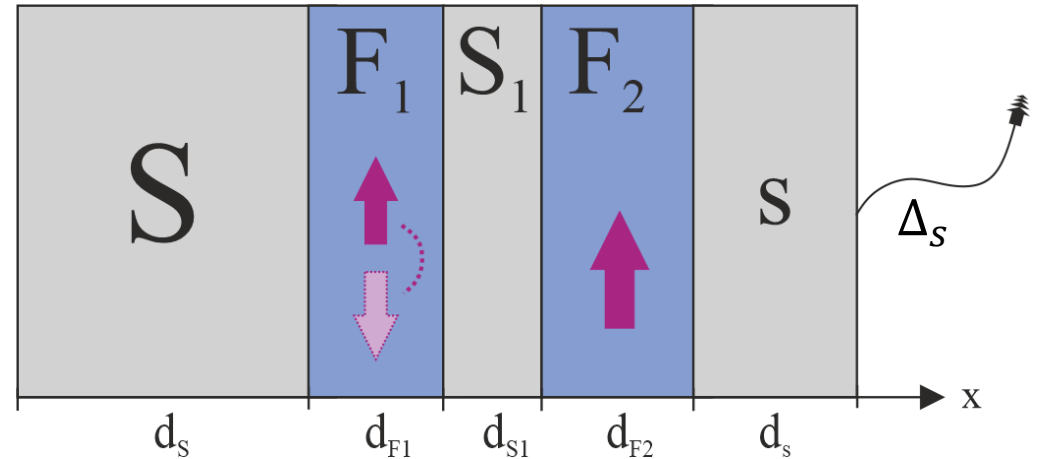
Предполагаемые материалы:

$$Nb \quad \xi_s \approx 10nm \quad T_C \approx 10K$$

$$Co \quad H \ll 100Tc$$

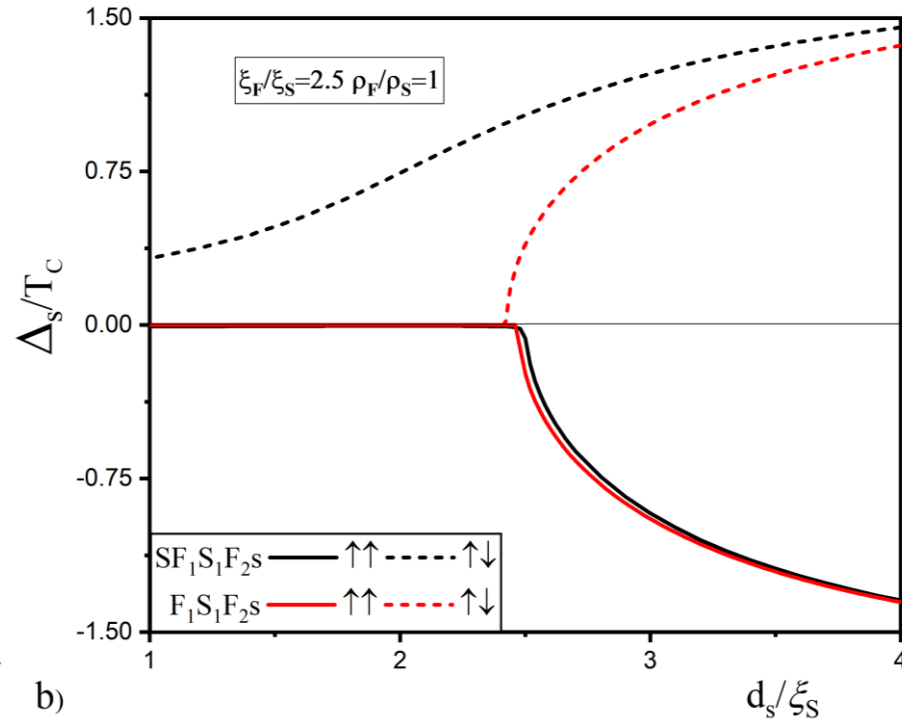
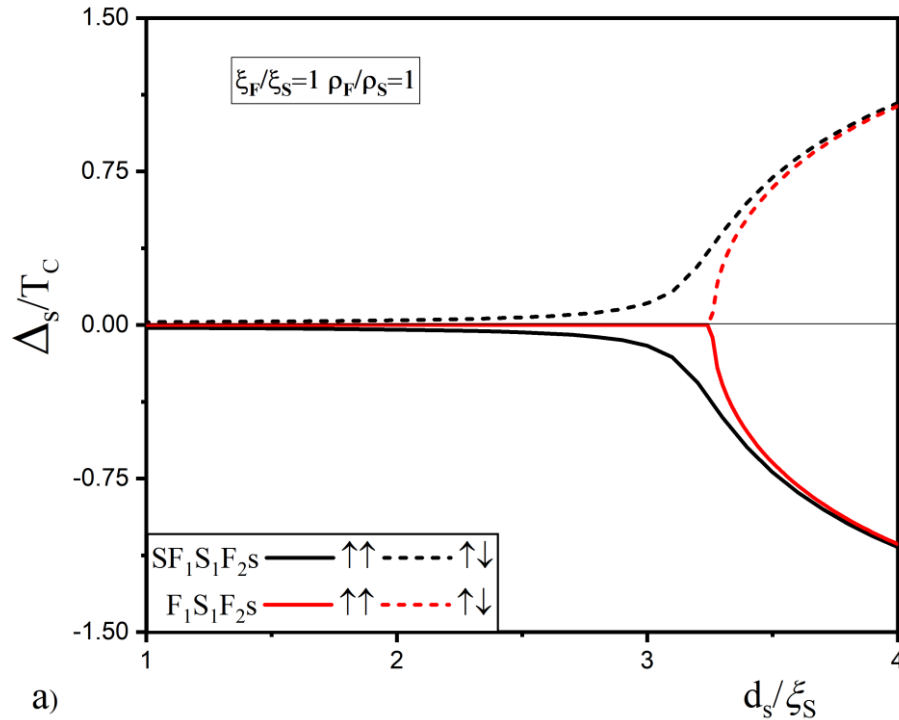
Предполагаемые толщины:

$$d_s = 5\xi_s \quad d_{F1} = 0.15\xi_s \quad d_{S1} = 0.2\xi_s \quad d_{F2} = 0.25\xi_s \quad d_s = 0.5 - 3\xi_s$$

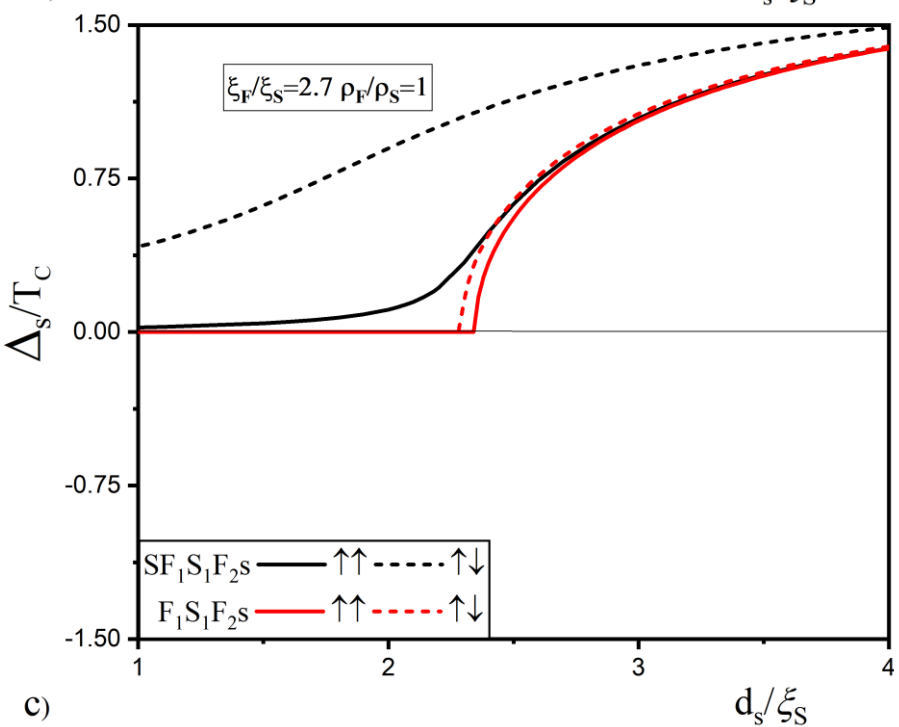


# Зависимость $\Delta_S$ от $d_S$ для П и АП-ориентаций

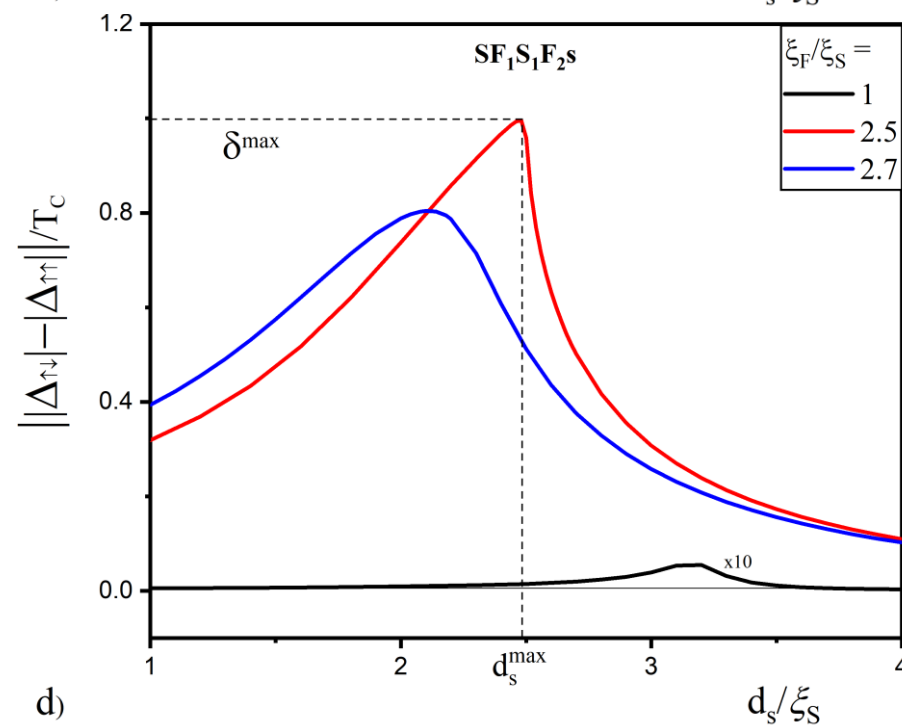
На конкретной толщине  $d_S^{max}$  существует максимальная разность  $\delta^{max}$  между П- и АП-ориентациями  $\Delta$



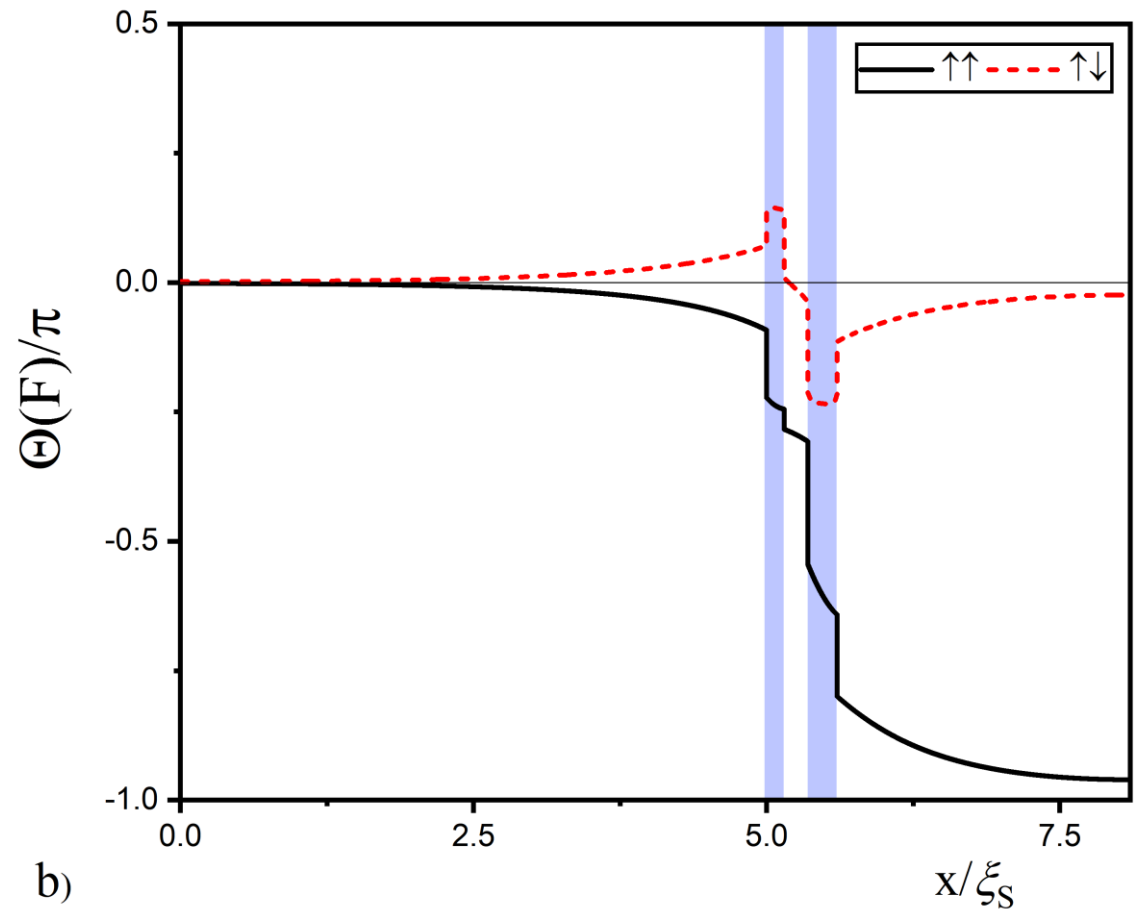
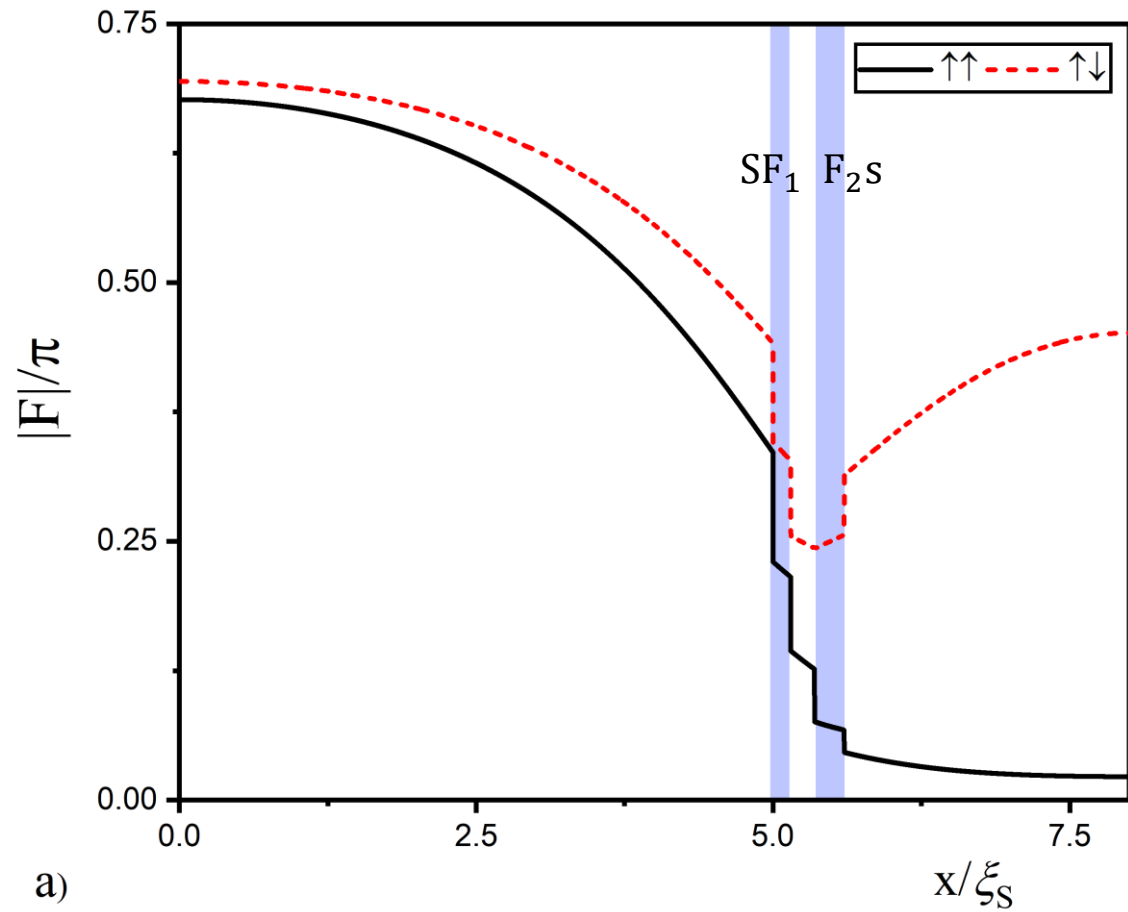
$d_S^{max} \approx d_S^{crit}$  для F<sub>1</sub>S<sub>1</sub>F<sub>2</sub>S-структуры



При увеличении  $\xi_F$  увеличивается  $\delta^{max}$   
 $d_S^{max}$  сдвигается влево



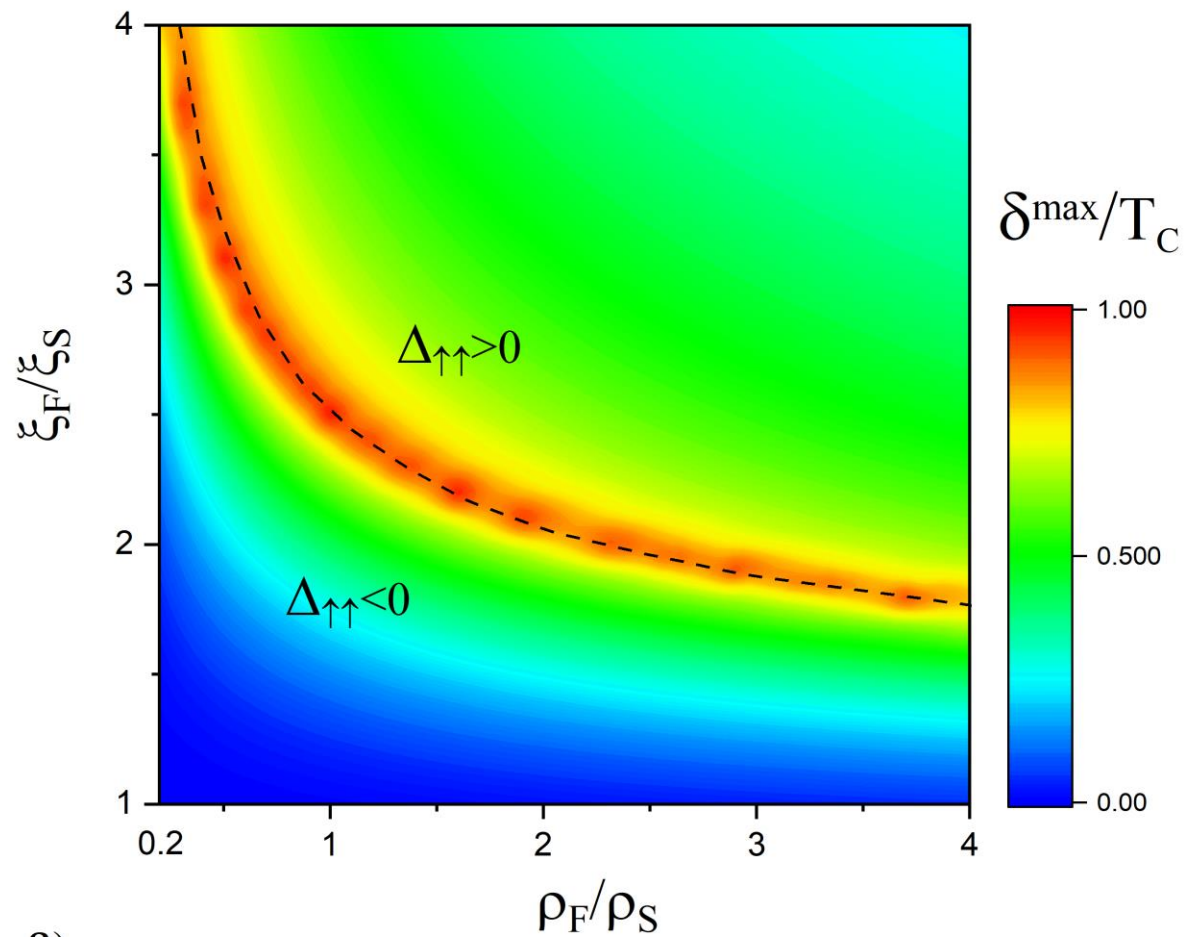
# Пространственные распределения сверхпроводящих функций для случая, где наблюдается $\delta^{max}$



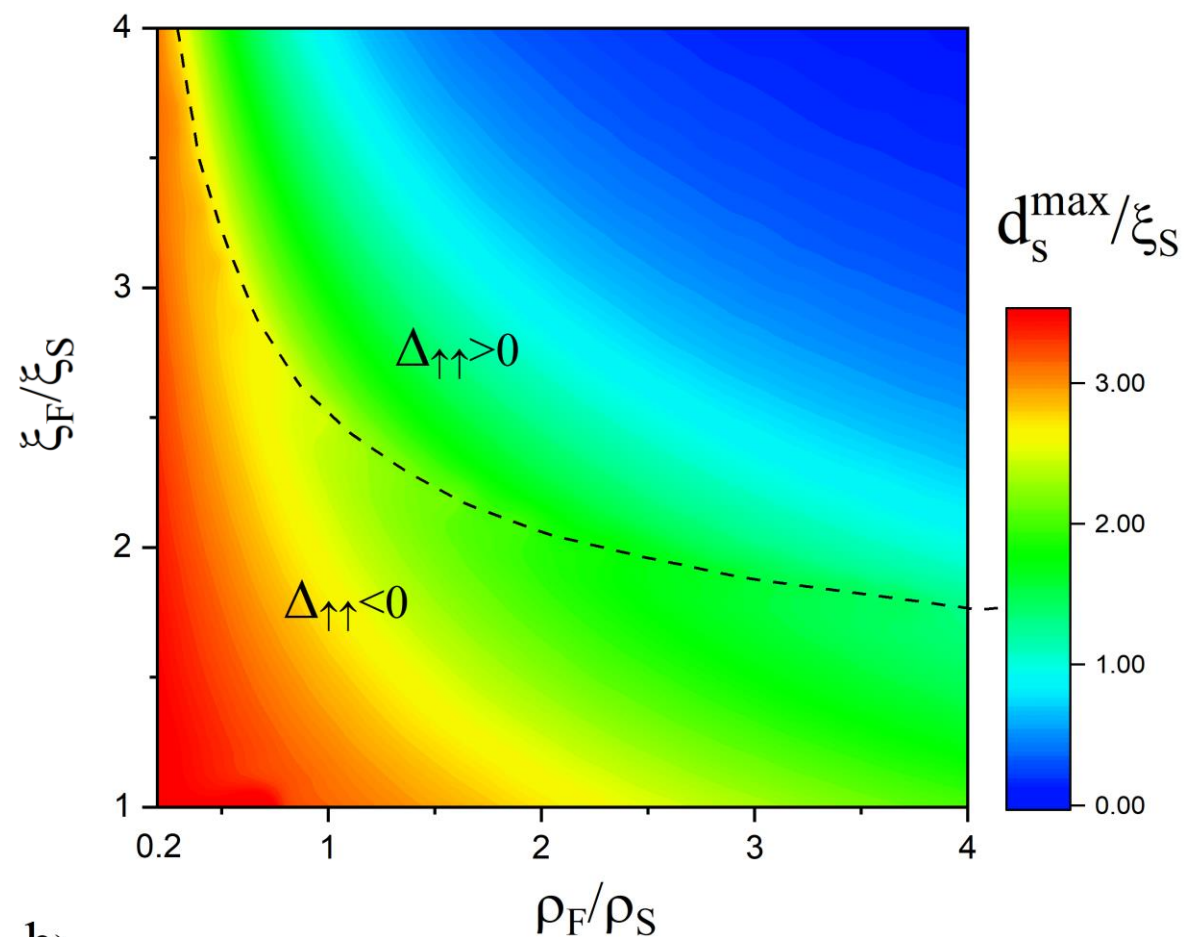
Изменение сверхпроводимости на  $SF_1$ -границе ведет к значительному восстановлению сверхпроводимости  $F_2s$ -интерфейса

# Карта параметров для максимальной разности при перемагничивании

вблизи смены знака  $\Delta_S$  «сила» ССК  $\delta^{max}$  достигает 0.9-1 Тс !



a)



b)

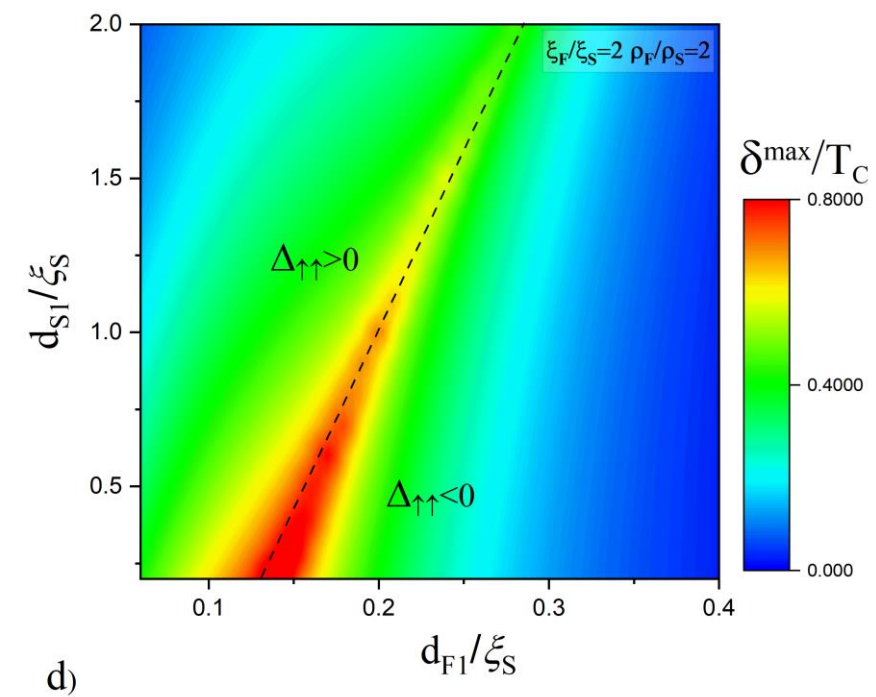
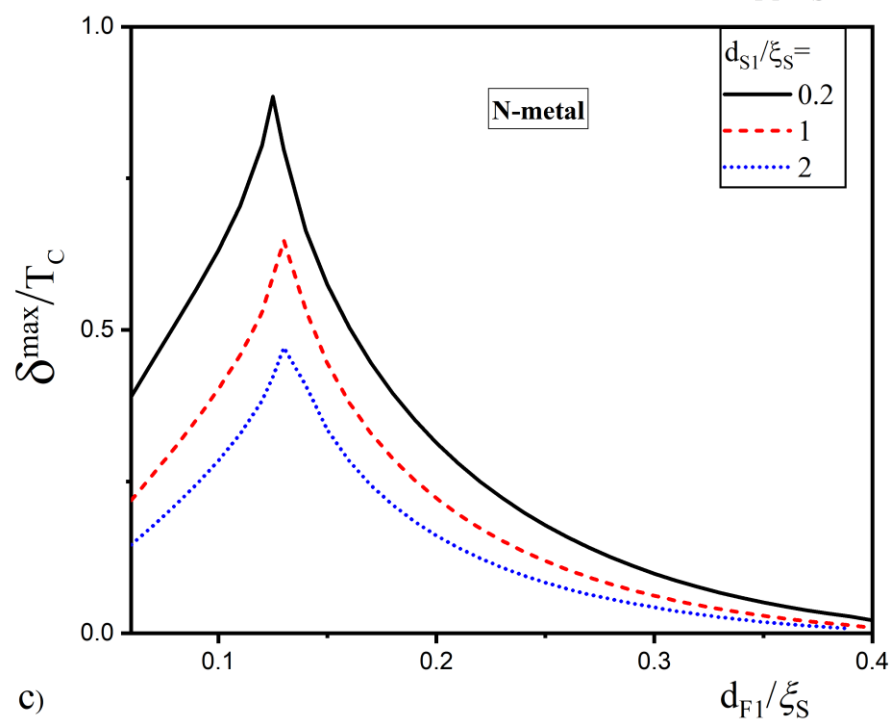
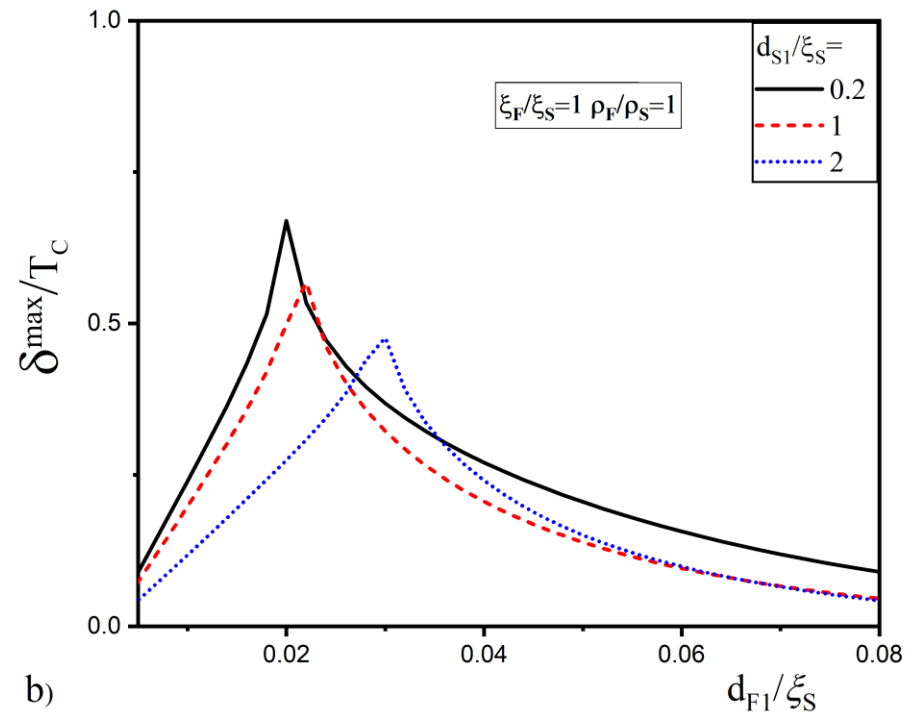
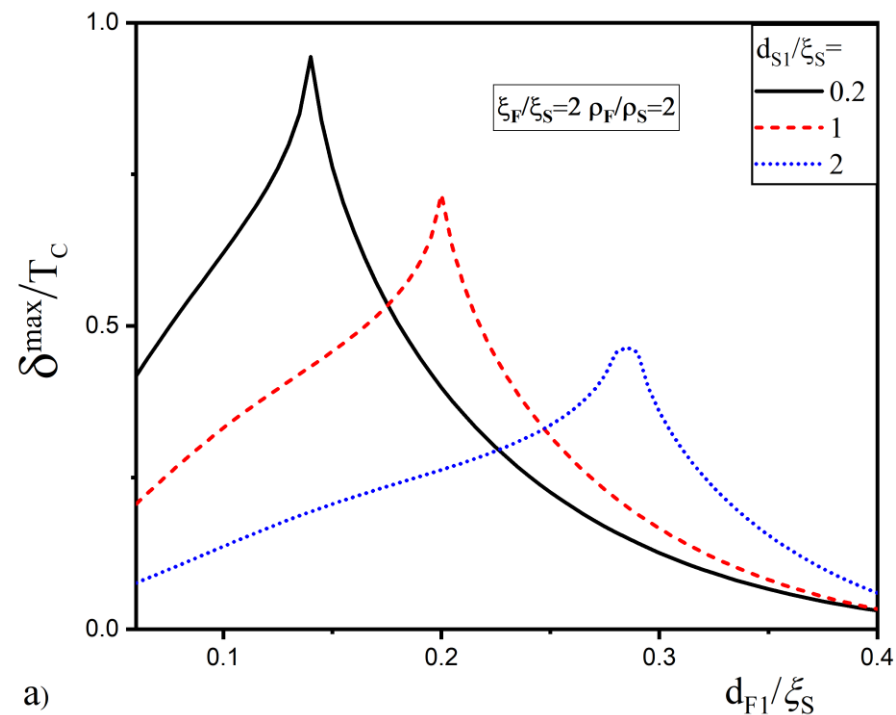


# Зависимость от толщины ферромагнетиков.

$$d_{F2} = d_{F1} + 0.1\xi_S$$

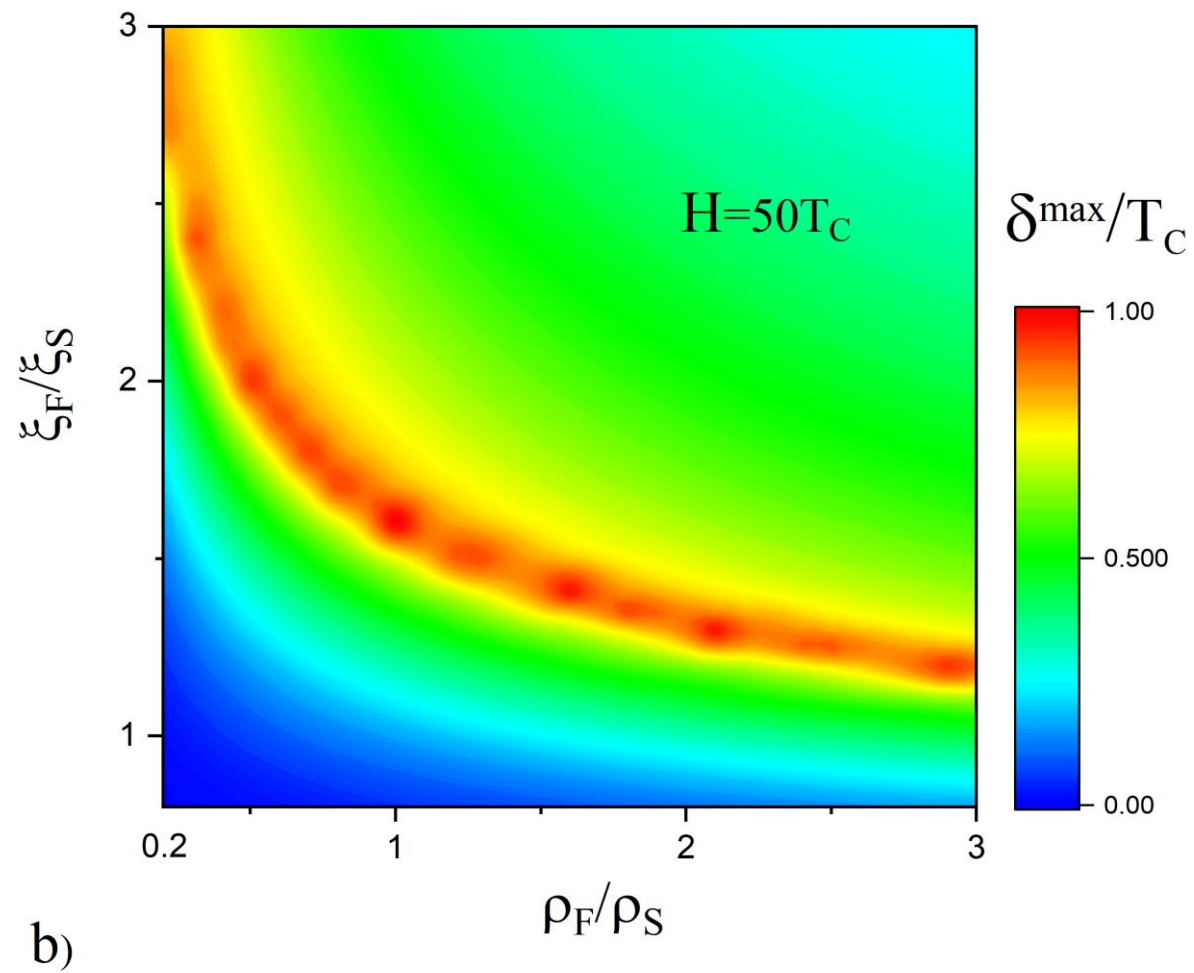
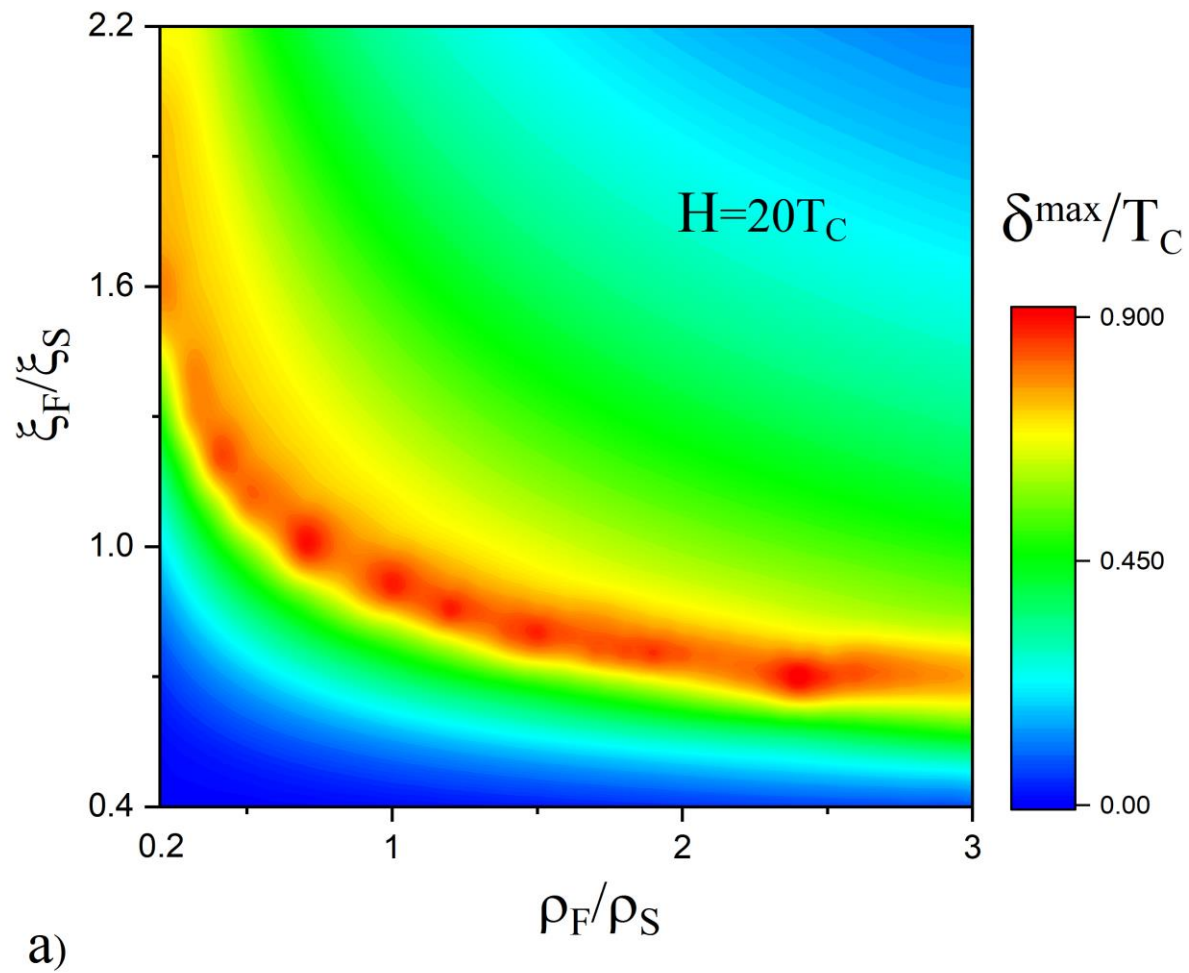
Пик  $\delta^{max}$  в окрестности смены знака  $\Delta_S$

При увеличении толщины  $d_{S1}$  связь границ  $SF_1$  и  $F_2S$  уменьшается



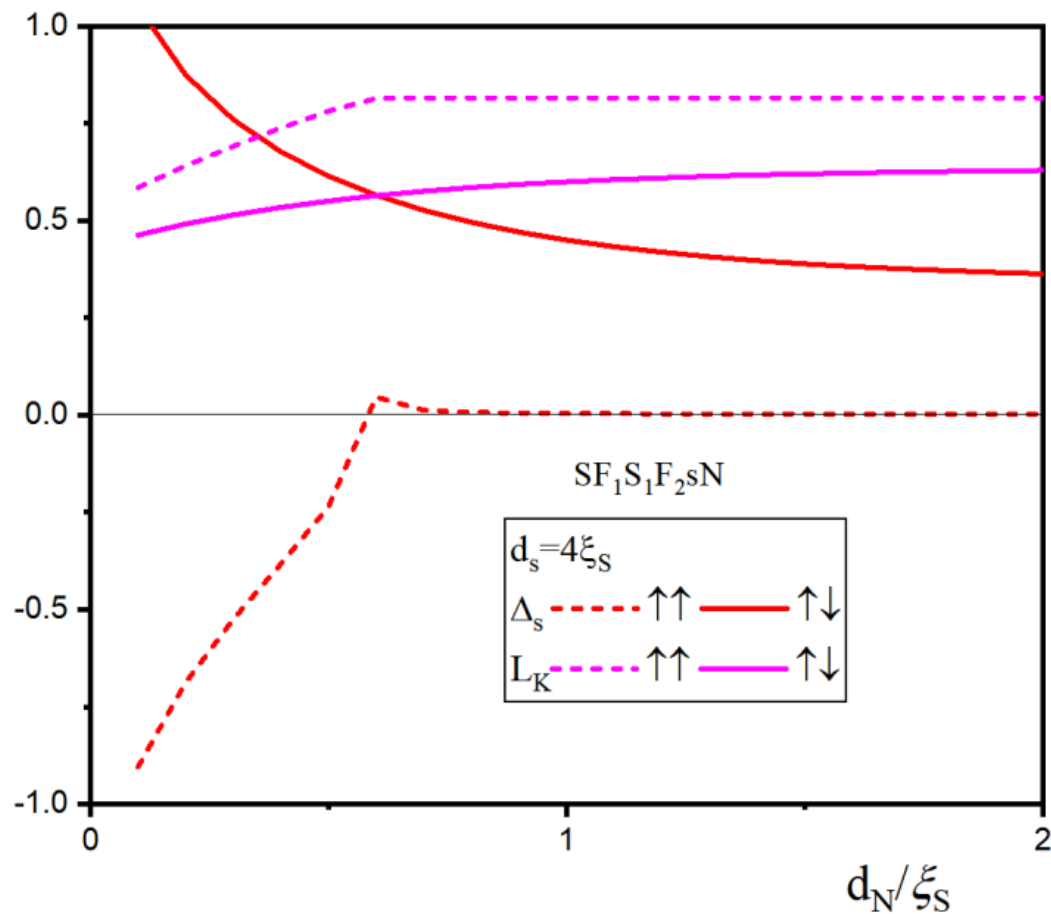


# Карта параметров при меньших $H$

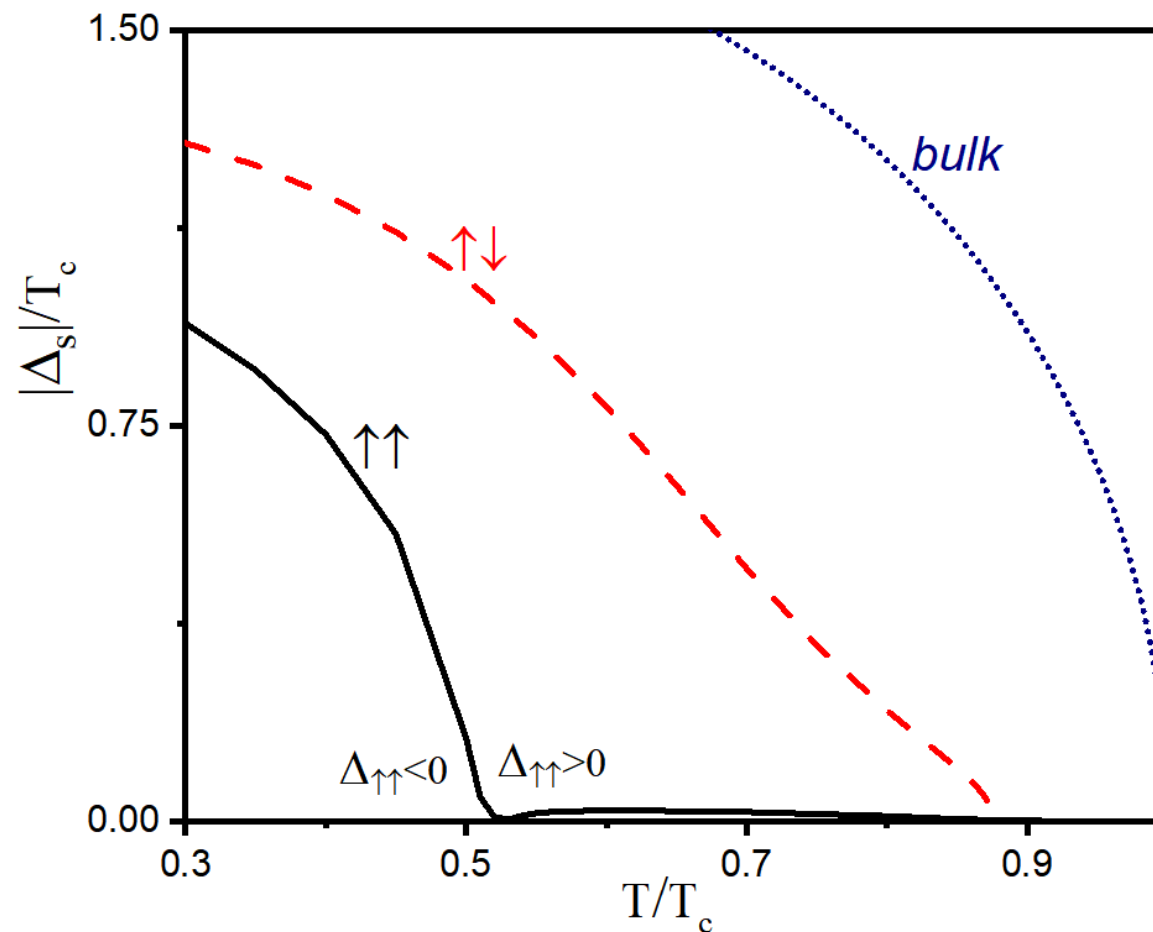


# Возможный выход на измерения

## Кинетическая индуктивность



## Критическая температура



+ туннельный ток  $SF_1S_1F_2sIS$ -контакта

В АП-ориентации при  $d_s = \xi_S$  параметр порядка  $\Delta_S \approx 0.3T_C$  ,  $\Theta = 0.1\pi$

