

Теоретический расчет наведенной намагниченности в S-FI бислое

В.О. Яговцев

Департамент электронной инженерии
Научный руководитель: Н.Г. Пугач



Структура доклада

- Вначале будет рассмотрена мотивация работы и решаемые в ней задачи
- Далее представлена модель, используемая в работе для расчета инверсной намагниченности
- После рассматриваются полученные результаты моделирования для рассматриваемой в работе структуры
- В конце доклада будут представлены выводы и кратко описаны планируемые для дальнейшей работы цели



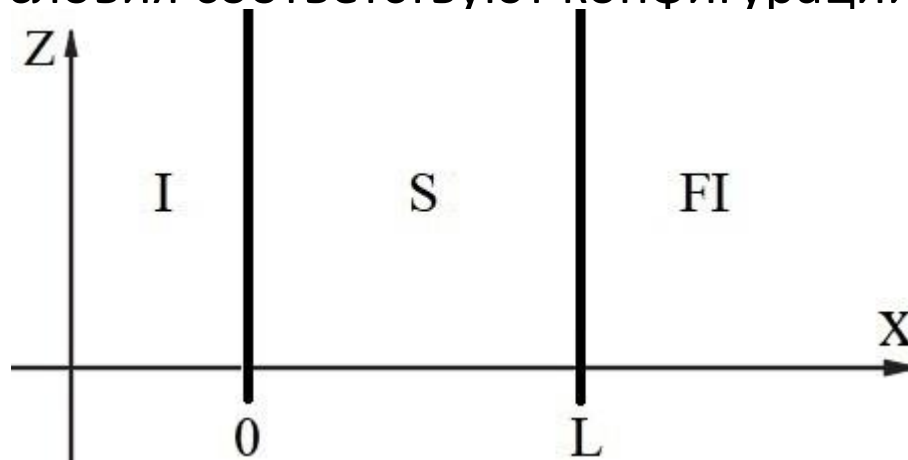
Мотивация работы

- Группа Бергерета и Джазотто предложила болометр с ферромагнитным слоем
- Через год численно были промоделированы его параметры группой Эшрига и Линдера
- В данной работе моделируется такой болометр при помощи аналитического решения транспортного уравнения и рассчитываются некоторые из его параметров
- В дальнейшем планируется подтвердить численные расчеты и, убедившись в совпадении результатов, промоделировать интересующие группу Кузьмина конфигурации болометров



Модель

- Для моделирования эффекта близости выбрано квазиклассическое уравнение Узаделя, описывающее поведение функции Грина сверхпроводника
- Граничные условия соответствуют конфигурации на рисунке



- Аналитическое решение выводилось для случая близости температуры T к критической T_c
- Рассчитывались параметр порядка сверхпроводника и инверсная намагниченность



Уравнение Узаделя

- Именно в случае грязных сверхпроводников можно использовать транспортное уравнение Узаделя. Оно является наиболее простой основой для описания загрязненных сверхпроводников
- Задачей работы является составление граничных условий для уравнения Узаделя на границах слоев болометра

$$\left[i\omega_n \hat{\tau}_3 - \hat{\Delta} - \mathbf{J}(\mathbf{R}) \cdot \hat{\sigma}, \hat{g} \right] + \frac{D_{ij}}{\pi} \nabla_i (\hat{g} \nabla_j \hat{g}) = 0$$



Граничные условия

- Граничные условия для границы сверхпроводник/ферромагнитный изолятор

$$GL(\hat{g}\partial_x\hat{g}) = \hat{I}$$
$$2\hat{I} = G_0[\hat{g}_L, \hat{g}_R]$$

- Граничное условие для спин-активного интерфейса:

$$\hat{I} = -N \cdot G_Q \cdot \left[1 - \frac{i}{4} \sin(\varphi) \hat{a} + \frac{1}{2} \sin\left(\frac{\varphi}{2}\right)^2 \hat{a}\hat{m} \right]^{-1}$$
$$\cdot \left[-i \sin(\varphi) \hat{g}\hat{a} + \sin\left(\frac{\varphi}{2}\right)^2 [\hat{m}, \hat{a}] \right] \cdot$$
$$\left[1 - \frac{i}{4} \sin(\varphi) \hat{a} + \frac{1}{2} \sin\left(\frac{\varphi}{2}\right)^2 \hat{m}\hat{a} \right]^{-1}$$
$$\hat{a} = \hat{g}\hat{m}\hat{g} - \hat{m}$$



Аналитическое решение

- При условии близости температуры T к критической T_c аномальная функция Грина f мала и можно раскладывать по ее компонентам полученные выражения в ряд Тейлора и отбрасывать члены выше первого порядка малости
- При этом в том же пределе функция Грина g почти не меняется и ее можно считать константой
- В результате, после проведения преобразований, получается замкнутая математическая задача из дифуравнения второго порядка с двумя граничными условиями:

$$\left(D \frac{\partial^2}{\partial x^2} - 2|\omega_n| \right) f_{\uparrow\downarrow} = 2\pi\Delta_S$$
$$\frac{\partial f_{\uparrow\downarrow}(L)}{\partial x} = a \cdot f_{\uparrow\downarrow}(L)$$
$$f'_{\uparrow\downarrow}(0) = 0$$



Аналитическое решение

- Полученная математическая задача решается аналитически и получается следующий вид для аномальной функции Грина:

$$f(x) = -\frac{d}{c} \cdot \left(\frac{\left(\frac{h}{\alpha} + 1\right) \cdot e^{-\alpha L + h}}{\alpha \sinh(\alpha L) - h \cosh(\alpha L)} \cdot \cosh(\alpha \cdot x) + \left(\frac{1}{\alpha} \cdot e^{-\alpha x} + 1\right) \right)$$



Рассчитываемые величины

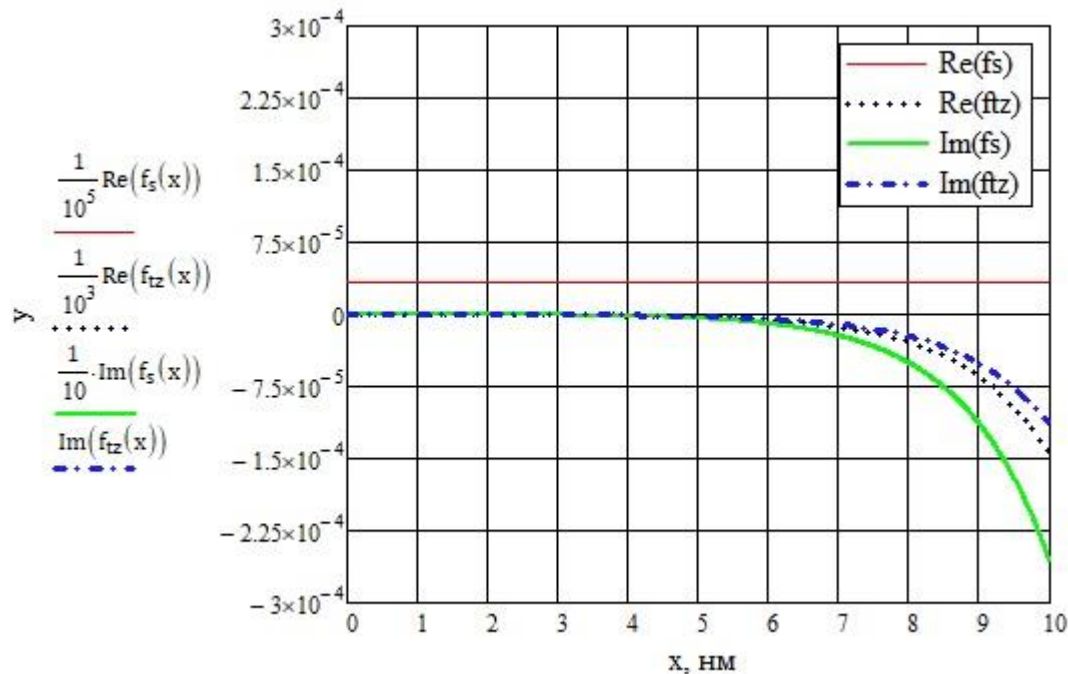
- Первым делом проводилась оценка параметра порядка в зависимости от координаты. В случае, если он сильно подавляется, использовать полученное решение дифференциального уравнения на функцию Грина нельзя, так как оно получено для параметра порядка, не зависящего от координат
- В случае, если параметр порядка подавляется слабо, можно рассчитывать любые выражаемые из функций Грина величины. В данном случае была рассчитана инверсная намагниченность:

$$\delta M(\mathbf{R}) = 2 \cdot N_0 \cdot T \cdot \sum_n \frac{f_s(R, \omega_n) \cdot \tilde{f}_{tz}(R, \omega_n) - f_{tz}(R, \omega_n) \cdot \tilde{f}_s(R, \omega_n)}{2 \cdot g_0}$$



Полученные данные

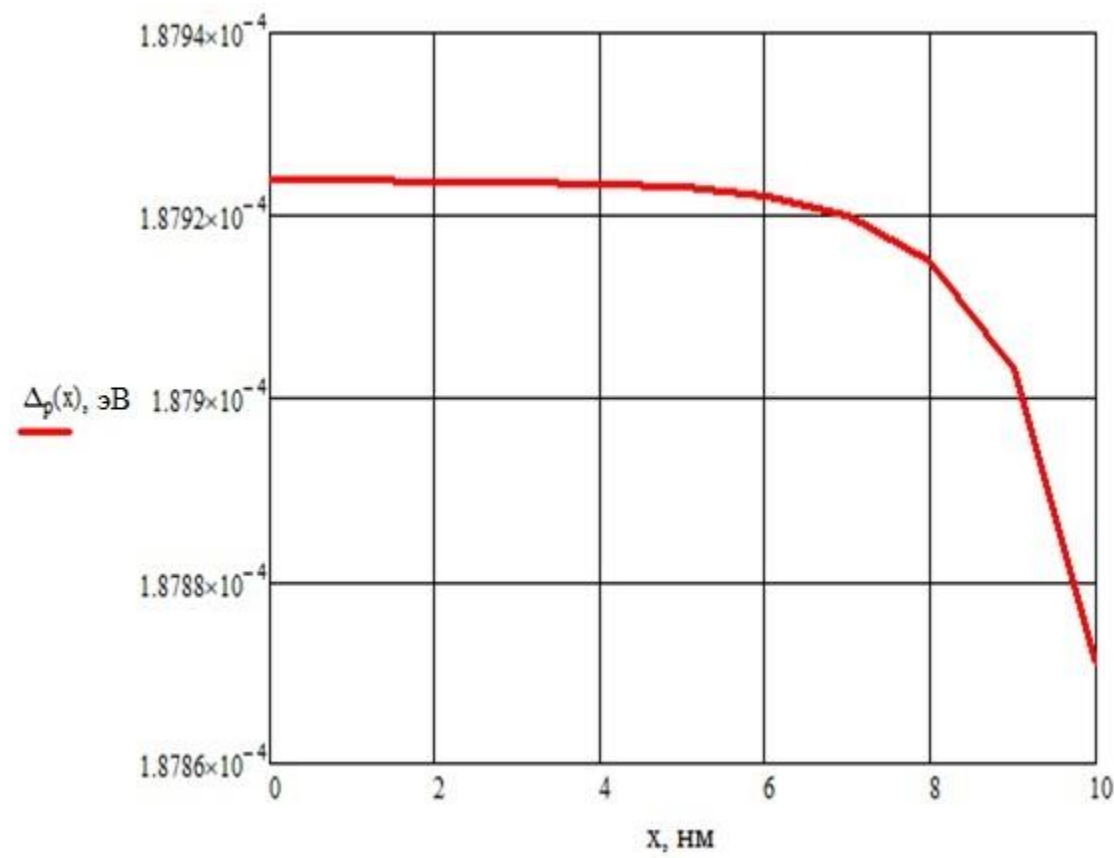
- Графики получены для материала сверхпроводника Al
- $L - 10$ нм, площадь границ между слоями – 20 нм^2 , $T_c - 1,2$ К, $T = 0,75 \cdot T_c$, $\sigma = 2,646 \cdot 10^{18} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{нм}^{-1}$.



Зависимости компонент аномальной функции Грина от координат



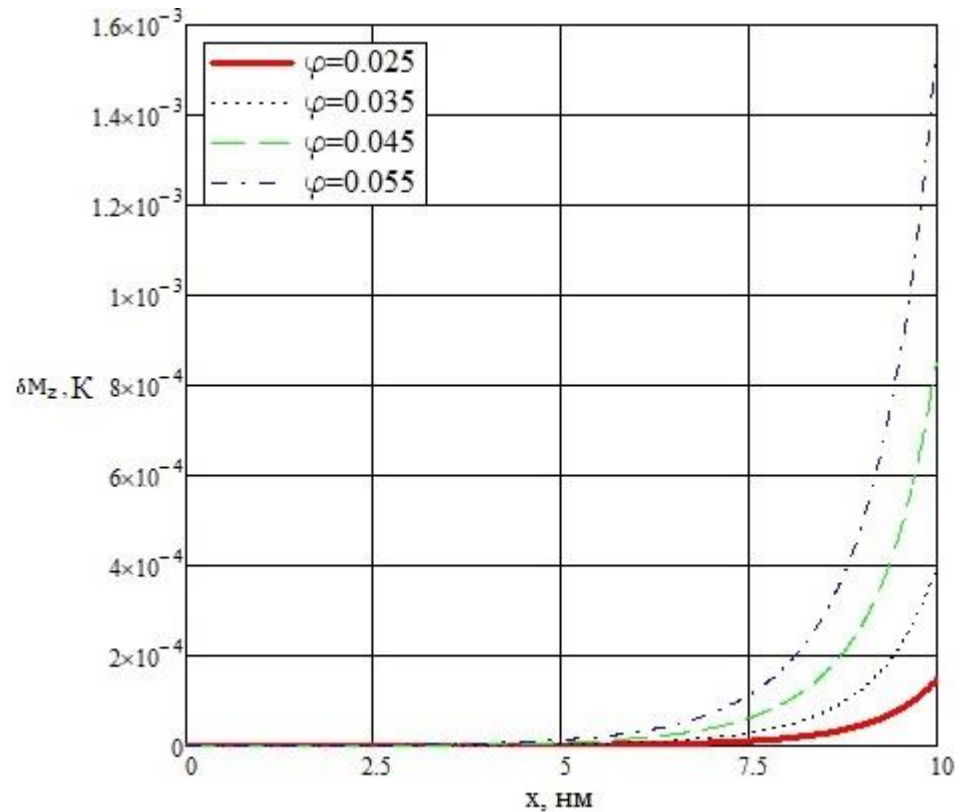
Полученные данные



Пространственная зависимость параметра порядка



Полученные данные



Пространственная зависимость инверсной намагниченности при разных углах спинового смешивания



Выводы

- Получена пространственная зависимость инверсной намагниченности в сверхпроводнике, согласующаяся с физическими ожиданиями, что подтверждает верность аналитического решения
- Можно предположить, исходя из полученных о параметре порядка данных, что в связи с малым подавлением параметра порядка инверсной намагниченностью сверхпроводящий ток в анализируемой структуре так же будет весьма заметным



Дальнейшие планы

- Данную модель можно изменить и превратить в численную модель
- Интересной задачей является создание аналитической модели для других предельных случаев, как чистые сверхпроводники и температуры, далекие от критической

**Спасибо
за внимание!**