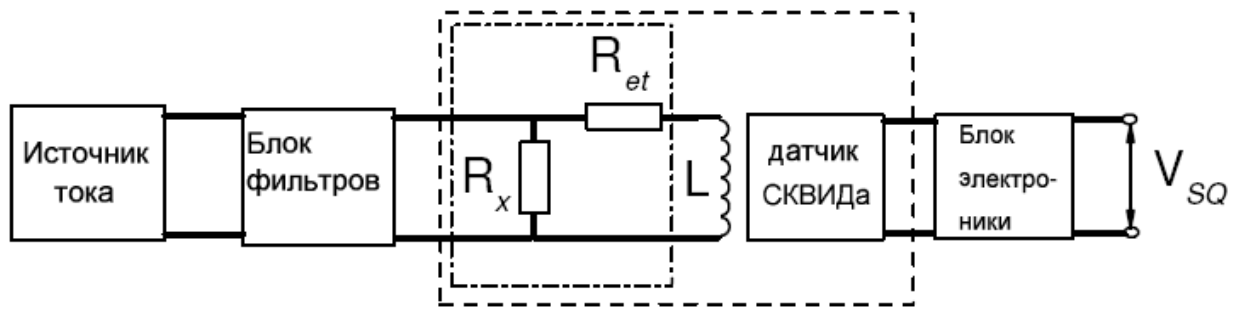


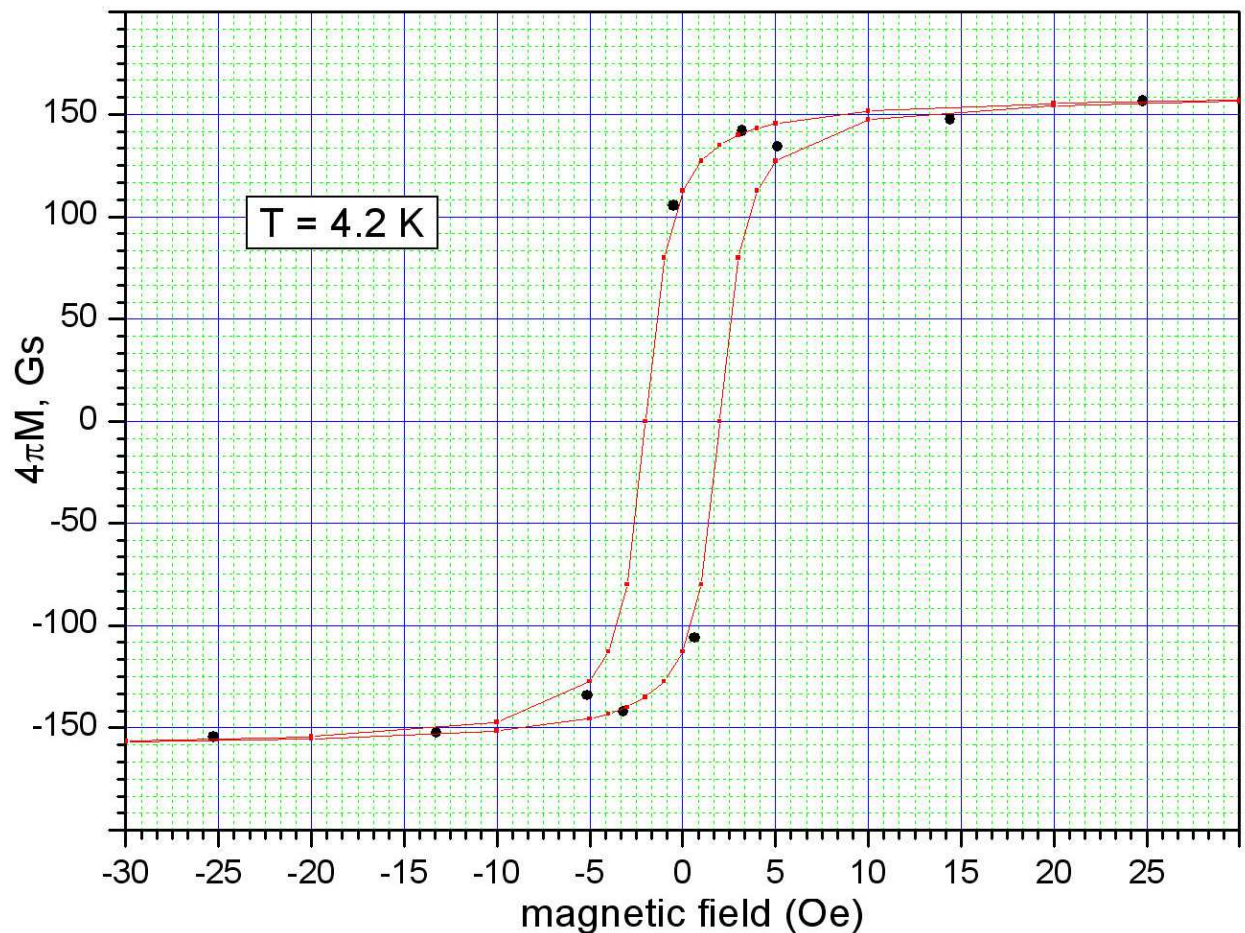
Задачи по физическим нанотехнологиям
решения присылать Виталию Валериевичу Больгинову
bolg@issp.ac.ru

- 1) Электронная литография в ИФТТ РАН позволяет изготавливать туннельные структуры из алюминия с малыми латеральными размерами до 50 нм. В каком диапазоне напряжений будет наблюдаться эффект кулоновской блокады? До каких значений надо уменьшить температуру, чтобы наблюдать этот эффект? Толщина слоя окисла 1-2 нм.
- 2) Крио-Рефрижератор BlueForce позволяет получать низкие температуры вплоть до 10 мК. Какой максимальный размер островка может быть задан для работы одноэлектронного транзистора?
- 3) Какую максимальную толщину слабого ферромагнетика CuNi можно выбрать для реализации эксперимента по визуализации спонтанного магнитного потока? Характерные пространственные масштабы измерялись в статье [1].
- 4) На слайде 26 в лекции В.В. Рязанов приведено поперечное сечение многослойного SFS-контакта, имеющего следующие размеры.
 - Толщина нижнего сверхпроводящего электрода 120 нм. Слой сформирован в виде длинной полосы шириной 50 мкм.
 - Толщина джозефсоновского барьера 35 нм, из которых 15 нм CuNi и 20 нм защитный слой меди. Слой сформирован в форме квадрата 30x30 мкм.
 - Толщина слоя изоляции 170 нм. Размер окна составляет 10x10 мкм.
 - Толщина верхнего сверхпроводящего электрода 250 нм.Оценить период зависимости критического тока контакта от внешнего магнитного поля. Какой ток надо пропустить по нижней сверхпроводящей шине, чтобы создать магнитный поток через переход, равный одному кванту? Детальное рассмотрение джозефсоновского перехода в магнитном поле приведено в книге [Д1] (параграф 24).
- 5) СКВИД конструкции Циммермана (см. книгу [Д1] гл.4 параграф 25) представляет собой ниобиевый брусок с двумя параллельным отверстиями диаметром 2.2 мм между которыми расположен прижимной ниобиевый контакт. Для создания магнитного смещения используется катушка из ниобиевого провода диаметром 0.1 мм с внутренним диаметром 2 мм. Данный датчик используется в составе СКВИД-вольтметра (см. блок-схему ниже) с входным сопротивлением $R_{\text{et}} = 1$ МОм, причем обратная связь была отключена. Оценить максимальное напряжение на сопротивлении R_x , которое может быть однозначно измерено таким датчиком.

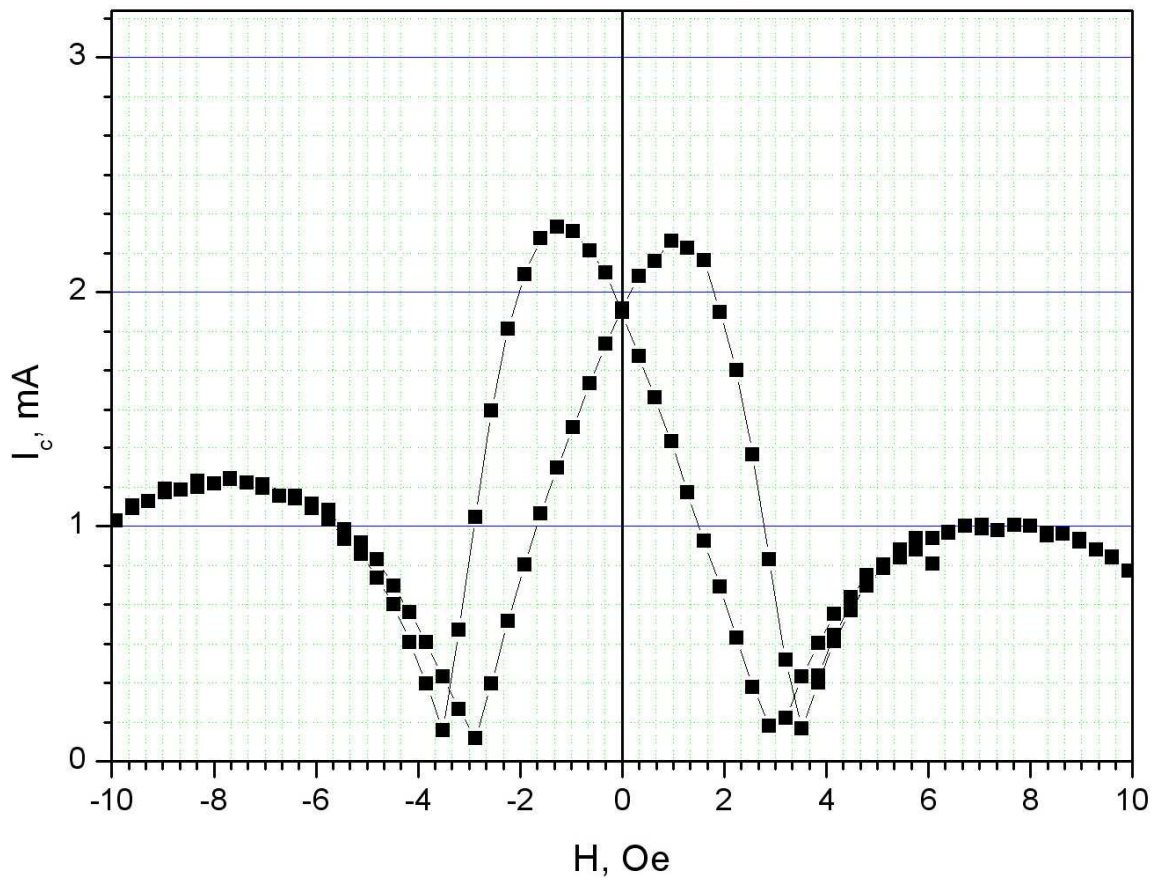
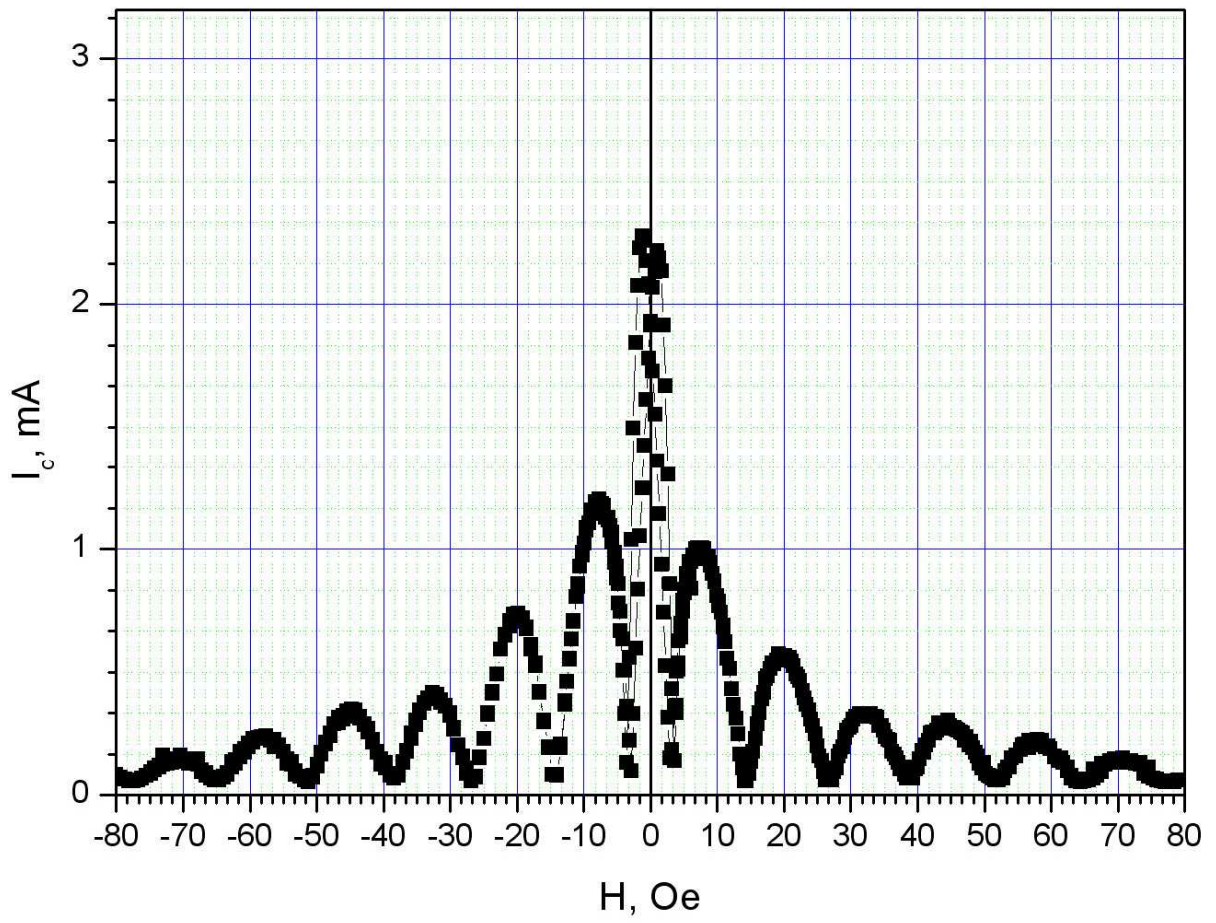


б) Оценить разность фаз, возникающую на пи-контакте, в TFF, реализованном в работе [2]. Пример анализа фазовой когерентности в замкнутом сверхпроводящем контуре с джозефсоновскими контактами приведен в книге [Д1] (параграф 25).

7) Нами был изготовлен магнитный джозефсоновский переход размером 10×10 мкм с критической плотностью тока туннельного барьера 800 A/cm^2 . Ферромагнитный барьер имел толщину 20 nm и предельную кривую перемагничивания, приведенную ниже. Оценить остаточный магнитный поток через сечение контакта после намагничивания до насыщения и выключения магнитного поля. Чему будет равен критический ток контакта в этом состоянии? Какое напряжение в резистивном цифровом состоянии может быть получено, если образец шунтирован нормальным сопротивлением 0.3 Ом ? Экспериментальное изучение джозефсоновского перехода с магнито-мягким барьером было проведено в работе [3].



8) В ходе экспериментов был исследован магнитный джозефсоновский переход Nb-PdFe-Nb размером 10×10 мкм и получена следующая зависимость критического тока от магнитного поля. Восстановить кривую перемагничивания ферромагнитного барьера. Толщина джозефсоновского барьера составляет 35 nm , глубина проникновения магнитного поля в сверхпроводник - 80 nm . Пример проведения подобной процедуры приведен в статье [3].



9) Пусть производится термическое осаждение 150 г алюминия на подложку размером 15x15 мм из лодочки, расположенной на расстоянии 20 см. Рассчитать толщину пленки, осажденной на подложку.

10) Считается, что кварцевый датчик необходимо менять, когда его частота изменяется на 100 кГц. Сколько циклов напыления пленок олова толщиной 100 Å может быть проведено с использованием одного датчика? Какую массу навески надо взять для одного распыления, если распыление производится из лодочки с расстояния 20 см на подложку размером 15x15 мм?

11) Для осаждения высококачественных тонких (5-10 нм) слоев ниобия иногда применяется метод протяжки. В этом методе ниобий распыляется с высокой скоростью (5-10 нм/с) а подложка протягивается через зону распыления с некоторой скоростью. Пусть скорость распыления над мишенью равна 6 нм/с, угловая скорость вращения подложкодержателя 0.1 об/сек, радиус движения центра подложкодержателя 11 см, диаметр мишени 75 мм. Какова будет толщина пленки ниобия, осажденной на подложку, расположенную в центре подложкодержателя? Каков будет уход частоты датчика толщиномера при тех же параметрах?

12) Во время лекции рассматривался технологический процесс послойного изготовления джозефсоновского SNS-контакта Nb-CuAl-Nb. Характерная глубина травления в ходе ионной очистки перед напылением следующего слоя составляет 5-10 нм. Какова будет ошибка в определении критической плотности тока, если ее амплитуда крит. плотности 10 MA/cm^2 , а длина когерентности равна 25 нм при гелиевой температуре. Почему этот процесс не применялся в случае ферромагнитного барьера? Как можно модифицировать послойный процесс, чтобы его можно было применять в этом случае?

13) От генератора на ВЧ-катод поступают электрические колебания мощностью 100 Вт. На катоде диаметром 75 мм горит плазма, заряженные частицы совершают колебательные движения с частотой 13.56 МГц. Пусть в начальный момент времени все частицы находились в состоянии покоя. Какова установившаяся амплитуда колебаний? Сравнить с длиной свободного пробега.

14) Установка фотолитографии использует для экспонирования ртутную газоразрядную лампу. Какую линию излучения необходимо использовать для создания фоторезистивной маски размером 0.7 мкм? Толщина резиста, 1 мкм показатель преломления 1.3. Резист считать прозрачным.

15) Описать форму стенки электронно-резистивной маски для характерных значений доз $D_0=50\text{мДж/см}^2$, $D_1=75\text{мДж/см}^2$. Для электронной литографии используется микроскоп JEOL с ускоряющим напряжением 25 кВ. Для дополнительной информации см. книгу [Д2].

16) При теневого напылении типичная толщина слоя PMMA составляет 100 нм, типичная толщина слоя MMA составляет 500 нм. Под каким углом надо расположить подложку к испарительной ячейке, чтобы получить джозефсоновский переход размером 200 нм?

Решение оформить в виде pdf-файла, сформулировав словами схему рассуждений.

Ссылки.

[1] V. A. Oboznov, V. V. Bol'ginov, A. K. Feofanov, V. V. Ryazanov, and A. I. Buzdin. " Thickness Dependence of the Josephson Ground States of Superconductor-Ferromagnet-Superconductor Junctions." PHYSICAL REVIEW LETTERS 96, 197003 (2006).

[2] "A single flux quantum circuit with a ferromagnet-based Josephson π -junction." M I Khabipov , D V Balashov , F Maibaum , A B Zorin, V A Oboznov, V V Bolginov , A N Rossolenko and V V Ryazanov. Supercond. Sci. Technol. 23 045032 (2010).

[3] В.В. Больгинов, В.С. Столяров, Д.С. Собанин, А.Л. Карпович, В.В. Рязанов. «Магнитные переключатели на основе джозефсоновских переходов Nb-PdFe-Nb с магнитомягкой ферромагнитной прослойкой» Письма в ЖЭТФ т.95 N7, 2012 стр. 408-413

Доп. Материалы.

[Д1] В.В.Шмидт. Введение в физику сверхпроводников. -М. , "Наука", 1982. (см. электронную библиотеку МФТИ)

[Д2] И. Броудай, Дж. Мерей "Физические основы микротехнологии" пп. 2.6.1 и 4.8.4.