# Государственный экзамен по физике

## Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова

## Магистерская программа

«Физика сверхпроводниковых и наноэлектронных устройств»

### Билет № 1

- 1. Периодические структуры. Прямая и обратная решётки. Газ свободных электронов. Поверхность Ферми.
- 2. Кулоновская блокада туннелирования: что это такое, в чем она выражается/ проявляется? В каких условиях и почему она возникает? Можно ли ее преодолеть? Как?
- 3. 2) Определить значения длины когерентности и глубины проникновения  $\xi(0)$  и  $\lambda(0)$  для Nb.

#### Билет № 2

- 1. Туннелирование между металлами в нормальном и сверхпроводящем состояниях при T=0 (SIN, SIS) структуры. Выражения для туннельного квазичастичного тока. Условия наблюдения Андреевского тока.
- 2. Одноэлектронные молекулярные и атомные устройства. Оценка размеров и энергетических величин. Характерная энергия размерного квантования и кулоновского взаимодействия. Одноэлектронный транзистор. Принцип работы. Модуляционные и вольт-амперные характеристики
- 3. Сверхпроводящий сплав Nb<sub>3</sub>Sn имеет  $H_{c2}$  = 16  $T/\mu_{-}0$  и  $\kappa$  = 23,  $T_{C}$  = 16.6 K Найти первое критическое поле. величины  $\xi(8K)$  и  $\lambda(8K)$ .

## Билет № 3

- 1. Заряд квазичастицы в сверхпроводнике. Время релаксации квазичастиц. Физические реализации границы между n- и s-фазами в сверхпроводнике.
- 2. Ступени Шапиро на ВАХ джозефсоновского перехода под воздействием внешнего высокочастотного сигнала. Физический смысл этого явления. Зависимость положения и высоты ступеней от частоты и амплитуды воздействующего сигнала.
- 3. В одноатомном одноэлектроном транзисторе атом, который является зарядовым центром транзистора, содержит всего один энергетический уровень, через который может идти туннельный транспорт, и на котором может находится только один электрон. Вероятности туннелирования электрона между левым электродом и атомом и правым электродом и атомом составляют  $10^{10}$  и  $2*10^{10}$  с-1, соответственно. Оцените максимальное значение электрического тока через транзистор в амперах. Постройте граф состояний и переходов транзистора. Вероятности туннелирования не зависят от приложенного туннельного напряжения.

#### Билет № 4

- 1. Термоэлектрические эффекты в сверхпроводниках. Физические характеристики материалов при низких температурах. Электронные термоэффекты. Термоэлектрические эффекты в джозефсоновских переходах.
- 2. Принцип работы сканирующего атомно-силового микроскопа. Принцип работы сканирующего туннельного микроскопа. Сканирующие элементы (сканеры) зондовых микроскопов.

3. Допированный азотом Nb имеет Hc2 = 0.5 T/ $\mu$ \_0,  $\kappa$  = 1.8. Вычислить магнитный момент единицы объема NbN в поле 0.1 T/ $\mu$ \_0.

#### Билет № 5

- 1. Явление макроскопической квантовой интерференции в сверхпроводящем контуре с одним и с двумя джозефсоновскими переходами. Влияние индуктивности. Одно- и двухконтактные сквиды.
- 2. Физические принципы взаимодействия электронного пучка с образцом при использовании растрового электронного микроскопа. Обратно рассеянные и вторичные электроны. Принцип их образования. Зона возбуждения, её типичные размеры. Характеристическое и непрерывное рентгеновское излучения (описать процессы образования).
- 3. 1. Два джозефсоновских перехода с критическими токами  $I_{c1}$  = 500 мкA и  $I_{c2}$  = 700 мкA включены параллельно. Полный ток через оба перехода равен I = 1 мA. Чему равны токи в каждом из переходов?

#### Билет № 6

- 1. Коррелированное туннелирование электронов: причины и условия реализации; в каких системах. Связь его с кулоновской блокадой туннелирования.
- 2. Диаграмма стабильности одноэлектронного транзистора, ее связь с параметрами и характеристиками транзистора.
- 3. Индуктивность кольца одноконтактного сверхпроводящего квантового интерферометра равна 10 пГн. До какой величины нужно уменьшить критический ток джозефсоновского перехода, чтобы зависимость полного магнитного потока в кольце от приложенного внешнего потока стала безгистерезисной?

### Билет № 7

- 1. Модельный кубит. Состояния кубита на сфере Блоха. Измерения в вычислительном и произвольном базисах. Квантовые схемы. Вентили Паули.
- 2. Магнитная/емкостная/токовая сканирующая зондовая микроскопия. Метод Кельвина и электросиловой методы. Принципы работы, характерные параметры измерений, типы доступных для исследований образцов.
- 3. Определите результат измерений в базисе  $|0\rangle$ , $|1\rangle$  квантовой схемы:



### Билет № 8

- 1. Резистивная модель джозефсоновского перехода. Вольт амперная характеристика (BAX). Влияние емкости на BAX, частоту и форму джозефсоновской генерации.
- 2. Методы литографии и манипулирования в сканирующей зондовой микроскопии. Принципы работы, характерные параметры измерений, типы доступных для исследований образцов.
- 3. Найти энергию джозефсоновского перехода с критическим током  $I_c$  = 200 мкA, если через него протекает ток  $I = 100\sqrt{3}$  мкA.