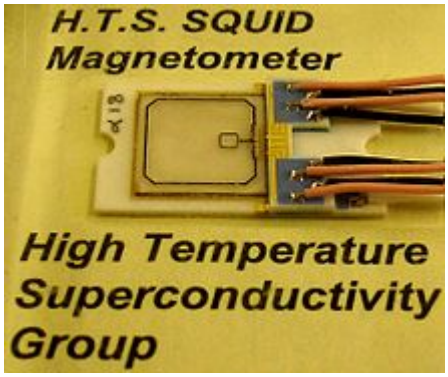
ВикипедиЯ

СКВИД

Материал из Википедии — свободной энциклопедии

СКВИД (от англ. *SQUID*, *Superconducting Quantum Interference Device* — «сверхпроводящий квантовый интерферометр»; в буквальном переводе с английского *squid* — «кальмар») — сверхчувствительные магнитометры, используемые для измерения очень слабых магнитных полей. СКВИД-магнитометры обладают рекордно высокой чувствительностью, достигающей $5 \cdot 10^{-33}$ Дж/Гц (чувствительность по магнитному полю — 10^{-13} Тл)[1]. Для длительных измерений усредненных значений в течение нескольких дней можно достичь значений чувствительности в $5 \cdot 10^{-18}$Тл[2].



Измерительная часть СКВИДа.

Содержание

Принцип работы

Типы СКВИДов

- СКВИД на постоянном токе
- СКВИД на переменном токе (ВЧ-СКВИД)

Использование СКВИДов

- Сканирующий СКВИД-микроскоп

СКВИДы в фантастике

См. также

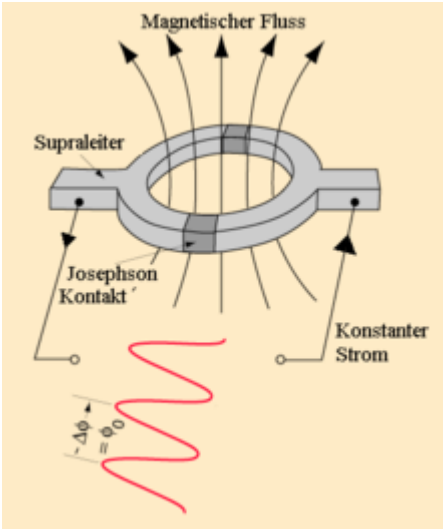
Примечания

Литература

Принцип работы

Простейший квантовый магнитометр — СКВИД представляет собой сверхпроводящее кольцо с двумя джозефсоновскими туннельными контактами. Это в определенном смысле аналог оптического эффекта с интерференцией от двух щелей, только в данном случае интерферируют не световые волны, а два джозефсоновских тока. Существенным для понимания работы СКВИДа является наличие волновых свойств у электрона — в СКВИДе волна электронов разделяется на две, каждая из которых проходит свой туннельный контакт, а затем обе волны сводятся вместе. В случае отсутствия внешнего поля обе ветви будут эквивалентны, и обе волны придут без разности фаз. Но при наличии магнитного поля в контуре будет наводиться циркулирующий сверхпроводящий ток. Этот ток в одном из контактов будет вычитаться из постоянного внешнего тока, а во втором — складываться с ним. Теперь две ветви будут иметь разные токи, и между туннельными контактами возникнет разность фаз. Волны электронов, пройдя через контакты и соединившись, будут интерферировать, интерференция проявится как зависимость критического тока СКВИДА от приложенного внешнего магнитного поля. Ступенчатый характер зависимости позволяет

чувствовать отдельные кванты потока. Ступенчатый вид зависимости возникает из-за наличия условия изменения фазы электронной волны на джозефсоновском контакте на $2\pi n$, где n — целое число.



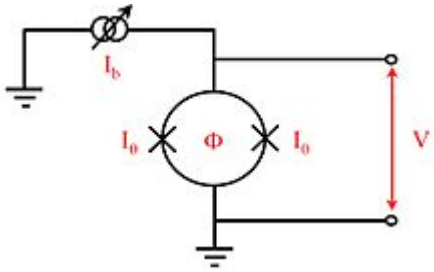
Изменение магнитного потока за счет генерации на джозефсоновском контакте.

Типы СКВИДов

Различают два типа СКВИДов — СКВИД на постоянном токе (двухконтактный СКВИД) и высокочастотный СКВИД (одноконтактный СКВИД). СКВИД на постоянном токе был изобретен в 1964 году физиками Robert Jaklevic, John J. Lambe, James Mercereau, и Arnold Silver. Они же вместе с Джеймсом Эдвардом Циммерманом изобрели СКВИД на переменном токе[3].

СКВИД на постоянном токе

СКВИД на постоянном токе представляет собой два джозефсоновских перехода, включенных параллельно. Включение осуществляется массивными сверхпроводниками, которые вместе с джозефсоновскими переходами a и b образуют замкнутый контур (кольцо). Внутрь этого кольца введена катушка, создающая магнитный поток.

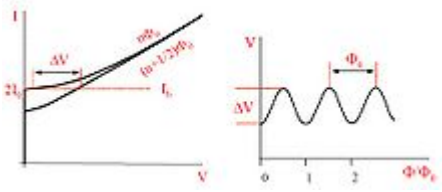


Электрическая схема СКВИДа на постоянном токе, здесь I_b — внешний ток через СКВИД, I_0 — критический ток, Ф — магнитный поток, приложенный к контуру, V — падение напряжения на СКВИДе.

Работа СКВИДа на постоянном токе описывается двумя соотношениями Джозефсона:

$$I_c = I_s \sin\varphi$$
$$\hbar\frac{\partial\varphi}{\partial t} = 2eV$$

Эти соотношения описывают соответственно стационарный и нестационарный эффект Джозефсона. Видно, что наиболее устойчиво сверхпроводящее состояние кольца по отношению к внешнему току будет в случаях, когда полный магнитный поток через интерферометр будет равен целому числу квантов потока $\mathbf{\Phi_0}$. Наоборот, случай, когда полный поток равен полуцелому числу квантов потока, соответствует неустойчивому сверхпроводящему состоянию: достаточно приложить к интерферометру ничтожный ток, чтобы он перешел в резистивное состояние и чтобы вольтметр обнаружил напряжение на интерферометре.



Слева: вольт-амперная характеристика СКВИДа. Верхняя кривая соответствует $n\mathbf{\Phi_0}$, а нижняя — $(n+1/2)\,\mathbf{\Phi_0}$.

Справа: зависимость напряжения на контакте от магнитного потока через контур. Период колебаний равен одному кванту потока $\mathbf{\Phi_0}$.

СКВИД на переменном токе (ВЧ-СКВИД)

Работа СКВИДа на переменном токе основана на нестационарном эффекте Джозефсона и использует только один джозефсоновский контакт. ВЧ-СКВИД в измерительной технике демонстрирует обычно более высокую чувствительность за счет более высокой трансформации потока от измерительного объёма (образца). Он дешевле и проще в

производстве в малых количествах. Значительная часть экспериментов в фундаментальной физике и измерений в биомагнетизме, включая измерение сверхмалых сигналов, были выполнены с использованием СКВИДов на переменном токе.

Использование СКВИДов

Исключительно высокая энергетическая чувствительность (порядка долей постоянной Планка), которой обладают СКВИДы при измерениях магнитных полей, открыла новые возможности в экспериментах фундаментальной физики. Одна из таких задач — оценка возможной величины электрического дипольного момента (ЭДМ) электрона. Общеизвестно, что электроны обладают электрическим зарядом и спином. Эффекты, связанные с нарушением CP- и T-инвариантности, не запрещают электрону иметь распределение электрического заряда, не совпадающее с распределением его массы, то есть электрический дипольный момент. Различные модели предсказывают существование у электрона ЭДМ на уровне от 10^{-20} см на заряд электрона до 10^{-28} см на заряд электрона, а возможно, и ещё меньше. Соответствующие опыты со СКВИДом показали, что ЭДМ у электронов меньше, по крайней мере, 10^{-22} см на заряд электрона[4]. Этот результат вошел в справочники по свойствам элементарных частиц и к настоящему времени вызвал целую серию подобных измерений.

На исключительно высокую чувствительность к магнитному потоку опирается весь спектр медицинских (магнитоэнцефалография, магнитогастрография, магнитный маркерный мониторинг, исследование сердца), технических (ядерный магнитный резонанс), горно-геологических (геофизическая разведка, палеомагнитный метод изучения горных пород) применений СКВИДов. Также есть соображения в части применения СКВИДов в квантовом компьютере в качестве кубитов.

Сканирующий СКВИД-микроскоп

В отличие от традиционных магнитометров, в которых СКВИДы используются как пассивные датчики низкочастотного или постоянного магнитного поля, в новом микроскопе используется переменный ток микроволновой частоты, циркулирующий по кольцу СКВИДа, когда на его джозефсоновских переходах возникает постоянное напряжение (нестационарный эффект Джозефсона). Основной принцип действия в том, что микроволновой ток течет в кольце СКВИДа легче, когда рядом с ним находится проводящий образец.

СКВИДы в фантастике

- Писатель-фантаст Уильям Гибсон использует СКВИДы в рассказе 1981 года «Джонни Мнемоник», где киборгизированный бывший военный дельфин использует СКВИД-имплантат для чтения запоминающего устройства, вживленного в мозг главного героя.
- В фильме «Странные дни» СКВИДы используются для записи и воспроизведения воспоминаний человека, некоторые из которых обмениваются на чёрном рынке.
- В романе Майкла Крайтона 1999 года «В ловушке времени» СКВИДы упоминаются как часть устройства квантовой телепортации, разработанной ITC.
- В романе «RedRobe» Джона Кортни Гримвуда содержится ссылка на СКВИД-зонды, используемые для чтения воспоминаний и мыслей, как части допроса.
- СКВИДы используются как часть полиграфа в романе Нила Стивенсона «Лавина».
- СКВИДы упоминаются в фильме «Химическая свадьба», где они являются частью суперкомпьютера, который используется для повторного воплощения Алистера Кроули.

См. также

- Эффект Джозефсона
- Сверхпроводимость

Примечания

1. СКВИД-магнетометр (https://web.archive.org/web/20030622093107/http://www.kirensky.ru/equipment/skvid.htm)
2. *Ran, Shannon K'doah.* Gravity Probe B: Exploring Einstein's Universe with Gyroscopes (http://einstein.stanford.edu/content/education/GP-B_T-Guide4-2008.pdf) (англ.). — National Aeronautics and Space Administration, 2004. — P. 26.
3. *J. Clarke and A. I. Braginski (Eds.).* The SQUID handbook (неопр.). — Wiley-Vch, 2004. — Т. 1.
4. *Б. В. Васильев, Е. В. Колычева.* Измерение электрического дипольного момента электрона с помощью квантового интерферометра // Журнал экспериментальной и теоретической физики. — 1978. — Vol. 74. — С. 466—471.

Литература

- Корнев В. К. Эффект Джозефсона и его применение в сверхпроводниковой электронике. // Соросовский образовательный журнал, 2001, № 8, с. 83.
- Гольцман Г. Н. Эффекты Джозефсона в сверхпроводниках. // Соросовский образовательный журнал, 2000, № 4, с. 100.
- Воронов В. К., Подоплелов А. В. Современная физика: Учебное пособие. — М.: КомКнига, 2005. — 512 с. ISBN 5-484-00058-0.

Источник — https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=СКВИД&oldid=107854201

Эта страница в последний раз была отредактирована 25 июня 2020 в 15:31.

Текст доступен по лицензии Creative Commons Attribution-ShareAlike; в отдельных случаях могут действовать дополнительные условия.
Wikipedia® — зарегистрированный товарный знак некоммерческой организации Wikimedia Foundation, Inc.