

## ПОСТОЯННЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ТОЧЕЧНЫХ КОНТАКТАХ, ИНДУЦИРОВАННЫЕ СВЧ ОБЛУЧЕНИЕМ

*И. М. Дмитренко, Ю. Г. Бевза, В. А. Михайлов*

Одним из наиболее ярких проявлений нестационарного эффекта Джозефсона является возникновение токовых ступеней на вольт-амперных характеристиках (ВАХ) джозефсоновских контактов под действием электромагнитного облучения. Ступенчатые ВАХ неоднократно наблюдались на всех типах слабых сверхпроводящих контактов: туннельных, точечных, тонкопленочных мостиках. Такие характеристики являются следствием возникновения на смещенном по постоянному напряжению контакте переменного тока Джозефсона и взаимодействия его с внешним электромагнитным полем.

Обратный эффект — возникновение постоянного напряжения на контакте при прохождении через него высокочастотного тока (при нулевом постоянном транспортном токе) — наблюдался до сих пор только в экспериментах с туннельными переходами Джозефсона [1 - 3]. В этих экспериментах индуцированные постоянные напряжения  $V$  принимали как дискретно-квантованные значения  $V_n$ , связанные с частотой облучения  $\nu$  уравнением Джозефсона:  $V_n = n(h\nu/2e)$  (где  $n$  — целое), так и непрерывно изменяющиеся значения [2, 3]. При этом из-за нестабильности  $V$  во времени регулярные зависимости постоянного индуцированного напряжения (по крайней мере, непрерывно изменяющегося) от мощности СВЧ облучения и магнитного поля получены не были.

В настоящей работе сообщается о наблюдении в отсутствие транспортного тока индуцированных СВЧ облучением постоянных напряжений на прижимных точечных контактах. Исследовались точечные контакты, создаваемые механическим прижатием острия к плоскому торцу проволоки. В качестве металлов контактной пары исследовались Nb — Nb, Nb — Sn. Контакт помещался в стандартный волновод 3см диапазона перпендикулярно широкой стенке волновода в пучности электрического поля на расстоянии четверти длины волны от короткозамыкающего поршня. Подробнее техника эксперимента описана в [4].

Нами наблюдались и непрерывно изменяющиеся и квантованные постоянные напряжения  $V$ , индуцированные СВЧ облучением, причем как на контактах, имеющих монотонно-убывающую зависимость критического тока  $I_c$  от магнитного поля  $H$ , характерную для "односвязных" контактов, так и на контактах с осциллирующей  $I_c(H)$ , характерной для "многосвязных" контактов (сверхпроводящих интерферометров). В отличие от экспериментов с туннельными контактами [1 - 3] в наших экспериментах спонтанные изменения  $V$  наблюдались крайне редко. Поэтому, удалось получить регулярные зависимости индуцированного постоянного напряжения  $V$  от мощности СВЧ облучения. При этом наблюдается строгая зависимость между  $V$  и спектром ступеней на ВАХ под облучением. Пример такой зависимости показан на

рис. 1. Как видно из рис. 1, непрерывно изменяющееся  $V$  плавно переходит к квантованному уровню. Нами наблюдались квантованные значения  $V$ , равные  $\sim 20, 40$  мкв (частота облучения  $\sim 10$  Гц), что соответствует первому и второму квантовому уровню. При наличии субгармонических ступеней на ВАХ, наблюдались дробные квантовые уровни  $V$  ( $\sim 6,5; 10; 13$  мкв...), связанные с частотой облучения  $\nu$  соотношением  $V = (n/m)(h\nu/2e)$ . На всех исследованных контактах (как односвязных, так и многосвязных) максимумы  $V$  (начиная со второго) жестко связаны с минимумами нулевой или с максимумами первой ступени на ВАХ под облучением. На рис. 1, а  $I_0, I_1$  — высоты нулевой и первой ступени. Если первый максимум является квантованным, высота первой ступени на ВАХ с ростом мощности облучения всегда монотонно убывает до нуля при сохранении постоянного значения  $V$ .

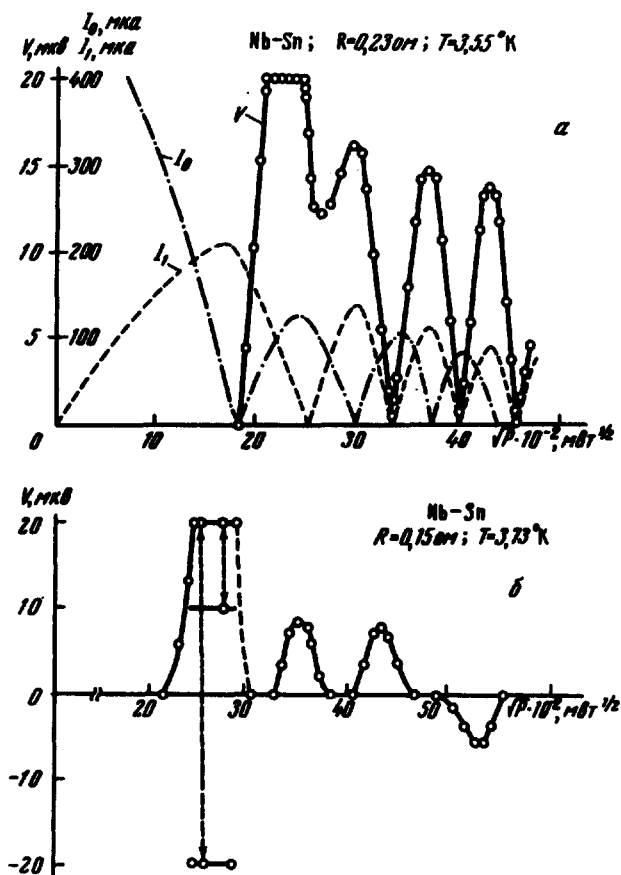


Рис. 1

Как указывалось выше, наблюдавшиеся нами индуцированные постоянные напряжения  $V$  были достаточно устойчивы во времени, хотя на контактах с монотонной зависимостью  $I_c(H)$  иногда имели место спонтанные изменения величины и знака  $V$ . На рис. 1, б показаны спонтан-

ные переходы с квантового уровня  $+20$  мкв на уровни  $+10$  мкв и  $-20$  мкв. На этом же рисунке пунктирной кривой показана область неустойчивых во времени  $V$ .

Также как в [1 - 3],  $V$  для большинства наших контактов сильно зависело от импульсных помех (переключений различных приборов). С помощью таких переключений можно было изменять знак наблюдаемых индуцированных напряжений, как квантованных, так и непрерывных. Контакты с осциллирующей зависимостью  $I_c(H)$  были более устойчивы по отношению к таким переключениям.

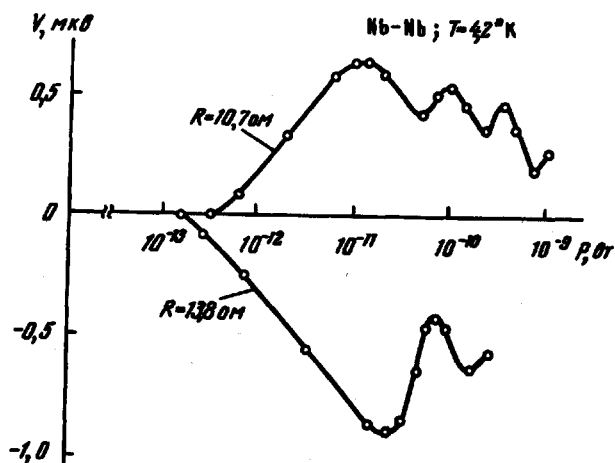


Рис. 2

Зависимость  $V$  от мощности СВЧ облучения всегда имела осциллирующий характер (рис. 1, 2). Следует отметить, что при пропускании через контакты с осциллирующей зависимостью  $I_c(H)$  низкочастотного тока ( $\sim 10$  кГц) нами, как и в [5], наблюдались постоянные напряжения. Однако, зависимость этих напряжений от амплитуды переменного тока всегда имела только один максимум, а пороговая мощность, при которой появилось постоянное напряжение, была не менее, чем на два порядка выше пороговой мощности для случая СВЧ облучения.

Конкретный вид зависимости  $V$  от мощности СВЧ облучения  $P$  в основном определяется нормальным сопротивлением контакта  $R$ . Так, для высокоомных контактов ( $\sim 0,3$  ом и выше) минимумы  $V(P)$  обычно не достигают нуля. Мощность, при которой появляются постоянные напряжения, уменьшается с увеличением  $R$ ; при этом для высокоомных контактов достигается очень высокая чувствительность по отношению к мощности СВЧ облучения. Из рис. 2 видно, что мощность, при которой появляется заметное ( $\sim 0,1$  мкв) постоянное напряжение  $V$  для контакта с  $R = 13,8$  ом, — порядка  $10^{-13}$  вт. Вольт-ваттная чувствительность такого контакта  $\sim 4 \cdot 10^5$  в/вт. Авторам неизвестны детекторы СВЧ с такой высокой вольт-ваттной чувствительностью.

Если возникновение квантованных напряжений может быть понято хотя бы качественно [2], то совсем малопонятным остается механизм возникновения непрерывных напряжений.

Дальнейшие исследования, как мы рассчитываем, позволят понять, не является ли это следствием уже известных механизмов детектирования (джозефсоновский [2] или интерференционный [5]), следствием существования асимметрии ВАХ вблизи нуля тока или какого-то третьего, пока неизвестного механизма.

Физико-технический институт  
низких температур  
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию  
9 ноября 1972 г.

### Литература

- [1] S.Shapiro. Phys. Rev. Lett., 11, 80, 1963.
  - [2] D.N.Langenberg, D.J.Scalapino, B.N.Taylor, R.E.Eck. Phys. Lett., 20, 653, 1966.
  - [3] J.T.Chen, R.J.Todd, Y.W.Kim. Phys. Rev., B5, 1843, 1972.
  - [4] И.М.Дмитренко, Ю.Г.Бевза. Сб. "Физика конденсированного состояния", вып III, 70, 1968.
  - [5] С.И.Бондаренко, И.М.Дмитренко. Сб. "Физика конденсированного состояния" вып III, 79, 1968; R. de Bruyn Ouboter et al Physica, 34, 525, 1967; 37, 114, 1967.
-