Джозефсоновский диодный эффект

Джозефсоновский контакт — это контакт между двумя сверхпроводникам через некоторую «слабую связь». В простейшем случае — это контакт через слой диэлектрика, и ток зависит от разности фаз параметров порядка двух берегов как $I(\varphi) = I_c \sin\varphi$. При заданном внешнем токе, превышающем критическое значение I_c, в системе возникает джозефсоновская генерация (контакт генерирует волны определенной частоты, это также называется нестационарным эффектом Джозефсона). При облучении контакта внешним полем возможны нетривиальные эффекты, связанные с синхронизацией внешнего поля и внутренних джозефсоновских осцилляций. На вольт-амперной характеристике возникают особенности, которые называются ступеньками Шапиро.

В случае более сложной ток-фазовой зависимости $I(\varphi)$ возможен так называемый джозефсоновский диодный эффект, который сейчас активно изучается. Это означает, что значение критического тока через контакт зависит от направления протекания, а также что ступеньки Шапиро для положительного и отрицательного направления тока могут быть различны.

Простейшая модель, в рамках которой можно рассмотреть эти эффекты — так называемая резистивная модель (RSJ model). Собственно уравнения резистивной модели джозефсоновского контакта довольно простые, ознакомиться с ними можно, например, в параграфе 22 книги В.В. Шмидт, «Введение в физику сверхпроводников» (2000). Но для понимания физики задачи, естественно, желательно иметь представление (хотя бы общее) о сверхпроводимости и эффекте Джозефсона в целом. Для этого можно ознакомиться с предыдущими параграфами главы IV той же книги, а также с главой I.

Про ступеньки Шапиро можно прочитать в параграфах 11.1 и 11.3 книги A. Barone, G. Paterno, «Physics and Applications of the Josephson Effect» (1982).

Для решения задачи понадобится уверенное владение приближенными методами аналитических вычислений в духе курса
https://chair.itp.ac.ru/index.php?sub=curriculum/approxMethodsAnalitCalc&year=2025&sem=2

Также в задаче будет полезен численный счет (скорее всего, будет достаточно счета в программе типа Wolfram Mathematica).

Примеры работ на близкие темы:

[1] Ya.V. Fominov, D.S. Mikhailov, *Asymmetric higher-harmonic SQUID as a Josephson diode*, Phys. Rev. B **106**, 134514 (2022).

[2] G.S. Seleznev, Ya.V. Fominov, *Influence of capacitance and thermal fluctuations on the Josephson diode effect in asymmetric higher-harmonic SQUIDs*, Phys. Rev. B **110**, 104508 (2024).

[3] Pavel N. Tsarev, Yakov V. Fominov, *All fractional Shapiro steps in the RSJ model with two Josephson harmonics*, arXiv:2505.20502.