

Введение

Объектом исследования в данной работе являются двухбарьерные резонансно-туннельные наноструктуры. Данные структуры состоят из квантовой ямы, расположенной между двумя барьерами (см. рис. 1а), и формируются за счет того, что материал с меньшей шириной запрещенной зоны помещается между материалами с большей шириной запрещенной зоны. Электронный транспорт в таких структурах происходит через формируемые в квантовой яме за счет интерференции резонансные уровни энергии. Резонансные уровни энергии характеризуются конечным временем жизни электронов на них, поэтому имеют определенную ширину, зависящую от параметров барьеров и квантовой ямы. Особенности электронного транспорта через резонансно-туннельные наноструктуры приводят к тому, что на их вольт-амперной характеристике присутствует область отрицательной дифференциальной проводимости (см. рис. 1б).

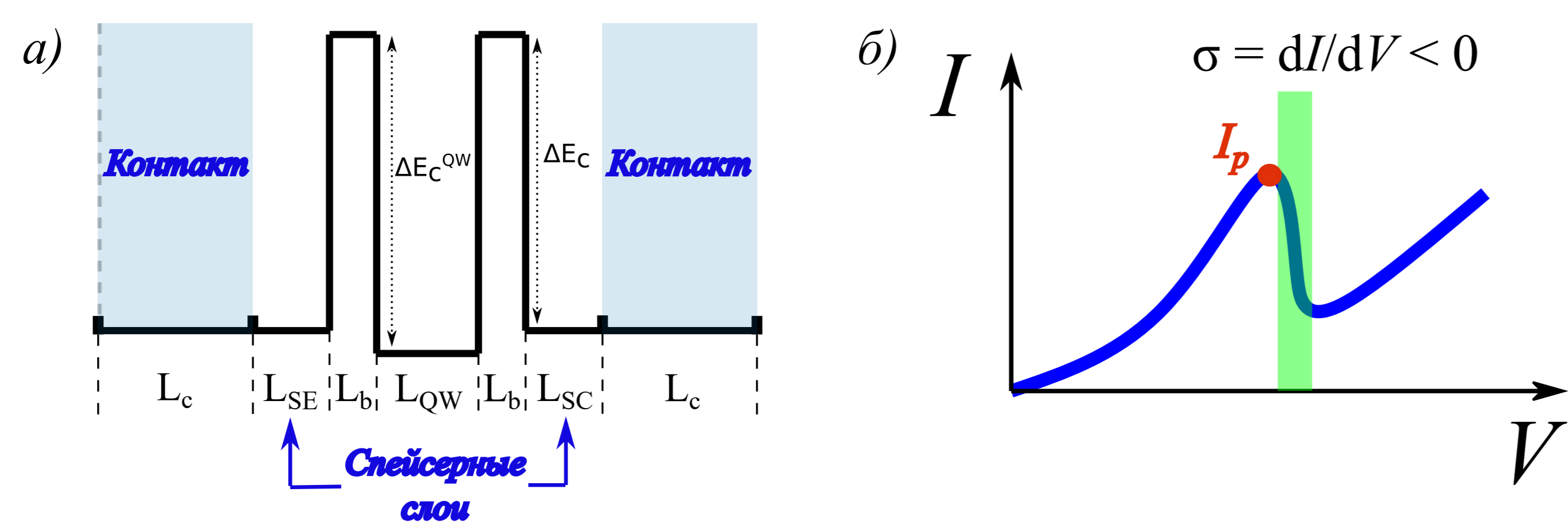


Рис. 1: Схематическое изображение а) резонансно-туннельной наноструктуры, б) вольт-амперной характеристики этой структуры.

Наличие области отрицательной дифференциальной проводимости приводит к возможности использования резонансно-туннельных наноструктур в качестве компактных источников электромагнитного излучения в терагерцевой области, работающих при комнатной температуре. Также возможно применение резонансно-туннельных наноструктур в качестве сверхбыстродействующих переключателей за счет малого времени жизни электронов на резонансном уровне.

Объект исследования и методика расчета

В рамках компьютерного моделирования исследовались "классические" резонансно-туннельные наноструктуры на основе полупроводников InGaAlAs, а также на основе двумерных графен/борнитридных структур.

Расчеты проводились с использованием разработанного алгоритма численного решения нестационарной системы уравнений Шредингера и Пуассона с точными дискретными открытыми граничными условиями [1], а также с использованием программы Siesta [2].

Results

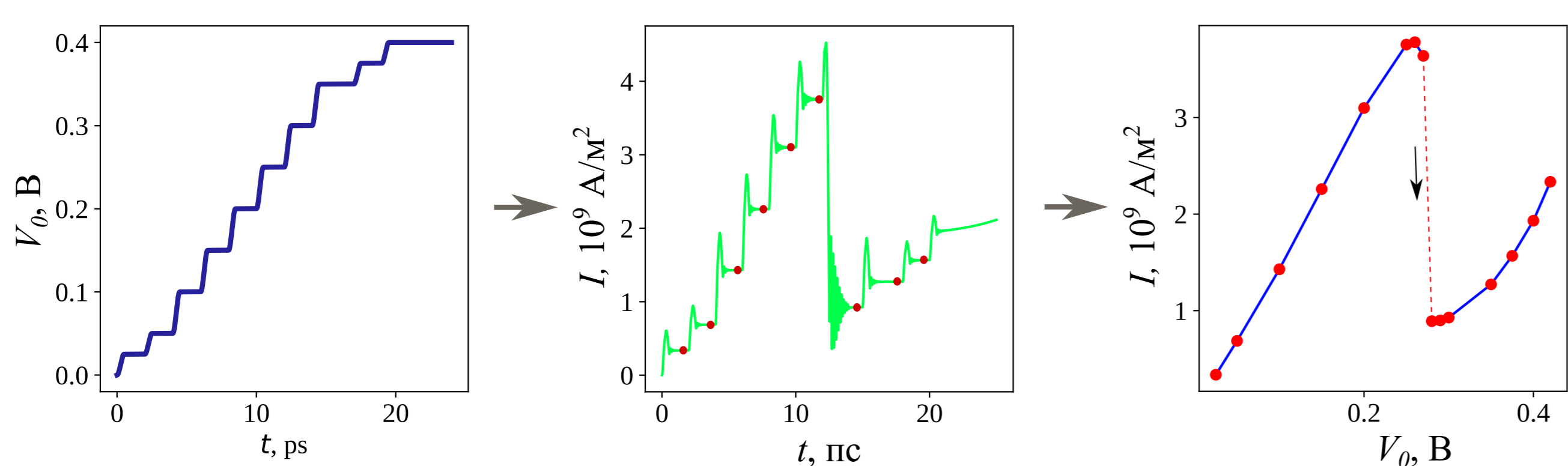


Рис. 2: Схема расчета статических характеристик резонансно-туннельных наноструктур через решение нестационарной системы уравнений Шредингера и Пуассона

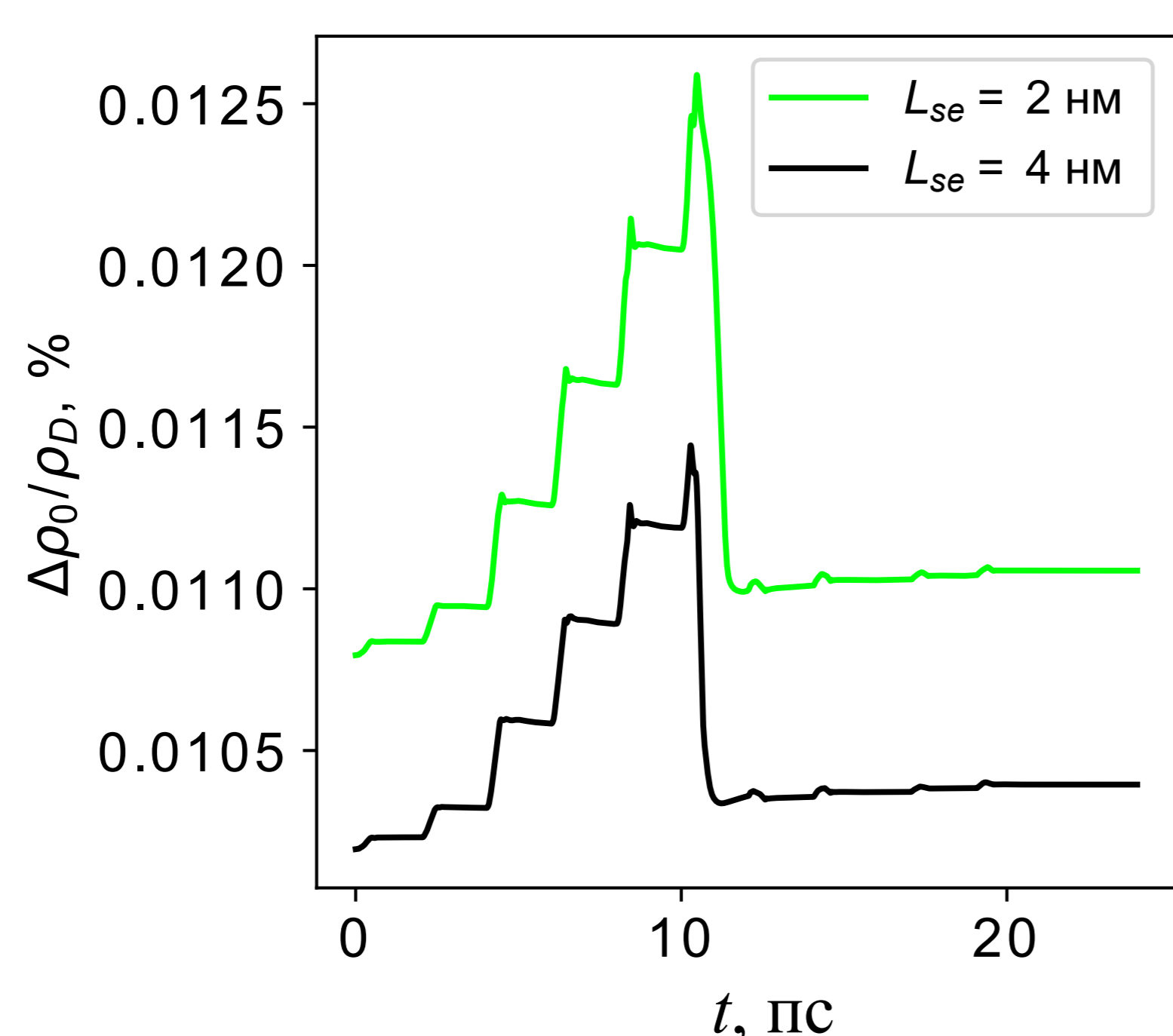


Рис. 3: Выполнение условия электронейтральности

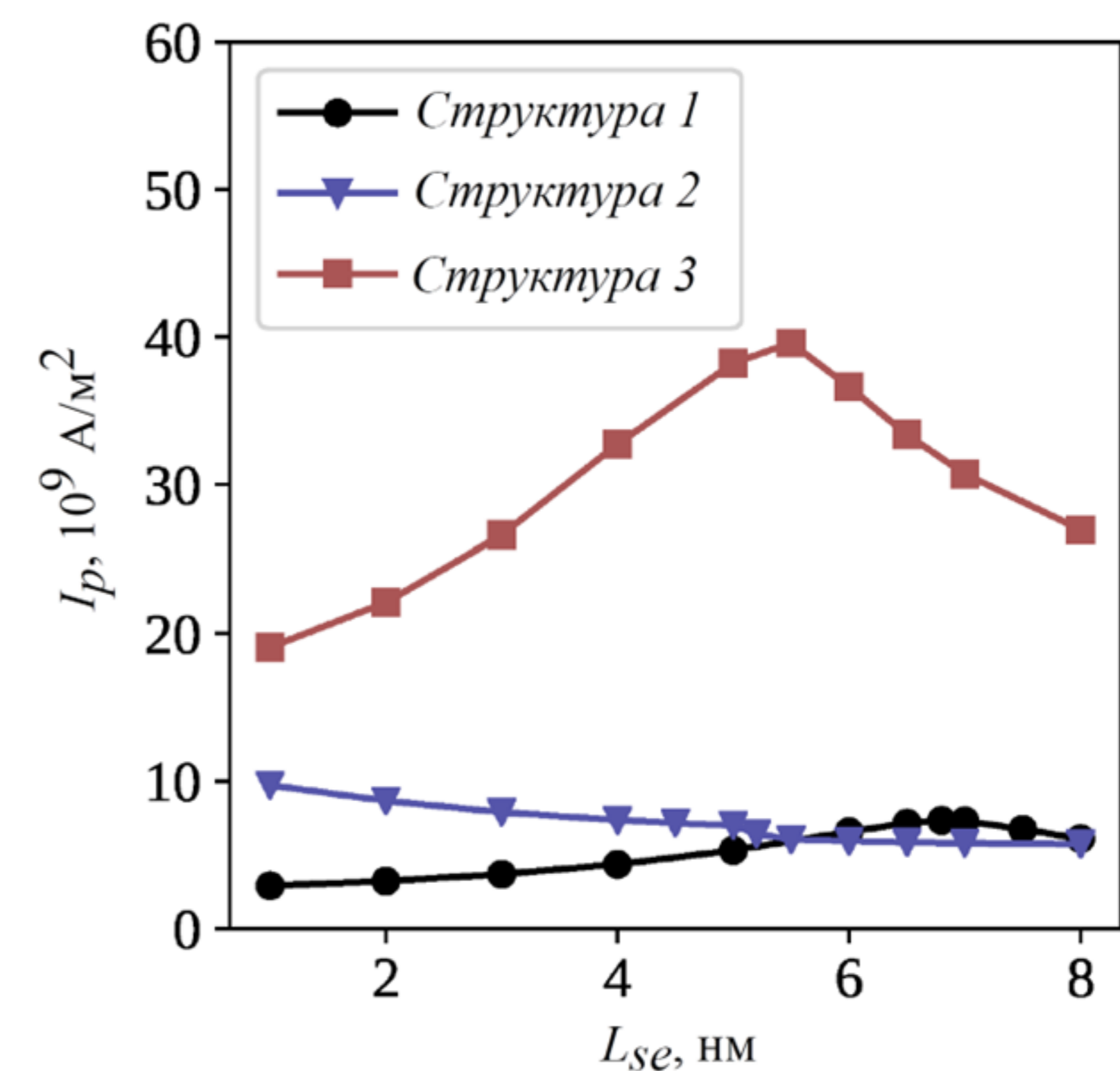


Рис. 4: Зависимость пикового тока от толщины спейсера эмиттера (без учета межэлектронного взаимодействия)

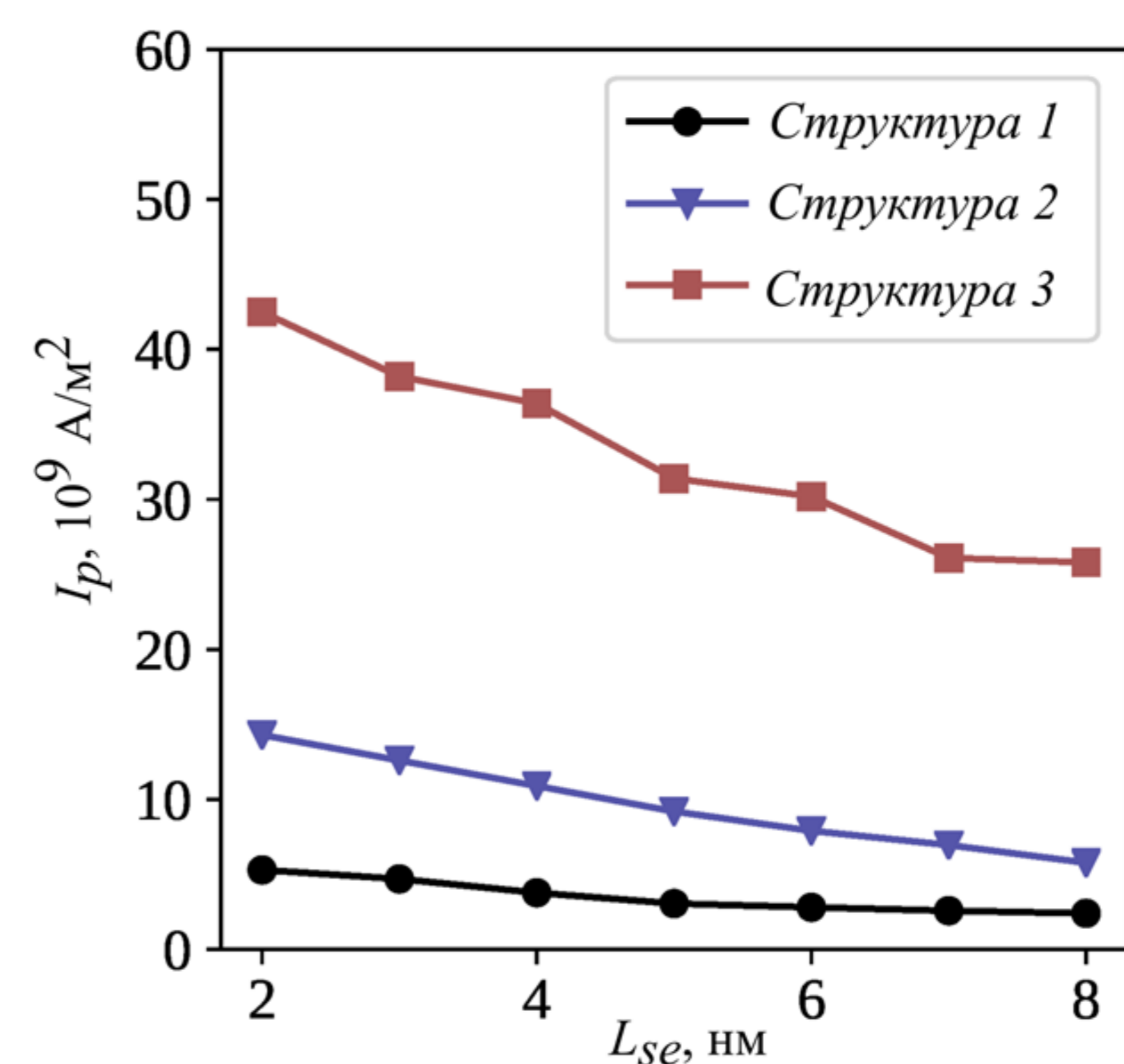


Рис. 5: Зависимость пикового тока от толщины спейсера эмиттера (с учетом межэлектронного взаимодействия в самосогласованном приближении)

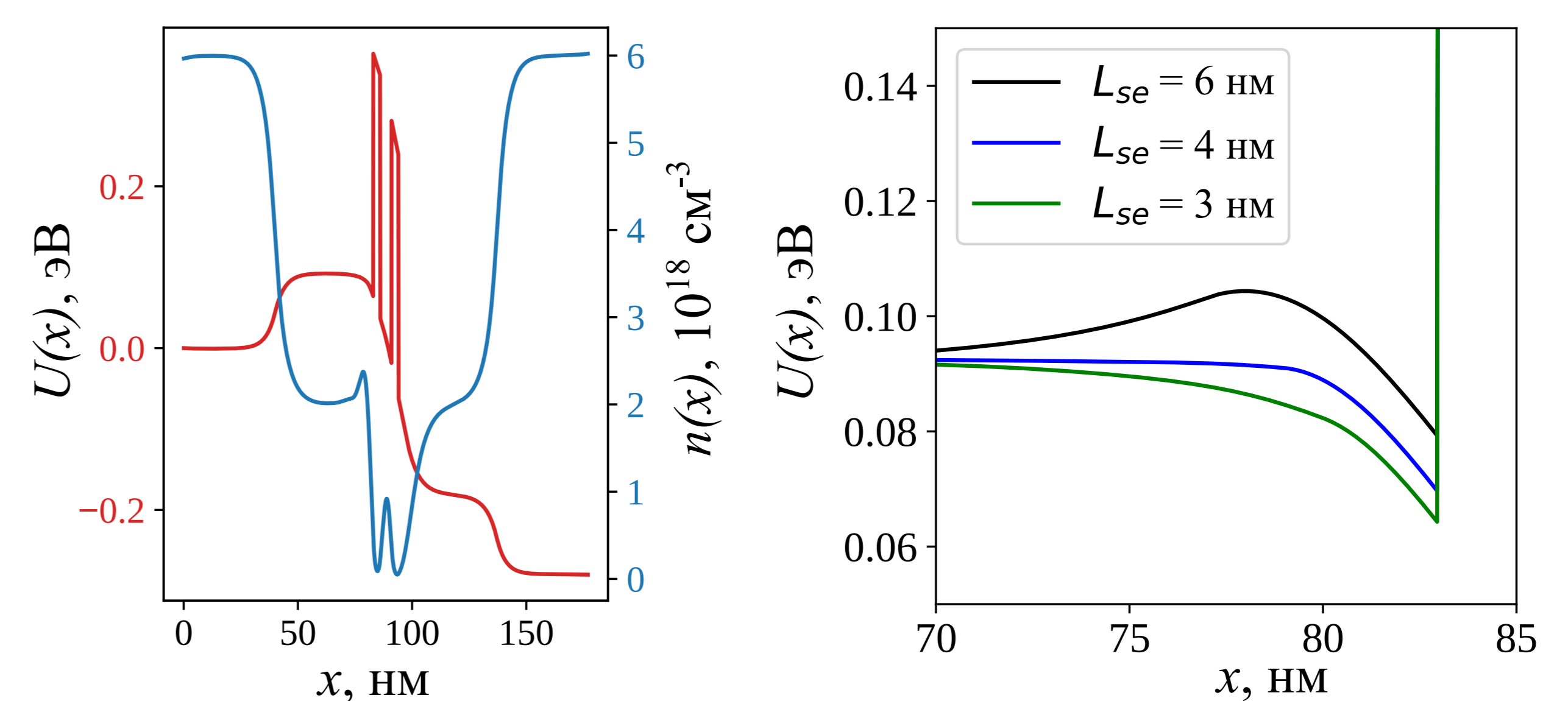


Рис. 6: Зависимость потенциала дна зоны проводимости и концентрации электронов резонансно-туннельной наноструктуры от координаты при наличии постоянного электрического поля

Основные выводы

- Спейсер эмиттера играет важную роль в статических характеристиках резонансно-туннельных наноструктур.
- Оптимизация спейсера эмиттера приводит к увеличению значения пикового тока и отношения пик-долина. Причина заключается в формировании дополнительной квантовой ямы в области спейсера эмиттера при приложении постоянного напряжения к резонансно-туннельной наноструктуре. При определенных геометрических параметрах дополнительной квантовой ямы происходит увеличение коэффициента прохождения через структуру.

Список литературы

- [1] Konstantin Grishakov, Konstantin Katin, and Mikhail Maslov. Characteristics of resonant tunneling in nanostructures with spacer layers. Applied Sciences, 13(5), 2023.
- [2] José M Soler, Emilio Artacho, Julian D Gale, Alberto García, Javier Junquera, Pablo Ordejón, and Daniel Sánchez-Portal. The siesta method for ab initio order-n materials simulation. Journal of Physics: Condensed Matter, 14(11):2745, mar 2002.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-22-00179. Авторы благодарят АНО НИИ НПМ за предоставленные вычислительные ресурсы и всестороннюю поддержку исследования.