

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

№3.61

«ТУННЕЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ В ВЫРОЖДЕННОМ p-n ПЕРЕХОДЕ»

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение элементов теории туннельного эффекта.

Исследование проявлений туннельного эффекта в туннельном диоде.

СОДЕРЖАНИЕ:

1. Теоретическое введение.
2. Предварительный расчет.
3. Экспериментальная установка.
4. Проведение эксперимента.
5. Обработка результатов.

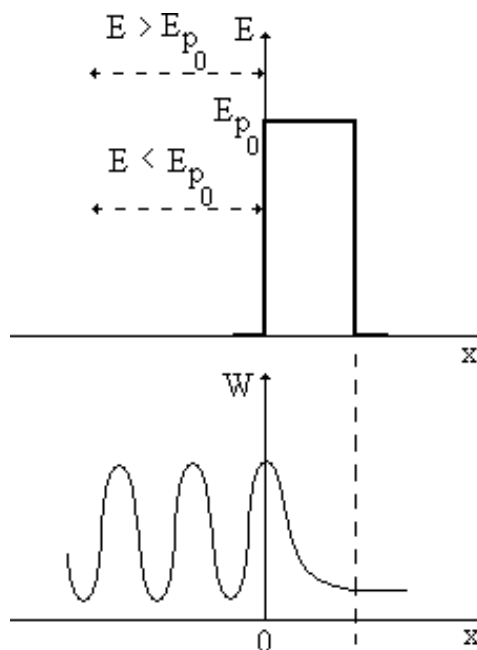
1. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

ДЕМОНСТРАЦИИ ТЕОРИИ ТУННЕЛЬНОГО ЭФФЕКТА

При прохождении частицей потенциального барьера происходит быстрое уменьшение амплитуды волновой функции по мере увеличения глубины проникновения от классической точки поворота.

По мере увеличения высоты барьера волновая функция все меньше проникает в запрещенную область.

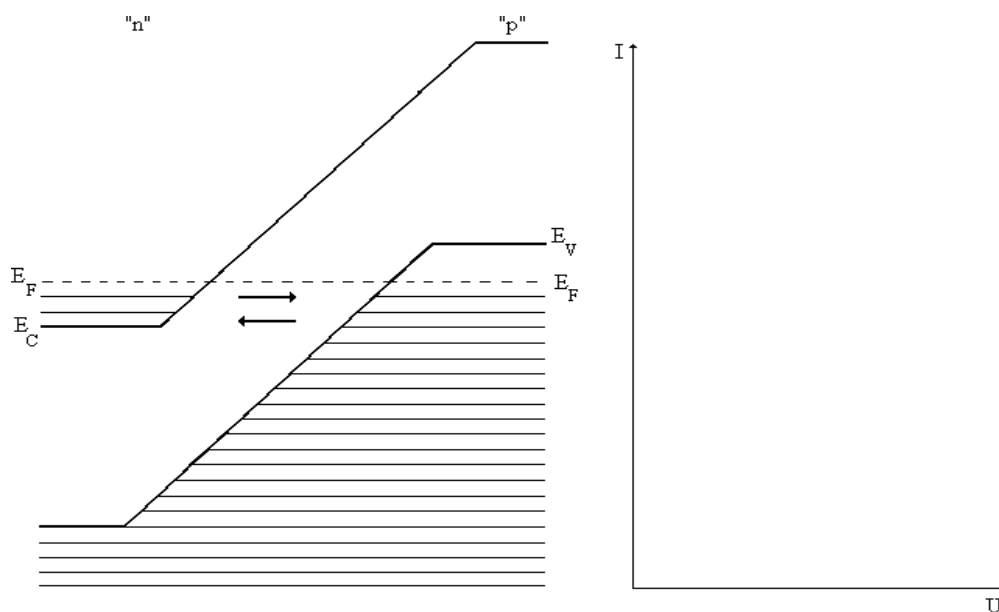
Область слева от барьера занята стоячей волной, которая образуется интерференцией приходящей волны и волны, отраженной от барьера. Другими словами, слева от барьера плотность вероятности испытывает осцилляции, которые представляют собой квантово-механический эффект, не имеющий аналога в классической механике.



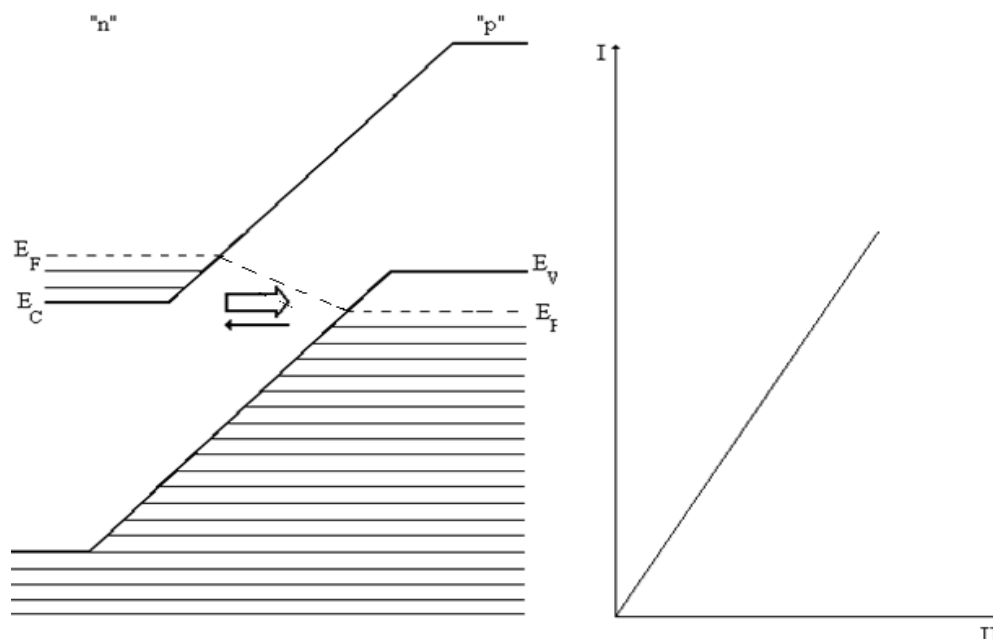
ДЕМОНСТРАЦИЯ ТУННЕЛЬНОГО ЭФФЕКТА НА ОСНОВЕ ТУННЕЛЬНОГО ДИОДА

1. В вырожденных полупроводниках n-типа уровень Ферми находится в зоне проводимости, а в p-типа – в верхней части валентной зоны.

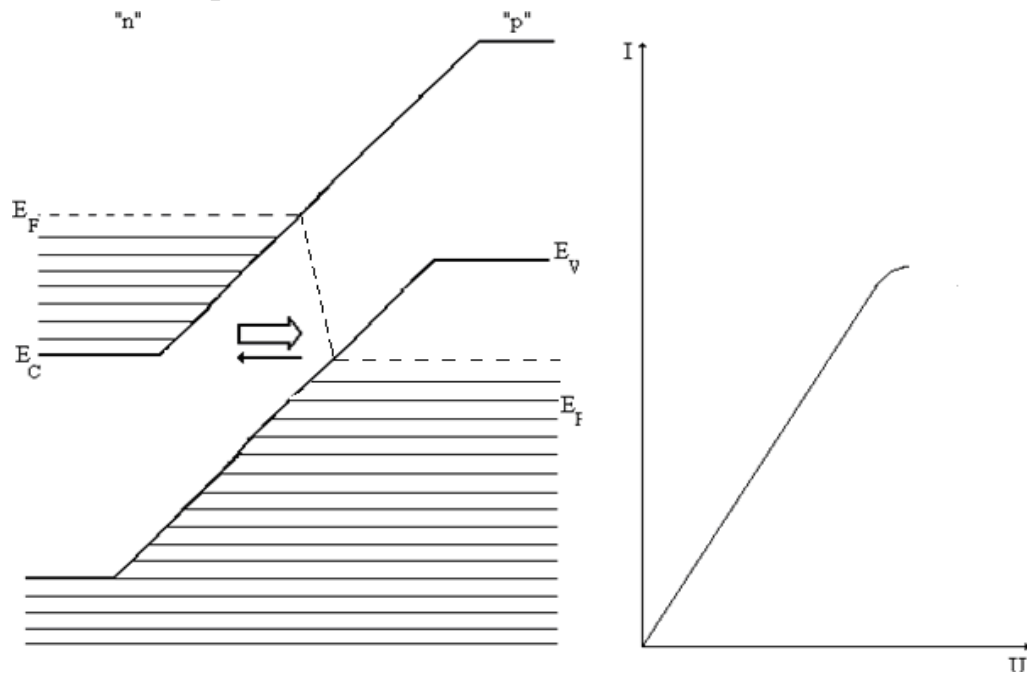
Если напряжение на туннельном диоде (ТД) равно 0, ток через диод также равен нулю, так что число переходов электронов слева и справа одинаков.



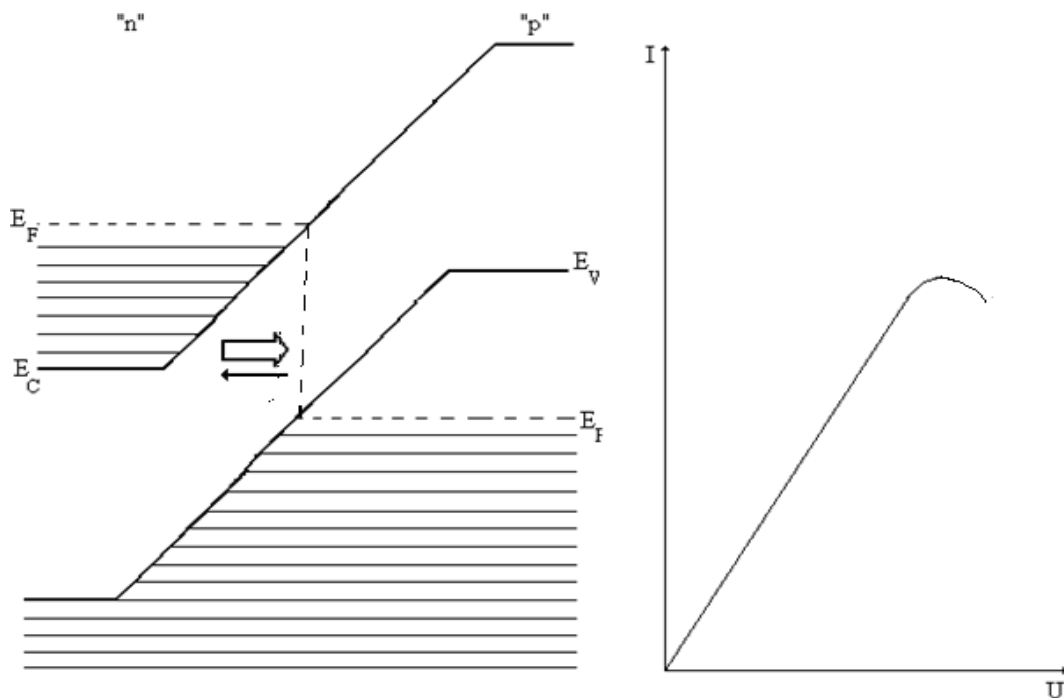
2. При увеличении напряжения в прямом направлении энергетические уровни в p-области смещаются вниз в сравнении с уровнями в n-области: границы зон сближаются. Число переходов из n-области в p-область увеличивается.



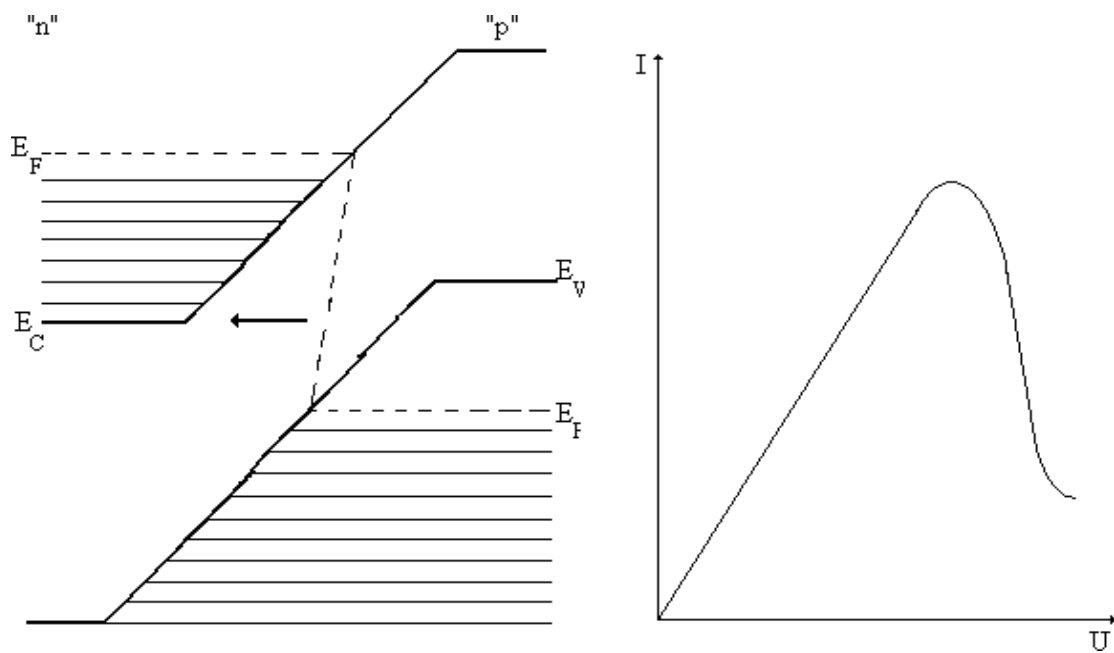
3. Ток увеличивается до тех пор, пока не произойдет совпадение максимумов распределения (уровень Ферми в n-области совпадает с верхом валентной зоны в р-области).



4. Дальнейшее увеличение прямого напряжения вызывает уменьшение туннельного тока.

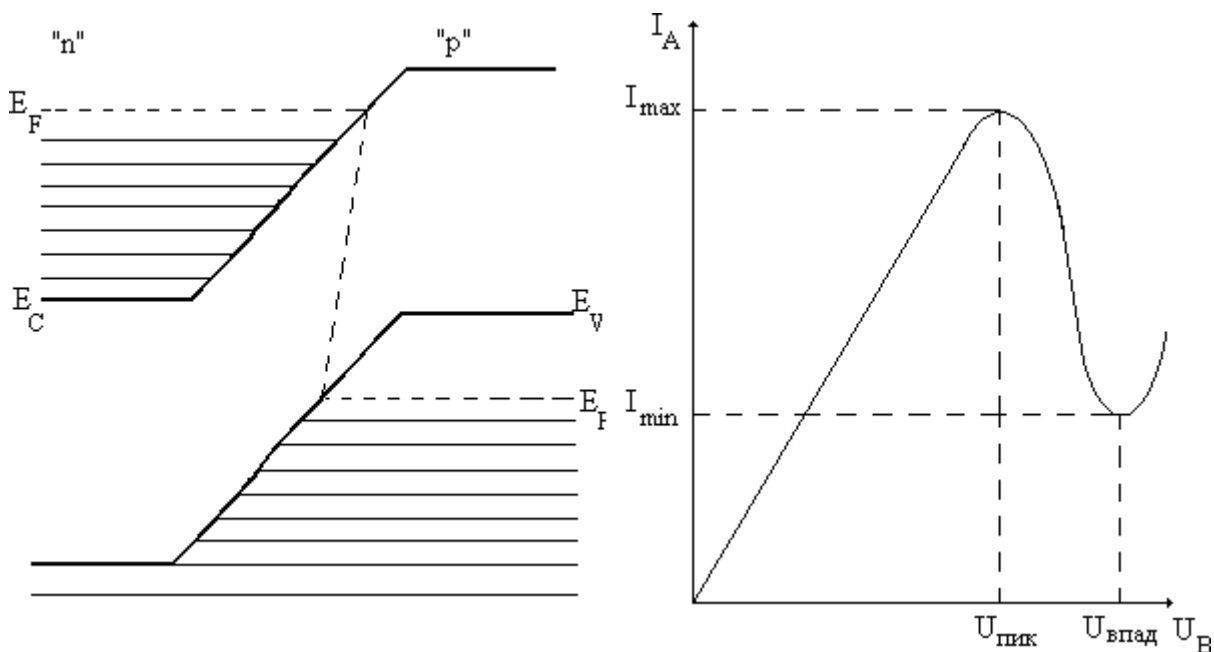


5. При достаточном напряжении $U_{впад}$ (совпадение границ зоны проводимости и валентной зоны) туннельные переходы прекращаются, т.к. против занятых электронами уровней находятся запрещенные энергетические состояния.



6. Отличие от нуля тока **I_{\min}** и дальнейшее увеличение прямого тока по мере возрастания напряжения объясняется механизмом инжекции носителей заряда.

Зонная диаграмма туннельного диода при обратном смещении приведена ниже.



2. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ РАСЧЕТ

Для выполнения этой части работы вам потребуются справочные данные:

Масса покоя электронов, кг	$9,1 \cdot 10^{-31}$	m
Заряд электрона, Кл	$1,6 \cdot 10^{-19}$	\bar{e}
Постоянная Планка, Дж·сек	$6,626 \cdot 10^{-34}$	h
Постоянная Больцмана, Дж/К	$1,38 \cdot 10^{-23}$	K
Концентрация электронов, м ⁻³	$5,0 \cdot 10^{26}$	N
Температура, К ⁰	300	T
Ширина запрещенной зоны, эВ	0,67	Eg
Толщина перехода, нм	2,0	ℓ
Площадь перехода, см ²	10^{-3}	S

Справочные данные:

$$U_{\text{пик}} = 85 \text{ mV}$$

$$U_{\text{впад}} = 450 \text{ mV}$$

а) оценить энергию Ферми в материале германиевого диода по формуле:

$$E_F - E_C = \hbar^2 \frac{(3\pi^2 N)^{2/3}}{2m}$$

Принять $E_C = 0$ (значение энергии, соответствующей дну зоны проводимости равной 0).

б) найти энергию E_m , соответствующую максимальной функции распределения электронов в зоне проводимости.

$$E_m = E_F - 1,1kT.$$

в) оценить значения U_{max} и U_{min} вольтамперной характеристики. Расчет вести по формулам:

$$U_{\text{max}} = \frac{2(E_F - E_m)}{e},$$

$$U_{\text{min}} = \frac{2(E_F - E_C)}{e}.$$

г) определить высоту барьера по формуле:

$$E_{po} = 2(E_F - E_C) + E_g$$

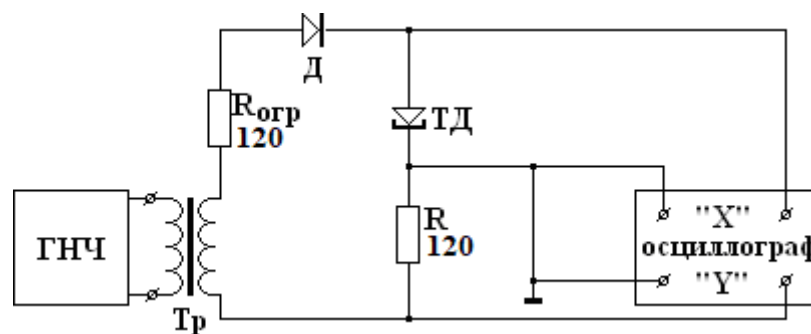
д) оценить вероятность туннельного перехода электронов через барьер.

$$D = 16 \frac{E(E_{po} - E)}{E_{po}^2} \exp \left[-\frac{2}{\hbar} l \sqrt{2m(E_{po} - E)} \right]$$

е) оценить ток в максимуме вольтамперной характеристики

$$I_{max} = eSND \sqrt{(E_m - E_c)/2m}.$$

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА



В установку входят:

- генератор,
- осциллограф,
- плата с туннельным диодом.

В работе исследуют ВАХ германиевого туннельного диода (ГИ 305Б), теоретически и экспериментально определяют положение экспериментальных точек характеристики.

4. ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Включить установку. Убедиться в правильности подключения проводов, идущих от генератора и осциллографа к плате с туннельным диодом. Собрать схему для получения ВАХ на экране осциллографа.
2. Подготовить приборы к работе в соответствии с указаниями и включить их.
3. Установить режим работы осциллографа так, чтобы вся ВАХ помещалась на экране.

4. Измерить расстояние по оси «X» от начала координат:
 - а) до максимума характеристики,
 - б) до минимума характеристики.
5. Измерить расстояние по оси «Y» от начала координат:

По данным измерениям вычислить значения $U_{\text{пик}}$, $U_{\text{впад}}$ и I_{max} , I_{min} , (чувствительность осциллографа указана на передней панели осциллографа).
Сопротивление $R=120 \text{ Ом}$.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Оценить погрешности определения $U_{\text{пик}}$, $U_{\text{впад}}$; I_{max} , I_{min} .
2. По полученным результатам $U_{\text{пик}}$ и $U_{\text{впад}}$ оценить положение уровня Ферми.

Экспериментальные результаты сравнить с результатами предварительных расчетов