

нечеткими числами сводятся к алгебраическим действиям с обычными числами при задании определенного интервала достоверности (уровня принадлежности) и легко реализуются в символьном и численном виде в программной среде MathCAD.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В КУРСЕ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ

Д. В. Виноградов

Нижнетагильский государственный педагогический институт

Новая образовательная парадигма, ориентированная на создание условий для развития личности и фундаментализации научного знания (перенос акцентов на теоретические методы познания – идеализацию, абстрагирование, аналогию, обобщение), меняет целевые установки высшего профессионального образования. Стратегическая задача образования в настоящее время связывается с развитием индивидуальных черт личности, самовыражения, умения приобретать знания и использовать их в своей последующей учебной и практической деятельности.

Первостепенную роль здесь должны играть интегративные дисциплинарные и междисциплинарные курсы, которые выражают наиболее фундаментальные знания, являющиеся базой для формирования общей и профессиональной культуры, быстрой адаптации к новым профессиям, специальностям и специализациям, которые являются теоретической основой широкого разветвления прикладных исследований и разработок. Следовательно, речь идет о таких знаниях, которые способны формировать широкий, целостный, энциклопедический взгляд на современный мир и место человека в этом мире.

Одним из средств решения данной задачи являются компьютерные технологии. Мы считаем, что наиболее эффективным применением компьютерных технологий в концепции фундаментального курса физики является использование ПК как инструментального средства для моделирования физических процессов и явлений. Интеграция компьютерного моделирования, под которым мы понимаем полную технологическую цепочку построения модели: от постановки задачи до анализа полученных результатов, и традиционного лабораторного эксперимента – является гарантией прочного усвоения полученных знаний, особенно в квантовой механике, традиционно считающейся одним из сложнейших разделов физики. В качестве примера, иллюстрирующего описанный подход, далее мы приводим описание учебно-методического комплекса по теме «Туннельный эффект», т. к. он является сугубо квантовым явлением, не имеющим аналогии в классической механике.

Суть туннельного эффекта иллюстрирует рис. 1. Пусть частица, движущаяся слева направо, встречает на своем пути потенциальный барьер высоты U_0

и ширины l (рис. 1). В соответствии с классическими представлениями поведение частицы имеет следующий характер. Если энергия частицы больше высоты барьера ($E > U_0$), частица беспрепятственно проходит над барьером (на участке $0 \leq x \leq l$ лишь уменьшается скорость частицы, но затем при $x > l$ снова принимает первоначальное значение). Если же E меньше U_0 (как изображено на рисунке), то частица отражается от барьера и летит в обратную сторону; сквозь барьер частица проникнуть не может. Совершенно иначе выглядит поведение частицы согласно квантовой механике. Во-первых, даже при $E > U_0$ имеется отличная от нуля вероятность того, что частица отразится от барьера и полетит в обратную сторону. Во-вторых, при $E < U_0$ имеется отличная от нуля вероятность того, что частица проникнет «сквозь» барьер и окажется в области, где $x > l$.

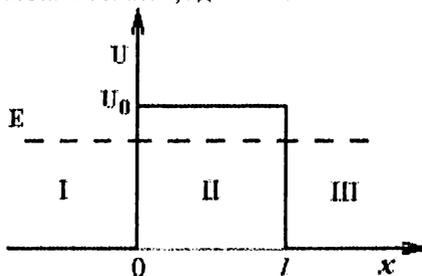


Рис. 1. Потенциальный барьер

Модель подбарьерного туннелирования используется для объяснения широкого спектра физических явлений, например, α -распад, термоядерные реакции, холодная эмиссия электронов из металла. Для описания туннельного эффекта необходимо находить решение нестационарного уравнения Шредингера:

$$\left(-\frac{\hbar \partial}{i \partial t} + \frac{\hbar}{2m_0} \nabla^2 - V(\vec{r}) \right) \psi(\vec{r}, t) = 0.$$

Однако методы его решения требует проведения довольно громоздких математических выкладок, поэтому обычно в курсах квантовой механики рассматривают только стационарное уравнение Шредингера:

$$\nabla^2 \psi(\vec{r}) + \frac{2m_0}{\hbar^2} [E - U(\vec{r})] \psi(\vec{r}) = 0,$$

для которого определяют собственные значения энергии E_n и соответствующие им собственные функции ψ_n , а также вычисляют коэффициент прохождения через потенциальный барьер и коэффициент отражения от потенциального барьера.

Отметим, что постановка демонстрационного эксперимента или лабораторной работы, иллюстрирующей туннельный эффект, затруднена в силу

специфики явления. Это приводит к тому, что у студентов не формируется правильного представления о туннельном эффекте как о динамическом явлении. Для устранения отмеченных недостатков нами был разработан учебно-методический комплекс по теме «Туннельный эффект», включающий в себя как натурный, так и вычислительный эксперименты.

Первая часть комплекса представляет собой лабораторную работу «Туннельный эффект в р–п переходе». Наиболее удобным объектом изучения туннельного эффекта в лабораторном практикуме является туннельный диод.

Туннельный диод представляет собой полупроводниковый диод на основе сильно вырожденных полупроводников, в котором туннельный эффект приводит к появлению на вольтамперной характеристике при прямом напряжении участка отрицательного дифференциального сопротивления [5].

Туннельный диод характеризуется следующими параметрами:

– μ – энергией Ферми (при условии симметричности полупроводников по степени вырождения, т. е. $\mu_n = \mu_p$);

– E – средним значением энергии носителей заряда в р–п-переходе;

– U_0 – высотой потенциального барьера при тунелировании;

– D – коэффициентом прозрачности, определяющим вероятность прохождения частицы через потенциальный барьер;

– d – шириной потенциального барьера;

– $R_{D\min}$ – величиной отрицательного дифференциального сопротивления.

Эти параметры могут быть рассчитаны при известных значениях пикового напряжения и тока, а также тока и напряжения впадины, которые, в свою очередь могут быть определены из вольтамперной характеристики (рис. 2). Схема измерительной установки, используемой в лабораторной работе, представлена на рис. 3.

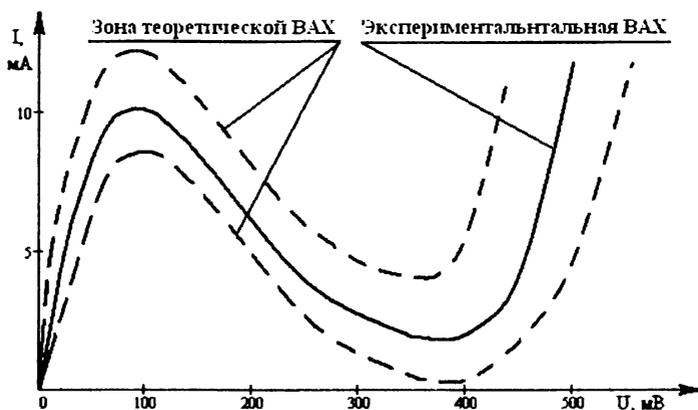


Рис. 2. Экспериментальная и теоретические ВАХ ТД ГИ-305Б

Характеристические параметры туннельного диода, используемого в лабораторной работе, представлены в табл. 1.

Учебный эксперимент по изучению туннельного эффекта включает в себя следующие этапы:

- получение вольтамперной характеристики (ВАХ) ТД и определение ее основных параметров (экстремальных значений тока и соответствующих напряжений);
- расчет ВАХ и ее сравнение с результатами эксперимента;
- вычисление параметров туннелирования носителей заряда через потенциальный барьер р–п перехода;
- определение значения отрицательного дифференциального сопротивления ТД.

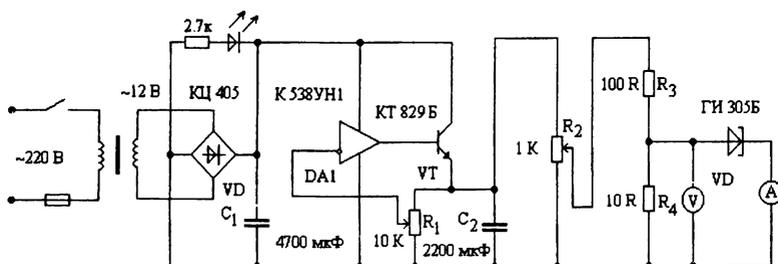


Рис. 3. Принципиальная схема измерительного стенда

Таблица 1

Параметры туннельного диода

d , мкм	D	E , мэВ	U_0 , мэВ	μ , мэВ	$R_{D\min}$, Ом
$2.4 \cdot 10^{-4}$	0.026	380	114	190	17.65

Методические указания к лабораторной работе выполнены в двух вариантах: традиционном бумажном и в виде интерактивного приложения. Интерактивный вариант представляет собой презентацию, выполненную средствами PowerPoint.

Методические указания включают в себя

- перечень вопросов для допуска к выполнению лабораторной работы;
- теоретические сведения об исследуемом явлении;
- иллюстрации, демонстрирующие расположение энергетических зон при различном напряжении смещения р–п перехода;
- описание хода работы;
- методику обработки результатов эксперимента;

– список литературы по теме работы.

Интерактивная форма методических указаний позволяют совместить множество различной по своему характеру информации в одном файле.

Для обработки экспериментальных данных, полученных при выполнении лабораторной работы, используется пакет MathCAD. Средствами пакета проводится сплайновая интерполяция, находятся максимум и минимум функции ВАХ для расчета теоретической ВАХ. Результаты обработки эксперимента представлены на рис. 4.

Рассмотрим более подробно компьютерную модель, описывающую прохождение частицы через потенциальный барьер, составляющую вторую часть учебно-методического комплекса. Для описания движения частицы через потенциальный барьер необходимо найти решение нестационарного уравнения Шредингера. Как уже отмечалось выше, его аналитическое решение требует громоздких математических выкладок, в связи с этим более целесообразным представляется использование численных методов решения. Данное уравнение относится к дифференциальным уравнениям в частных производных параболического типа, для нахождения его численного решения мы использовали метод прогонки. Программная реализация данного метода в пакете MathCAD описана в [1].

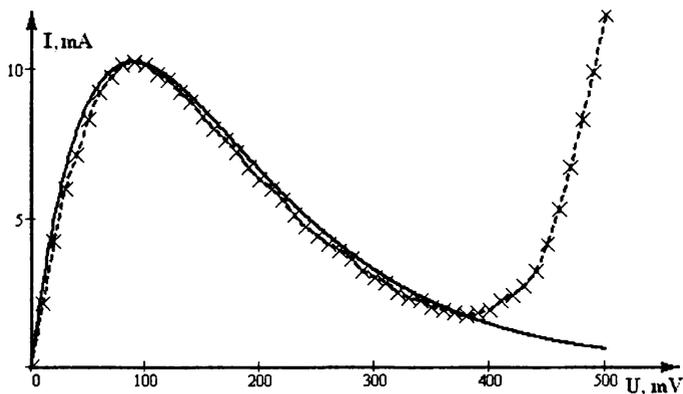


Рис. 4. Графики экспериментальной (×), теоретической (–) ВАХ и интерполированные данные эксперимента (– –)

Данный документ позволяет выбирать форму потенциального барьера (Гауссов, ступенчатый и прямоугольный), задавать его ширину, высоту и координату центра барьера; вид огибающей волнового пакета (функция Гауссов и функция Лоренца), ширину и координату в начальный момент времени. Для иллюстрации возможностей визуализации численных решений уравнения Шредингера на рис. 5–9 представлены потенциальный барьер и огибающая волнового пакета в выбранные моменты времени. Отметим, что в пакете

MathCAD существует возможность создания анимационных клипов, которые позволяют рассмотреть поведение решений уравнения Шредингера в динамике.

Созданный нами учебно-методический комплекс, интегрирующий в себе несколько различных дисциплин (физику, информатику и радиоэлектронику) позволяет на более глубоком уровне изучить такое фундаментальное физическое явление, как туннельный эффект.

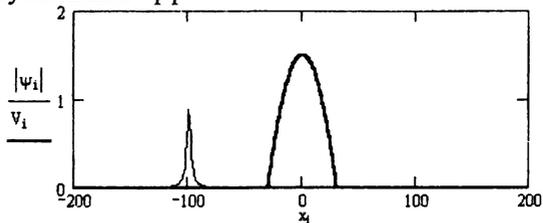


Рис. 5. Огибающая Лоренцевского волнового пакета $|\psi_i|$ и потенциальный барьер параболической формы в момент времени $t=0$

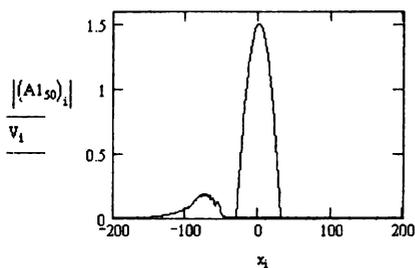


Рис. 6. $t = 25$

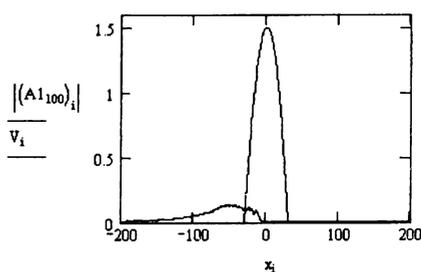


Рис. 7. $t = 50$

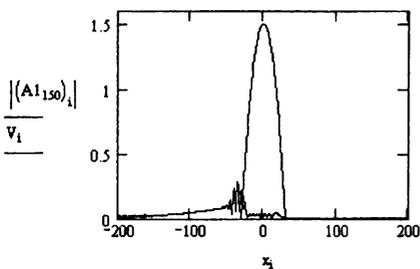


Рис. 8. $t = 75$

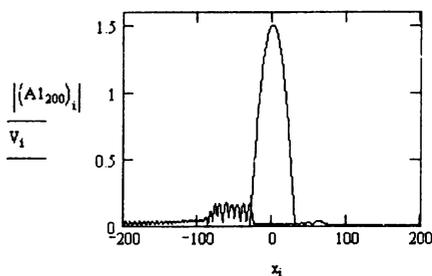


Рис. 9. $t = 100$

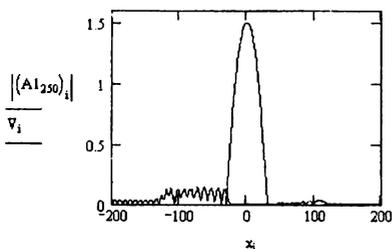


Рис. 10. $t = 125$

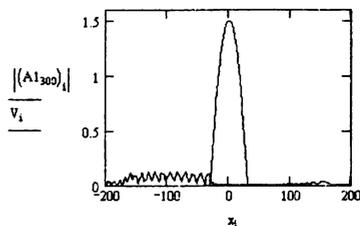


Рис. 11. $t = 150$

Литература

1. Полупроводниковые приборы. / Под ред. А. В. Голомедова. М.: Радио и связь, 1988.
2. Виноградов Д. В., Поршнева С. В. Методика использования персонального компьютера в преподавании квантовой механики // Теоретические и прикладные проблемы информационных технологий. Сб. науч. тр. Улан-Удэ, 2001. С. 245–251.
3. Виноградов Д. В., Фискинд Е. Э. Изучение туннельного эффекта в р-п переходе // Учебная физика. 2001. № 3.
4. Голубева О. Н. Концепция фундаментального естественнонаучного курса в новой парадигме образования // Высшее образование в России. 1994. № 4. С. 23–27.
5. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. М.: Мир, 1984.
6. Соколов А. А., Лоскутов Ю. М., Тернов И. М. Квантовая механика. М.: Наука, 1965.

РЕАЛИЗАЦИЯ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ РЕЛЯЦИОННЫМИ СРЕДСТВАМИ

А. Г. Гейн, А. Б. Ливчак

Уральский государственный университет им. А. М. Горького

В последнее десятилетие в информационной деятельности человека стали активно применяться технологии, основанные на достижениях теории искусственного интеллекта. В этих условиях вполне правомерно ставить вопрос о необходимости изучения данных технологий в курсе информатики общеобразовательной школы. Уже в одном из первых школьных учебников информатики (см. [1], с. 49–53) содержится краткий рассказ о том, что такое база знаний и как в простейших случаях ее можно реализовать средствами языка Пролог. Более обстоятельное изложение задач искусственного интеллекта приведено в [2], где Пролог выступает основным средством компьютерной обработки информации, с которым знакомятся учащиеся, изучающие информатику по этому учебнику. Как показывает анализ учебников информатики, предлагаемых для общеобразовательной школы в последнее время, в них материал, затрагивающий проблематику искусственного интеллекта, преимущественно относится к экспертным системам (см. [3; 4]). При этом практика