

ИНТЕРВАЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ТОЧЕЧНЫЕ ОЦЕНКИ В УЧЕБНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ ОПЫТАХ ПО ФИЗИКЕ

Н. Н. Ворсин, Т. Л. Кушнер

Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь

Весьма часто целью учебных лабораторных опытов является установление или проверка зависимости одной величины от другой с последующим использованием этой зависимости для физических выводов и расчетов. С этой целью проводится множество измерений исследуемых величин в некотором интервале их значений. Данный вид измерений мы называем интервальными.

Аппроксимация результатов интервальных измерений подходящим выражением дает возможность оценки интересующего параметра взаимозависимости величин, т. е. возможность точечной оценки физической величины.

В традиционной методике лабораторных опытов, при которой измерения осуществляются с помощью отдельных приборов и их результаты записываются в таблицы, можно получить лишь несколько отсчетов (обычно до 10) исследуемых величин, по которым определяется интересующая зависимость. Зачастую объем такой выборки данных недостаточен для корректных выводов, но с этим фактором преподавателям и учащимся приходится примиряться. Более того, ситуация недостаточности экспериментальных данных иногда приводит к заблуждениям относительно характера исследуемого процесса. Примерами таких ситуаций могут служить лабораторные работы по проверке закона Стефана-Больцмана [1], где зачастую игнорируется нерадиационное рассеяние тепла, по измерению удельного заряда электрона методом «магнетрона» [2], где пропускается скачок анодного тока, и другие случаи.

Очевидным выходом из описанной ситуации является компьютеризация учебного эксперимента, которая является неизбежным этапом развития физического и технического образования. Использование компьютера в экспериментах резко снижает трудоемкость последних и позволяет проводить интервальные измерения с достаточной плотностью отсчетов, количество которых может составлять несколько сотен. Ясно, что полученный массив данных невозможно обработать вручную, и для решения проблем обработки используется тот же компьютер. Такой характер экспериментальной работы, с применением компьютера на всех стадиях, является типичным для современных исследовательских и производственных лабораторий. Однако реализация преимуществ компьютерных измерителей не является автоматической и зависит от того, по какому пути направится компьютеризация учебных лабораторий.

Первый путь заключается в использовании универсальных комплектов оборудования, которые в настоящее время известны под названием «Цифровая лаборатория» и продаются множеством отечественных (Беларусь, Россия) и зарубежных предприятий. Появление таких комплектов обусловлено инициативой самих предприятий-изготовителей, которые предлагают свой продукт учреждениям образования. В интернете и методической литературе можно найти при-

меры построения лабораторных работ на основе какой-либо «цифровой лаборатории» [3].

В то же время, несмотря на активную рекламу, массового внедрения таких комплектов в образовательную практику не происходит. Это связано с тем, что, являясь инициативным продуктом одной стороны – изготовителя, «цифровые лаборатории» не удовлетворяют запросам другой стороны – учреждений образования. Во-первых, стоимость любой из «цифровых лабораторий» оказывается очень высокой для образовательных учреждений. Во-вторых, на основе такого комплекта, затратив дополнительные усилия и средства, можно построить 1–2 лабораторные работы, но не целый практикум даже по какой-либо одной теме. В-третьих, универсальность комплектов, будучи положительным фактором для производителей, является отрицательным для учащихся, рассредоточивая их внимание на множество дополнительных операций: выбор нужных датчиков, диапазона измерений, калибровочных констант и пр. Все это является причиной очень сдержанного спроса на универсальные «цифровые лаборатории», несмотря на активную их рекламу.

Второй путь компьютеризации лабораторного практикума заключается в построении и использовании специализированных лабораторных установок, каждая из которых предназначена для одной-двух родственных по тематике лабораторных работ, имеющих одинаковый интерфейс [4, с. 125]. В отличие от комплекта «цифровая лаборатория» учебное заведение в этом случае покупает не дорогой полуфабрикат, а готовый к использованию продукт по весьма умеренной цене.

Лабораторная установка содержит внутри себя узел реализации исследуемого физического явления, необходимые датчики его величин и узел сопряжения с компьютером. Никаких дополнительных соединений внутри установки не требуется. Компьютерная программа для каждой лабораторной работы своя и не требует дополнительных настроек. Техническим достоинством данного подхода является также хорошая надежность лабораторных установок, небольшие массогабаритные параметры.

Дидактические качества целиком зависят от методической проработки той или иной установки. Примером удачной проработки таких установок может быть продукция компании «Школьный мир» или ООО «Научные развлечения».

В качестве примера компьютеризированных лабораторных работ, основанных на интервальных измерениях, приведем лабораторный цикл «Исследование электрона». Классическая физика оперирует всего двумя параметрами: зарядом и массой электрона. Измерение этих величин, являющихся глобальными константами, желательно включить в лабораторный практикум как по идейным соображениям, так и с целью лучшего запоминания основных величин.

Просматривая весьма большой материал по реализации физического лабораторного практикума, можно заметить, что учебное измерение заряда электрона реализуется только тремя способами: воспроизведением опыта Милликена, электролизом и исследованием дробового шума радиолампы. Эти методы громоздки, трудно реализуемы в учебной лаборатории и позволяют лишь оценить порядок измеряемой величины. В тоже время современная электроника дает

возможность осуществить данное измерение значительно более простыми средствами и с гораздо лучшей точностью. Известно, что вольт-амперная характеристика (ВАХ) германиевого р-п-перехода при малых напряжениях и токах через него с хорошей точностью описывается формулой Шокли

$$I = I_0 \left(e^{\frac{U}{U_T}} - 1 \right), \quad (1)$$

где U_T – так называемый температурный потенциал, который выражается через постоянную Больцмана k , абсолютную температуру T и элементарный заряд e :

$$U_T = \frac{k \cdot T}{e}. \quad (2)$$

Определив U_T по интервальным измерениям ВАХ и зная k и T , вычисляем элементарный заряд.

Лабораторная установка представляет собой компьютеризированный характеристикограф, позволяющий получать графики и таблицы ВАХ двухполюсников в диапазоне напряжений от -5 В до $+5$ В и токов от $-0,5$ мА до $+0,5$ мА. Установка воспроизводит на мониторе график ВАХ диода VD1, подключаемого к внешним гнездам. Сканирование тока и напряжения на исследуемом двухполюснике осуществляется широтно-импульсным методом. Число ступеней изменения тока равно 250, то есть массив данных будет содержать 250 отсчетов.

Установка имеет собственный блок питания от сети 220 В и подключается к компьютеру либо через ком-порт, либо через USB-порт. В последнем случае на диске компьютера должен присутствовать специальный inf-файл, необходимый для программной имитации ком-порта.

Компьютерная программа «ВАХ» предусматривает автоматическое сканирование тока измеряемого диода. Сканирование ВАХ запускается нажатием кнопки «Сканировать». Текущие значения тока диода и напряжения на нем индицируются в верхней левой части экранной вкладки. Точки на графике ложатся густо и сливаются в почти непрерывную кривую. Время сканирования составляет около 2 минут. На рисунке 1 показан снимок экрана монитора после окончания сканирования. При нажатии кнопки «Закончить» на диске остается файл actual.txt, который содержит таблицу всех сделанных отсчетов, состоящую из двух столбцов. Эта таблица затем загружается в электронную таблицу Excel для обработки накопленных данных.

Обработка заключается в нахождении наилучшей аппроксимации, полученной зависимости формулой Шокли. Это эквивалентно определению двух параметров в (1): $I_{обр}$ и U_T . Программный продукт Excel предоставляет для этого удобный инструмент в виде построения графика исследуемой зависимости и «линии тренда» с минимальной квадратичной погрешностью.

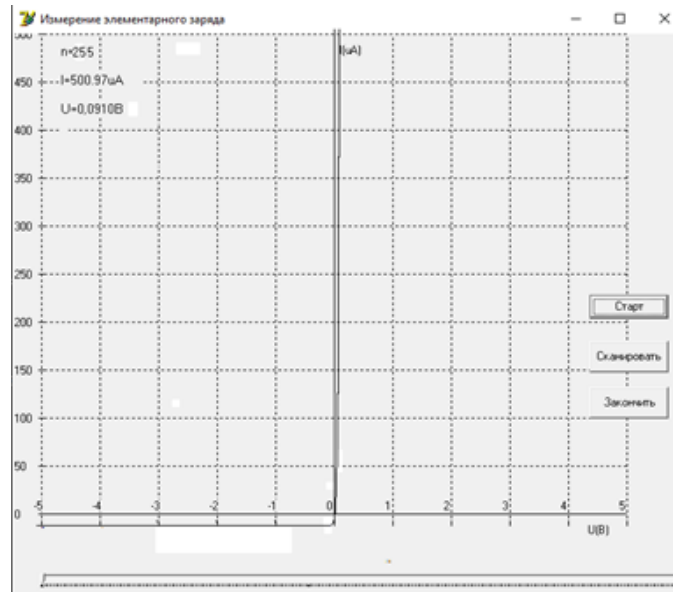


Рисунок 1 – Состояние экрана монитора после окончания сканирования

Второй работой лабораторного цикла является измерение удельного заряда электрона (отношения заряда к массе – e/m), которое при известной величине заряда позволяет вычислить массу электрона. В учебных лабораториях измерение удельного заряда, в основном, реализуется двумя способами: так называемым «методом магнетрона» и методом измерения ВАХ вакуумного диода [2]. В обоих методах требуется построение графика зависимости и ее аппроксимация, что при «ручном» способе измерений по точкам дает огромную погрешность. В результате определяется лишь порядок измеряемой величины.

Компьютеризация данных опытов позволяет в десятки раз увеличить количество отсчетов, использовать при обработке более достоверную статистику и существенно уменьшить погрешность измерений. Для реализации лабораторной установки был выбран «метод магнетрона», который является более наглядным, не требует сложной обработки данных и дает лучшую точность.

Многолетняя практика «ручного» измерения зависимости анодного тока вакуумного диода от индукции осевого магнитного поля убедила очень многих в том, что данная зависимость выражается плавным графиком, требующим замысловатой обработки. Однако снятие данного графика с плотным множеством отсчетов показывает наличие на нем скачка, соответствующего критическому значению индукции магнитного поля, при которой элементарная теория предсказывает скачкообразное обнуление тока. На фотографии экрана монитора, показанной на рисунке 2, этот скачок выделен кружками.

Обработка снятого массива интервальных измерений очень проста. Для определения критической индукции поля с помощью инструментов Excel определяется точка максимума производной в функциональной зависимости анодного тока лампы от индукции магнитного поля $I(B)$.

Процесс сканирования в данной установке автоматический, для его начала достаточно нажать кнопку «Сканировать». Индукция магнитного поля изменяется от 0 до 40 мТл в течение 30 секунд. Столь малые затраты времени позво-

СЕКЦИЯ 2

Техническое и методическое обеспечение физического лабораторного практикума

ляют многократно осуществить процесс сканирования и тем самым уточнить величину критической индукции. При больших величинах анодного напряжения скачок анодного тока проявляется отчётливее. На рисунке 2 показаны два скана, соответствующие величинам анодного напряжения 50 и 100 В.

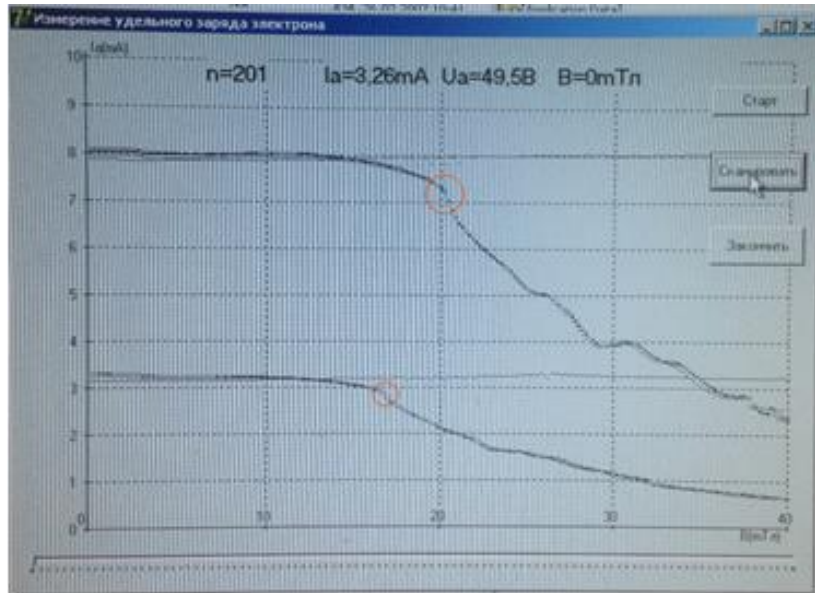


Рисунок 2 – Скачки анодного тока в сканах, соответствующих величинам анодного напряжения 50 и 100 В

Катушка, создающая магнитное поле, содержит 10000 витков и сделана съемной. Учащиеся получают несколько графиков зависимости анодного тока от величины индукции поля при снятой с лампы катушке. Естественно, эти графики представляют собой горизонтальные линии (см. рисунок 2). Затем катушка надевается на лампу и снимается еще несколько графиков, по которым делается вывод о влиянии поля катушки на анодный ток, определяется критическое значение индукции магнитного поля и вычисляется удельный заряд электрона по формуле

$$e/m = \frac{3 \cdot U_{\perp a}}{B_{\perp kp} \cdot (R_a - R_k)^2}, \quad (3)$$

где R_a и R_k – радиусы анода и катода соответственно (для используемой радиолампы 1Ц21П даны в описании работы).

В заключение отметим, что реализация концепции специализированных лабораторных установок в сочетании с персональным компьютером оказывается весьма плодотворной [5, с. 77]. При минимальных материальных затратах, а порой и с материальным выигрышем, она позволяет существенно улучшить точность учебных измерений, сделать их более наглядными, интересными и современными. Возможность применения компьютерных средств (в частности Excel) для обработки массивов интервальных измерений и оценок точечных параметров предоставляет новые возможности учебного эксперимента [6, 7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демин, А. В. Определение постоянной Стефана-Больцмана. Методические указания по выполнению лабораторной работы / А. В. Демин [и др.]. – Екатеринбург : УрФУ, 2019. – 21 с.
2. Киров, С. А. Измерение удельного заряда электрона / С. А. Киров [и др.]. // Учебное пособие – М. : ООП Физ. фак-та МГУ, 2010. – 20 с.
3. Гольдин, Л. Л. Лабораторные занятия по физике (Работа 35) / Л. Л. Гольдин [и др.]. – М. : Наука, 1983. – 704 с.
4. Ворсин, Н. Н. О современном физическом практикуме / Н. Н. Ворсин // Оптика неоднородных структур : сб. материалов IV Международной науч.-практич. конф., Могилев, 29–30 октября 2015 г. / Могилевский гос. ун-т им. А. А. Кулешова. – Могилев : МогГУ, 2015. – С. 125–128.
5. Ворсин, Н. Н. Компьютеризация лабораторного практикума по физике: цифровые лаборатории или лабораторные установки / Н. Н. Ворсин, Т. Л. Кушнер, К. М. Маркевич // Высшее техническое образование: проблемы и пути развития : материалы X Междунар. науч.-метод. конф., Минск, 26 ноября 2020 г. / БГУИР. – Минск, 2020. – С. 77–80.
6. Величко, Л. А. Принципы построения аппаратуры для учебных лабораторных опытов физического практикума / Л. А. Величко, Н. Н. Ворсин, Т. Л. Кушнер // Высшее техническое образование: проблемы и пути развития = Engineering education: challenges and developments : материалы VIII Междунар. науч.-методической конф., Минск, 17–18 ноября 2016 г. : в 2 ч. / БГУИР ; редкол.: Е. Н. Живицкая [и др.]. – Минск, 2016. – Ч. 1. – С. 60–62.
7. Кушнер, Т. Л. Модернизации учебного лабораторного практикума по физике / Т. Л. Кушнер, Н. Н. Ворсин // Информационные и инновационные технологии в науке и образовании : сб. материалов V Всероссийской науч.-практич. конф., посвящ. 65-летию Таганрогского института им. А. П. Чехова, Таганрог, 28–29 октября 2020 г. / Таганрогский ин-т им. А. П. Чехова. – Таганрог : ТГИ, 2020. – С. 35–39.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРА НА ОСНОВЕ
ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ**

Н. Н. Ворсин, К. М. Маркевич

*Учреждение образования «Брестский государственный
технический университет», г. Брест, Республика Беларусь*

Конденсатор как физический объект исследований в современной науке и технике не потерял свою актуальность и поныне. Более того, развитие техники сделало его одним из трех компонентов (R , L , C), на которых базируется современная электротехника, радиотехника, радиоэлектроника и т. д. Основы работы конденсатора в физике изучаются в школе, вузовский курс физики расширяет и углубляет познания об этом элементе на качественно новом научно-техническом уровне. Этому призвана способствовать и лабораторная работа: «Определение емкости конденсатора на основе переходных процессов в элек-