

Герман Хэртел,
Саша Дивиак

ЧТО РАССКАЗЫВАТЬ НА УРОКАХ О ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССАХ И ДРУГИХ БОЛЕЕ СЛОЖНЫХ ЯВЛЕНИЯХ В «ПРОСТЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ»

ВВЕДЕНИЕ

Если вы хотите обучить новичков скалолазанию и выбираете подходящие приемы, то прежде всего надо подумать о сложности предлагаемой методики. Важно, чтобы каждый новичок достиг выбранной вершины, получив удовольствие в конце пути от успешного преодоления возникавших трудностей. Если задания слишком просты или чрезвычайно трудны, то, скорее всего, новички займутся другими видами спорта.

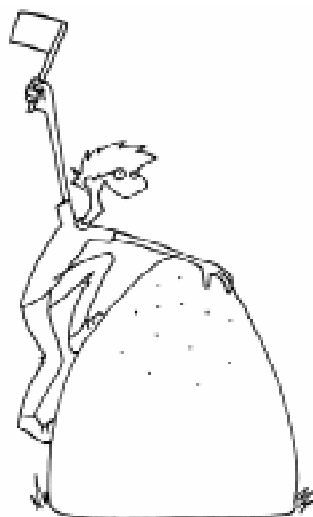
Посмотрим на эту проблему с точки зрения изучения физики. Результаты исследований последних тридцати лет говорят о том, что большинство учащихся не понимают, что происходит в так называемых простых электрических цепях.

В последние годы большие усилия были направлены на изучение причин возникновения ошибочных представлений, которые бытуют среди школьников после обучения. Честно признаться, положительных примеров изменения к лучшему пока еще мало.

Выходом из этого положения может быть критический анализ существующих методов обучения с учетом требований к уровню сложности изложения материала.

С нашей точки зрения изложение материала в современных учебниках с одной стороны упрощено, с другой – излишне абстрактно, и, главное, – лишено причинно-следственных связей между явлениями.

Это утверждение мы проиллюстрируем не только на примере переходных процессов в электрических цепях, мы также поговорим об «электрической цепи как системе» и остановимся на понятии «раз-



Важно, чтобы каждый новичок достиг выбранной вершины, получив удовольствие в конце пути от успешного преодоления возникавших трудностей.

ности потенциалов» – оба понятия достаточно трудны для понимания.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ КАК СИСТЕМА

Одним из распространенных заблуждений о процессах, протекающих в электрических цепях, является утверждение, что энергию в них переносят электрические частицы. Это заблуждение распространено не только среди учащихся, но и среди авторов учебников. Приведем типичный пример иллюстрации из американского учебника (рис. 1).

Электрические частицы, самостоятельно путешествующие по цепи, заряжаются энергией от батареи, доставляют ее очередную порцию мотору и «опустошенные» возвращаются назад.

В сравнительно новом немецком учебнике можно найти рисунки, где ток изображается в виде группы лыжников, бегущих по лыжне, или потока груженых автомобилей на шоссе. Иногда в качестве аналогии используется водяная отопительная система или ленточный транспортер.

Стоит немного поразмышлять над этими моделями, и станет понятным, что они приводят к серьезным противоречиям, так как искажают сущность процессов в электрических цепях – в электрических цепях сила определяет взаимодействие между источником и нагрузкой. Нет там обогащения частиц энергией и переносами энергии – есть работа, совершаемая при столкновении заряженных носителей. Немецкое выражение «Kraftwerk»,

эквивалентное понятию «силовая установка», правильно определяет суть происходящего.

Велосипедная цепочка, передающая усилия от педалей к колесу, или циркулирующая в замкнутой системе под высоким давлением вода, скорость которой невелика, являются более приемлемыми моделями. Нет переноса энергии частицами – есть сила и скорость. Для более глубокого понимания физики, в условиях, как нам кажется, возрастающего к ней интереса, считаем необходимым явно и многократно обращать внимание учащихся на обсуждаемые явления и постоянно подчеркивать разницу между их правильным и неправильным толкованием при объяснении результатов экспериментов.

Этот системный подход достаточно труден как метод познания. Он не сводится к заучиванию простейших правил, таких как «чем больше сопротивление, тем меньше ток». Он требует размышлений о взаимосвязи между понятиями и предполагает, что материал усваивается постепенно, с временными задержками. Требуются усилия и постоянные тренировки для покорения этих вершин. Надо устанавливать различные промежуточные уровни сложности и фиксировать прогресс на пути к более сложному и абстрактному мышлению. Как это реализовать на практике, см. Härtel [1].

НАПРЯЖЕНИЕ И ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЗАРЯДЫ

Принято рассматривать ток на качественном уровне как передвижение свободных электронов. О подобных качественных интерпретациях тут же забывают, как только вводится не менее важное понятие разности потенциалов. Выражение «энер-

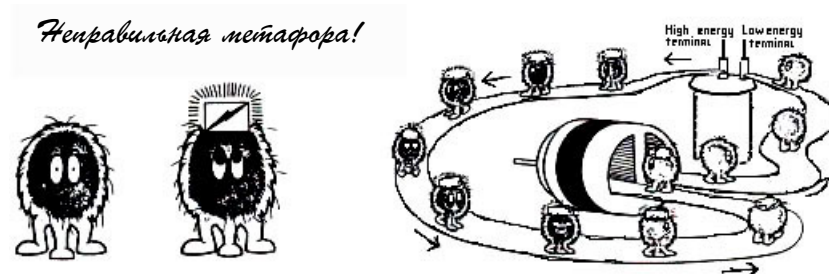


Рис. 1:

- а) заряженные и не заряженные энергией электрические частицы,
 б) электрические частицы доставляют энергию от батареи к мотору и возвращаются назад уже без энергии

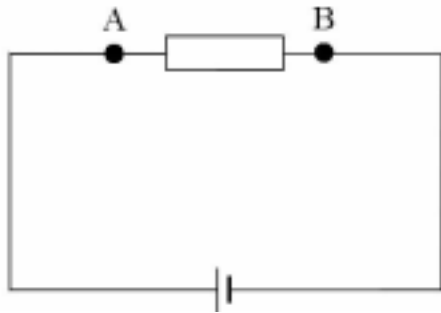


Рис. 2. Что отличает поперечное сечение А от В на микроскопическом уровне?

гия, приходящаяся на одну частицу» указывает, как измерять разность потенциалов. Однако не стоит использовать для объяснения процессов в электрических цепях правдоподобные утверждения.

Рассмотрим два поперечных сечения А (входное) и В (выходное) сопротивления, через которое протекает ток. Что отличает эти два сечения на микроскопическом уровне (рис. 2)?

Есть ли различия в поперечных сечениях в окрестности узла (правый рисунок), приводящие к перераспределению потока электронов, «не знающих» о расположенных далеко впереди сопротивлениях (рис. 3)?

Почему в резисторах мы наблюдаем более сильные электрические поля, по сравнению с полями внутри проводников, к ним подсоединенным?

Почему электрическое поле внутри проводящей ток проволоки всегда параллельно оси проволоки?

На эти простые, но ключевые вопросы достаточно трудно ответить, если пользоваться предложенным выше определением разности потенциалов.

Результаты тестирования и опыт общения с учащимися показывают, что термин «разность потенциалов» – один из самых трудных для понимания, и большинство учащихся его не усваивают. Каков итог подобного рода неудачных попыток понять суть основных терминов физики? Как много учеников могут навсегда потерять интерес к физике (ника-

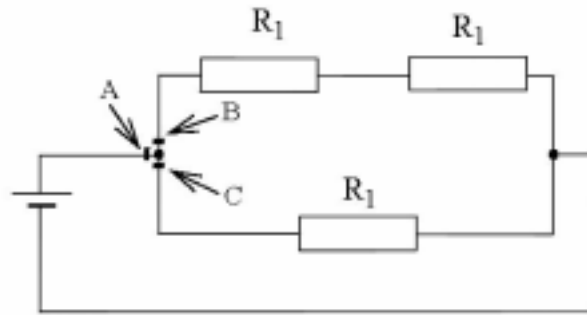


Рис. 3. В чем отличия в сечениях А, В и С, приводящие к перераспределению токов в ветвях с сопротивлениями?

кого скалолазания больше!), почувствовав свою неспособность справиться с такими трудными проблемами?

Наконец, если вернуться к термину «разность потенциалов», то это тот случай, когда допустимо ввести предварительно качественное определение, чтобы уменьшить риск неправильного понимания проблемы. Здесь ключом для понимания служат поверхностные заряды: любой проводник, через который течет ток, будет содержать на своей поверхности дополнительные заряды. Уже в XIX столетии немецкий ученый Вильгельм Вебер показал, что контур, проводящий ток, в целом нейтрален, но в его различных частях наблюдаются различные плотности поверхностных зарядов. Любые две точки, имеющие разные потенциалы, имеют и различные плотности поверхностных



Велосипедная цепочка, передающая усилия от педалей к колесу...

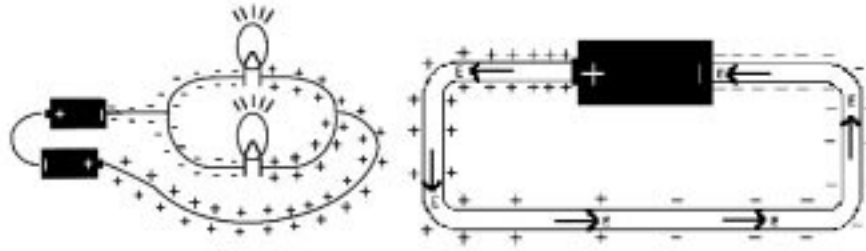


Рис. 4: а) поверхностные заряды в цепи с параллельными ветвями;
б) поверхностные заряды в установившемся режиме (Chabay/Sherwood)

зарядов. Это определение ничего не говорит об эффектах, возникающих благодаря некулоновским электродвижущим силам, которые нужно будет ввести позже по мере усвоения материала.

Детальное историческое рассмотрение этого подхода, описание экспериментов, подтверждающих наличие поверхностных зарядов, все необходимые расчеты можно найти в работах Assis [2].

Существует учебное пособие, написанное авторами Chabay и Sherwood [3], основанное на детальном рассмотрении поверхностных зарядов. Именно из него мы взяли следующий рис. 4.

Определенную помощь в понимании рассматриваемых явлений может дать программа CLOC, описанная в следующем параграфе.

ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И УСТАНОВИВШИЕСЯ РЕЖИМЫ

Законы Ома и Кирхгофа практически всегда рассматриваются в школьных курсах физики. Однако принято говорить

только об установившихся режимах (собственно, о них и идет речь в этих законах), без рассмотрения переходных процессов, им предшествующих.

Эти процессы кратковременны, и потому их трудно продемонстрировать и, тем более, объяснить. Это служит оправданием того, что их не рассматривают. Но если тщательные опыты и строгие рассуждения декларируются как необходимые атрибуты процесса изучения физики, такие оправдания сомнительны. Если пренебрегать переходными процессами, у учащихся складывается впечатление, что электрические процессы – это стационарные, установившиеся процессы. В результате невозможно ответить на вопрос, как батарея «узнала», что где-то далеко расположенное от нее сопротивление изме-

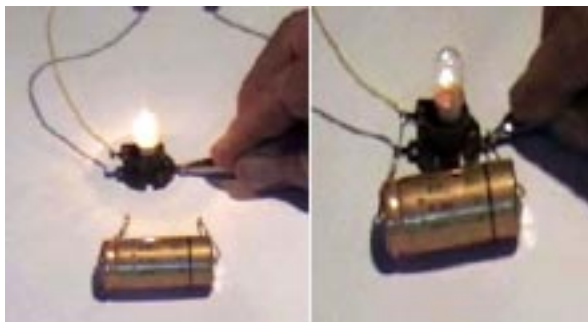


Рис. 5. Демонстрация переходных процессов



...могут навсегда потерять интерес к физике ..., почувствовав свою неспособность справиться с такими трудными проблемами?

нилось? Аналогично становится непонятным, насколько быстро ток увеличивается от текущего значения до «бесконечности», если батарею замкнуть длинным проводником. Задаются ли наши ученики вопросом, что быстрые процессы важны? Понимают ли они, что эти процессы могут быть объяснены действующими на расстоянии силами? Если учащихся не озадачивать подобными вопросами: будут ли они понимать, что переходные процессы столь же важны, как и стационарные, для понимания и объяснения происходящих в электрических цепях явлений?

Влияние переходных процессов можно увидеть, подключив большую емкость параллельно нагрузке (лампе) (рис. 5).

Эти процессы хорошо видны, пока формируются поверхностные заряды и заряжается емкость, и чем она больше – тем они длительнее.

Имитационная программа CLOC (Conceptual Learning Of Circuits или концептуальное изучение электрических цепей) была разработана для лучшего усвоения фундаментальных процессов, происходящих в электрических цепях. Однако она может быть очень полезна и при изучении поверхностных зарядов.

Программа демонстрирует, как происходит «прокачка» вещества через две параллельные емкости, с линейной зависимостью между емкостью сосуда и электрическим током. Алгоритм управляет наполнением емкостей и, тем самым, показывает переходный процесс, зависящий от величины и числа сопротивлений

Эта модель, используемая для объяснения явлений в электрических цепях, в результате для установившихся режимов приводит к законам Ома и Кирхгофа. Переходные процессы, которые мы наблюдаем, соответствуют цепям, в

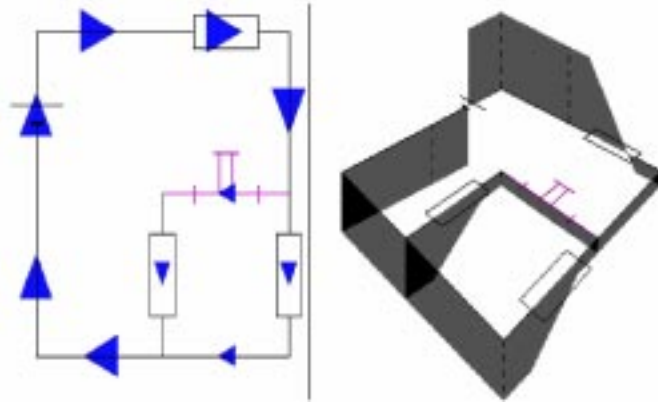


Рис. 6. Токи и поверхностные заряды, показываемые программой CLOC (концептуальное изучение электрических цепей)

которых параллельно каждому сопротивлению подключена очень большая емкость. Такого предположения вполне достаточно, если мы хотим продемонстрировать только важность переходных процессов.

С помощью JavaScript команд можно управлять программой CLOC. Если нас интересует только установившийся режим, то, управляя программой, переходные процессы можно скрыть.

С помощью программы CLOC можно создавать различные цепочки, состоящие из конденсаторов, источника (предусмотрен только один), сопротивлений и ключей, которыми можно управлять во время эксперимента. Сила тока отображается и в числовой форме и графически. В отдельном окне можно наблюдать рас-

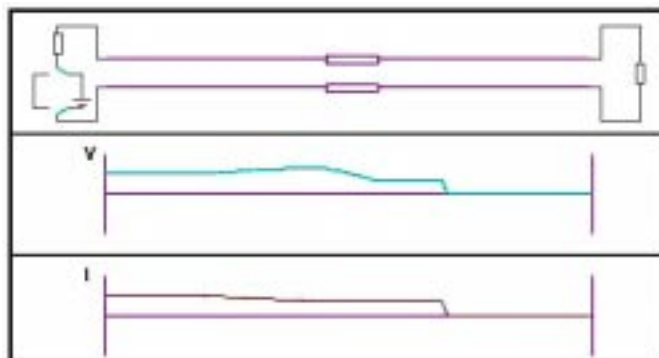


Рис. 7. Разность потенциалов и ток в длинной линии, полученные с помощью решения одномерного уравнения Максвелла

пределение потенциала вдоль цепи, поворачивая изображение под различными углами (рис. 6).

Показав влияние переходных процессов на предложенной нами упрощенной цепи, учителя захотят расширить возможности программы CLOC, рассмотрев более сложные цепи, не содержащие дополнительных емкостей. Это можно сделать, обратившись к программе «Длинные линии», которая уже имеет дело с одномерными уравнениями Максвелла.

Эта программа показывает в двух различных окнах разность потенциалов и ток вдоль показанной на рисунке линии без потерь (рис. 7).

Параметры источника нагрузки можно менять в ходе эксперимента, переходные процессы можно наблюдать в реальном времени. Выбранный алгоритм рас-

чета устойчив и всегда демонстрирует правильное физическое поведение.

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Основной задачей учителя по-прежнему остается упрощение сложных явлений в электрических цепях и представление их в форме, учитывающей возраст и знания учащихся. Однако достигнуть этого можно, только опираясь на понятия, не противоречащие реальным фактам. В любом случае не следует подвергаться соблазну использовать традиционные учебники, где рассуждают о «простых электрических цепях» и ставят перед учащимися тривиальные учебные задачи.

4. Дополнительную литературу и ссылки на программное обеспечение можно найти по адресу:

<http://www.astrophysik.uni-kiel.de/~hhaertel>

Литература

1. Härtel H. The Electric Circuit as a System: A New Approach // European Journal of Science Education, 4, 1982, 1. P. 45–55.
2. A. Koch Torres Assis, J. Akashi Hernandes. (2007) The Electric Force of a Current; Apeiron Montreal; available at: <http://www.ifi.unicamp.br/~assis/ftp/eout2.pdf>
3. R. Chabay, B. Sherwood. Matter and Interaction. Vol. II: Electric & Magnetic Interaction, John Wiley (2002).



Наши авторы, 2011.
Our authors, 2011.

Герман Хэртел,
Институт теоретической физики
и астрофизики – университет Киля,

Саша Дивиак,
факультет информатики
университета г. Любляны
(Словения).

Перевод Ю.Б. Сениченкова.