

эксперимент был использован для изучения магнито- и электрокалорического эффекта в мультиферроиках, синтезированных на основе феррита висмута ( $\text{BiFeO}_3$ ), допированного катионами редкоземельных элементов [2, 3].

Результаты построения в рамках феноменологической модели [1] температурных зависимостей намагниченностей мультиферроиков указывают на возможность ее использования при изучении физических процессов, происходящих в подобных материалах в области магнитного перехода. Концентрационные зависимости изменения магнитной энтропии, относительной мощности охлаждения и магнитной теплоемкости указывают на возможность практического использования магнитокалорического эффекта при температурах выше комнатной. Полученные результаты могут быть использованы как при изучении и моделировании электромагнитных явлений, наблюдаемых в мультиферроиках, так и при экспериментальном исследовании структуры и магнитных свойств магнитодиэлектриков и при синтезе новых материалов с заданными физическими свойствами. Относительная простота и наглядность результатов моделирования служат основанием для их использования в образовательном процессе в лабораторных практикумах при изучении соответствующих разделов курса физики, при выполнении курсовых, дипломных и магистерских работ, а также при проведении научных исследований.



#### **Список использованных источников**

1. Толстик, А. М. Роль компьютерного эксперимента в физическом образовании / А. М. Толстик // Физическое образование в вузах. – 2002. – Т. 8. – № 2, с. 94–102.
2. Амиров, А. А. Мультикалорический эффект в феррите висмута / А. А. Амиров, И. И. Макоед, Д. М. Юсупов // Челяб. физ.-матем. журн. – 2020. – Т. 5. – № 2. – С. 140–149.
3. Predicted model of magnetocaloric effect in  $\text{BiFeO}_3$ -based multiferroics / I.I. Makoed [et al] // Solid. State Sci. – 2019. – V. 95. – P. 105920-1–105920-7.

УДК 372.853 + 537.8

### **К МЕТОДИКЕ ПРЕПОДАВАНИЯ ТЕМЫ «ЗАКОН ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ФОРМЕ» В КУРСЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ**

### **TO THE METHODOLOGY OF TEACHING THE TOPIC «ELECTROMAGNETIC INDUCTION LAW IN DIFFERENTIAL FORM» IN THE COURSE OF ELECTRODYNAMICS**

**А. И. Серый / A. I. Sery**

*Брестский государственный университет  
имени А. С. Пушкина (Брест, Беларусь)*

Предложены таблица и блок-схема, которые могут быть использованы при изучении темы «Закон электромагнитной индукции в дифференциальной форме» в курсе электродинамики.

A table and block diagrams are proposed which can be used at studying the topic “electromagnetic induction law in differential form” in the course of electrodynamics.

*Ключевые слова:* электромагнитная индукция, таблица, блок-схема.

*Keywords:* electromagnetic induction, table, block diagram.

В связи с сокращением аудиторных часов, отводимых на изучение физики, возникает необходимость поиска более компактных форм изложения материала по сравнению с повествовательной в виде обычного текста с формулами. Подходящими элементами опорных конспектов могут служить схемы и сравнительные таблицы.

Ниже в качестве примера предложены схемы и таблицы, которые могут быть использованы в образовательном процессе при изучении темы «Закон электромагнитной индукции в дифференциальной форме» в курсе электродинамики. Исходные сведения могут быть взяты, например, из [1, с. 257, 337].

Использованы следующие обозначения:  $S$  – поверхность, пронизываемая магнитным потоком,  $L$  – контур, охватывающий эту поверхность,  $\vec{dl}$  – элемент контура,  $\vec{n}$  – единичный вектор нормали к поверхности,  $\Phi$  – магнитный поток,  $t$  – время,  $c$  – скорость света в вакууме,  $\mathcal{E}_i$  – ЭДС индукции,  $\vec{B}$  – индукция магнитного поля,  $\vec{E}$  – напряженность электрического поля.

Также понадобятся следующие уравнения:

$$\int_S \vec{n} \cdot \text{rot} \vec{E} dS = -\frac{1}{c} \frac{d}{dt} \int_S \vec{n} \cdot \vec{B} dS, \quad (1)$$

$$\text{rot} \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}. \quad (2)$$

Таблица 1. – Этапы вывода ЗЭМИ в дифференциальной форме

Этап	Получение уравнения (1)	Получение уравнения (2)
Исходные данные	а) ЗЭМИ, выраженный через электродвижущую силу (ЭДС) и скорость изменения магнитного потока $\Phi$ ; б) определяющая формула для $\Phi$ ; в) определяющая формула для ЭДС; г) теорема Стокса	уравнение (1)
Действия, выполняемые на данном этапе	подстановки (см. рисунок 1)	постепенное упрощение формулы (1) на основе логических следствий, опирающихся на определенные предположения (см. рисунок 2 и таблицу 2)

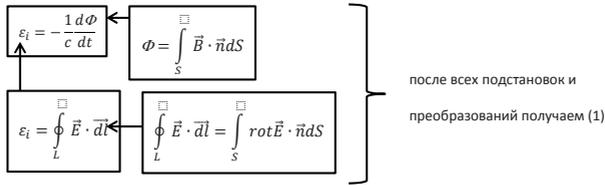


Рисунок 1. – Схема вывода уравнения (1)

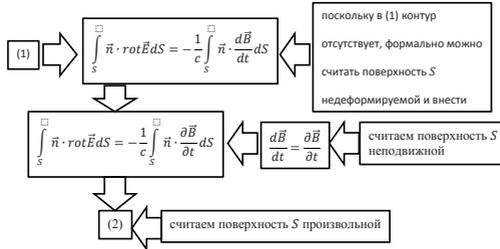


Рисунок 2. – Схема вывода уравнения (2)

Вместо рисунка 2 (или вместе с ним) можно использовать таблицу 2.

Таблица 2. – Последовательность выполнения второго этапа

Шаг	Предположение относительно	Примечания	Какой вид принимает формула
1	Ее можно считать недеформируемой	Это связано с тем, что в (1) отсутствует проводящий контур; в результате производную по времени можно внести под знак интеграла	$\int_S \vec{n} \cdot \text{rot} \vec{E} dS = -\frac{1}{c} \int_S \vec{n} \cdot \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} dS$
2	Считаем ее неподвижной	Это приводит к тому, что $d\vec{B}/dt = \partial \vec{B}/\partial t$ (учет только нестационарности вектора $\vec{B}$ )	$\int_S \vec{n} \cdot \text{rot} \vec{E} dS = -\frac{1}{c} \int_S \vec{n} \cdot \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} dS$
3	Считаем ее произвольной	Это приводит к тому, что равенство интегралов означает равенство подынтегральных выражений	(2), что и требовалось доказать

Все подстановки и промежуточные преобразования учащиеся могут выполнить самостоятельно (по усмотрению преподавателя).

Таким образом, имеется возможность выбора между традиционным текстом учебника, табличным (особенно при наличии возможности сравнения) и схематическим подходами (при наличии подстановок и преобразований). Наиболее оптимальным вариантом для студента (при наличии соответствующих временных ресурсов) представляется ознакомление с текстом учебника с последующим повторением материала с использованием таблиц и схем. В процессе такой подготовки студент может также придумать свои собственные таблицы, схемы, мнемонические правила и т. д.



#### **Список использованных источников**

1. Сивухин, Д. В. Общий курс физики: учеб. пособие для вузов : в 5 т. / Д. В. Сивухин. – М. : ФИЗМАТЛИТ; Изд-во МФТИ, 2004. – Т. III : Электричество. – 656 с.

УДК 372.853 + 537.31

### **К МЕТОДИКЕ ПРЕПОДАВАНИЯ ТЕМЫ «ПЛОТНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА» В КУРСЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ**

### **TO THE METHODOLOGY OF TEACHING THE TOPIC «ELECTRIC CURRENT DENSITY» IN THE COURSE OF ELECTRODYNAMICS**

**А. И. Серый / A. I. Sery**

*Брестский государственный университет  
имени А. С. Пушкина (Брест, Беларусь)*

Обсуждается целесообразность внедрения в вузовский курс физики иных форм изложения материала по сравнению с традиционными. Предложены таблица и блок-схемы, которые могут быть использованы при изучении темы «Плотность электрического тока» в курсе электродинамики.

The expediency of introducing other forms of material presentation in comparison with traditional ones into the university physics course is discussed. A table and block diagrams are proposed which can be used at studying the topic “electric current density” in the course of electrodynamics.

*Ключевые слова:* плотность тока, таблица, блок-схема.

*Keywords:* current density, table, block diagram.

В связи с наличием тенденции к сокращению аудиторных часов, предусмотренных учебными программами по физике, возникает необходимость поиска иных форм изложения материала (как на лекциях, так и в учебных пособиях), отличных от простого текста, предназначенного (полностью или частично) пояснять формулы, которые в нем встречаются. Подходящими элементами опорных конспектов могут служить схемы и сравнительные таблицы (с опорой на известный принцип «все познается в сравнении», способствующий снижению роли «зубрежки»). Их составление (самостоятельное или под