
ФИЗИКАНЫ ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ

МЕТОДИКА ФИЗИКИ

УДК 378.147:372.853

Л.Ф.Ильина, А.Х.Нурсултанова

Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова

МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ОСНОВ ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМА В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕРАКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Мақалада мектепте жектілікті түрде тереңдетіліп оқытылмайтын «Электр және магнетизм» бөлімі қарастырылады. Біздің әдіс электростатикалық және гравитациялық өріс аналогиясы мен магнит өрісінің кернеулігін кірістіруге негізделген. Сонымен қатар Био-Савар-Лаплас заңы мектеп курсына қарастырылмайды, бірақ ол есеп шығару жолын жеңілдетеді. Мектеп қабырғасында көптеген зертханалық жұмыстарды орындауға мүмкіндік болмағандықтан, біз «Магнетик» тақырыбына виртуалдық зертханалық жұмысты пайдалануды ұсынамыз.

In article is considered section of electromagnetism which insufficiently deeply is considered at school. Our method is based on introduction of intensity of a magnetic field, by analogy with electrostatic and gravitational fields. Besides, in a school course the law of Bio-Savar-Laplas is not considered, though consequences from it considerably facilitate the decision of problems. Many laboratory works on electromagnetism cannot be carried out in the conditions of school, therefore we suggest to use virtual laboratory work on a theme «Magnetiki».

Актуальность работы обусловлена тем, что курс электромагнетизма — один из самых сложных и трудно воспринимаемых разделов не только на школьном, но и на вузовском уровне.

К сожалению, в курсе физики средней школы рассматривается только одна векторная характеристика магнитного поля — вектор магнитной индукции, хотя их две, причем напряженность магнитного поля является первостепенной. Напряженность вводится для гравитационного и электрического полей. Непонятно, почему она исключается при анализе магнитного поля. Более того, магнитное поле и его характеристики и явление электромагнитной индукции в средней школе рассматриваются в разных классах, а это значит, что название единственной характеристики — вектора магнитной индукции — ни на чем не основано.

На протяжении многих лет в вузовском курсе общей физики «электричество и магнетизм» используются две характеристики магнитного поля. Исходя из того, что электрический ток создает магнитное поле, вводится его напряженность \vec{H} ; а исходя из того, что при определенных условиях магнитное поле создает ток, вводится вектор магнитной индукции \vec{B} . Безусловно, они связаны друг с другом.

Этой же методике следовал один из авторов данной статьи в течение 11 лет работы в физико-математических классах школы-гимназии № 93 г. Караганды. Апробирована она была в процессе прохождения педагогической практики другим автором работы.

Поэтому у нас есть все основания считать, что предлагаемая нами методика изучения магнитного поля не только имеет право на существование, но и является более логичной, чем существующая ныне.

Для изложения данного материала школьных учебников, причем разных поколений, недостаточно. Мы использовали вузовские учебники, сборники задач и другие учебные пособия с соответствующими коррективами, а для лучшего усвоения и концентрации внимания учащихся — некоторые интерактивные технологии и средства.

Благодаря работам Эрстеда и Ампера [1] экспериментально было доказано, что в пространстве, окружающем токи и постоянные магниты, возникает силовое поле, называемое магнитным [2].

Магнитное поле — особый вид материи, через которую осуществляется действие одних токов или магнитов на другие токи или магниты.

За направление магнитного поля принимается то направление, которое указывает северный полюс магнитной стрелки или положительная нормаль элементарного контура с током.

Одной из векторных характеристик магнитного поля является его напряженность \vec{H} [3].

Конечно, напряженность зависит от формы и размеров проводника, но в любом случае она определяется силой тока, создающего поле.

Напряженность магнитного поля — это физическая величина, характеризующая поле в каждой точке, пропорциональная силе тока, создающего поле при любой форме проводника.

В системе СИ напряженность измеряется в А/м.

1 А/м — это напряженность магнитного поля в центре кругового проводника диаметром в 1 м при силе тока в 1 А.

В последние годы сложилась тенденция использовать при изложении курса физики в средней школе аппарат высшей математики вузовского уровня, что недопустимо.

Понятно, что логично выйти на напряженность магнитного поля проводника с током (Закон Био-Савара-Лапласа). В принципе сделать это несложно, но для того, чтобы получить из этого закона напряженности полей проводников с током простой геометрической формы, требуется интегрирование функций нескольких переменных.

С нашей точки зрения, целесообразно поступить так: ввести закон Био-Савара-Лапласа классическим способом, а затем, дав соответствующие рисунки с пояснениями (без вывода), выйти на выражения для модуля напряженности магнитного поля:

– для прямого бесконечно длинного проводника с током:

$$H = \frac{I}{2\pi R}, \quad (1)$$

где R — кратчайшее расстояние от проводника до рассматриваемой точки;

– для кругового проводника с током в его центре:

$$H = \frac{I}{2R}, \quad (2)$$

где R — радиус проводника;

– внутри соленоида на его оси:

$$H = nI, \quad (3)$$

где n — число витков в расчете на единицу длины.

Сделать это необходимо, так как в противном случае практически исключается решение задач на магнитное поле и законы, его характеризующие.

Наглядно магнитное поле изображается с помощью силовых линий. Нет смысла в рамках данной статьи останавливаться на этом вопросе подробно (подход вполне классический). Имеет смысл ввести общепринятым способом поток вектора напряженности магнитного поля в общем случае (поле неоднородно):

$$\Phi_H = \sum_i H_{n,i} \Delta S, \quad (4)$$

где $H_{n,i}$ — нормальная к элементарной площадке составляющая напряженности магнитного поля.

Но так как силовые линии физического смысла не имеют, то его не имеет и поток. Зачем же его вводить?

В 1831 г. Фарадей открыл явление электромагнитной индукции.

По Фарадею: *Электромагнитная индукция — это явление возникновения тока в контуре при изменении пронизывающего его число магнитных силовых линий; при этом не важно, почему меняется это число, потому ли, что контур находится в нестационарном магнитном поле, или потому, что он перемещается в стационарном магнитном поле, но так, что меняется число пронизывающих его силовых линий.*

Так как силовые линии физического смысла не имеют, формулировку Фарадея следует перефразировать: *Электромагнитная индукция — это явление возникновения тока в контуре при изменении пронизывающего его магнитного потока.*

Опыт показывает, что чем быстрее меняется магнитный поток, тем больше индукционный ток, т.е. ЭДС определяется так:

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}, \quad (5)$$

где $\Delta\Phi$ — изменение магнитного потока, пронизывающего контур за время Δt ; знак « $-$ » имеет чисто физический смысл: он учитывает направление индукционного тока.

Исходя из (5) можно дать определение магнитного потока.

Магнитный поток — это физическая величина, характеризующая магнитное поле, изменение которой за любой промежуток времени определяется произведением ЭДС индукции, возникающей в контуре, на этот промежуток времени.

Магнитный поток в системе СИ измеряется в веберах (Вб).

1 Вб — это такой магнитный поток, при уменьшении которого до нуля за 1 с в контуре возникает ЭДС индукции в 1 В.

$$[\Phi] = \text{Вб} = \text{В} \cdot \text{с} \quad (6)$$

Любой поток соответствует какому-то вектору.

Вектор, которому соответствует магнитный поток и называется вектором магнитной индукции.

В общем случае неоднородного магнитного поля:

$$\Phi = \sum_i B_{n,i} \Delta S_i. \quad (7)$$

В системе СИ вектор магнитной индукции измеряется в тесла (Тл).

1 Тл — это индукция такого однородного магнитного поля, которое создает поток в 1 Вб через площадь в 1 м^2 , ему перпендикулярную.

Таким образом:

$$1 \text{ Тл} = \frac{1 \text{ Вб}}{\text{м}^2}. \quad (8)$$

Итак, первичным при данной методике изложения является магнитный поток, а через него вводится вектор магнитной индукции (а не наоборот, как принято в классической литературе).

Векторы \vec{H} и \vec{B} связаны друг с другом. В вакууме в любой точке пространства, где создано магнитное поле:

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H},$$

где μ_0 — магнитная константа, характеризующая магнитные свойства вакуума.

Из (4) видно, что μ_0 — величина, имеющая размерность, назвать которую в системе СИ можно, только рассмотрев индуктивность проводника.

Закон электромагнитной индукции (5) можно вывести исходя из законов сохранения и превращения энергии и инерции.

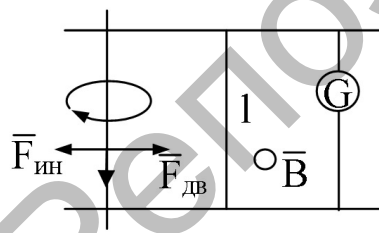


Рис. 1

Рассмотрим два рельса (рис. 1), расположенные в горизонтальной плоскости, на них положен легкий проводник. Система замкнута через гальванометр и помещена в однородное магнитное поле, перпендикулярное к ней.

Если перемещать проводник с помощью силы $F_{\text{дв}}$, то возникает сила инерции (в данном случае речь идет не о механической инерции, а об электромагнитной). $F_{\text{ин}} \uparrow \downarrow F_{\text{дв}}$, а это возможно лишь в том случае, если в проводнике пойдет ток такого направления, чтобы его собственное магнитное поле справа от проводника (в точке A) было сонаправлено с внешним, а слева (в точке C) было ему антипараллельно.

Пользуясь правилом буравчика, определяем направление индукционного тока. Ток и должен возникнуть, так как меняется магнитный поток, пронизывающий контур, частью которого является перемещающийся проводник, и гальванометр его фиксирует.

По закону сохранения энергии

$$W = -A, \quad (10)$$

где W — энергия электрического поля, вызывающего ток; A — работа, совершаемая магнитным полем по перемещению проводника с током.

По закону Джоуля-Ленца:

$$W = I^2 \xi_i \Delta t. \quad (11)$$

Работа, совершаемая магнитным полем по перемещению проводника с током, определяется так:

$$A = I\Delta\Phi. \quad (12)$$

Подставляя выражения (11) и (12) в (10), получаем:

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

Аналогом закона электромагнитной индукции (с учетом правила Ленца) в механике является I закон Ньютона (его и называют законом инерции).

Отметим, что о том, что электромагнитная индукция — это электромагнитная инерция, речь идет во всех учебниках. Однако на чем основано такое утверждение, непонятно.

Более подробное рассмотрение электромагнитной индукции выходит за рамки данной статьи. Это явление требует специального анализа, тем более, что без этого невозможен переход к теории Максвелла.

Не будем мы касаться и сил Ампера и Лоренца, отметим только, что, зная силу взаимодействия двух параллельных бесконечно длинных проводников с током по 1 А в каждом, находящихся на расстоянии 1 м в вакууме (в расчете на единицу длины), можно найти числовое значение μ_0 (магнитная константа):

$$[\mu_0] = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}. \quad (13)$$

Особого внимания заслуживает раздел электромагнетизма «Магнетики». С природой магнетизма (на качественном уровне) можно познакомиться, используя любой учебник, как школьный, так и вузовский.

Напомним только, что магнитная проницаемость — характеристика магнитных свойств магнетиков — показывает, как различается магнитное поле в магнетике и в вакууме:

$$\mu = \frac{\bar{B}'}{\bar{B}_0}, \quad (14)$$

где B_0 — магнитная индукция магнитного поля в данной точке в вакууме, а B' — в той же точке в магнетике.

Мы предлагаем виртуальную лабораторную работу: «Изучение намагниченности парамагнетиков» [4].

Как известно, к парамагнетикам относятся вещества, атомы которых имеют магнитные моменты. В отсутствие внешнего поля эти магнитные моменты ориентированы беспорядочно вследствие хаотического (теплового) движения и поэтому результирующая намагниченность парамагнетика отсутствует. При появлении внешнего поля магнитные моменты атомов получают преимущественную ориентацию по полю — магнетик намагничивается.

Тепловое движение разориентирует магнитные моменты, поэтому при достаточно высоких температурах и слабых магнитных полях степень ориентации по полю магнитных моментов атомов мала (выполняется закон Кюри, согласно которому парамагнитная восприимчивость обратно пропорциональна абсолютной температуре).

При сильных полях и небольших температурах достигается сильная ориентация магнитных моментов атомов по полю; может быть достигнуто даже насыщение, когда все магнитные моменты «смотрят» по полю.

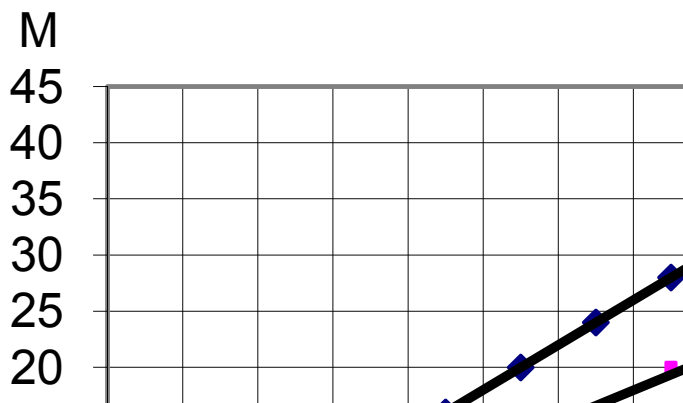


Рис. 2. График зависимости $M(H)$

В работе моделируется поведение парамагнетика во внешнем магнитном поле, изучается зависимость его намагниченности от температуры и напряженности поля.

Виртуальная работа выполнена так: задано число частиц $N = 100$; вводятся 5 температур: 100, 150, 200, 250, 300 К; напряженность поля в условных единицах меняется от 0 до 100, с шагом в 10 единиц; строятся графики зависимости $M(H)$, где $M = N_a - (100 - N_a)$, N_a — число частиц, ориентированных по полю. Графики представлены на рисунке 2.

В заключение отметим, что выполнить подобную лабораторную работу не только в условиях школы, но и вуза абсолютно нереально. Именно при таких условиях незаменимы виртуальные лабораторные работы.

По изложенному материалу произведен педагогический эксперимент в 2-х подгруппах 10 «А» физико-математического класса (11 и 12 человек), включающий в себя презентацию, физический диктант, самостоятельную работу в 2-х вариантах (по 3 задачи в каждом), тестирование (10 вопросов по 5 вариантов ответов в каждом). Результаты проанализированы.

Оформлен акт внедрения. Работа доложена на XXXII университетской конференции студентов, магистрантов и аспирантов в апреле 2009 г., отмечена грамотой.

Список литературы

1. *Калашиников С.Г.* Электричество. — М.: Наука, 1977. — 591 с.
2. *Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б.* Учебник физики 10 класса. — М.: Просвещение, 1991. — С. 25.
3. *Толстик А.М.* Виртуальная лаборатория. — Томск, 2004.