

Днепродзержинский государственный технический университет

ТРАКТОВАНИЕ ТЕОРЕМЫ О ЦИРКУЛЯЦИИ ВЕКТОРА МАГНИТНОГО ПОЛЯ В КОНЦЕПЦИИ ЗАКОНОВ СОХРАНЕНИЯ ПРИ ЧТЕНИИ КУРСА ФИЗИКИ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗѐ

Введение. Для решения основных физических задач используется целый ряд методов, основополагающими из которых являются такие, как энергетический, динамический и графический. Они в целом являются самостоятельными, могут подменять или дополнять друг друга и в комплексе позволяют получить достоверную, подтвержденную с различных позиций модель или теорию различных физических явлений и законов. Такой подход используется как в научно-исследовательской работе, так и в процессе изучения различных разделов фундаментальной физики на лекционных занятиях и практических занятиях по решению задач [1-3].

Динамический метод решения задач характерен тем, что требует составления и решения системы векторных уравнений, описывающих модель, применение законов тригонометрии и векторной алгебры и, следовательно, отвлекает внимание студентов от физической сути явления и методически затрудняет получение окончательного физического результата.

Особое место в этом плане занимает энергетический метод, а именно, в части использования законов сохранения различных физических величин в различного рода замкнутых системах. Например: закон сохранения полной механической энергии в потенциальных полях консервативных сил; законы сохранения импульса и момента импульса в системах тел, замкнутых от внешних механических воздействий; закон сохранения электрического заряда в электростатических замкнутых системах и т.п. Изучение законов сохранения, а также приобретение навыков их применения в различных разделах курса физики является важнейшими пунктами программы фундаментальной подготовки студентов технических специальностей в высших учебных заведениях.

Постановка задачи. Для решения задачи расчета магнитной индукции \vec{B} (напряженности магнитного поля \vec{H}), создаваемой электрическим током, традиционно пользуются в учебном процессе законом Био-Савара-Лапласа в сочетании с принципом суперпозиции полей [1, 2]. Однако такой подход методически не всегда оправдан для студенческой аудитории в силу указанных выше затруднений векторного суммирования большого количества элементов токов и связанных с этим громоздких математических расчетов, уводящих студентов от физической сути рассматриваемого процесса.

В определенной мере рациональнее для вихревых полей применять теорему о циркуляции вектора магнитного поля \vec{B} , трудоемкость математических расчетов в которой можно оптимизировать выбором контура интегрирования L :

$$\oint_L B_l dl = \mu_0 \sum_{i=1}^k I_i . \quad (1)$$

Однако и этот метод не всегда приводит к требуемой наглядности и оптимальному решению достаточно сложной пространственной задачи магнитостатики.

Проблемы активизации познавательной деятельности студентов технического вуза можно решать разными способами, в том числе и применением контекстного подхода к обучению в цикле фундаментальных общеобразовательных дисциплин на младших курсах [4, 5]. В этом плане, на наш взгляд, теорему (1) для расчета магнитного поля токов, при определенных условиях, можно трактовать в контексте физических законов сохранения. Обоснование такой трактовки теоремы о циркуляции \vec{B} , а также возможностей расчета магнитного поля с ее помощью является целью данной работы.

Результаты работы. Представим аксонометрично системы силовых линий магнитного поля, создаваемого в пространстве совокупностью прямых токов I_i , и выберем несколько точек, удаленных от тока на расстояниях

$$r_1 = b;$$

$$r_2 = 2b;$$

$$r_3 = 3b;$$

$$-----;$$

$$r_n = nb.$$

Через каждую из этих точек проходят соответствующие силовые линии магнитной индукции (рис. 1), величина которой вдоль каждой из них будет $B_1, B_2, B_3, \dots, B_n$ соответственно.

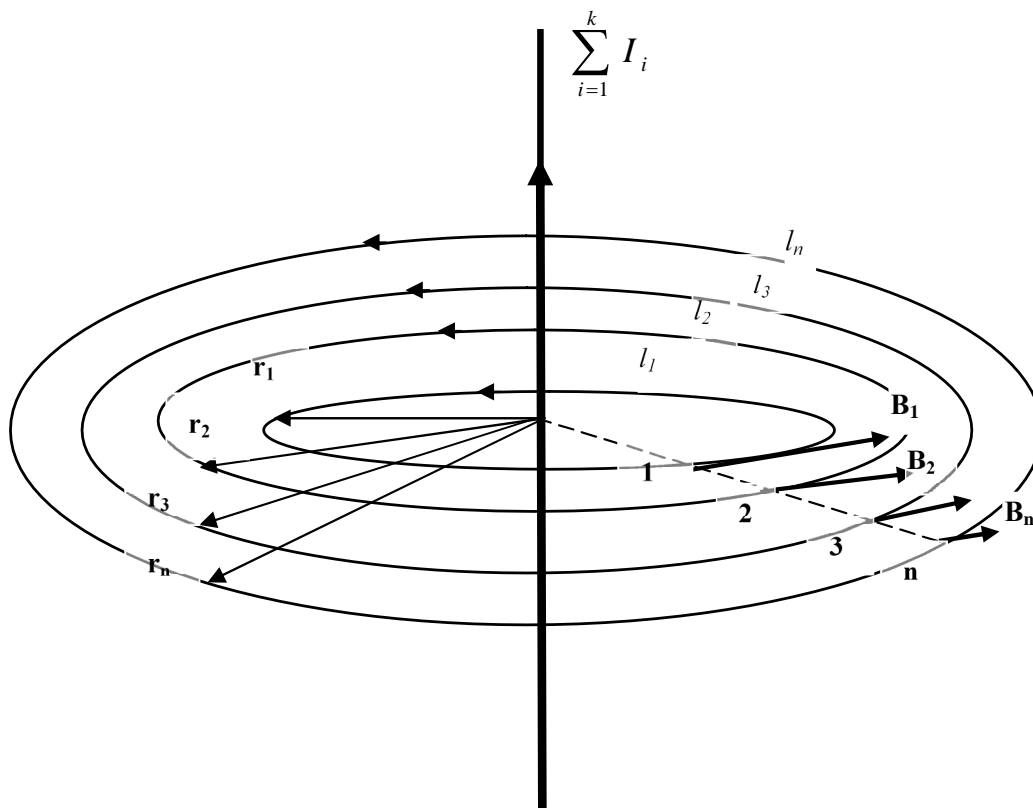


Рисунок 1 – Аксонометрия системы силовых линий магнитного поля и токов, их создающих

В рассматриваемом случае системы концентрических силовых линий, каждая из них представляет собой геометрическое место точек, где $B_n = \text{const}$ (это утверждение справедливо и для системы параллельных силовых линий), и рассчитывается известными традиционными способами [1, 2]. Тогда для выбранных нами точек значения

магнитной индукции B_n и длина соответствующих силовых линий l_n будет представлена следующей системой равенств:

$$\begin{aligned}
 B_1 &= \frac{\mu_0}{2\pi r_1} \sum_{i=1}^k I_i = \frac{\mu_0}{2\pi b} \sum_{i=1}^k I_i ; & l_1 &= 2\pi r_1 = 2\pi b ; \\
 B_2 &= \frac{\mu_0}{2\pi r_2} \sum_{i=1}^k I_i = \frac{\mu_0}{2\pi 2b} \sum_{i=1}^k I_i ; & l_2 &= 2\pi r_2 = 2\pi 2b ; \\
 B_3 &= \frac{\mu_0}{2\pi r_3} \sum_{i=1}^k I_i = \frac{\mu_0}{2\pi 3b} \sum_{i=1}^k I_i ; & l_3 &= 2\pi r_3 = 2\pi 3b ; & (3) \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 B_n &= \frac{\mu_0}{2\pi r_n} \sum_{i=1}^k I_i = \frac{\mu_0}{2\pi nb} \sum_{i=1}^k I_i ; & l_n &= 2\pi r_n = 2\pi nb .
 \end{aligned}$$

Анализируя системы уравнений (2) и (3), становится очевидным, что

$$B_1 l_1 = B_2 l_2 = B_3 l_3 = \dots = B_n l_n = \mu_0 \sum_{i=1}^k I_i . \tag{4}$$

Обобщая (4), получим

$$B_n l_n = \mu_0 \sum_{i=1}^k I_i . \tag{5}$$

Для стационарного случая, когда $\sum_{i=1}^k I_i = const$, равенство (4) можно представить

в виде

$$B_n l_n = const . \tag{6}$$

Таким образом, из (4) следует, что в любой точке пространства вблизи проводника с током произведение длины силовой линии, охватывающей ток, на магнитную индукцию вдоль нее будет величиной неизменной, т.е. сохраняется при переходе от одной точки пространства к другой.

Как видно из рис.1, левая часть равенства (6) представляет собой частный случай циркуляции вектора магнитной индукции при условии, что в качестве контура интегрирования взята силовая линия l . Это свидетельствует о количественной эквивалентности выражений (1) и (4) и позволяет трактовать теорему о циркуляции магнитной индукции (1) в концепции законов сохранения (4).

Равенство (4) справедливо для системы концентрических или параллельных силовых линий, вдоль которых проекция вектора \vec{B} неизменна, что существенно ограничивает его возможности для расчета магнитных полей в сравнении с равенством (1). Однако, предлагаемый фактор сохранения $B_n l_n$ достаточно нагляден и доступен для понимания студентами. Как показывает опыт, при изучении теоремы о циркуляции в традиционной трактовке внимание студентов переключается с наглядной физической модели представления магнитного поля системой силовых линий на формализм обобщенного математического понятия, не способствуя таким образом пониманию столь важного физического закона магнитостатики. Поэтому считаем целесообразным вместо

формализованного контура L , единственным условием к которому является охватывание всех токов $\sum_{i=1}^k I_i$, создающих поле, использовать реальный контур – силовую линию, которая по своей физической природе охватывает токи, ее создающие.

Выводы. Установлено, что теорема о циркуляции магнитного поля при определенных ограничениях может быть сформулирована на основе критериев законов сохранения в физике.

Показано, что изучение теоремы о циркуляции магнитной индукции в студенческой аудитории целесообразно проводить на основе концепции физических законов сохранения, как логически более адаптированным к физическим моделям и законам электромагнетизма.

Предложенный фактор сохранения в магнитном поле дает возможности составлять массивы тестов модульного контроля по расчету магнитной индукции полей токов различной формы и величины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сивухин Д.В. Электричество / Д.В.Сивухин. – М.: Наука, 1983. – 688с.
2. Бушок Г.Ф. Курс фізики (Електрика і магнетизм) / Г.Ф.Бушок, Є.Ф.Венгер. – К.: Вища школа, 2003. – 278с.
3. Мейнхольд Г. Творческое мышление и творческая деятельность студентов / Г.Мейнхольд // Современная высшая школа. – 1982. – № 3 (39). – С.39-51.
4. Беспалько В.П. Педагогика и прогрессивные технологии обучения / В.П.Беспалько. – Педагогика, 1995. – 336с.
5. Ларионова О.В. Формы и методы контекстного обучения в цикле естественно-научных дисциплин: дисс. ... канд. пед. наук: 13.00.02 «Теория и методика обучения» / О.В.Ларионова. – М., 1995. – 194с.

Поступила в редколлегию 09.02.2015.