1. Доказать теорему о циркуляции для случая контура, не перпендикулярного плоскости тока.

Циркуляция вектора индукции магнитного поля – это криволинейный интеграл по контуру L от скалярного произведения и вектора элемента этого контура .

Пусть поле создано бесконечно длинным прямым проводником с током I, а контур L перпендикулярен плоскости тока. Тогда = (доказано на лекции)



Если контур охватывает несколько токов, то циркуляция равна их алгебраической сумме:

Если контур L не перпендикулярен плоскости тока, то мы можем представить как сумму двух векторов и , где параллелен току, а - перпендикулярен. Тогда . Однако прямая, содержащая вектор тока , перпендикулярна плоскости силовых линий, а значит и перпендикулярны ⇒ . Тогда где равна проекции на плоскость силовых линий.

Изображение выглядит как рисунок, диаграмма, линия, зарисовка

Автоматически созданное описание

Таким образом, расчет циркуляции по произвольному контуру сводится к ее вычислению вдоль проекции этого контура на перпендикулярную плоскость, которое дает уже известную формулу .

Источники: <https://poznayka.org/s23161t1.html>

<https://portal.tpu.ru/SHARED/r/REDHG/academic/Dis2/Tab1/lek10.pdf>

2. Что представляет собой коаксиальный кабель? Опишите магнитное поле внутри и вне коаксикального кабеля. Используйте теорему о циркуляции.

Коаксиальный кабель – это кабель, который состоит из четырех вложенных друг в друга цилиндров с общей осью: внутреннего проводника, внешнего проводника, внутренней изоляции, разделяющей проводники, и внешней изоляции. Внутренний проводник представляет собой провод (единичный или состоящий из нескольких), внешний проводник (экран) обычно сделан в виде оплетки или фольги. Их разделяет изолирующий диэлектрик. Внешний проводник окружён внешней изоляцией - непроводящей оболочкой, защищающей от воздействия окружающей среды.

Используя теорему о циркуляции, найдем индукцию магнитного поля, созданного бесконечным прямым проводником с током.

Посчитаем индукцию поля внутри и вне внутреннего проводника радиуса (формулы магнитного поля прямого тока из лекции):

Внутри: ; вне:

Индукция поля внешнего проводника (полого цилиндра) между радиусами и (ток взят с обратным знаком, т. к. направлен в противоположную сторону):

Индукция поля вне внешнего проводника:

Следовательно, в разных частях пространства:

1) Внутри внутреннего проводника:

2) Внутри диэлектрика: (т. к. магнитное поле тока, текущего вдоль полого круглого цилиндрического проводника (оплетки) в полости проводника отсутствует)

3) Внутри оплетки:

4) Вне кабеля:

Источники: <https://study.physics.itmo.ru/mod/resource/view.php?id=10748>

<https://megalektsii.ru/s57706t11.html>

<https://studref.com/624229/tehnika/magnitnoe_pole_pryamolineynogo_tsilindricheskogo_provodnika_tokom>

<https://studref.com/624230/tehnika/magnitnoe_pole_koaksialnogo_kabelya>

<https://old.bigenc.ru/technology_and_technique/text/2075777>

3. Набор катушек Гельмгольца имеет радиус см и разделен расстоянием см. Каждая катушка имеет витков, пропускающих ток А.

(а) Определите общее магнитное поле вдоль оси (центральной линии для двух катушек) с шагом см от центра одной катушки () до центра другой ().

(b) Постройте график зависимости

(c) На какой изменяется от см до см?

(a) Поле на оси одиночного витка радиуса с током силой определяется формулой (выводится из закона Био-Савара):

где – расстояние от катушки по оси до точки

Поле катушки, состоящей из витков:

Для первой катушки (с центром в точке 0):

Для второй катушки (с центром в точке ):

Результирующее поле:

Рассчитаем поле от до с шагом в Excel:

|  |  |
| --- | --- |
| x, см | B(x), Тл |
| 0,00 | 0,004252313 |
| 0,20 | 0,004284254 |
| 0,40 | 0,004313452 |
| 0,60 | 0,004339957 |
| 0,80 | 0,004363837 |
| 1,00 | 0,004385177 |
| 1,20 | 0,004404081 |
| 1,40 | 0,004420670 |
| 1,60 | 0,004435077 |
| 1,80 | 0,004447448 |
| 2,00 | 0,004457937 |
| 2,20 | 0,004466708 |
| 2,40 | 0,004473926 |
| 2,60 | 0,004479761 |
| 2,80 | 0,004484382 |
| 3,00 | 0,004487953 |
| 3,20 | 0,004490635 |
| 3,40 | 0,004492582 |
| 3,60 | 0,004493934 |
| 3,80 | 0,004494824 |
| 4,00 | 0,004495369 |
| 4,20 | 0,004495671 |
| 4,40 | 0,004495815 |
| 4,60 | 0,004495868 |
| 4,80 | 0,004495881 |
| 5,00 | 0,004495881 |
| 5,20 | 0,004495881 |
| 5,40 | 0,004495868 |
| 5,60 | 0,004495815 |
| 5,80 | 0,004495671 |
| 6,00 | 0,004495369 |
| 6,20 | 0,004494824 |
| 6,40 | 0,004493934 |
| 6,60 | 0,004492582 |
| 6,80 | 0,004490635 |
| 7,00 | 0,004487953 |
| 7,20 | 0,004484382 |
| 7,40 | 0,004479761 |
| 7,60 | 0,004473926 |
| 7,80 | 0,004466708 |
| 8,00 | 0,004457937 |
| 8,20 | 0,004447448 |
| 8,40 | 0,004435077 |
| 8,60 | 0,004420670 |
| 8,80 | 0,004404081 |
| 9,00 | 0,004385177 |
| 9,20 | 0,004363837 |
| 9,40 | 0,004339957 |
| 9,60 | 0,004313452 |
| 9,80 | 0,004284254 |
| 10,00 | 0,004252313 |

(b) Построим график на основе этих данных:

(c)

меньше на

Источники: <https://en.wikipedia.org/wiki/Helmholtz_coil>