

## Определяне на магнитната константа

Николай Стаматов, Ветка Стаматова

**Determination of magnetic constant:** In this article is developed the methods for theoretically and experimental determination of magnetic constant.

**Key words:** magnetic constant, physics experiment

### ВЪВЕДЕНИЕ

От средата на XVIII в. започва нов етап в развитието на магнитните явления. Началото е поставено от Ш. Кулон, които формулира закона за силата на взаимодействие между две магнитни маси в зависимост от разстоянието между тях (1, с. 288):

$$F = k \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

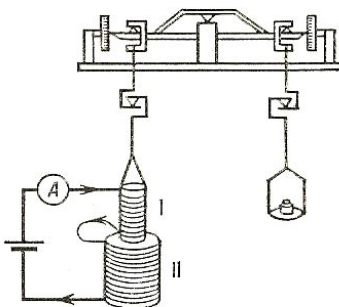
където

- F е силата на взаимодействието,
- $m_1, m_2$  – големини на магнитните маси,
- r – разстояние между магнитните маси,
- k – коефициент зависещ от размерността на величините.

Разликата между електростатиката и магнитостатиката е във фиктивното въвеждане на магнитните маси разглеждани като дипол – две твърдо свързани еднакви по големина и противни по знак магнитни маси. Законът на Кулон за магнитното взаимодействие е аналогичен на закона за електростатичното взаимодействие, където  $\mu$  се явява константа, зависеща от средата.

Според класификацията, магнитната константа се явява константа от първия тип – фундаментални константи – постоянни величини, участващи в основополагащи физични закони и теории – теорията на електромагнитните вълни.

Като метод за определяне на магнитната константа може да се използва токова (амперова) везна, чрез която се „...възпроизвежда единицата за големина на ток. Влизаща като основна част в състава на държавния първичен еталон за големина на постоянен електричен ток (ГОСТ8.022-75)” [3, с.762]. Големината на тока в токовата везна се определя от силата на електродинамичното взаимодействие между два проводника, по които протича еднаква големина на ток. Проводниците имат вид на коаксиални еднослойни соленоиди (фиг.1). Токовата везна задължително се изработва от немагнитни материали.

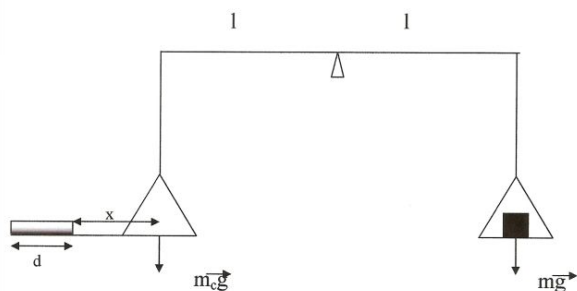


Фиг.1

Подходящ метод за определяне на  $\mu_0$  е задачата с условие [2, с.106, зад. 571]: „Във вътрешността на дълъг соленоид с  $n$  навивки на всеки сантиметър е поставена малка бобина, състояща се от  $N$  навивки с напречно сечение  $S$ . Оста на бабината е перпендикулярна на оста на дългия соленоид и е вертикално разположена. Вътрешната бобина е закрепена на едното рамо на везна, която в отсъствие на ток се намира в равновесие. Когато през двете бобини протича един и същ ток  $I$ , везната се уравновесява чрез теглилка  $P$  поставена от другата страна (дясната) на везната. Определете големината на тока  $I$ , ако дължината на дясното рамо на везната е  $l$ .”

Решението и експерименталната проверка на предложената задача, адаптирана към условията на работа в дивергентната лаборатория „Практикум по физични константи” е един метод за определяне на магнитната константа  $\mu_0$ .

От лявата страна на рамото на везната на везната е поставена малката бобина с навивки  $N$  (фиг.2). След прилагане на условието за равновесие на системата, спрямо оста на въртене на везната без приложено напрежение се получава изразът:



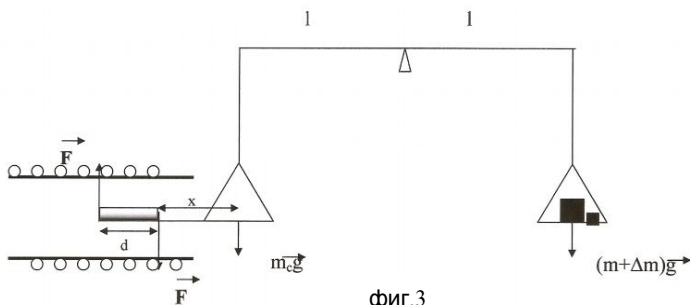
фиг.2

$$m_c g l = m g l, \quad [1]$$

където:

- $m_c$  – е масата на малката бобина(соленоид).
- $l$  – дължината на рамото на везната.
- $g$  – земното ускорение.

След прилагане на постоянно напрежение на двете бобини равновесието на везната се нарушава. Върху малката бобина, разглеждана като токов контур се проявява действието на двойка сили, предизвикващи въртящ момент от страна на хомогенното магнитно поле на голямата (външна) бобина. Въртящият момент на тези сили зависи както от свойствата на полето така и от свойствата на малката бобина, която се приема като токов контур (фиг.3).



фиг.3

Следователно

$$M = P_m B = IN_c SB = IN_c \frac{\pi d^2}{4} \mu_0 \frac{N_n}{l_n} I, \quad [2]$$

където:

- $N_c$  – е брой навивки на соленоида (малката бобина).
- $N_n$  – брой навивки на голямата (външна) бобина.
- $S$  – повърхността на токовия контур (малката бобина).
- $B$  – магнитната индукция във вътрешността на голямата бобина.
- $d$  – диаметъра на малката бобина.

Везната се уравновеява с допълнителна теглилка с маса  $\Delta m$ , поставена на дясното блюдо. Прилага се отново условието за равновесие на везната.

$$m_c gl + F(x+l) = (m + \Delta m)gl + F(x+l+d), \quad [3]$$

където:

- $x$  – е дължина на рамото, на което е закрепена малката бобина.
- $d$  – диаметър на малката бобина.
- $F$  – двойката сили действащи на малката бобина.

След преобразуване на израза (3), се получава.

$$\begin{aligned} m_c gl + Fx + Fl &= mgl + \Delta mgl + Fx + Fl + Fd, \\ m_c gl &= mgl + \Delta mgl + Fd, \end{aligned} \quad [4]$$

От равенството на десните страни на (1) и (4), следва че моментът от силите действащи на малката бобина е,

$$M = Fd = \Delta mgl. \quad [5]$$

От равенството на десните страни на (2) и (4), след преобразуването им, за магнитната константа се получава израза(6).

$$\begin{aligned} \mu_0 \frac{\pi}{4l_n} d^2 I^2 N_c N_n &= \Delta mgl, \\ \mu_0 &= \frac{4\Delta mgl_n l}{\pi N_c N_n d^2 I^2}. \end{aligned} \quad [6]$$

Полученият за магнитната константа резултат се отнася за последователно свързване на двете бобини, при което се проявяват електродинамични сили на взаимодействие.

Използването на подобни примери служат за създаването на подходяща методика, както за теоретичната, така и за експерименталната постановка за определянето на магнитната константа във вакуум.

## II. Методика на експеримента

Задачата се свежда до експерименталното определяне на силата на електродинамично взаимодействие между две бобини, на принципа на уравнивяването на сили чрез използването на везна. Принципната схема е представена на фиг.2 и фиг.3.

При реалния експеримент двете бобини се свързват самостоятелно към два независими стабилизирани източници на напрежение. Посоката на протичащите през тях токове е такава, че след допълнителното натоварване на везната с теглилка с маса  $\Delta m$  да се възстанови равновесието на везната, като следствие на взаимното привличане между тях. Различните опити се провеждат при натоварване

на везната с теглилка с една и съща маса  $\Delta m$ , като големината на протичащите през бобините токове -  $I_c$  и  $I_n$  е различна.

При описаната методика на експеримента, полученият за магнитната константа резултат (6) се представя във вида

$$\mu_0 = \frac{4 \Delta m g l_n l}{\pi N_c N_n d^2 I_c I_n} \quad [7]$$

Анализът на получения резултат (7) показва, че участват осем постоянни величини – уравновесяващата маса на теглилките -  $\Delta m$ ;  $l_n$  – дължината на голямата бобина;  $l$  – дължината на рамото на везната;  $N_c$  – брой навивки на малката бобина;  $N_n$  – брой навивки на голямата бобина;  $d$  – диаметра на малката бобина;  $g$  – земното ускорение и числото  $\pi$ . Тези величини може да се представят като една величина, явяваща се константа  $k$  на експерименталната постановка (8).

$$k = \frac{4 \Delta m g l_n l}{\pi N_c N_n d^2} \quad [8]$$

Окончателното представяне на магнитната константа приема вида (9).

$$\mu_0 = \frac{4 \Delta m g l_n l}{\pi N_c N_n d^2 I_c I_n} = k \frac{1}{I_c I_n} \quad [9]$$

За целта се използва аналитична апериодична везна. На лявата страна на везната с помощта на  $\Gamma$ - образно окачване е поставена „звукова бобина“ (шпула) от високоговорител с  $N_c = 58$  навивки и диаметър  $d = 12\text{mm}$ . Тази бобина се свързва към източник на стабилизирано постоянно напрежение СТ-5, чрез спираловидно навити тънки проводници окачени свободно (целта е да се намали влиянието на теглото им върху точността на крайния резултат). Голямата бобина представлява еднослоен соленоид с 230 навивки, дължина  $l_n = 0,16\text{m}$ , диаметър три сантиметра и диаметър на проводника, от които е направена 0,7мм. Голямата дължина на соленоида осигурява по голяма хомогенност на магнитното поле във вътрешността му. За източник на напрежение на тази бобина се използва СТ-30. Големината на токовете, се измерва с два универсални уреда DT 890G.

### III. Резултати

Измерените в процеса на експеримента величини са представени в таблица 1:

Таблица 1

№	$\Delta m, \text{kg}$	$I_c, \text{A}$	$I_n, \text{A}$	$\mu_0, \text{NA}^{-2}$	$\Delta\mu_0 = \bar{\mu}_0 - \mu_i$	$\Delta\mu_0^2 =  \mu_0 - \mu_i ^2$
1	$10^{-5}$	0,282	2,1	$12,2911 \cdot 10^{-7}$	$0,59266 \cdot 10^{-7}$	$0,35245 \cdot 10^{-14}$
2	$10^{-5}$	0,288	2,0	$12,6367 \cdot 10^{-7}$	$0,24706 \cdot 10^{-7}$	$0,06103 \cdot 10^{-14}$
3	$10^{-5}$	0,295	1,9	$12,9978 \cdot 10^{-7}$	$-0,11404 \cdot 10^{-7}$	$0,01300 \cdot 10^{-14}$
4	$10^{-5}$	0,3	1,8	$13,4792 \cdot 10^{-7}$	$-0,59544 \cdot 10^{-7}$	$0,35458 \cdot 10^{-14}$
5	$10^{-5}$	0,329	1,7	$13,0140 \cdot 10^{-7}$	$-0,13024 \cdot 10^{-7}$	$0,01696 \cdot 10^{-14}$

Магнитната константа се определя като средно аритметична от стойностите получени от отделните опити.

$$\bar{\mu}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i}{n} = 12,88376 \cdot 10^{-7} \text{NA}^{-2}$$

За средно квадратичната грешка на средния резултат се получава.

$$\sigma_{\bar{\mu}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta\mu_{0i})^2}{n(n-1)}} = 0,1665 \cdot 10^{-7} \text{ NA}^{-2}$$

Крайният резултат за магнитната константа се представя във вида:

$$\bar{\mu} \pm \sigma_{\bar{\mu}_0} = (12,8837 \pm 0,1665) \cdot 10^{-7} \text{ NA}^{-2}$$

Табличната стойност на магнитната константа е

$$\mu_{0\text{табл.}} = 12,566371 \cdot 10^{-7} \text{ NA}^{-2}$$

Основен критерий за точността на измерените физични величини, а от там и на крайния резултат е продължителност на експеримента, при които не трябва да се повишава температурата на бобините. Необходимо е след нарушаване на равновесието на везната, което се постига след нейното натоварване с теглилки с маса  $\Delta m$ , да се подаде напрежение *първо* на голямата бобина отговарящо на съответната стойност на големината на тока посочени в таблицата. Уравновесяването на везната се постига чрез плавното, но бързо увеличение на прилаганото върху „звуквата бобина“(шпула) напрежение. Всяко загряване на двете бобини, дължащо се на отделено количества Джаул-Ленцова топлина, води до увеличаване на грешката в крайния резултат.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Апостолов, А., М. Михов, Развитие на представите за магнетизма, София, НИ, 1976г.
- [2]. Буховцев, Б., Б. Кривченко и др. Сборник задач по елементарной физике, Москва, Наука, 1987г.
- [3]. Прохоров, А. и др. Физический энциклопедический словарь, Москва, Советская энциклопедия, 1983г.
- [4]. Спиридонов, О.П., Универсальные физические постоянные, изд. Просвещение, Москва, 1984г.
- [5]. Термицкий, Я.П., Ю.П. Рыбаков, Электродинамика, изд. Высшая школа, Москва, 1980г.
- [6]. Трофимова, Т., Курс по физика, Университетско издателство “Св. Кл. Охридски”, София, 1994г.
- [7]. Файман, Р., Файманови лекции по физика, изд. НП, 1972г.
- [8]. Хуторской, А.В., Физические постоянные, изд. “Народная асвета”, Минск, 1988г.

#### За контакти

Гл.ас. Николай Русев Стаматов, Катедра “Технически и природо-математически науки”, Русенски университет “Ангел Кънчев” – Филиал Силистра, GSM: 0889350530, E-mail: [stamatov\\_n@abv.bg](mailto:stamatov_n@abv.bg).

Докладът е рецензиран.