

## آزمایشگاه فیزیک 2-آزمایش 8: بررسی میدان مغناطیسی در حلقه و سیملوله،

### تعیین مولفه افقی میدان مغناطیسی زمین به کمک حلقه حامل جریان

#### الف) بررسی میدان مغناطیسی در حلقه

هدف: بررسی میدان مغناطیسی در مرکز حلقه و چگونگی بستگی آن به شعاع و تعداد دورهای حلقه

#### تئوری آزمایش:

شکل زیر حلقه‌ای رسانا به شعاع  $a$  را نشان می‌دهد که حامل جریان  $I$  می‌باشد. با توجه به قانون بیوساوار

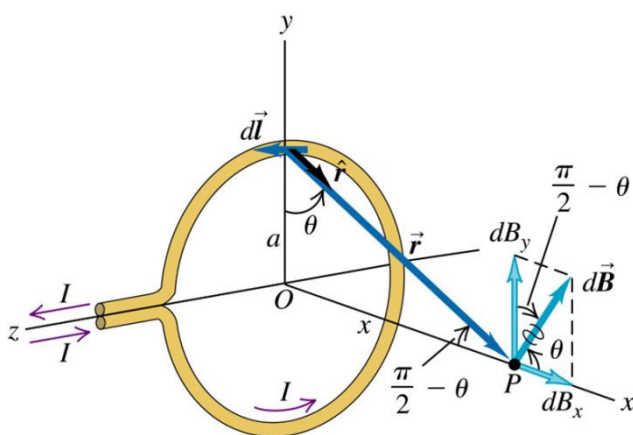
اندازه میدان مغناطیسی  $dB$

ناشی از یک المان طولی

$$|d\vec{B}| = dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{dl}{r^2} \quad (1)$$

که  $dL$  حامل جریان  $I$

می‌باشد، عبارت است از:



که در آن  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{T.m}{A}$  و  $r$  فاصله المان

مزبور تا نقطه مورد نظر  $P$  است. با توجه به شکل بر

نقطه‌ای روی محور حلقه داریم:

$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \cdot \frac{dl}{a^2 + x^2} \quad (2)$$

بنابراین برای مولفه های  $x$  و  $y$  می‌توان نوشت:

$$dB_x = dB \cos \theta = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \cdot \frac{dl}{a^2 + x^2} \cdot \frac{a}{(a^2 + x^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (3)$$

$$dB_y = dB \sin \theta = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \cdot \frac{dl}{a^2 + x^2} \cdot \frac{x}{(a^2 + x^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (4)$$

به دلیل تقارن موجود، مجموع مولفه‌های عمود بر محور X برابر صفر می‌شود؛ یعنی  $B_y = 0$ . به منظور یافتن مجموع مولفه‌های X، از رابطه (3) روی کل حلقه انتگرال می‌گیریم. نتیجه عبارت خواهد بود از :

$$B_x = B = \frac{\mu_0 \cdot I a^2}{2(a^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (5)$$

در مرکز حلقه ( $X=0$ ) نتیجه بالا به صورت زیر حاصل می‌آید :

$$B(X=0) = \frac{\mu_0 \cdot I}{2a} \quad (6)$$

در نهایت برای حلقه‌ای که شامل N دور سیم می‌شود، میدان مغناطیسی در مرکز حلقه عبارت است از:

$$B = N \frac{\mu_0 I}{2a} \quad (7)$$

## اجرای آزمایش :

- 1) حلقه رسانا با یک دور را ( $N = 1$ ) در محل پایه خود نصب می‌کنیم.
- 2) با کمک مولد الکتریکی، جریان الکتریکی 5 آمپر را به اتصالات حلقه متصل می‌کنیم.
- 3) با قرار دادن نوک پروب اندازه‌گیری میدان مغناطیسی در مرکز حلقه، بزرگی میدان را اندازه می‌گیریم.

(بدین منظور مانند ویدیوی آموزشی، ابتدا کلید دستگاه را بر روی G/10 قرار داده و حتی‌الامکان وسایل مغناطیسی مانند آهنربا و موبایل را از پروب دور می‌کنیم. قبل از برقراری جریان عددی که نمایشگر نشان می‌دهد را یادداشت می‌کنیم. سپس نوک پروب را در مرکز حلقه حامل جریان قرار داده و عدد روی آن را می‌خوانیم. سپس تفاضل این عدد و عدد اولیه را بدست آورده و آن را A می‌نامیم. در این حالت میدان مغناطیسی عبارت است از  $\frac{A}{10} G$  و یا  $\frac{A}{100} mT$ .)

- 4) با تعویض حلقه‌های مشابه ولی با دورهای  $N = 2, N = 3$  مراحل 2 و 3 را تکرار می‌کنیم. نتایج حاصل از این اندازه‌گیری ها در بخش دیتاها آمده است. با استفاده از این نتایج و تئوری آزمایش جدول زیر را کامل کنید.

$N$ (دور)	1	2	3
$B (mT)$			
$R (cm)$ (شعاع حلقه)			

- 5) با کمک این نتایج نمودار  $B - N$  را رسم کرده و صحت رابطه (7) را تحقیق کنید.
- 6) آزمایش را با حلقه‌های تک دور دیگر، ولی با شعاع‌های متفاوت و شدت جریان 5 آمپر تکرار کرده و میدان را در مرکز حلقه بدست می‌آوریم. نتایج این اندازه‌گیری‌ها نیز در بخش داده‌ها آمده‌اند. برای این داده‌ها نیز جدولی مانند جدول زیر در گزارش کار خود رسم نموده و آنرا تکمیل کنید.

$R (cm)$			
$B (mT)$			

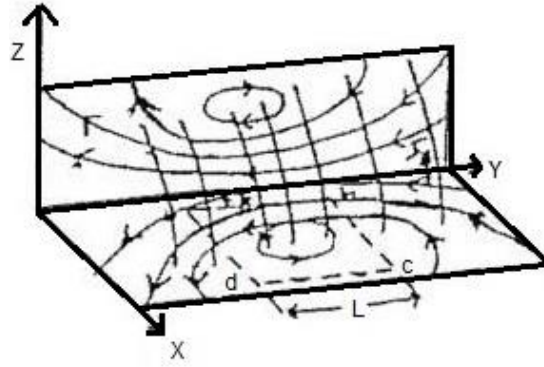
7) با رسم نمودار صحت رابطه (7) را تحقیق کنید.

## ب) بررسی میدان مغناطیسی در سیم‌لوله

هدف: تعیین میدان مغناطیسی در امتداد محور یک سیم لوله طویل

### تئوری آزمایش:

سولونوئید (سیم لوله) یک سیم‌پیچ به شکل استوانه است که حامل جریان  $I$  است. برای سادگی ما در شکل زیر سیم لوله‌ای را نشان داده ایم که بیش از چند دور ندارد. همه دورها حامل جریان  $I$  هستند و میدان کل  $B$  در هر نقطه عبارت است از حاصل جمع برداری میدان‌های ناشی از تک تک دورها. این شکل خطوط را در صفحات  $XY, YZ$  نمایش می‌دهد.



در صورتی که طول سیم لوله در مقایسه با سطح مقطع آن بسیار زیاد باشد، میدان در داخل سیم لوله در نزدیکی محور آن تا حد زیادی یکنواخت و به موازات محور است و میدان در خارج سیم لوله بسیار ناچیز است به طوری که می‌توان از آن چشم پوشید. ( $B = 0$ )

در یک سیم‌لوله ایده آل که طول  $L$  خیلی بیشتر از شعاع  $R$  است، میدان در تمام نقاط داخل آن که دور از دو سر سیم‌لوله قرار دارند، به موازات محور سیم‌لوله بوده و اندازه آن از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$B = \mu_0 NI \quad (8)$$

که در آن  $B$  بزرگی میدان،  $\mu_0$  ثابت تراوایی،  $N$  تعداد دور در واحد طول و  $I$  جریان الکتریکی است.

## اجرای آزمایش :

- (1) سیم‌لوله ای با طول 17 سانتی‌متر، قطر 3.2 سانتی‌متر و تعداد دور 300 را اختیار می‌کنیم. سپس مانند فیلم آموزشی مدار شامل منبع تغذیه، آمپر متر و سیم لوله را به طور سری می‌بندیم.
- (2) با استفاده از مولد الکتریکی جریان 1 آمپر را از سیم‌لوله عبور می‌دهیم.
- (3) نوک میله پروب را از یکی از سمت‌ها در ابتدای سیم‌لوله قرار داده و میدان مغناطیسی را یادداشت می‌کنیم (متناظر با  $Z=0$  در جدول زیر). حال پروب را در طول سیم‌لوله یک سانتی‌متر - یک سانتی متر جابجا کرده و میدان را اندازه‌گیری می‌کنیم. نتایج حاصل از اندازه‌گیری میدان مغناطیسی در بخش داده‌ها آمده است. با استفاده از این مقادیر جدول زیر را کامل نمایید.

$Z (cm)$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$B (mT)$										

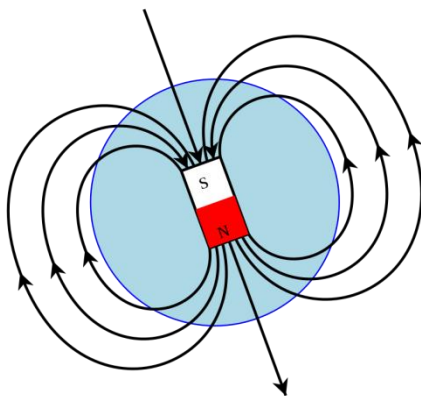
$Z (cm)$	10	11	12	13	14	15	16	17
$B (mT)$								

4) با استفاده از این جدول، تغییرات میدان مغناطیسی در طول سیملوله (یعنی نمودار  $B$  بر حسب  $Z$ ) را بر روی کاغذ میلی‌متری رسم کنید.

5) به طور کیفی آنچه از این نمودار متوجه شده‌اید را در گزارش کار خود بنویسید.

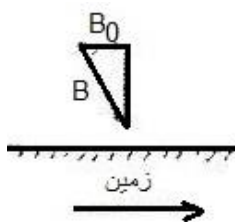
6) میدان مغناطیسی را از رابطه (8) محاسبه و با مقدار بدست آمده در مرکز سیملوله ( $B_{z=L/2}$ ) مقایسه کنید. سپس درصد خطا را بدست آورید.

### ج) تعیین مولفه افقی میدان مغناطیسی زمین به کمک حلقه حامل جریان



همان طور که می‌دانید زمین مانند یک آهنربا عمل می‌کند. نموداری از میدان مغناطیسی زمین در شکل مقابل نشان داده شده است.

همان گونه که از شکل پیداست بردار میدان مغناطیسی ( $B$ ) در هر نقطه از فضا بر خط القای مغناطیسی مماس است که این میدان در نزدیکی سطح زمین دارای یک زاویه با سطح افق است. هدف ما در این آزمایش تعیین مولفه افقی میدان مغناطیسی زمین ( $B_0$ ) در شکل زیر) در محل آزمایش است.

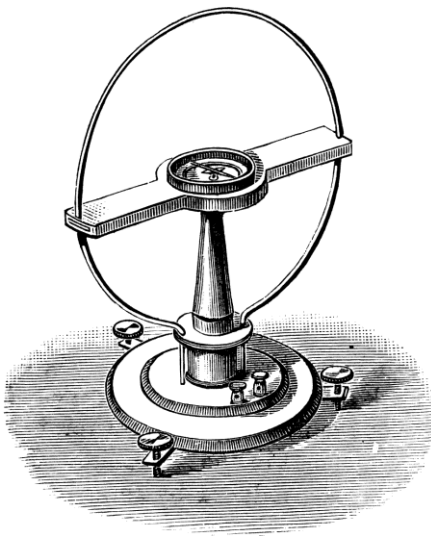


برای این منظور ما از حلقه حامل جریان استفاده می‌کنیم. می‌دانیم شدت میدان مغناطیسی در مرکز یک حلقه دایره‌ای شکل که شامل  $N$  دور سیم است و از آن جریان  $I$  عبور می‌کند، از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2r} \quad (9)$$

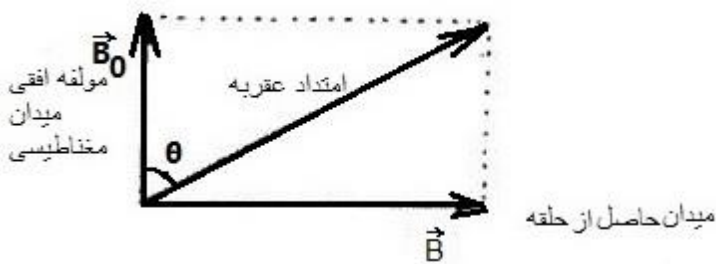
در این رابطه  $r$  شعاع حلقه است و  $\mu_0$  تراوایی خلا نامیده می‌شود:  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A}$

جهت میدان مغناطیسی را می‌توان به کمک قاعده دست راست تعیین کرد. بدین ترتیب که اگر حلقه را با دست راست خود بگیریم به گونه‌ای که انگشت شصت در جهت جریان باشد، جهت میدان مغناطیسی در جهت بسته شدن چهار انگشت دیگر است.



یکی از راه‌هایی که می‌توان برای تعیین مولفه افقی میدان مغناطیسی زمین از آن استفاده کرد، روش گالوانومتر تانژانت است. بدین منظور از یک قطب‌نما که صفحه زیرین آن مدرج شده است استفاده می‌شود.

در این روش قطب‌نما در مرکز پیچه حامل جریان قرار می‌گیرد. در صورتی که از پیچه جریانی عبور نکند، عقربه مغناطیسی تحت تاثیر  $B_0$  به سمت شمال جغرافیایی زمین سمت‌گیری می‌کند. اما با برقراری جریان در سیم پیچ، عقربه مغناطیسی تحت اثر دو میدان قرار می‌گیرد:  $B_0$  و  $B$  مربوط به پیچه حامل جریان در مرکز آن. بدیهی است در این حالت مانند شکل زیر عقربه مغناطیسی در امتداد برآیند این دو میدان قرار خواهد گرفت.



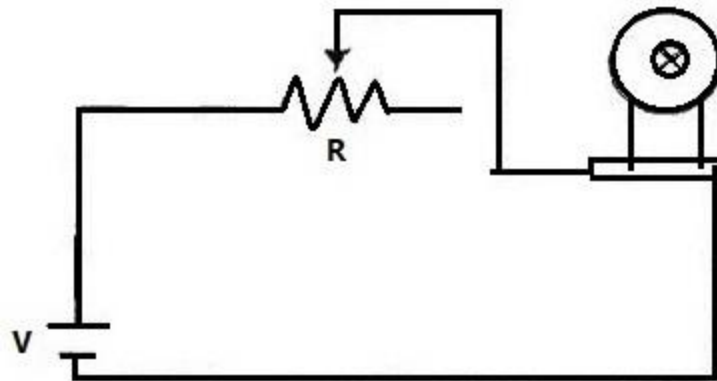
همانطور که در شکل مشخص است بین کمیت‌های  $B_0$  و  $B$  و  $\theta$  رابطه زیر برقرار است:

$$\tan \theta = \frac{B}{B_0} \quad (10)$$

که در آن  $B = \frac{\mu_0 NI}{2R}$ ،  $B_0$  مولفه افقی میدان مغناطیسی زمین، و  $\theta$  انحراف قطب‌نما از راستای شمال جغرافیایی است.

## اجرای آزمایش :

- ابتدا پایه‌های گالوانومتر تانژانت را آنقدر می‌چرخانیم تا عقربه مغناطیسی قطب نما (که در حالت عادی در جهت شمال جغرافیایی زمین سمت‌گیری کرده است) در صفحه سیم پیچ قرار گیرد.
- مداری مطابق شکل زیر را تشکیل می‌دهیم.



- سپس با استفاده از رئوس جریان‌های متناظر با جدول زیر را در مدار برقرار کرده و به ازای این جریان‌ها میزان انحراف عقربه قطب‌نما را اندازه‌گیری می‌کنیم. نتایج این اندازه‌گیری‌ها در بخش داده‌ها آمده است. با استفاده از این نتایج جدول زیر را تکمیل کنید.

شعاع سیم‌پیچ  $r = 10.5 \text{ cm}$

تعداد دور  $N = 20$

$I (A)$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
$\theta$					
$\tan \theta$					
$B$					
$B_0$					

- مقدار میانگین  $B_0$  را تعیین کنید.