آزمایش ۳

اندازه گیری میدان مغناطیسی زمین، ضریب تراوایی مغناطیسی خلا و بررسی توزیع میدان مغناطیسی پیچه های هلمهولتز

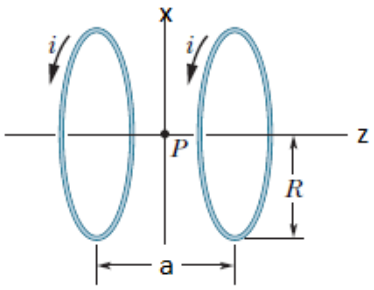
تئوری آزمایش

اندازه گیری میدان مغناطیسی پیچه های هلمهولتز در راستای محوری و به دست آوردن ضریب تراوایی مغناطیسی خلا

طبق قانون بیوساوار میدان مغناطیسی در یک پیچه حامل جریان I و با تعداد حلقه های n در راستای محور پیچه به صورت رابطه زیر بیان می شود. که R شعاع حلقه ها و Z فاصله از مرکز حلقه ها در راستای محور پیچه است.

$$B(Z) = \frac{\mu_0 n I R^2}{2(R^2 + Z^2)^{3/2}}$$ رابطه 1

پیچه های هلمهولتز تشکیل شده اند از دو پیچه همسان که در فاصله‌ای برابر با شعاع شان $a = R$ نسبت به همدیگر قرار گرفته اند. (شکل ۱)



شکل ۱: پیچه های هلمهولتز

با استفاده از پیچه های هلمهولتز می توان میدان مغناطیسی یکنواخت ایجاد کرد. منحنی تغییرات میدان مغناطیسی در راستای محور پیچه ها با نسبت فاصله بین دو پیچه و شعاع پیچه‌ها تناسب دارد به طور کلی میدان مغناطیسی دو پیچه را روی محور پیچه ها می توان از رابطه زیر به دست آورد.

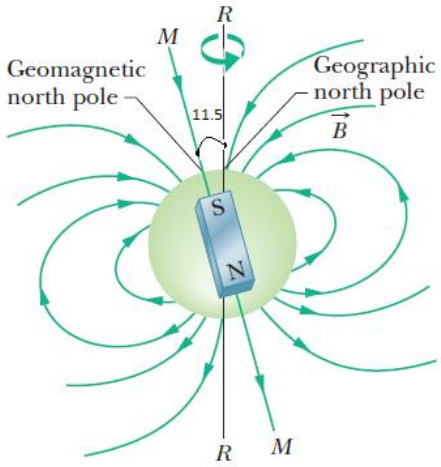
$$B\left(Z_{,}r=0\right)=\frac{\mu_0 nI}{2R}\times\left(\frac{1}{\left(1+\left(\frac{Z-\frac{a}{2}}{R}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}}+\frac{1}{\left(1+\left(\frac{Z+\frac{a}{2}}{R}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}}\right)$$ رابطه 2

که a برابر است با فاصله بین دو پیچه. در حالتی که $Z=0$ است یا به عبارتی زمانی که میدان مغناطیسی را دقیقا در وسط دو پیچه اندازه گیری می کنیم، خواهیم داشت:

$$B=\frac{16}{5\sqrt{5}}\frac{\mu_0 nI}{2R}=KI\Longrightarrow K=\frac{8}{5\sqrt{5}}\frac{\mu_0 n}{R}$$ رابطه 3

میدان مغناطیسی زمین:

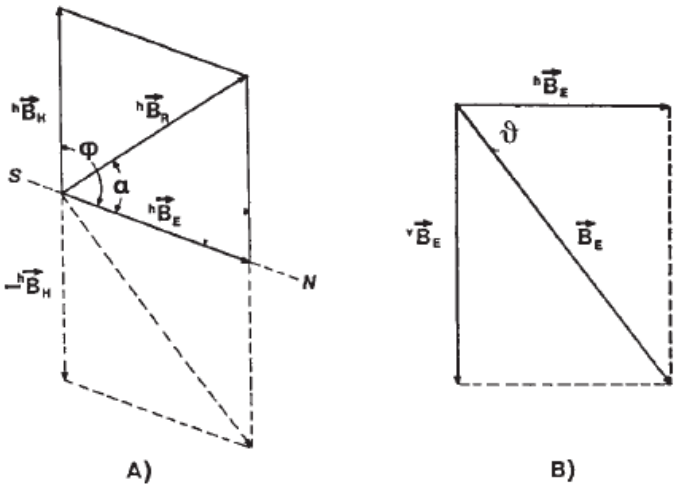
میدان مغناطیسی زمین را می توان مشابه میدان مغناطیسی اطراف یک دوقطبی مغناطیسی با ممان $\mu=8\times10^{22}\ \frac{j}{T}$ درنظرگرفت. میدان مغناطیسی روی سطح زمین بین ۳۰ تا ۶۰ میکرو تسلا متغیر است. راستای دو قطبی زمین با محور چرخش زمین به دور خودش زاویه ۱۱,۵ درجه می سازد .(شکل ۲)



شکل ۲: راستای دوقطبی زمین و انحراف از محور چرخش

بنابراین در هر نقطه روی سطح زمین می توان میدان مغناطیسی زمین را به عمودی و افقی تقسیم کرد که راستای این دو مولفه در شکل ۳ نشان داده شده است. برای به دست آوردن اندازه این دو مولفه، میتوان یک میدان مغناطیسی مشخص در جهت معین وارد کرد و از روی برایند میدان ها میدان زمین را محاسبه کرد. اگر میدان مغناطیسی اعمالی فقط در جهت افقی B_H^h باشد و مولفه افقی میدان زمین B_E^h باشد، آنگاه طبق (شکل 3.A) خواهیم داشت:

$$\frac{B_H^h}{B_E^h} = \frac{\sin\alpha}{\sin(\varphi-\alpha)} = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}$$ رابطه4



شکل۳: مولفه افقی و عمودی میدان مغناطیسی زمین و مولفه افقی میدان مغناطیسی اعمالی

در حالت خاص اگر $\varphi = 90$ باشد آنگاه :$B_E^h = B_H^h \cot\alpha$ و طبق رابطه ۳ می توان نوشت:

$$B_E^h \tan\alpha = IK$$ رابطه5

هم چنین برای مولفه عمودی میدان مغناطیسی زمین B_E^V طبق (شکل 3.B) خواهیم داشت:

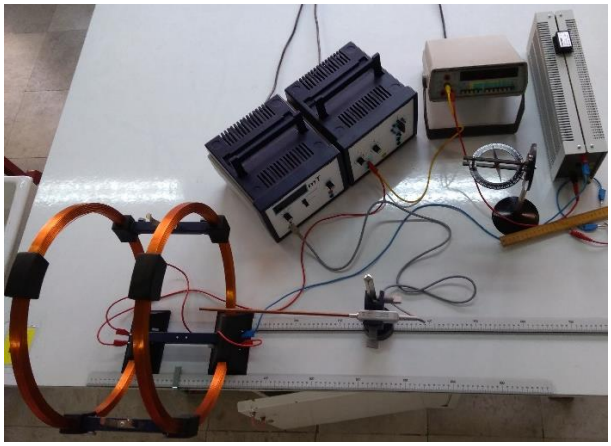
$$B_E^V = B_E^h \tan\nu$$ رابطه 6

برای بدست آوردن برآیند میدان مغناطیسی زمین

$$|B_E| = \sqrt{(B_E^V)^2 + (B_E^h)^2}$$ رابطه7

وسایل آزمایش:

یک جفت پیچه هلمهولتز، منبع تغذیهDC، رئوستا، تسلامتر دیجیتال، پروب هال محوری، آمپرمتر، مغناطیس سنج به همراه پایه مربوطه، پایه ایستاده، میله نگهدارنده، گیره متحرک، ۵ عدد سیم رابط، میله های حائل میان دو پیچه، ۲ خط کش و گیره های خط کش



شکل ۴: چینش وسایل مورد نیاز آزمایش پیچه هلمهولتز

روش آزمایش:

اندازه گیری میدان مغناطیسی دو پیچه در راستای محوری در حالت $a = R$

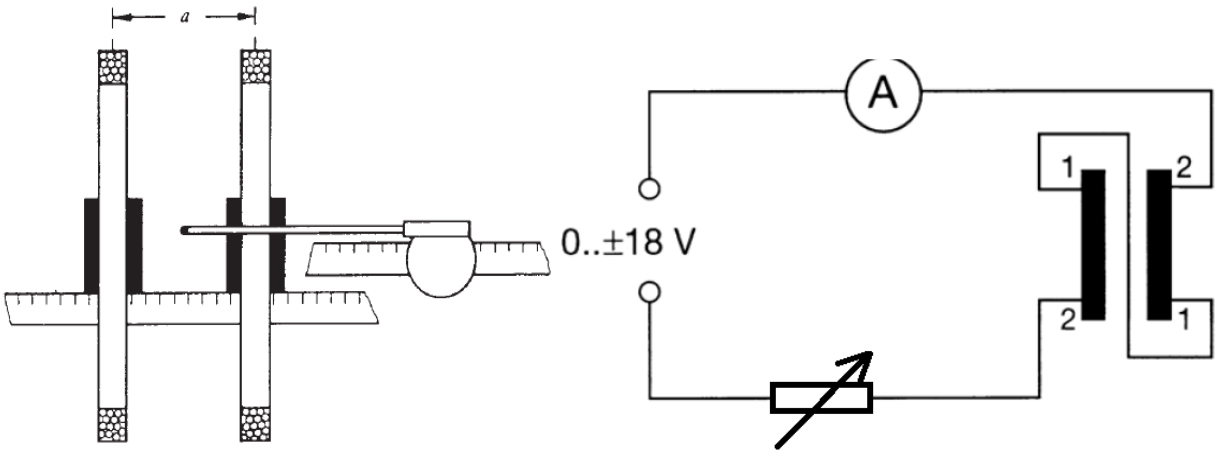
پروب هال را روی پایه اش قرار دهید. دو خط کش بلند را به وسیله گیره در فاصله ۱۰ سانتی متری از هم، طوری به میز محکم کنید که پروب هال زمانی که در راستای محوری جابجا می شود، تقریبا در مرکز حلقه پیچه ها $r = 0$ باشد.

با سری کردن پیچه ها به یک مقاومت متغیر و آمپرمتر مدار را مطابق (شکل ۵ سمت راست) ببندید.

راهنمای بستن مدارپیچه های هلمهولتز با منبع تغذیه وآمپر سنج و رئوستا

قطب مثبت منبع تغذیه را که با رنگ قرمز روی دستگاه مشخص شده به آمپرمتر وخروجی آمپر متر را به فیش شماره۲ روی پیچه راست هلمهولتز وصل نمایید بعد قطب منفی منبع تغذیه را که با رنگ آبی مشخص شده به رئوستا وصل کرده وخروجی رئوستا را به فیش شماره ۲روی پیچه چپ هلمهولتز وصل نمایید. فیش های شماره ۱ روی پیچه هلمهولتز را با سیم زرد به هم وصل کنید.

فاصله بین دو پیچه را با گذاشتن حائل، روی R تنظیم کنید. دقت کنید که برای اندازه‌گیری راستای محوری میدان، پروب هال می بایست در راستای محور پیچه ها قرار گیرد برای این منظور میله نگهدارنده را به پایه ایستاده متصل نموده و گیره متحرک را در ارتفاع مناسب با پیچ مربوطه محکم کنید. ارتفاع مناسب ارتفاعی است که پروب هال، به طور چشمی در راستای قطر افقی پیچه باشد. (شکل ۵ سمت چپ)



شکل۵: سمت راست: شماتیک نوعی مدار. سمت چپ: نحوه قرارگیری پروب هال در میان پیچه ها برای اندازه گیری محوری

فاصله افقی خط کشی که پروب هال روی آن سوار است با خط کش مماس لبه میز حدود 9/5 سانتیمتر است برای تنظیم این حالت قطعه MDF را بین دوخط کش قرار دهید تا خط کش پروب هال موازی خط کش لبه میز باشد .

تنظیم صفر تسلامتر دیجیتال: پروب هال را به تسلامتر دیجیتال متصل کنید. پس از قراردادن پروب هال در میان پیچه ها و در ارتفاع مناسب، بدون اینکه منبع تغذیه روشن باشد، تسلا متر دیجیتال را روشن کرده و با پیچ تعبیه شده روی دستگاه ، سمت راست مقدار میدان نشان داده شده را صفر کنید.

قبل از روشن کردن منبع تغذیه، درستی مدار بسته شده را به کمک دستیار آموزشی مربوطه چک کنید.

مقدار پیچ جریان A در روی دستگاه منبع تغذیه از اول تا آخر آز مایش روی عدد ۳ قرار گیرد.

منبع تغذیه را روشن کرده **ولتاژ را روی ۱۰ ولت و جریان را به وسیله رئوستا روی ۲ آمپر** تنظیم کنید.

پروب هال را در راستای محور پیچه ها جابه‌جا کنید تا بیشینه میدان مغناطیسی بدست آید. این نقطه باید در وسط فاصله بین دو پیچه باشد. چرا؟

در همین حالت، عدد میدان را از روی تسلامتر بخوانید و مختصات مکان پایه ی پروب هال را یادداشت کنید.

مکان نقطه با میدان بیشینه را به عنوان نقطه صفر در جدول ۱ در نظر گرفته و برای باقی جابه‌جایی‌ها مقدار میدان را در جدول ۱ یادداشت کنید. برای جابه جایی های منفی خط کش را در طرف دیگر پیچه ها (در فاصله ۱۰ سانتی متری از خط کش لبه میز) با گیره محکم کرده، نقطه صفر را با جابجایی پروب هال پیدا کنید و مجددا در راستای محور پیچه ها میدان را یادداشت کنید.

نکته: در حین جابجایی پایه، مکان جدید را از مکان نقطه صفر کسر کرده تا میزان جابجایی D به دست آید.

توجه کنید که پروب هال بعد از جابجایی همچنان در مرکز حلقه ها واقع باشد.

جدول۱

$D(cm)$	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$B_H(mT)$											

میدان B_H بدست آمده در جدول ۱ را بر حسب مقدار جابه‌جایی رسم کنید.

درباره تفاوت نمودار حاصله با نمودار میدان پیچه ها در حالتی که فاصله بین دو پیچه برابر نصف شعاع $\boldsymbol{a = \frac{R}{2}}$ باشد بحث کنید.

انتظار دارید میدان پیچه ها در راستای شعاعی r چگونه باشد؟

اگر میدان پیچه ها را برای مقادیر D درجهت منفی اندازه گیری کنیم انتظار دارید چگونه باشد؟

محاسبه ضریب تراوایی مغناطیسی و اندازه گیری میدان مغناطیسی زمین در راستای عمودی و افقی

مرحله اول: به دست آوردن ثابت k و ضریب تراوایی مغناطیسی

منبع تغذیه را روی صفر تنظیم کنید. تسلامتر دیجیتال را بدون روشن کردن منبع تغذیه روی صفر تنظیم کنید. در حالتی که پروب هال موازی با محور پیچه هاست و محور پیچه ها تقریبا بر سمت شمال و جنوب مغناطیسی زمین عمود است، منبع تغذیه را روشن کنید.

توجه کنید که فاصله بین پیچه ها همانند مرحله قبل $\boldsymbol{a = R}$ باشد و پروب هال دقیقا در وسط پیچه ها و نوک پروب هم ارتفاع قطر افقی پیچه ها باشد به طوری که همانند مرحله پیشین میدان مقدار بیشینه را نشان بدهد.

ولتاژ منبع را روی ۱۰ ولت و جریان را روی ۲ آمپر تنظیم کنید. با تغییر مقدار مقاومت رئوستا، جریان را افزایش دهید و مقادیر را در جدول ۲ یادداشت کنید.

جدول۲

I(A)	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2
B_H(mT)										

با رسم B_H بر حسب I و برازش خط، مقدار ثابت k را در رابطه ۳ بدست آورید.

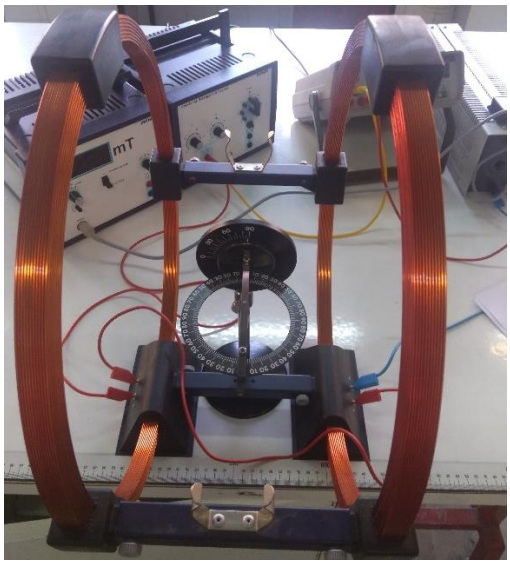
با دانستن مقدار ثابت k از روی رابطه ۳ مقدار ضریب تراوایی مغناطیسی خلا را محاسبه کنید.

$(N = 154 \ \& \ R = 20 \ cm)$

مقدار ضریب تراوایی مغناطیسی خلا را از منابع استخراج کرده، با عدد بدست آمده مقایسه کنید و مقدار خطای نسبی را گزارش کنید.

مرحله دوم: به دست آوردن مولفه افقی میدان مغناطیسی زمین

منبع تغذیه را خاموش کنید. تسلامتر را خاموش کرده و پروب هال را از میان پیچه ها خارج کنید. مغناطیس سنج را روی پایه مربوطه قرار داده و آن را در فاصله میان پیچه ها (در حالت $\boldsymbol{a = R}$) به نحوی قرار دهید که صفحه مغناطیس سنج تقریباً در وسط پیچه ها باشد. از آنجایی که تنها میدان قابل توجه اطراف، میدان مغناطیسی زمین است، عقربه مغناطیس سنج نشان دهنده قطب شمال_جنوب مغناطیسی زمین است. پیچه ها و مغناطیس سنج را چند درجه بچرخانید تا عقربه مغناطیسی عدد صفر را نشان دهد.(شکل ۶) در این حالت محور پیچه ها کاملا عمود بر جهت شمال_جنوب مغناطیسی زمین است.



شکل۶: نحوه قرارگیری مغناطیس سنج در میان پیچه ها

منبع تغذیه را روشن کرده و ولتاژ آن را بین ۰تا ۵ ولت (۲/۵) ولت قرار دهید با تغییر مقاومت رئوستا از حا لت حداکثر برای جریان های نوشته شده در جدول۳ مقدار انحراف عقربه را بر حسب درجه یادداشت کنید.

جدول۳

I_H (mA)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
α										
tanα										

نمودار $I \times K$ (K ثابتی است که در مرحله یک به دست آمد.) را بر حسب $\tan \alpha$ رسم کنید و با برازش خط، طبق رابطه ۵ مولفه افقی میدان مغناطیسی زمین B_E^h را محاسبه کنید.
سوال: چرا در این حالت محور پیچه ها باید عمود بر محور مغناطیسی زمین باشد؟

مرحله سوم: به دست آوردن مولفه عمودی میدان مغناطیسی زمین

ولتاژ و جریان را صفر کرده و منبع تغذیه را خاموش کنید. صفحه مغناطیس سنج را ۹۰ درجه بچرخانید به طوری که صفحه اش کاملا عمود بر میز در راستای عمود بر شمال_جنوب مغناطیسی زمین باشد.
زاویه عقربه ν را یادداشت کنید.

$\nu =$

زاویه عقربه نشان دهنده زاویه بین مولفه اصلی زمین B_E ومولفه افقی B_E^h زمین می باشد. از آنجا که در قسمت قبل B_E^h را محاسبه کردید، از طریق رابطه ٦ ، B_E^v را به دست آورید و مقدار $|B_E|$ (برآیند دو مولفه) را با توجه به رابطه ۷ محاسبه کرده و گزارش کنید.