آزمایش شماره ۱ : رسانایی الکتریکی در اجسام جامد

اهداف آزمایش:

الف) اندازه گیری وابستگی دمای مقاومت یک فلز بی اثر

ب) اندازه گیری وابستگی دمای مقاومت یک نیم رسانا

نظریه آزمایش:

وابستگی مقاومت ویژه (ρ) به دما یک آزمایش آسان برای ارزیابی رسانش الکتریکی در رساناها و نیم رساناها در دماهای مختلف می باشد. در رساناهای الکتریکی مقاومت ویژه ρ با افزایش دما افزایش می یابد، دلیل این امر را می توان افزایش برخورد الکترون های شبه آزاد در نوار ر سانش فلز با اتم ها در ر سانا دانست. به طوری که با افزایش دما این برخوردها افزایش می یابد و در نتیجه کاهش رسانندگی الکتریکی و افزایش مقاومت ویژه (ρ)، نتیجه این امر خواهد بود.

در نیم رساناها مقاومت با افزایش دما کاهش می یابد. که دلیل این امر افزایش انرژی الکترون ها در نوار ظرفیت و انتقال آنها به نوار رسانش می باشد. لذا الکترون ها در رسانش بیشتر و بیشتر شرکت می کنند و با افزایش دما رسانندگی الکتریکی افزایش و در نتیجه مقاومت ویژه کاهش می یابد .

این آزمایش به طور تجربی نشان می دهد که مقاومت در فلزات بی اثر و نیم رساناها تابعی از دما است. برای مقاومت فلزات بی اثر طبق رابطه داریم :

$R = R_0(1+\alpha T)$ (مقاومت در دمای $R_0 : T = 0C$)

که با دقت کافی در محدوده های دمای تحت مطالعه قابل بررسی است . همچنین برای مقاومت نیم رسانا ارزیابی آشکار می کند که بستگی آن به صورت :

$R \propto \quad e\text{^}(\Delta E / 2KT)$

ثابت بولتزمان : $K = 1.38\times10^{-23}\ \frac{J}{K}$

اندازه گاف نواری : $\Delta E = 0.48eV$

پرسش:

وسایل آزمایش :

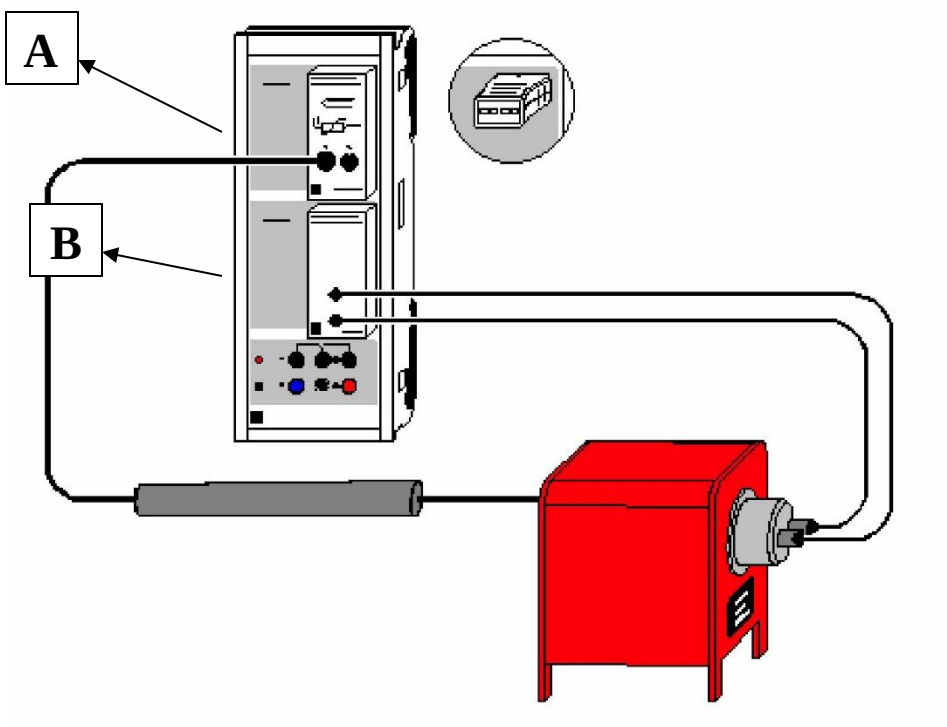
- قطعه اتصال به کامپیوتر (**Sensor-CASSY**)
- نرم افزار (**CASSY Lab**)

- قطعه تغذیه جریان روی قطعه اتصال به کامپیوتر (**Current supply box**)
- قطعه کنترل دما (**Temperature box**)
- مبدل اتصال سنسور **NiCr - Ni** روی قطعه اتصال به کامپیوتر(**Temperature sensor NiCr-Ni**)

- مقاومت فلزی
- مقاومت نیمرسانا
- کوره الکتریکی **230 V**
- قطعه اتصال ایمن
- سیم های رابط

طریقه نصب وسایل آزمایش :

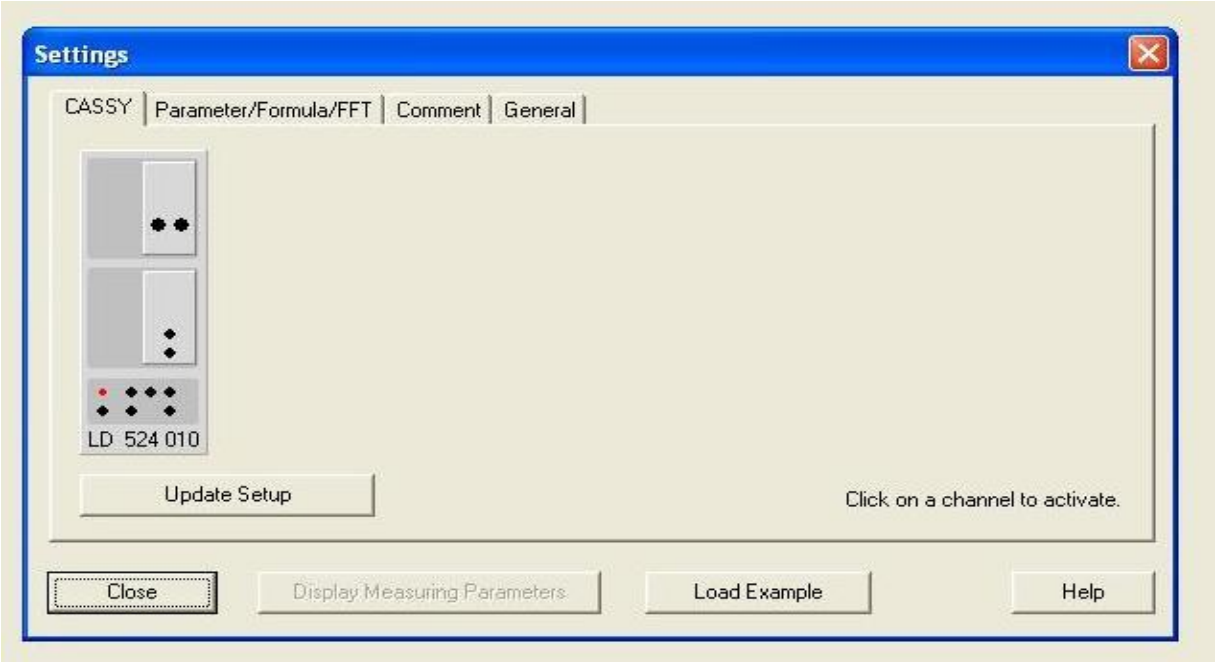
- طریقه نصب وسایل آزمایش و بستن مدار در شکل۱ نشان داده شده است.
- قطعه کنترل دما در ورودی A از قطعه اتصال به کامپیوتر (Sensor-Cassy) نصب می شود و دمای سنسور را در محدوده مورد نظر اندازه می گیرد. قسمت فلزی سنسور را به داخل حفره پشت کوره وارد کنید، چنانچه این قسمت به خوبی در تماس با عناصر مقاومت قرار گیرد.
- قطعه تغذیه جریان را در ورودی B از قطعه اتصال به کامپیوتر (Sensor-Cassy) نصب کنید، این قسمت مقاومت الکتریکی را ثبت می کند.
- قطعه اتصال به کامپیوتر را از طریق پورت سریال به کامپیوتر وصل کنید.
- نرم افزار مربوط به این آزمایش را روی کامپیوتر نصب کنید.



شکل ۱- شرح تصویری نصب وسایل آزمایش

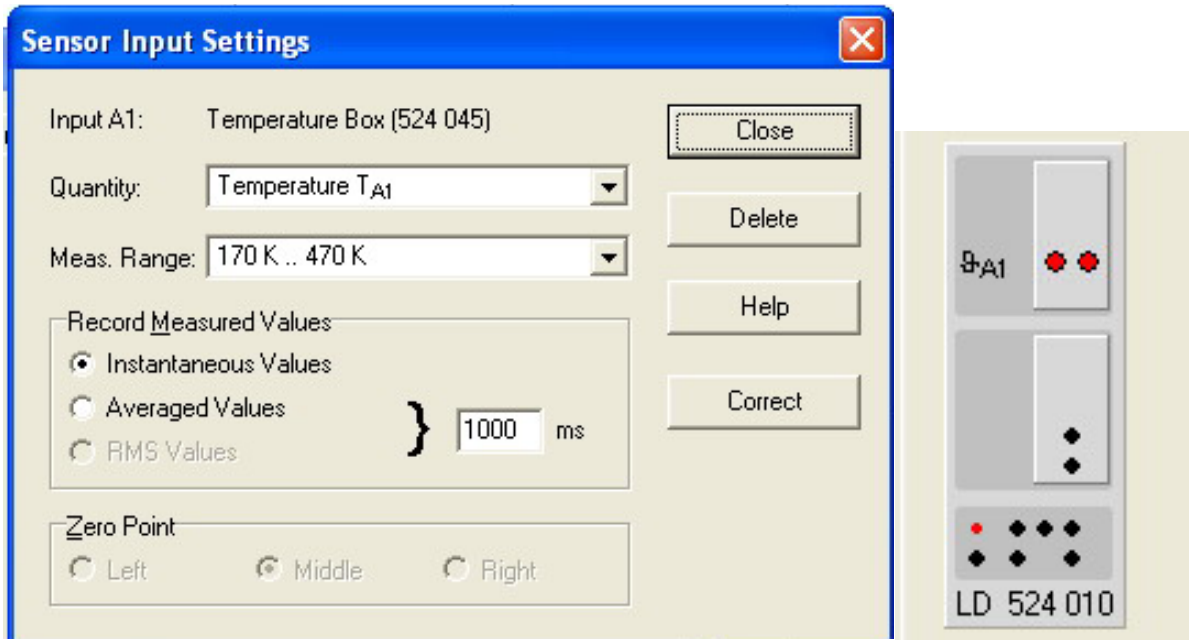
روش انجام آزمایش :

- بعد از نصب وسایل و نرم افزار بر روی کامپیوتر، رسانا را داخل کوره بگذارید. و دو سر آن را از طریق سیم های رابط به ورودی B از قطعه اتصال به کامپیوتر (Sensor-Cassy) متصل کنید.
- همچنین مبدل اتصال سنسور دما را به قطعه کنترل دما روی ورودی A از قطعه اتصال به کامپیوتر (Sensor-Cassy) نصب کنید.
- برای فعال کردن نرم افزار، بر روی نشانه **CASSY Lab** از صفحه **Desktop** کامپیوتر کلیک کنید.
- بعد از انجام این کار پنجره **Setting** باز می شود، این قسمت برای انجام تنظیمات آزمایش بوده و محدوده های اندازه گیرید دما و مقاومت، نامگذاری محورها و..... را می توان در این قسمت تنظیم کرد (شکل ۲).



شکل ۲ – پنجره **setting** از نرم افزار **CASSY Lab**

- همانطور که مشاهده می شود تصویری از قطعه اتصال به کامپیوتر، روی پنجره **setting** نشان داده شده است. با کلیک روی قسمت بالایی (A) مشخصات مربوط به دما ظاهر می شود. حال تنظیمات مربوط به دما را انجام می دهیم.(شکل ۳)



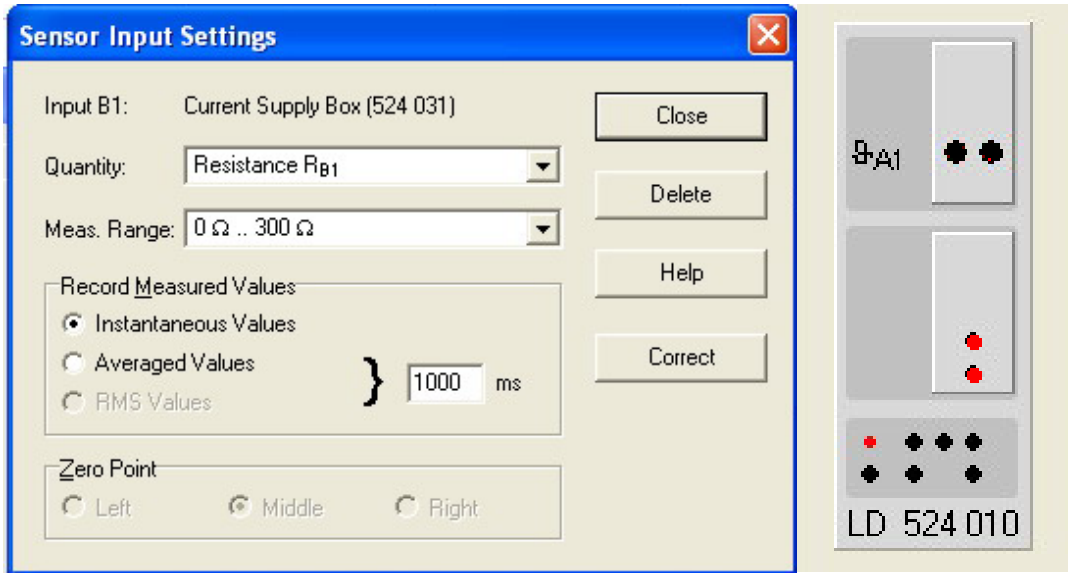
شکل ۳ – تنضیمات مربوط به دما روی setting

- مطابق شکل ۳ تنظیمات مربوط به دما را انجام دهید.

Quantity : Tempreture T_{A1}
Meas. Range : 170 K…470 K

- با کلیک بر روی Correct پنجره تنظیمات دما را ببندید.

- برای انجام تنظیمات مربوط به مقاومت، روی قسمت پایینی (B) از قطعه اتصال به کامپیوتر کلیک کنید. (شکل ۴)

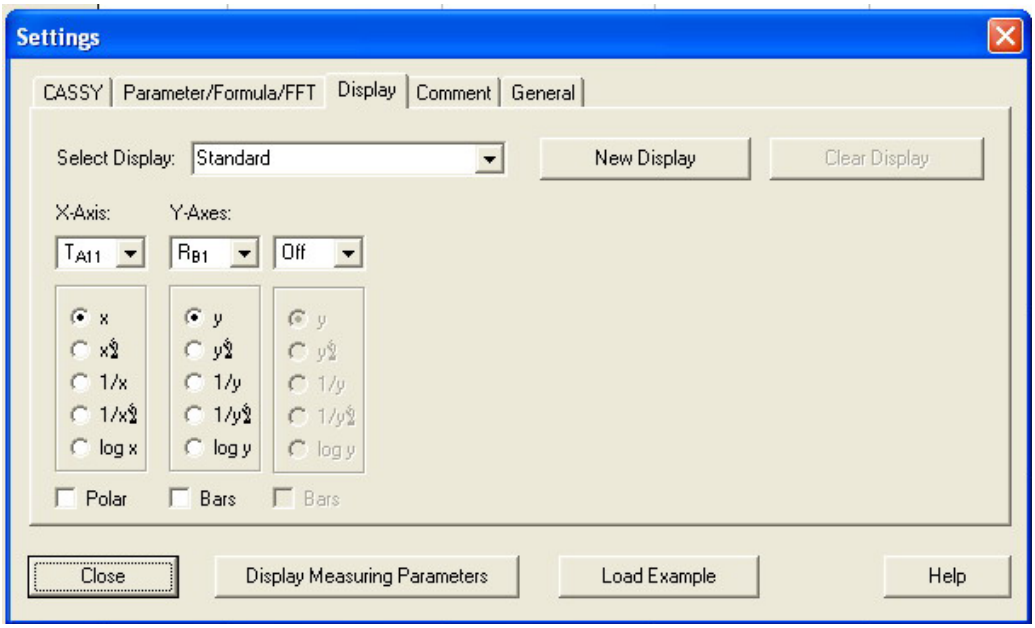


شکل ۴ – تنظیمات مربوط به مقاومت روی setting

- مطابق شکل ۴ تنظیمات مربوط به مقاومت را نجام دهید:

Quantity : Resistance R_{B1}
Meas. Range : 0 Ω …..300 Ω

- با کلیک بر روی **Correct** پنجره تنظیمات دما را ببندید.
- سپس در آخرین مرحله بر روی **Display** از پنجره **Setting** کلیک کنید و تنظیمات را روی محورهای نمودار که توسط کامپیوتر رسم می شود انجام دهید. (شکل ۵)
- تنظیمات مربوط به محورها را مطابق شکل انجام دهید و پنجره مورد نظر را ببندید. (دما روی محور **X** ها و مقاومت روی محور **Y** ها تنظیم می شود).



شکل ۵- تنظیمات مربوط به محورهای نمودار

- پنجره setting را ببندید و دمای اولیه را با زدن کلید F_9 ثبت کنید.
- بعد از ثبت دمای اولیه کوره را با زدن کلید قطعه اتصال ایمن (۵۵۵۸۱) روشن کنید .
- نمودار مقاومت رسانا بر حسب افزایش دما را روی مانیتور مشاهده می کنید .
- هنگامی که دما به $470K$ (معادل 200^0C) رســـید، اندازه گیری را با زدن کلید F_9 (برای آخرین بار) متوقف کنید.
- در این هنگام کوره را روشن خاموش کنید و مقاومت را با دستکش یا دستگیره بردارید.
- هنگامی که کوره خنک شد، آزمایش را با مقاومت دیگر تکرار کنید.

آزمایش شماره ۲ : خواص الکتریکی و مغناطیسی ابررسانا

اهداف آزمایش:

الف) نمودار تغییرات مقاومت الکتریکی نسبت به دما در ابررساناها
ب) تعیین دمای گذار به فاز ابررسانایی و رسیدن به مقاومت الکتریکی صفر
ج) مشاهده اثر مایسنر

نظریه آزمایش:

ابررسانایی در جریان آزمایشهای ((ایک کمرینگ اونز)) روی رسانایی جیوه جامد در دمای بسیار پایین ۴/۲ کلوین کشف شد. نیم قرن اول کشف ابررسانایی به دلیل فقدان سیستم‌های خنک کننده‌ی پیشرفته موفقیت چندانی در بررسی این خواص عجیب حاصل نشد. مبانی نظریه ابررسانایی توسط سه فیزیکدان به نام‌های ((جان باردین، رابرت شریفر و لئون کوپر)) مطرح شد که به نظریه BCS معروف است. با انجام آزمایش‌های متعدد روی طیف وسیعی از فلزات وجود حالت ابررسانایی در بسیاری از فلزات مانند قلع و آلومینیوم اثبات شد در حالی که در بعضی از فلزات مانند طلا و نقره و فلزات فرومغناطیس چنین حالتی وجود ندارد. سرانجام با معرفی ابررساناهای نیمه هادی انقلاب بزرگی در مطالعه‌ی خواص ابررسانایی رخ داد. این دسته از مواد نیمه‌هادی در دمایی بیشتر از ۷۷ کلوین یعنی بیشتر نقطه‌ی جوش نیتروژن مایع ابررسانا می‌شوند. در این حالت مقاومت الکتریکی ماده صفر می‌شود و در آن جریان بدون اتلاف انتشار می‌یابد.

دمای گذار ابررسانایی T_c: دمای گذار به ابررسانایی به جنس ماده وابسته است و در فلزات معمولا کمتر از ۲۰ کلوین می‌باشد. برای مثال دمای گذار جیوه‌ی جامد ۴/۲ کلوین است. دمای گذار ابررساناهای نیمه‌هادی بسیار بیشتر از فلزات است، برای مثال Barium- Yttrium - Copper – Oxide در حدود ۹۲ کلوین ابررسانا می‌شود.

حالت ابررسانایی: ابررسانایی در حالت کلی دارای دو دسته خواص ((وابسته به نوع ماده)) و ((مشترک)) هستند. برای مثال بسیاری از خواص معمول مانند ظرفیت گرمایی و دمای بحرانی به جنس ماده وابسته هستند در حالی که مقاومت الکتریکی و میدان مغناطیسی درونی صفر بین همه آن‌ها مشترک است. با توجه به این خواص مشترک ابررسانایی یک حالت ماده مثل مایع و گاز در نظر گرفته می‌شود و دمای گذار ابررسانا مانند دمای گذار جامد به مایع وابسته به ساختار و جنس ماده می‌باشد. البته حالت ابررسانایی در بعضی مواد رخ می‌دهد. اصلی‌ترین خواص حالت ابررسانایی عبارتند از:

۱. مقاومت الکتریکی صفر و توان عبور چگالی جریان الکتریکی بسیار بالا (خواص الکتریکی) و در نتیجه قابلیت تولید میدان مغناطیسی بسیار قوی.

۲. اثر مایسنر که عبارت است از نیروی دافعه مغناطیسی

خواص الکتریکی:

در رساناها جریان الکتریکی به صورت شار الکترون ها در شبکه اتمی فلز تصور می‌شود. چنین ساختاری الکترون-های آزاد پیوسته در حال برخورد به اتم‌های شبکه هستند و انرژی جنبشی آن ها به صورت انرژی گرمایی هدر می‌رود.

در ابررساناها توضیح حالت الکتریکی به کمک مکانیک کوانتومی ممکن است. طبق ((نظریه تعویض فنونی)) جریان الکتریکی در ابررساناها حاصل از یک تک الکترون آزاد نیست بلکه از جفت الکترون‌های کوپر حاصل می‌شود. این جفت الکترون به یکدیگر متصل شده و با انتقال فونون‌های خود به یکدیگر کنار هم باقی می‌مانند. طبق مکانیک کوانتومی بین انرژی شبکه اتمی KT و حداقل سطح انرژی جفت کوپر ΔE در حالت ابررسانایی رابطه زیر برقرار است:

$$KT < \Delta E \qquad (۱)$$

T: دمای شبکه اتمی و K: ثابت بولتزمن

خواص مغناطیسی:

ابررسانا با ایجاد جریان زیاد می‌تواند در اطراف خود میدان مغناطیسی شدید ایجاد نماید ولی در فاز درون ماده باید میدان مغناطیسی صفر باشد در نتیجه میدان مغناطیسی خارجی با تشکیل فاز ابررسانایی مخالفت نموده و موجب کاهش دمای گذار به فاز ابررسانایی می‌شود.

ابررساناها میدان مغناطیسی را از خود می‌رانند از اینرو قطعه آهنربا روی ابررسانا معلق می‌ماند، این خاصیت ((اثر مایسنر)) نامیده می‌شود.

وسایل آزمایش :

خاصیت الکتریکی:

کامپیوتر مجهز به نرم‌افزار CASSY LAB، دستگاه Sensor CASSY ، کیت تست خواص الکتریکی ابررسانا، نمونه ابررسانا و ظرف عایق حرارتی نیتروژن مایع

محفظه حاوی نمونه ابررسانا را به بورد مخصوص وصل کنید، درون محفظه یک نمونه ابررسانا وجود دارد که یک ترموکوپل برای اندازه‌گیری دما در کنار آن قرار داده شده ا ست. بورد ت ست خواص الکتریکی، جریان ثابتی را از نمونه عبور داده و اختلاف پتانسیل ایجاد شده در دو سر آن را در اختیار قرار می‌دهد.

خروجی ولتاژ ابررســـانای بورد را به ورودی B و خروجی ولتاژ ترموکوپل را به ورودی A وصـــل کنید. نرم‌افزار CASSY LAB را باز کرده و ورودی‌های A و B را مطابق جدول زیر تنظیم کنید:

ورودی A	ورودی B
ولتاژ 1- تا 1 ولت	ولتاژ 1- تا 1 ولت
مقدار متوسط در 200 میلی ثانیه	مقدار متوسط در 200 میلی ثانیه

در هر دو ورودی A و B در قسمت Zero point، گزینه middle انتخاب گردد.

حال در قسمت تعریف پارامترهای جدید رفته و با انتخاب New quantity پارامتر دما را با استفاده از اطلاعات زیر ایجاد کنید.

فرمول	نام پارامتر	واحد	حد پایین	حد بالا
T=-1000×UA1	T	C	-200	30

سپس مجدد با انتخاب New quantity پارامترهای زیر را وارد می‌کنیم:

فرمول	نام پارامتر	واحد	حد پایین	حد بالا
UB1	V	v	-0.01	0.3

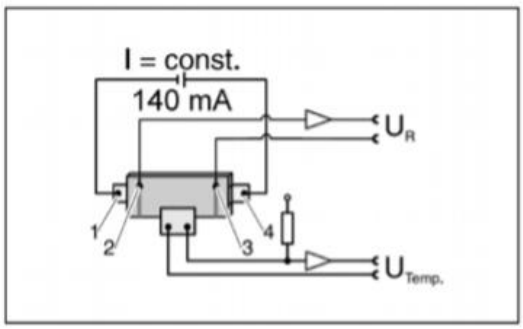
در قسمت Decimal places: عدد ۳ تایپ می‌گردد.

در این آزمایش با توجه به ثابت بودن جریان عبوری از ابررسانا، می‌توان ولتاژ دو سر آن را به عنوان نماینده‌ای از مقاومت نمونه مورد بررسی در نظر گرفت.

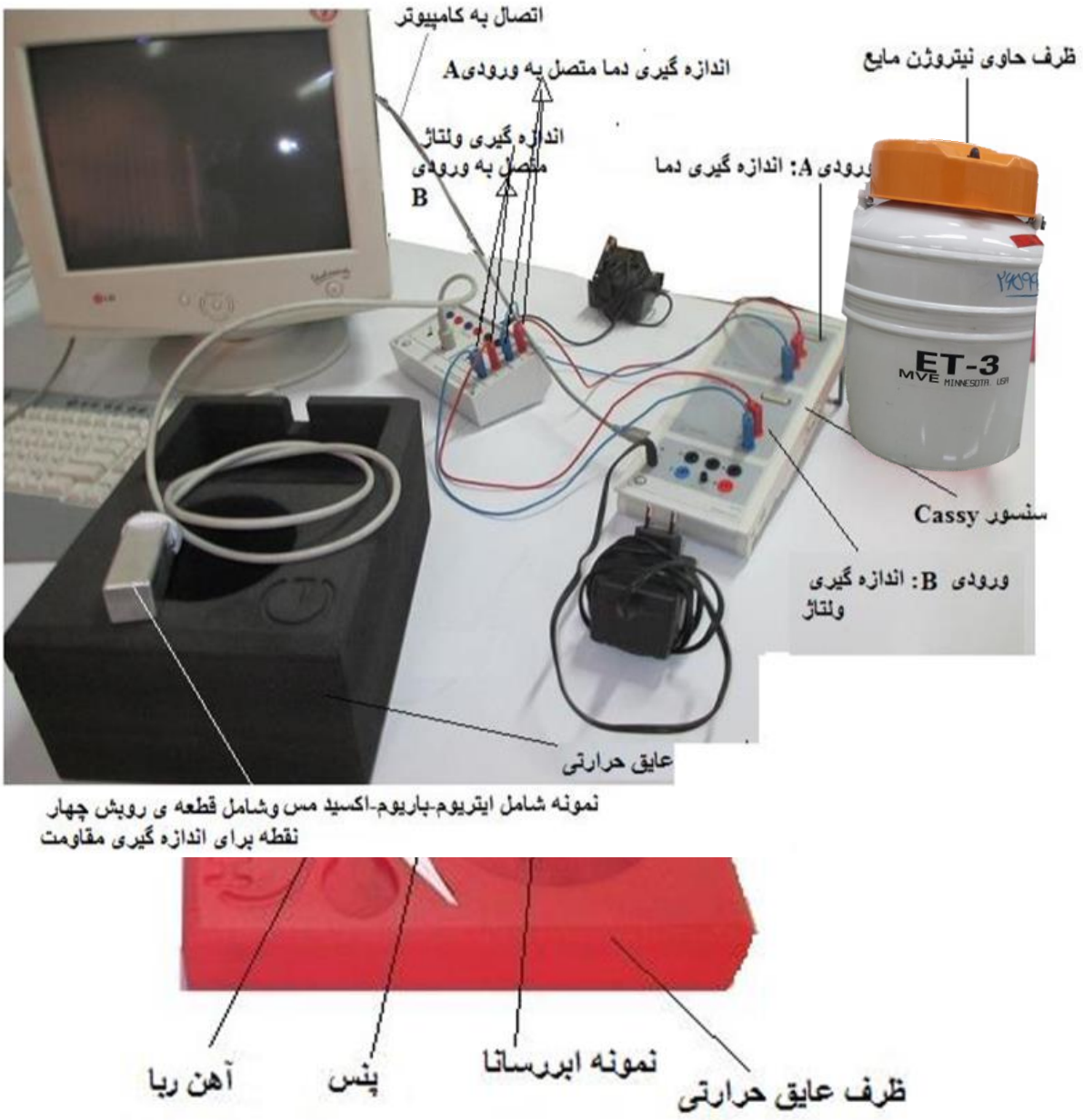
بنابراین در قسمت تعیین پارامترهای نمودار، محور X را دما (T) و محور Y را ولتاژ ابررسانا (V) انتخاب کنید.

در نهایت مطمئن شوید که اندازه‌گیری به صورت اتوماتیک انجام شود. سپس نمونه را در ظرف حاوی ازت قرار داده و اندازه‌گیری را شروع کنید.

صبر کنید تا نمونه به دمای بحرانی رسیده و ابررسانا شود. نمودار را ذخیره کرده و از روی آن نقطه بحرانی و دمای گذار را مشخص کنید.در صورت نیاز آزمایش را برای گرم شدن نمونه و رسیدن به دمای محیط تکرار کنید.



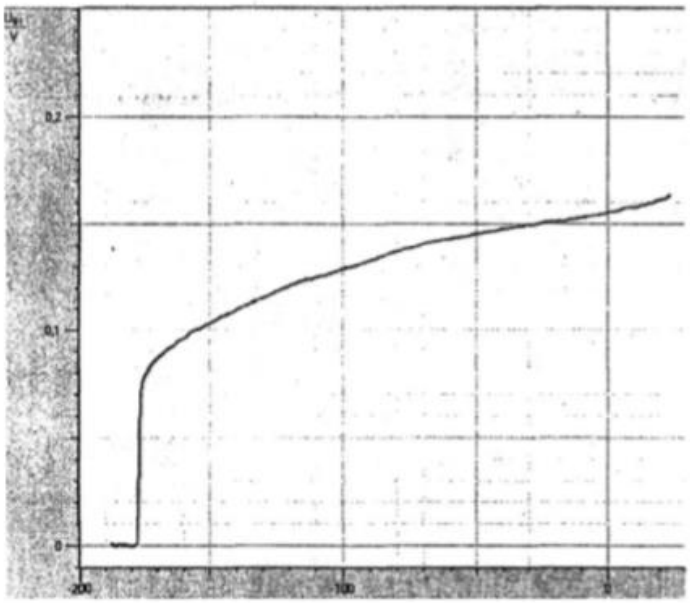
شکل ۲: قطعه ابررسانا در مدار. نقاط ۱و ۴ به جریان ۱۴۰ میلی آمپر متصل میگردند و افت ولتاژ بین نقاط ۲ و ۳ اندازه‌گیری می‌شود.



شکل ۴: اثر مایسنر در ابررسانای دما بالا

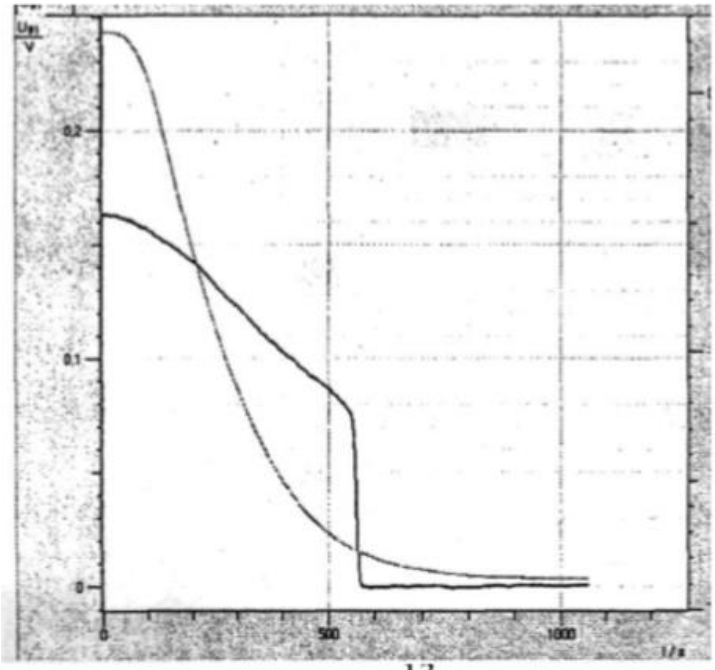
نتایج آزمایش:

شکل ۵ افت ولتاژ بر حسب تابع دمایی نشان می‌دهد.زمانی که دما افزایش می‌یابدمقاومت الکتریکی شکسته می‌شود و سبب می‌شود ولتاژ ناگهان صفر شود.



شکل ۵: افت ولتاژ دو تابع دمایی ℃ 180− تخمین زده شده است

شکل ۶، دما و ولتاژ در برابر زمان نشان می‌دهد، در 0 =+ یک مدول‌سنج، نیتروژن مایع دارد می‌شود. بعد از نزدیک به ۶۰۰ ثانیه (۱۰ دقیقه) ابررسانا به اندازه کافی سرد می‌شود و ابررسانش می‌شود.



13

شکل ۶: دما و ولتاژ در برابر زمان

آزمایش شماره ۳ : فوتو رسانندگی « اندازه گیری مشخصات جریان– ولتاژ در مقاومت CdS »

اهداف آزمایش:

۱- اندازه گیری جریان نوری I_{ph}، به عنوان تابعی از ولتاژ U در روشنایی ثابت Ø.

۲- اندازه گیری جریان نوری I_{ph} به عنوان تابعی از روشنایی Ø در یک ولتاژ ثابت U.

وسایل آزمایش :

- مقاومت حساس به نور **CdS**
- ریل اپتیکی
- منبع ولتاژ **DC (۲۰V)**
- مبدل ۶/۱۲ V
- عدسی محدب **f = 150 mm**
- پلاروید (۲ عدد)

- دیافراگم، لامپ و محفظه آن، پایه های نگهدارنده، ولتمتر و آمپرمتر دیجیتال،
سیم های رابط

اصول :

فوتو رسانندگی پدیده ای است که در آن رسانش الکتریکی در جامدات به علت جذب نور توسط آن مواد افزایش می یابد. در این هنگام به اصطلاح اثر نوری داخلی رخ می دهد. انرژی جذب شده توسط ماده قادر خواهد بود الکترون های فعال را به داخل نوار رسانش انتقال دهد و این بارها را با حفره هایی که در نوار ظرفیت ایجاد می شوند تعویض کند. در نتیجه تعداد حاملهای بار در شبکه بلور و در نتیجه رسانایی الکتریکی افزایش می یابد.

برای افزایش رسانندگی داریم:

$$\Delta\delta = \Delta p \,.\, e \,.\, \mu_p + \Delta n \,.\, e \,.\, \mu_n$$

e : بار الکتریکی ، **Δp** : تغییر تراکم حفره ها

Δn :تغییر تراکم الکترون ها ، **μ_p** : تحرک حفره ها

μ_n : تحرک الکترون ها

هنگامی که ولتاژ U اعمال شود جریان نوری عبارتست از :

$$I_{ph} = \frac{A}{d}.\Delta\delta.U$$

A : سطح مقطع جریان عبوری

d : فاصله بین الکترودها

مقاومت نیم رساناها وابسته به تابش بوده و سلول‌های فوتو رسانا بر این اصل پایه گذاری شده اند. سلول های فوتو رسانا کاربرد وسیعی را ایجاد نموده اند آن ها به خصوص در کلیدهای نوری و سیستم های اندازه گیری شدت نور به کار گرفته می شوند. در مواد نیم رسانا به طور عام از ترکیبات کادمیم دار به ویژه **CdS** استفاده می شود.

در این آزمایش یک مقاوت حساس به نور **CdS** در معرض نور یک لامپ قرار می گیرد. در این حالت شدت تابش φ در محل مقاومت نوری به وسیله دو فیلتر قطبی‌کننده که پشت‌سر هم قرار داردند تغییر می کند. اگر دو صفحه فیلتر قطبی‌کننده به اندازه زاویه **α** نسبت به هم چرخانده شوند، شدت تابش برابرخواهد بود با :

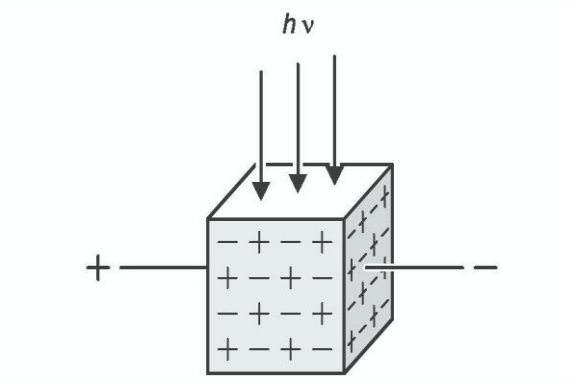
$$\varphi = \varphi_0.\mathrm{D}.Cos^2\alpha$$

φ_0. =شدت تابش بدون فیلتر قطبی‌کننده

D = میزان شفافیت زمانی که صفحات قطبنده موازی هستند.

جریان نوری در این آزمایش به دو صورت بررسی می شود :

یکی به عنوان تابعی از ولتاژ تحت مطالعه قرار خواهد گرفت که در آن مقاومت نوری تحت تابش ثابت قرار داده می شـود و ولتاژ تغییر می کند (مشـخصـه ی جریان - ولتاژ). و دیگری جریان نوری به عنوان تابعی از شدت تابش مطالعه شود که در آن ولتاژ ثابت باقی می ماند (مشخصه ی تابش - جریان).



شکل ۱

ساختار یک رسانای نوری ایده آل : جفت الکترون – حفره در میان کریستال به وسیله ی منبع نور خارجی تولید می شوند و سپس الکترونها در الکترود (+) کریستال را ترک می کنند و با الکترونهای ورودی در الکترود (-) جایگزین می شوند.

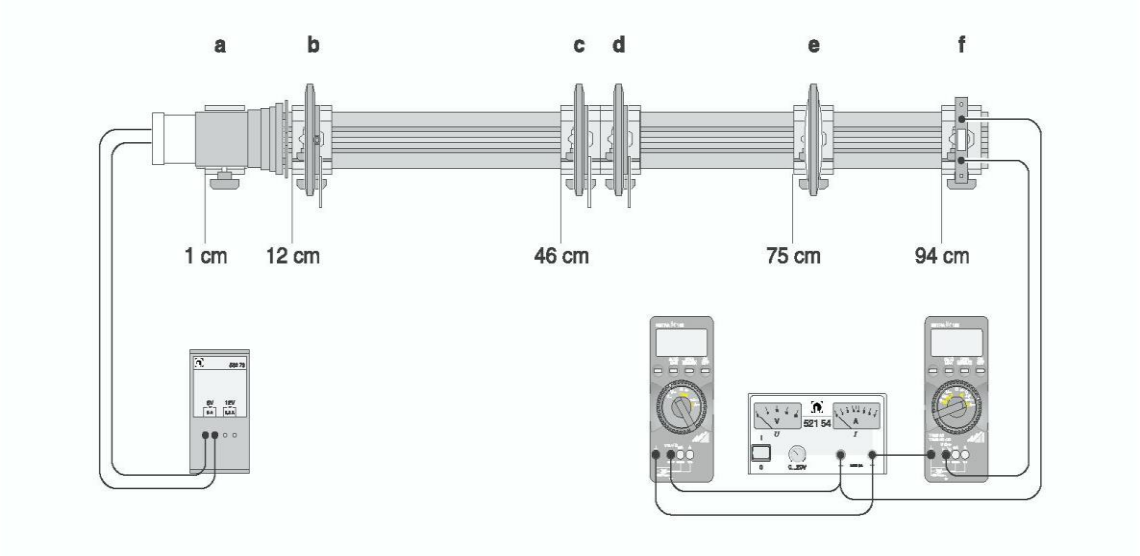
نصب وسایل آزمایش:

نصب وسایل آزمایش در شکل **۲** نشان داده شده است. همانطور که می بینیم ریل اپتیکی (شاخه اپتیکی) برحسب **cm** مدرج شده است. به محل هر وسیله از روی شکل دقت کنید. هر میله از وسایل اپتیکی باید بتواند به راحتی روی ریل حرکت کند و نباید روی آن ساکن بماند. همچنین تنظیم دقیق ارتفاع باید در موقع نصب وسایل در همه ی بخش ها روی ریل اپتیکی رعایت شود.

- مقاومت نوری را به پایه متحرک وصل کرده و سپس آن را به همراه پایه در سمت راست ریل اپتیکی قرار دهید.
- با پیچاندن لامپ و جابجا کردن تیوپ لامپ آن را کانونی کنید به طوری که وقتی فیلامان لامپ به طور عمودی قرار دارد، نور یکنواختی به مقاومت نوری تابیده شود.
- عدسی محدب را طوری در داخل پایه ی متحرک قرار دهید که طرف محدب آن به سمت لامپ قرار گیرد سپس با جا به جا کردن پایه اپتیکی متحرک که عدسی به آن وصل شده است، اشعه ی نور را در مقاومت نوری متمرکز کنید.
- دو فیلتر قطبی‌کننده و شکاف متغیر (دیافراگم متغیر) را در محل خود نصب کنید. زاویه بین صفحات قطبنده (α) را صفر قرار دهید و سپس شکاف را در حدود **۰/۲ mm** باز کنید.
- میزان تابش در مقاوت نوری را چک کنید و اگر نیاز بود دستگاه را مجدد نصب و تنظیم کنید (مراحل بالا را تکررا کنید).
- شکاف متغیر را به طور کامل ببندید.
- منبع تغذیه **DC** را وصل کنید و مولتی مترهای دیجیتال - آنالوگ را در مدار قرار دهید، یکی به طور موازی برای اندازه گیری ولتاژ و دیگری را به طور سری برای اندازه گیری جریان نوری $\mathbf{I_{ph}}$ متصل کنید (رنج دستگاه برای اندازه گیری جریان **mA** انتخاب کنید).
- ولتاژ **U** را به **۲۰ V** برسانید.
- شکاف متغیر را به آرامی باز کنید تا جریانی در حدود **۹ mA** از میان مقاومت نوری عبور کند در این زمان شکاف عرضی را دیگر تغییر ندهید.

یاد آوری: مقاومت نوری ممکن است به وسیله ی جریان زیاد تخریب شود. توجه داشته باشد که توان ماکزیمم از **P = ۰/۲W** تجاوز نکند. (یعنی در **I = ۱۰ mA ، U = ۲۰V**)

- مقاومت نوری حتی به وسیله ی مقدار نور کم زمینه در اتاق آزمایش تحت تاثیر قرار می گیرد، لذا اتاق آزمایش را چنان تاریک کنید که تنها بتوان وسایل اندازه گیری را قرائت کرد و شرایط نوری ثابتی را برای آزمایش برقرار کنید.



شکل ۱ : نصب وسایل آزمایش برای ثبت مشخصات ولتاژ – جریان در مقاومت نوری CdS

روش انجام آزمایش :

توجه : زمانی که میزان تابش نور تغییر می کند، واکنش مقاوت نوری در مقابل این تغییر آهسته است لذا مدتی طول می کشد تا مقاومت نوری به مقدار جدید خود برسد و ثابت شود.

الف) اندازه گیری جریان نوری I_{ph} به عنوان تابعی از ولتاژ U تحت تاثیر تابش ثابت Ø :

- مسیر اشعه نور را به وسیله یک مقوا مسدود کرده و جریان نوری I_0 را تعیین کنید. سپس مقوا را بردارید.
- اندازه گیری جریان را با ولتاژ **۲۰ V** شروع کنید و سپس ولتاژ را در هر مرحله **۲ V** کاهش دهید تا به ولتاژ **0 V** برسید. برای هر مرحله جریان I_{ph} را ثبت کنید.
- حال با تغییر زاویه ی α (به ترتیب به اندازه $\alpha = ۳۰^\circ$, $\alpha = ۶۰^\circ$, $\alpha = ۹۰^\circ$) مراحل بالا را تکررا کنید و I_{ph} را اندازه گیری کنید.
- داده ها را در جدولی دسته بندی کنید و سپس نمودار شدت جریان عبوری I را بر حسب ولتاژ U رسم کنید.
- شیب خط را که متناسب با شدت نور تابشی است محاسبه کنید. (زمانی که دو صفحه قطبنده نسبت به هم تحت زاویه $\alpha = 0$ باشند، ماکزیمم شدت نور در یک ولتاژ مشخص از صفحات عبور خواهد کرد. و اگر زاویه α را افزایش دهیم شدت نور برای هر ولتاژ خاص کاهش می یابد. بنابراین اگر برای هر زاویه خاص شیب خط را

برای ولتاژهای مختلف بررسی کنیم میتوانیم به این نکته پی ببریم که شیب بیشتر متناسب با شدت نور بیشتر است).

		V=20v	V=18v	V=16v	V=14v				
$\alpha = 0^{\circ}$	**(mA) I_{ph}**								
$\alpha = ۳۰^{\circ}$	**I_{ph}(mA)**								
$\alpha = ۶۰^{\circ}$	**I_{ph}(mA)**								
$\alpha = ۹۰^{\circ}$	**I_{ph}(mA)**								

ب) اندازه گیری جریان نوری I_{ph} به عنوان تابعی از شدت تابش φ در ولتاژ ثابت U :

- ولتاژ منبع را در **۲۰ V** ثابت کنید جلوی مسیر نور را به وسیله مقوا بگیرید و **I_0** ناشی از نور زمینه را مجددا اندازه گیری کنید.
- شدت تابش φ را با افزایش زاویه ی α بین صفحات قطبنده تغییر دهید (زاویه ی α را از 0° تا ۹۰° هر دفعه ۱۰° افزایش دهید). I_{ph} را برای هر مرحله اندازه گیری کرده و آن را ثبت کنید.
- آزمایش بالا برای ولتاژهای **U = 10 V، U = 1V** تکرار کرده و نتایج را در جدولی ثبت کنید.
- نمودار شدت جریان عبوری را بر حسب $\cos^2 \alpha$ رسم کنید.

	α	0°	۱۰°	۲۰°	۳۰°				
V= 20v	**I_{ph}**								
V= 10v	**I_{ph}**								
V= 1v	**I_{ph}**								

آزمایش شماره ۴ : تشدید اسپین الکترون در DPPH (تعیین میدان مغناطیسی بصورت تابعی از بسامد تشدید)

نظریه آزمایش:

آزمایش تشدید اسپین الکترون (ESR) بر اساس ایجاد اندرکنش اسپین الکترون‌های ماده با میدان مغناطیسی اعمالی که منجر به شکافتگی ترازهای انرژی می‌شود و سپس ایجاد شرایط جذب انرژی با تابش امواج الکترومغناطیسی و مشاهده این جذب استوار است. نتایج این آزمایش می‌تواند اطلاعاتی را درباره ساختار اتم‌ها و مولکول‌ها فراهم کند. برای این منظور ماده مورد نظر را در یک میدان مغناطیسی که توسط عبور جریان از پیچه‌ها تولید می‌شود قرار داده و سپس با روبش میدان مغناطیسی حول یک مقدار ثابت در محیطی که تابشی با فرکانس رادیویی (RF) دارد، آنرا به وضعیتی درمی‌آوریم تا انرژی جذب کند. بدلیل کوچک بودن اختلاف انرژی ترازها برای میدان‌های معمولی، تابش مورد نیاز در حد فرکانس رادیویی است. پدیده تشدید از روی تغییر امپدانس در مدار نوسانی تشخیص داده می‌شود.شکل ۱ شماتیک آزمایش را نشان می‌دهد.

شکل1

نمونه در این شکل درون یک سیم‌پیچ که به اسیلاتور RF متصل است قرار دارد. اسیلاتور RF جریان متغییری را در سیم‌پیچ مذکور برقرار می‌کند و بنابراین میدان مغناطیسی کوچک‌تری (از میدان مغناطیس یکنواخت DC) را در جهت عمود بر میدان DC اعمال می‌کند.

گشتاور مغناطیسی مربوط به تکانه زاویه‌ای کل J عبارتست از :

$$\vec{\mu}_j = -g_j.\frac{\mu_B}{\hbar}\vec{j} \qquad (۱)$$

که در آن μ_B مگنتون بوهر و g_j ضریب شکافت لانده است و m_e جرم الکترون می‌باشد.

$$.(\mu_B = \frac{\hbar}{2}\frac{e}{m_e})$$

در یک میدان مغناطیسی خارجی B_0، گشتاور مغناطیسی μ_j انرژی پتانسیل زیر را کسب می‌کند.

$$E = -\vec{\mu}_j.\vec{B}_0 \qquad (۲)$$

E کوانتیزه است. زیرا گشتاور مغناطیسی و تکانه زاویه‌ای کل فقط می‌توانند جهت‌های مجزایی را نسبت به میدان مغناطیسی احراز کنند. هر جهت تکانه زاویه‌ای مربوط به حالتی با انرژی پتانسیل خاص در میدان مغناطیسی است. مولفه J_Z تکانه زاویه‌ای کل که موازی با میدان مغناطیسی می‌باشد، از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$J_Z = \hbar\, m_J \qquad m_J = -j,-(j-1),...(j-1),j \qquad (۳)$$

که در آن عدد کوانتومی تکانه زاویه‌ای یک عدد درست است، یا عدد نیمه درست است، یعنی انرژی پتانسیل به ترازهای مجزای زیمن شکافت پیدا می‌کنند.

$$E = g_j.\mu_B.B_0.m_j \qquad m_j = -j,-(j-1),...j \qquad (۴)$$

شکافت انرژی را می‌توان مستقیما به وسیله تشدید اسپین الکترون اندازه‌گیری نمود. برای اینکار یک میدان مغناطیسی متناوب با فرکانس بالا که عمود بر میدان مغناطیسی ایستای B_0 است به داخل نمونه تابش می‌شود:

$$\vec{B}_1 = \vec{B}_{HF}.Sin(2\pi\nu t)$$

اگر hν میدان مغناطیسی متناوب برابر با اختلاف انرژی ΔE بین دو تراز انرژی مجاور باشد، یعنی اگر شرایط زیر برقرار شوند.

$$\Delta m_J = \pm 1 \qquad (۵)$$

$$h\nu = \Delta E = g_J \mu_B B_0 \qquad (۶)$$

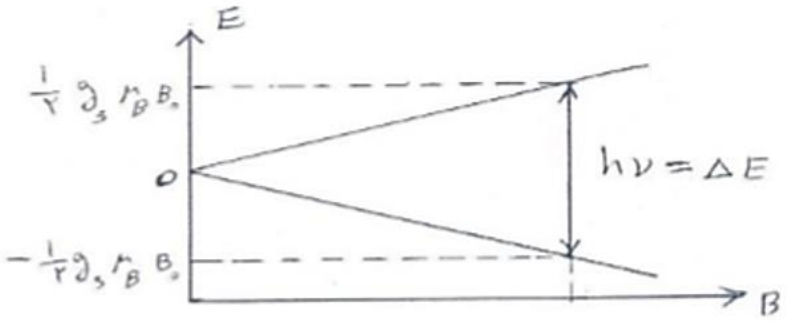
میدان متناوب، گشتاور مغناطیسی را از یک جهت در میدان مغناطیسی B_0 به سمت دیگر دوران می‌دهد. به عبارت دیگر، گذارهایی بین ترازهای مجاور انجام می‌شود و اثر تشدید مشاهده می‌شود و بدین معنی است که جذب انرژی از میدان مغناطیسی متناوب تابش شده به داخل نمونه مشاهده می‌گردد.
در ترکیبات متعددی، تکانه زاویه‌ای مداری از اهمیت ناچیزی برخوردار است و بررسی‌ها می‌تواند به اسپین الکترون محدود شود. برای ساده کردن موضوع، موقعیت برای الکترون آزاد در شکل (۱) نشان داده می‌شود: در اینجا تکانه زاویه‌ای کل فقط اسپین الکترون است. عدد کوانتومی تکانه زاویه‌ای برابر:

$$j = S = \frac{1}{2}$$

و ضریب لانده برابر مقدار زیر می‌باشد:

$$g_j = g_s \cong 2/0023$$

در میدان مغناطیسی، انرژی الکترون به دو تراز تجزیه می‌شود:



شکل ۱: شکاف انرژی یک الکترون آزاد در یک میدان مغناطیسی

و شرط تشدید برای تشدید اسپین الکترون (ESR)

$$E = g_s \mu_B m_o m_s \qquad m_s = -\frac{1}{2}, \frac{1}{2} \qquad (۴\text{-الف})$$

که مترادف با جهت موازی و پاد موازی اسپین الکترون نسبت به میدان مغناطیسی می‌باشند. در یک گذار بین دو تراز، قانون انتخاب (۵) بطور اتوماتیک برقرار می‌شود: به کمک معادله (۶) شرط تشدید به رابطه زیر تبدیل می‌گردد:

$$h\nu = g_s \mu_B B_o \qquad \text{(۶-الف)}$$

اگر اینک در یک بسامد ثابت ν انرژی که از میدان متناوب جذب می‌شودرا به صورت تابعی از میدان مغناطیسی B_0 اندازه بگیریم، خط جذبی با نیم پهنای δB_0 بدست می‌آید.
در ساده‌ترین حالت، این پهنای خط در یک میدان مغناطیسی همگن نتیجه‌ای از عدم قطعیت δE گذار می‌باشد. اصل عدم قطعیت به شکل زیر اعمال می‌شود:

$$\delta E.T \geq \frac{\hbar}{2} \qquad (۷)$$

که در آن T طول عمر تراز است. بخاطر معادله (۵) داریم:

$$\Delta m_j = \pm 1 \qquad \delta E = g\mu_B \delta B_0 \qquad (۸)$$

بنابراین رابطه زیر به فرکانس ν بستگی ندارد:

$$\delta B_o = \frac{\hbar}{2g_j.\mu_b T} \qquad (۹)$$

در این آزمایش، مکان و پهنای خطوط جذب در طیف ESR نمونه تحت بررسی استخراج می‌شود.

از مکان خط جذب (فرکانس تشدید) ضریب لانده g_j نمونه مورد آزمایش طبق معادله (۶) تعیین می‌شود. در مورد یک اتم آزاد یا یون، ضریب لانده بین $g_j = 1$ ، $g_j = 2.0023$ بدست می‌آید. در مورد اول $g = \pm 1$ که مربوط به آن است که مغناطش بطور کلی مربوط به تکانه زاویه‌ای مداری می‌باشد. در مورد دوم g = 2.0023 و مربوط به حالتی است که فقط اسپین‌ها در مغناطش سهم داشته باشد. مع ذالک { در حقیقت مراکز پارامغناطیس که بوسیله تشدید اسپین الکترون مورد مطالعه قرار می‌گیرد آزاد نیستند. زیرا آن‌ها یا در داخل شبکه‌های بلوری قرار می‌گیرند یا بوسیله سطوح حلال در یک محلول احاطه می‌شوند. لذا به آن‌ها میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی قوی اعمال می‌شود که بوسیله اتم‌های احاطه کننده ایجاد می‌شوند این میدان‌ها به جابجایی انرژی منجر می‌شوند و بر شکاف زیمن الکترون‌ها اثر می‌کند. در نتیجه مقدار ضریب g تغییر می‌کند (این امر به تناوب غیر همسانگردی می‌شود، و یک ساختار ریز در طیف‌های ESR روی می‌دهد). بنابراین ضریب g تحت تاثیر نتایجی که با توجه به انرژی بستگی الکترون و ساختار شیمیایی نمونه بدست می‌آید قرار می‌گیرد}.

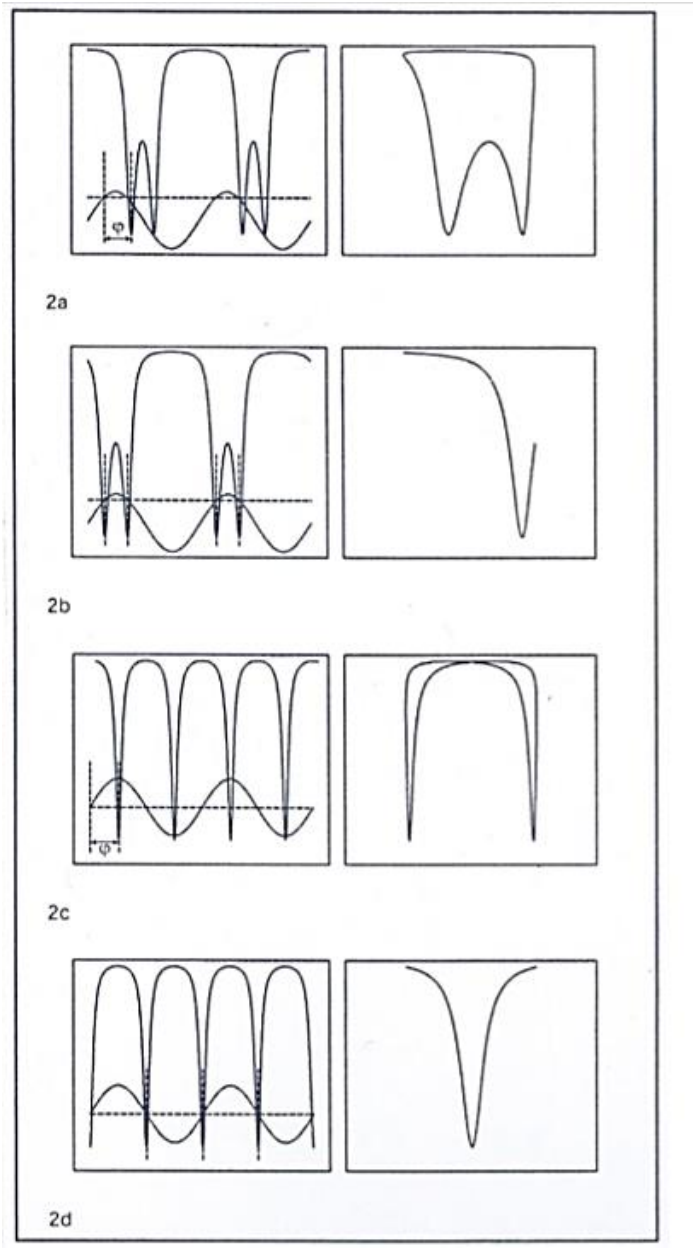
از پهنای خط، خواص دینامیک را می‌توان استنباط نمود. اگر از ساختارهای ریز تجزیه نشده چشم‌پوشی شود، چند فرآیند باعث پهن شدن خط می‌شوند که با هم ردیف شدن گشتاورهای مغناطیسی مخالف هستند. برهم‌کنش

بین گشتاورهای مغناطیسی همسو شده بین یکدیگر واهلش "اسپین-اسپین" نامیده می‌شود، و برهم‌کنش بین گشتاورهای مغناطیسی و میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی متغییر که بوسیله نوسان‌ها شبکه در جامدات و بوسیله حرکت گرمایی اتم‌ها در مایعات ایجاد می‌شوند، واهلش "شبکه-اسپین" نامیده می‌شوند. در بعضی موارد، پهنای خط تحت تاثیر برهم‌کنشی به نام "مبادله" قرار می‌گیرد. اگر برهم‌کنش دوقطبی-دوقطبی اسپین‌ها خالص باشد مقدار تاثیر برهم‌کنش مبادله خیلی کوچکتر از آن چیزی که انتظار می‌رود بدست می‌آید.

طیف‌سنج‌های ESR که برای کاربردهای عملی توسعه یافته‌اند به طور معمولی در فرکانس‌های حدود 10 GHZ (ماکروویو، باند x) کار می‌کنند. میدان‌های مغناطیسی نیز از مرتبه 0.1 تا 1 تسلا هستند. در این آزمایش میدان مغناطیسی B_0 بطور قابل ملاحظه‌ای ضعیف‌تر است. این بوسیله حلقه‌های هلوملتز ایجاد می‌شوند و می‌توان آن را تا مقادیر بین صفر و 4 mT با انتخاب مناسب جریان حلقه تنظیم نمود. جریانی که با 50 Hz تنظیم می‌شود به جریان ثابت حلقه اضافی می‌شود. در نتیجه میدان مغناطیسی B تنظیم می‌گردد، که از یک میدان با راستای ثابت B_0 و یک میدان 50 Hz به‌نام B_{mod} تشکیل می‌شود. ماده نمونه در یک حلقه HF (فرکانس بالا) قرار می‌گیرد که بخشی از جریان نوسانی فرکانس بالا است. جریان نوسانی با یک نوسانگر HF با فرکانس متغییر ایجاد می‌شود، این فرکانس بین 15-130 MHz قرار دارد.

اگر شرط تشدید (۵) برقرار شود، ماده نمونه انرژی جذب می‌کند و در مدار نوسانگر جریان برقرار می‌شود (زیاد می‌شود) در نتیجه امپدانس مدار نوسانگر تغییر می‌کند و ولتاژ در حلقه کاهش می‌یابد. این ولتاژ با یکسوسازی و تقویت به سیگنال قابل اندازه‌گیری تبدیل می‌شود.

سیگنال قابل اندازه‌گیری با یک تاخیر زمانی به میدان مغناطیسی مدوله شده (تنظیم شده) به خروجی دستگاه کنترل می‌رسد. که این تاخیر زمانی وابسته را می‌توان به صورت جابجایی فاز در دستگاه جبران نمود. یک اسیلوسکوپ دو کانالی در حالت X-Y سیگنال اندازه‌گیری شده را همراه با ولتاژی که متناسب با میدان مغناطیسی است به عنوان سیگنال تشدید نشان می‌دهد. سیگنال تشدید زمانی متقارن است که میدان با راستای ثابت B_0 شرط تشدید را برآورده سازد و سوق فاز φ بین سیگنال و میدان مغناطیسی مدوله شده جبران گردد. (شکل ۲)

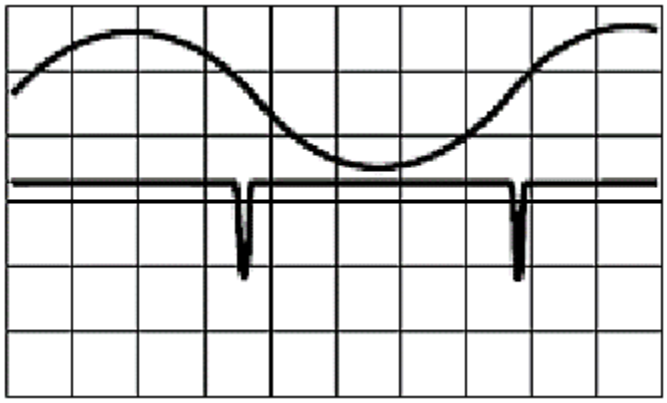


شکل ۲: نمایش اسیلوسکوپ سیگنال قابل اندازه‌گیری (Y یا کانال ۱) و
میدان مغناطیسی مدوله شده (X یا کانال ۲)

چیدمان دستگاهی:

برای سهولت اندازه‌گیری، میدان مغناطیسی ثابت با عبور جریان ثابت DC از یک پیچه مستقل تامین و با یک جریان AC با فرکانس (60 Hz) مادوله (Modulated) می‌شود تا بتوان شرایط تشدید را کنترل کرد. در نتیجه

شدت میدان ثابت (به کندی) تغییر می‌کند و می‌توان این تغییرات را با یک اسیلوسکوپ دید. هم‌چنین اگر اسیلوسکوپ دوکاناله باشد می‌توان شرایط جذب ESR در مدار RF را هم‌زمان مشابه شکل ۳ مشاهده کنیم.



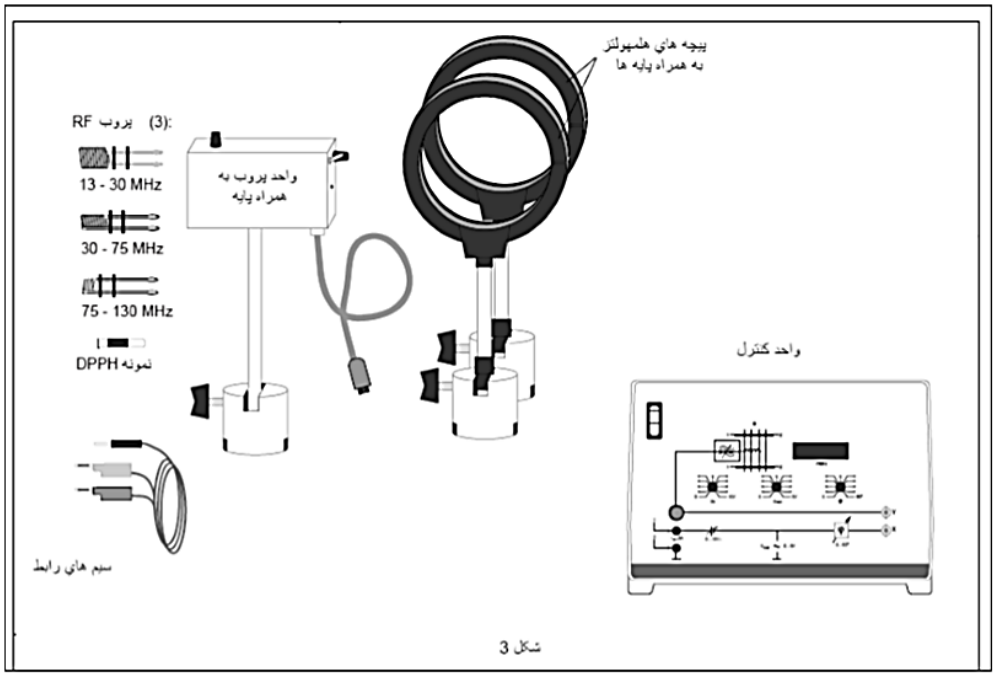
شکل ۳: روی صفحه اسیلوسکوپ

منحنی بالایی اندازه‌ی جریان در پیچه‌های هلمهولتز است که متناسب با میدان مغناطیسی خارجی است. منحنی پایینی نمایانگر اختلاف ولتاژ در دو سر اسیلاتور RF است و هربار که میدان مغناطیسی خارجی از نقطه تشدید گذر کند، به‌طور ناگهانی افت می‌کند. در این شکل در دو زمان شرایط تشدید در یک سیکل فراهم شده است. می‌توان با تنظیم شیفت فاز شرایطی فراهم کرد که در یک سیک یک جذب داشته باشیم.
در عمل اندازه‌گیری‌های مبتنی بر ESR، بسیار پیچیده‌تر از آن است که رابطه ۲ بیان می‌کند. الکترون‌ها و پروتون‌ها، در اتم یا مولکول، محیط مغناطیسی پیچیده‌ای را شکل می‌دهند که با اعمال میدان مغناطیسی خارجی تاثیر می‌پذیرد. لذا شکافتگی‌ها و جابجایی‌های متعدد در انرژی بوجود می‌آید که هر کدام اطلاعات حساسی را درباره‌ی ساختارداخلی اتم‌ها و مولکول‌ها می‌دهند.

نمونه آزمایشی در این آزمایش، حاوی DPPH (Diphenyl – Picryl - Hydrazyl) است که ماده‌ای به‌ویژه ساده برای اندازه‌گیری ESR است. در واقع مولکول این ماده، گشتاور زاویه‌ای صفر (L=0) دارد و تنها یک الکترون جفت نشده دارد. بنابراین به ازای مقدار مفروضی از میدان مغناطیسی خارجی، تنها یک فرکانس تشدید منفرد دارد. این ویژگی، تحقیق برخی از اصول پایه‌ای تشدید اسپینی الکترون را ممکن می‌سازد.

معرفی اجزای دستگاه ESR:

شکل ۴ دستگاه و قطعات مورد نیاز برای آزمایش را نشان می‌دهد.



شکل ۴: تجهیزات اصلی دستگاه ESR (بجز اسیلوسکوپ و آمپرمتر)

آزمایش شماره ۵ : خواص بلورها با تحلیل ساختاری اشعهX (تعیین ثابت های شبکه تک بلورها با استفاده از قانون براگ)

اهداف آزمایش :

۱- بررسی و مقایسه بازتاب براگ در یک تک بلور NaCl و LiF .

۲- تعیین ثابت شبکه a_0 برای بلور NaCl و LiF .

وسایل آزمایش :

- دستگاه اشعه X (X RD)
- شمارنده با پنجره انتهایی
  برای تابش $\alpha - B - \wp$ و اشعه X
- تک بلور LiF برای بازتاب براگ

اصول :

قانون بازتاب براگ، پراش امواج تخت در یک تک بلور را به صورت بازتاب منتخب امواج از یک مجموعه صفحات شبکه داخل بلور توصیف می کند. بخاطر تناوب بلورها, صفحات شبکه هر بلور دارای فاصله ثابت هستند. وقتی شرط براگ برای یک دسته امواج با طول موج λ برقرار شود, این امواج با شدت بیشینه بازتاب می شوند. و شرط براگ به صورت زیر می باشد:

$$n\lambda = 2d\sin\theta \qquad (۱)$$

دراین رابطه :

n: مرتبه پراش, λ: طول موج و d برابر با فاصله بین صفحات شبکه می باشند.

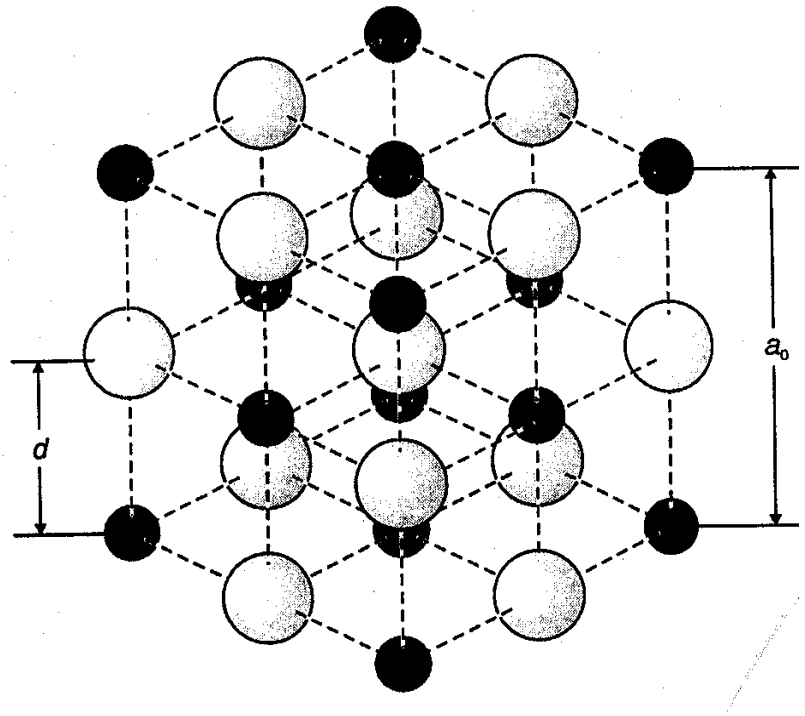
زاویه ی θ راستای امواج تابشی و بازتاب را نسبت به مجموعه صفحات شبکه نشان می دهد و اغلب به زاویه دید مشهور است.

در یک بلور مکعبی با ساختار NaCl (شکل۱) صفحات شبکه موازی با سطوح یاخته های واحد بلور در ساده ترین حالت می باشند و فاصله بین آنها برابر با نصف ثابت شبکه می باشد:

$$d = \frac{a_\circ}{2} \qquad (۲)$$

این یعنی صفحاتی که به عنوان صفحات براگ مد نظر ما هستند و می خواهیم بازتاب از این صفحات را مورد بررسی قرار دهیم فاصله شان برابر با نصف طول ثابت شبکه (فاصله بین دو اتم مجاور) است.
از این رابطه می توان رابطه (۱) را به صورت یک معادله برای تعیین ثابت شبکه a_0 بکار برد:

$$n\lambda = a_\circ \sin\theta \qquad (۳)$$



شکل ۱- ساختار بلور **NaCl**

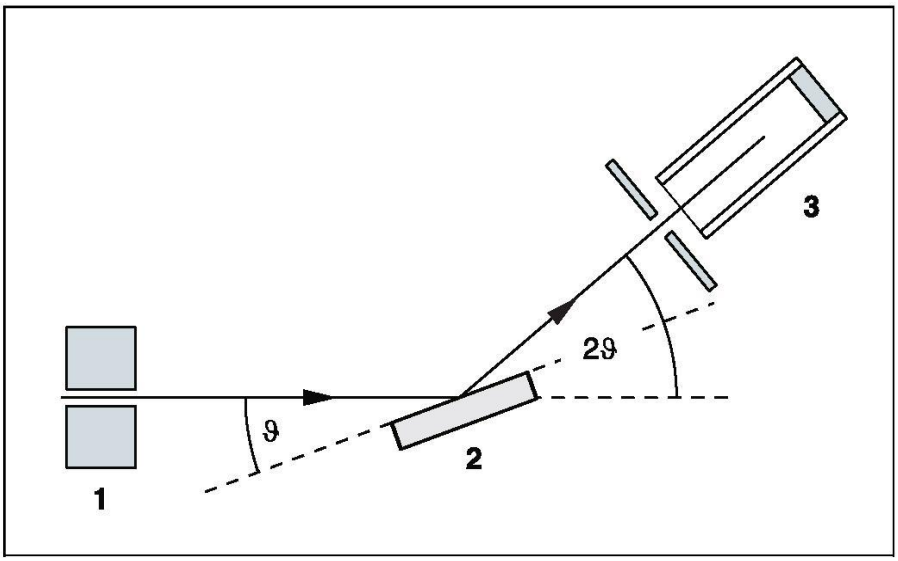
به عبارت دیگر برای تعیین $a_\circ$ ما به اندازه گیری زاویه دید θ برای یک طول موج معین λ و مرتبه n نیاز داریم . این روش وقتی دقیق تر است که زوایای دید در مرتبه های بالا تر پراش اندازه گیری شوند.
در این آزمایش از اشعه X مشخصه مولیبدن به عنوان اشعه ای با طول موج معلوم استفاده می شود. جدول (۱) طول موج های آنرا نشان می دهد:

جدول ۱- انرژی E، فرکانسυ و طول موجهای مشخصه اشعه X تابشی از مولیبدن

	$\frac{E}{\text{keV}}$	$\frac{\nu}{\text{EHz}}$	$\frac{\lambda}{\text{pm}}$
K_α	17.443	4.2264	71.080
K_β	19.651	4.8287	63.095

از یک لوله کنتور گایگر مولر برای آشکار سازی پرتو X استفاده می شود. این ابزارها و بلور هر دو روی یک محور سوار شده اند ونسبت به باریکه اشعه X تابشی در زاویه (2θ) جفت شده اند. لوله کنتور دو برابر زاویه بلور می چرخد (شکل۲).

نقطه صفر $\theta = 0$ با این حقیقت مشخص می شود که صفحات شبکه و محور لوله شمارنده بموازات باریکه اشعه X تابشی قرار دارند.



شکل ۲: شرح تصویری پراش پرتو **X** از یک تک بلور و جفت شدگی زاویه لوله شمارنده و زاویه پراش (زاویه دید) ۱ : کلیماتور ، ۲ : تک بلور ، ۳ : لوله کنتور

نکات ایمنی:

دستگاه اشعه **X** به کار رفته در این آزمایش تمام استانداردهای حاکم بر دستگاههای اشعه **X** را دارا می باشد (اداره استاندارد اشعه **X** آلمان). و بطور کامل دستگاهی محافظت شده برای استفاده آزمایشگاهی است و از نوعی می باشد که برای استفاده در مراکز آموزشی در آلمان تایید شده است. وسعت پوشش و محافظت داخلی آهنگ دز را در خارج از دستگاه اشعه **X** به کمتر از $j = 1\frac{msv}{h}$ کاهش می دهد. این مقدار در حدود اندازه تابشی زمینه طبیعی می باشد.

۱- قبل از استفاده از دستگاه برای عملیات مطمئن شوید که دستگاه سالم است و اطمینان داشته باشید که وقتی درهای کشویی باز هستند ولتاژ بالا خاموش است.

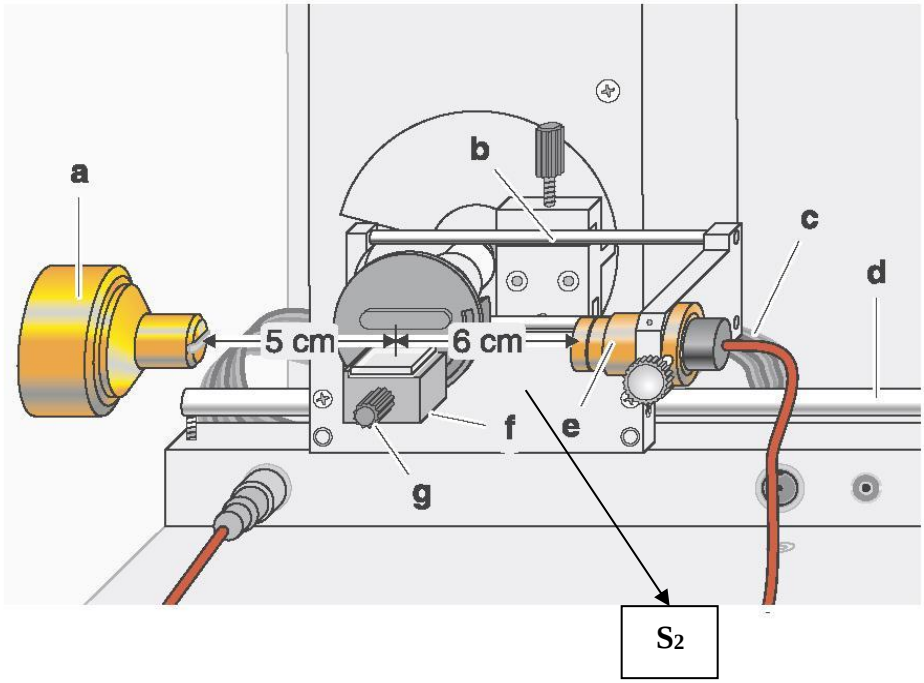
دستگاه را از دسترس افراد غیر مسئول دور نگهدارید. مراقب باشید آند لوله اشعه X مولیبدن بیش از اندازه داغ نشود (عدم اعمال ولتاژ و جریان بالا به مدت طولانی).

۲- وقتی دستگاه اشعه X روشن است, کنترل کنید که آیا دستگاه تهویه در اطاقک لوله روشن باشد,

۳- گونیومتر فقط بوسیله موتور پله ای کار می کند. اهرم هدف و اهرم حساسگر (سنسور) گونیومتر را مسدود نکنید و برای حرکت دادن آنها به زور متوسل نشوید.

طریقه نصب وسایل :

- شکل ۳: ، جزئیات مهمتری از نصب آزمایش را نشان می دهد نصب قبلا انجام شده است.



شکل ۳- نصب آزمایش در پیکر بندی براگ

a = **کلیماتور**

b = **پایه سنسور**

C = **کابل باریک**

d = **جابجا کننده های سنسور**

e = **سکوی سنسور**

f = **پایه هدف**

g = **پیچ دندانه دار (شیار دار)**

S_2 = **فاصله هدف و حساسگر**

روش انجام آزمایش :

بلور های **NaCl** و **LiF** به شدت شکننده و حساس به رطوبت هستند. بلورها را در محل خشک نگهداری کنید و از وارد شدن ضربه و لرزش مکانیکی به بلور ها جلوگیری نمایید؛ و در هنگام جابجایی فقط به وجوه کوچکتر بلورها دست بزنید.

اگر در هنگام آزمایش آهنگ شمارش خیلی پایین بود, می توانید فاصله S_2 بین هدف و حساسگر را قدری کاهش دهید. مع ذالک فاصله نباید خیلی کم باشد, در غیر اینصورت تفکیک زاویه ای گونیومتر دیگر برای جدا سازی خطوط مشخصه β K_α , K کافی نخواهد بود.

بازتاب براگ در تک بلور LiF :

۱- قراردادن نمونه

پیچ شیاردار g را شل کنید, صفحه تخت بلور LiF را روی سکوی هدف قرار دهید, سکوی هدف با بلور روی آن را آنقدر بالا بیاورید تا متوقف شود و سپس به آرامی پیچ شیاردار را محکم کنید (از اعمال فشار اضافی خودداری نمائید).

ولتاژ بالای دستگاه XRD را در V= 35 kV وجریان گسیل را در حدود I = 1 mA قرار دهید.

۲- تعیین نقطه صفر دستگاه اندازه گیری

- ✓ در ابتدا دکمه sensor و coupled را با هم زده و سکوی سنسور را طوری تنظیم می‌کنیم که با کلیماتور در یک راستا قرار بگیرد

- ✓ در مرحله بعد دکمه TARGET و coupled فشار داده و به نحوی تنظیم می‌کنیم که هدف با با سکوی سنسور و کلیماتور هم راستا شود.

- ✓ با فشار دادن همزمان دکمه های TARGET ، جفت شدگی COUPLED و β limits (حدود β) مکانهای هدف و حساسگر را به عنوان «صفر» مکان دستگاه اندازه گیری در نظر بگیرید.

- ✓ در آخرین مرحله با فشار دادن همزمان دکمه‌های COUPLED و β limits حد بالا و پایین را از ۴ تا ۳۴ مشخص می‌کنیم

۳- ثبت طیف پراش

۱- در ابتدا دکمه zero زده تا حالت صفر دستگاه تنظیم شود

۲- ولتاژ بالای دستگاه XRD را در V= 35 kV وجریان گسیل را در حدود I = 1 mA قرار دهید. زمان اندازه گیری را برای هر گام زاویه ای Δt = 5s و هر پهنای گام زاویه ای را در Δβ = 0/1 قرار دهید.

۳- و در آخرین مرحله دکمه‌های coplue ، HV را به ترتیب زده و اندازه گیری را آغاز کنید و داده ها را با فشار دکمه SCAN به کامپیوتر منتقل نمایید.

پس از پایان اندازه گیری با فشار دکمه A یا کلید F_2 سریهای اندازه ها را تحت نام مناسبی ذخیره کنید.

ب) بازتاب براگ در تک بلور NaCl :

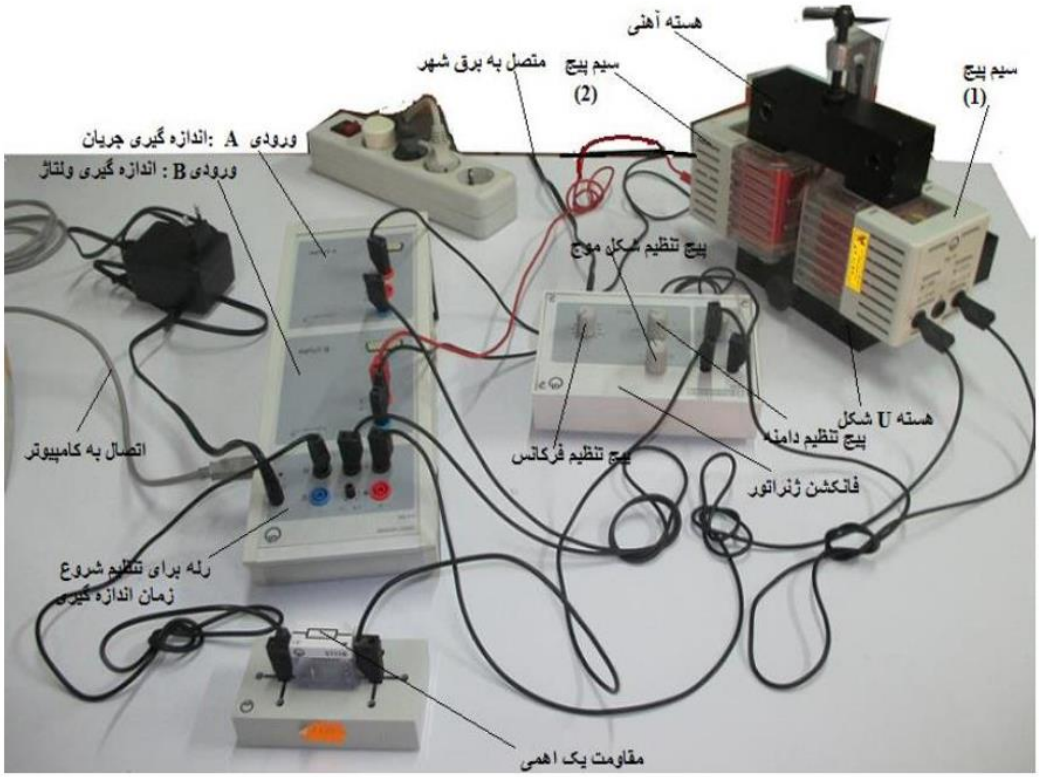
۱- کلید ZERO را فشار دهید تا هدف و حساسگر به نقطه صفر جریان باز گردند.

۲- بلور LiF را بردارید و بلور NaCl را با احتیاط و دقت در محل نمونه جایگزین نمایید.

سپس برای تعیین نقطه صفر دستگاه اندازه‌گیری و ثبت طیف پراش مراحلی که در بالا ذکر شد را دوباره انجام دهید

آزمایش شماره ۶ : « بررسی و مشاهده حلقه پسماند مغناطیسی »

*منحنی هسیترزیس فرومغناطیسی:



1-اهداف :

- تعیین بستگی B با H در فرومغناطیس
- بررسی منحنی هیسترزیس در نمونه فرومغناطیسی
- بکار بردن مدلی از ترانسفورماتور

2-مبانی نظری :

ب اساس قانون آمپر ، شدت میدان مغناطیسی H متناسب با جریان I است.
درون هر ترانسفورماتوری یک هسته ی فرومغناطیسی وجود دارد و اگر مدار ثانویه باز باشد میدان مغناطیسی هسته H به صورت زیر به متغییر های دیگر وابسته است :

$$H = \frac{N_1}{L} I \qquad (1)$$

جائی که:

میدان مغناطیسی هسته	H
شدت جریان در سیم پیچ اول ترانسفروماتور	I
چگالی مؤثر تعداد دور سیم پیچ اول	N_1/L

از سوی دیگر رابطه ی بین H و چگالی شار مغناطیسی تولید شده یا القاء مغناطیسی B به صورت زیر است:

$$B = \mu H = \mu_r(\mu_0 H) \qquad (2)$$

که در آن μ نفوذ پذیری مغناطیس و $\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$ نفوذ پذیری نسبی و $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ (SI)
μ_r به H وابسته است ، پس رابطه ی فوق به درستی توصیف کننده رابطه ی بین H و B نیست .

منحنی B بر حسب H منحنی هیستررزیس نامیده می‌شود . مطالعات نشان می‌دهند که در موارد فرومغناطیس سخت مقدار B به شدت وابسته به مقدار H پیش از شروع آزمایش است. با افزایش H مقدار B تا یک حالت مقدار حدی افزایش یافته و از یک حد مشخص بیشتر نمی شود . در مواد نرم فرومغناطیس در حالتی که $H = 0\ A/m$ مقدار B صفر است ، اما در مواد سخت به دلیل وجود پسماند مغناطیسی در ماده B صفر نخواهد شد .

با افزایش و کاهش H و اندازه‌گیری B منحنی هیسترزیس ماده رسم می‌شود.

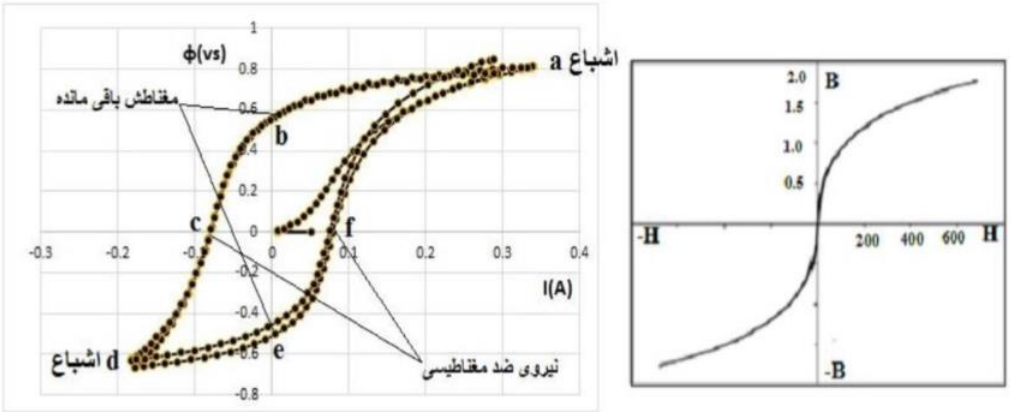
1- **فاصله‌ی زمانی اول:** بین $t=0$ و $t=T/4$ ، H مقدارش مثبت است و افزایش می یابد. چگالی شار بری منحنی oa افزایش می‌یابد تا هسته به اشباع بر سد(B_s) . با افزایش بیشتر H سطح اشباع ماده دیگر B را افزایش نخواهد داد.

2- **فاصله زمانی دوم:** بین $t=T/4$ و $t=T/2$ شدت میدان H مثبت اما روند نزولی دارد. چگالی شار نیز بر روی مسیر ab که بالای oa است قرار دارد کاهش می یلبد . در $t=T/2$ مقدار H صفر می‌شود اما B معادل B_r خواهد شد. که به آن میدان پس ماند مغناطیسی گفته می‌شود . در این حالت اگر جریان سیم پیچ را قطع کنیم هسته همچنان خاصیت مغناطیسی خود را حفظ می‌کند.

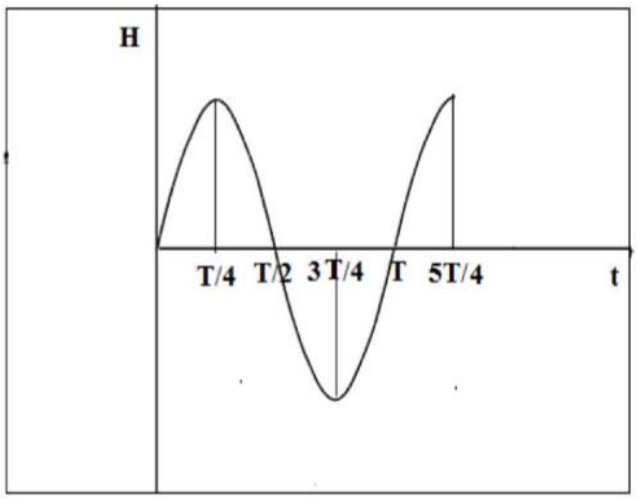
3- **فاصله‌ی زمانی سوم:** این فاصله زمانی بین $t=T/2$ و $t=3T/4$ رخ می‌دهد. در این حالت جهت H عوض می شود و مقدار آن روند افزایشی دارد. B نیز کاهش می‌یابد و در نقطه‌ی c مقدار B صفر می‌گردد . هنگامی که B صفر می‌شود مقدار H معادل H_c می‌گردد که به آن نیروی ضد مغناطیسی (نیروی Coercive) گفته می‌شود در انتهای این فاصله‌ی زمانی به نقطه‌ی d خواهیم رسید که مرحله‌ی اشباع معکوس پیش می‌آید.

4- **فاصله‌ی زمانی چهارم** : این فاصله‌ی زمانی بین $t=3T/4$ و $t=T$ رخ می‌دهد. در این حالت مقدار H منفی اما روند افزلیشی دارد. B نیز منفی و روند افزایشی دارد تا بالاخره به نقطه‌ی e برسیم . باز در اینجا به پس ماند مغناطیسی بر می‌خوریم.

5- **فاصله‌ی زمانی پنجم** : این فاصله‌ی زمانی بین $t=T$ و $t=5T/4$ رخ می‌دهد در این مرحله H از صفر شروع شده و ابتدای امر B منفی ولی روند افزایشی دارد تا بالاخره به f برسیم در این نقطه H برابر H_c می‌شود پس از آن چگالی شار B روند افزایشی داشته تا دوباره به نقطه‌ی a برسیم.



شکل1. حلقه‌ی هیستریزیس (پسماند)مربوط به ماده فرومغناطیسی سخت(سمت چپ) و نرم (سمت راست).



شکل 2. تغییرات زمانی میدان مغناطیسی د ر منحنی هیستریزیس

در این آزمایش H و B مستقیم اندازه‌گیری نمی‌شوند و به کمک متغیر های قابل اندازه‌گیری دیگر تعیین می‌شوند :

در هسته اول H با I به صورت زیر وابسته است :

$$I = (\frac{L}{N_1})H$$

در هسته دوم B با شار مغناطیسی Φ به صورت زیر بستگی دارد :

$$\phi = N_2 AB$$

و Φ با محاسبه انتگرال زمانی ولتاژ U به صورت زیر محاسبه می‌شود : بر طبق قانون القای فارادی:

$$V = -\frac{d\phi}{dt} \longrightarrow \int Udt = \phi$$

N_1	تعداد دور سیم پیچ اول
N_2	تعداد دور سیم پیچ دوم

A	مساحت سطح مقطع ماده فرومغناطیس

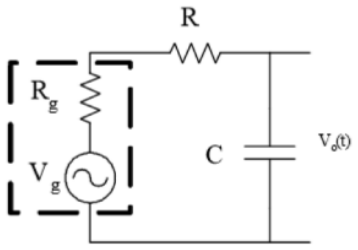
پس AN_2 یک مقدار ثابت است و به راحتی B به کمک انتگرال زمانی U محاسبه می‌شود .
مساحت حلقه ی هیسترزیس B_H برابر با انرژی اتلاف شده در واحد حجم است :

$$\int BdH = \frac{E}{V} \qquad (3)$$

در یک مدار RC با فیلتر پایین گذر در صورتی که Rو C طوری انتخاب شوند که $\omega RC>>1$ در فرکانس های بزرگ تر از f_c اندازه‌ی V_o (ولتاژ خروجی) بسیار کوچک و تقریبا برابرصفر است یعنی فرکانس های بالا را عبور نمی‌دهد. در این صورت :

$$V_i(t) = Ri(t) + V_o(t) \approx Ri(t)$$
$$= Rc\frac{dV_0}{dt} \Rightarrow V_0(t) = \frac{1}{Rc}\int V_i(t)dt$$

رابطه‌ی فوق نشان می‌دهد که ولتاژ خروجی انتگرال ولتاژ ورودی است لذا تحت شرایط $\omega RC>>1$ مدار فوق را یک مدار انتگرال گیر می‌نامند.



شکل3. مدار انتگرالگیر

3- شرح آزمایش

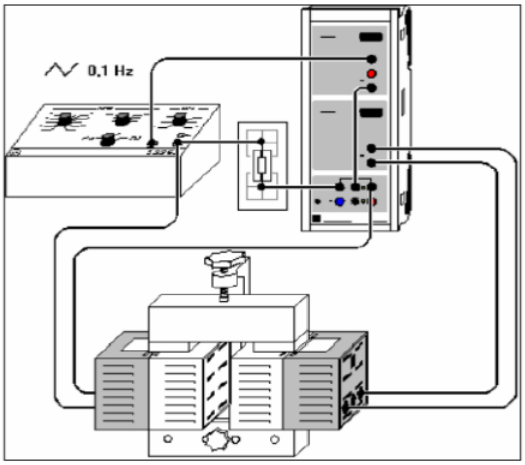
مواد و وسایل مورد نیاز

کامپیوتر مجهز به نرم‌افزار CASSY LAB، دستگاه Sensor CASSY، دو عدد سیم پیچ،منبع تغذیه متناوب

مقاومت یک اهمی،هسته فرومغناطیس،سیم‌های رابط

مراحل آزمایش

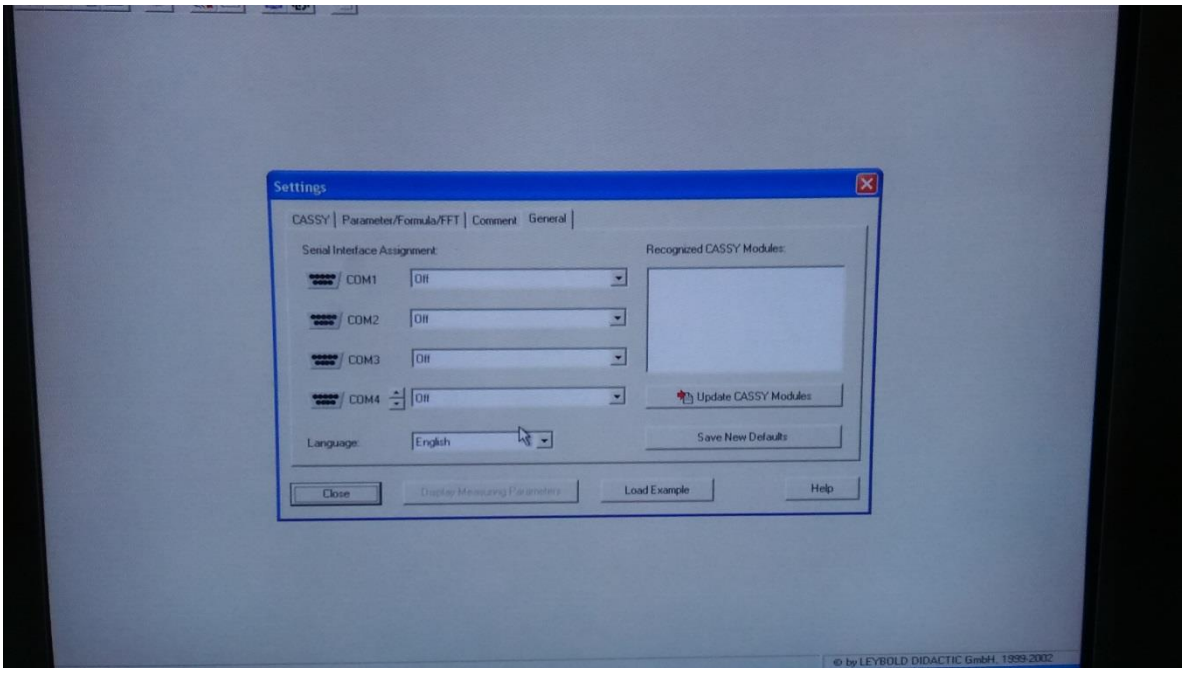
مطابق شکل زیر، اتصال قطعات را انجام دهید.



سپس نرم افزار CASSY lab را در چندین مرحله مطابق با الگو های آورده شده تنظیم کرده.

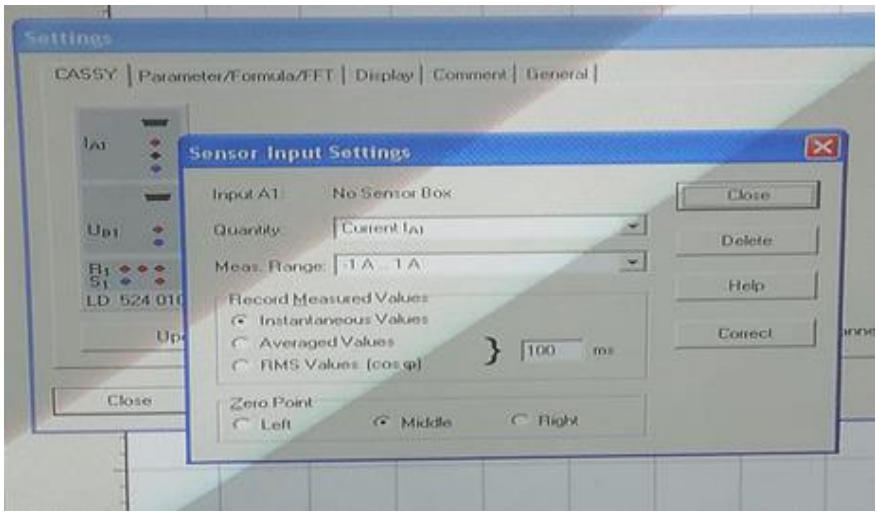
باز کردن نرم افزارCASSY lab :

General:COM1 : CASSY



در ابتدا قسمت IA1 را زده و سپس پنجره زیر باز می‌شود و تنظیمات زیر را انجام می‌دهیم:

Quantily:Current I_{A1}
Meas range:-1Aتا1A
Record measured values:Instantaneous values:100ms
Zero point: Middle

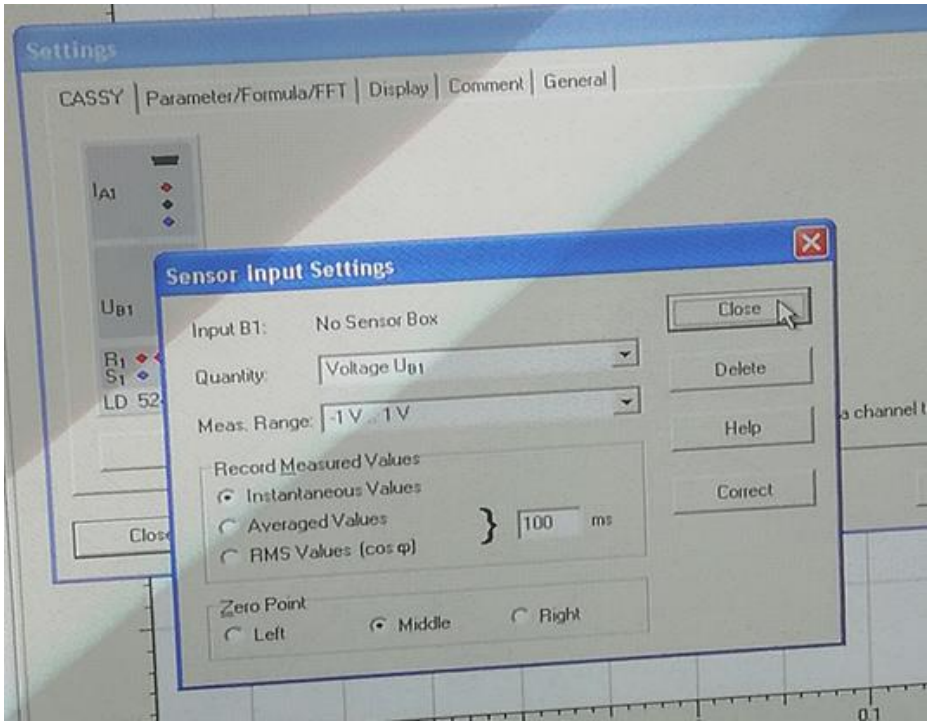


بعد از اعمال تغییرات فوق گزینه correct را زده که با این کار نتظیمات ثبت می شود سپس تنظیمات بعدی را وارد کرده.

قسمت UB1 را زده و سپس پنجره زیر باز می‌شود و تنظیمات زیر را انجام می‌دهیم

Quantily:Voltage U_{B1}
Meas range:-1Vتا1V

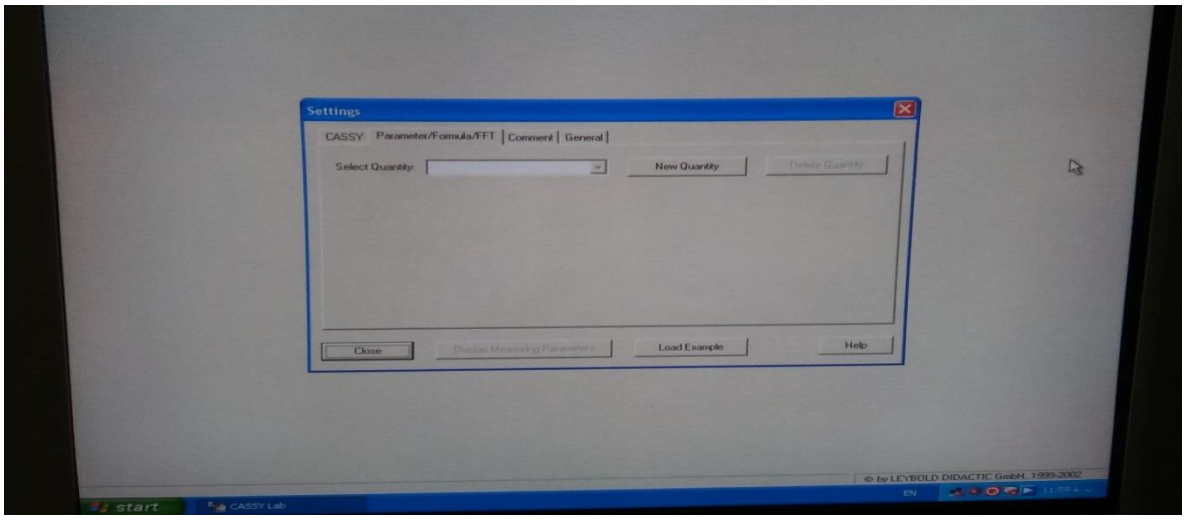
Record measured values:Instantaneous values:100ms
Zero point: Middle



و در پایان گزینهcorrect را زده تا تنظیمات ثبت شود.

در این بخش باید Ø برای نرم افزار به عنوان یک متغیر جدید تعریف شود که به روش زیر تغییرات اعمال می‌شود

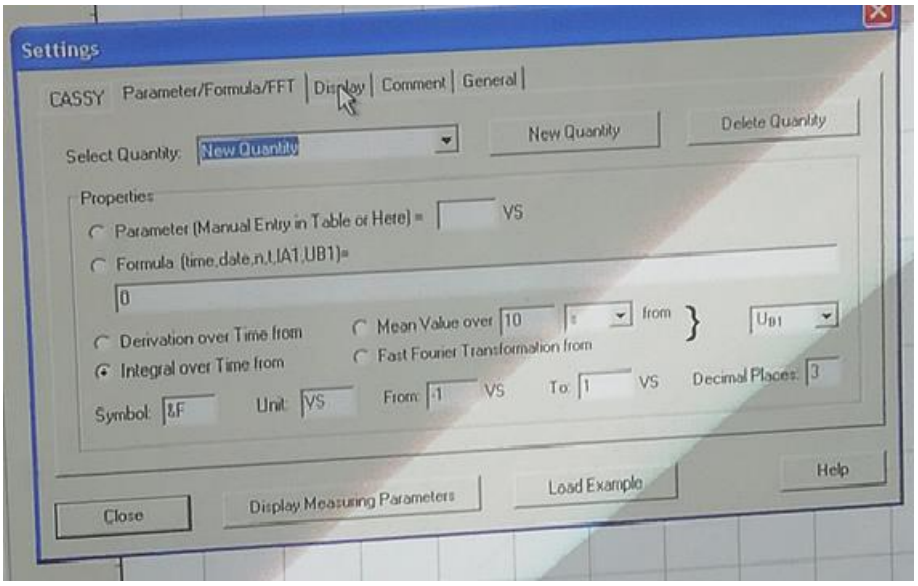
Parameter: Select Quantily: New Quantily



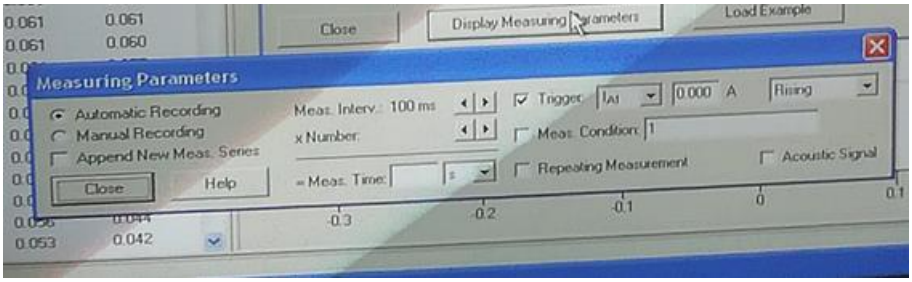
حال متغییر جدید را با این خصوصیات تعریف کنید

واحد	نماد	فرمول
VS	&F	انتگرال زمانی از UB1

حد بالا و پایین را هم از ۱VS- تا ۱VS تنظیم کنید.

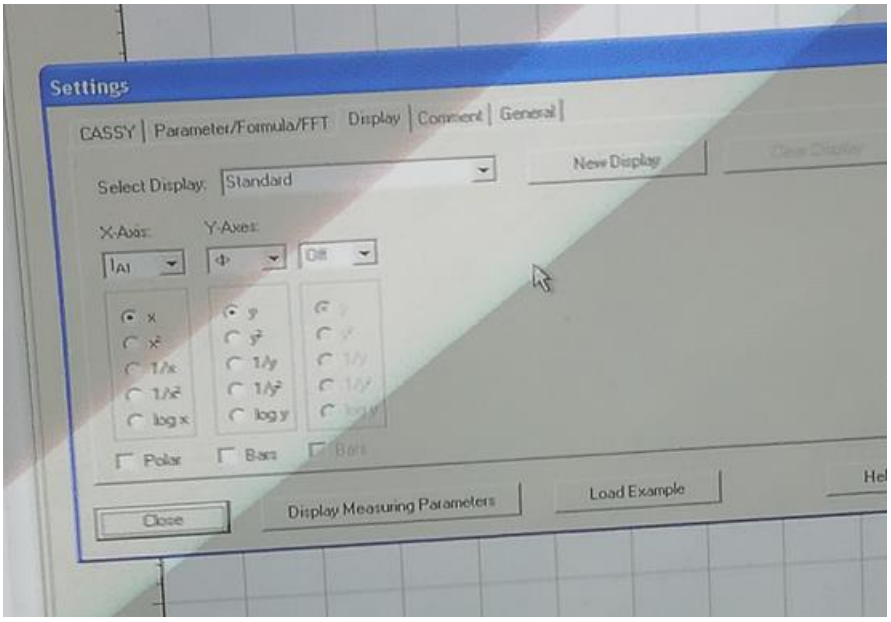


سپس به پنجره تنظیمات اندازه‌گیری (measuring parameter) رفته و با تیک دار کردن گزینه‌ی trigger نرم‌افزار را طوری تنظیم کنید که آزمایش با افزایش جریان از صفر آغاز شود.



در مرحله بعد در قسمت Display تنظیمات زیر را انجام دهید:

Display:
X-Axis: I_{A1}-X
Y-Axis: Ø-Y



در ادامه موج سیگنال روی موج سینوسی با فرکانس ۰,۱ هرتز تنظیم کرده و ولتاژ پیک تا پیک را بر روی ۲۰ ولت قرار داده حال سیستم را راه اندازی کنید و منتظر بمانید تا یک سیکل کامل طی شود.

تمام این مراحل را از فرکانس۰,۱ هرتز تا ۱۰۰۰ میلی هرتز تکرار کنید و در نهایت نمودار I بر حسب Ø را در یک سیکل کامل Save کنید.

گزارش کار

قسمت‌های محتلف نمودار را توضیح داده و راه‌های صفر کردن پسماند را بیان کنید.

سوالات

1- برای اندازه گیری میدان H چه کمیتی اندازه گیری شده است.
2- برای تعیین القای مغناطیسی B چه کمیتی اندازه گیری شده است.
3- یک مدار انتگرالگیر چگونه کار می کند؟
4- هر یک از کمیت های φ، B ،H ،V وI را در اولیه و ثانویه با یکدیگر مقایسه کنید . آیا در آزمایشی که انجام داده اید می‌توان فرض نمود که ثانویه تقریبا مشابه مدار باز است؟
5- اگر دامنه‌ی جریان AC اولیه را به تدریج کاهش دهیم شـــکل منحنی(M(H چگونه تغییر می‌کند؟ آیا باز هم خاصیت مغناطیسی B_r در ماده باقی می‌ماند؟

آزمایش شماره ۷: تعیین ثابت پلانک

تاریخچه

هرتز در سال ۱۸۸۷ کشف کرد هنگامیکه نور با طول موج کوتاه حدود مرئی یا ماورائ بنفش به سطح فلزی بتابد از آن سطح ذرات با بار منفی منتشر می شود. تامسون در سال ۱۸۹۸ نشان داد که $\frac{e}{m}$ این ذرات برابرمقداری است که برای اشعه کاتد یک بدست می آید و بدین ترتیب ثابت شد که این ذرات الکترون می باشند و برآنها نام فتوالکترون گذاشتند.

مهمترین نتایج تجربی پدیده فتوالکتریک بشرخ زیر بود:

۱- برای هر فلز یک فرکانس آستانه ν_0 وجود دارد. بطوریکه نور با فرکانس کمتر از آن نمی تواند از سطح فلز الکترون آزاد کند. مشاهده شد که زیاد کردن شدت نور تابشی تاثیری در افزایش جریان ندارد.

۲- نور با فرکانس بیشتر از آستانه، بلافاصله باعث تشعشع الکترون می شود و فاصله زمانی بین تابش نور و ظهور الکترون ها بیش از ۳×۱۰^{-۸} ثانیه نیست.

۳- چنانچه نوری با فرکانس معلوم بتواند از سطح فلز الکترونی خارج کند، تعداد الکترونها متناسب با شدت نور خواهد بود.

۴- ماکزیمم انرژی جنبشی الکترونهای تشعشع شده یا مقدار پتانسیل بازدارنده U_0 با فرکانس نور یک رابطه خطی دارد و مستقل از شدت آن می باشد.

موارد فوق به هیچ وجه با تئوری الکترومغناطیسی نور قابل توجیه نبودند، چرا که در فلزات الکترونهای لایه آخر با انرژی بستگی مشخصی به هسته اتم خود وابسته اند. انرژی بستگی آخرین الکترون و یا حداقل انرژی لازم برای آزاد کردن الکترون فلز را تابع کار W می نامیم که برای هر فلز مقدار ثابت و مشخصی است.

بنابر تئوری کلاسیک هرگاه اتم فلزی انرژی معادل W یا بیشتر دریافت کند بایستی یک الکترون خود را از دست بدهد. بنابراین اگر نوری با فرکانس معلوم نتواند ست الکترونهای فلز را آزاد کند، با افزایش شدت نور بایستی این

پدیده ممکن شـود. به علاوه هنگامیکه یک دسـته امواج نورانی بر روی عده کثیری از اتم های یک سـطح پخش می شـــود چگونه ممکن اســـت در یک فاصـــله زمانی خیلی کوتاه ۳×۱۰^{-۸} ثانیه آنقدر انرژی بر روی الکترون متمرکز گردد که باعث شـــود الکترون به خارج پرتاب گردد. علاوه بر این با تئوری موجی نور، توجیه اینکه چرا ماکزیمم انرژی الکترونهای پرتاب شده با فرکانس بطور خطی افزایش پیدا می کند ولی مستقل از شدت نور است ممکن نبود.

در سـال ۱۹۰۰ پلانک در تابش جسـم سـیاه ضـریب h را و در واقع فرضـیه کوانتائی بودن انرژی نورانی را بطور ضمنی مطرح می کند. اما در آن زمان کسی آنرا باور نمی کند. در سال ۱۹۰۵ انیشتن بر اساس تئوری پلانک نظریه ای را بر این پدیده پیشنهاد کرد که در سالهای بعد بطور تجربی به ثبوت رسیده و جایزه نوبل را بخاطر آن در سـال ۱۹۲۱ بخود متعلق سـاخت، در این هنگام اهمیت کار پلانک بر همه معلوم گشـت بطوریکه در سـال ۱۹۲۳ جایزه نوبل را به او اهدا کردند.

رابطه فوتوالکتریک پیشنهاد شده انیشتن بصورت زیر است:

$$h\nu = \frac{1}{2}mV^2 + W \qquad (۱)$$

که در آن $h\nu$ انرژی فوتون تابیده شده به فلز $\frac{1}{2}\,mV^2$ انرژی جنبشی الکترون جدا شده از فلز و W تابع کار فلز می باشد.

طبق نظریه انیشتن نور شامل ذراتی با انرژی $h\nu$ است که در فضا با سرعت نور حرکت می کند. این فرضیه بطور کلی مغایر تئوری موجی نور است. ولی پدیده فتوالکتریک را کاملا توجیه می نماید. به سهولت دیده می شود که معادله فوق با نتایج تجربی مطابقت دارد. اگر فرکانس آنقدر کم باشـــد که $h\nu \leq W$ هیچ الکترونی نمی تواند از سطح فلز آزاد شود. یعنی برای هر فلز فرکانس دارای یک مقدار آستانه ν_0 است که به ازای کمتر از آن پدیده فتوالکتریک رخ نمی دهد. انرژی الکترونها با فرکانس نور بطور خطی تغییر می کند و مستقل از شدت نور است. اگر فرکانس بیشتر از مقدار آستانه باشد هر کوانتم نور که به سطح فلز می رسد با یکی از الکترونهای فلز برخورد کرده تمام انرژی خود را به الکترون می دهد و آن را از ســـطح فلز به بیرون پرتاب می کند. اما قبل از اینکه الکترون خارج شود قسمتی از این انرژی W صرف کندن الکترون از سطح فلز می شود. تعداد الکترونهای پرتاب شده با تعداد ذرات نور و بنابراین با شدت نوری که به سطح فلز می تابد متناسب است.

ما در اینجا برای تعیین ثابت پلانک به سه روش عمل می کنیم :

تعیین ثابت پلانک با استفاده از خازن و فیلتر های تداخلی

❖ تعیین ثابت پلانک با استفاده از خازن و فیلتر های تداخلی

هدف آزمایش

۱- مطالعه پدیده فوتو الکتریک

۲- مشاهده طرز کار سلول فوتو الکتریک و رسم نمودار تغییرات ولتاژ آستانه بر حسب بسامد نور فرودی

۳- تعیین ثابت پلانک به کمک رابطه انیشتین

۴- نمایش عدم وابستگی انرژی جنبشی الکترون ها به شدت نور تابشی

وسایل مورد نیاز

- سلول فوتو الکتریک
- لامپ بخار جیوه با فشار بالا
- ریل اپتیکی (۱m)
- تقویت کننده
- عدسی $f = 100\ mm$
- دیافراگم
- پایه های نگهدارنده روی ریل، ولتمتر DC ، فیلترهای رنگی، خازن ۱۰۰ pF ، کلید قطع و وصل، سیم های رابط.

اصول

در این آزمایش از یک سلول فوتوالکتریک استفاده می شود. سلول فوتو الکتریک یک لامپ خالی از هوا است که دارای یک صفحه پوشیده از فلز پتاسیم است. این صفحه تحت تاثیر پرتوهای نورانی فوتون تابش می کند و کاتد سلول را تشکیل می دهد. در فاصله ای از این صفحه و موازی آن حلقه ای فلزی از جنس پلاتین قرار گرفته است که آند سلول می باشد. این مجموعه در یک محفظه شیشه ای قرار دارد که دو سر آند از آن خارج می شود و در یک مدار قرار می گیرد.

هنگامی که کاتد در معرض نور قرار می گیرد، الکترون ها از کاتد به سمت آند حرکت می کنند و لذا یک جریان در مدار برقرار می شود. حال اگر یک خازن را در مدار قرار دهیم، این خازن شارژ می شود تا زمانیکه اختلاف

پتانسیل آن با اختلاف پتانسیل دو سر آند و کاتد برابر شوند.اگر ولتاژ دو سر خازن را اندازه بگیریم، این ولتاژ همان ولتاژ بازدارنده $\mathbf{U_0}$ است، چون با شارژ کامل خازن دیگر جریانی در مدار برقرار نمی شود.

پس هنگامی که خازن شارژ شود رابطه زیر برقرار می شود:

$$eU_0 = h\upsilon - W$$

$$U_0 = \frac{h\upsilon}{e} - \frac{W}{e} \qquad (۲)$$

از رابطه فوق این نتیجه برداشت می شود که:
"اگر نور هایی با طول موج مشخص و متفاوت به سلول فوتو الکتریک بتابانیم، ولتاژ دو سر خازن برای هر نور مقدار متفاوتی خواهد داشت.ولی تابع کار فلز برای هر فرکانس تابشی، همان مقدار باقی می ماند."

در نتیجه برای دو فرکانس متفاوت داریم:

$$h\upsilon_1 = eU_{01} + W$$
$$h\upsilon_2 = eU_{02} + W$$

ثابت پلانک:

$$h = \frac{e\,(U_{01} - U_{02})}{\nu_1 - \nu_2} = e\,\frac{\Delta U_0}{\Delta \nu}$$

نتیجه کلی

اگر نمودار U_0 را بر حسب فرکانس های مختلف نور رسم کنیم، یک خط راست داریم که شیب آن مقدار $\frac{h}{e}$ می باشد. و با جایگذاری مقدار e که مقداری مشخص است ثابت پلانک به دست می آید.

نکات ایمنی

- لامپ بخار جیوه با فشار بالا، نورهایی با طول موج در ناحیه فرابنفش نیز منتشر می کند. لذا می تواند برای چشم ها خطرناک باشد.
- هرگز به نور تابشی از لامپ بخار جیوه به صورت مستقیم نگاه نکنید.

طریقه نصب وسایل

الف: طریقه نصب وسایل اپیتکی

توجه : لامپ بخار جیوه با فشـار بالا بعد از ده دقیقه از روشـن شـدن به شـدت نهایی خود می رسـد. لذا آن را هنگامی که شروع به نصب وسایل می کنید، روشن کنید تا بتوانید اندازه گیری خود را بعد از اینکه کار نصب را به پایان رساندید، شروع کنید .

شکل ۱ : طریقه نصب و سایل آزمایش را نشان می دهند . مکان و سایل از سمت چپ ریل اپیتکی در شکل نشان داده شده است .

۱. لامپ جیوه با فشار بالا را در مکان مشخص شده روی ریل اپیتکی سوار کنید و منبع ۵۰ Hz و V ۲۳۰ را به آن متصل کنید و لامپ را روشن کنید .

۲. فوتو سل را در مکان مشخص شده روی ریل اپیتکی قرار دهید پو شش آن را بردارید و فوتو سل را در مسیر نور قرار دهید بطوریکه نور لامپ جیوه روی کاتد آن بتابد.

۳. دیافراگم قابل تنظیم را روی پایه اپیتکی در مکان مشخص شده روی ریل اپیتکی سوار کنید

۴. لنزها را روی ریل اپیتکی در مکان مشخص شده قرار دهید و ارتفاع آن را طوری تنظیم کنید که مرکز لنزها دقیقاً هم ارتفاع با مرکز دیافراگم باشد.
۵. نور لامپ جیوه باید اکنون یک نقطه ی نورانی واضـح روی پوشـش کاتد حسـاس به نور فوتوسـل تولید کند. نور نباید روی حلقه فلزی آند یا روی پایه های کاتد که به آن متصل است بیافتد . لبه های کناری همچنین نباید روشن شود.

برای تأمین کردن چنین حالتی به شـیوه زیر عمل کنید و آن را آنقدر که لازم اسـت تکرار کنید تا بهترین حالت برای آزمایش اتفاق بیافتد:

۶. ارتفاع دیافراگم را و همچنین لنز را آنقدر تغییر دهید که نور نقطه ای روی منطقه ی کاتد بیافتد. مطمئن شوید که مرکز لنز در معرض نور قرار دارد و همچنین این مرحله را برای دیافراگم به طور مشابه انجام دهید. ممکن است که نیاز داشته باشد ارتفاع و شیب فوتوسل را تعیین کنید (از پیچ زیر پایه ریل اپتیکی استفاده کنید).

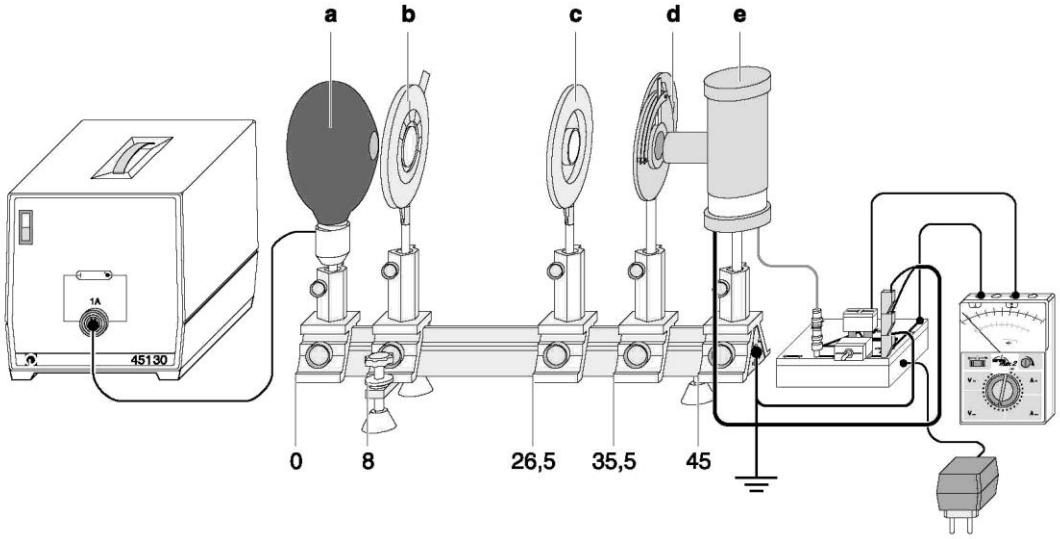
۷. در استفاده از دیافراگم اندازه قطر نور نقطه ای را تعیین کنید به طوری که روشنایی به بیشترین مقدار خود روی سطح منطقه ی سیاه کاتد فوتوسل برسد. بدون اینکه از آن منطقه خارج شود و به حلقه فلزی یا با کاتد فوتوسل تماس پیدا کند.

۸. نور نقطه ای را کانونی کنید اگر لازم است لنز را در امتداد دستگاه اپیتکی حرکت دهید .

توجه : یک بار طرز نصب وسایل آزمایش را تنظیم کنید . اگر نتایج رضایت بخش نباشد باید SETUP را مجدداً تغییر دهید .

۹. پوشش را روی فوتوسل قرار دهید به طوریکه نور از روزنه ی روی محفظه، به فوتوسل بتابد.

۱۰. فیلتر های گردان را با دیافراگم متصل به آن در جلوی فوتوسل روی ریل اپیتکی قرار دهید و آن را با پوشش فوتوسل تماس دهید تا نور اضافی رسیده به فوتوسل (ناشی از محیط) به حداقل برسد.



شکل ۱- شرح تصویری طریقه نصب وسایل آزمایش

ب: نصب قطعات الکتریکی

فوتوالکترونهای تشکیل شده روی حلقه ی فلزی فوتو سل، یک خازن را شارژ می کند و ولتاژ محدود کننده U_0 مورد نیاز برای اندازه گیری انرژی جنبشـــی را تولید می کنند. در این آزمایش از یک تقویت کننده برای اندازه گیری ولتاژ دو سر خازن استفاده می شود.

مدار تقویت کننده را همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است نصب کنید .

۱. کلید قطع و وصل را در قسمت f قرار دهید و خازن 100 PF را به آن متصل نمایید .

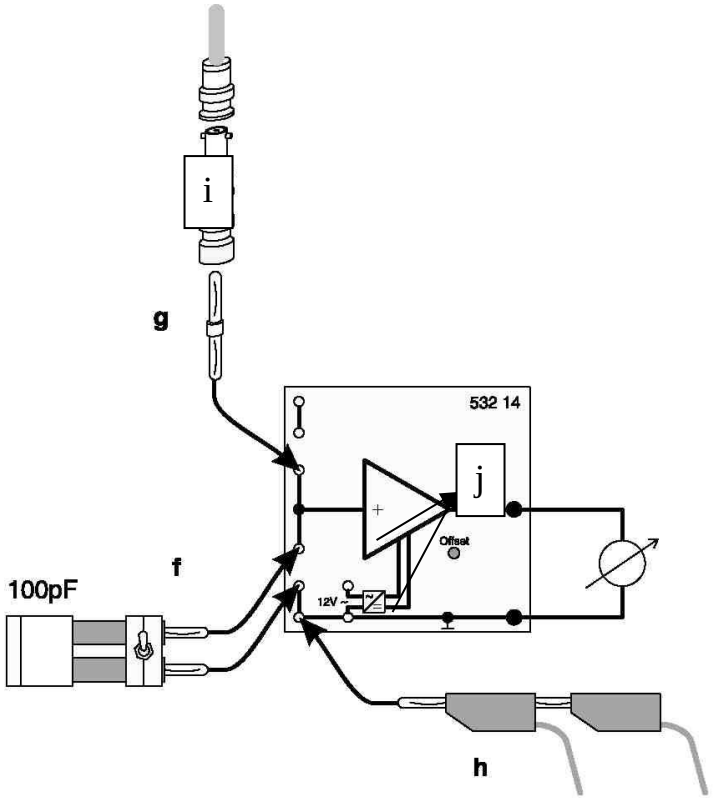
۲. شاخه دو طرفه را در قسمت (g) قرار دهید و کابل BNC / 4mm و BNC را به آن وصل کنید و اینها را به کابل خاکستری که از فوتوسل خارج می شود (i) متصل کنید

۳. هردو سر کابل سیاه خارج شده از فتوسل را به اتصال زمین تقویت کننده متصل کنید. (قسمت h)

۴. مولتی متر را به قسمت خروجی تقویت کننده (j) متصل کنید .

۵. منبع تغذیه ۱۲ V را به تقویت کننده (به طوری که در شکل ۲ نشان داده شده است) از طریق فیش خروجی متصل کنید .

۶. ریل اپتیکی را به قسمت اتصال به زمین تقویت کننده متصل کنید و یک سیم از ریل اپتیکی را به اتصال به زمین آزمایشگاه متصل کنید .



شکل ۲- شرح تصویری مربوط به بستن مدار الکترومتر آمپلی فایر

روش انجام آزمایش

- بعد از تکمیل نصب و سایل اپیتکی منبع تغذیه ۱۲ V را به برق متصل کنید . و رنج مولتی متر را روی ۱ V و DC قرار دهید .

- فیلتر با رنگ زرد ($\lambda_{Hg=578nm}$) را جلوی مسیر نور و یا دیافراگم قرار دهید .

- با نگه داشتن کلید متصل به خازن آن را دشارژ کنید ، تا مقدار ولتاژ به حد صفر میل کند و سپس دست خود را از روی کلید بردارید.

- با برداشتن دست خود از روی کلید شارژ شدن خازن را از روی مولتی متر متصل به تقویت کننده مشاهده کنید .

- پس از گذشت مدت زمان بین ۳۰ ثانیه تا ۱ دقیقه مشاهده می کنید که شارژ خازن تقریباً به یک عدد ثابت می رسد، این همان مقدار ولتاژ U_0 است .

- مقدار U_0 را یادداشت کرده و سپس با تغییر فیلتر های جلوی مسیر نور و دشارژ خازن عملیات را برای فیلتر های دیگر تکرار کنید و مقادیر ولتاژ بازدارنده U_0 را یادداشت نمائید .

❖ تعیین ثابت پلانک با استفاده از روش ولتاژ معکوس

الف: انجام آزمایش توسط فیلترهای تداخلی و ریل اپتیکی

اهداف آزمایش

-پیدا کردن مشخصه ولتاژ- جریان یک فوتوسل

- اندازه گیری انرژی جنبشی الکترون ها به عنوان تابعی از بسامد نور

- تعیین ثابت پلانک

وسایل آزمایش

- فوتوسل
- محفظه فوتوسل
- لامپ جیوه
- سرپیچ لامپ جیوه به همراه سیم رابط
- منبع تغذیه لامپ جیوه
- عدسی محدب، $f = +100\ mm$
- دیافراگم متغیر
- گرداننده فیلترها
- تقویت کننده ولتاژ
- پتانسیومتر ۱ کیلواهمی
- کلید قطع و وصل
- پنل مخصوص نصب قطعات الکتریکی
- سری ۱۰ تایی قطعات رابط پنل
- ریل اپتیکی ۰/۵ متر
- دو پایه اپتیکی، ارتفاع ۶۰ میلیمتر، عرض ۵۰ میلیمتر
- سه پایه اپتیکی، ارتفاع ۹۰ میلیمتر، عرض ۵۰ میلیمتر
- -فیلترهای تداخلی (۵۷۸ نانومتر، ۵۴۶ نانومتر، ۴۳۶ نانومتر، ۴۰۵ نانومتر، ۳۶۵ نانومتر)
- سه نگهدانده باتری روی صفحه اتصال A_4، ۳ عدد باتری ۱/۵ ولتی، ۲ ولت متر DC، سه راهی برق، سیم های رابط

اصول

بر هم کنش نور و ماده می تواند انرژی را به الکترون های سطحی منتقل کند و نوری با طول موج مناسب می تواند آنها را از سطح فلزات آزاد کند (اثر فوتوالکتریک). انرژی الکترون های آزاد شده به بسامد ν نور تابشی بستگی دارد نه به شدت آن. شدت نور تنها تعداد الکترون های آزاد شده را معین می کند. این حقیقت با اصول فیزیک کلاسیک در تناقض بود و اولین بار توسط آلبرت اینشتین در ۱۹۰۵ توضیح داده شده است. او فرض کرد که نور از شاری از ذرات به نام فوتون تشکیل شده که انرژی E آنها نسبت مستقیم با بسامد دارد:

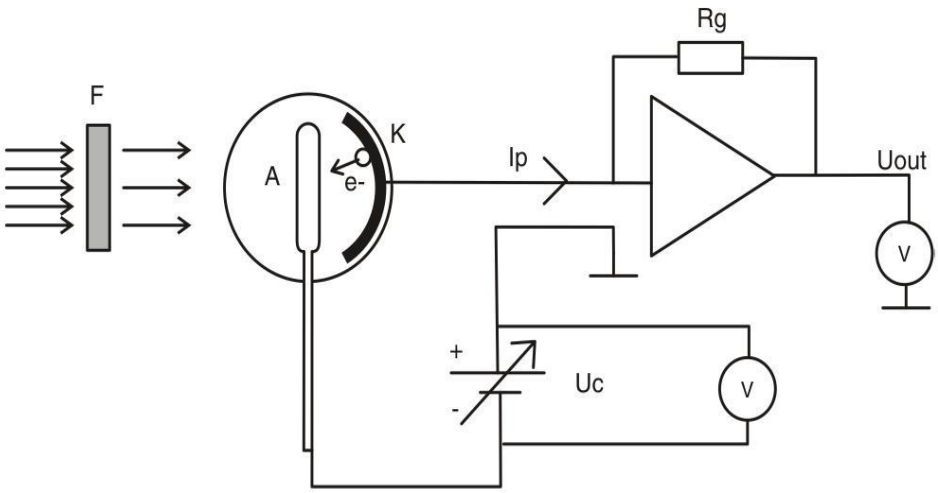
$$E = h.\nu \qquad (I)$$

ضریب نسبت **h** به عنوان ثابت پلانک شناخته می شود و یک ثابت بنیادی به شمار می رود. در این تصویر خاص از نور، هر فوتو الکترون توسط یک فوتون با یک انرژی جنبشی مشخص از سطح فلز آزاد می شود.

$$E_{kin} = h.\nu - W_k \qquad (II)$$

که W_k تابع کار فلز تابش‌کننده است.

می توان ثابت پلانک h را به وسیله قرار دادن یک فوتوسل در معرض نور تکرنگ –نوری با طول موج خاص- و اندازه گیری انرژی جنبشی E_{kin} الکترون خروجی، تعیین کرد. شکل ۳ نمایش شماتیکی از چنین آزمایشی است. نور از میان آند خنثی A می تابد که در اینجا یک سیم پلاتین است به سطح پتاسیمی K می تابد. به خاطر تابع کار کم پتاسیم–الکترون های ظرفیت فلزات قلیایی پیوند ضعیفی دارند- پتاسیم ماده ی کاتدی بسیار مناسبی به شمار می رود.
کاتد نوری K توسط تقویت کننده در نزدیکی پتانسیل زمین نگه داشته می شود. ولتاژ تنظیم پذیر U_c (ولتاژ معکوس) بین آند و زمین و در نتیجه بین آند و کاتد برقرار می باشد. که به طور معمول آند پتانسیل منفی تری نسبت به کاتد دارد. بعضی از فوتوالکترون های آزاد شده به سوی آند می روند و اگر انرژی جنبشی الکترون بیشتر از انرژی از دست رفته در هنگام حرکت به سوی آند ($e.U_c$) باشد، الکترون به آند می رسد و جریان فوتو الکترونی I_p را می سازند.



شکل ۳- شرح تصویری از نحوه انجام آزمایش برای تعیین ثابت پلانک

انرژی باقیمانده الکترونی که به سوی آند می رود از راه زیر به دست می آید:

$$E = h.\nu - W - e.U \qquad \text{(III)}$$

در اینجا W تنها تابع کار W_k (تابع کار پتاسیم) نیست بلکه به طور معمول پتانسیل اتصال بین آند و کاتد هم در آن نقش دارد.

اگر انرژی باقی مانده یک الکترون هم چنان مثبت باشد می تواند به آند رسیده و بخشی از جریان نوری را تشکیل دهد. ولی اگر انرژی به دست آمده منفی باشد، الکترون به آند نمی رسد ولی از کاتد دور شده و یک ابر الکترونی جلوی کاتد تشکیل می دهد.

در بعضی آزمایش ها ولتاژی که در آن جریان فوتوالکتریک به صفر می رسد را ولتاژ حد U_0 گویند. در این آزمایش ما وابستگی کلی ولتاژ - جریان سلول را ثبت می کنیم تا تخمین بهتری از ولتاژ حد داشته باشیم.

مشخصه ولتاژ-جریان برای طول موج ها، و در نتیجه برای بسامدهای مختلف نور تابشی رسم می شود.

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \qquad \text{(IV)}$$

c : سرعت نور در خلا

اگر فرکانس نور تابشی به مقدار $\Delta\nu$ افزایش یابد انرژی الکترون $h.\Delta\nu$ افزایش خواهد داشت و بنابراین ولتاژ حد به میزان ΔU_0 افزایش می یابد تا جبران افزایش انرژی را بکند. این افزایش تا هنگامی که از همان ناحیه از کاتد نوری استفاده کنیم از تابع کار مستقل است.

هنگام رسم ولتاژ حد $U_0(\nu)$ بر حسب ν معادله (III) یک خط مستقیم با شیب زیر را خواهد داد:

$$\frac{\Delta U_0}{\Delta \nu} = \frac{h}{e} \qquad (V)$$

برای بار الکترونی مشخص **e**، این نسبت ثابت پلانک را به دست می دهد.

در واقعیت جریان های دیگری هم هستند که به جریان فوتوالکتریک اندازه گیری شده اضافه می شوند. البته جریان فوتوالکتریک واقعی حاصل از الکترون های آزاد شده در کاتد بخش اصلی این جریان را تشکیل می دهد اما بخش های دیگری هم مانند جریان تاریک اهمی (جریانی که در نبود نور بین آند و ماتد برقرار است)، و مولفه بسیار کوچکی از الکترون هایی که از آند به کاتد می روند و توسط نورهای پراکنده شده که به آند برخورد می کنند آزاد می شوند هم وجود دارد.
در مجموع، جمع این سه جریان، باعث می شود جریان بزرگی از الکترون ها از آند به سمت کاتد به وجود آید که جریان مثبت I_p خوانده می شود. با افزایش پتانسیل منفی U_c آند، جریان نوری به طور نمایی کاهش می یابد تا به یک جریان منفی معین می رسد. این جریان منفی به خاطر اثرات جریان نشتی است که قبلا توضیح داده شد.
در این آزمایش، فیلترهای تداخلی با نوار گذر برای انتخاب طول موج ها به کار برده می شوند. هر کدام از پنج صافی به طور بسیار دقیقی یک خط طیفی از لامپ پر فشار جیوه را انتخاب می کنند

نکات ایمنی

-لامپ جیوه پر فشار در ناحیه فرابنفش نیز طول موج تابشی دارد و در نتیجه می تواند به چشم آسیب برساند و باعث سوزش پوست شود.

-هرگز به صورت مستقیم به نوری که از لامپ جیوه منتشر می شود نگاه نکنید.

- پوست را بیش از چند دقیقه در معرض نور لامپ جیوه قرار ندهید.

طریقه نصب وسایل

الف: بخش اپتیکی

نکته: لامپ پر فشار جیوه پس از ۱۰ دقیقه از روشن شدن، بیشترین شدت خود را پیدا می کند. لذا هنگامی که شروع به نصب وسایل می کنید آن را روشن کنید تا بتوانید اندازه گیری های خود را بعد از اتمام نصب وسایل به سرعت شروع کنید. هنگام گرم شدن لامپ جیوه مقادیر خود را اندازه گیری نکنید.

شکل ۴ نحوه برپایی وسایل آزمایش را نشان می دهد.

۱. سیم رابط لامپ جیوه را به منبع تغذیه مخصوص وصل کنید.

۲. با استفاده از یک پایه اپتیکی (ارتفاع ۶۰ میلیمتر) لامپ جیوه (a) را در قسمت انتهایی سمت چپ میز اپتیکی قرار داده و آن را روشن کنید.

۳. با استفاده از یک پایه اپتیکی (ارتفاع ۶۰ میلیمتر) فوتوسل (e) را در قسمت انتهایی سمت راست قرار داده؛ پوشش آن را بردارید و آن را به گونه ای قرار دهید که بخش روکش شده آبی-مشکی به سمت لامپ جیوه باشد

۴. دیافراگم (b) را در میز اپتیکی در جلوی لامپ با یک پایه اپتیکی (ارتفاع ۹۰ میلیمتر) قرار دهید.

۵. با استفاده از یک پایه اپتیکی (ارتفاع ۹۰ میلیمتر) لنز (c) را در وسط میز اپتیکی بگذارید و ارتفاع آن را به گونه ای تنظیم کنید که مرکز لنز در راستای مرکز دیافراگم متغیر باشد. محل دقیق در مرحله بعدی تنظیم خواهد شد.

اکنون نور لامپ جیوه بایستی یک نقطه پرنور در روی بخش روکش دار (ناحیه حساس) فوتوسل ایجاد کند.
نور نبایستی بر روی حلقه فلزی یا بخشی از بخش روکش دار مشکی که محل اتصالات است، بیافتد. نقاط لبه ای هم نبایستی روشن شوند.
نکته: توجه داشته باشید که فوتوسل حتما بایستی تمیز باشد خصوصا از گرد و خاک، زیرا این مواد می توانند باعث رسانایی شوند. در صورت لزوم بخش بیرونی فوتوسل را تمیز کنید.

برای اطمینان یافتن از نتایج خوب، دستورالعمل زیر را پیگیری کرده و برای به دست آوردن تصویر مطلوب آن را هر چند بار که لازم است تکرار نمایید

۶. ارتفاع دیافراگم متغیر و لنز را به گونه ای تغییر دهید که نقطه نورانی روی بخش آبی- مشکی فوتوسل بیافتد؛ اطمینان حاصل کنید که مرکز لنز و دیافراگم متغیر در یک راستا هستند. ممکن است به تنظیم ارتفاع و شیب فوتوسل هم احتیاج پیدا کنید. (از پیچ زیر پایه استفاده کنید.)

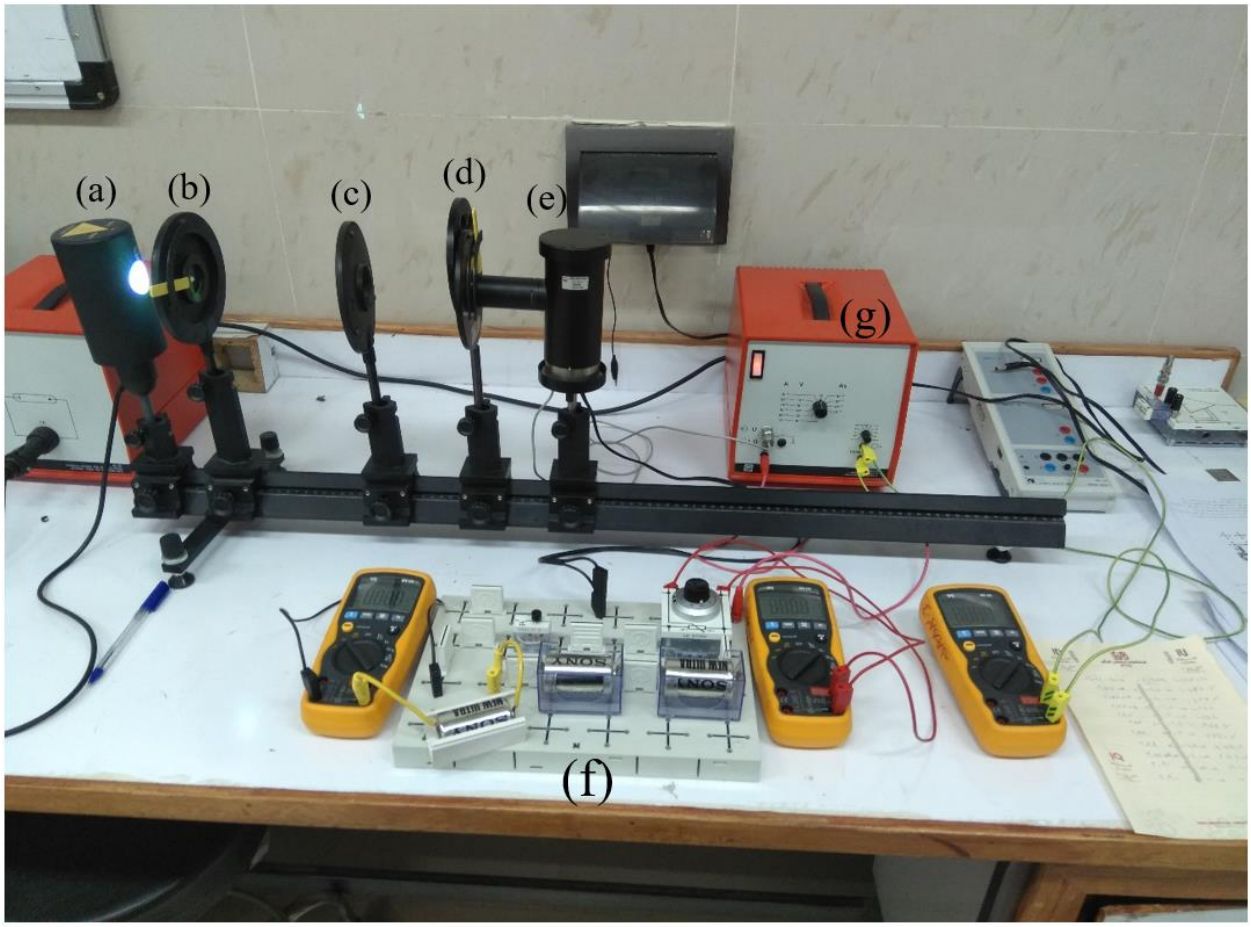
۷. با استفاده از دیافراگم متغیر اندازه نقطه نورانی را به گونه ای تنظیم کنید که بیشترین سطح از بخش مشکی فوتوسل را روشن کند، البته توجه داشته باشید که حلقه فلزی و اتصالات روی این بخش نبایستی نور بخورند.

۸. با حرکت لنز روی میز اپتیکی نور را تا حد امکان کانونی کنید.

نکته: بعد از تنظیم اولیه وسایل، مراقب باشید که نحوه برپایی آن به هم نخورد.

۹. پوشش روی فوتوسل را قرار دهید.

۱۰. گرداننده صافی (d) و دیافراگم متغیر را به وسیله یک پایه اپتیکی به ارتفاع ۹۰ میلیمتر درست در جلوی فوتوسل قرار دهید. و چشمی گرداننده را به پوشش فوتوسل متصل کنید تا نورهای پراکنده محیطی به فوتوسل نرسند.



شکل ۴- شرح تصویری طریقه نصب وسایل

a : لامپ جیوه با فشار بالا

b : دیافراگم

c : عدسی محدب **f = 100 mm**

d : گرداننده فیلترها با دیافراگم

e : فوتوسل

f : بخش الکتریکی

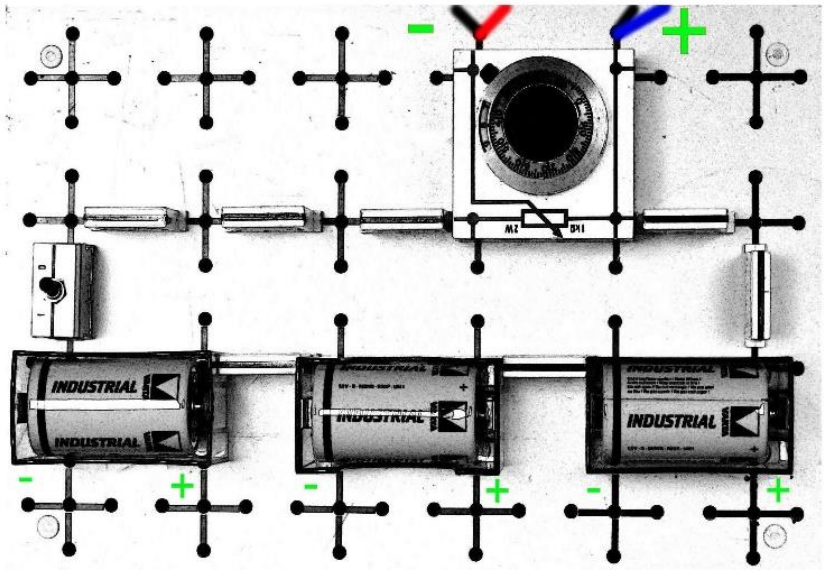
g : تقویت کننده

ب: طریقه نصب قطعات الکتریکی

فوتو الکترون های فرودی روی فلز فوتوسل یک جریان نوری ایجاد می کنند که توسط تقویت کننده تقویت شده و به ولتاژ تبدیل می شود. سپس این ولتاژ می تواند توسط یک ولتمتر خوانده شود.

نکته: این آزمایش به یک منبع تغذیه متغیر نیاز دارد. پنل مخصوص نصب قطعات می تواند با یک منبع تغذیه متغیر مانند ۵۲۱۴۹ جایگزین شود ولی باید در نظر داشت نمی توان از مرجع زمین آزمایشگاه استفاده کرد.

- کابل خاکستری (**e**) فوتوسل را به تقویت کننده (g) وصل کنید.
- صفحه اتصال STE (f) را با باتری ها و پتانسیومتر همانگونه که در شکل نشان داده شده است، بر پا کنید.
- هر دو کابل مشکی فوتوسل را به خروجی های منفی (-) پنل مخصوص نصب قطعات الکتریکی، وصل کنید.
- خروجی مثبت (+) پنل مخصوص نصب قطعات الکتریکی را به زمین تقویت کننده (g) وصل کنید. شکل ۱ را مشاهده کنید.
- ورودی مولتیمتر را به خروجی تقویت کننده و مولتیمتر دیگر را به خروجی صفحه اتصال وصل کنید.
- اگر کم کردن نوفه های الکتریکی لازم است، میز اپتیکی (و احتمالا میله فوتوسل) را به زمین تقویت کننده متصل کنید. در شرایط با نوفه زیاد این پایانه را به زمین بیرونی جعبه تقسیم وصل کنید. معمولا این اتصالات نیاز نخواهد بود.



شکل ۵- شرح تصویری نصب بخش الکتریکی

روش انجام آزمایش

توجه: اگر پتاسیم از لایه حساس به نور کاتد به روی حلقه آندی رسوب کرده باشد، باعث یک شار الکترونی خواهد شد که در نتیجه آزمایش تاثیر خواهد گذاشت. در صورت لزوم فوتوسل را طبق برگه راهنمای فوتوسل آن را گرم (سرخ) کنید.

کثیفی روی فوتوسل می تواند به نشت جریان بین آند وکاتد بیانجامد که در اندازه گیری ولتاژ حد U_0 تاثیر خواهد گذاشت. فوتوسل را با الکل تمیز کنید.

۱. هر دو مولتی متر را روشن کرده و نشانگر آن را روی DC ۱۰± قرار دهید.
۲. صافی تداخلی را بر روی نور زرد (λ_{hg}=578 nm) در مسیر پرتو قرار دهید.
۳. پتانسیومتر را بر روی بیشترین ولتاژ معکوس تنظیم کنید، چیزی در حدود ۴/۵- ولت.
۴. جریان نوری را مشاهده کنید. توجه کنید که تقویت کننده در حساسترین حالت ، ۱۰۰ گیگا اهم می باشد. بنابراین جریان نوری ۱۰ pA مساوی ۱ V خروجی خواهد بود.
۵. چشمی پشت صافی (d) را به گونه ای تنظیم کنید که برای همه طول موج ها تقریبا یک جریان معکوس به دست آورید. از یک چشمی کاملا باز برای نور زرد شروع کنید، زیرا این نور دارای کمترین شدت است.

در صورت امکان، حالت چشمی دیگر (b) را تغییر ندهید، زیرا ممکن است ناحیه نور خورده فوتوسل را تغییر دهد.

۶. ولتاژ معکوس را به صورت پله ای کم کنید. (برای مثال با ضرایب ۰/۵ ولت) جریان نوری ایجاد شده را ثبت کنید. هنگامی که جریان نوری شروع به افزایش کرد، پله های کوچکتری استفاده کرده و قبل از خواندن مقادیر تا ثابت شدن جریان منتظر بمانید.

۷. اندازه گیری را با رنگ های آبی (λ_{hg}=۴۳۶ nm)، بنفش (λ_{hg}=۴۰۵ nm) و فرا بنفش (λ_{hg}=۳۶۵ nm) هم انجام دهید.

نکته: اگر چشمی دیافراگم خیلی نزدیک باشد، ممکن است بر یکنواخت بودن نقطه نورانی روی کاتد تاثیر بگذارد. هم چنین، جریان های نشتی نقش مهمی را خواهند داشت.

❖ تعیین ثابت پلانک با استفاده از روش ولتاژ معکوس

انجام آزمایش با استفاده از منشور و جعبه آزمایش فوتوالکتریک

اهداف آزمایش

۱. پیدا کردن مشخصه ولتاژ-جریان در فوتوسل

۲. اندازه گیری انرژی جنبشی الکترون ها به عنوان تابعی از بسامد نور

۳. تعیین ثابت پلانک

وسایل لازم:

- فوتوسل
- -جعبه آزمایش فوتو الکتریک
- محفظه فوتوسل
- لامپ جیوه
- منبع مخصوص لامپ جیوه
- تقویت کننده ولتاژ

- پتانسیومتر ۱ کیلواهمی
- -کلید قطع و وصل
- پنل مخصوص نصب قطعات الکتریکی
- -سری ۱۰ تایی قطعات رابط پنل
- -۳ نگهدانده باتری روی پنل مخصوص نصب قطعات الکتریکی ، ۳ عدد باتری ۱/۵ ولتی، ۲ ولت متر DC، سه راهی برق،سیم های رابط

اصول و نکات مربوط به این آزمایش دقیقا مشابه با قسمت ۱ می باشد، لذا نیازی به تکرار آنها نیست. تنها در این آزمایش یک منشور دید مستقیم درون یک جعبه آزمایش فوتو الکتریک قرار داده شده تا طول موج را انتخاب کند. خطوط طیفی حاصل از یک لامپ پر فشار جیوه به وسیله منشور از هم تفکیک شده و توسط یک شکاف قابل حرکت درون بخش اپتیکی می توان آنها را یک به یک انتخاب کرد.

نکات ایمنی

- لامپ جیوه با فشار بالا در ناحیه فرابنفش نیز طول موج تابشی دارد و در نتیجه می تواند به چشم آسیب برساند و باعث سوزش پوست شود.

-هرگز به صورت مستقیم به نوری که از لامپ جیوه منتشر می شود نگاه نکنید.

- پوست را بیش از چند دقیقه در معرض نور لامپ جیوه قرار ندهید.

طریقه نصب وسایل

الف: بخش اپتیکی

نکته: لامپ پر فشار جیوه پس از ۱۰ دقیقه گرم شده، بیشترین شدت خود را پیدا می کند. در آغاز آماده کردن وسایل آن را روشن کنید تا بتوانید اندازه گیری های خود را پس از اتمام کار نصب وسایل به سرعت شروع کنید. هنگام گرم شدن لامپ جیوه مقادیر خود را اندازه گیری نکنید.

۱. قسمت داخلی پنجره تابش (قسمت ۱۲ شکل ۶) را توسط کاغذ سفید بپوشانید و منشور دید مستقیم (قسمت ۶ شکل ۶) و لنز متصل به دیافراگم شکاف دار را (قسمت ۱۰ شکل ۶) از مسیرپرتو نور بردارید.

۲. اتصالات الکتریکی لازم را مطابق شکل ۷ انجام دهید.

۳. سیم رابط لامپ جیوه را به منبع تغذیه مخصوص وصل کنید.

۴. با دقت لامپ جیوه (قسمت ۱ شکل ۶) را در فاصله ۵ میلی متری در جلوی وسایل تنظیم شده خود قرار داده و روشن کنید.

۵. شکل لامپ جیوه (قسمت ۱ شکل ۶) را روی شکاف (قسمت ۴ شکل ۶) با لنزهای (قسمت ۳ شکل ۶) تشکیل دهید. (لامپ و لنز را تنظیم کنید.)

۶. با تنظیم لنزها و در صورت لزوم آینه شکل شکاف را روی پنجره تابشی (قسمت ۱۲ شکل ۶) تشکیل دهید.

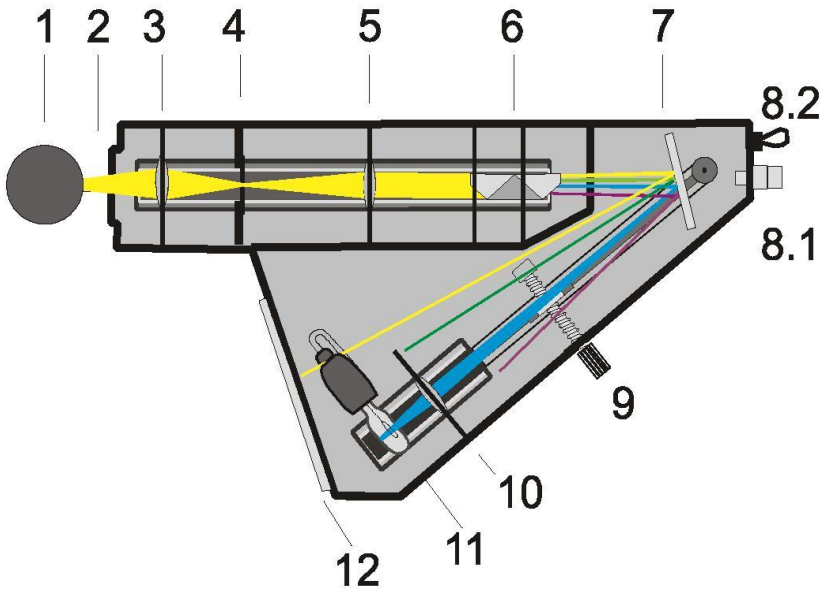
۷. منشور (قسمت ۶ شکل ۶) را در سر جای خود قرار دهید. در این صورت خطوط تابشی جیوه در قسمت داخلی پنجره هستند (قسمت ۱۲ شکل ۶) که خط بنفش آن در خارجی ترین قسمت قرار دارد. (مطمئن شوید که واشر لاستیکی مشکی درست درمکان خود قرار دارد به قسمتی که هیچ نوری از محیط نمی تواند داخل شود.)

۸. فوتوسل را در جای خود به قسمی قرار دهید که سطح روکش دار آبی - مشکی آن رو به آینه قرار گیرد.

۹. لنزها را با دیافراگم های شکاف دار سوار شده بر آن ها به گونه ای در مسیر پرتو نوری قرار دهید که تصویری از خطوط طیفی روی کاتد نوری تشکیل شود.

۱۰. لنز (قسمت ۵ شکل ۶) را به گونه ای تنظیم کنید که تصویری دقیق و واضح از خطوط طیفی روی شکاف (قسمت ۱۰ شکل ۶) به دست آید. به خاطر خطاهای کروماتیکی یا خطوط سبز- زرد کاملا واضح خواهند بود، سعی کنید وضوحی در حد واسط این دو حالت بیابید.

نور جیوه اکنون بایستی یک نقطه نورانی روی سطح روکش دار (ناحیه حساس) فوتوسل ایجاد کند.
نور نبایستی روی حلقه فلزی یا قسمتی از ناحیه روکش شده مشکی اتصالات به آن وصل شده اند بیافتد. نواحی لبه هم نبایستی روشن شوند.
نکته: دقت کنید که فوتوسل تمیز بماند، مخصوصا عاری از گرد و خاک و چربی و روغن؛ زیرا این گونه مواد می تواند رسانا باشند. اگر لازم بود قسمت خارجی را تمیز کنید.



شکل۶- شرح تصویری از محل قرار دادن وسایل درون **Compact arrangement**

ب: طریقه نصب قطعات الکتریکی (حالت استفاده از مدار الکترومتر با امپلی فایر)

فوتو الکترون های فرودی روی فلز فوتوسل یک جریان نوری ایجاد می کنند که توسط تقویت کننده تقویت شده و به ولتاژ تبدیل می شود. سپس این ولتاژ می تواند توسط یک ولت متر خوانده شود.

مدار تقویت کننده را همانطور که در شکل۷ نشان داده شده است نصب کنید .

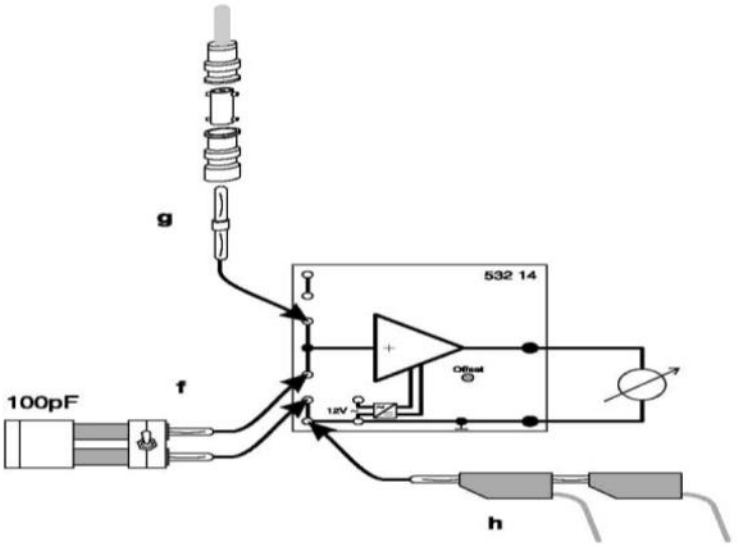
۱. کلید قطع و وصل را در قسمت f قرار دهید و خازن PF ۱۰ را به آن متصل نمایید .

۲. شاخه دو طرفه را در قسمت (g) قرار دهید و کابل BNC را به آن وصل کنید و این ها را به کابلی که از درون جعبه آزمایش فوتوالکتریک خارج می شود متصل کنید .

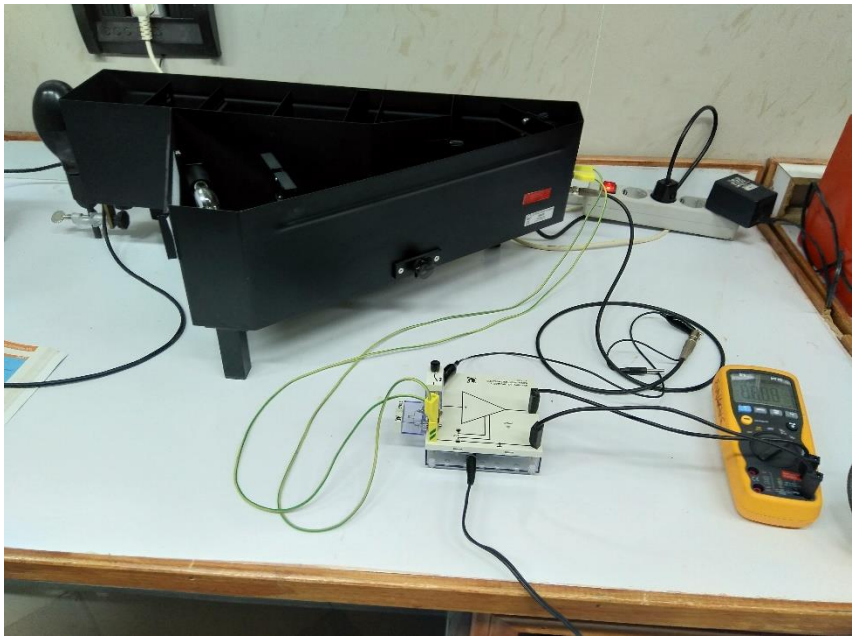
۳. هردو کابل خارج شده از فتوسل را به هم متصل و به اتصال زمین تقویت کننده وصل کنید. (قسمت h)

۴. مولتی متر را به قسمت خروجی تقویت کنند (j) متصل کنید .

۵. منبع تغذیه V ۱۲ را به تقویت کننده (به طوری که در شکل۹ نشان داده شده است) از طریق فیش خروجی متصل کنید .



شکل۷. شرح تصويري مربوط به بستن مدار الکترومتر با امپلي فاير



شکل۸. طریقه نصب وسایل آزمایش با استفاده از ولتمتر

روش انجام آزمایش

۱. مولتي متر را روشن كرده و نشانگر آن را روي ۱۰ V وDC قرار دهيد.

۲. جعبه آزمايش فوتوالكتريک را براي نور زرد تظيم كنيد پيچ چرخان (قسمت ۹ شكل ٦) را به گونه اي تنظيم كنيد كه سايه نشانگر (قسمت ۱۰ شكل ٦) روي خط طيفي زرد بيفتد.

۳. ولتاژ مربوط به هر نور را خوانده و يادداشت كنيد.

۶. جعبه آزمایش فوتوالکتریک را با نور سبز و قرمز و بنفش تنظیم کرده و اندازه گیری را تکرار کنید.

۷. نمودار ولتاژ بر حسب فرکانس نور را رسم کنید و از روی آن ثابت پلانک را محاسبه کنید.

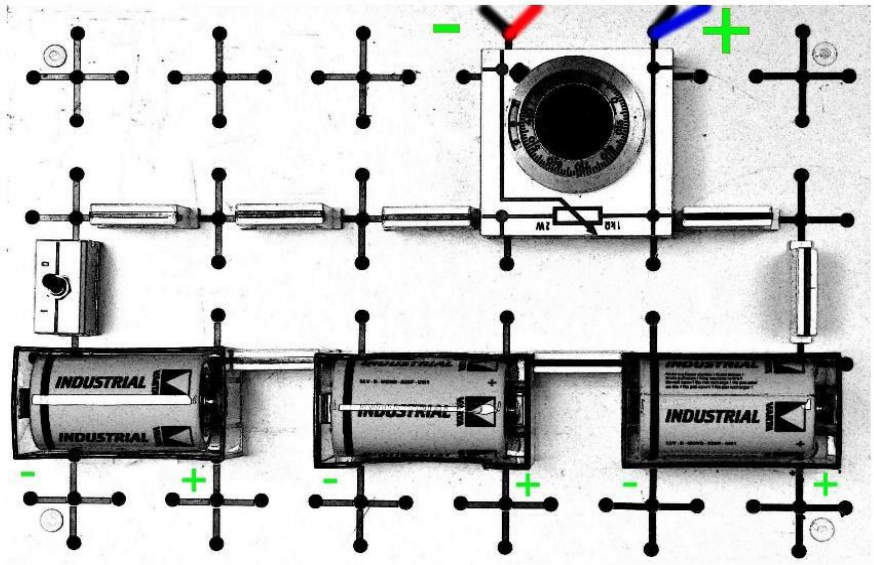
ج: طریقه نصب قطعات الکتریکی (حالت استفاده از پتانسیومتر)

1. باتری ها و پتانسیومتر را همان گونه که در عکس نشان داده شده است به صفحه اتصالات STE متصل کنید. (شکل ۹)

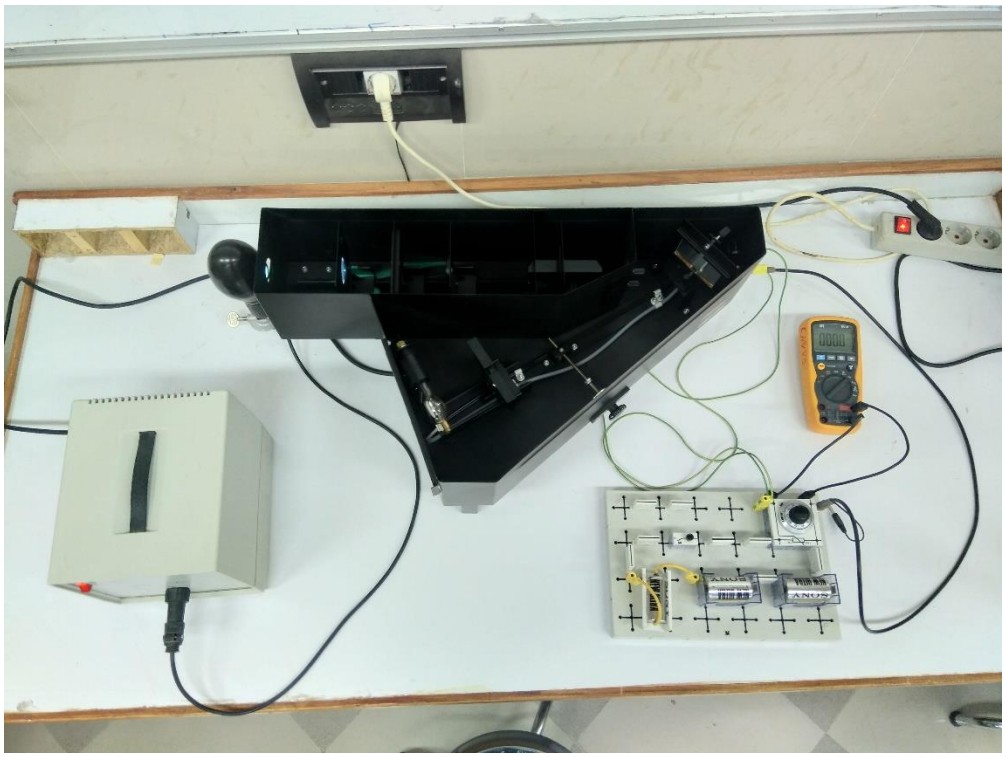
۲. هردو سیم زرد رنگ خارج شده از فتوسل را به هم متصل و به اتصال زمین تقویت کننده (قسمت h) وصل کنید.

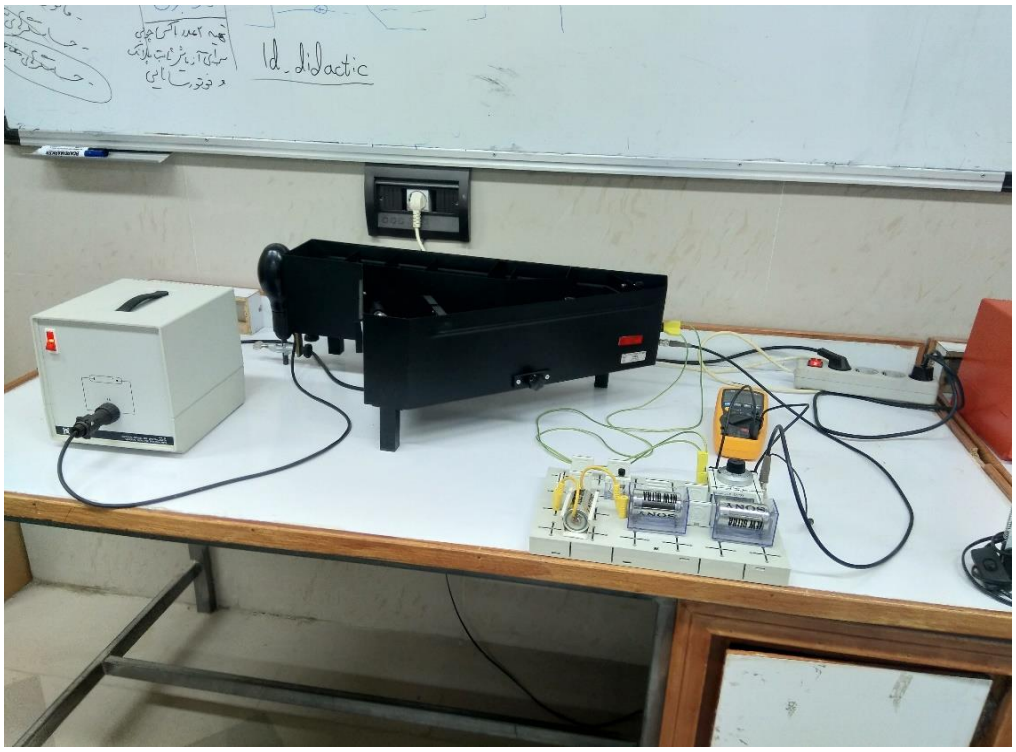
۳. کابلی BNC که از درون جعبه آزمایش فوتوالکتریک خارج می شود را با یک سیم سوسماری به شاخه دو طرفه در قسمت (g) وصل کنید.

۴. مولتی متر را به دو سر پتانسیومتر وصل کنید.



شکل ۹. شرح تصویری از نصب بخش الکتریکی





شکل۱۰. طریقه نصب وسایل آزمایش (حالت استفاده ازپتانسیومتر)

روش انجام آزمایش

توجه: اگر پتاسیم از لایه حساس به نور کاتد به روی حلقه آندی رسوب کرده باشد، باعث یک شار الکترونی خواهد شد که در نتیجه آزمایش تاثیر خواهد گذاشت.

۱. مولتی متر را روشن کرده و نشانگر آن را روی ۱۰ V و DC قرار دهید.

۲. جعبه آزمایش فوتوالکتریک را برای نور زرد تظیم کنید پیچ چرخان (قسمت ۹ شکل ۶) را به گونه ای تنظیم کنید که سایه نشانگر (قسمت ۱۰ شکل ۶) روی خط طیفی زرد بیفتد.

۳. پتانسیل را برای بیشترین ولتاژ معکوس تنظیم کنید، چیزی در حدود 4.5 - ولت.

۵. ولتاژ معکوس را به صورت پله ای کم کنید. (برای مثال با ضرایب ۰,۵ ولت) ولتاژ ایجاد شده را ثبت کنید.

۶. جعبه آزمایش فوتوالکتریک را با نور سبز و قرمز و بنفش تنظیم کرده و اندازه گیری را تکرار کنید.

آزمایش شماره ۸ : ترموکوپل‌ها و اثر ترموالکتریک

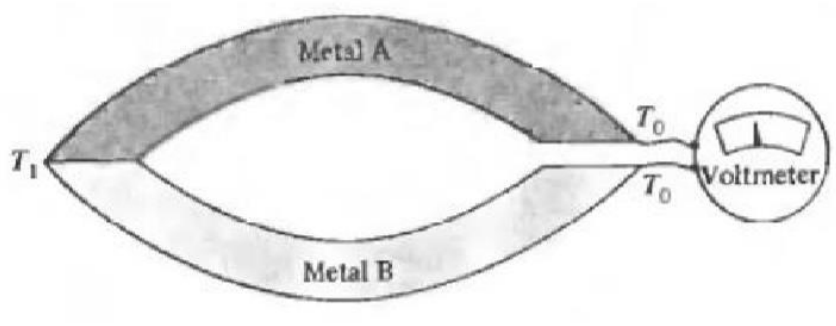
1-اهداف :

- شناسایی اثر ترموالکتریک در فلزات
- بررسی وابستگی اختلاف پتانسیل ترموکوپل به تغییرات دما ؛
- مقایسه ی اثر ترموالکتریک در ترموکوپل های مختلف .

2- مبانی نظری :

اختلاف دما در دو مقطع از یک فلز موجب اختلاف پتانسیل الکتریکی در آن می شود. این پدیده اثر ترمو الکتریک نام دارد.

توجیه فیزیکی ترمو الکتریک به شرح زیر است:



شکل 1. هر دو فلز Aو B در دو محیط گرم و سرد قرار گرفته اند و ولت سنج اختلاف ولتاژهای ترموالکتریک آنها را نشان می دهد که متناسب با اختلاف دمای مشترک آنهاست .

اختلاف دما در دو نقطه از یک فلز موجب اختلاف پتانسیل بین این دو نقطه می شود که اختلاف پتانسیل ترموالکتریک نام دارد زیرا سرعت میانگبن الکترون ها در نقطه گرم بیشتر از نقطه سرد است. در نتیجه بطور میانگین تعداد الکترون هایی که از نقطه گرم به سرد میرسند بیشتر از جهت عکس است و در نقطه سرد پتانسیل منفی و در نقطه گرم پتانسیل مثبت ایجاد می گردد.

برای اندازه گیری اختلاف پتانسیل ترمو الکتریک نمیتوان نقاط سرد و گرم را به ولتمتر متصل نمود زیرا اثر ترمو الکتریک در سیم اتصال نیز بوجود می آید. در نتیجه از دو فلز به شکل زیر استفاده می کنیم و سیم های اتصال به ولتمتر را در یک دما قرار می دهیم. در این مدار آنچه اندازه گیری می شود اختلاف بین ولتاژ های ترمو الکتریک دو فلز است و این اختلاف متناسب است با اختلاف دمای محیط های سرد و گرم. اگر محیط سرد ثابت و در دمای اتاق باشد عدد ولتمتر بستگی به دمای محیط گرم دارد و می توان از آن بعنوان دماسنج ترمو الکتریک به روش ترموکوپل استفاده نمود.

با توجه با اینکه اختلاف پتانسیل ترموالکتریک در ترموکوپل به نوع هر دو فلز وابسته است معمولا خاصیت ترموالکتریک مواد نسبت به یک فلز مرجع به نام « کانستنتین » سنجیده می شود .

ضریب ترمو الکتریک یک فلز (Q) با معادله $\vec{E} = Q(-\vec{\nabla}T)$ تعریف می شود که در آن $\vec{E}$ میدان الکتریکی درونی است که بر اثر جابجایی بارهای الکتریکی ایجاد شده است و این جابجایی و میدان، حاصل گرادیان دما $\left(\vec{\nabla}T\right)$ در فلز است. بر اساس نظریه الکترون آزاد مقدار Q عبارتست از:

$$\mathrm{Q} = 1.42 \times \left(\frac{k_B T}{\varepsilon_F}\right) \times 10^{-4} \frac{V}{K^0}$$

که در آن k_B ثابت بولتزمن ، ε_F انرژی فرمی فلز و T دمای مطلق است.

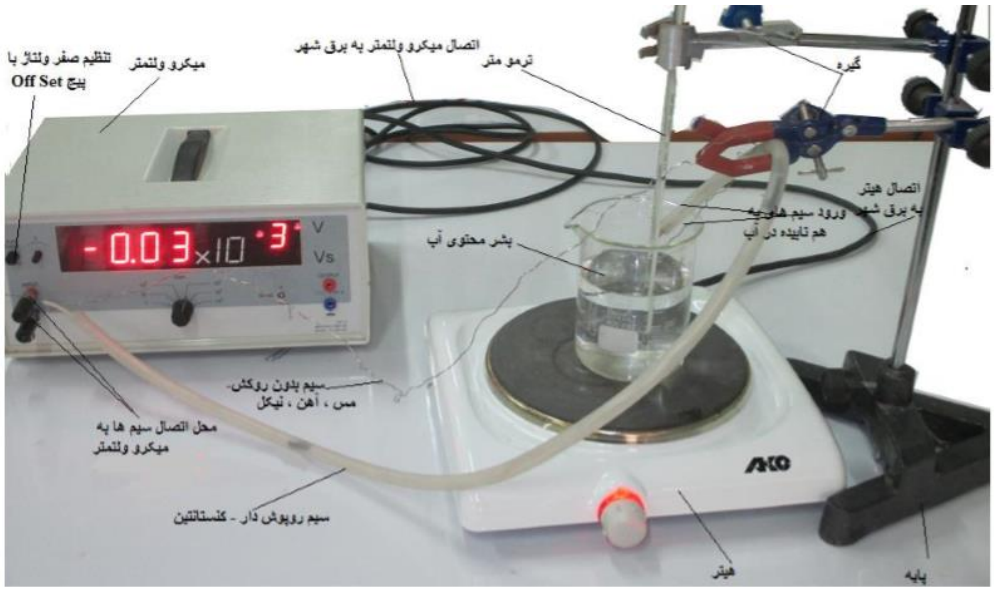
3-شرح آزمایش

مواد و وسایل مورد نیاز:

میکرو ولتمتر، بشر، دماسنج الکلی، هیتر برقی، ترموکوپل های کنستانتین+مس و کنستانتین+آهن و کنستانتین+کروم‌نیکل

مراحل آزمایش:

ورودی های ولتمتر را به هم متصل کرده و با استفاده از کلید و پیچ offset مقدار ولتاژ خوانده شده در رنج میلی ولت را صفر کنید. سپس سیم روکش دار ترموکوپل را به ورودی منفی و سیم بدون روکش را به ورودی مثبت وصل کنید.



شکل 2. تعیین ولتاژ ترموالکتریک بصورت تابعی از اختلاف پتانسیل

بشر را از آب پر کرده و روی هیتر قرار دهید، سپس دماسنج و ترموکوپل را طوری در آب قرار دهید که اولاً سر ترموکوپل و مخزن دماسنج تا حد ممکن به هم نزدیک باشند و ثانیاً هیچکدام با کف ظرف در تماس نباشند.

حال هیتر را روشن کرده و دما را بتدریج زیاد کنید تا آب به دمای جوش برسد. در طول این مدت با هر دو درجه افزایش دما، ولتاژ ترموکوپل را خوانده و آن را در جدولی ثبت کنید.

دقت کنید که روکش سیم با سطح هیتر تماس پیدا نکند و در طول آزمایش قسمت‌های بدون روکش ترموکوپل با هم یا هیچ وسیله فلزی دیگری تماس نداشته باشد. همچنین در طول آزمایش نباید دمای محل اتصال ترموکوپل و ولتمتر یا فاصله سر ترموکوپل و دماسنج تغییر کند.

آزمایش را برای دو ترموکوپل دیگر تکرار کنید.

گزارش کار:

1-با استفاده از داده های گردآوری شده، نمودار ولتاژ هر یک از ترموکوپل ها را بر حسب دما رسم و تابع ریاضی نمودار های حاصل را بدست آورید.[1]

2-سه ترموکوپل را با هم مقابسه نمایید. کدام ترموکوپل برای اندازه‌گیری دما مناسب‌تر است؟ چرا؟

3-دماسنج های ترموکوپل چه امتیازاتی نسبت به دماسنج های دیگر دارند؟

4-آیا عددی که میکروولتمتر سنج نشان میدهد با اختلاف دمای دو نقطه گرم و سرد متناسب است؟چرا؟

5-چرا نمی‌توان ولتاژ ترموالکتریک را در یک سیم مستقیما با ولت متر اندازه کیری نمود؟

.

آزمایش شماره ۹ : اثر هال

هدف آزمایش:

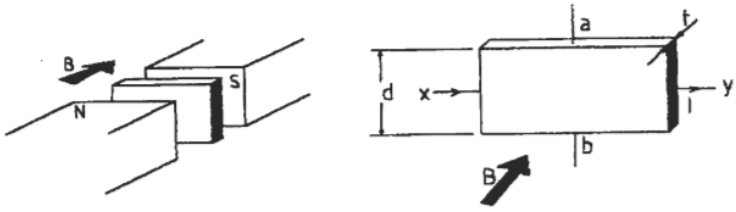
تعیین نوع حامل‌های بار الکتریکی در رساناها، محاسبه چگالی حاملهای بار در رساناهای مورد آزمایش.

وسایل آزمایش:

آهنربای الکتریکی(الکترومگنت ۰،٦T)،منبع تغذیه آهنربا، برد مخصوص هال با ورقه نقره، برد مخصوص هال با ورقه مس، میکرو ولتمتر، منبع جریان

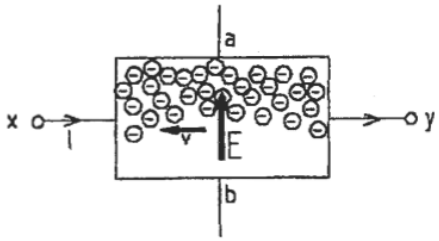
تئوری آزمایش:

با قرار دادن یک ورقه فلزی مثلاً نقره یا مس در میدان مغناطیسی یکنواخت و عبور دادن جریان الکتریکی از آن، یک ولتاژ عرضی به نام ولتاژ «هال» ایجاد می‌گردد که با تعیین جهت این ولتاژ نوع حامل‌های بار و با اندازه‌گیری مقدار ولتاژ هال چگالی حامل‌های بار آزاد الکتریکی بدست می‌آیند.



(شکل ۱):

فرض کنید ورقه‌ای رسانا به ضخامت t مطابق شکل (۱) در میدان مغناطیسی یکنواخت با شدت B قرار گرفته که خطوط میدان بر سطح رسانا عمود است. اگر شدت جریان I در امتداد طول رسانا عبور داده شود، به هر یک از بارهای الکتریکی حامل جریان، نیروی (1) $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$ وارد خواهد شد که اگر نوع بارها مثبت باشند با توجه به شکل از چپ به راست جاری می‌شوند و نیروی وارده آنها را به سمت نقطه‌ی a می‌کشاند و چنانچه نوع حامل‌های بار منفی باشند، در خلاف جهت جریان I یعنی از راست به چپ جریان می‌یابند و باز هم نیروی وارده F آنها را به نقطه a سوق می‌دهد. یعنی اگر پتانسیل a بیشتر از b باشد نوع حامل‌ها از نوع مثبت و هرگاه پتانسیل a کمتر از b باشد نوع حامل‌ها منفی خواهد بود.



(شکل ۲):

در اثر متراکم شدن بارها بارهای الکتریکی همنام در یک سمت از عرض ورقه، نیروی دافعه بین آنها افزایش می‌یابد بطوریکه با نیروی مغناطیسی مقابله می‌شود یعنی: (2) $qvB = Eq$ و لذا:

$$vB = E \quad (3)$$

که اگر پهنای ورقه را با d نمایش دهیم، موجب اختلاف پتانسیلی معادل

$$V_H = Ed = vBd \quad (4)$$

که به ولتاژ هال معروف است می‌گردد. در رابطه اخیر v سرعت حرکت یا سرعت سوق بارهای الکتریکی است که با استفاده از چگالی جریان داریم:

$$v = v_d = \frac{j}{nq} = \frac{I/A}{nq} \quad (5)$$

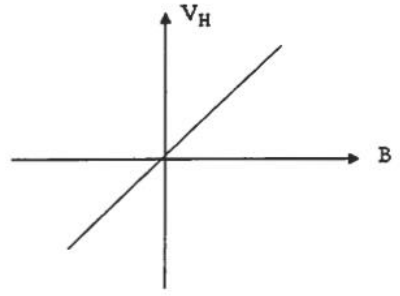
که A=td مساحت مقطع ورقه و n چگالی حامل‌های جریان الکتریکی یعنی تعداد حامل‌های بار موجود در واحد حجم می‌باشد. با قرار دادن این مقدار در رابطه (٤) داریم:

$$V_H = \frac{IB}{nqtd} d = \frac{IB}{nqt} \quad (6)$$

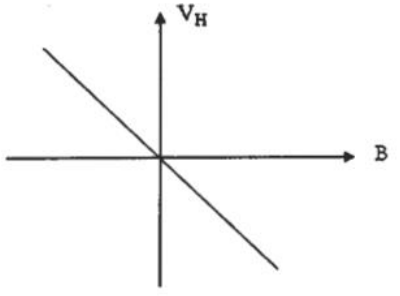
بطوریکه از معادله (٦) پیداست در صورت ثابت نگه داشتن I رابطه‌ی ولتاژ هال، V_H، با شدت القاء مغناطیسی، B ، یک رابطه خطی است که ضریب زاویه این خط $\frac{I}{nqt}$ و هر گاه B را ثابت نگه داریم رابطه V_H با شدت جریان I ورقه خطی بوده و ضریب زاویه آن $\frac{B}{nqt}$ می‌باشد.

مقدار $R_H = \frac{1}{nq}$ را ضریب هال می‌نامند و می‌توان نوشت: $V_H = R_H \frac{BI}{t}$

زمایش نشان می‌دهد که ضریب زاویه خط فوق برای فلزاتی مانند مس منفی (اثر هال عادی) و در ورد رساناهائی مانند روی مثبت (اثر هال غیر عادی) است که اولی به خاطر وجود الکترون‌های زاد و دومی مربوط به کمبود الکترون‌های آزاد در رسانا می‌باشد . عامل تعیین کننده در ولتاژ هال ختلاف در تحرک حاملهای بار است. ولتاژ هال فقط در صورتی می تواند برقرار شود که حاملهای ار مثبت و منفی تحرکهای متفاوتی داشته باشند.

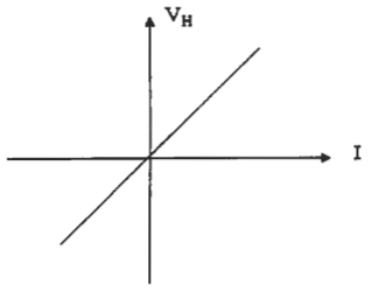


ولتاژ هال بصورت تابعی از القاء مغناطیسی B در مورد نمونه روی

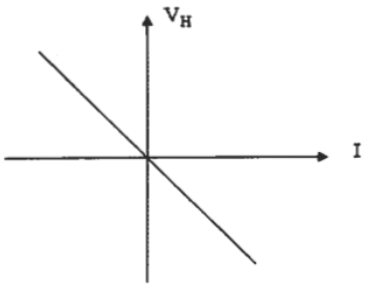


ولتاژ هال بصورت تابعی از القاء مغناطیسی B در مورد نمونه مسی

(شکل ۳)



ولتاژ هال بصورت تابعی از شدت جریان I
در مورد نمونه روی



ولتاژ هال بصورت تابعی از شدت جریان I
در مورد نمونه مسی

(شکل ۴)

روش آزمایش:

مدار این آزمایش از سه بخش تشکیل شده است. الف) مدار سیم پیچهای مولد میدان مغناطیسی: متشکل از منبع تغذیه، الکترومگنت و آمپرمتر ب) مدار تابلو هال برای عبور جریان طولی از ورقه رسانا شامل: منبع تغذیه، تابلو اثر هال و آمپرمتر ج) مدار تابلو هال برای اندازه گیری ولتاژ هال: متشکل از تابلو اثر هال و میکرو ولتمتر

توجه: حداکثر جریان عبوری از ورقه رسانا ۸ آمپر و حداکثر جریان عبوری از سیم پیچهای الکترومگنت ۵ آمپر است.

سیم پیچ‌های آهنربای الکتریکی را روی بازوهای قائم آن قرار دهید و آن‌ها را با سیم رابط بطور سری ببندید بطوریکه جهت جریان در آن‌ها عکس یکدیگر شده و قطبین مغناطیسی آنها مخالف یکدیگر گردد. پایه‌ی یکی از بردهای هال را درون سوراخ کف هسته U شکل قرار دهید بطوریکه صفحه تابلو(برد) عمود بر امتداد میدان گردد. دو قطعه هسته مستطیلی را روی هسته U شکل قرار داده و توسط دو گیره‌ی فنری محکم کنید که در دو طرف تابلو قرار گرفته و فاصله آن‌ها از یکدیگر ۷mm باشد (در این حالت هسته‌ها از طرفین بر تابلو مماس می‌شوند).

سیم‌های رابط میکرو ولتمتر را به خروجی ولتاژ هال که در مجاورت پتانسیومتر تابلو هال (به شکل ۵ نگاه کنید) قرار دارند وصل کنید (نقاط a و b) و با تغییر دادن پیچ Zero ad. میکروولتمتر را صفر کنید. منبع جریان الکتریکی ۲۰-۰ آمپر را به اتصال‌های دو سر ورقه مورد آزمایش که در تابلو تعبیه شده است متصل کنید.

«برد» یا «تابلو» هال شکل(۵)

الف) رسم منحنی V_H بر حسب B:

جریان عبوری از ورقه I را به ۸ آمپر برسانید. با عبور جریان از ورقه، حتی در غیاب میدان مغناطیسی، میکروولتمتر ولتاژی را در محل اتصال عرضی تابلو هال نشان می دهد. زیرا اتصالهای الکتریکی عرضی روی ورقه هرگز در یک امتداد قرار ندارند. و این امر موجب انحراف جریان و ایجاد یک اختلاف پتانسیل عرضی می شود. برای رفع این پتانسیل ناخواسته، با پیچاندن پتانسیومتر روی تابلو هال و میکروولتمتر را صفر نمائید.

آهنربای الکتریکی را به منبع تغذیه آن متصل نموده و شدت جریان عبوری از آهنربای الکتریکی I_M را با فواصل ۰،۵ آمپری تغییر داده و هر بار ولتاژ هال را از روی میکروولتمتر قرائت کنید و نتایج آزمایش را در جدولی مانند جدول زیر خلاصه نمائید.

با استفاده از نمودار تغییرات القاء مغناطیسی B بر حسب شدت جریان I_M (نمودار ۱) مقادیر B را تعیین و در جدول درج نمائید .

	I(A) ورقه	I_M(A) آهنربا	B(mT)	V_H(μv)
۱				
۲				
۳				
٤				
٥				
٦				

منحنی تغییرات V_H بر حسب B را ترسیم کنید. با تعیین ضریب زاویه خط و در نظر گرفتن ضخامت ورقه، مقدار R_H را بدست آورید. با قرار دادن در رابطه $R_H = \frac{1}{ne} \Rightarrow n = \frac{1}{eR_H}$ که در آن e بار الکتریکی الکترون و برابر $1/6 \times 10^{-19} C$ می‌باشد، چگالی حامل‌های بار در رسانای مورد آزمایش را بدست آورید.

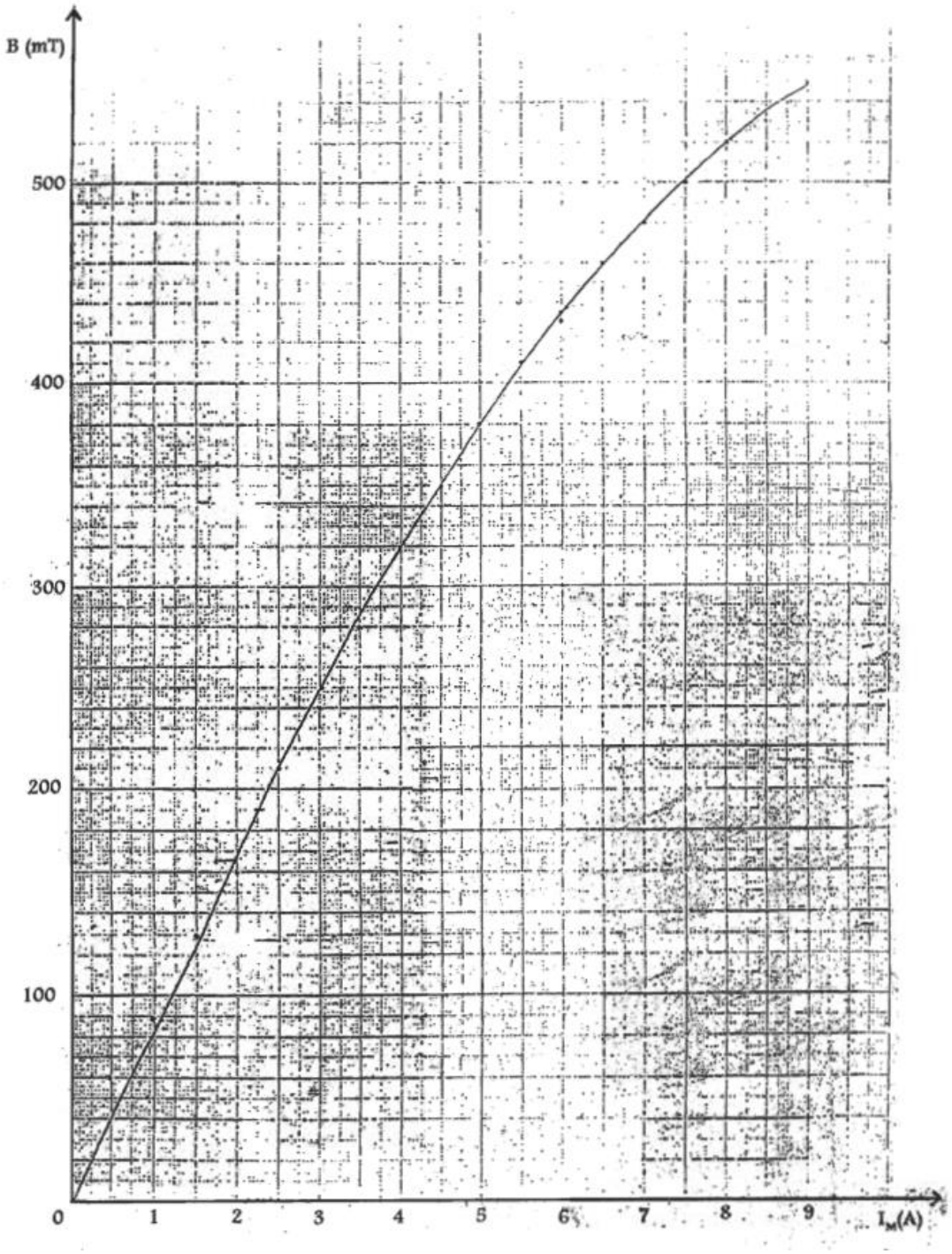
ب) رسم منحنی V_Hبر حسب I :

شدت جریان منبع تغذیه آهنربای الکتریکی I_M را حدود ٤ آمپر تنظیم نموده و با تغییر دادن شدت جریان ورقه، ولتاژهای مختلف V_H را اندازه‌گیری کنید و نتایج را در جدول زیر درج نمائید.

	I_M (A) آهنربا	B(mT)	I(A) ورقه	V_H (μv)
١				
٢				
٣				
٤				
٥				
٦				

منحنی تغییرات V_H را بر حسب I ترسیم نمائید. با تعیین ضریب زاویه خط و در نظر گرفتن ضخامت ورقه، مقدار R_H ، و با قرار دادن در رابطه: $R_H = \frac{1}{ne} \Rightarrow n = \frac{1}{eR_H}$ چگالی حامل‌های بار در رسانای مورد آزمایش را بدست آورید.

دو آزمایش فوق را در مورد ورقه نقره‌ای و یا روی تکرار و نتایج آزمایش را در جداولی ثبت و با ترسیم نمودار، ضرایب‌ها را برای هر یک تعیین و چگالی حامل‌های بار و نوع حامل‌ها را معلوم نمایئد. نتایج حاصل را با نتایج منابع معتبر مقایسه کنید. این آزمایش را می توان در دماهای بالاتر انجام داد و تاثیر دما بر تحرک و تراکم حاملها را نیز بررسی کرد.



نمودار (۱) : نمودار تغییرات القاء مغناطیسی B بر حسب شدت جریان I_M در محل قرار گرفتن ورقه هادی جریان زمانی که فاصله قطبین مگنت ۷ میلیمتر است.