دانشگاه صنعتی شاهرود

## دانشکده فیزیک

# دستور کار آزمایشگاه فیزیک جدید

## مخصوص دانشجویان رشته فیزیک

ویرایش بهمن ۱۴۰۱

**فهرست آزمایشات** **صفحه**

**تهیه گزارش کار** ۲
**آزمایش شماره ۱ :** اندازه گیری نسبت $e/m$ الکترون ۳
**آزمایش شماره ۲ :** اندازه گیری بار الکتریکی الکترون (قطره روغن میلیکان) ۷
**آزمایش شماره ۳ :** اثر فتوالکتریک و تعیین ثابت پلانک ۱۳
**آزمایش شماره ۴ :** سری بالمر و طیف اتمی سیستم های دو الکترونی He و Hg ۱۷
**آزمایش شماره ۵ :** تعیین و بررسی طیف تابشی لامپ‌های هلیوم و جیوه ۲۳
**آزمایش شماره ۶ :** تحقیق تخلیه الکتریکی گازها ۲۶
**آزمایش شماره ۷ :** تابش جسم سیاه ۳۱
**آزمایش شماره ۸ :** اثر هال ۳۸
**آزمایش شماره ۹ :** آزمایش فرانک هرتز ۴۴
**آزمایش شماره ۱۰ :** پدیده زیمن ۵۰

## تهیه گزارش کار

یادگیری نحوه نوشتن یک گزارش آزمایش کامل و ارائه نتایج و تحلیل به شکل علمی و دقیق یکی از هدف‌های درس آزمایشگاه است. به این منظور لازم است دانشجویان گزارش آزمایش را در ابتدای جلسه بعدی آزمایش تحویل دهند.
یک گزارش آزمایش باید دارای بخش های زیر باشد:

- صفحه نخست شامل عنوان آزمایش، نام، نام خانوادگی و شماره دانشجویی آزمایشگر، تاریخ انجام آزمایش و تحویل گزارش کار
- موضوع آزمایش
- تئوری (مختصر)؛ در این بخش پس از مقدماتی مختصر، سوال یا مفهومی را که در آزمایش درپی بررسی آن هستید را بیان نمائید.
- نحوه انجام آزمایش و نکاتی که باید در حین انجام آزمایش مورد توجه قرار گیرند (مختصر)
- رسم نمودارها، تحلیل دقیق داده ها با توجه به خواسته های آزمایش
- محاسبه خطاها و دلایل بروز خطا
- ارائه راهکارهای مناسب جهت بهبود شرایط آزمایش
- پاسخ به سئوالات

باید توجه داشت هر کمیتی با واحد مورد نظر آن ذکر شود. برای نوشتن گزارش باید ارقام بامعنی در محاسبات و ارائه نتایج مورد توجه قرار گیرد. برای رسم منحنی ها از کاغذ میلیمتری یا نرم افزارهای محاسباتی موجود استفاده شود.

## برخی نکات که لازم است مورد توجه دانشجویان قرار گیرد:

۱- دانشجویان عزیز باید به موقع سر کلاس حاضر شوند، تاخیر بیش از ۵ دقیقه نمرهٔ منفی انضباط را در پی داشته و تاخیر بیش از ۱۵ دقیقه موجب محرومیت از کلاس و ثبت نمرهٔ صفر برای گزارش آزمایش همان جلسه خواهد شد.
۲- مدرس یا دستیار آزمایشگاه در مورد نحوه انجام و مطالب آزمایش هر جلسه سوال و پرسش خواهند داشت. دانشجویان آماده و با مطالعه دستور کار آزمایش مربوطه سر کلاس حاضر شوند، در غیر این صورت نمره ارزشیابی آمادگی، تخصیص نخواهد یافت.
۳- دانشجو در طول کلاس موظف است به انجام آزمایش مربوطه پرداخته و مزاحمتی برای گروه های دیگر ایجاد نکند.
۴- دانشجویان موقع اتمام کلاس باید میز خود را مرتب کرده و تمام وسایل آزمایش را به طور کامل و مرتب روی میز خود قرار داده و به مدرس یا دستیار آزمایشگاه تحویل داده و سپس کلاس را ترک نمایند.
۵- در انتهای هر جلسه جداول داده های ثبت شده گروه خود را با درج مشخصات کامل (نام و نام خانوادگی، شماره و عنوان آزمایش و تاریخ و ساعت انجام آزمایش) تحویل دهند. بدیهی است بدون این داده ها امکان تصحیح گزارش کار وجود ندارد.
۶- وسایل شخصی دانشجویان (اعم از کیف ، کوله ، کتاب ، کاپشن و غیره ) روی میز را اشغال ننماید و با وسایل آزمایشگاه تداخل بوجود نیاید.
۷- در صورت غیبت، دانشجو حق حضور در دیگر گروهها را نداشته و نمره مربوط به آزمایش روزی که غایب بوده صفر لحاظ خواهد شد.

**آزمایش شماره ۱**

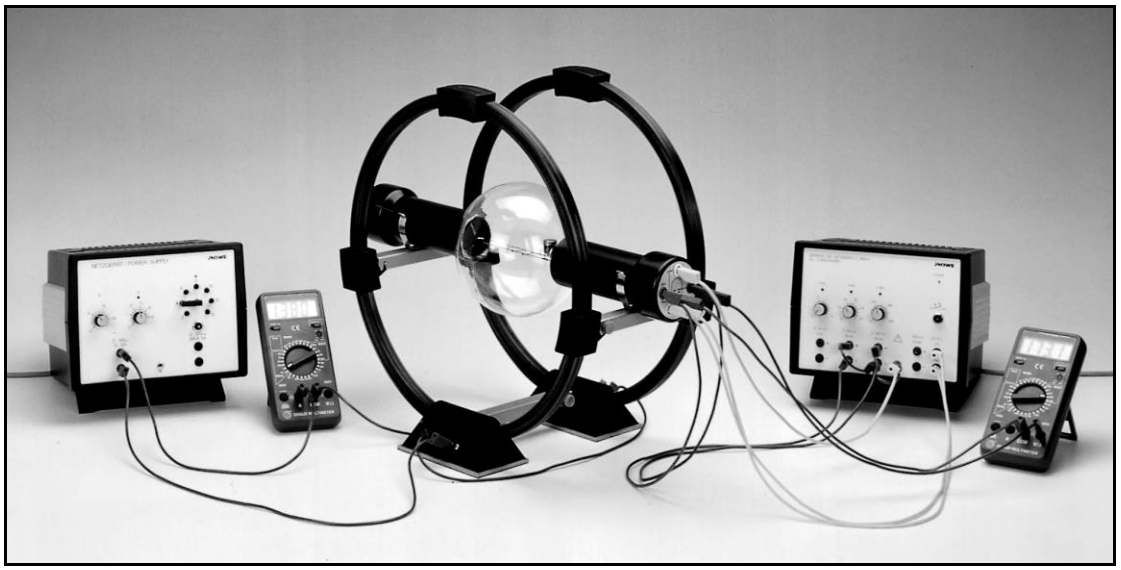
# اندازه گیری نسبت $\frac{e}{m_\circ}$ الکترون

**هدف آزمایش:**

اندازه گیری نسبت بار به جرم الکترون با استفاده میدانهای الکتریکی و مغناطیسی

**وسایل آزمایش:**

سیم پیچهای هلمهولتز، حباب تولیدکننده الکترون ، دو عدد منبع تغذیه، یک آمپرمتر و یک ولتمتر



**تئوری آزمایش:**

اگر به یک الکترون به جرم $m_\circ$ و بار الکتریکی $e$ توسط اختلاف پتانسیل $U$ شتاب داده شود، انرژی جنبشی آن برابر خواهد شد با:

$$\frac{1}{2} m_\circ V^2 = eU \qquad (۱)$$

که در آن $V$ سرعت الکترون است.

در یک میدان مغناطیسی $\vec{B}$ نیروی لورنتس وارد بر یک الکترون با سرعت $\vec{V}$ که در این میدان حرکت می کند برابر است با:

$$\vec{F} = e\vec{V} \times \vec{B} \qquad (۲)$$

اگر میدان مغناطیسی یکنواخت و سرعت الکترون عمود بر این میدان باشد ، مسیر الکترون دایره ای به شعاع $r$ خواهد بود. با مساوی قرار دادن نیروی جانب مرکز و نیروی لورنتس خواهیم داشت:

$$\frac{m_\circ V^2}{r} = eVB \qquad (۳)$$

از این معادله $V$ سرعت الکترون بصورت زیر بدست می آید:

$$V = \frac{e}{m_\circ} B r \qquad (۴)$$

که در آن $B$ شدت میدان مغناطیسی است.

باحذف $V$ از معادله (۱) و (۴) خواهیم داشت

$$\frac{e}{m_\circ} = \frac{2U}{(Br)^2} \qquad (۵)$$

برای محاسبه میدان مغناطیسی $\vec{B}$ معادله اول و چهارم ماکسول را بکار می بریم و در حالتی که میدان الکتریکی مستقل از زمان است خواهیم داشت: (۶)

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

که $S$ سطح بسته انتگرال گیری است. و همچنین

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_\circ I = \mu_\circ \int_A \vec{J} \cdot d\vec{A} \qquad (۷)$$

که در آن $\mu_\circ$ برابر است با:

$$\mu_\circ = 4\pi \times 10^{-7} \cong 1.257 \times 10^{-6} \ \frac{T.m}{A}$$

$C$مسیر بسته انتگرال گیری است که به سطح $A$ محدود می شود و $\vec{J}$ چگالی جریان الکتریکی است. همچنین می دانیم که میدان مغناطیسی $B$ حاصل از یک جریان دایره ای $I$ روی محورش و در فاصله $a$ از مرکز این دایره از رابطه زیر بدست می آید.

$$B = \frac{\mu_\circ I R^2}{2(R^2 + a^2)^{3/2}} \qquad (۸)$$

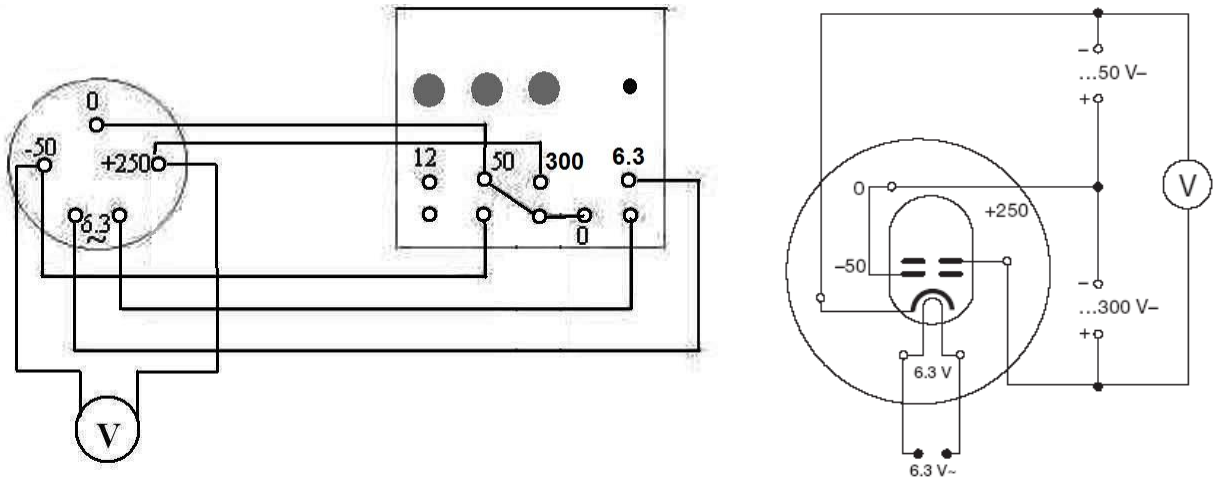
که در آن $R$ شعاع دایره است. برای دو سیم پیچ هلمهولتز که در این آزمایش مورد استفاده قرار میگیرند $a = \frac{R}{2}$ است و اگر تعداد دور سیم پیچها را $n$ بنامیم خواهیم داشت:

$$B = (4/5)^{3/2} \mu_\circ n \frac{I}{R} \qquad (۹)$$

که $B$ شدت میدان مغناطیسی دو سیم پیچ هلمهولتز در وسط فاصله بین دو مرکز سیم پیچ هاست و برای آنها $R=0.2\,m$ و $n=154$ است. با اندازه گیری $I$ میتوان میدان مغناطیسی $B$ را از معادله بالا بدست آورد و در معادله (۵) قرار داد. همچنین میتوان پتانسیل ثابت $U$ را از روی منبع تغذیه خوانده و در نتیجه نسبت $\frac{e}{m_{\circ}}$ را محاسبه کرد.

**روش آزمایش:**

مدار این آزمایش از دو قسمت یکی مربوط به سیم پیچهای هلمهولتز و دیگری مربوط به حباب تولید کننده الکترون است. منبع تغذیه $22\,V$ برای ایجاد جریان در سیم پیچهای هلمهولتز که بطور سری به یکدیگر وصل شده اند ( $2\rightarrow 1$ یا $1\rightarrow 2$ ) بکار می روند. جریانی را که از سیم پیچهای هلمهولتز عبور می کند بوسیله یک آمپرمتر کنترل می کنیم. توجه داشته باشید که این جریان هیچگاه نباید بیش از $3\,A$ باشد. برای بستن مدار حباب تولید کننده الکترون با توجه به مدار روی آن عمل می کنیم. فیلامان حباب به ولتاژ $6.3\,V\sim$ وصل می شود. خروجیهای $-50\,V$ ... $0$ و $-250\,V$ ... $0$ منبع تغذیه را با هم سری کرده و به ترمینالهای $-50\,V$ و $+250\,V$ حباب تولید کننده الکترون وصل می کنیم ، برای اندازه گیری پتانسیل شتاب دهنده الکترونها از یک ولتمتر استفاده می کنیم . مدار حباب تولید کننده الکترون بصورت زیر میباشد.




شکل (۱) مدار حباب تولید کننده الکترون

بعد از بستن مدار و روشن کردن منبع تغذیه حباب تولید الکترون ، فیلامان شروع به گرم شدن می کند و بعد از مدت کمی اگر سیم پیچهای هلمهولتز درست به یکدیگر وصل شده باشند میتوان مسیر حرکت الکترونها را که بصورت دایره خواهد بود مشاهده کرد . اگر این مسیر بصورت مارپیچ بود باید با چرخاندن حباب آنرا بصورت دایره درآورد. با تغییر دادن جریان در سیم پیچهای هلمهولتز (میدان مغناطیسی) و سرعت الکترونها (پتانسیل شتاب دهنده) میتوان شعاع حرکت الکترونها را طوری تنظیم کرد که بر نقاط مشخص شده فلورسانس منطبق گردند . شعاع دوایر متناظر با این نقاط به ترتیب برابرند با $0.02m$، $0.03m$ ، $0.04m$ و $0.05m$

بنابراین با انتخاب یک پتانسیل شتاب دهنده، جریان را در حلقه های هلمهولتز طوری تغییر میدهیم که مسیر حرکت الکترونها به تمام نقاط مشخص شده منطبق گردد و سپس با استفاده از روابط (۹) و (۵) نسبت $\frac{e}{m_{\circ}}$ را محاسبه میکنیم. همین عمل رابرای پتانسیلهای دیگر تا $300\,V$ انجام دهید و سپس مقدار متوسط $\frac{e}{m_{\circ}}$ را محاسبه کنید.

**پرسش‌ها :**

۱- در حباب تولید کنده الکترون علت اینکه الکترونها بطور عمودی بطرف پایین هدایت شده اند چیست؟ اگر اجازه میدادیم که الکترونها در امتداد محور لامپ حرکت کنند چه اشکالی پیش می آمد؟

۲- آیا خاصیت موجی الکترونها در این آزمایش اثری دارد یا خیر؟

۳- در چه صورتی مسیر حرکت الکترونها در میدان مغناطیسی دایره ای نخواهد بود ؟

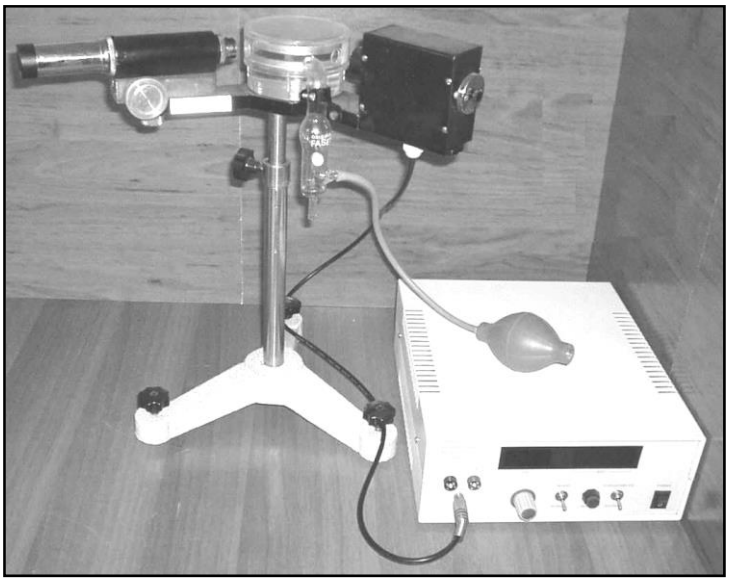
**آزمایش شماره ۲:**

# اندازه گیری بار الکتریکی الکترون (قطره روغن میلیکان)

**هدف آزمایش:**

بدست آوردن بار الکتریکی اساسی(بار الکترون) با بکارگیری میدان الکتریکی و معلق نگـه داشـتن قطـره روغـن باردار در این میدان

**وسایل آزمایش**:



دســـتگاه آزمـــایش میلیکـــان و مجموعـــه الکترونیک مربوطه و سیم رابط ۲ عدد

**تئوری آزمایش**:

اگر ذره باردار با بـار q و جـرم m در میـدان الکتریکی یکنواخت قائم قرار گیرد، با اعمـال میدان مناسب E می توان آنرا بصورت معلـق در حال سکون نگه داشت که در ایـن حالـت نیروی وزن ذره با نیروی الکتریکی متقابل بـا آن برابر است و داریم:

$$\left.\begin{aligned} F &= Eq \\ F_g &= mg \end{aligned}\right\} \Rightarrow Eq = mg \qquad (1)$$

میدان الکتریکی یکنواخت الکتریکی E با برقراری اختلاف پتانسیل V بین دو صفحه یک خازن مسطح افقی کـه فاصله صفحات آن d است میسر می‌باشد ( $E = \frac{V}{d}$ )، لیکن تعیین جرم m ذره بسادگی امکـان‌پـذیر نبـوده و بـا استفاده از قانون استوکس برای یک ذره‌ی کروی که در هوا با ضریب چسبندگی η با سرعت حد $V_g$ سقوط مـی کند، قابل محاسبه است. طبق قانون استوکس هرگاه ذره بسیار کوچک کروی که شـعاع آن r در حـدّ مسـیر آزاد متوسط مولکول‌های هوا بوده و با سرعت v در هوا حرکت کند، نیروی مقاومتی معادل

$$F = 6\pi r \eta V \qquad (2)$$

به آن وارد می‌گردد. بدیهی است که این ذره با سرعت حد $V_g$ سقوط نماید داریم:

$$F = mg \Rightarrow 6\pi\eta r V_g = mg$$

که چون شکل ذره کروی است، اگر چگالی ماده تشکیل دهنده آن ρ باشد داریم:

$$6\pi\eta r V_g = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g \qquad (3)$$

که رابطه (۳) شعاع ذره محاسبه و با قرار دادن آن در رابطه $m = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho$ جرم به صورت زیر حاصل می‌شود:

$$r = \left(\frac{9\eta}{2\rho g} V_g\right)^{\frac{1}{2}} \qquad (4)$$

و:

$$m = 27\sqrt{2}\rho^{\frac{-1}{2}} \left(\frac{\eta V_g}{g}\right)^{\frac{3}{2}} \qquad (5)$$

با قرار دادن مقدار m در رابطه (۱) بار الکترکی q بدست می‌آید که اگر این بار n برابر بار اساسی e (بار الکترون) باشد داریم:

$$q = \frac{mg}{E} = \frac{mgd}{V} = ne \qquad (6)$$

$$ne = \frac{27\sqrt{2}\,\eta^{\frac{3}{2}} d}{\sqrt{\rho\, g}} \quad \frac{V_g^{\frac{3}{2}}}{V} \qquad (7)$$

چسبندگی هوا برای ذرات بسیار کوچک، که شعاع آنها از مسیر آزاد متوسط مولکول‌های هوا تجاوز نکند:

$$\eta = 1/825 * 10^{-5} \qquad Kgm^{-1}\ Sec^{-1}$$

و برای شعاع‌های بزرگتر به صورت زیر تصحیح می‌شود:

$$\eta' = \frac{\eta}{\left(1 + \frac{B}{rP}\right)}$$

که در آن P فشار سیال(در اینجا هوا)، r شعاع ذره و B مقدار ثابتی است که به صورت تجربی بدست مـی‌آیـد و برای هوا در دستگاه یکای SI برابر با:

$$B = 7 * 10^{-3} \qquad Kg\ Sec^{-2}$$

می باشد.

با رعایت تصحیح فوق و اعمال نمودن آن در رابطه (۷) داریم:

$$ne = \frac{27\sqrt{2}\left[\eta\left(1 + \frac{B}{rP}\right)^{-1}\right]^{\frac{3}{2}} d}{\sqrt{\rho\ g}} \left(\frac{V_g^{\frac{3}{2}}}{V}\right)$$

و یا:

$$ne = \frac{27\sqrt{2}\ \eta^{\frac{3}{2}}\ d}{\sqrt{\rho\, g}} \ \left(1 + \frac{B}{rP}\right)^{\frac{-3}{2}} \ \left(\frac{V_g^{\frac{3}{2}}}{V}\right) \qquad (8)$$

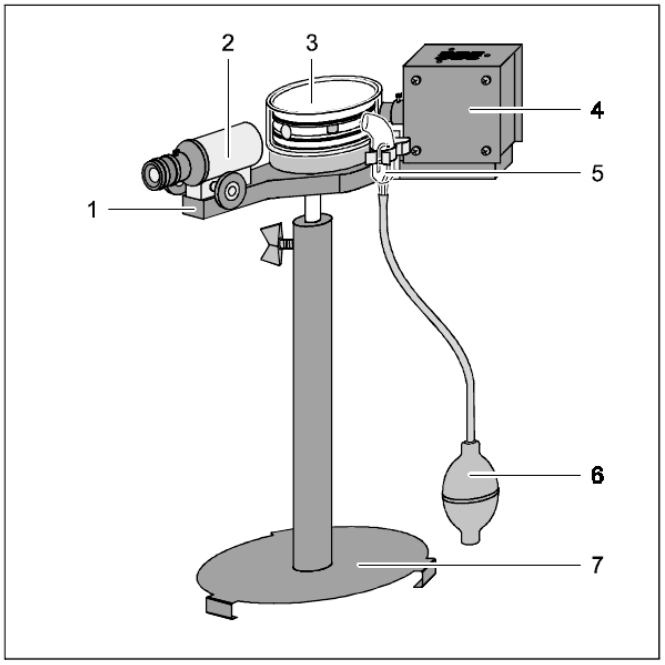
با داشتن شتاب جاذبه محل آزمایش (g)، فاصله صفحات خازن(d) و چگالی ذرات باردار (که در اینجا روغن مورد آزمایش) ρ، کسر اول رابطه (۸) در طول آزمایش ثابت می‌ماند که آنرا (A) می‌نامیم، پرانتز $(1+\frac{B}{rP})^{\frac{3}{2}}$ تابع شعاع ذره است که در محاسبه می‌شود و آنرا با ε نمایش می‌دهیم و لذا:

$$q = ne = \left[ \frac{A}{\varepsilon} \ (\frac{V_g^{\frac{3}{2}}}{V}) \right]$$

پس از بدست آوردن qهای مختلف، بزرگترین مقسوم‌علیه مشترک آنها که همانا e است محاسبه می‌شود.

## روش آزمایش:

دستگاه آزمایش قطره میلیکان را روی یک میز افقی قرار داده و با استفاده از یک تراز مدوّر که بر روی محفظه خازن قرار می‌دهید، و چرخاندن پیچ‌های سه پایه، آنرا کاملاً تراز نمائید تا صفحات خازن کاملاً افقی و میدان کاملاً قائم گردد.




- دستگاه آزمایش میلیکان و اجزای آن:

۱- صفحه نگهدارنده قطعات

۲- میکروسکوپ اندازه گیری با چشمی مدرج (فاصله بین دو خطوط ۰/۴ mm است)

۳- خازن صفحه ای

۴- نور افکن

۵- روغن پاش

۶- تلمبه

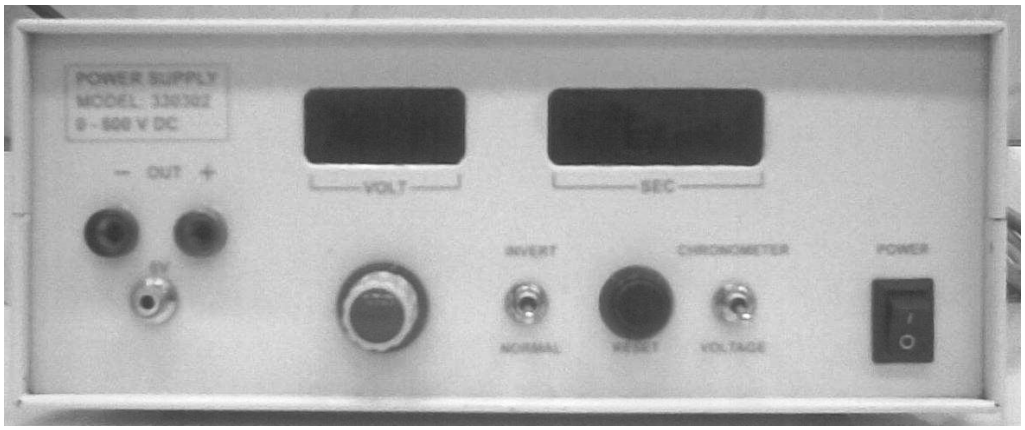
مجموعه الکترونیک را به دستگاه متصل نمائید. محفظه خازن را با احتیاط از محل مربوطه برداشته و در محل مرکز آن یک میله باریک قرار دهید، با زدن کلید مجموعه الکترونیک لامپ نورافکن را روشن نمائید تا به میله بتابد. لوله میکروسکوپ دستگاه را به عقب و جلو حرکت دهید تا میله فوق را بوضوح مشاهده کنید (میکروسکوپ برای مشاهده نواحی مرکزی خازن آماده می‌شود) میله را بردارید و محفظه خازن را در محل اولیه‌اش قرار دهید. دو سیم رابط را از خروجی منبع تغذیه‌ی مجموعه الکترونیک به محل اتصال آنها در صفحات خازن وصل نمائید و دقت کنید که ولتاژ روی صفر باشد.

با پیچاندن پیچ منبع تغذیه، ولتاژ را روی عدد دلخواهی قرار دهید و موارد زیر را بررسی و کاملاً به آن مسلّط شوید زیرا مجموعه الکترونیک طوری طراحی شده است که شما بتوانید:

۱- در حالت برقراری ولتاژ، کرنومتر دیجیتال را متوقف و در حالت قطع ولتاژ، کرنومتر را فعال نمائید.

۲- در حالت برقراری ولتاژ، کرنومتر دیجیتال را فعال و در حالت قطع ولتاژ، کرنومتر را متوقف نمائید.

اگر کلید سمت چپ را در حالت Normal قرار دهید، چنانچه کلید سمت راست در وضعیت Voltage قرار گیرد، ولتاژ برقرار و در صورتیکه در وضعیت Choronometer باشد ولتاژ قطع و کرنومتر وصل می‌گردد. و اگر کلید سمت چپ در وضعیت Invert قرار گیرد کلید سمت راست برعکس عمل خواهد نمود. دکمه Reset کرنومتر را صفر می‌نماید. وضعیت لازم برای انجام آزمایش وضعیت اولی است (به شکل یک مراجعه شود).




شکل ۱

ولتاژ را صفر کنید و با چند بار فشار دادن تلمبه روغن پاش، پودر روغن را به داخل محفظه بفرستید و با میکروسکوپ دستگاه، قطرات روغن را که به صورت نقاط روشن در محیط ایجاد می‌گردند مشاهده نمائید. اغلب این ذرات در اثر اصطکاک با شیشه روغن پاش، پلاستیک بدنه محفظه و هوا به صورت مثبت یا منفی با بار کم و یا زیاد باردار شده‌اند لذا اگر ولتاژی برقرار کنید حرکت برخی سریعتر، برخی کندتر و عده‌ای معکوس می‌گردد.
قطراتی برای انجام آزمایش مناسب‌ترند که دارای بار کم بوده و تعداد انگشت شماری الکترون داشته باشند. لذا قطراتی را انتخاب کنید که:
الف- بدون وجود ولتاژ بسیار آهسته سقوط کنند (چون میکروسکوپ صحنه را معکوس نشان می‌دهد، قطرات سقوط کننده در لوله میکروسکوپ به سمت بالا حرکت می‌کنند).
ب- با اعمال ولتاژ زیاد (حدود ۴۰۰ ولت و بالاتر) بسیار آهسته صعود نمایند.(در لوله میکروسکوپ به آهستگی به سمت پائین حرکت کنند).

اکنون به ترتیب زیر عمل کنند:
۱ . پس از انتخاب قطره مناسب با اعمال ولتاژ آنرا به محل درجات پائین میکروسکوپ منتقل نموده و با تغییر دادن ولتاژ آنرا بر روی درجه‌ی مناسبی متوقف و در هوا معلق نگهدارید و محل قطره را یادداشت کنید($x_1$).
(فاصله بین دو خطوط روی میکروسکوپ ۰/۴ mm است)
۲ . ولتاژ تعلیق قطره V را یادداشت نموده و با فشار دادن دکمه Reset کرنومتر را صفر نمائید.

۳ . ضمن مشاهده در میکروسکوپ کلیدی را که ولتاژ را قطع نموده و بطور همزمان کرنومتر را راه انـدازی مـی کند بزنید و قطره را دنبال کنید تا به درجه مناسب دیگـری در چشـمی میکروسـکوپ برسـد (مـثلاً از ۲ بـه ۷ منتقل شود) در این لحظه کلید مزبور را به حالت اولیه برگردانید تا قطره را در همانجا متوقف کند.

۴ . محل قطره ($x_2$) و عدد کرنومترt را قرائت و یادداشت نمائید.

۵ . با اعمال ولتاژ زیادتر مجدداً قطره را به محل اولیه برگردانید و بنـدهای ۲ الـی ۴ را مجـدداً بـرای آن تکـرار نمائید. ولتاژ میانگین و سرعت سقوط میانگین آن را محاسبه و در جدول زیر وارد کنید.

۶ . ولتاژ را صفر کنید تا قطرات معلق سقوط کنند.

۷ . مجدداً تلمبه روغن پاش را چند بار فشار دهید و قطرات مشـاهده و قطـره مناسـب را انتخـاب و آزمـایش را تکرار نمائید.

برای تکمیل آزمایش حداقل ۱۰ قطره را مورد آزمایش قرار داد، و اطلاعات خام لازم را فـراهم و در جـدول وارد کنید.

۸ . جرم مخصوص (ρ) روغن مورد آزمایش را بدست آورید و در محاسبات مورد استفاده قرار دهید جرم حجمی روغن همراه دستگاه $\rho = ۸۶۲\ Kg/m^3$ است.

۹ . منحنی تغییرات ε را برحسب r ترسیم کنید و با استفاده از آن برای هر مقـدار r,q را محاسـبه و در جـدول قید نمائید.

| شماره آزمایش | V | $x_1$ | $x_2$ | t | $V_g = \frac{x_2 - x_1}{t}$ | r | ε | q | n | e |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

۱۰ . مقادیر بدست آمده برای q را طبقه‌بندی کنید، بطوریکه بتـوان بزرگتـرین مقسـوم علیـه مشـترک آنهـا را ارزیابی و مقدار n را برای هر مورد تعیین نموده و مقادیری نزدیک به هم برای e بدست آورد.

۱۱ . میانگین e را محاسبه و بعنوان بار اساسی انتخاب کنید.

**پرسش‌ها:**

۱- چرا وقتی میدان الکتریکی صفر است بعضی از قطرات تقریبا ساکن بنظر می آیند و بعضی دیگر حرکت می کنند؟

۲- در حالیکه یک قطره را دنبال می کنیم ناگهان سرعت آن تغییر می کند دلیل آن چیست؟

۳- چرا در یک میدان الکتریکی بعضی از قطرات بسمت بالا و بعضی دیگر بسمت پایین حرکت می کنند؟

۴- رابطه ای برای مقدار بار یک قطره روغن با در نظر گرفتن نیروی ارشمیدس وارد بر آن بدست آورید.

**آزمایش شماره ۳**

# اثر فتوالکتریک و تعیین ثابت پلانک

## هدف آزمایش:

تعیین ثابت پلانک توسط پدیده فتوالکتریک

## وسایل آزمایش:

دستگاه سلول فتوالکتریک ، لامپ جیوه و منبع تغذیه مربوط به آن ، یک دیافراگم ، تعدادی فیلتر نوری، یک تقویت کننده جریان مستقیم با امپدانس بسیار بالا و یک ولتمتر.

## تئوری آزمایش:

اثر فتوالکتریک عبارت است از گسیل الکترون از سطح بعضی از فلزاتی که تحت تابش نوری با طول موج کوتاه قرار گرفته باشند. این پدیده اولین بار در سال ۱۸۸۷-۱۸۸۶ توسط هرتز هنگام مطالعه مسئله تخلیه الکتریکی شناخته شد. هرتز نشان داد که وقتی نور ماورا بنفش بر یکی از الکترودها می تابد تخلیه الکتریکی بین دو الکترود در ولتاژ پایینتری و فاصله ی زیادتر الکترودها انجام میگیرد. یکسال پس از او هالواکس دریافت که اگر نور ماورابنفش به سطح صیقلی شده ورقه بتابد الکترونها از سطح فلز کنده شده و این موضوع را با اتصال سطح ورقه مزبور به یک الکتروسکوپ بوسیله ورقه برگشته و در نتیجه الکتروسکوپ از بار تخلیه می گردد. نتایج حاصل از بررسی پدیده فتوالکتریک عبارتند از:

۱- برای هر فلزی یک فرکانس آستانه وجود دارد، بطوری که نور با فرکانس کمتر از آن نمیتواند باعث گسیل الکترون از سطح فلز گردد. و این فرکانس مستقل از شدت و زمان تابش نور تابیده به فلز میباشد.
۲- نوری با فرکانس بیشتر از فرکانس آستانه باعث گسیل الکترون از سطح فلز میگردد و فاصله زمانی بین تابش و ظهور الکترونها بیش از $3\times10^{-9}$ ثانیه نمیباشد.
۳- چنانچه نوری با فرکانس معلوم بتواند باعث گسیل الکترون از سطح فلزی گردد تعداد الکترونهای گسیل شده متناسب با شدت نور تابش شده خواهد بود.
۴- بیشترین انرژی جنبشی الکترونهای گسیل شده بصورت خطی متناسب با فرکانس نور بوده و مستقل از شدت آن میباشد.

وقتی یک فوتون با فرکانس $f$ به کاتد سلول فتوالکتریک برخورد می کند ، اگر انرژی آن به اندازه کافی زیاد باشد، میتواند یک الکترون را از سطح کاتد جدا کند. بعضی از این الکترونها به آند رسیده و در نتیجه یک اختلاف پتانسیل $U$ بین آند و کاتد ایجاد می شود. انرژی جنبشی الکترونهای جداشده از سطح کاتد از رابطه زیر بدست می آید.

$$hf = \frac{1}{2}mv^2 + A \qquad (۱)$$ (اصل بقای انرژی)

که در آن $A$ تابع کار، $v$ سرعت الکترون و $m$ جرم در حال سکون الکترون میباشد. انرژی جنبشی الکترونهایی که به آند می رسند برابر است با

$$eU = \frac{1}{2}mv^2 \qquad (۲)$$

(باید توجه داشت که الکترونها در خلاف جهت میدان الکتریکی حرکت میکنند)
همچنین یک پتانسیل اضافی که ناشی از هم جنس نبودن کاتد و آند است بین آنها بوجود می آید که در نتیجه رابطه (۲) باید بصورت زیر نوشته شود:

$$eU + \Phi = \frac{1}{2}mv^2 \qquad (۳)$$

باحذف $U$ بین روابط (۱) و (۳) داریم:

$$U = -\frac{A+\Phi}{e} + \frac{h}{e}f \qquad (۴)$$

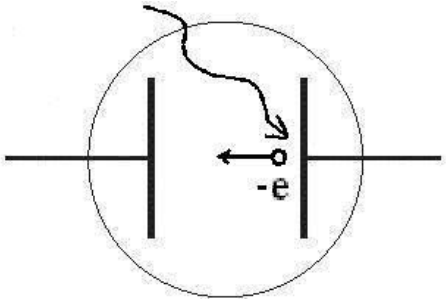
که در آن $e$ بار الکتریکی الکترون است. حال اگر $U$ را بر حسب تابعی از فرکانس رسم کنیم ، ضریب زاویه خط بدست آمده مقدار $h$ را خواهد داد.

**روش آزمایش:**

برای روشن کردن لامپ جیوه دکمه روی منبع تغذیه در حالت ۱ قرار می دهیم. فیلترهای رنگی برای تهیه نور تک فام با فرکانسهای مشخص میباشند. دستگاه سلول فتوالکتریک عمدتا از یک کاتد تخت و آند حلقه ای

شکل از جنس پلاتین تشکیل یافته است. در اثر برخورد نور حاصل از فیلتر نوری به کاتد الکترونها از آن کنده شده و بخاطر داشتن انرژی جنبشی بطرف آند می روند و در نتیجه یک اختلاف پتانسیل بین کاتد و آند بوجود می آید. میدان الکتریکی حاصل از این اختلاف پتانسیل مانع از حرکت الکترونها بین کاتد و آند شده و پس از مدت کوتاهی هیچ یک از الکترونها قادر به رسیدن آند نخواهند بود. البته باید توجه داشت که انرژی جنبشی الکترونها مختلف بوده و فقط پر انرژی ترین آنها میتوانند خود را به آند رسانیده و جذب آن شوند. اختلاف پتانسیل بین کاتد و آند را توسط تقویت کننده با امپدانس داخلی بسیار بالا اندازه گیری میکنیم تا این اندازه گیری تغییری در اختلاف پتانسیل بین کاتد و آند ایجاد نکند.

ابتدا دستگاه سلول فتوالکتریک ، فیلتر و دیافراگم را برروی پایه اپتیکی طوری نصب می کنیم که نور منبع پس از عبور از دیافراگم و فیلتر وارد سلول فتوالکتریک شود. برای اندازه گیری ولتاژ آند سیم رابط $BNC$ را به آند و ورودی تقویت کننده وصل میکنیم.




شکل (۱) سلول فتو الکتریک

خروجی تقویت کننده را به ولتمتر وصل می کنیم. با استفاده از کلید تنظیم صفر تقویت کننده موقعیت صفر ولتمتر را تنظیم می کنیم. چند دقیقه پس از روشن کردن منبع نور شدت آن حداکثر میشود. با قرار دادن دیافراگم در مقابل منبع نور بدون استفاده از فیلتر، کلید ضریب تقویت کننده را در موقعیت $10^0$ قرار داده و با جابجا کردن منبع نور و تغییر فاصله آن تا دیافراگم حداکثر انحراف در ولتمترا بدست می آوریم. اکنون یکی از فیلترها را در جای خود قرار می دهیم و با باز و بسته کردن دیافراگم نور را برای چند ثانیه به کاتد می تابانیم و ولتاژ آند را از طریق ولتمتر می خوانیم. بهتر است قبل از هر اندازه گیری با استفاده از یک دوشاخه مخصوص خازن تشکیل شده از کاتد و آند را تخلیه کنیم. همچنین متوجه خواهید شد که بدون ورود نور به داخل سلول فتو الکتریک نیز انحراف در عقربه ولتمتر بوجود می آید . این در اثر پر شدن خازن داخلی تقویت کننده بوده و بهتر است قبل از هر اندازه گیری با فشردن دکمه آنرا تخلیه نماییم.

طرز خواندن ولتاژ آند بدین صورت است عددی که ولتمتر نشان می دهد را (برحسب ولت) در ضریب تقویت تقویت کننده ضرب می نماییم.

**توجه مهم:** خروجی تقویت کننده حداکثر در حدود ۱۴ ولت است. مثلا اگر ولتاژ ورودی یک ولت و ضریب تقویت را روی ۱۰۰ برابر قرار دهید خروجی ۱۰۰ ولت نخواهد بود و تنها اعداد تا مقداری حدود ۱۴ ولت تقویت می شوند. لذا برای جلوگیری از خطا در انتخاب ضریب تقویت دقت کنید تا خروجی شما از حدود ۱۰ ولت بیشتر نشود.

این آزمایش را برای تمام فیلترهای موجود تکرار می کنیم. نموداری از ولتاژهای اندازه گیری شده برحسب فرکانس نور رسم میکنیم ( $U$ برحسب $f$ ) عدد ثابت پلانک را میتوان با توجه به رابطه (۴) از شیب خط حاصل از نمودار بدست آورد.

**پرسش‌ها :**

۱- باتوجه به اینکه انرژی الکترونهای جداشده از سطح کاتد به شدت نور تابشی بستگی ندارد، دلیل تغییرات در انحراف عقربه ولتمتر با تغییر شدت منبع نورچیست؟

۲- می دانیم که انرژی جنبشی الکترونهای جداشده از مرتبه الکترون ولت است آیا می توانید اختلاف پتانسیل بین کاتد و آند را حدس بزنید؟

۳- اگر برای اندازه گیری ولتاژ سلول فتوالکتریک فقط از یک ولتمتر معمولی استفاده می کردیم چه خطایی در اندازه گیری حاصل میشود؟

۴- فرایندهای دیگری که توسط آنها الکترون از سطح ماده کنده میشود را به اختصار بنویسید.

**آزمایش شماره ۴**

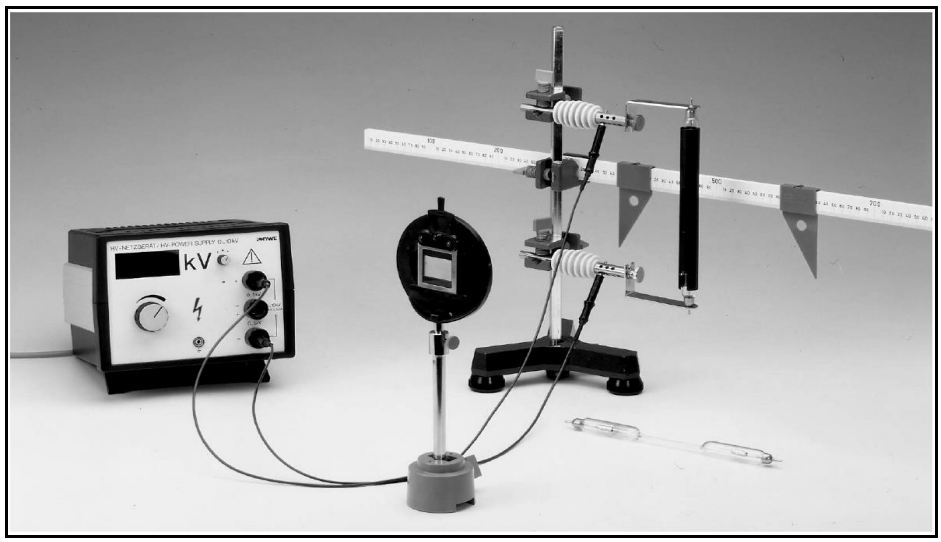
# سری بالمر و طیف اتمی سیستم های دو الکترونی He و Hg

**هدف آزمایش:**

تعیین ثابت توری پراش بر اساس طیف اتمی جیوه، تعیین ثابت ریدبرگ بر اساس طبف اتمی هیدروژن و اندازه گیری طول موج خطوط طیفی He

**وسائل آزمایش:**

لامپ گازی جیوه،هیدروژن و هلیوم، منبع تغذیه ولتاژ بالا ( حدود kv ۱۰، توری پراش، خط کش چوبی، پایه و گیره نگهدارنده و سایر متعلقات.

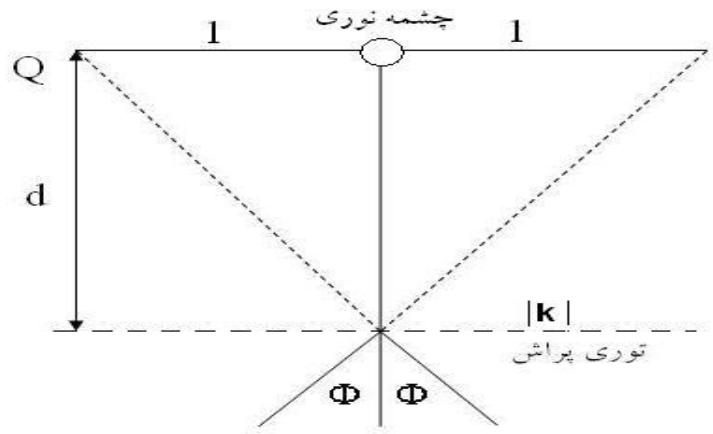



شکل (۱): نمایی از آزمایش

**تئوری آزمایش:**

اگر نوری با طول موج معلوم $\lambda$ به توری اپتیکی با ثابت توری $k$ (فاصله بین خطوط روی توری) فرود آید پراشیده می شود (تفرق اتفاق می افتد). شدت ماکزیمم زمانی اتفاق می افتد که داشته باشیم:

$$n\lambda = k\,Sin\Phi \qquad n = 1,2,3,\ldots \quad (۱)$$




شکل (۲)

با توجه به شکل (۲) داریم: $$Sin\Phi = \frac{l}{\left(d^2 + l^2\right)^{1/2}} \qquad (۲)$$

و در نتیجه داریم (برای پراش مرتبه اول n = 1 ):

$$\lambda = \frac{k.l}{\left(d^2 + l^2\right)^{1/2}} \qquad (۳)$$

در اوایل سال ۱۸۸۵ می‌لادی بالمر balmer نشان داد که طول موجهای ۹ خط طیف هیدروژن، که چهار خط از این خطوط در ناحیه طیف مرئی قرار دارند، با فرمول ساده زیر توصیف می‌گردند:

$$\frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2}) \qquad (۴)$$ m=3,4,5,…

طیف این سری (دنباله) از خطوط هیدروژن به دنباله بالمر معروف است. مقدار R برابر $1.0968\times10^{-7}\ m^{-1}$ می باشد که به ثابت ریدبرگ Rydberg معروف است. این دانشمند دریافت که ثابت اخیر می‌تواند طیف های زیادتری را با فرمول زیر بدست دهد.

$$\frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}) \qquad (۵)$$

بعدها یک سری توسط پاشن Paschen در سال ۱۹۰۸ کشف گردید. سری پاشن با رابطه زیر بیان می شود:

$$\frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{m^2}) \qquad m = 4,5,... \qquad (۶)$$

لیمن Lyman سری دیگری را که از فرمول زیر تبعیت می نماید کشف نمود:

$$\frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{m^2}) \qquad m = 2,3,... \qquad (۷)$$

بدین ترتیب، رابطه بالمر که صورت تجربی بدست آمده است پایه و اساس نظریه طیف ها قرار گرفت.

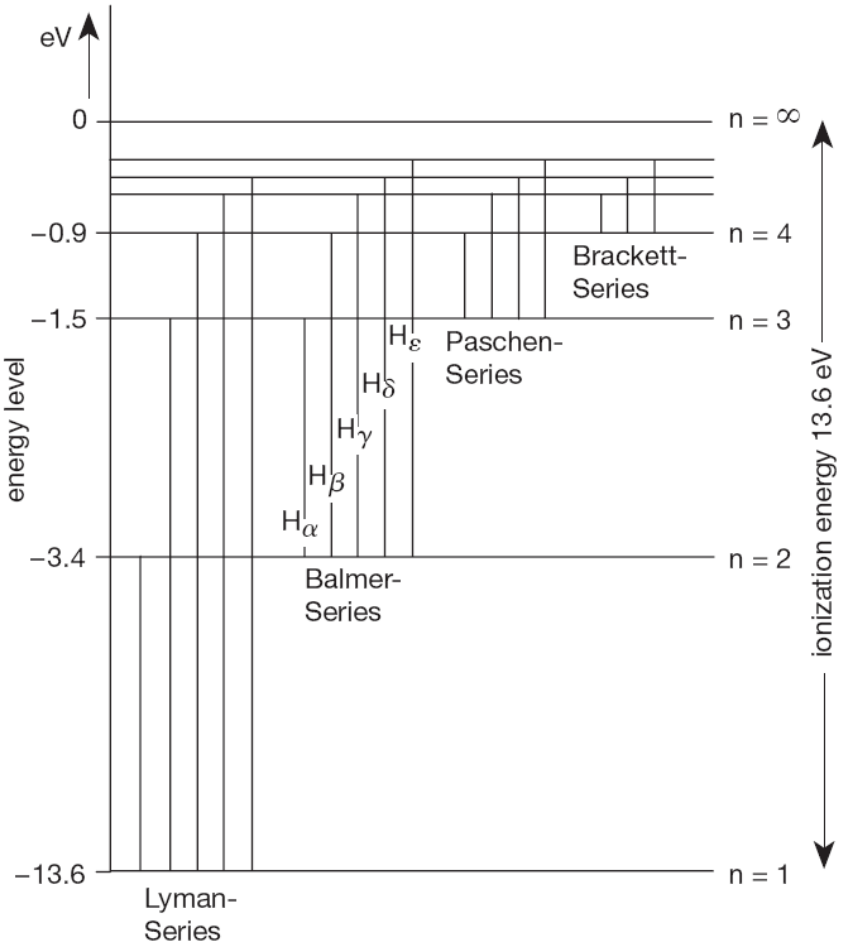
درون لامپ در اثر برخوردهای یونده مولکول $H_2$ به هیدروژن اتمی تبدیل می شود. براساس نظریه کوانتومی (پلانک ۱۹۰۲)، الکترون اتم هیدروژن برانگیخته می شود و در هنگام بازگشت به حالت پایه انرژی تابش می کند. نور تابشی و یا جذبی توسط یک اتم، مقادیری معین،یا کوانتا، می باشد که اندازه آن hu بوده و بسامدu هرخط طیف را به تغییر انرژی اتم، با رابطه زیر مربوط می سازد:

$$h\nu = \Delta E \qquad (۸)$$

از این رابطه پیداست که هر خط منفرد طیفی، معادل تراز انرژی خاص، یا سطوح انـرژی اتـم اسـت. بـادر نظـر گرفتن اندیس های nوm برای ترازهای مختلف اتم هیدروژن داریم: $\Delta E = E_m - E_n$

از مقایسه این رابطه با معادله (۵) در می یابیم که:

$$E_n = -\frac{hR}{n^2} \qquad (۹)$$




شکل (۳) خطوط گذار اتم هیدروژن

دنباله های مشابه دنباله اتم هیدروژن در طیف هلیم، لیتیم،بریلیوم و سایر عناصر یونیده یافت مـی‌شـود. دنبالـه های متعلق به یونهای $He^+$ و $Li^{++}$ و $Be^{+++}$ وغیره که یونهائی مشابه اتم هیدروژن بوده و فقـط یـک الکتـرون دارند (یونهای شبه هیدروژن) با رابطه زیر بیان می‌گردند.

$$\nu = Z^2 R\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right) \qquad m = n+1, n+2, \ldots \qquad (۱۰)$$

مشخص است که رابطه (۵) حالت خاصی از رابطه (۱۰) است که بـا قـرار دادن Z=1 در ایـن رابطـه، رابطـه (۵) حاصل می شود. در نتیجه رابطه زیر بعنوان رابطه کلی تری برای انرژی یک اتم یا یک یون تک الکترونی در نظر گرفته می‌شود:

$$E_n = -\frac{hR}{n^2} Z^2 \qquad (۱۱)$$

**روش انجام آزمایش :**

دستگاه را مطابق شکل (۱)جهت اندازه گیری را آماده کنید.

**توجه مهم:** قبل از روشن کردن منبع تغذیه مسئول آزمایشگاه را در جریان قرار دهید. بدلیل استفاده از منبع تغذیه ولتاژ بالا در هنگام روشن بودن لامپ های مورد استفاده دقت نمائید که دستان شما با قسمت های رسانای محل تماس پروب های منبع تغذیه به لامپ تماس نداشته باشد. هنگام نصب لامپ در گیره و پایه مورد استفاده نیز دقت کنید لامپ از دست شما رها نگردد و موجب صدمه دیدن آن نشود.

**الف) تعیین ثابت توری پراش بر اساس طیف اتمی جیوه**

لامپ جیوه را نصب کنید. با مشاهده خطوط طیفی جیوه از پشت توری پراش با استفاده از خط کش مدرج فواصل d و l را اندازه گیری نمائید. ولتاژ دستگاه را صفر کرده سپس آنرا خاموش کنید. سپس با کمک رابطه (۳) بر اساس طول موج وابسته به هر خط طیفی که در جدول داده شده ثابت توری پراش، k، و تعداد خط بر میلیمتر توری را محاسبه کنید.

| تعداد خط بر میلیمتر توری | ثابت توری k (μm) | l (mm) | d (mm) | طول موج λ (nm) | رنگ |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

**ب) تعیین ثابت ریدبرگ بر اساس طیف اتمی هیدروژن**

مطمئن شوید دستگاه خاموش باشد. لامپ جیوه را با احتیاط باز نمائید و لامپ هیدروژن را نصب نمائید. مطابق قسمت قبل با مشاهده خطوط طیفی هیدروژن از پشت توری پراش با استفاده از خط کش مدرج فواصل d و l را اندازه گیری نمائید. خطوطی از طیف هیدروژن که در ناحیه موئی قرار دادند عبارتند از قرمز،آبی ،بنفش ۱ و بنفش۲ . این بار با معلوم قرار دادن ثابت توری پراش که در قسمت قبل محاسبه کرده اید. طول موج هر رنگ از

طیف را با استفاده از رابطه (۳) محاسبه کنید. با استفاده از شکل (۳) و رابطه (۴) برای هر خط طیف، ثابت ریدبرگ را محاسبه کنید.

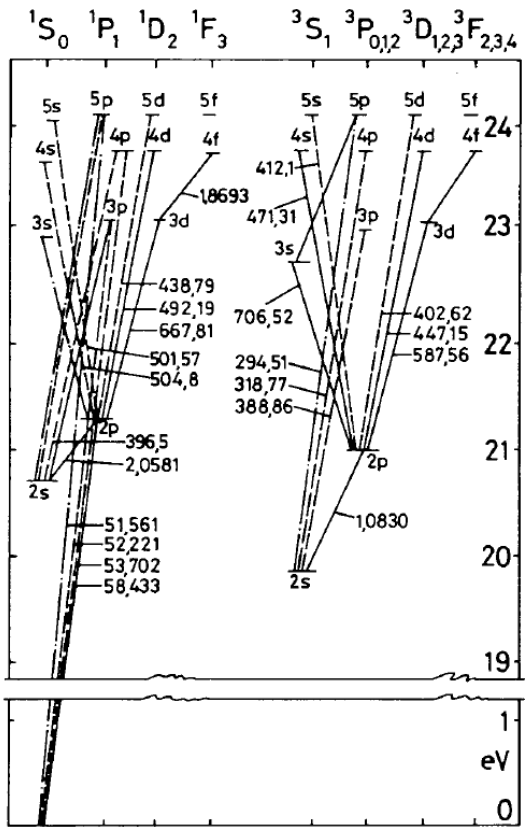
| خط طیف | رنگ | d (mm) | l (mm) | طول موج تجربی λ (nm) | n | m | R ثابت ریدبرگ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $H_\alpha$ | | | | | | | |
| $H_\beta$ | | | | | | | |
| $H_\gamma$ | | | | | | | |
| $H_\delta$ | | | | | | | |

**پرسش**: انرژی بستگی اتم هیدروژن را از رابطه (۵) محاسبه کنید.

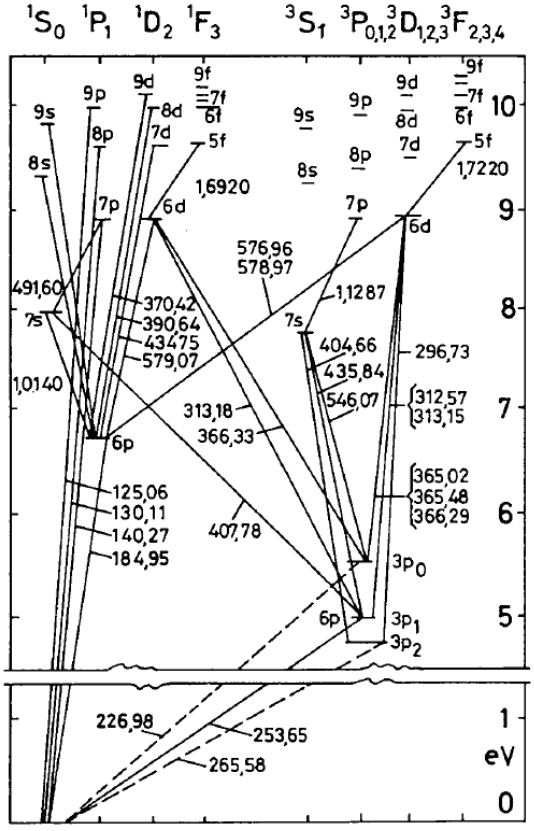
**ج) اندازه گیری طول موج خطوط طیفی He**

مطمئن شوید دستگاه خاموش باشد. لامپ هیدروژن را با احتیاط باز نمائید و لامپ هلیم را نصب نمائید. مطابق قسمت قبل با مشاهده خطوط طیفی هلیم از پشت توری پراش با استفاده از خط کش مدرج فواصل d و l را اندازه گیری نمائید. با معلوم قرار دادن ثابت توری پراش که در قسمت الف محاسبه کرده اید. طول موج هر رنگ از طیف را با استفاده از رابطه (۳) محاسبه کنید. خطوط گذار و طول موج طیف اتمهای جیوه و هلیم در ادامه آمده است. مقادیر محاسبه شده خود را با مقادیر گزارش شده در این جداول مقایسه کنید.

**پس از اتمام کار لامپ ها را از محل اتصال جدا کرده و در جعبه های مربوط قرار دهید .**




خطوط گذار اتم هلیم He




خطوط گذار اتم جیوه Hg

| Colour | λ/nm | Transition |
|---|---|---|
| red | 665 ± 2 | $3\,^1D \rightarrow 2\,^1P$ |
| yellow-orange | 586 ± 2 | $3\,^3D \rightarrow 2\,^3P$ |
| green | 501 ± 2 | $3\,^1D \rightarrow 2\,^1P$ |
| blue-green | 490 ± 2 | $4\,^1D \rightarrow 2\,^1P$ |
| blue | 470 ± 3 | $4\,^3S \rightarrow 2\,^3P$ |
| violet | 445 ± 1 | $4\,^3D \rightarrow 2\,^3P$ |

| Colour | λ/nm | Transition |
|---|---|---|
| yellow | 581 ± 1 | $6\,^1D1 \rightarrow 6\,^1P1$<br>$6\,^3D1 \rightarrow 6\,^1P1$ |
| green | 550 ± 1 | $7\,^3S1 \rightarrow 6\,^3P1$ |
| green | 494 ± 2 | $8\,^1S1 \rightarrow 6\,^1P1$ |
| blue | 437 ± 2 | $7\,^1S \rightarrow 6\,^1P1$ |

**پرسش:**

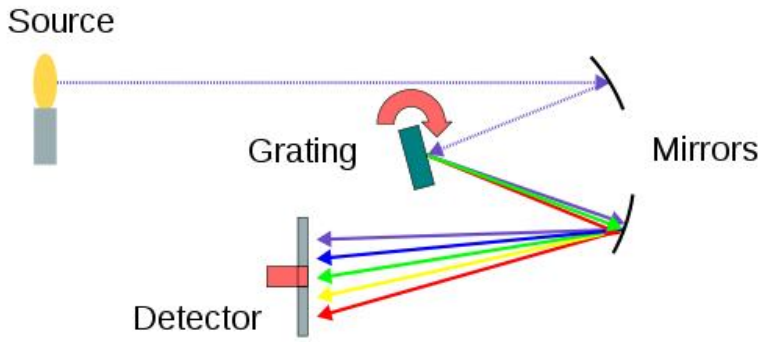
با استفاده از مدل اتمی بوهر مقدار ثابت ریدبرگ را بدست آورید.

**آزمایش شماره ۵**

# تعیین و بررسی طیف تابشی لامپ‌های هلیوم و جیوه

## تئوری آزمایش:

طیف‌سنج نوری (اسپکترومتر) ابزاری است که با کمک آن می‌توان طول موج‌های تابشی و شدت متناظر با هر طول موج از طیف داده شده را اندازه‌گیری کرد. در این سیستم نور با عبور از شکاف (silt) وارد طیف‌سنج شده و پس از عبور از المان‌های اپتیکی، توسط عنصر پاشنده، به طول موج‌های تشکیل دهنده آن تجزیه می‌گردد. در نهایت طیف حاصل بر روی یک آرایه از حسگرهای نوری تابیده می‌شود و به کمک آن شدت نور مربوط به هر طول موج تعیین می‌گردد. در شکل زیر عملکرد و اجزای مختلف طیف‌سنج نشان داده شده است.



طیف نشری یک عنصر یا ترکیب شیمیایی، طیفی از طول موج‌هاست که به دلیل انتقال الکترون‌ها از ترازهای انرژی بالاتر به پایین تر منتشر می‌گردد. این تابش برای عناصر مختلف در طول موج ها و شدت‌های متفاوتی ایجاد می‌شود و در نتیجه طیف تابشی هر عنصر با عناصر دیگر متفاوت است. در این آزمایش ما با استفاده از دستگاه طیف‌سنج، طیف نشری حاصل از لامپ هلیم و جیوه را بدست آورده و با داده‌های مرجع مقایسه می‌کنیم.

## روش انجام آزمایش

توجه ۱: در این آزمایش بدلیل استفاده از منبع تغذیه ولتاژ بالا، منبع تغذیه را تنها با هماهنگی مسئول آزمایشگاه روشن کنید.
هنگام روشن بودن لامپ های مورد استفاده دقت نمائید که دستان شما با قسمت‌های رسانا و محل تماس پروب های منبع تغذیه به لامپ برخورد نکند.
هنگام نصب لامپ در گیره و پایه مورد استفاده دقت کنید که لامپ از دست شما رها نگردد و موجب صدمه دیدن آن نشود.
توجه ۲: به دلیل حساسیت بالای دستگاه طیف سنج از جابجایی آن بدون هماهنگی با مدرس درس اجتناب شود. همچنین از اعمال هر گونه ضربه به آن جدا خودداری گردد.

- ابتدا مطمئن شوید منبع تغذیه خاموش باشد.
- لامپ هلیوم را با دقت بر روی پایه آن نصب کرده و پروب‌های ولتاژ را به دو سر آن متصل کنید.
- فیبر نوری و آداپتور را با دقت به دستگاه اسپکترومتر وصل کرده و آن را با کابل دیتا به USB کامپیوتر متصل نمایید.
- نرم افزار spectrometer را اجرا کنید. توجه شود که پس از نصب طیف سنج، باید بر روی نوار بالای نرم‌افزار گزینه connected نمایش داده شود.
- در نوار بالای نرم‌افزار مقدار integration time را بر روی 2s قرار دهید.
- در سربرگ setting گزینه calibration را انتخاب کرده و از درست بودن ضرایب کالیبراسیون مطمئن شوید. این ضرایب برای طیف سنج مورد استفاده (400-600 نانومتر) به شرح زیر می‌باشد:
A=B=C=D=E=0 , F=0.0684 , G=408.41
همچنین توجه شود که تیک گزینه CCD coordinate غیرفعال باشد. پس از انجام تنظیمات وارد سربرگ Home شوید.
- درپوش مقابل فیبر نوری را برداشته و آن را مقابل لامپ هلیوم قرار دهید.
- مطمئن شوید که پیچ ولتاژ منبع تغذیه روی حالت کمینه باشد. سپس با رعایت موارد ایمنی منبع تغذیه را روشن کنید.
- با استفاده از پیچ ولتاژ منبع، مقدار ولتاژ را افزایش داده تا لامپ روشن شود.
- در سربرگ Home نرم افزار گزینه Start را زده و چند ثانیه صبر کنید تا تصویر طیف در نمایشگر مشاهده شود. این طیف با تنظیمات اعمال شده هر ۲ ثانیه یکبار بروزرسانی می‌شود. چنانچه شدت قله‌های طیف ضعیف بود یا در حالت اشباع قرار داشت، با جابجا کردن فیبر نوری یا تغییر integration time، طیف مناسب را بوجود آورید.

- پس از مشاهده طیف مناسب با زدن مجدد گزینه strat بروزرسانی را متوقف کنید و طول موج و شدت مربوط به قله‌های طیف را یادداشت کنید.

- موارد بالا را برای لامپ جیوه نیز انجام دهید.

- وارد سایت https://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/lines_form.html شوید (می‌توانید با اسکن QR Code مقابل مستقیما وارد سایت شوید) و عنصر لامپ مورد نظر را در آن جستجو کنید تا اطلاعات خطوط طیفی مربوط به آن نمایش داده شود. سپس با کمک آن برای قله‌های تعیین شده برای هر لامپ، نوع یون، مقدار $A_{ki}$، تراز انرژی پایینتر و تراز انرژی بالاتر را در جدولی مانند جدول زیر وارد نمایید.

توجه شود که برای موارد فوق در یک طول موج مشخص ممکن است چند سری دیتا وجود داشته باشد. در این جدول منظور از $A_{ki}$ تعداد کل فوتون‌های ساطع شده در ثانیه در واحد حجم پلاسما برای گذار تابشی مورد نظر است. ترازهای انرژی بالاتر و پایین‌تر در جدول نیز، ترازهای انرژی ای را نشان می‌دهند که با انتقال الکترون بین آنها، تابش در طول موج مورد نظر ایجاد شده است.

| طول موج قله (nm) | نوع یون | $A_{ki}$ ($S^{-1}$) | تراز انرژی پایینتر | تراز انرژی بالاتر |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

**آزمایش شماره ۶**

# تحقیق تخلیه الکتریکی گازها

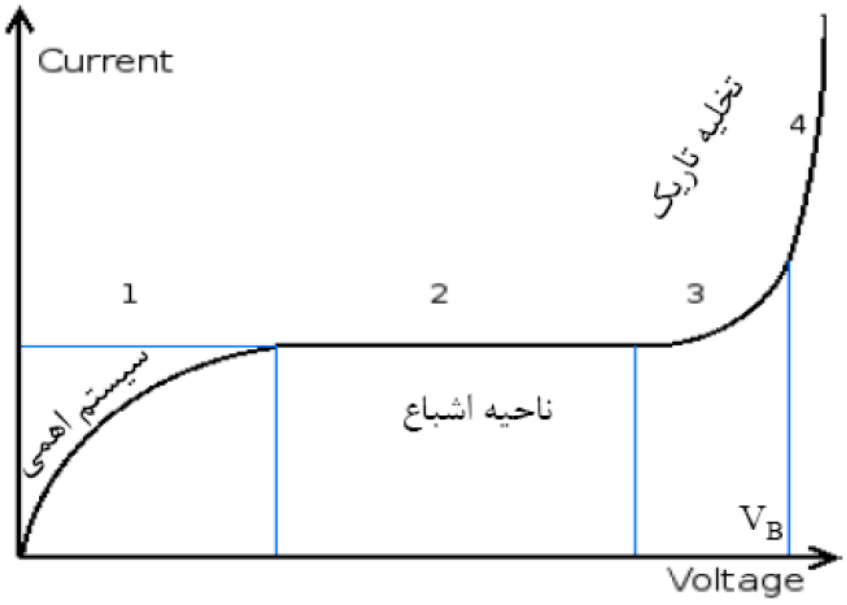
**هدف آزمایش:** مطالعه و بررسی تخلیه الکتریکی در گازها

## تئوری آزمایش

دانشمندان در قرن نوزدهم دریافتند که هادیهای باردار تدریجاً بارشان را از دست می‌دهند و میزان کاهش بار به شرایط محیطی بستگی دارد. این کاهش بار حتی در محیط هوا نیز صورت می‌پذیرد. در قرن نوزدهم، با کشف منابع جریان پیوسته، قوس الکتریکی کشف شد و سپس فارادی توانست در فشار کمتر از یک اتمسفر تخلیه الکتریکی را ایجاد کند. تخلیه الکتریکی در فیزیک و صنعت کاربردهای فراوانی دارد؛ مثلاً در تولید نور، فیزیک پلاسما، تولید گرما و غیره. اصولاً تخلیه الکتریکی به معنی جاری شدن جریان الکتریکی از طریق یک محیط گازی است. در طی این فرآیند برخی از ذرات گاز، یونیزه شده و به وسیله میدان الکتریکی جابجا می شوند و بدین طریق جریان الکتریکی ایجاد می‌شود. تخلیه الکتریکی را می‌توان در فشارها و جریان‌های متفاوت ایجاد کرد. تخلیه الکتریکی با جریان های پایین را تخلیه تاریک (TOWNSEND) می‌نامند. با افزایش جریان تخلیه الکتریکی نورانی (GLOW) بوجود می‌آید. جریان های بالاتر نیز تحت نوع دیگری از تخلیه الکتریکی به نام تخلیه قوسی (ARC) حاصل می‌شود.

گازها در حالت عادی دارای تعدادی یون و الکترون می‌باشد. مثلا در جو حدود ۱۰۰۰ یون مثبت و منفی در هر $cm^3$ به علت اشعه پرانرژی ماوراء بنفش، کیهانی و x وجود دارد. در غیاب میدان الکتریکی میزان تولید ذرات باردار مساوی با میزان بازترکیب آنها است. با اعمال میدان کم مثلاً $V/cm$ ۱، یون‌ها و الکترون‌ها به حرکت در می‌آیند. در ولتاژهای کم حالت تعادل گاز به ندرت بهم می‌خورد و گاز یک سیستم اهمی است. اما با ازدیاد میدان الکتریکی حالت تعادل گاز بهم می‌خورد. در این حالت یون‌ها و الکترون‌ها جذب قطبها شده و خنثی می‌شوند، یعنی تعداد ذرات باردار مؤثر کم می شود. در نتیجه میزان ازدیاد جریان با ولتاژ کم می‌شود. اگر میزان تولید یون و الکترون ثابت باشد با ازدیاد میدان الکتریکی حالتی بوجود می‌آید که الکترون‌ها و یون‌ها بدون هیچ ترکیب مجدد به الکترودها می‌رسند. در این صورت کل بارهای تولید شده به قطب‌ها رسیده و جریان به حالت اشباع می‌رسد. یعنی با افزایش ولتاژ جریان ثابت می‌ماند.

با افزایش بیشتر ولتاژ پس از ناحیه اشباع، حالتی می‌رسد که جریان دوباره زیاد می‌شود. طبیعت این ازدیاد بستگی به نوع گاز و فشار آن دارد. در این حالت علت ازدیاد جریان اینست که انرژی الکترونهائی که کاتد را ترک میکنند بیشتر از انرژی یونش اتمها است. در این صورت بعضی از آنها می‌توانند اتمها را یونیزه کنند. با افزایش ولتاژ در نقطه خاصی یون‌ها به صورت آبشاری ایجاد شده و جریان به صورت نمایی زیاد می‌شود. این ولتاژ را ولتاژ شکست BREAK می‌گویند. در شکل ۱ تصویر شماتیک از نواحی اهمی، اشباع و ناحیه شکست نشان داده شده است.

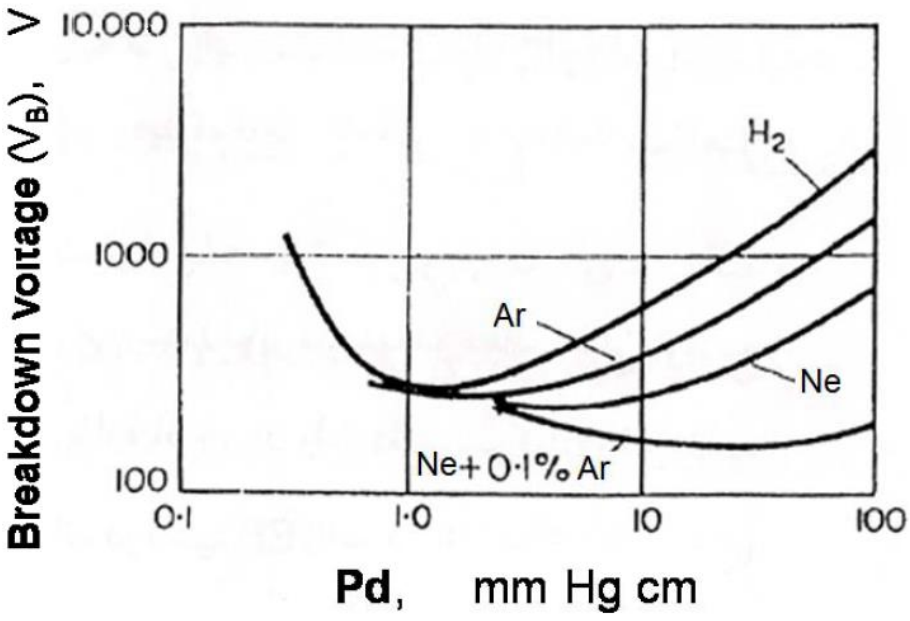



شکل ۱

بر طبق قانون پاشن ولتاژ شکست ($V_B$) تابعی از حاصلضرب فشار و فاصله بین دو الکترود است. یعنی

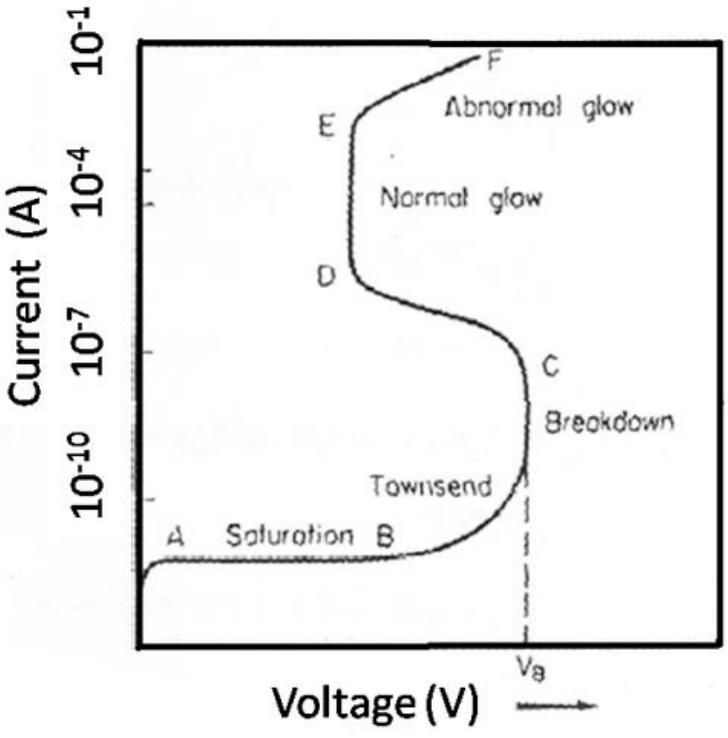
$$V_B = f(Pd)$$

با رسم منحنی ولتاژ شکست بر حسب فشار گاز یک نقطه مینیمم در آن مشاهده می‌شود. محل این کمینه به نوع گاز و جنس الکترود بستگی دارد. در شکل ۲ نمودار ولتاژ شکست بر حسب فشار برای چهار گاز مختلف نشان داده شده است.




شکل ۲

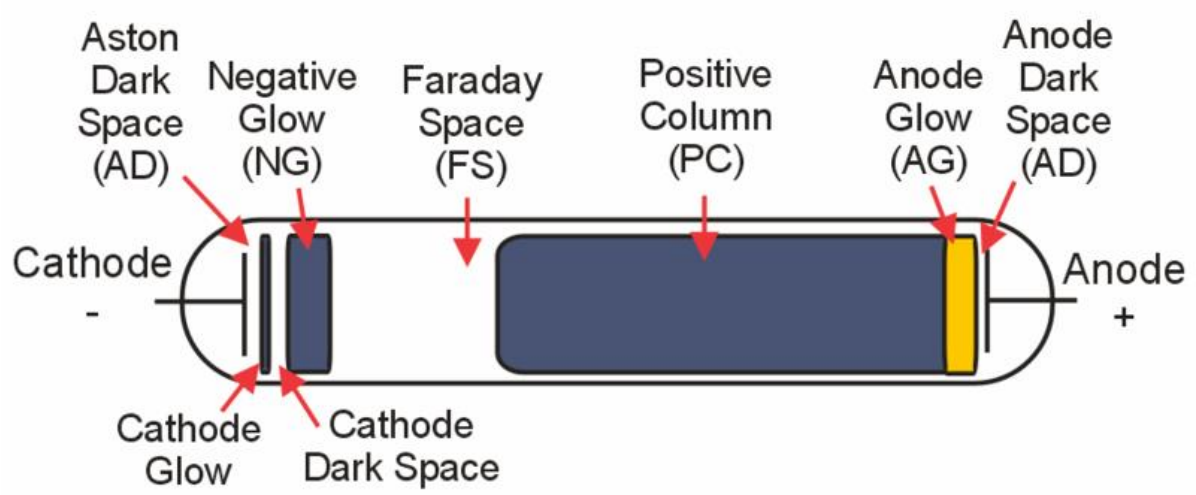
## تخلیه نورانی




شکل ۳

پس از ولتاژ شکست، با افزایش جریان عبوری تخلیه نورانی ایجاد می‌شود. در شکل مقابل ناحیه تخلیه نورانی بر روی نمودار I-V نشان داده شده است. در این شکل ناحیه DE را ناحیه برافروختگی عادی می‌نامند و در آن با ازدیاد جریان ولتاژ تغییر نمی‌کند. ناحیه EF که در آن با افزایش جریان، ولتاژ نیز افزایش می‌یابد را ناحیه برافروختگی غیر عادی می‌نامند.

هنگام تخلیه نورانی در فشارهای کم، فضای تخلیه به نواحی مختلفی تقسیم می‌شود. این نواحی در شکل ۴ نشان داده شده‌اند.




شکل ۴

**ناحیه تاریک آستون:** این ناحیه لایه بسیار نازکی است که روی کاتد را می‌پوشاند. به علت کم بودن سرعت الکترون‌ها در این ناحیه، الکترون‌های جدا شده از کاتد هنوز انرژی کافی برای برانگیخته کردن اتم‌های گاز را ندارند و لذا این ناحیه تاریک می‌باشد. همچنین به علت جریان یونهای مثبت، بار فضا و میدان مثبت است.

**ناحیه افروختگی کاتدی:** در این ناحیه الکترونهایی که کاتد را با انرژی کم ترک کرده‌اند با یون‌هایی که به طرف قطب منفی می‌روند ترکیب شده و باعث تولید نور مرئی می‌شوند.

**ناحیه تاریک کاتدی:** در انتهای ناحیه افروختگی کاتدی به علت کاهش جریان یونهای مثبت، بار مثبت فضا کاهش می‌یابد در این ناحیه الکترونها شتاب میگیرند ولی چون انرژی کافی ندارند نمی‌توانند اتمها را یونیزه کنند و به همین دلیل این ناحیه تاریک است.

**ناحیه افروختگی منفی:** در این ناحیه اتمها یونیزه شده و نور مرئی ایجاد می‌کنند. بار فضا منفی و میدان نیز منفی می‌باشد.

**ناحیه تاریک فاراده:** بار فضا در این ناحیه صفر است؛ چون الکترونها با یونهایی که جذب قطب منفی می شوند در این ناحیه دوباره ترکیب میگردند.

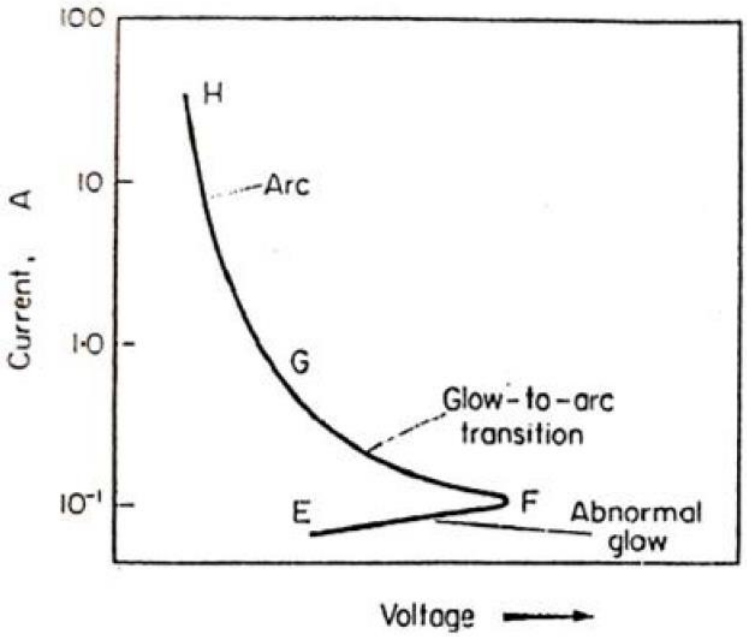
**ستون مثبت:** در این ناحیه گاز یونیزه شده و پلاسما ایجاد می‌شود بطوریکه $E$ مثبت و بار صفر است.

**ناحیه تاریک آندی:** در این قسمت الکترونهای که انرژی خود را در برخوردهای متوالی در ستون مثبت از دست داده‌اند از این ناحیه عبور کرده و به طرف آند می‌روند.

**افروختگی آندی:** الکترونهایی که ناحیه قبلی را پشت سر گذاشته و انرژی مختصری طی آن کسب کرده‌انـد، در نزدیکی یا روی آند ایجاد یک لایه تابناک نازک می‌کنند.

### تخلیه قوسی

با انتخاب منبع با مقاومت کمتر با افزایش جریان الکتریکی، می‌توان نوع دیگری از تخلیه به نام تخلیه قوسی را ایجاد کرد. شکل شماره ۵ منحنی ولتاژ برحسب جریان از تخلیه نورانی تا قوسی را نشان می‌دهد. در این نوع تخلیه ستون مثبت بشدت نورانی مـی‌شـود و اختلاف پتانسیل می‌تواند حتی به کمتر از ۵۰ ولت هم برسد.




شکل ۵

## نحوه انجام آزمایش

**توجه : منبع تغذیه مورد استفاده در این آزمایش ولتاژ بالا بوده و در هنگام انجام آزمایش موارد ایمنی را به دقت رعایت نمایید.**

- دستگاه لامپ تخلیه الکتریکی را با کمک مدرس خود راه‌اندازی کنید. برای این کار ابتدا سیم‌ها را به لامپ با فشار مورد نظر متصل کنید. سپس منبع تغذیه را روشن کرده و دکمه ولومی ولتاژ را بچرخانید تا لامپ تخلیه روشن شود. پس از آن نواحی بوجود آمده در لامپ را مورد بررسی قرار دهید. این کار را برای لامپ‌ها با فشارهای مختلف انجام دهید.

**آزمایش شماره ۷**

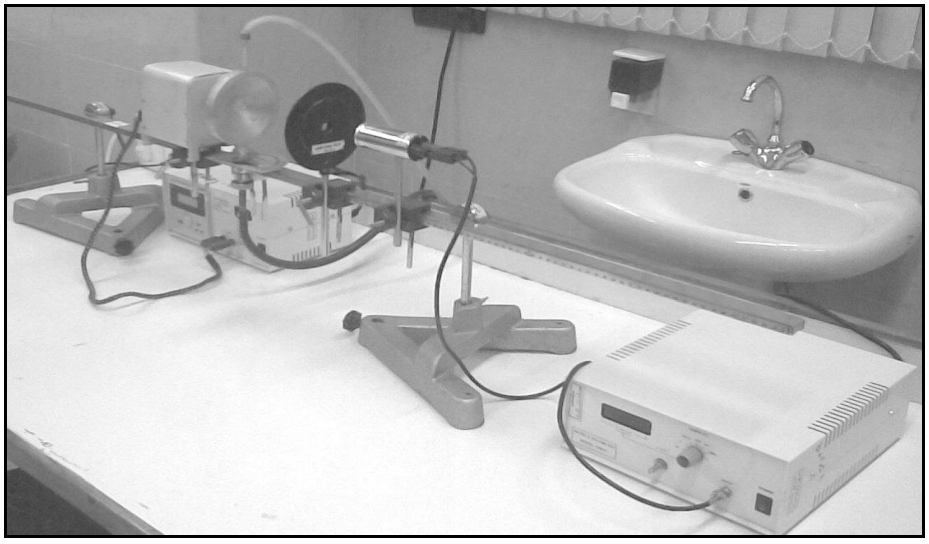
# تابش جسم سیاه

**هدف آزمایش:**

تحقیق قانون استفان – بولتزمن و قوانین لامبرت در مورد تابش جسم سیاه.

**وسایل آزمایش:**

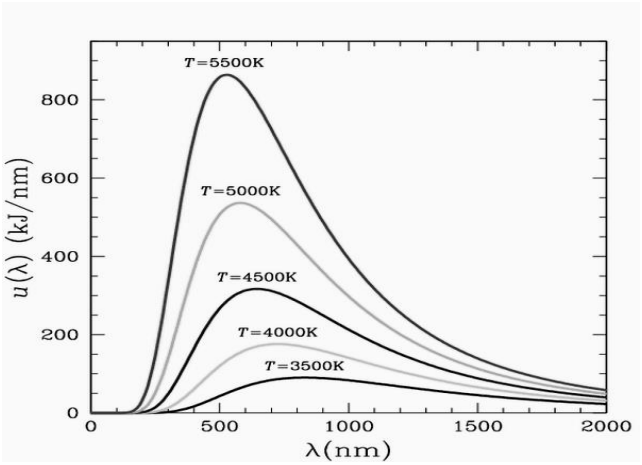
کوره الکتریکی با پایه، دیمر و دماسنج دیجیتال, میزچه اپتیکی ۲ عدد، دیافراگم سرد کننده، دیافراگم متغیر، ترموپیل، گیره مدرج، پایه ۷ شکل بزرگ ۲ عدد، گیره چند منظوره ۴ عدد، میکروولتمتر



**تئوری آزمایش:**

جسم سیاه به جسمی گفته میشود که جذب آن کامل بوده و بتواند کلیه تابشهای الکترومغناطیسی با هر فرکانسی را بطور کامل جذب کند. همچنین این چنین جسمی قادر است در اثر گرم شدن تابش های الکترومغناطیسی با همه فرکانسها را تابش نماید. البته طبق قانون جابجایی وین بیشینه توان تابشی با تغییر دما تغییر می کند و هر چه دما بالاتر رود این بیشینه به سمت فرکانسهای بالاتر (طول موجهای کوتاهتر ) میل میکند، بطوریکه برای بیشینه توان تابشی میتوان نوشت:

$$\lambda_{\max} T = C$$

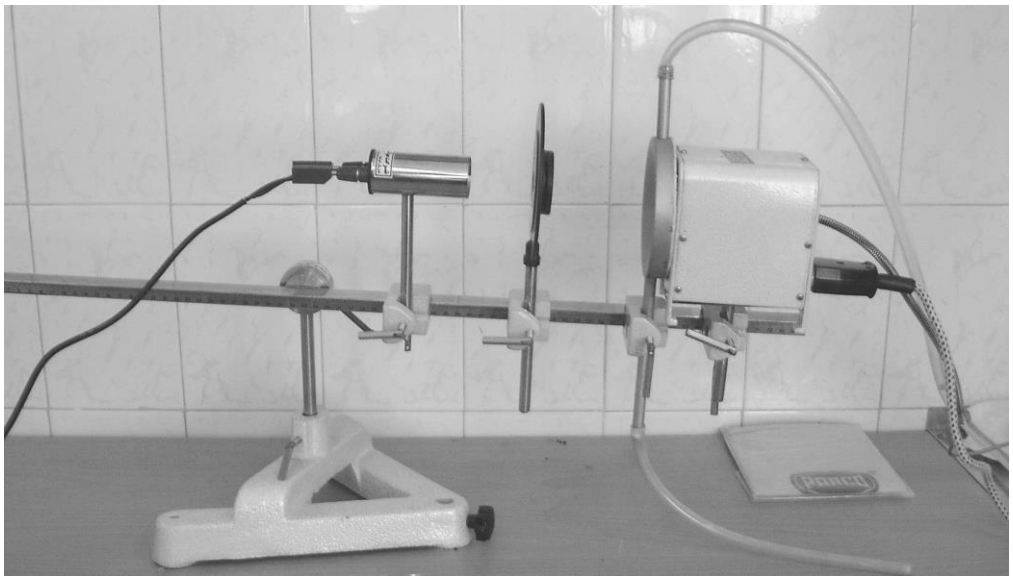



که در آن $T$ دمای مطلق جسم، $\lambda_{max}$ طول موجی است که در آن بیشینه توان تابشی حاصل میشود. C مقدار ثابتی است که مقدار آن $2.9\times10^{-3}\,mK$ میباشد. آزمایشات انجام شده بر روی جسم سیاه نشان میدهد که توان کل تابشی مربوط به کلیه فرکانسها از واحد سطح آن جسم با توان چهارم دمای مطلق جسم متناسب است یعنی $R(T)=\sigma T^4$ که در آن $\sigma$ ثابت استفان – بولتزمن نامیده میشود و مقدار آن $\sigma=5.67\times10^{8}\,W/m^2\,K^4$ میباشد. بر اساس قانون لامبرت شار تابشی که بطور عمودی از سطح معینی عبور میکند با عکس مجذور فاصله آن تا منبع تابش متناسب است. یعنی اگر سطح S عمود بر امتداد تابش و d فاصله آن از منبع باشد. $\phi(T) \propto 1/d^2$ خواهد بود. همچنین شار عبوری از سطح S که با سطح S فوق زاویه $\theta$ ساخته باشد متناسب با کسینوس این زاویه میباشد. یعنی $\phi(T) \propto Cos\,\theta$ به عبارت دیگر اگر زاویه $\theta$ بین امتداد عمود بر سطح جسم سیاه و امتداد گیرنده انرژی باشد، میزان انرژی دریافتی توسط گیرنده با کسینوس این زاویه متناسب خواهد بود که در این آزمایش گیرنده انرژی یک ترموپیل است.

**روش انجام آزمایش :**

**الف) تحقیق قانون استفان – بولتزمن**

پایه کوره الکتریکی را به کمک گیره چند منظوره به میزچه اپتیکی ببندید و کوره را روی پایه سوار کنید در فاصله ای حدود $d=10\ cm$ از کوره، دیافراگم متغییر را به کمک گیره چند منظوره به میزچه ببندید و در فاصله d از دیافراگم ترموپیل را توسط گیره چند منظوره طوری به میزچه ببندید که اولا مرکز سوراخ کوره و مرکز دیافراگم ترموپیل در یک امتداد و یک ارتفاع از میزچه قرار گیرند. (برای اطمینان از هم محور شدن این سه عامل می توانید از سوراخ پشت کوره نگاه کرده و تنظیم های لازم را انجام دهید.) ثانیا فاصله لبه ترموپیل از دیافراگم متغیر با فاصله لبه کوره از دیافراگم مساوی d باشد.(به شکل نگاه کنید)



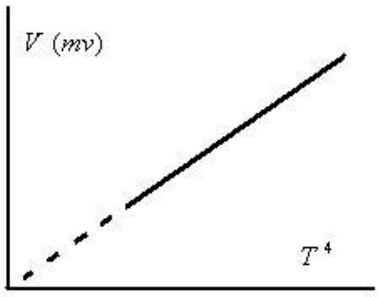
جسم سیاه را درون حفره کوره طوری قرار دهید که طرف خالی آن به سمت بیرون باشد. در انتهای جسم سیاه سوراخ کوچکی وجود دارد که محل قرار گرفتن ترموکوپل یا دماسنج است. این سوراخ در مقابل سوراخ پشت کوره قرار میگیرد تا بتوان ترموکوپل را از پشت کوره به آن وارد و دمای جسم سیاه را اندازه گیری نمود. دیافراگم سردکننده را به کمک گیره چند منظوره دیگری درست جلو کوره روی میزچه اپتیکی نصب کنید بطوریکه مرکز سوراخ آن بر مرکز سوراخ حفره جسم سیاه منطبق باشد. یک لوله لاستیکی را که به شیر آب بسته اید به لوله پایینی این دیافراگم و لوله لاستیکی دیگری را از لوله فوقانی دیافراگم به فاضلاب (درون کاسه دستشویی) هدایت نمایید. (در صورتیکه از شیر آب دور هستید میتوانید یک منبع ۲۰ لیتری را در ارتفاعی بالاتر از میز آزمایشگاه نصب و سطلی را در زیر میز آزمایشگاه قرار دهید تا از منبع فوق آب وارد دیافراگم شده و آب خروجی آن به سطل بریزد) نقش دیافراگم سردکننده این است که از تابشهای اضافی بجز حفره جسم سیاه و فقط به اندازه دهانه دیافراگم جلوگیری کند.

ترموکوپل را در سوراخ انتهای جسم سیاه قرار دهید و سر دیگر آن را به ورودی آن در جلو منبع تغذیه کوره متصل نمایید. سیمهای برق کوره را به خروجی دیمر که در جلوی منبع تغذیه تعبیه شده است وصل کنید. منبع تغذیه را به برق شهر وصل و کلید آن را بزنید تا روشن شود. در قسمت جلویی منبع تغذیه ولتاژ اعمال شده به کوره و دمای جسم سیاه بر روی نمایش دهنده دیجیتال آن قرائت میشود. با توجه به اینکه ترموکوپل قادر است اختلاف دمای کوره با دمای محیط را بدهد، در پشت منبع تغذیه سوراخ کوچکی قرار داده شده تا بتوان به کمک یک پیچ گوشتی ظریف دمای محیط را برای آن تنظیم تا قرائت دستگاه تصحیح و دمای جسم سیاه بر حسب درجه سلسیوس نسبت به دمای صفر قرائت شود، سوراخ محل این تنظیم با Temp Adj مشخص شده است. به کمک پیچ تنظیم دما, دمای کوره را به ۱۸۰ درجه سلسیوس ببرید آنگاه بکمک پیچ ولتاژ, ولتاژ مناسبی به کوره اعمال کنید و شاهد بالا رفتن دما باشید. هرچه ولتاژ اعمال شده بیشتر باشد سرعت گرم شدن

بیشتر خواهد بود. زمانی که دمای کوره به دمای مطلوب نزدیک شد با کاهش ولتاژ کوره می توان سرعت گرم شدن را کاهش داد تا با دقت بیشتری به آن دما نزدیک شود (چنانچه ولتاژ اعمالی زیاد باشد ممکن است قبل از آنکه دماسنج داخل کوره دمای مطلوب را حس کند و ولتاژ را قطع نماید, دمای کوره به بالاتر از دمای تنظیمی برسد.) در دهانه ورودی ترموپیل یک دریچه شیشه ای نصب شده است که قابل برداشتن می باشد. این دریچه ضمن اینکه مانع ورود اشعه مادون قرمز به درون ترموپیل میشود، از ورود گرد و غبار به داخل آن نیز ممانعت میکند. خروجی ترموپیل را به کمک سیم رابط مربوطه که یک طرف آن مجهز به اتصال BNC است به ورودی میکروولتمتر، و میکروولتمتر را به برق شهر متصل و روشن نمایید. سلکتور میکروولتمتر را در بیشترین حساسیت قرار داده و به کمک پیچ Zero Adj آنرا صفر کنید.

قطر دهانه دیافراگم متغیر را یک سانتیمتر انتخاب نموده و ضمن اینکه آب از درون دیافراگم سرد کننده میگذرد دمای کوره را تنظیم نمایید تا وقتی که به دمای حدود ۳۵۰ درجه سلسیوس برسد در این موقع ولتاژ کوره را به صفر برسانید تا از ازدیاد دمای آن جلوگیری شود. دما قدری بالا رفته و پس از مدتی به آهستگی شروع به کاهش خواهد نمود، می توانید دماهای مناسبی را مد نظر داشته باشید بطوریکه پس از جمع کردن آن با دمای ۲۷۳ عدد مناسبی بدست آید. مثلا ۳۷۷ که خواهیم داشت ۶۵۰=۳۷۷+۲۷۳ در این لحظه دریچه شیشه ای ترموپیل را بردارید تا انرژی حرارتی دریافت و میکروولتمتر ولتاژ خروجی آن را نمایش دهد. وقتی که میکروولتمتر تقریبا ثابت باشد، ولتاژ را یادداشت و بلافاصله دریچه شیشه ای را در محل خود قرار دهید تا گرمای اضافی موجب گرم شدن ترموپیل و باعث ایجاد خطا نگردد. به ازای هر ۵ یا ۱۰ درجه کاهش دما این کار را تکرار و نتایج حاصله را در جدولی مطابق جدول ذیل درج نمایید.

| $T\ ^\circ C$ | $T(K)$ | $V\ (mv)$ | $T^4 \div 10^{11}$ |
|---|---|---|---|
| ۳۷۷ | ۶۵۰ | | |
| ۳۶۷ | ۶۴۰ | | |
| ۳۵۷ | ۶۳۰ | | |
| ... | ... | | |



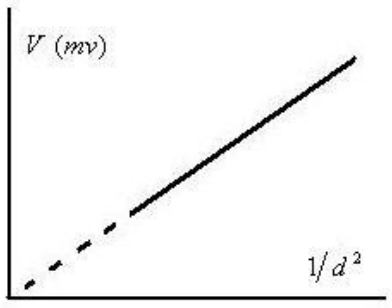

منحنی تغییرات V را بر حسب $T^4$ رسم کنید و خطی بودن آن را مشاهده کنید.

**ب) بررسی تغییر شدت تابش با عکس مجذور فاصله**

دیافراگم متغیر را از میزچه اپتیکی باز کنید و ترموپیل را در فاصله حدود $d=10Cm$ از دیافراگم سرد کننده قرار دهید. ولتاژ کوره الکتریکی را طوری تنظیم کنید که دمای کوره در حدود ۳۵۰ درجه سلسیوس ثابت بماند (برای رسیدن به دمای ثابت بایستی قدری منتظر بمانید لذا بمنظور کاهش خطا ضمن اینکه دریچه شیشه ای را روی ترموپیل نصب نموده اید با یک قطعه مقوا و یا هر مانع دیگری از رسیدن پرتوهای حرارتی به آن جلوگیری نمائید. زیرا گرم شدن تدریجی شیشه و انتقال گرما به سطح داخلی شیشه دستگاه را با خطا مواجه می سازد) پس از آن که دما ثابت شد، دریچه شیشه ای را برداشته و ولتاژ میکروولتمتر را قرائت و یادداشت نمائید .حال فاصله ترموپیل را از کوره افزایش داده مجددا میکروولتمتر را قرائت و یادداشت کنید (تذکر: فقط در وضعیت قرائت میکروولتمتر دریچه شیشه ای را از ترموپیل جدا کنید و در سایر مواقع آنرا در جلو ترموپیل نصب نمائید).

مقادیر فواصل و ولتاژهای میکروولتمتر را در جدولی مطابق جدول زیر وارد و منحنی تغییرات ولتاژ میکروولتمتر (که با توان دریافتی از کوره متناسب است) را بر حسب عکس مجذور فاصله دهانه ترموپیل از کوره ترسیم کنید وخطی بودن آنرا ملاحظه نمائید.

| $d$ | $T(K)$ | $V\ (mv)$ | $1/d^2$ |
|---|---|---|---|
| 10 | | | |
| 15 | | | |
| 20 | | | |
| ... | | | |

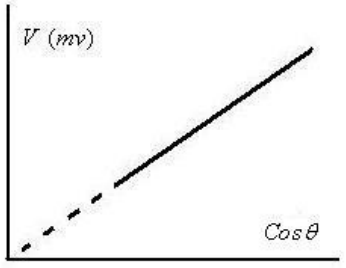



آیا امتداد منحنی از مبدا مختصات میگذرد؟ دلیل آنرا بیابید.

**ج) مطالعه تغییر شدت تابش با زاویه**

لوله دیافراگم سرد کننده را از سوراخ گیره مدرج عبور داده و پیچ گیره را محکم کنید تا آنرا نگهدارد. دو میزچه اپتیکی را به دو طرف گیره مدرج طوری ببندید که گیره کاملا در محل اتصال آنها قرارگیرد و شما قادر باشید با جابجا کردن یکی از میزچه ها زاویه آنرا تغییر دهید. کوره را که حاوی جسم سیاه است در پشت دیافراگم سرد

کننده بر روی پایه مربوطه قرار داده وآنرا به منبع تغذیه اش متصل و ترموکوپل را در پشت جسم سیاه قرار داده و انتهای دیگرش را به ورودی دما روی منبع تغذیه و دماسنج دیجیتال وصل کنید. منبع تغذیه را روشن کنید و ولتاژ کوره را طوری تنظیم کنید که تا دمای حدود ۳۵۰ درجه بالا رفته و ثابت شود. لوله آب را به دیافراگم سرد کننده متصل و با باز کردن شیر آب آنرا سرد نگهدارید. در فاصله ای حدود ۲۰ سانتیمتر روی میزچه اپتیکی متحرک ، ترموپیل را در امتداد تابش کوره قرار دهید. دقت کنید که وقتی میزچه ها در یک امتداد هستند، عقربه گیره مدرج عدد صفر یا ۱۸۰ را نشان دهد. در این وضعیت زاویه تابش پرتوهای گرمایی با سطح ترموپیل صفر درجه است. دریچه شیشه ای ترموپیل را بردارید و میکروولتمتر را قرائت کنید. میزچه متحرک را قدری بچرخانید (مثلا ۵ درجه) ومجددا ولتاژ میکروولتمتر را بخوانید و این کار را بازای هر ۵ درجه تکرار کنید تا به زوایای حدود ۸۰ درجه برسید. اعداد حاصل را در جدول زیر قرار دهید. منحنی تغییرات ولتاژ ترموپیل که متناسب با توان تابشی است را برحسب $Cos\theta$ ترسم کنید و خطی بون آنرا تحقیق کنید.




| $\theta^\circ$ | $V\ (mv)$ | $Cos\,\theta$ |
|---|---|---|
| ۰ | | |
| ۵ | | |
| ... | | |

**آزمایش شماره ۸**

# اثر هال

## هدف آزمایش:

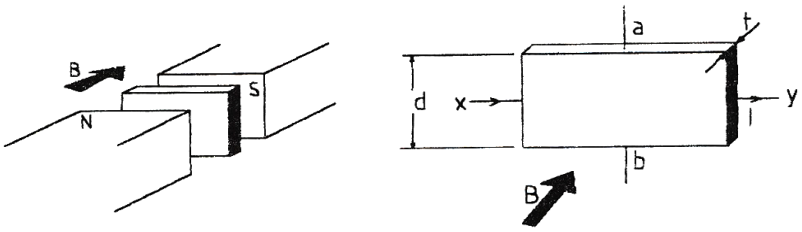
تعیین نوع حامل‌های بار الکتریکی در رساناها، محاسبه چگالی حاملهای بار در رساناهای مورد آزمایش.

## وسایل آزمایش:

آهنربای الکتریکی(الکترومگنت ۰,۶T)،منبع تغذیه آهنربا، برد مخصوص هال با ورقه نقره، برد مخصوص هال با ورقه مس, میکرو ولتمتر, منبع جریان

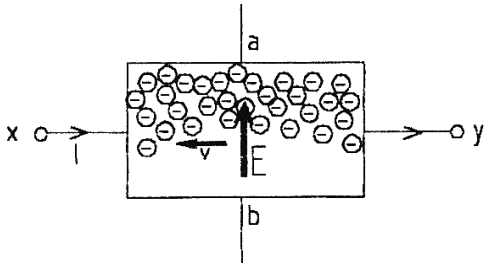
**تئوری آزمایش:**

با قرار دادن یک ورقه قلزی 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 اندازه گیری 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 شدتB 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 می یابد 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

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

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:

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

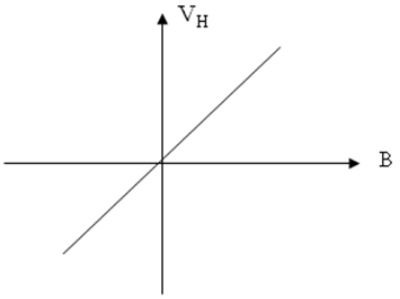
که A=td مساحت مقطع ورقه و n چگالی حامل‌های جریان الکتریکی یعنی تعداد حامل‌های بار موجود در واحد حجم می‌باشد. با قرار دادن این مقدار در رابطه (۴) داریم:

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

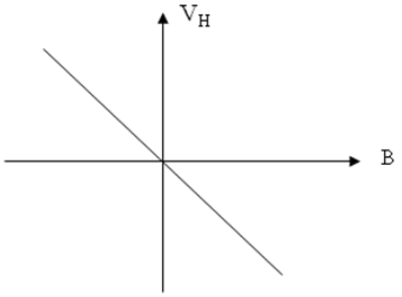
بطوریکه از معادله (۶) پیداست در صورت ثابت نگه داشتن I رابطه‌ی ولتاژ هال، $V_H$، با شدت القاء مغناطیسی، B ، یک رابطه خطی است که ضریب زاویه این خط $\frac{I}{nqt}$ و هر گاه B را ثابت نگه داریم رابطه $V_H$ با شدت جریان I ورقه خطی بوده و ضریب زاویه آن $\frac{B}{nqt}$ می‌باشد.

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

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

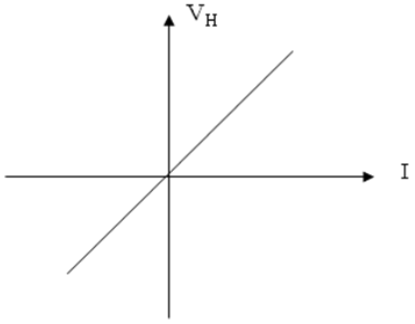



ولتاژ هال بصورت تابعی از القاء مغناطیسی B در مورد نمونه روی

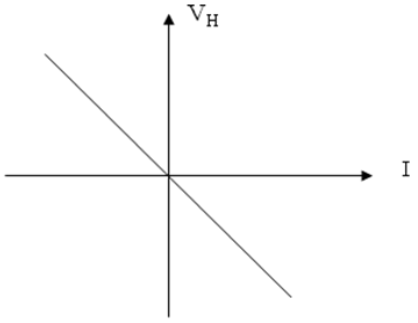



ولتاژ هال بصورت تابعی از القاء مغناطیسی B در مورد نمونه مسی

(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 | | | | |
| ۴ | | | | |
| ۵ | | | | |
| ۶ | | | | |

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 $1/6 * 10^{-19} C$ می‌باشد، چگالی حامل‌های بار در رسانای مورد آزمایش را بدست آورید.

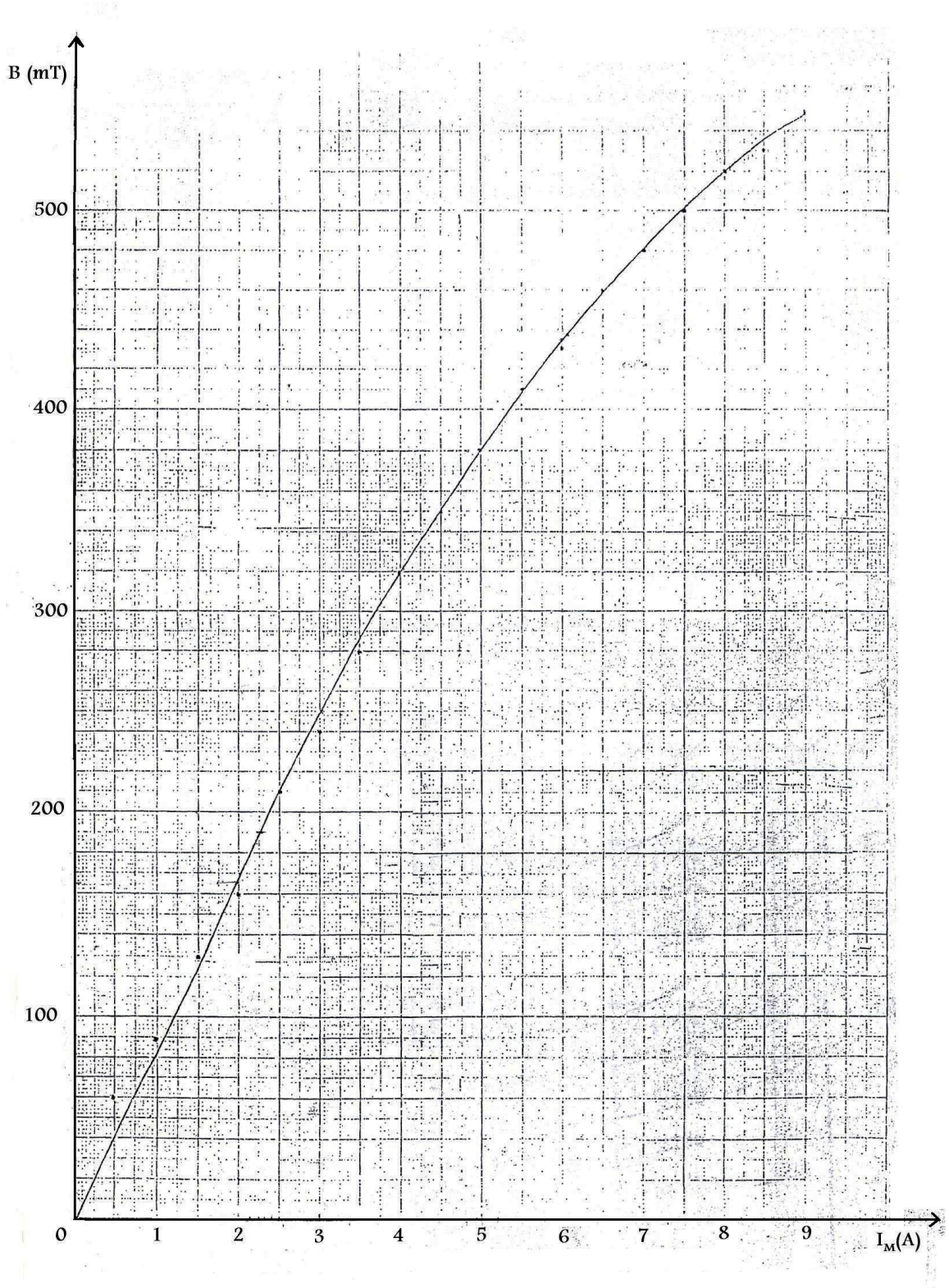
**ب) رسم منحنی $V_H$بر حسب I :**

شدت جریان منبع تغذیه آهنربای الکتریکی $I_M$ را حدود ۴ 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) |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | | | | |
| ۲ | | | | |
| ۳ | | | | |
| ۴ | | | | |
| ۵ | | | | |
| ۶ | | | | |

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.

**آزمایش شماره ۹**

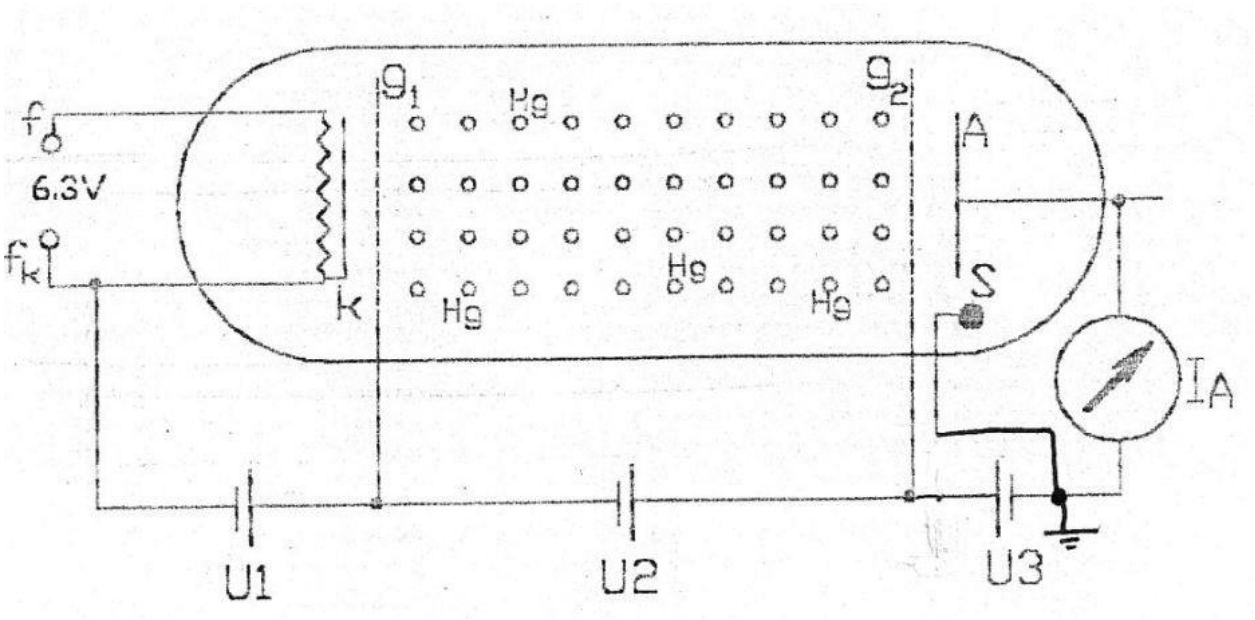
# آزمایش فرانک – هرتز

**هدف آزمایش:** رسم منحنی فرانک هرتز برای جیوه، اندازه گیری تابش منقطع انرژی مربوط به الکترونهای آزاد در برخورد ناکشسان و تحلیل نتایج اندازه گیری ها مبنی بر جذب انرژی ناپیوسته توسط اتم‌های جیوه.
وسائل آزمایش: کوره الکتریکی، دماسنج دیجیتال همراه با ترموستات، لامپ فرانک هرتز جیوه ای ، سوکت لامپ فرانک هرتز ، منبع تغذیه مخصوص لامپ فرانک هرتز، تقویت کننده جریان همراه با میکروآمپرمتر، سیمهای رابط .

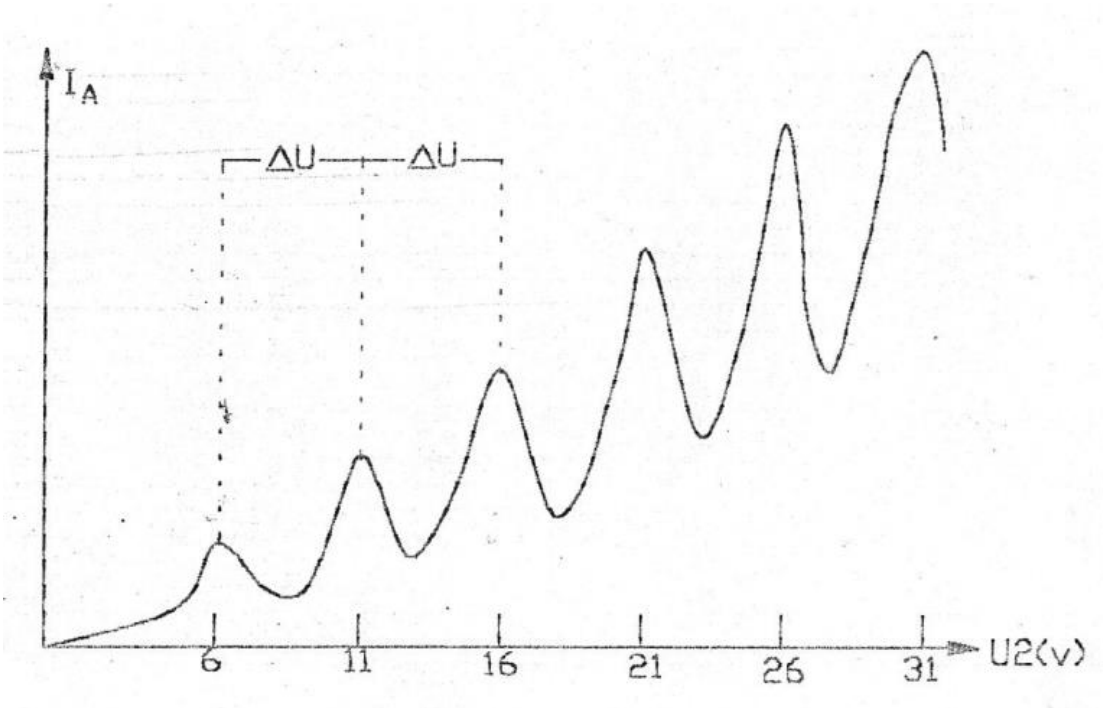
ملاحظات نظری: در سال ۱۹۱۴ میلادی جیمز فرانک James Franck و گوستا و هرتز Gustav Hertzاتلاف انرژی معین پله‌ای مربوط به الکترونهائی که در بخار جیوه حرکت و ایجاد تابش جیوه در ناحیه ماوراء بنفش ($\lambda$=254nm) می کنند را گزارش نمودند. چند ماه بعد نیلز بوهر Niels Bohr آنرا بعنوان مدرکی دال بر صحت مدل اتمی خود عنوان نمود. لذا آزمایش فرانک - هرتز تجربه ای کلاسیک برای تأیید نظریه کوانتمی می باشد.
در یک لامپ شیشه ای تخلیه شده از هوا که اتمهای جیوه در فشار بخار حدود 15hpa (تقریبا $1/5\times10^{-3}$ اتمسفر) با تنظیم دما نگه داشته می‌شوند، آزمایش اتلاف انرژی الکترونهای آزاد در برخورد ناکشسان و در نتیجه تحریک اتمهای جیوه را بعلت این برخودر بررسی می نماید. لامپ از یک مجموعه متقارن استوانه ای متشکل از چهار الکترود (به شکل ۱ نگاه کنید) تشکیل شده است. کاتد K درون الکترود مشبک $G_1$ با فاصله حدود چند دهم میلمتر از آن محاط شده و شبکه شتابدهنده $G_2$ در فاصله نسبتا بیشتری و بالاخره، الکترود جمع کننده A در خارج آنها قرار گرفته است. به منظور جلوگیری از تغییرات پتانسیل در طول کاتد K، کاتد بصورت غیر مستقیم توسط رشته گرم کننده مرکزی) گرم می‌شود .
الکترونها توسط اکترود داغ تابش شده (اثر ترمویونیک) و ابری از بار الکتریکی ایجاد می‌گردد. این الکترونها در اثر اختلاف پتانسیل $U_1$, بین کاتد و شبکه $G_1$ جذب می گردند. جریان تابشی عملا مستقل از ولتاژ شتاب دهنده $U_2$ بین $G_1$ و$G_2$ می باشد. یک ولتاژ ترمزی $U_3$ بین شبکه $G_2$ و $G_3$ و جمع کننده A برقرار می شود، فقط الکترون‌هایی که انرژی جنبشی کافی داشته باشند می توانند به الکترود A رسیده و در شدت جریان آن سهیم باشند. در این آزمایش ولتاژ شتابدهنده $U_2$ را از صفر تا ۳۰ ولت (در حالیکه ولتاژ$U_1$ و ولتاژ ترمزی $U_3$ ثابت نگه داشته شده اند) افزایش داده می شود و شدت جریان متناظر با آن $I_A$ را اندازه گیری می گردد. این جریان در ابتدا مانند شدت جریان لامپ چهار قطبی معمولی افزایش می یابد. لیکن پس از رسیدن به یک بیشینه، زمانیکه انرژی جنبشی الکترونها در نزدیکی شبکه $G_2$ به مقدار انرژی تحریک اتمهای جیوه ($E_{Hg}$=4.9 ev) در اثر برخورد میرسد، شدت جریان جمع کننده A شدیدا کاهش یافته الکترونهای ساکن

شده جذب $G_2$ می‌گردند) والکترونها قادر نخواهند بود که پس از برخورد ناکشسان خود باتمها بر ولتاژ ترمزی $U_3$غلبه کرده و به A برسند.

به تدریج که ولتاژ شتابدهنده $U_3$ افزایش داده می شود، انرژی اکترونها افزایش یافته و در فاصله نزدیکتری از شبکه $G_1$ اتمهای جیوه را تحریک نموده و پس از این برخورد ناکشسان، مجددا شتاب دار می شوند و قادر خواهند بود بر ولتاژ ترمزی $U_3$ غلبه نموده، و به الکترود A برسند. لذا شدت جریان $I_A$ افزایش می یابد. وقتی $U_2$ به حدی برسد که در فاصله شبکه های $G_1$ و $G_2$ الکترونهای شتابدار شده دو بار اتمهای جیوه را تحریک نمایند و یکی از این تحریک‌ها در نزدیکی $G_2$ اتفاق بیفتد، مجددا شدت جریان $I_A$ کاهش یافته و به یک کمینه می رسد و به همین ترتیب با افزایش $U_2$ الکترونهای مزبور ۳، ۴، ۵ و بار در فاصله $G_1$ و G2 اتمهای جیوه را تحریک کرده و موجب بروز بیشینه ها و کمینه های متعدد در شدت جریان $I_A$ می شوند.




شمای لامپ فرانک – هرتز و الکترودهای آن

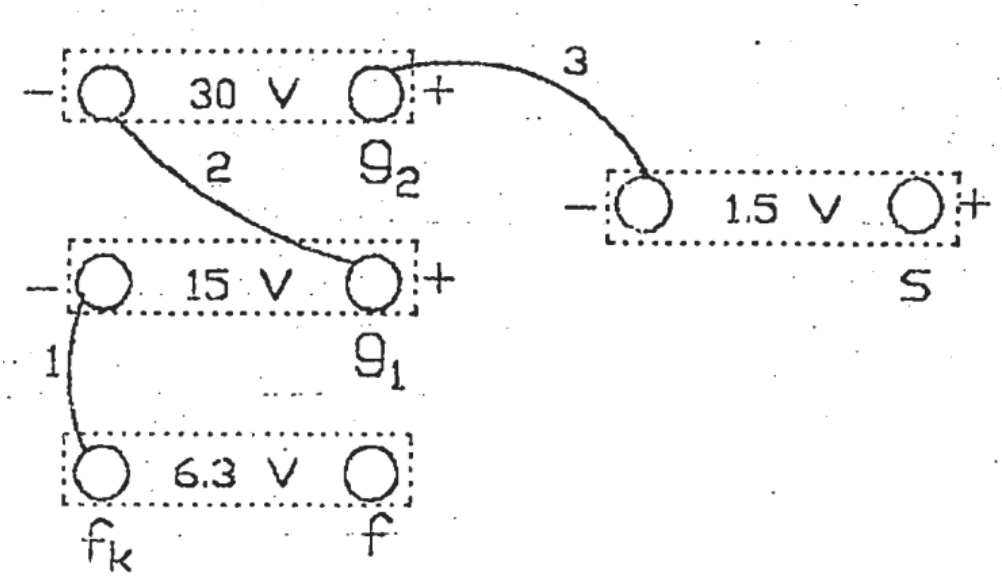



منحنی تغییرات شدت جریان $I_A$ برحسب تغییرات ولتاژ $U_2$

**روش آزمایش:**

استوانه برنجی که بعنوان محفظهٔ لامپ فرانک - هرتز و نیز مصون کردن آن از آثار میدانهای الکتریکی متناوب خارجی (مخصوصا المنت های کوره) بکار می رود را درون کوره الکتریکی قرار داده و پیچ نگهدارنده آن را که محل اتصال ترموکوپل به آن نیز می باشد، از پشت کوره ببینید و محکم کنید. ترموکوپل را به انتهای آن بسته و سیم ترموکوپل را به محل مخصوص آن واقع در پشت منبع تغذیه کوره که حاوی ترموستات و دیمر نیز هست متصل کنید و سیم برق کوره را به قسمت جلو منبع تغذیه کوره الکتریکی وصل کنید. منبع تغذیه را به برق بزنید و پس از چند ثانیه که ترموستات روشن و تثبیت شد، دکمه set ترموستات را فشار دهید تا چراغ SVروشن شود. با پیچانیدن پیچ تنظیم دما، آن را روی ۱۶۰ °C قرار داده و مجددا دکمه Set را فشار دهید تا چراغ SV خاموش و چراغ PV روشن شود. در این حالت ترموستات دمای استوانه برنجی را قرائت می کند.
پیچ تغییر ولتاژ منبع تغذیه را پیچانیده و ولتاژ را روی ۱۲۰ ولت قرار دهید. کوره بتدریج گرم می شود .
پایه های لامپ فرانک - هرتز را با احتیاط کامل درون سوکت آن قرار داده و لامپ را وارد محفظه کوره کنید تا شروع به گرم شدن نماید .
وقتی که دمای کوره به ۱۳۰ °C رسید ولتاژ آن را تغییر نور و روی ۷۵ ولت قرار دهید تا تغییرات دمای آن کند و منظم شود بطوریکه وقتی به ۱۶۰ °C رسید قطع و وصل شدن ترموستات دما را بین ۱۵۵ °C و ۱۶۵ °C نگهدارد. هنگام قطع کردن ترموستات قرائت کننده ولتاژ صفر را نشان خواهد داد و چراغ Low روی ترموستات روشن می شود و در زمان وصل کردن ترموستات ولتاژ به میزان تنظیم شده (مثلا ۷۵ ولت) رسیده و چراغ High روشن می شود .

منبع تغذیه لامپ فرانک - هرتز را به برق شهر وصل و کلید آن را در وضعیت خاموش قرار دهید .
توجه مهم: چون در داخل لامپ، جیوه وجود دارد و در حالت سرد بودن لامپ، بین رشته لامپ و شبکه ها و الکترود A را فرا می گیرد. اتصال آن به برق و روشن کردن آن موجب سوختگی لامپ خواهد شد لذا اکیدا توصیه می شود که قبل از رسیدن لامپ به دمای ۱۶۰°C و چند بار روشن و خاموش کردن ترموستات (حدود ۲۰ دقیقه پس از قراردادن لامپ درون کوره) منبع تغذیه لامپ را روشن نکنید .
با توجه به شکل زیر سیم های رابطه کوتاه را بکار برده و اتصالات لازم اولیه را روی منبع تغذیه ایجاد کنید بطوریکه ولتاژهای مورد نظر با یکدیگر سری شوند. سیم رابط ۱ را از ۶/۳ ولت به منفی ۱۵ ولت، سیم رابط ۲ را از مثبت ۱۵ ولت به منفی ۳۰ ولت و سیم رابط ۳ را از مثبت ۳۰ ولت به منفی ۱/۵ ولت وصل کنید .
سیمهای رابط سوکت لامپ فرانک - هرتز که روی هر یک نام آن نوشته شده است را به محل های مربوطه که در شکل مشخص شده است، متصل کنید .




f = (سیاه) رشته گرم شونده
$f_k$ = (سبز) رشته گرم شونده و کاتد
$g_1$ = (سفید) شبکه اول
$g_2$ = (قرمز) شبکه دوم
S = (زرد) زمین
A = (قرمز با اتصالBNC ) صفحه جمع کننده (کلکتور)

سیم A را که دارای اتصال BNC است به ورودی تقویت کننده جریان وصل کنید و خروجی تقویت کننده را به میکرو آمپرمتر متصل نمائید با استفاده از سیم های رابط سیم زمین آزمایشگاه را به استوانه برنجی، محل اتصال زمین در پشت منبع تغذیه و پشت تقویت کننده و نیز محل اتصال S وصل کنید. پس از اطمینان از گرم شدن لامپ، منبع تغذیه را روشن کنید و چند لحظه بعد، لامپ را اندکی از کوره خارج نمایید بطوریکه

سرخ شدن رشته مرکزی آن را ببینید و از روشن بودن لامپ مطمئن شوید. تقویت کننده جریان را نیز روشن کنید و حدود ۳ دقیقه صبر کنید تا تثبیت شود. ضریب تقویت آن را روی عدد $10^5$ قرار دهید .

ولتاژ شبکهٔ $G_1$ را از طریق پیچ ۱۵-۰ ولت تا ۲ ولت بالا ببرید و با پیچ تنظیم صفر تقویت کننده، میکروآمپر را صفر کنید .

اکنون ولتاژ $G_2$ را از طریق پیچ ۳۰-۰ ولت ضمن اینکه میکرو آمپرمتر را نظاره می کنید، به آهستگی بالا ببرید. ملاحظه خواهید کرد که عقربه میکرو آمپرمتر متناوبا بالا و پائین می رود. در صورتیکه این حالت ایجاد شده باشد، ولتاژ $G_2$ را به ۳۰ ولت برده و ولتاژ $G_1$ را طوری تنظیم کنید که عقربه میکروآمپرمتر تقریبا تا انتها منحرف گردد. حال ولتاژ $G_2$ را صفر کنید، با صفر تقویت کننده میکروآمپرمتر را نیز صفر نموده، اندازه گیری را بشرح ذیل شروع کنید:

(توجه شود که دمای کوره روی $160 \pm 5\ ^\circ C$ ثابت بماند تا اندازه گیری های خوبی داشته باشید اگر تغییرات شدیدی در دما دیدید ولتاژ کوره را کاهش دهید تا تثبیت شود)

اندازه گیری: ولتاژ شبکه $G_2$ را با فواصل ۰/۵ ولت افزایش دهید و شدت جریان میکروآمپر (IA) را قرائت و در جدولی یادداشت کنید.

| | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $U_2$ | ۰ | ۰/۵ | ۱ | ۱/۵ | ۲ | ۲/۵ | ..... | ۳۰ |
| $I_A$ | ۰ | | | | | | | |

جدول *I*

پس از کامل شدن جدول فوق با پیچ ۳۰-۰ ولت، ولتاژ هائی را که به ازاء آنها شدت جریان $I_A$ بیشینه و کمینه می شود در فاصله ۵ ولت تا ۳۰ ولت بدست آورده و در جدول زیر درج نمائید.

| | Max | min | Max | min | Max | min | Max | min |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $U_2$ | | | | | | | | |

جدول *II*

منحنی تغییرات $I_A$ را بر حسب $U_2$ رسم کنید و محل Max و min آن را با استفاده از جدول II کنترل و در صورت لزوم اصلاح نمائید.

فاصله قله ها را از یکدیگر اندازه گیری و آنها را یادداشت نمائید. $\Delta U_{Max}$

فاصله دره ها را از یکدیگر اندازه گیری و آنها را یادداشت نمائید. $\Delta U_{min}$

اگر $\Delta U$ ها را با یکدیگر مقایسه کنید، مشاهده خواهید کرد که همگی در حد ۴/۹ ولت قرار دارند که نتیجه آزمایش است و نشان دهنده منفصل بودن انرژی دریافتی توسط اتمهای جیوه می باشد.

**نکات احتیاطی**

۱ -دمای لامپ فرانک - هرتز را هرگز بالاتر از ۲۰۰°C نبرید.

۲ - لامپ حاوی حدود ۵ گرم جیوه می باشد، در صورت شکسته شدن جیوه ها را از محیط کار جمع آوری و به طریق مناسب (ایجاد ملقمه) غیر فعال نمائید.

۳- در حالیکه لامپ سرد است ولتاژی به آن متصل نکنید زیرا احتمال سوختن رشته لامپ وجود دارد.

۴ - در صورت بروز جرقه الکتریکی در لامپ که ازدیاد شدید و ناگهانی جریان نشانه آن است، ولتاژ هر دو شبکه را صفر کنید .

۵ - قطعات داغ دستگاه را با دستکش مقاوم به گرما و نسوز جابجا نمائید.

۶- در صورت روشن بودن کوره، به قسمت پشت کوره که ترموکوپل به آن متصل است دست نزنید زیرا دمای آن حدود ۲۰۰ °C می باشد.

آزمایش شماره ۱۰

# آزمایش پدیده زیمن"Zeeman Effect"

**وسایل آزمایش:** آهنربای الکتریکی 1T و منبع تغذیه آهنربای الکتریکی 0-100 V, 0-10 A مدل ۵۱۱۲، لامپ جیوه U شکل با محفظه آن، منبع تغذیه HV لامپ جیوه 0-5 KV مدل ۵۱۱۵، تداخل سنج فابری - پرو با دوربین مربوطه، پلاریزور مدرج با پایه نگهدارنده آن، فیلتر سبز جیوه با پایه نگهدارنده آن، پایه کوچک مکعبی و سیم های رابط

**هدف آزمایش:** مشاهده پدیده زیمن از طریق قرار دادن لامپ جیوه در میدان مغناطیسی خارجی و اندازه گیری مگنتون بوهر $\mu_B$

**تئوری آزمایش:** در اثر قرار گرفتن اتم در میدان مغناطیسی خارجی هر تراز انرژی با مشخصه عدد کوانتمی J به 2J+1 زیر تراز انرژی شکافته و یا تقسیم می گردد. تعداد این زیر ترازها با تعداد مقادیر ممکنی که به عدد کوانتمی مغناطیسی M تخصیص می یابد برابر است که M اندازه تصویر تکانه زاویه ای کلی اتم بر امتداد میدان مغناطیسی می باشد. مشاهده شکافته شدن خطوط طیفی در میدان مغناطیسی پدیده زیمن (۱۸۹۶ میلادی) نامیده می شود.

طبیعت انشقاق خطوط طیفی مختلف و متنوع است، لیکن تعداد مؤلفه ها و اندازه انشقاق هر خط تابع قواعد ساده ای می باشد.

بخشی از مؤلفه های تقسیم شده، وقتی که در امتداد عمود بر خطوط میدان مغناطیسی مورد مشاهده قرار می گیرند، همواره در امتداد و به موازات میدان و قطبیده است (مؤلفه π)، در حالیکه مؤلفه های دیگر آن در امتداد عمود بر میدان قطبیده هستند (مؤلفه های $\sigma$).

در ساده ترین حالت، پدیده زیمن منجر به انشقاق متقارن خط طیف به سه مؤلفه با بسامدهای $\upsilon_{+1}$ و $\upsilon_0$ و $\upsilon_{-1}$ می شود. بطوریکه :

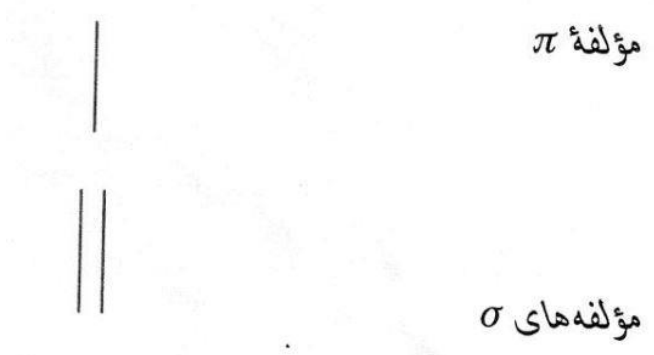
$$\Delta\upsilon_0 = \upsilon_{+1} - \upsilon_0 = \upsilon_0 - \upsilon_{-1}$$

و برابر است با :

$$\Delta v_0 = \mu_B \frac{B}{h} \qquad (1)$$

که در آن $\mu_B$ مگنتون بوهر و B شدت القاء مغناطیسی می باشد. این نحوه انشقاق، پدیده عادی زیمن "normal Zeeman effect" نامیده می شود که تئوری مربوطه در سال ۱۹۱۶ میلادی توسط "دی بای "(Debye) و "سامر فلد" (Sommerfeld) ارائه گردید.

این پدیده برای مجموعه های تک خطی طیف های He و گروه عناصر قلیائی خاکی و همچنین Zn، Cd ، Hgمشاهده شده است. در شکل (۱) پدیدهٔ عادی زیمن برای یکی از تک خطوط با طول موج $\lambda = 6438/47\ A^o$ در گذار $(1P_1 - 1D_2)$ کادمیوم نشان داده شده است .




شکل (۱): سه گانه اثر عادی زیمن مربوط به تک خط کادمیوم با طول موج $\lambda = 6438/47\ A^o$ در گذار (1P– 1D)

حال منشاء این پدیده را بررسی می کنیم:

در یک میدان مغناطیسی، انرژی یک اتم به میزان $\Delta E = M\mu_B B$ تغییر می کند. در نتیجه انرژی کل اتمی که در میدان قرار گرفته است در تراز بالاتر $1P_1$ و تراز پائین تر $1D_2$ بترتیب $E' = E'_0 + M'\mu_B B$ و $E = E_0 + M\mu_B B$ می شود و لذا داریم :

$$v_0 = \frac{E' - E}{h} = \frac{E'_0 - E_0}{h} + (M' - M)\frac{\mu_B B}{h} = v_0 + \Delta M \frac{\mu_B B}{h} \qquad (2)$$

با توجه به اصل انتخاب ، برای عدد کوانتمی مغناطیسی $\Delta M = 0$ ، $\Delta M = \pm 1$، از رابطه (۲) داریم:

$$v_{+1} = v_0 + \Delta v_0 \quad , \quad v_0 \quad , \quad v_{-1} = v_0 - \Delta v_0 \qquad (3)$$

که در آن $\Delta\nu_0 = \frac{\mu_B B}{h}$

مؤلفه های $\upsilon_{+1}$ ، $\upsilon_{-1}$ از این سه گانه عادی، در امتداد عمود بر میدان مغناطیسی (σ) و مؤلفه $\upsilon_0$ در راستای موازی با میدان قطبیده می باشند (π).

**روش آزمایش:**

ابتدا با استفاده از پیچ میکرومتر دو آینه تداخل سنج را (با در نظر گرفتن میزان فرو رفتگی آینه ها) در فاصله حدود ۴ تا ۷ میلی متر از یکدیگر قرار دهید. (هنگامی که پیچ میکرومتر بر روی عدد 13mm قرار دارد، فاصله بین دو آینه تداخل سنج ۵ میلی متر می باشد)

تداخل سنج فابری-پرو را برای مشاهده نوارهای تداخلی تنظیم کنید. بدین منظور مراحل زیر را انجام دهید:

- لامپ سدیم را به منبع تغذیه آن متصل و روشن کنید تا گرم شود. گرم شدن لامپ حدود ۵ دقیقه طول می کشد .
- یک ورقه کوچک کاغذ را که در آن سوراخ کوچکی ایجاد نموده اید در مقابل لامپ سدیم روی حفاظ آن نصب کرده و لامپ را در فاصله نسبتا دور از آینه های تداخل سنج قرار دهید. در این حالت دوربین و عدسی جلو آینه ها را برداشته شده باشند.
- با پیچاندن پیچ های تنظیم آینه ثابت تداخل سنج وضعیتی را ایجاد کنید که تصاویر متعدد سوراخ، به یکدیگر منطبق شوند. این کار را تا حد ممکن دقیق انجام دهید.
- کاغذ را از مقابل لامپ بردارید، در این حالت (اگر تنظیم را به خوبی انجام داده باشید) باید نوارهای تداخلی دایروی (یا حداقل قسمتی از آنها) مشاهده گردند .
- با تنظیم دقیق تر پیچ های تنظیم آینه ، وضوح نوارهای تداخلی را بهبود بخشید، بطوریکه اگر چشم خود را به سمت بالا و پائین و یا چپ و راست ببرید، در مرتبه نوار مرکزی تغییر چندانی ایجاد نشود. (اگر تاریک است، تاریک و اگر روشن است، روشن باقی بماند)
- با دقت و به آهستگی بطوریکه آینه تکان نخورد، عدسی دستگاه را بر روی آینه، و دوربین تداخل سنج را در محل مربوطه نصب نموده و در آن نظاره کنید و با جابجا کردن عدسی چشمی دوربین، بهترین تصویر را برای مشاهده بوجود آورید .

حال اگر پیچ میکرومتر دستگاه را به آهستگی بچرخانید، تولید یا محو شدن نوارهای تداخلی در مرکز را بخوبی خواهید دید.

در مرحله بعد لامپ جیوه U شکل را (که در محفظه آن قرار دارد) بین قطبین مخروطی سوراخ دار آهنربا قرار داده و محفظه آن را قفل کنید تا در محل خود بخوبی و محکم قرار گیرد .

در جلوی لامپ جیوه فیلتر سبز و سپس پلاریزور را قرار دهید.

تداخل سنج فابری-پرو را که در مرحله قبل تنظیم کرده اید در مقابل پلایزور قرار دهید، به صورتی که نور خارج شده از لامپ جیوه پس از عبور از فیلتر سبز و پلاریزور به تداخل سنج برسد.

حال سیم پیچ های آهنربای الکتریکی را با یکدیگر به شکل سری ببندید به گونه ای که جهت گردش جریان الکتریکی در آنها یکسان باشد و آنرا به منبع تغذیه مربوطه متصل نمایید.

سیم های لامپ جیوه را به منبع تغذیه HV متصل و آنرا روشن کنید و پیچ ولتاژ را تا انتها بپیچانید (ولتاژی در حدود ۱۲۰۰ ولت برای تغذیه لامپ کفایت می کند)

حال از طریق تداخل سنج به نور سبز لامپ جیوه نگاه کنید تا نوارهای تداخلی را به شکل واضح مشاهده کنید. قطبشگر (پلاریزور) را بر روی زاویه صفر بگذارید. منبع تغذیه مربوط به آهن ربای الکتریکی را روشن کنید و در حالتی نوارهای تداخلی را مشاهده می کنید، به مرور میزان جریان الکتریکی عبوری از سیم پیچ ها را افزایش دهید. توجه شود که مدت زمانی که جریان بیش از ۵ آمپر به سیم پیچ ها وارد می‌شود، حتی الامکان کوتاه اختیار شود. با افزایش جریان الکتریکی (و در نتیجه افزایش میدان مغناطیسی) ملاحظه خواهید کرد که هر خط تداخلی دایروی به دو خط (مؤلفه های σ) شکافته و به دو طرف جابجا می شوند (بطوریکه محل اولیه خط تداخلی تاریک می گردد). اگر در این حالت محور پلاریزور را روی ۹۰ درجه ببرید، این دو خط محو و خط سوم (مؤلفه π) در محل اولیه نوارهای تداخلی مشاهده خواهد شد. بدین ترتیب ملاحظه می شود که خط سبز طیف جیوه در میدان مغناطیسی به سه خط قطبیده تبدیل می گردد که دوتای آنها در امتداد عمود بر امتداد میدان مغناطیسی (مولفه های σ) و دیگری در امتداد موازی خطوط میدان (مؤلفه π ) قطبیده اند (پدیدهٔ عادی زیمن). در حالی که به نوارهای تداخلی نگاه میکنید، جریان الکتریکی را افزایش داده تا نوارهای تداخلی پس از شکافتگی در بین یکدیگر قرار گیرند (یعنی حلقه ها به طور یکنواخت توزیع گردند). در این حالت میزان جریان را بخوانید و سپس آنرا صفر نمایید.

توجه: چنانچه با افزایش جریان شکافتگی نوارهای تداخلی را مشاهده نکردید، ممکن است به این علت باشد که پلاریزور بر روی ۹۰ درجه قرار گرفته و یا اینکه جهت جریان در سیم پیچ ها یکسان نمی باشد.

با استفاده از نمودار I-B، میدان مغناطیسی ایجاد شده توسط جریان خوانده شده را بدست بیاورید (دو آهنربای الکتریکی در دو طرف لامپ جیوه در فاصله یک سانتی متری قرار دارند).

در این حالت اختلاف طول موج بین خطوط δ و π از رابطه $\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2\Delta d}$ بدست می آید که $\lambda = 5460.74\ A^0$ طول موج طیف سبز لامپ جیوه و $\Delta d$ فاصله بین دو آینه می باشد).

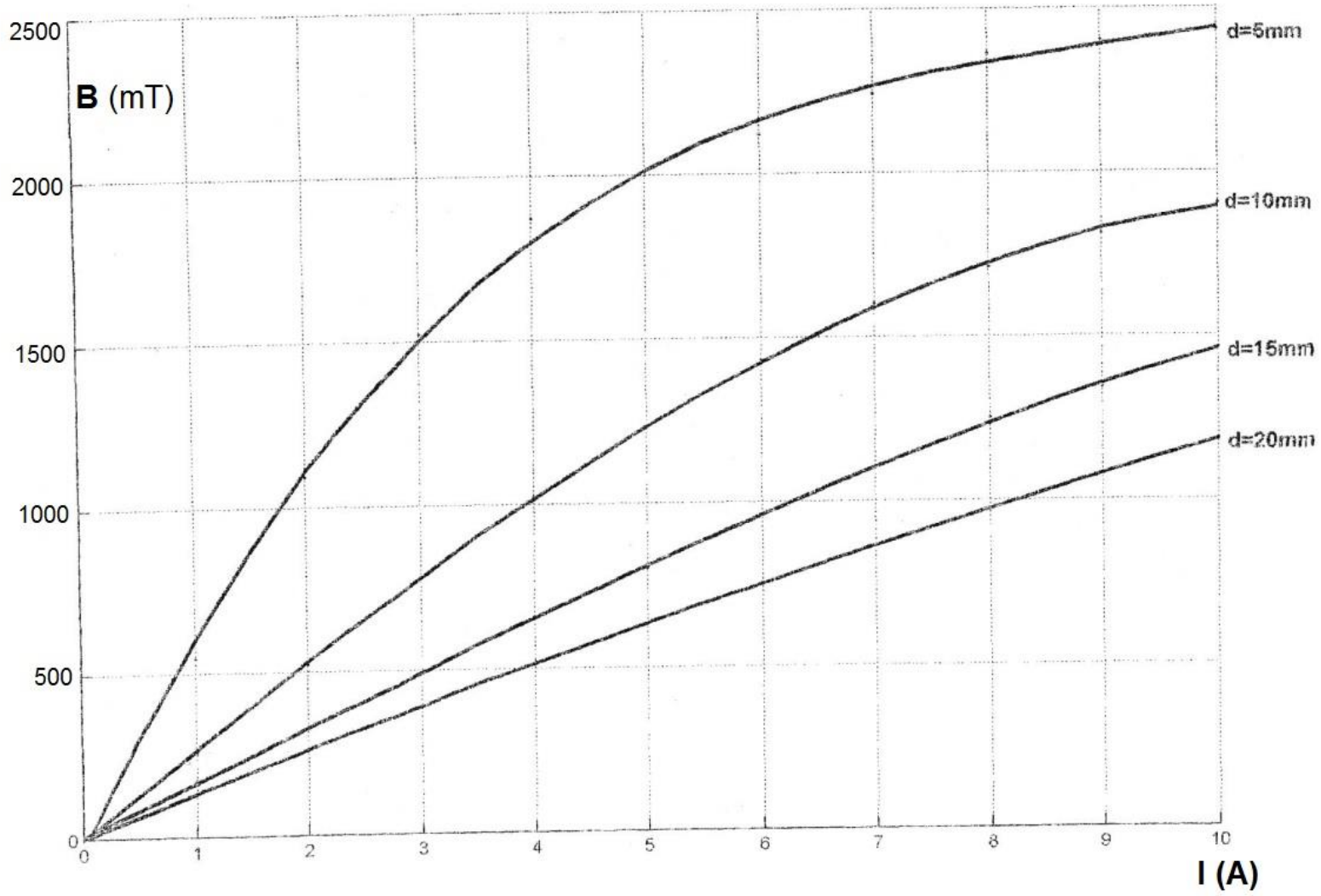
همچنین داریم:

$$\upsilon = \frac{C}{\lambda} \rightarrow \Delta\upsilon = \frac{C}{\lambda^2}\Delta\lambda \qquad (4)$$

از طرفی طبق رابطه (۱)، $\Delta\nu_0 = \frac{\mu_B B}{h}$ بنابراین

$$\frac{\mu_B B}{h} = \frac{C}{\lambda^2}\Delta\lambda = \frac{C}{\lambda^2}\frac{\lambda^2}{2\Delta d} = \frac{C}{2\Delta d} \quad \Rightarrow \quad \mu_B = \frac{Ch}{2B\Delta d} \qquad (5)$$

با استفاده از رابطه فوق مگنتون بوهر را تعیین کرده و با مقدار نظری آن ($\mu_B = 9.273 \times 10^{-24}\ JT^{-1}$) مقایسه کنید. ($h = 6.6236 \times 10^{-34}\ J.S$)




شکل (2) نمودار I-B آهنربای الکتریکی