



آزمایشگاه فیزیک جدید

اثر فتوالکترونیک

در اثر تابش الکترو منناطیسی بر روی سطح تمیز فلز الکترونها از سطح فلز رها شده و پدیده فتوالکترونیک می دهد . الکترونهای ظرفیت در داخل فلز آزادی حرکت دارند ولی در مجموع به فلز محدودند . اثر فتوالکترونیک توسط هاینریش هرتز در سال ۱۸۸۷م در طی جریان آزمایشها بی کشف شد .

تمامson در سال ۱۸۹۷ نشان داد که $E = \frac{1}{m} I^2$ این ذرات برابر مقداری است که برای اشعه کاتدی بدست می آید و بدین ترتیب ثابت شد که این ذرات الکترون می باشند و بر آنها نام فتوالکترون گذاشتند . بسیاری از پدیده های فتوالکترونیک بر اساس نظریه کلاسیک قابل توجیه نبودند . در سال ۱۹۰۰ پلانک در تابش جسم سیاه فرضیه کوانتایی بودن انرژی نورانی را بطور ضمنی مطرح می کند . در سال ۱۹۰۵ انتیشن بر اساس تئوری پلانک نظریه ای را به منظور توجیه این پدیده پیشنهاد کرد که بعدها به طور تجربی به اثبات رسید و جایزه نوبل را بخاطر این نظریه در سال ۱۹۲۱ دریافت نمود .

رئوس مطالب این نظریه به شرح زیر است :

- ۱- هنگام برخورد یک موج الکترو منناطیسی با یک فلز ممکن است از سطح فلز الکترون گسیل شود . با این الکترونها آزاد شده فتوالکترون می گویند .
- ۲- اینکه یک فلز الکترون گسیل می کند یا نه به فرکانس پرتو بستگی دارد برای هر فلز اگر فرکانس تابش از یک فرکانس آستانه بیشتر باشد الکترون آزاد خواهد شد .
- ۳- اگر فرکانس تابش بیش از فرکانس آستانه باشد شدت نور هر چقدر هم که کم باشد در فاصله 10^{-9} ثانیه می توانیم وجود چند فتوالکترون را مشاهده کنیم .
- ۴- بزرگی جریان فتوالکترونیک در صورت وجود ، تقریباً با شدت نور فرودی متناسب و هرچه شدت نور بیشتر باشد گسیل فتوالکترون و در نتیجه جریان حاصل بیشتر است .
- ۵- هر تابش دلایلی بسامدی بیش از آستانه باشد فتوالکترونها دلایی انرژی جنبشی خواهند بود .
- ۶- جریان فتوالکترون با افزایش فرکانس تپر فرکانس آستانه یا بشیب بیش از زیاد افزایش می یابد تا اینکه با افزایش جزئی فرکانس از فرکانس آستانه به مقدار ثابتی می رسد که آنرا جریان اشباع گویند و اگر فرکانسی بیش از فرکانس آستانه به الکترون عنصر فلزی تابش کند الکترون آزاد شده دارای انرژی جنبشی خواهد بود که با فرکانس الکترون رابطه خطی دارد .

$$K_{\max} = a V + b$$

توجه : انرژی جنبشی فتوالکترونها را می توان به وسیله یک پتانسیل ترمزی تعیین نمود . کمترین انرژی پتانسیلی که باعث قطع جریان فتوالکترونیک شود پتانسیل توقف نام دارد که انرژی پتانسیل مینان ترمزی طبق قانون بقای انرژی باید برابر انرژی جنبشی ماکزیمم ثوالکترون خارج شده باشد :

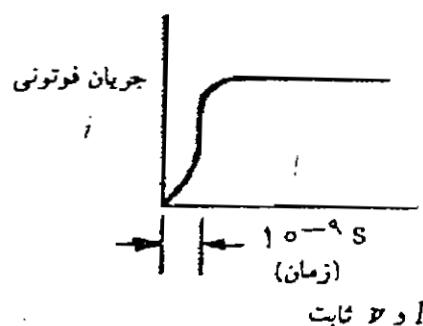
$$K_{\max} = e V_0 = \frac{1}{2} m V_{\max}^2$$

۷- جریان فتوالکترونها در پتانسیل توقف بدون توجه به افزایش شت به صفر می رسد لاما پتانسیل توقف برای فرکانسهای مختلف تابش تغیر می کند و هرچه فرکانس تابش بالا برود پتانسیل ترمزی نیز بالا می رود .

- اگر به جای پتانسیل ترمیزی یک پتانسیل شتاب دهنده، تند کننده فتوالکترونها اعمال شود به این صورت که فلز را به قطب منفی یک پیل وصل کرده و در مقابل آن یک آند قرار می‌دهیم که به قطب مثبت پیل وصل است جریان لشیاع تغییر نمی‌کند. این پتانسیل خیلی نباید بالا باشد

منحنی‌های بدست آمده از نتایج آزمایش

(الف) جریان فوتونی I بر حسب t زمان



- از دیدگاه کلاسیکی: انرژی موج به شدت موج (میزان) انرژی وارد شده به سطح در واحد زمان (توان واحد سطح) بستگی دارد A واحد سطح، t زمان، I شدت

$$(کلاسیک) \quad E = I \cdot \Delta A \cdot \Delta t \quad (\text{تغیر انرژی})$$

- اگر نور کم انرژی بشد با هر فرکانسی به سطح فلز بتابانیم اگر الکترونی از سطح فلز کنده نشود باید به سیستم زمان دهیم تا انرژی E به تدریج جمع شود و پس از زمان نسبتاً طولانی الکترون از سطح فلز کنده خواهد شد و جریان فوتونی I بوجود خواهد آمد.

- از دید کوانتومی: اگر انرژی هر فoton به اندازه V باشد و V فرکانس فوتون برابر یا بیش از فرکانس لازم برای کندن الکترون یا غلبه بر تابع کار سطح $V = h\phi$ باشد

$$V > V_0$$

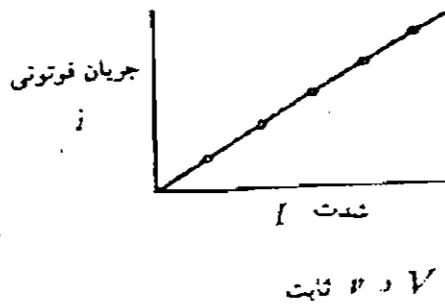
در این صورت با برخورد هر فoton به سطح فلز و رسیدن انرژی b به هر الکترون با تابع کار بلاfacسله الکترون کنده خواهد شد و جریان فتوالکترونی آن مشاهده خواهد شد.

اگر $V < b$ باشد انرژی مزاد فotonen صرف انرژی جنبشی الکترون کنده شده خواهد شد

$$hV - hV_0 = \frac{1}{2}m_e V^2 = eV_0$$

به V_0 پتانسیل ترمیزی لازم برای متوقف کردن الکترون می‌گویند.

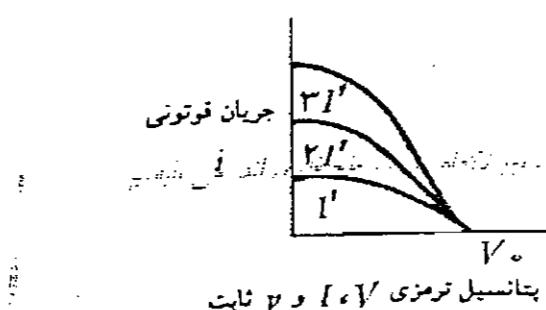
(ب) جریان فوتونی آبر حسب شدت



دید کلاسیکی و کوانتمی با هم مطابقت دارد، از دید کلاسیکی افزایش شدت فوتونها باعث افزایش انرژی الکترونهای سطح فلز و در نتیجه افزایش جریان فتوالکترونی خواهد شد.

از دید کوانتومی اگر فوتونی قادر به کندن الکترون باشد با افزایش شدت یعنی افزایش تعداد این گونه فوتونها، جریان فتوالکترونیک افزایش خواهد یافت. چون هر فوتون به یک الکترون کوانتا یا بسته انرژی خود را منتقل می کند لذا تعداد بیشتری الکترون از سطح فلز کنده خواهد شد.

(پ) جریان فوتونی آبر حسب پتانسیل ترمزی

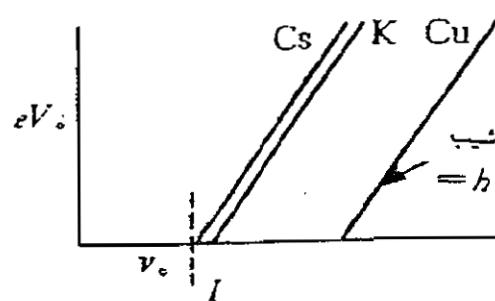


- از دید کلاسیکی: با افزایش شدت نور با ازای یک فرکانس ثابت انرژی الکترونهای افزایش یافته پس باید پتانسیل بردارنده یا توقف بیشتری اعمال کرد تا الکترونهای افزایش را متوقف کرد
- از دید کوانتمی: بنابر رابطه :

$$eV_0 = h\nu - h\nu_0 = h\nu - \varphi$$

به ازای φ و e و h . ثابت، اگر ν را نیز ثابت نگه داریم هر قدر شدت اشعه را افزایش دهیم V_0 همچنان ثابت باقی خواهد ماند.

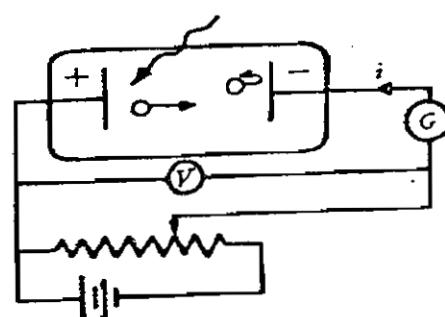
(ت)

اگر سامد V و I و یا λ هر چه باشد.

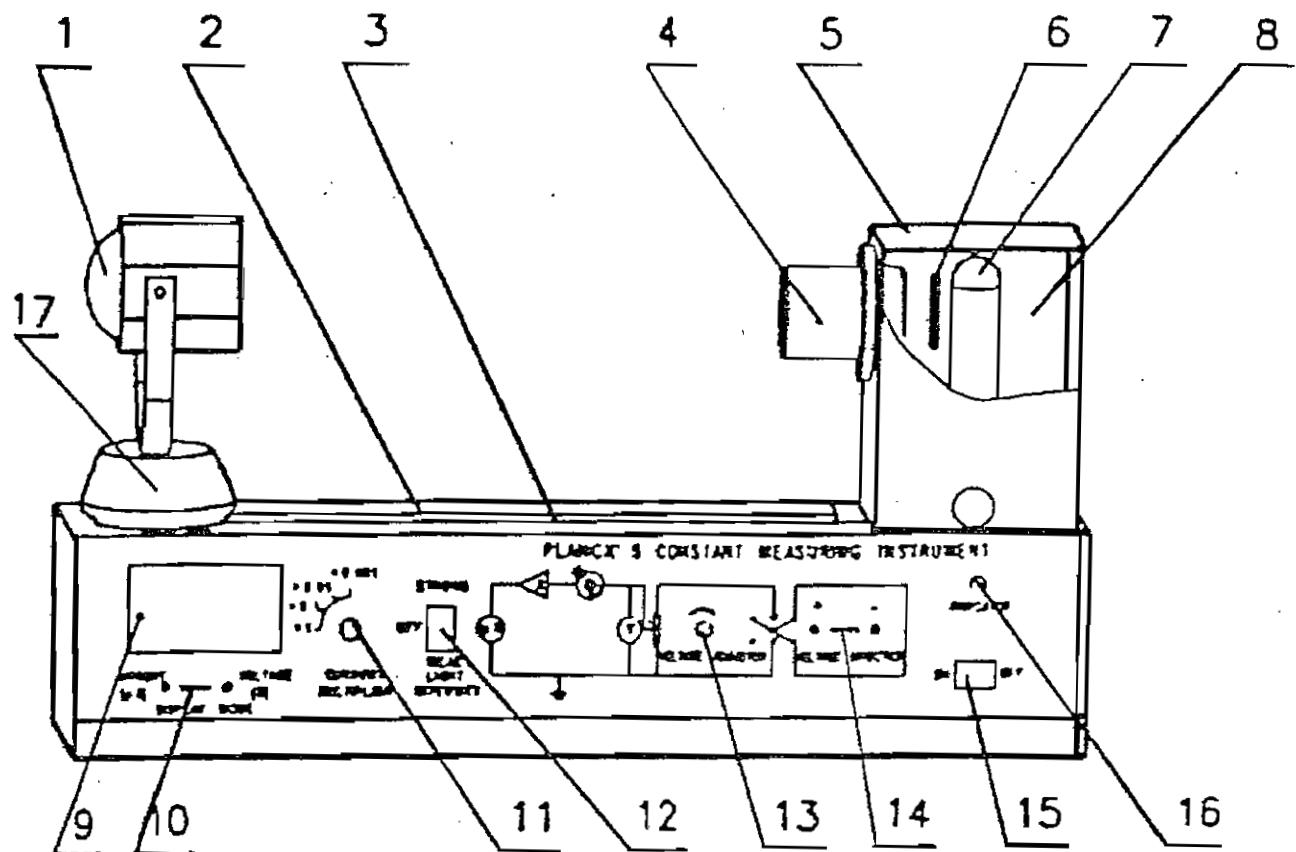
- از دید کلاسیکی: انرژی بستگی الکترونها در تمام فلزات و سطوح یکسان است و بنابراین با یک مقدار انرژی فوتون مشخص از هر سطحی می‌توان الکtron جدا کرد.

- از دید کوانتومی: φ یا تابع کار برای هر فلز ($\hbar V$) مقدار معین و خاص همان فلز است پس به ازای هر V مشخص \hbar یا پتانسیل ترمی هر عنصر خاص خودش خواهد بود.

در این دستگاه به طور ساده مداری مطابق شکل بسته شده است. نور تکفام را به سطح فلزی آند می‌تابانیم در اطراف آند و کاتد لوله خلا وجود دارد، به این منظور که برخورد بین فتوالکترونها و مولکولهای گاز حذف گردد هنگامی که نور تکفام به سطح فلز برخورد می‌کند الکtron از قید فلز خارج گشته و به طرف کاتد حرکت می‌کند و باعث ایجاد جریان فتوالکتریک می‌گردد.



راهنمای قسمتهای مختلف دستگاه آزمایش ثابت پلانک و فوتوالکتریک



- ۱ - منبع نور، لامپ تنگستن هالوژن ۱۲ ولت / ۳۵ وات .
- ۲ - راهنمای، منبع نور را به تنهایی حرکت دهید، فاصله میان منبع نور و جعبه سیاه در یافته کننده نور را می توان تنظیم نمود .
- ۳ - مقیاس، طول کلی ۴۰۰ میلی متر، مرکز لامپ فوتوالکتریک تحت خلاء ، به عنوان نقطه صفر مورد استفاده قرار می گیرد .
- ۴ - لوله ورودی محفظه لامپ قسمت جلویی برای نصب فیلتر رنگی مورد استفاده قرار می گیرد عدسی کانونی در قسمت انتهایی پشتی ثابت شده است .
- ۵ - روکش، برای نصب و مشاهده لامپ فوتوالکتریک تحت خلاء مورد استفاده قرار می گیرد .
- ۶ - عدسی کانونی، تصویر واضحی از منبع نور بر روی صفحه کاتند می سازد .
- ۷ - لامپ فوتوالکتریک تحت خلاء، از اجزاء حساس دستگاه به شمار می رود .

- ۸ - جعبه تاریک ، از یک لامپ فوتو الکتریک تحت خلاء در جعبه و لوله ورودی اشعه ساخته شده است که در قسمت جلویی نصب شده است .
- ۹ - کنتور دیجیتالی ، جریان A م و یا ولتاژ را نشان می دهد .
- ۱۰ - کلید نمایش وضعیت ، کلید انتخاب جریان یا نمایش ولتاژ .
- ۱۱ - ضربگیر جریان ، کلید تنظیم تقویت کننده نمایش جریان ، این انتخابگر (Selector) برای تنظیم درجه حساسیت آمپر متر دستگاه به کار می رود ، وقتی دکمه در موقعیت $\times 1$ قرار می گیرد ، می توان جریان A^{+} را اندازه گیری نمود ، و هنگامی که درجه روی $1,000 \times$ قرار گیرد می توان جریان A^{-} را اندازه گرفت و هنگامی که درجه روی $1,000 \times$ قرار گیرد جریان نور A^{+} و بالاخره هنگامی که درجه روی $1,000 \times$ باشد ، جریان A^{-} قابل اندازه گیری خواهد بود .
- * این دکمه فقط حساسیت آمپر متر را تغییر می دهد ، روی ولت متر بی تاثیر است .
- ۱۲ - کلید شدت نور ، این کلید برای انتخاب میزان شدت نور به کار می رود . کلید در سه وضعیت بالا ، یعنی جریان قوی ، وضعیت میانی یعنی خاموش ، و در وضعیت پایین یعنی جریان ضعیف قرار می گیرد .
- ۱۳ - تنظیم کننده شدت ولتاژ ، این کلید برای تنظیم شدت ولتاژ به کار می رود .
- ۱۴ - کلید راهنمای ولتاژ ، این کلید برای تغییر جهت جریان پتانسیل اعمالی به کار می رود .
- ۱۵ - کلید POWER ، (روشن و خاموش بودن دستگاه) .
- ۱۶ - چراغ POWER ، نشان دهنده روش بودن یا خاموش بودن دستگاه .
- ۱۷ - پیچ تنظیم فاصله منبع نور از جسم سیاه ، (به وسیله این پیچ می توان از حرکت لامپ جلوگیری کرد و هر گاه بخواهیم لامپ را حرکت دهیم ، پیچ را کمی باز کرده و لامپ را حرکت می دهیم) .

توسط این دستگاه پدیده های زیر را می توان بررسی نمود:

- ۱- ایجاد شدن جریان آنی فتوالکتریک
- ۲- رابطه مستقیم جریان فتوالکتریک و شدت نور
- ۳- رابطه شدت نور (جریان فتوالکتریک) با پتانسیل ترمیزی
- ۴- محاسبه محاسبه ثابت بلانک τ
- ۵- محاسبه طول موج فیلترهای مختلف و تابع کار

۱- ایجاد شدن جریان آنی فتوالکتریک

ابتدا دستگاه خاموش است، که مشخص کننده خاموش بودن دستگاه لامپ POWER (قسمت ۱۶) می باشد. با استفاده از کلید نمایش وضعیت (قسمت ۱۰) حالت را انتخاب می کنیم که کنتور دیجیتالی (قسمت ۹) ولتاژ را نشان بدهد. یعنی کلید نمایش وضعیت را در سمت راست قرار می دهیم. پس تنظیم فاصله منبع نور (قسمت ۱۷) اندکی باز کرده تا لامپ به راحتی روی دستگاه حرکت کند. سپس آن را در فاصله ای ۲۵CM از جعبه سیاه (قسمت ۸) قرار می دهیم و پس تنظیم فاصله را کمی محکم می کنیم تا لامپ حرکت نکند. کلید شدت نور (قسمت ۱۲) را در وضعیت بالا قرار می دهیم تا شدت نور قوی باشد. کلید راهنمای ولتاژ (قسمت ۱۴) را در حالت منفی قرار می دهیم.

دقت می کنیم که لامپ کاملاً به سمت جعبه سیاه متوجه باشد. یعنی جهت آن به سمت بالا یا پائین متمایل نباشد. حال با استفاده از کلید POWER (قسمت ۱۵) دستگاه را روشن می کنیم. اگر کنتور دیجیتالی دستگاه (قسمت ۹) که هم اکنون در وضعیت نشان دادن پتانسیل قرار دارد، پتانسیل را نشان داد، پس تنظیم کننده ولتاژ (قسمت ۱۳) را می چرخانیم تا کنتور دیجیتالی (قسمت ۹) پتانسیل صفر را نشان بدهد. اکنون دستگاه را با کلید POWER (قسمت ۱۵) خاموش کرده و کلید نمایش وضعیت (قسمت ۱۰) را در حالت جریان یعنی سمت چپ قرار می دهیم. که در این حالت کنتور دیجیتالی (قسمت ۹) جریان فتوالکتریکی را نشان می دهد.

کلید شدت نور را (قسمت ۱۲) در حالت وسط یعنی خاموش قرار می دهیم. و مجدداً دستگاه را با کلید POWER روشن می کنیم. حال کلید شدت نور (قسمت ۱۲) را در وضعیت بالا قرار می دهیم. مشاهده می گردد که کنتور دیجیتالی (قسمت ۹) آن جریانی را نشان می دهد. چرا؟ اگر احتمالاً کنتور دیجیتالی (قسمت ۹) جریان صفر را نشان می داد، می توانیم با استفاده از تغییر دکمه ضرب گیر جریان (قسمت ۱۱)، جریان های کوچک تر را هم مشاهده کرد. چون ممکن است جریان آنی فتوالکتریک ایجاد شده کوچک باشد.

می دانیم که جریان هم اکنون برای این وضعیت خاص بیشینه است؟ چرا؟ این آزمایش را مجدداً می توانیم تکرار کنیم. به این صورت که کلید شدت نور (قسمت ۱۲) را در وسط قرار می دهیم. و سپس آن را در حالت پائین قرار می دهیم. باز هم کنتور دیجیتالی آن جریانی را نشان می دهد. در این حالت نیز در صورت کوچک بودن جریان فتوالکتریکی، با استفاده از کلید ضرب گیر جریان، می توان جریان های کوچک را مشاهده کرد (قسمت ۱۲).

۲- رابطه مستقیم جریان فتوالکتریک و شدت نور

ابتدا دستگاه خاموش است . (قسمت ۱۶، نشانگر POWER) پیج تنظیم فاصله منبع نوری را اندکی باز کرده تا لامپ بتواند حرکت کند لامپ را در فاصله ۲۵CM از جعبه سیاه قرار می دهیم . و پیج را اندکی محکم می کنیم . تا لامپ حرکت کند کلید نمایش وضعیت را (قسمت ۱۰) در حالت ولتاژ قرار می دهیم ، یعنی در سمت راست . کلید شدت نور (قسمت ۱۲) را در وضعیت بالا قرار می دهیم . توجه داریم که کلید راهنمای ولتاژ (قسمت ۱۴) در سمت منفی باشد (چرا ؟) حال دستگاه را توسط دکمه POWER (قسمت ۱۶) روشن می کنیم . اگر کنتور دیجیتالی (قسمت ۹) پتانسیلی غیر از صفر را نشان دهد ، به وسیله چرخاندن پیج ولتاژ (قسمت ۱۳) ولتاژ را به صفر می رسانیم . اکنون کلید وضعیت (قسمت ۱۰) را در حالت جریان ، یعنی سمت چپ قرار می دهیم ، عددی را که کنتور دیجیتالی برای جریان نشان می دهد را یادداشت می کنیم . این جریان فتوالکترونی ایجاد شده در مدار دستگاه است . اگر در این حالت کنتور دیجیتالی (قسمت ۹) جریانی را نشان نداد ، دستگاه می تواند با استفاده از تعییر کلید ضرب گیر جریان ، جریان های کوچکتر را نشان دهد . در همین حالت لوکس متر را در جلوی لوله ورودی (قسمت ۴) قرار می دهیم تا با این کار شدت نور رسیده به جعبه سیاه را به دست آوریم . این عدد را نیز یادداشت می کنیم . پیج تنظیم فاصله منبع نور (قسمت ۱۷) را اندکی باز کرده تا لامپ بتواند حرکت کند . حال می توانیم لامپ را در فاصله های ۳۰، ۲۵، ۲۰، ۱۵ قرار داده و هر بار جریان را یادداشت می کنیم و با استفاده از لوکس متر تیز در هر فاصله شدت نور را به دست می آوریم . به وسیله نتایج به دست آمده نمودار (جریان فتوالکتریکی - شدت نور) را رسم کنید . نمودار (جریان فتوالکتریکی - فاصله) را رسم کنید .

این آزمایش را دقیقاً به صورت بالا برای حالتی که کلید شدت نور (قسمت ۱۲) در وضعیت پائین قرار دارد . تکرار کنید یعنی در حالتی که شدت نور کم است .

۳- رابطه شدت نور (جریان فتوالکتریک) با پتانسیل ترمیز V

در ابتدا دستگاه خاموش است . (قسمت ۱۶، نشانگر POWER) پیج تنظیم فاصله منبع نوری را اندکی باز کرده تا لامپ بتواند حرکت کند لامپ را در فاصله ۲۵CM از جعبه سیاه قرار می دهیم پیج را اندکی محکم می کنیم تا لامپ حرکت نکند . کلید نمایش وضعیت را (قسمت ۱۰) در حالت ولتاژ قرار می دهیم . کلید شدت نور (قسمت ۱۲) را در حالت بالا قرار می دهیم . یعنی در حالتی که شدت نور زیاد است . کلید راهنمای ولتاژ را در سمت منفی قرار می دهیم . (قسمت ۱۴) . حال دستگاه را با دکمه POWER روشن می کنیم . اگر کنتور دیجیتالی (قسمت ۹) پتانسیلی غیر صفر را نشان داد با استفاده از چرخاندن پیج تنظیم ولتاژ (قسمت ۱۳) ولتاژ را به صفر می رسانیم . کلید نمایش وضعیت (قسمت ۱۰) را در سمت چپ یعنی جریان قرار می دهیم و جریان را مشاهده می کنیم . در این حالت جریان فتوالکتریکی بیشینه است ؟ چرا ؟

حال در همین وضعیت پیج تنظیم ولتاژ را (قسمت ۱۳) آن قدر می بیچاریم تا جریان به صفر برسد . یعنی کنتور دیجیتالی (قسمت ۹) صفر نشان بدهد . در این حالت کلید ضرب گیر جریان (قسمت ۱۱) را در حالات مختلف قرار می دهیم ، تا اگر کوچکترین جریانی هم عبور می کند با پیج تنظیم ولتاژ جریان را صفر کنیم . با اعمال این پتانسیل جریان صفر شد . چرا ؟ به این پتانسیل ، ترمیز گویند . اکنون کلید نمایش وضعیت را (قسمت ۱۰) در حالت پتانسیل قرار می دهیم و پتانسیل ترمیز را یادداشت می کنیم .

حال پیج تنظیم فاصله منبع نور را اندازی باز می کنیم . (قسمت ۱۷) . لامپ را در فاصله های ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۵ متر می دهیم . در هر فاصله مشخص پتانسیل را یادداشت کرده و بنا بر این کلید نمایش وضعیت (قسمت ۱۰) در حالت جریان ، رانیز یادداشت می کنیم .

توجه داریم که با تغییر فاصله ، شدت نور را دستخوش تغییر می کنیم . از مشاهدات جدولی تهیه کرده و نتیجه گیری کنید . می توان این آزمایش را برای حالتی که کلید شدت نور (قسمت ۱۳) در حالت پائین قرار دارد ، دقیقاً مطابق بالا تکرلر کرد و نتایج را مقایسه نمود

۴- محاسبه ثابت پلانک h

ابتدا دستگاه خاموش است . (قسمت ۱۶ ، نشانگر POWER) فیلتر قرمز رنگ را در لوله ورودی محفظه لامپ (قسمت ۴) قرار می دهیم ، پیج تنظیم فاصله لامپ (قسمت ۱۷) را اندازی باز کرده تا لامپ بتواند حرکت کند . لامپ را در فاصله ۲۵Cm از جعبه سیاه قرار می دهیم و پیج آن را اندازی محکم می کنیم . کلید نمایش وضعیت را (قسمت ۱۰) در حالت جریان قرار می دهیم . کلید شدت نور (قسمت ۱۳) را در حالت بالا قرار داده تا شدت نور زیاد باشد و کلید راهنمای ولتاژ را در سمت منفی قرار می دهیم . (قسمت ۱۴) اکنون دستگاه را با کلید POWER روشن می کنیم و پیج تنظیم ولتاژ را (قسمت ۱۳) آن قدر می چرخانیم تا کنتور دیجیتالی (قسمت ۹) جریان فوتولکترونی صفر را نمایش دهد . با چرخاندن پیج ضرب گیر (قسمت ۱۱) جریان ، می توان کوچکترین جریانها را نیز مشاهده کرده و به وسیله چرخاندن پیج تنظیم ولتاژ (قسمت ۱۲) این جریان کوچک را صفر کرد . حال کلیه نمایش وضعیت را (قسمت ۱۰) در حالت پتانسیل قرار داده و این پتانسیل ترمیز را یادداشت می کنیم . با توجه به اینکه طول موج فیلتر قرمز موجود است ، با استفاده از رابطه زیر ثابت پلانک محاسبه می گردد .

$$E = n \cdot h \cdot V , \quad n = 1$$

$$n \cdot h \cdot c / \lambda = e \cdot V_j \quad \Rightarrow \quad h = e \cdot V_j \cdot \lambda / c$$

۵- محاسبه طول موج فیلترهای مختلف و تابع کل

در این آزمایش فیلترهای مختلف را به جای فیلتر قرمز قرار می دهیم و هر بار دقیقاً مطابق آزمایش بالا، پتانسیل ترمی را برای هر فیلتر خاص به دست آورده و با در دست داشتن ثابت بلانک می توانیم ، طول موج هر فیلتر را به دست آوریم و نیز می توان مطابق آزمایش قبل با در دست داشتن طول موج فیلتر قرمز و پتانسیل ترمی آن، با روابط زیر بساده آستانه (تابع کار) دستگاه را محاسبه کرد.

$$E = n \cdot h \cdot V , \quad n = 1$$

$$n \cdot h \cdot c / \lambda = e \cdot V_j \quad \Rightarrow \quad \lambda = h \cdot c / e \cdot V_j$$

$$h \cdot V = h \cdot V_0 + 1/\gamma m V_{\max}^{\gamma}$$

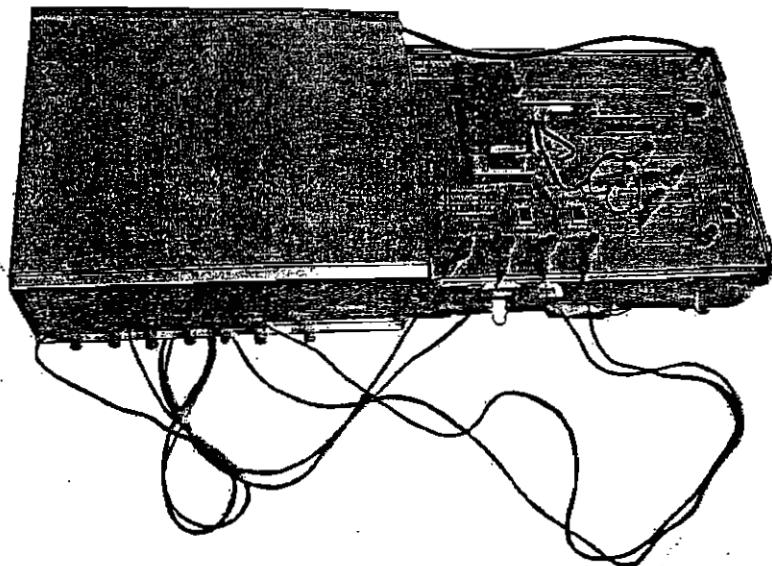
$$h \cdot V = \varphi + 1/\gamma m V_{\max}^{\gamma}$$

$$e \cdot V_0 = 1/\gamma m V_{\max}^{\gamma}$$

$$\varphi = h \cdot V - e \cdot V_0$$



آزمایش ۲: اثر هال



هدف آزمایش:

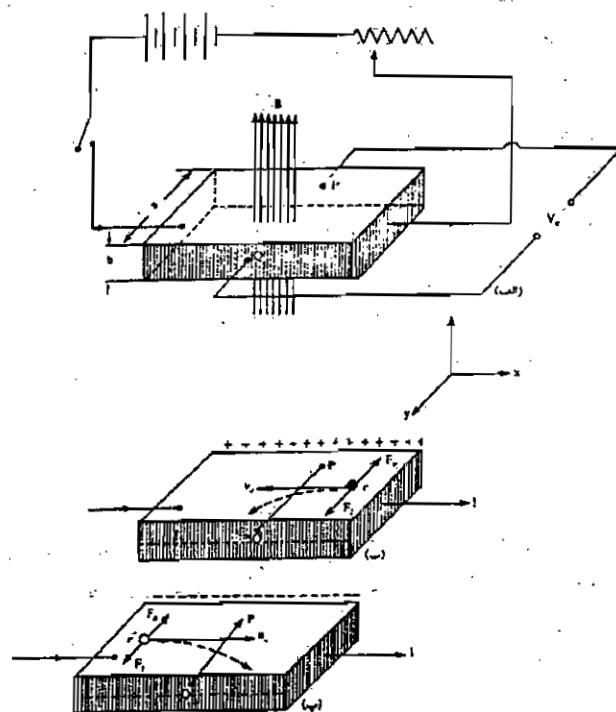
۱. اندازه گیری نسبت ولتاژ هال به جریان هال
۲. اندازه گیری حساسیت دستگاه هال
۳. اندازه گیری چگالی حاملهای بار در گالیم آرسناید
۴. اندازه گیری منحنی تغییرات مغناطیسی هسته فولادی (سیلیکون استیل)
مگنت دستگاه هال بر حسب جریان عبوری از سیم پیچ آن
۵. بررسی توزیع مکانی میدان مغناطیسی

وسایل آزمایش: دستگاه اندازه گیری پارامترهای اثر هال، جعبه آزمایش اثر
هال، سیمهای رابط

تئوری آزمایش:

اثر هال یکی از پدیده های جالب توجه مبحث مغناطیسی است که در سال ۱۸۷۹ به وسیله ادوین هر برتر هال کشف شد و اثر هال نامیده شد. هال در آن زمان دانشجوی دانشگاه جانزهاپکینز بود و بعدها به استادی دانشگاه هاروارد رسید. اثر هال از حرکت ذرات باردار در دو میدان توأم الکتریکی، مغناطیسی ناشی می شود. وقتی یک جریان الکتریکی در طول یک رسانا یا نیم رسانای تیغه ای شکل بر قرار باشد در این رسانا (یا نیم رسانا) در میدان مغناطیسی عمود بر سطع تیغه باشد بر همکنش حامل های بار و میدان مغناطیسی موجب می شود که یک اختلاف پتانسیل الکتریکی به تدریج در راستای عمود بر میدان مغناطیسی، جریان الکتریکی در رسانا یا نیم رسانا به وجود آید. فرض کنید که در یک تیغه رسانا یا نیم رسانا به شکل مکعب مستطیل و به سطح مقطع ab جریانی الکتریکی به شدت I در راستای محور x بر قرار باشد. (شکل ۱) پس از برقراری جریان الکتریکی، حامل های بار با سرعت سوق v حرکت می کنند که جهت حرکت الکترونها در خلاف جهت میدان الکتریکی و در مورد حفره ها در جهت میدان الکتریکی است. در غیاب میدان مغناطیسی، اختلاف پتانسیل بین

نقاط P و Q دیواره های جانبی، برابر صفر است. اکنون اگر یک میدان مغناطیسی B ، در جهت محور Z (عمود بر سطح تیغه) بر این تیغه اعمال شود در نتیجه نیروی لورنتس ناشی از میدان مغناطیسی حامل های بار را به سمت دیواره های جانبی منحرف می کند و در این دیواره ها انباسته می شوند و در نتیجه یک اختلاف پتانسیل فزاینده V_H بین دیواره های جانبی به وجود می آید که نتیجه آن تولید یک میدان الکتریکی E_H در جهت محور Y است پس حامل های بار تحت تأثیر نیروی حاصل از این میدان الکتریکی اضافی هم قرار می گیرند، وقتی دو نیروی ناشی از میدان الکتریکی هال و میدان مغناطیسی اعمال شد. (که در دو جهت مخالف یکدیگرند) مساوی هم شوند حامل های بار دیگر تمايلی به تجمع در دیواره ها نشان نمی دهند و حالت تعادل برقرار و افزایش اختلاف پتانسیل متوقف می شود. البته اگر شدت میدان B افزایش یابد الکترون های بیشتری به طرف دیواره منحرف می شوند و در نتیجه اختلاف پتانسیل افزایش می یابد. این پتانسیل به پتانسیل هال معروف است.



شکل(۱). یک تیغه رسانا یا نیم رسانا به شکل مکعب مستطیل و به سطح مقطع ab ، که جریانی الکتریکی به شدت I در راستای محور x در آن برقرار می باشد. همچنین یک میدان الکتریکی یکنواخت عمود بر سطح این تیغه به آن اعمال می شود.

تجربه نشان داده است که در موقعی که میدان مغناطیسی خیلی قوی نیست

با القای مغناطیسی B و شدت جریان I و عکس ضخامت تیغه متناسب

است:

$$V_H = C_H \frac{BI}{b} = C_H Bja \quad (1)$$

j چگالی متوسط جریان حامل های بار و ضریب C_H را ثابت هال

گویند. نیروی لورنتس وارد بر هر الکترون با بار e :

$$F_L = e(V_d \times B) \quad (2)$$

$$F_L = eV_d B \quad (3)$$

میدان الکتریکی حاصل از تجمع بارها در دیوارها ناشی از نیروی لورنتس

برابر است با :

$$E_H = \frac{V_H}{a} = C_H Bj \quad (4)$$

نیروی وارد بر حامل بار ناشی از E_H :

$$F_H = -e E_H \quad (5)$$

تجمع بارها در دیوارهای تازمانی ادامه پیدا می کند که داشته باشیم:

$$F_H = F_L \Rightarrow ev_d B = +eE \Rightarrow E_H = v_d B \quad (6)$$

پس از این لحظه عمل تجمع یافتن حامل های بار متوقف می شود و حامل های بار چنان حرکت می کنند که گویی فقط تحت تاثیر پتانسیل الکتریکی اعمال شده هستند و پیش روی آن ها در امتداد محور X خواهد بود.

از طرفی چگالی جریان در هر رسانا عبارت است از $j = env_d$ که در آن n تعداد الکترون ها بر واحد حجم رسانا است . از دو رابطه ۴ و ۶ خواهیم داشت:

$$V_H = \frac{1}{en} B j a = \frac{B I_H}{en b} = C_H \frac{I_H B}{b} \quad (7)$$

بنابراین به طور نظری برای V_H رابطه ای به دست می آید که با آنچه از آزمایش حاصل می شود سازگار است پس ثابت هال عبارت است از:

$$C_H = \frac{1}{en} \quad (8)$$

$$K_H = \frac{C_H}{b} = \frac{1}{en b} \quad (9)$$

ضریب K_H را حساسیت دستگاه اثر هال گویند که واحد آن mv/mA.T می باشد. هرچه عدد حساسیت بزرگتر باشد دستگاه حساستر می باشد. در این رابطه II چگالی بار الکتریکی بر واحد حجم در نیمه رساناها بسیار کمتر از رساناها می باشد، بنابراین حساسیت دستگاه برای نیمه رساناها بسیار بهتر است

به همین دلیل در دستگاه اثر هال از نیمه هادی گالیم آرسناید استفاده شده است. همچنین ضخامت آن را بسیار کوچک حدود ($b=0.2\text{mm}$) انتخاب نموده اند تا حساسیت دستگاه افزایش یابد.

با ترکیب دو معادله (۷) و (۹) خواهیم داشت:

$$V_H = K_H I_H B \quad (10)$$

با توجه به معادله (۱۰) با داشتن حساسیت دستگاه K_H با اندازه گیری جریان هال I_H و ولتاژ هال V_H ، شدت میدان مغناطیسی را می توان محاسبه نمود.
روشهای اندازه گیری میدان مغناطیسی

چند روش اندازه گیری شدت میدان مغناطیسی وجود دارد ۱- با استفاده از قانون مغناطیسی کوهرنرت ۲- قانون تشدید مغناطیس هسته ای ۳- اثر هال در روش سوم می توانیم هم میدان مغناطیسی ناشی از جریان مستقیم و هم میدان مغناطیسی ناشی از جریان متناوب را اندازه گیری کنیم.

در شکل (۲) منبع تغذیه E_1 جریان I_1 را در سیم پیچ مگنت برقرار می کند و توسط مقاومت متغیر R_1 می توانیم جریان I_1 را تنظیم نمود. منبع تغذیه E_2 جریان I_H را در تیغه هال برقرار می کند و توسط مقاومت متغیر R_2 می توانیم جریان I_H را تنظیم نمود.

زمانیکه منبع تغذیه E_2 مستقیم است جریان و ولتاژ هال را به ترتیب با میلی آمپر متر و میلی ولتمتر DC اندازه گیری می شود و اگر E_2 متناوب باشد از میلی آمپر متر و میلی ولتمتر AC استفاده می شود.

در این دستگاه از هر دو نوع نیمه رسانا نوع N (با حامل بار الکترون) و نوع P (با حامل بار حفره) می توانیم استفاده نمود.

چون میدان الکتریکی هال در زمان بسیار کوتاه ($10^{-14} \text{ S} - 10^{-12}$) برقرار می شود از هر دو جریان DC, AC می توانیم استفاده نمود. اگر جریان هال متناسب باشد:

$$I_H = I_0 \sin \omega t \quad (11)$$

از معادله (10) خواهیم داشت:

$$V_H = K_H I_H B = I_0 K_H B \sin \omega t \quad (12)$$

همانطور که ملاحظه می شود ولتاژ هال نیز بصورت متناسب خواهد بود.

در آزمایش اثر هال اثرات لبه های تیغه ای هال را بایستی در نظر گرفت که باعث خطا در اندازه گیری می شود. این اثرات عبارتند از: ۱- اثر ترمومغناطیسی (Etinghausen Effect) ناشی از اختلاف دمای لبه های تیغه ای هال که باعث ایجاد اختلاف پتانسیل V_E خواهد شد. این اختلاف پتانسیل به جریان هال I_H و جهت میدان مغناطیسی بستگی دارد. ۲- اثر نرنست (Nernst Effect) ناشی از عبور جریان گرمایی از مقطع تیغه ای هال می باشد که باعث ایجاد پتانسیل V_N می شود. مقدار این پتانسیل فقط به شدت میدان مغناطیسی B و جریان گرمایی دارد. ۳- اثر ریگی-لدوک (Righi-Leduc Effect) ناشی از عبور جریان گرمایی در اثر اختلاف دما بین دو سطح تیغه ای هال می باشد که باعث ایجاد پتانسیل الکتریکی V_R می شود و مقدار آن به بزرگی میدان مغناطیسی بستگی دارد.

۴- اثر ترمومغناطیسی لبه ها حتی زمانیکه میدان مغناطیسی هنوز اعمال نشده ایجاد یک پتانسیل V_H می کند که فقط ناشی از عبور جریان I_H از تیغه هال می باشد و جهت آن با تغییر جهت جریان I_H عوض می شود.

برای حذف این اثرات و اندازه گیری دقیق V_H در دستگاه می توانیم با تغییر وضعیت کلیدهای K_1, K_2 روی برد جعبه اثربال چهار ولتاژ را بصورت ذیل اندازه گیری نمود:

$$V_1 = V_H + V_0 + V_E + V_N + V_R \quad I_H \text{ مثبت است}$$

$$V_2 = -V_H - V_0 - V_E + V_N + V_R \quad I_H \text{ منفی است}$$

$$V_3 = V_H - V_0 + V_E - V_N - V_R \quad I_H \text{ منفی است}$$

$$V_4 = -V_H + V_0 - V_E - V_N - V_R \quad I_H \text{ منفی است}$$

حال مطالعه زیر را بدست می آوریم:

$$V_1 - V_2 + V_3 - V_4 = 4(V_H + V_E)$$

در حالت کلی مقدار V_H می باشد بنابراین می توانیم در طرف راست از مقدار V_E در برابر V_H صرفنظر کنیم. بنابراین خواهیم داشت:

$$V_H = \frac{1}{4}(V_1 - V_2 + V_3 - V_4)$$

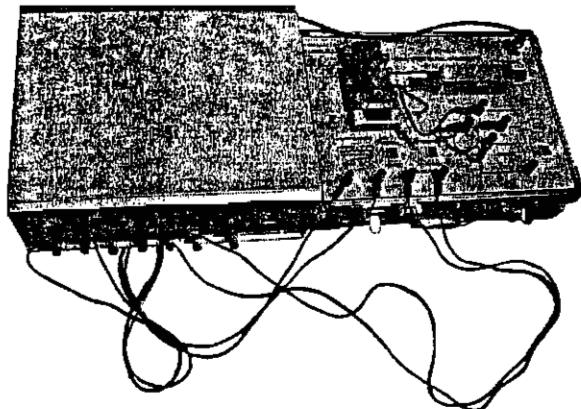
با اعمال شرایط واقعی و علامت پتانسیلها مقدار این چهار پتانسیل با یکدیگر جمع می شوند:

$$V_H = \frac{1}{4}(|V_1| + |V_2| + |V_3| + |V_4|) \quad (13)$$

علامت V_H با توجه به نوع نیمه رسانا که P یا N باشد مشخص می شود.

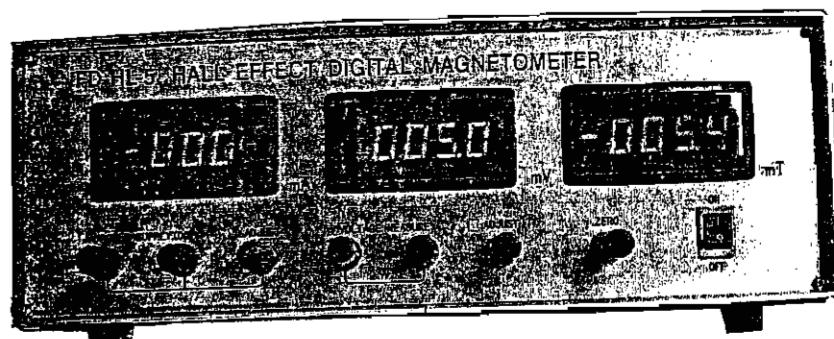
روش آزمایش:

- ۱- مطابق شکل (۲) دستگاه اندازه گیری و جعبه برد اثر هال را توسط سیمهای رابط به یکدیگر متصل کنید. (دقت کنید سوکت های قرمز به قرمز و سوکت های مشکی به مشکی متصل شوند).



شکل(۲). نحوه سیم بندی دستگاه اثر هال (سمت راست جعبه برد اثر هال و سمت چپ دستگاه اندازه گیری پارامتر های اثر هال)

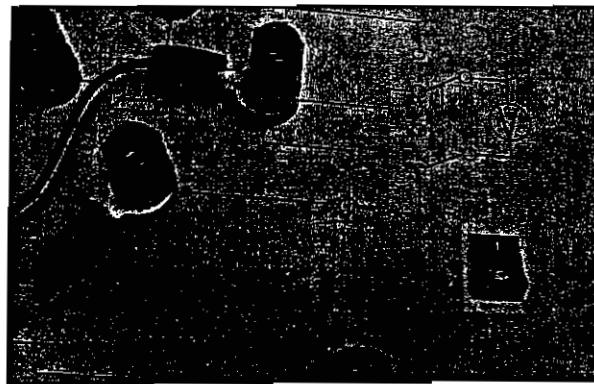
۲- کلید دستگاه اندازه گیری را روشن کنید و بگذارید دستگاه حدود ۱۵ دقیقه گرم شود تا جریان I_m مگنت به حالت پایا برسد و بعد از آن اندازه گیری کیتیها را انجام دهید.



شکل(۳). دستگاه اندازه گیری پارامتر های اثر هال

۳- دستگاه اندازه گیری دارای سه نمایشگر دیجیتال می باشد (شکل ۳) که به ترتیب از سمت چپ نمایشگر اول (mA) جریان I_m که بر حسب mA جریان عبوری از سیم پیچ مگنت را اندازه گیری می کند. نمایشگر دوم (mV) دو گمیت (ولتاژ هال و جریان هال) را اندازه گیری می کند، در حالتی که کلید دو وضعیتی روی برد دستگاه هال (شکل ۴) روی حالت V_H است نمایشگر ولتاژ هال V_H را نشان می دهد و در حالتی که کلید روی حالت I_H است نمایشگر مقدار ولتاژ دو سر مقاومت شنت R_0 را نشان می دهد. که برای بدست آوردن جریان هال I_H با توجه به رابطه $I_H = V/R_0$ مقدار ولتاژ نمایشگر را بر مقاومت شنت تقسیم کنید تا جریان هال I_H بدست آید.

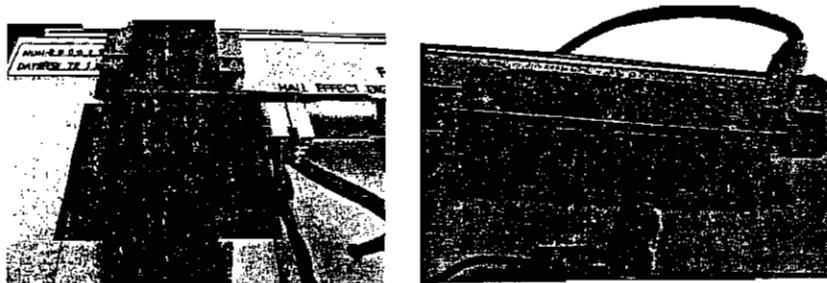
تذکر: اگر نمایشگر در حالت چشمک زدن قرار داشته باشد و عددی را نشان نمی دهد اتصالات دستگاه را بررسی کنید.



شکل (۴). کلید جریان و ولتاژ هال روی برد اثر هال

نمایشگر سوم (mT) شدت میدان مغناطیسی B را نشان می‌دهد. البته قبل از اندازه گیری میدان بایستی مرجع اندازه گیری میدان را صفر کنید برای این منظور ابتدا یکی از سیمهای (Power Supply) مگنت را قطع کنید و توسط پیچ تنظیم زیر نمایشگر عدد نمایشگر را صفر کنید و تا آخر آزمایش آن را تغییر ندهید. سپس سیم قطع شده را دوباره سر جایش قرار دهید.

۴- همانطور که در شکل (۵) مشاهده می‌کنید تیغه هال روی یک محور با پیچ تنظیم قرار دارد که با چرخاندن پیچ تیغه هال در بین دوفک مگنت ذر راستای محور X جابجا می‌شود. برای شروع آزمایش پیچ تنظیم تیغه را روی عدد صفر قرار دهید. دقت کنید به خود تیغه هال دست نزنید چون بسیار طریف و شکننده است و ممکن است دچار آسیب شود.



شکل (۵). محور و پیچ تنظیم تیغه اثر هال. شکل (۶). تیغه اثر هال که بین دو فک مگنت قرار دارد.

۵- حال دستگاه برای انجام آزمایش آماده است.

آزمایش اول: اندازه گیری نسبت I_H به V_H

۱- جریان مگنت را توسط پیچ تنظیم زیر نمایشگر اول (mA)،

روی $I_m = 400mA$ تنظیم کنید و شدت میدان مغناطیسی را از نمایشگر (mT) اندازه گیری کند.

۲- کلید $I_H - V_H$ برد جعبه هال را روی وضعیت I_H قرار دهید و ولتاژ V

را از نمایشگر (mV) روی عدد ۱۵۰.mV قرار دهید برای بدست آوردن

جریان هال I_H این ولتاژ را بر مقاومت $R_0 = 300\Omega$ تقسیم کنید و جریان $I_H = 0.5000mA$ بدست می آید.

۳- کلید $I_H - V_H$ برد جعبه هال را روی وضعیت V_H قرار دهید و ولتاژ

هال V_H را از نمایشگر (mV) اندازه گیری کنید و در جدول (۱) ثبت کنید.

البته طبق معادله (۱۳) برای بدست آوردن ولتاژ V_H چهار ولتاژ (V_1, V_2, V_3, V_4)

را بایستی اندازه گیری کنید که برای این منظور از کلید های I_H و I_m استفاده

می کنیم و جهت جریانها را می توانیم تغییر دهیم و مقادیر این ولتاژ هارا

ابصورت زیر بدست آوریم:

کلید I_H روی وضعیت POSITIVE و کلید I_m روی وضعیت I_H قرار دهد ۱

کلید I_H روی وضعیت REVERSE و کلید I_m روی وضعیت POSITIVE قرار دهد ۲

کلید I_H روی وضعیت REVERSE و کلید I_m روی وضعیت REVERSE قرار دهد ۳

کلید I_H روی وضعیت POSITIVE و کلید I_m روی وضعیت REVERSE قرار دهد ۴

۴- مقدار جریان هال I_H را تغییر دهید و مقادیر متناظر ولتاژ هال را اندازه گیری کنید و در جدول (۱) ثبت کنید.

۵- سپس نمودار $V_H - I_H$ را روی کاغذ میلیمتری رسم کنید و شب نمودار را بدست آورید.

جدول(۱) اندازه گیری نسبت I_H به V_H

ردیف	$V(\text{mV})$	$I_H = V/R_0 (\text{mA})$	$V_1(\text{mV})$	$V_2(\text{mV})$	$V_3(\text{mV})$	$V_4(\text{mV})$	$V_H(\text{mV})$
۱	150						
۲	300						
۳	450						
۴	600						
۵	750						
۶	900						

آزمایش دوم: اندازه گیری n چگالی حاملهای بار در گالیم آرسناید

۱. جریان مگنت I_m را توسط پیچ تنظیم جریان زیر نمایشگر (mA) روی

$I_H = 1.000 \text{ mA}$ تنظیم کنید و همچنین جریان هال را روی

($V=300 \text{ mV}$) تنظیم کنید.

۲. در این شرایط از نمایشگر (mT) مقدار شدت میدان مغناطیسی و از

نمایشگر (mV) (مقدار ولتاژ هال V_H (طبق روش مرحله قبل) را اندازه

بگیرید و در جدول(۲) ثبت کنید.

جدول(۲)

ردیف	$I_m(\text{mA})$	$V_1(\text{mV})$	$B_1(\text{mT})$	$V_2(\text{mV})$	$B_2(\text{mT})$	$V_3(\text{mV})$	$B_3(\text{mT})$	$V_4(\text{mV})$	$B_4(\text{mT})$	$V_H(\text{mV})$	$B(\text{mT})$
۱	۵۰										
۲	۱۰۰										
۳	۱۵۰										
۴	۲۰۰										
۵	۲۵۰										
۶	۳۰۰										
۷	۳۵۰										
۸	۴۰۰										

۳. مطابق مقادیر جدول (۲) مقدار جریان مگنت I_H را تغییر دهید و مجدداً مقادیر ولتاژ ها و میدان مغناطیسی را اندازه بگیرید و در جدول (۲) ثبت کنید.

تذکر: در این جدول تمام اندازه گیری ها با مقدار $V=300\text{mV}$ و مقدار $R_0 = 300\Omega$ و بنابراین $I_H = V/R_0 = 1.000\text{mA}$ صورت گیرد.

۴. نمودار منحنی تغییرات مغناطیسی B هسته فولادی (سیلیکون استیل) مگنت دستگاه هال بر حسب جریان عبوری از سیم پیچ آن I_H را روی کاغذ میلیمتری رسم کنید و شیب نمودار را بدست آورید.

$$B = \frac{1}{4}(|B_1| + |B_2| + |B_3| + |B_4|) \quad (14)$$

۵. با توجه به معادله (۱۰) نمودار V_H را بر حسب B را روی کاغذ میلیمتری رسم کنید و شیب نمودار S را بدست آورید.

$$S = K_H I_H \quad (15)$$

۶. با داشتن مقدار شیب S و مقدار $I_H = 1.000\text{mA}$ مقدار حساسیت دستگاه هال K_H بدست می آید.

۷. با داشتن حساسیت K_H و مقدار ضخامت لایه گالیم آرسناید ($b=0.2\text{mm}$) از رابطه (۹) مقدار n چگالی حاملهای بار در گالیم آرسناید را بدست آورید.

آزمایش سوم: اندازه گیری توزیع مکانی میدان مغناطیسی

۱. جریان مگنت I_H روی ۴۰۰۰ میلی آمپر تنظیم کنید و در این حالت پیچ تنظیم مکان تیغه هال را در امتداد محور X ها از -20 تا $+14$ مطابق

جدول(۳) تغییر دهید و در هر مکان مقدار شدت میدان مغناطیسی را اندازه گیری کنید.

۲. نمودار B بر حسب X را روی کاغذ میلیمتری رسم کنید.

جدول(۳)

ردیف	$X(MM)$	$B_1(mT)$	$B_2(mT)$	$B_3(mT)$	$B_4(mT)$	$B(mT)$
۱	-۲۰					
۲	-۱۸					
۳	-۱۶					
۴	-۱۴					
۵	-۱۲					
۶	-۱۰					
۷	-۸					
۸	-۶					
۹	-۴					
۱۰	-۲					
۱۱	۰					
۱۲	+۲					
۱۳	+۴					
۱۴	+۶					
۱۵	+۸					
۱۶	+۱۰					
۱۷	+۱۲					
۱۸	+۱۴					



آزمایش ۳: اندازه گیری ثابت ریدبرگ

هدف آزمایش:

۱. اندازه گیری طول موجهای $H_\gamma, H_\beta, H_\alpha$
۲. اندازه گیری ثابت ریدبرگ R

وسایل آزمایش: لوله های کسلر با منبع تغذیه، اسپکترومتر، توری پراش، سیمهای رابط

ثئوری آزمایش:

مدل سیاره ای اتم هیدروژن که بر طبق آن، الکترون در یک مدار دایروی بدور هسته گردش می کند (همچون گردش سیارات منظومه شمسی بدور خورشید) یک مدل کلاسیک است، زیرا در این مدل الکترون صرفاً بصورت یک ذره کلاسیک، و تابش الکترومغناطیس نیز صرفاً به صورت امواج پیوسته در نظر گرفته می شوند. این مدل به دلیل منظور نکردن خواص موجی الکترون و خواص ذره ای تابش الکترومغناطیسی با شکست مواجه شد.

نخستین نظریه نیمه کلاسیک، نیمه کوانتمی اتم هیدروژن در سال ۱۹۱۳

توسط نیلز بوهر ارائه شد. اصول موضوعه این نظریه که تلقیقی از قوانین کلاسیک مکانیک و الکترومغناطیس و قوانین کوانتمی تابش پلاتک - ایشتن است به قرار زیر است.

- ۱- الکترون تحت تأثیر نیروی جاذبه کولنی هسته در مدارهایی دایروی بدوز هسته گردش می کند.

$$F = K \frac{e^2}{r^2} = m \frac{v^2}{r} \quad (1)$$

- ۲- الکترون تنها در مدارهای بدوز هسته گردش می کند (مدارهای مجاز) که در آنها، اندازه حرکت زاویه ای الکترون مضرب درستی از π باشد.

$$L = mv r = n \hbar \quad (2)$$

- ۳- مادامی که الکترون در مدارهای مجاز قرار دارد انرژی تابش نمی کند. این برخلاف نظریه الکترومغناطیس کلاسیک ماکسول است که بر طبق آن ذره باردار شتابدار در هر صورت انرژی تابش می کند.

- ۴- در صورتی که الکترون با دریافت انرژی از یک مدار مجاز به مدار مجاز دیگر منتقل شود، در بازگشت به مدار مجاز اولیه خود انرژی دریافتی را به صورت یک کوانتوم انرژی (فوتون) $h\nu$ تابش می کند.

$$E_u - E_t = h\nu = h \frac{c}{\lambda} \quad (3)$$

- که در آن E_u انرژی الکترون در مدار بالاتر و E_t انرژی آن در مدار پائینی است.

مطابق تئوری بوهر انرژی مدارهای مجاز به صورت زیر می باشد:

□

$$E_n = -\frac{1}{n^2} \frac{mk^2 e^4}{\hbar^2} \quad (4)$$

که در آن n شماره مدار مجاز، $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ و m و e به ترتیب جرم و بار الکترون است.

با قرار دادن $n = 1$ انرژی اولین مدار بوهر

$$E_1 = -2.176 \times 10^{-18} J = -13.6 eV \quad (5)$$

بدست می آید. انرژی مدارهای بعدی برابر

$$E_n = \frac{1}{n^2} E_1 \quad (6)$$

خواهد شد.

$$E_2 = \frac{1}{4}(-13.6) = -3.4 eV, E_3 = \frac{1}{9}(13.6) = -1.51 eV, \dots \quad (7)$$

بدین ترتیب چنانچه الکترون بخواهد از مدار شماره ۱ به مدار شماره ۲

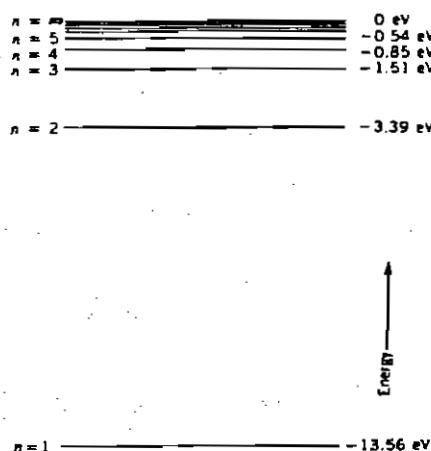
انتقال یابد باید انرژی معادل

$$\Delta E = E_2 - E_1 = -3/4 - (-13/6) = 10/2 eV \quad (8)$$

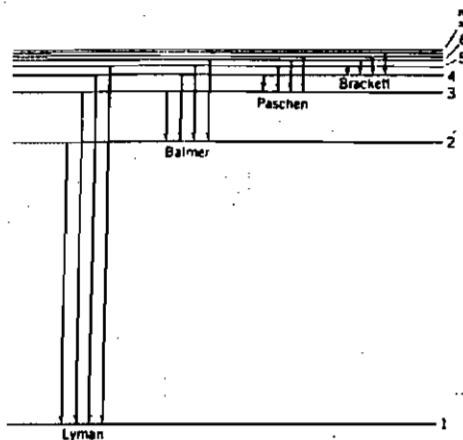
را دریافت کند که در بازگشت همین مقدار انرژی را به صورت یک فوتون نوری به طول موج λ تابش نماید. این طول موج در ناحیه فرابنفش قرار دارد.

$$\Delta E = h\nu = h\frac{c}{\lambda} \quad (9)$$

هیدروژن یک سری خطوط طیفی در ناحیه مرئی دارد که چند سال قبل از ارائه تئوری بوهر، در سال ۱۸۸۵ توسط بالمر مطالعه و طبول موج آنها بطور تجربی اندازه گیری شده بود. به کمک تئوری بوهر می‌توان نشان داد که خطوط سری بالمر مربوط به گذارهای الکترون از مدار ۳ به ۲، ۴ به ۲ و ۵ به ۲ می‌باشند که به ترتیب H_α , H_β , H_γ نامیده می‌شوند و طول موج **ستافلر** با آنها به ترتیب λ_α , λ_β , λ_γ می‌باشند. شکل(۱) ترازهای گستته اتم هیدروژن و شکل(۲) گذارهای مربوط به بعضی از سریهای طیف هیدروژن را نشان می‌دهد.



شکل(۱)

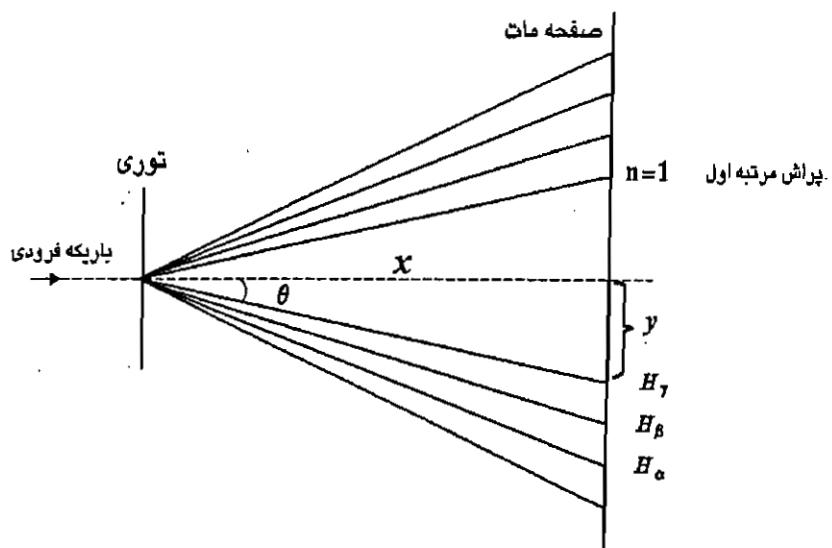


شکل (۲)

می دانیم اگر پرتوهای باریکه ای از نور به توری (شبکه) پراش بخورد کند پس از عبور از توری پراشیده می شود و طول موجهای مختلف باریکه نوری از یکدیگر جدا می شوند و میزان انحراف به طول موج بستگی دارد(شکل (۳)). طول موج پرتوهای پراشیده شده از رابطه زیر بدست می آید.

$$a \sin \theta = n \lambda \quad (10)$$

که در رابطه فوق n مرتبه پراش، a فاصله بین خطوط توری و θ زاویه پراش می باشد. معمولاً توریهای پراش براساس b تعداد خطوط بر واحد طول معرفی می شوند بنابراین $a = \frac{1}{b} (cm)$ می شود.



شکل (۳)

با داشتن طول موج سری بالمر ($H_\alpha, H_\beta, H_\gamma$) و با استفاده از فرمول

ریدبرگ

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad m = 3, 4, 5, \dots \quad (11)$$

می توانید R یعنی ثابت ریدبرگ را بدست آورید دقیق کنید همانطور که گفته شد در رابطه فوق m برای $H_\alpha, H_\beta, H_\gamma$ به ترتیب ۵ و ۴ و ۳ می باشد.



شرح آزمایش:

برای مطالعه و مشاهده این طول موجها می‌توان از یک دستگاه طیف سنج استفاده کرد. چشم نور از یک لوله محتوی گاز هیدروژن با فشار کم تشکیل شده است. در اثر اعمال یک ولتاژ چندین هزار ولت به الکترودهای دوسر آن، گاز هیدروژن برانگیخته شده و نور تابش می‌کند. باریکه ای از نور آن به یک منشور یا توری پراش برخورد می‌کند که پس از شکافتگی خطوط طیف آن قابل رویت است.

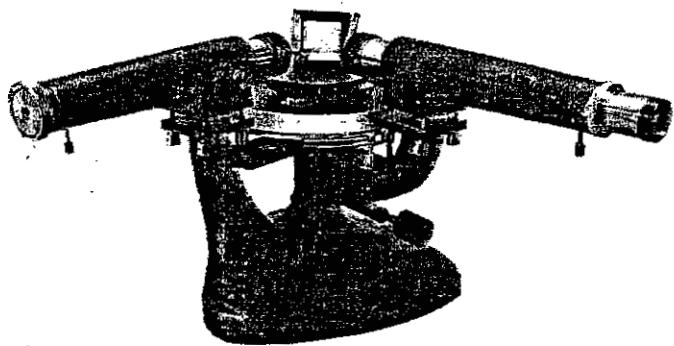
شرح دستگاه طیف سنج:

هر دستگاهی که خطوط طیفی را مستقیماً برای چشم مرئی کند طیف سنج یا بیناب نما نام دارد. طیف سنج دستگاهی است که بر اساس انحراف پرتوهای نوری در اثر شکست، بازتاب و یا پراش ساخته شده است و از چهار قسم اساسی تشکیل شده است:

۱- پایه ۲- موازی ساز (کالیماتور) ۳- سکر ۴- تلسکوب

پایه

این قسمت که بدنه دستگاه را تشکیل می‌دهد از وزن و استحکام مناسبی برخوردار است تا پایداری دستگاه را در هنگام کار تضمین کند. قطعات دیگر دستگاه روی پایه نصب شده اند.



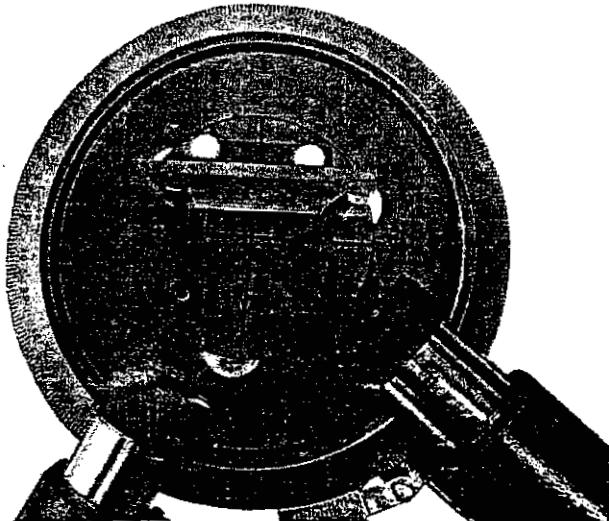
شکل (۴). طیف سنج

موازی ساز (کالیماتور)

این قسمت از یک شکاف و یک عدسی همگرا تشکیل شده است. پهنهای شکاف قابل تنظیم و فاصله شکاف تا عدسی اندکی قابل تغییر است. در هنگام کار فاصله شکاف تا عدسی باید طوری تنظیم شود که شکاف در صفحه کانونی عدسی قرار گیرد. موازی ساز به پایه نصب است و جای ثابتی دارد.

سکو

سکو قطعه ای است مدور که منشور یا توری پراش روی آن قرار می گیرد و دارای محوری است که به آن امکان چرخش (حول محور) می دهد. محیط سکو از ${}^{\circ} 0$ تا ${}^{\circ} 360$ مدرج شده است. سکو را می توان توسط یک پیچ به پایه قفل کرد.



شکل(۵). طریقه قرار داد توری پراش روی سکو

تلسکوپ

تلسکوپ از یک عدسی شیئی و یک عدسی چشمی تشکیل شده است و فاصله این دو عدسی قابل تنظیم است که البته هر آزمایشگر (چشم) باید تنظیم مخصوص خود را انجام دهد. در چشمی تلسکوپ دو تار عمود بر هم به نام رتیکول تعییه شده تا در موقع اندازه گیری به عنوان مرجع به کار گرفته شود. تلسکوپ به پایه متصل و قادر است حول محور دستگاه بچرخد. تلسکوپ به قطعه واسطه ای نیز متصل است و این قطعه می تواند حول محور دستگاه بچرخد و یا به پایه قفل شود. با یک پیچ می توان تلسکوپ را نسبت به قطعه واسطه در بازه ای حدود چند درجه چرخاند. از این پیچ برای تنظیم دقیق محل تلسکوپ استفاده می شود (در این حالت قطعه واسطه باید به پایه قفل باشد). یک ورنیه نیز به تلسکوپ متصل است که همراه آن می چرخد. ورنیه مجاور

محیط سکو قرار می‌گیرد و در آن 90° به 10° قسمت تقسیم شده است.

طرز کار طیف سنج

۱. ابتدا از طریق تلسکوپ یک شیء دور را نگاه کنید، آنقدر چشمی را جا به جا کنید تا تصویر واضحی از آن شیء بینید.

۲. لامپ هیدروژن را در محل خود قرار دهید و با روشن کردن منبع ولتاژ لامپ هیدروژن را روشن کنید دقت کنید که چون این منبع ولتاژ حدود 7000 ولت برق تولید می‌کند از دست زدن به سیم‌های لخت و محل اتصال سیم‌های به لامپ خودداری نمایید. لامپ را کاملاً قائم و پشت موازی ساز قرار دهید و از پشت تلسکوپ آن را بینید. پنهانی شکاف را حتی الامکان کم انتخاب کنید.

۳. سپس تلسکوپ را بچرخانید تا شکاف را روی تار بینید. در این حالت موقعیت تلسکوپ ۵ را یادداشت کنید.

توجه: مراحل قبل باید توسط یک چشم و با شرایط یکسان (مثلًا بدون عینک) انجام گیرد.

۴. توری پراش را روی سکو در محل خود قرار دهید (شکل ۵) و سکو را کمی بچرخانید و تا باریکه به توری پراش برخورد کنید.

۵. نور پس از برخورد به طوری پراش به طیف خطی تجزیه شده و در این حالت تلسکوپ را بچرخانید تا نور خارج شده از توری پراش را دریافت کند. در تلسکوپ چند تصویر رنگی از شکاف را می‌بینید (طیف چشم). با چرخاندن سکو زاویه تابش را عوض کنید، خواهید دید که طیف مشاهده شده جایه جا می‌شود. در این حالت سکو را قفل کرده، رتیکول تلسکوپ را روی هر یک از

خطوط طیفی قرار داده و موقعیت تلسکوپ، ۱۵، را از روی ورنیه مدرج بخوانید و در جدول یادداشت کنید.

۶. با استفاده از رابطه (۱۰) به ازای $n=1$ و $\delta_1 = \theta_1 - \delta$ ، طول سوچ λ_1 را حساب کنید.

۷. اندازه گیری را برای طول موجهای دیگر به ازای $n=1$ و $\delta_2 = \theta_2 - \delta$ و به ازای $n=1$ و $\delta_3 = \theta_3 - \delta$ تکرار کنید.

۸ آزمایش را برای مرتبه دوم پراش ($n = 2$) نیز انجام دهید و نتایج بدست آمده را با هم مقایسه نمایید.

۹. میزان خطای نسبی و خطای مطلق را در هر مورد محاسبه نمایید.

جدول (۱)

مرتبه	خطوط طیفی هیدروژن	m	رنگ	δ_n	θ_n	با استفاده از رابطه (۱۰) λ_n	با استفاده از توری یوهر رابطه (۹) λ_n	درصد خطای ریدبرگ	ثابت R
$n=1$	H_α	3							
	H_β	4							
	H_γ	5							
$n=2$	H_α	4							
	H_β	5							
	H_γ	6							

۱۰. از رابطه (۱۱) با داشتن طول موج و مقدار III ثابت ریدبرگ را برای هر مورد محاسبه کنید و در جدول (۱) ثبت کنید.
۱۱. در صد خطای ثابت ریدبرگ را محاسبه کنید.

پرسشها:

۱. طول موجها سریهای طیف هیدروژن را محاسبه نمائید.
۲. طول موج های اندازه گیری شده به روش فوق را با آنچه که بر مبنای تصوری بوهر محاسبه کرده اید مقایسه نمائید و علت اختلاف احتمالی را بیان نمائید.
۳. روش دیگری را برای اندازه گیری ثابت ریدبرگ را بیان کنید.
۴. آیا می توان در این آزمایش از لامپ هلیم استفاده نمود؟
۵. آیا می توان در این آزمایش بجای توری پراش از منشور استفاده نمود؟



آزمایش اثر زیمن عادی

هدف آزمایش

مشاهده اثر زیمن عادی و تعیین ثابت $\frac{e}{m}$ با استفاده از شکافتگی خط قرمز $\lambda_0 = 643.8$ نانومتر طیف لامپ کادمیم در یک میدان مغناطیسی.

تئوری آزمایش

حالتهای کوانتومی را می‌توان با استفاده از سه اندیس n و m تعیین نمود، بطوری که $|l| \leq n$ و $m = -l, -l+1, \dots, l$ می‌باشد. برای یک پتانسیل کولمی، انرژی این حالات علیرغم اینکه بستگی به n و m دارد اما از m مستقل است از اینرو می‌توان گفت: $2l+1$ حالت انرژی با اعداد کوانتومی یکسان n و m در عدد کوانتومی m دارای تبهمی می‌باشند. از دیدگاه مکانیک کلاسیک تقارن کروپی پتانسیل کولمی را می‌توان عامل ایجاد تبهمی دانست زیرا جهت‌های مختلف چرخش الکترون بدor هسته مقدار انرژی آنها را تغییر نمی‌دهد. حال فرض می‌کنیم که در ناحیه‌ای که در آن اتم قرار دارد میدان مغناطیسی B ایجاد شود. تحت این شرایط انتظار داریم که الکترونها و هسته تحت تأثیر این میدان قرار گیرند. در این مبحث ما تنها الکترونی را در نظر می‌گیریم که منفرد بوده و در خارج از لایه پر شده قرار گرفته باشد برهمنکش میدان مغناطیسی با این الکtron برای هر حالت کوانتومی تغییر انرژی ΔE را سبب خواهد شد:

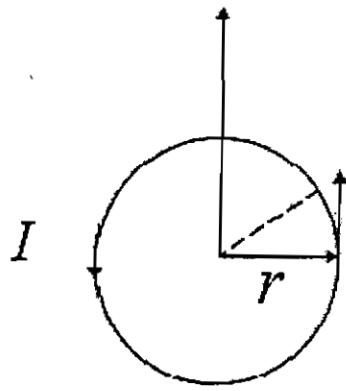
$$\Delta E = m\mu_0 B \quad \mu_0 = \frac{e\hbar}{2mc} = 0.579 \times 10^{-14} \text{ MeV/gauss}$$

بنابراین انرژی هر کدام از این حالتها علاوه بر n و m نیز بستگی خواهد داشت و تبهمی از بین خواهد رفت.

برای توضیح بیشتر این مطالب معادل کلاسیک آنرا در نظر می‌گیریم:
اندازه جریان حاصل از چرخش الکترون حول مدار بسته بصورت زیر بدست می‌آید:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta T} = \frac{e}{T} = \frac{e\omega}{2\pi} \quad (1)$$

در رابطه بالا T پریود حرکت الکترون و ω فرکانس زاویه‌ای مدار است. هرگاه شعاع چرخش الکترون a



شکل (۱). ممان مغناطیسی ناشی از جریان یک سیم بسته

باشد آنگاه $v = a\omega$ می‌گردد و ممان مغناطیسی حاصل از چرخش الکترون برابر $A = \frac{I}{c} \mu$ می‌گردد که سطح بسته حلقه دایروی و برابر $A = \pi a^2$ می‌باشد. لذا:

$$\mu = \frac{I}{c} A = \frac{e\omega}{2\pi c} \pi a^2 = v a \cdot \frac{-e}{2c}$$

و چون اندازه حرکت زاویه‌ای الکترون، $L = m_e v a$ می‌باشد در نتیجه می‌توان μ را بصورت زیر نوشت:

$$\bar{\mu} = \frac{-e}{2m_e c} \cdot \bar{L} \quad (2)$$

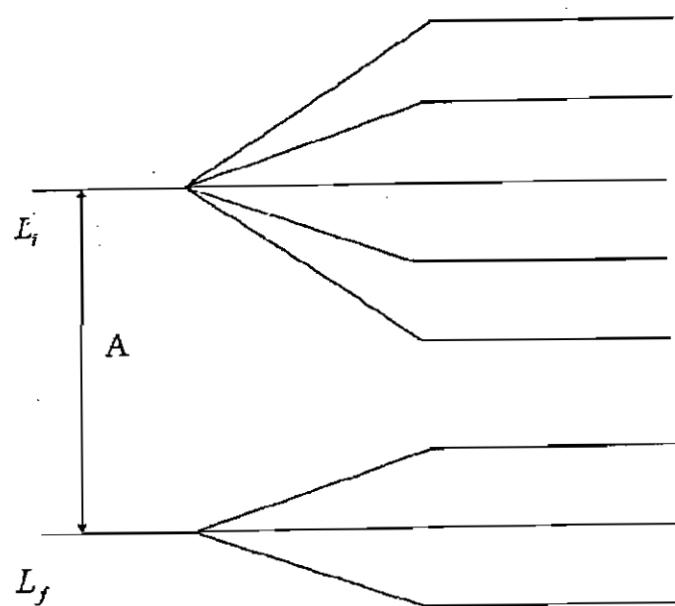
طبقه اصل بور اندازه حرکت الکترون دارای مقادیری منفصل است:

$$\bar{L} = l \hbar \hat{u}$$

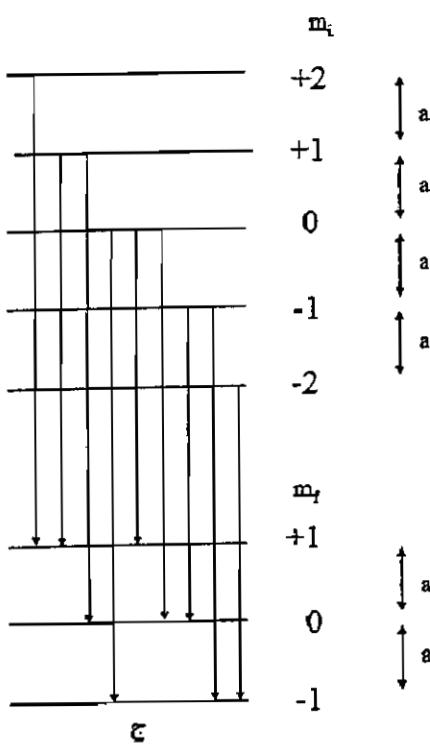
\hat{u} برداریکه در امتداد \bar{L} می‌باشد. از طرفی در یک میدان مغناطیسی همگن انرژی دو قطبی مغناطیسی از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$E = -\bar{\mu} \cdot \bar{B} = \frac{e}{2m_e c} \cdot \bar{L} \cdot \bar{B} \quad (3)$$

و چون سمت‌گیری \bar{L} نسبت به \bar{B} کوانتومی است لذا تنها مقادیر $l = -d, -d+1, \dots, d-1, d$ را اختیار خواهد نمود، از این‌رو انرژی یک حالت کوانتومی خاص با اندیشهای m ، l و n را که در یک میدان مغناطیسی قرار ارد می‌توان با رابطه زیر نشان داد:



الف

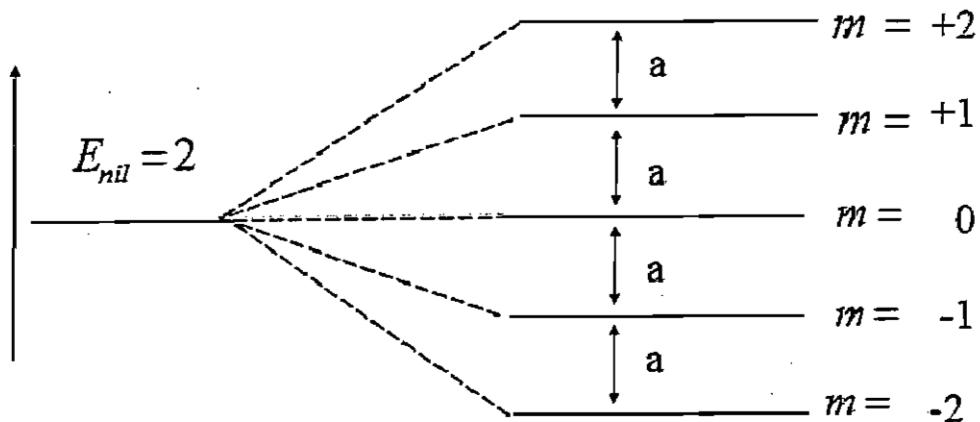


ب

شکل (۳) شکافت ترازهای انرژی تحت تأثیر میدان مغناطیسی. (الف) ترازهای اولیه $I=2$ و نهایی $I=1$ بدون وجود میدان. (ب) شکافت ترازهای پس از اعمال میدان. جنبه گذار ممکن بین هشت زیر تراز اولیه و نهایی.

$$Enlm = E_{nl} + m\mu_0 B \quad \mu_0 = \frac{e\hbar}{2m_e C} \quad (4)$$

شکل (۲) ترازهای انرژی مربوط به عدهای کوانتمی n و $l=2$ را قبل و بعد از اعمال میدان مغناطیسی نشان می‌دهد.



(بدون وجود میدان)

تحت تأثیر میدان

شکل (۲). شکافت ترازهای انرژی $l=2$ که تحت تأثیر میدان مغناطیسی خارجی به پنج تراز با فواصل مساوی تبدیل می‌گردد.

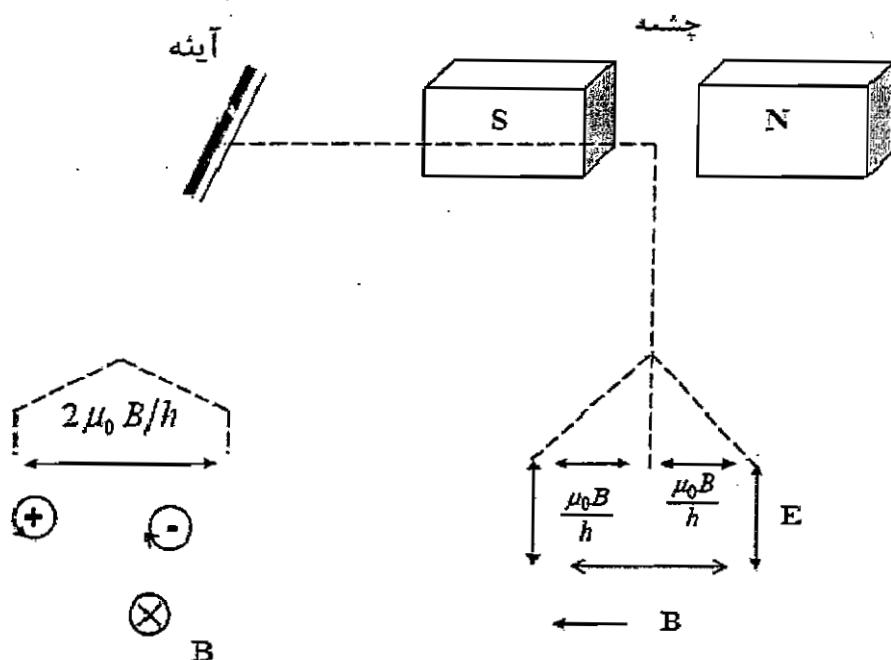
همانطوری که از شکل ۲ مشهود است فواصل بین ترازها همگی یکسان و برابر Bm می‌باشد. حال گذار از تراز i ، m_i به تراز m_f ، l_f را در نظر می‌گیریم و فرض می‌کنیم که مثلاً $l_f = l_i$ و $m_f = m_i \pm 1$ باشد. نمودار شکل ۳ ترازهای انرژی را بدون حضور میدان، (۳.الف) و تحت تأثیر یک میدان مغناطیسی، (۳.ب) را نشان می‌دهد. با توجه به قضیه وینتر - دکارت قواعدگذار چنین بدست می‌آیند.

$$\Delta l = \pm 1 \quad (5)$$

$$\Delta m = 0, \pm 1 \quad (6)$$

با توجه به این قواعد، روابط (۵) و (۶)، گذارهای مجاز در شکل ۳.ج به نمایش درآمده است.

مُؤلفه مرکزی حذف خواهد گردید زیرا میدانهای برداری E و B همواره عمود بر جهت انتشار قرار دارند. خط طیف $\Delta m = +1$ قطبش دایروی راست گرد و $\Delta m = -1$ قطبش دایروی چپ گرد خواهند داشت. شکافت خط طیفی را به سه مُؤلفه بر اثر تأثیر میدان مغناطیسی اصطلاحاً اثر زیمان عادی، می‌گویند.



شکل (۴). قطبش و اجزاء مختلف طیفهای اثر زیمان عادی در جهاتی عمودی و موازی خطوط میدان مغناطیسی B

لازم به یادآوری است که روابط و فرمولهای دبست آمده در این قسمت در دستگاه C.G.S می‌باشد و برای تبدیل آنها به دستگاه M.K.S کافیست که سرعت نور، c، از مخرج حذف شود.

در این آزمایش خط قرمز طیف لامپ کادمیم با طول موج $\lambda = 643.8 \text{ nm}$ تحت اثر میدان مغناطیسی به سه مُؤلفه، در صورتی که عمود بر خطوط میدان نگریسته شود، تجزیه می‌گردد. این طیف مربوط به گذار یکی از الکترونهای لایه پنجم کادمیم، از تراز 2 به تراز 1 می‌باشد در هر دو تراز اسپین کل الکترون صفر می‌باشد و در نتیجه اندازه حرکت کلی الکترون، B بصورت اندازه حرکت زاویه‌ای خالص درخواهد آمد: تحت چنین شرایطی با در نظر گرفتن روابط (۸) اختلاف فرکانس دو طیف کناری را با طیف مرکزی می‌توان بدست آورد.

$$\Delta v = \frac{\Delta E}{h} = \pm \frac{\mu_0}{h} \cdot B \quad (9)$$

اگر فاصله شکاف انرژی حاصل در ترازهای اولیه برابر a و نهایی برابر b و اختلاف انرژی در تراز بدون وجود میدان A باشد در اینصورت اندازه انرژی آزاد شده در گذار از $f \rightarrow i$ می‌توان بصورت

$$E_i - E_f = A_{if} + m_i a - m_f b \quad (7)$$

بیان کرد. در جدول (۱) اختلاف انرژی ۹ گذار شکل ۳.ج نشان داده شده است. علامت * مربوط به گذارهایی است که وقوع آنها امکانپذیر نمی‌باشد.

جدول ۱. گذارهای ممکن از $i=2$ به $i=1$ و انرژیهای مربوطه

		مربوط به تراز اولیه m				
		+2	+1	0	-1	-2
+1	$A+2-b$	$A+a-b$	$A-b$			
	x	$A+a$	A	$A-a$		
-1	x	x	$A+b$	$A-a+b$	$A-2a+b$	

مادامی که میدان مغناطیسی B ثابت باشد شکافهای انرژی حاصل مساوی می‌مانند و همچنین رابطه زیر برقرار می‌باشد.

$$a=b=\mu_0 B$$

از اینرو با توجه به معادله (۷) تنها سه اختلاف سطح در انرژی وجود خواهد داشت:

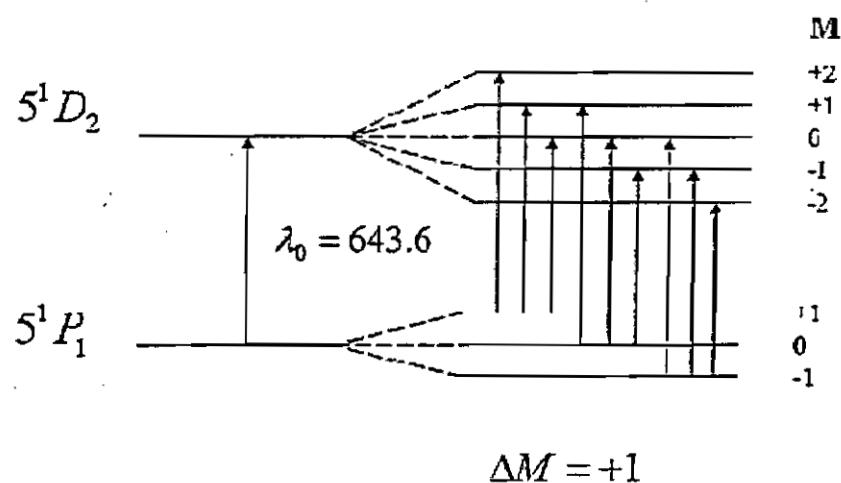
$$E_i - E_f = A + a(m_i - m_f) = A + a\Delta m$$

اما بنابر رابطه (۶) فقط می‌تواند یکی از مقادیر $+1$ ، 0 ، -1 را اختیار نماید لذا خط منفرد طیف $v = \frac{A}{h}$ به سه مؤلفه با اجزاء

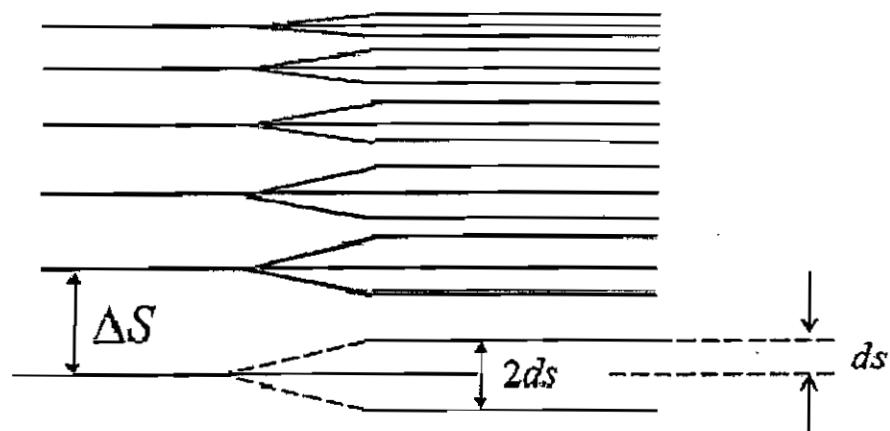
$$v_0 = \frac{A - \mu_0 B}{h}, \quad v_0 = \frac{A}{h}, \quad v_+ = \frac{A + \mu_0 B}{h} \quad (8)$$

تبديل می‌شود.

مطابق شکل (۴) هنگامیکه درجهتی عمود بر خطوط میدان مغناطیسی طیفهای گسیل شده از یک چشمۀ واقع در میدان نگریسته شود مؤلفه مرکزی در جهت میدان و دو مؤلفه کناری عمود بر آن قطبیده خواهند شد و در صورتیکه در امتداد خطوط میدان به آن نگاه کنیم دو مؤلفه کناری با قطبشی دایروی بچشم خواهند خورد و



(الف)



(ب)

شکل (۵). (الف) نمایش ترازهای $5D_2^1$ و $5D_1^1$ در اتم کادمیم در حضور میدان مغناطیسی گذارهای $\Delta m = \pm 1.0$

(ب) اندازه‌گیری خطوط شکافته شده تحت اثر میدان مغناطیسی

با در دست داشتن میدان مغناطیسی B و تعیین Δv می‌توان ضریب $\frac{e}{m} \frac{\mu_0}{h}$ و از آن ثابت را بدست آورد. برای تعیین Δv نخست لازم است که $\Delta \lambda$ معین شود و سپس با داشتن اینکه $\Delta v = \frac{-c}{\lambda^2} \Delta \lambda$ می‌باشد می‌توان به سهولت Δv را محاسبه نمود.

در عمل برای بدست آوردن اختلاف طول موج $\Delta \lambda$ از صفحه لامر - گرکه استفاده می‌کنیم. این صفحه دارای ضریب تکیک بسیار بالایی می‌باشد و بین دو خط تداخلی مجاور به فاصله d با تغییر طول موج $\Delta \lambda$ رابطه زیر برقرار است:

$$\Delta \lambda = \frac{\lambda^2}{2d} \cdot \frac{(n^2 - 1)^{1/2}}{n^2 - 1} \quad (10)$$

در رابطه (10) ضریب شکست صفحه لامر - گرکه و برابر $1.456V$ و d ضخامت صفحه لامر - گرکه و برابر 4.04 mm می‌باشد.

در رابطه ۱۰ با کاهش اختلاف دو طول موج $\Delta \lambda \rightarrow d\lambda$ فواصل بین خطوط طیفی نیز کاهش خواهد یافت در لذا: $\Delta s \rightarrow ds$

$$d\lambda = \frac{ds}{\Delta s} \Delta \lambda$$

و یا با استفاده از رابطه (10):

$$d\lambda = \frac{ds}{\Delta s} \cdot \frac{\lambda^2 (n^2 - 1)^{-1/2}}{2d}$$

Δs و ds را می‌توان با استفاده از خطوط رتیکول چشمی تلسکوپ، (a) و ساعت میکرومتر، (b) در طول آزمایش تعیین نمود. شکل ۵ خطوط طیفی مربوط به تفکیک خط قرمز کادمیم و طریقة اندازه‌گیری Δs و ds را نشان می‌دهد.

وسایل آزمایش

۱. دستگاه زیمان شامل: یک جفت سیم پیچ با هسته آهنی و کفشهای مربوطه، لامپ کادمیم، قسمت توری، شامل: پایه نگاهدارنده، ساعت، چشمی، نورگیر پلاستیکی، قطبش گر، شیبی به همراه لوله تلسکوپ فیلتر قرمز رنگ و صفحه لامر - گرکه، عدسی
۲. منبع تغذیه لامپ کادمیم
۳. آمپرسنج با توان اندازه گیری $20A$
۴. منبع تغذیه جریان زید مستقیم با توانایی ایجاد جریان در حدود $15A$
۵. سیستمهای رابط

چگونگی آرایش وسایل

مطابق شکل (۶) کفشهای موجود در مقابل هم بر روی هسته سیم پیچ قرار دارند و لامپ کادمیم بصورت مماس بر سطوح کفشك طوری واقع شده که شکاف نگاهدارنده آن به سمت اتصالات الکتریکی سیم پیچ متوجه باشد.

لامپ کادمیم را به منبع تغذیه لامپهای طیفی متصل کرده و آنرا روشن کنید. در حدود پنج دقیقه برای گرم شدن لامپ زمان لازم است.

طریقه تنظیم سیستم نوری

فیلتر مرکزی را در مقابل لامپ کادمیم در موضع خود قرار داده و عدسی را طوری تنظیم کنید که نور بر روی آن در مقابل دریچه ورودی بیافتد. قطبشگر را بر روی تلسکوپ نصب کرده و نورگیر پلاستیکی را بر روی نگاهدارنده صفحه لامر - گرکه متصل نماید بطوری که پرتوهای امتحانی نورهای زايد مسدود شوند.

با برداشتن چشمی (a):

الف) سیستم اپتیکی را به سمت چپ و راست آنقدر جابجا کنید که الگوی خطوط ظریف صفحه لامر - گرکه بچشم آید.

ب) ارتفاع پایه نگاهدارنده صفحه لامر - گرکه طوری میزان کنید که نوز دریچه ورودی آنرا کاملاً پوشاند. برای انجام این کار از پیچ موجود بر روی پایه استفاده کنید.

بندهای الف و ب را آنقدر تکرار کنید تا خطوط واضح و روشنی در بالا و پایین صفحه گرکه - لامر مشاهده گردد. سپس با قرا ردادن چشمی تلسکوپ در مکان مربوطه آنرا برای واضح دیدن خطوط، کانونی نمایید و با چرخش آن خطوط موبین را نیز برای انطباق بر روی خطوط طیفی میزان کنید. ساعت میکرومتر موجود بر روی دستگاه را با چرخش صفحه روین بر روی صفر تنظیم نمایید.

دو ترمینال وسطی سیم پیچ را به هم وصل نموده و با استفاده از دو ترمینال نهایی آمپرسنج و منبع تغذیه جریان زیاد، مدار بسته‌ای را بوجود آورید. دقت کنید که جهت جریان ورودی آمپرسنج و مدار با هم متناسب باشند. در این مدار دو سیم پیچ بصورت سری به هم متصل می‌شوند و آمپرسنج جریانی را که از متناسب باشند. در این خواهد کرد نشان خواهد داد. در صورت تمایل برای اتصال موازی، کافیست ترمینال اول و سوم و ترمینال دوم و چهارم به هم متصل گردند.

مقادیر مربوط به Δ ، مرتبه خط طیف، I جریان سیم پیچ، Δs فاصله دو خطوط مجاور و ΔS فاصله خط شکافه شده را در جدول ثبت نمایید.

آزمایش را برای مقادیر مختلف I هفت بار دیگر تکرار نموده و B را محاسبه نمایید.

برای محاسبه خطای سیستماتیک دقت ابزار اندازه‌گیری را یادداشت کنید.

جدول اندازه‌گیری

i								
Δs								
ds								
I								

= دقت آمپرسنج

= دقت ساعت

= خطاهای احتمالی دیگر

خواسته‌های آزمایش

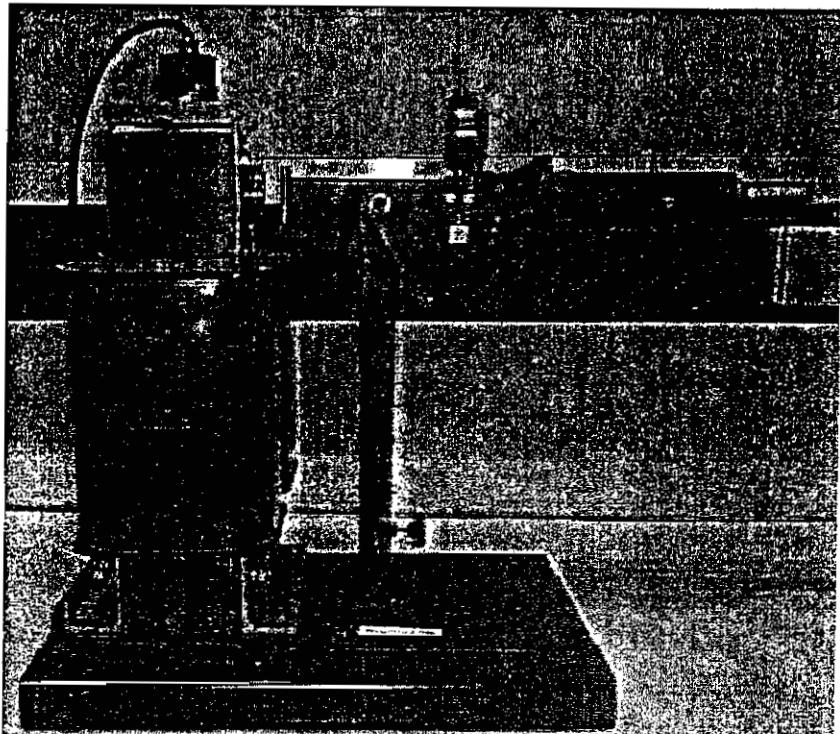
۱. با استفاده از نمودار B بر حسب I که در جزوه ضمیمه شده و با بر روی دستگاه نوشته شده است.

میدان B مربوط به هر جریان را بدست آورده و در جدول ثبت نماید.

۲. با استفاده از نتایج آزمایشها و استفاده از روش کمترین مربعات مقدار $\frac{e}{m}$ را محاسبه کنید.

۳. با در نظر گرفتن خطاهای مربوط به ابزار، مقدار خطای سیستماتیک را محاسبه نمایید.

۴. در صورتی که بدانیم مقدار $\frac{e}{m} = 1.7589 \times 10^{11} \frac{C}{kg}$ است درصد خطای نسبی آزمایش را بدست آورید.



شکل (۶). نحوه آرایش دستگاه زیمان

روش آزمایش

پس از آماده شدن قسمت نوری منبع جریان را در حالت حداقل روشن کرده و با افزایش تدریجی جریان چگونگی شکافتگی خطوط قرمز لامپ کادمیم را مشاهده نمایید.

برای مقادیر خاص از جریان سیم پیچ با چرخش قطبشگر خطوط شکافت شده را حذف نموده و فاصله دو خط مجاور یک خط طیف را که در نظر گرفته اید، Δs را اندازه گیری نمایید. به همین طریق با چرخش قطبش گر فاصله بین دو مؤلفه شکافت شده را برای خط طیف مذبور بدست آورده، $2ds$ و از آن ds را تعیین نمایید. (به شکل ۵ مراجعه شود).

در نظر داشته باشید که به علت فواصل زیاد، خطوط میانی برای اندازه گیری مناسب‌تر هستند.

۵. آیا نتایج بدست آمده از این آزمایش قابل قبول است، چرا؟

به سؤالات زیر پاسخ دهید:

۱. برای تعیین مقادیر صحیح ds و یا Δ باید ضریب تبدیل مقادیر جابجاگی نسبت به زوایای مربوطه در دست باشد، چرا در این آزمایش نیازی به دانستن مقدار عددی این ضریب وجود ندارد.
۲. آیا اگر مقدار اسپین کل برابر صفر نبود باز هم یک خط طیفی به سه مؤلفه تجزیه می شد؟ پاسخ خود را توضیح دهید.
۳. اثر زیمان چه کاربردهایی می تواند داشته باشد، نمونه هایی از آنرا که در صنعت و تکنولوژی کاربرد دارند ذکر نمایید.



دستگاه آزمایش نیروی لورنتز

ونحوه اندازه گیری $\frac{e}{m}$ بوسیله آن (مدل ۲-۲۴۳۳ (J)

۱- مقدمه -

دستگاه آزمایش نیروی لورنتز، مدل S2433-2 یک وسیله مناسب نمایش نیروی لورنتز و

محاسبه $\frac{e}{m}$ است. با اعمال یک میدان مغناطیسی بر الکترونهای در حال حرکت تحت اثر میدان

الکتریکی تغییر شکل خمی بر الکترونهای متحرک اعمال می شود و آنها مسیری دایره شکل را

در پیش خواهند گرفت. نسبت تغییر بار به جرم الکترون را می توان با این روش محاسبه کرد.

این نمایشگر برای آموزش فیزیک جدید دانشگاهی آزمایش‌های گروهی در محاسبه بار ویژه

الکترون $\frac{e}{m}$ و ذری چگونگی اثر نیروی لورنتز برای دانشجویان مناسب است.

۲- اطلاعات فنی

۱- ولتاژ شتاب دهنده به الکترونهای:

- قابلیت تنظیم مداوم از: ۰-۲۵۰ V.

- خطای ولت متر در پانل کمتر از ۰/۲۵ درصد.

۲- جریان مغناطیسی کننده:

- قابلیت تنظیم مداوم حوزه جریان از: ۰-۰/۲۵ A.

- خطای آمپر متر روی پانل کمتر از ۰/۲۵ درصد

- جهت جریان ۳ طرفه:

جهت عقربه ساعت، خاموش off، خلاف عقربه ساعت

۳- ولتاژ صفحه خمی

- قابلیت تغییر حوزه جریان از: ۰-۲۵۰ V

- مثبت بالا در نظر گرفته شود صفحه خاموش و مثبت پایین در نظر گرفته شود، صفحه

روشن می شود.

۴. شرایط کاری دستگاه

- در دمای اتاق از ۰ تا ۴۰ درجه سانتیگراد

- درصد رطوبت نسبی ۲۰٪ تا ۹۶٪ (در ۴۰ درجه سانتیگراد)

- توان ورودی دستگاه: ۲۲۰ ولت ± 22 ولت و ۵۰ هرتز

- حداکثر زمان کاری ۱ ساعت عملیات مداوم

- ابعاد کلی $300 \times 450 \times 300 \text{ mm}^3$

- وزن تقریباً ۱۱ کیلوگرم

۳- عملیات کنترل کننده ها

شکل خارجی مدل ۲۴۳۳-۲ نمایشگر نیروی لورنتز، نشان داده شده است.

کارکرد قطعات به ترتیب ذیل است:

۱- حباب (لوله) نیروی لورنتز، برای انتشار و مشاهده شعاعهای الکترون.

۲- سیم پیچ مغناطیس، برای تامین میدان مغناطیس هماهنگ (جفت سیم پیچ هلمولتز).

۳- خط کشی شاخص دار، به منظور اندازه گیری قطر چرخش شعاع الکترونی.

۴- عقربه، برای نشان دادن زاویه چرخش حباب نیروی لورنتز.

۵- شاخص، برای اندازه گیری زاویه چرخش حباب نیروی لورنتز.

۶- خط کش زاویه دار حول پایه لامپ بمنظور اندازه گیری مقدار زاویه دوران حباب نیروی لورنتز.

۷- نشانگر خلاف جهت عقربه های ساعت که نشاندهنده جریان سیم پیچهای هلمولتز در خلاف جهت عقربه های ساعت خواهد بود.

۸- نشانگر در جهت عقربه های ساعت که نشاندهنده جریان سیم پیچهای هلمولتز در جهت عقربه های ساعت خواهد بود.

۹- جعبه سیاه: نور را کاهش می دهد تا میر اشعه داخل حباب قابل مشاهده باشد.

۱۰- دکمه تنظیم ولتاژ خمث: برای تنظیم ولتاژ منحرف کننده (انحناء دهنده اشعه).

۱۱- کلید جهت ولتاژ خمث: برای تغییر ولتاژ منحرف کننده.

کلید جهت ولتاژ ضم کست: (رسه وضعیتی)

۱۲- کلید ولتاژ تنفس: تشدید خمث اشعه (رسه وضعیتی).

۱۳- در حباب نیروی لورنتز با ۳ وضعیت: مثبت در جهت بالای صفحه و خاموش و مثبت در

جهت پایین صفحه. (توجه) وقتی خمث الکترونهای در حال حرکت در میدان مغناطیسی را

مشاهده می کنید کلید باید روی (خاموش) قرار داشته باشد.

۱۴- دکمه تنظیم ولتاژ شتاب دهنده: برای تنظیم ولتاژ شتاب دهنده الکترون درون حباب نیروی

لورنتز، ولتاژ بوسیله ولت متر روی پانل نشان داده می شود.

۱۵- کلید جهت جریان مغناطیسی کننده. برای تغییر جهت جریان در سیم پیچ مغناطیس سه

وضعیتی: جهت غربیه ساعت و خاموش و خلاف جهت غربیه ساعت، قبل از تغییر کلید، دکمه

تنظیم جریان مغناطیس کننده باید روی صفر باشد. وقتی انحناء در مسیر حرکت الکترونهای را

تحت اثر میدان الکتریکی مشاهده می کنید کلید باید روی خاموش (Off) باشد.

۱۶- دکمه تنظیم جریان مغناطیس: برای تنظیم جریان در سیم پیچ مغناطیس: جریان توسط آمپر

متر روی پانل نشان داده می شود.

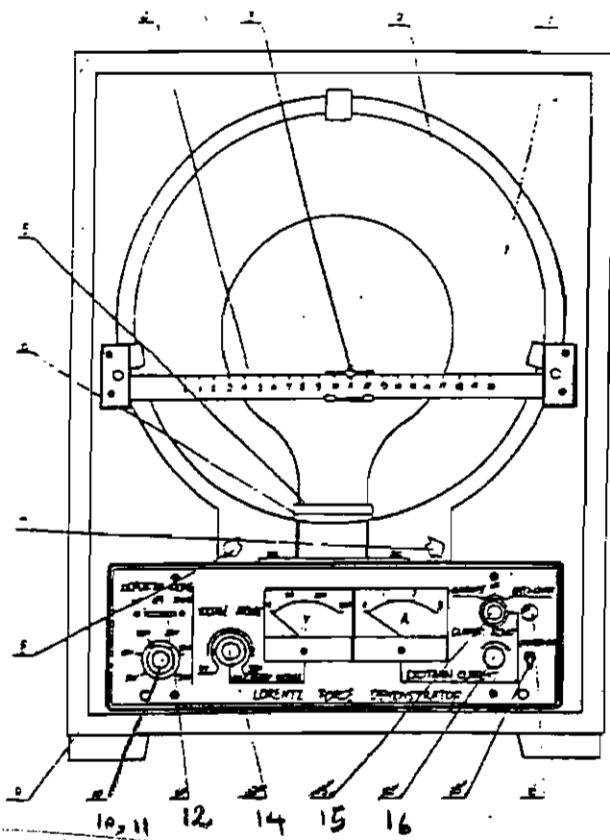
۱۷- کلید برق دستگاه.

۱۸- لامپ نشاندهنده ورود برق به دستگاه.

روی محفظه عقب دستگاه علاوه بر سیم برق و جعبه فیوز، ۴ ترمینال برای ولتاژ شتاب دهنده و

جریان مغناطیسی کننده الکترود تعییه شده است تا بتوان آنها را بوسیله ولت متر و آمپر متر های

خارج از دستگاه هم اندازه گیری کرد.



تصویر ۱ - (دستگاه نیروی لورنتز)

۴) دستورالعمل کار با دستگاه:

قبل از عملیات عقربه را تنظیم کنید.

به کاربران محترم توصیه می شود که مندرجات این کتابچه را بدقت مطالعه کنند تا بتوانند

بخوبی از دستگاه استفاده کنند.

صفحه جلویی جعبه سیاه را باز کنید. حباب نیروی لورنتز را از جعبه بسته بندی بین سیم پیچ

مغناطیسی بیرون کشیده و با دقیق آنرا در محل مربوطه قرار دهید.

کترلهای روی پانل جلویی را بصورت جدول ۱ قرار دهید.

جدول ۱

نام کنترل	محلی که باید قرار داده شوند
تنظیم ولتاژ شبکه	در جهت خلاف عقربه ساعت تا انتها بچرخانید
خاموش	جهت جریان مغناطیس دهنده
تنظیم جریان مغناطیس	درجهت خلاف عقربه ساعت تا انتها بچرخانید
خاموش	جهت ولتاژ خم کننده
تنظیم ولتاژ خم کننده	درجهت خلاف عقربه ساعت تا انتها بچرخانید

تمش اللرزنهای در عال حمل در میدان مغناطیسی مشاهده نیروی لورنتز:

دو شاخه برق را به 220 ولت برق بزنید، کلید برق را روی روشن قرار دهد، لامپ دستگاه $\frac{1}{2}$ درجه بالا فاصله پس از گرم شدن اولیه فرمز می شود دستگاه آماده استفاده است.

۱) دکمه تنظیم شبکه کننده در جهت عقربه ساعت بچرخانید تا ولتاژ افزایش یابد و یک

میدان خطی مستقیم الکترونهای متحرک را مشاهده کنید با توجه به آنکه الکترونهای در حال حرکت با میدان مغناطیسی فعال نشده اند مسیر مستقیم روشن و خطی دنبال می شوند.

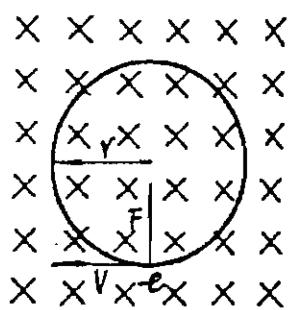
۲) حباب نیروی لورنتز را دوران دهد تا عقربه زاویه 90° را نشان دهد. جهت کلید جریان

مغناطیسی کننده در خلاف جهت عقربه های ساعت تنظیم شود، کلید تنظیم جریان مغناطیسی کننده چهت سیم پیچهای هلپولتز را در خلاف جهت حرکت عقربه های ساعت بچرخانید تا جریان افزایش یابد. در این حالت مدار دوران حرکت الکترونهای افزایش می یابد تا بالا مشاهده کنید. با افزایش جریان، شعاع انحنای مدار حرکت الکترونهای افزایش می یابد تا جایی که یک شکل روشن دایره ای به شکل بعدی دیده خواهد شد.

{ جهت ولتاژ کننده سیم خاموش
} تنظیم طبقه کننده سیم درجهت مدار عقربه ساعت تا انتها چرخانیم

{ تنظیم ولتاژ شبکه کننده سیم درجهت عقربه ساعت تا انتها چرخانیم حداقل ولتاژین 100 -
} تنظیم جریان مغناطیسی کننده سیم درجهت عقربه ساعت تا انتها چرخانیم
جهت جریان مغناطیسی کننده سیم باشد

بعد از اعمال آن سیم ولتاژ شبکه را با عمله هنوز تور می داشته باشد خارج شود



شکل مسیر حرکت الکترون تحت نیروی لورنتز

قطر دایره مسیر حرکت منحنی شکل الکترونها دقیقاً متناسب با سرعت حرکت الکترونها V_e خواهد بود و با شدت میدان مغناطیسی نسبت عکس دارد. یعنی با افزایش جریان جفت سیم پیچ هلهولتز شعاع دایره شکل حرکت الکترونها کاهش می‌یابد.

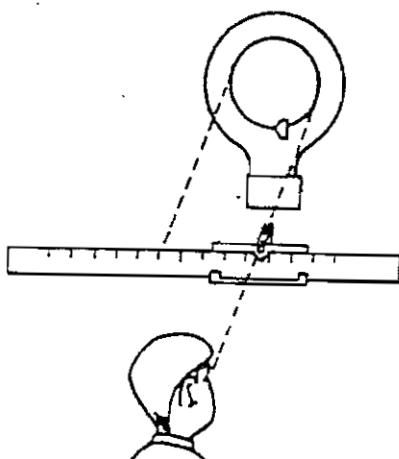
(۳) حباب نیروی لورنتز را دوران دهید بطوریکه شاخص زاویه ای بین 130 تا 150 درجه را نشان دهد و در این حالت یک مدار مارپیچ از حرکت الکترون داخل حباب مشاهده خواهد شد. اینک دوران حباب را تا زاویه شاخص درحدود 180 درجه ادامه دهید. در این صورت جهت حرکت الکترونها با جهت حرکت میدان مغناطیسی موازی خواهد شد و در این حالت دیگر میدان مغناطیسی روی الکترون تاثیری نخواهد گذاشت، لذا مسیر حرکت الکترونها در این حالت در داخل حباب به صورت خط مستقیمی درخواهد آمد.

۵- تعیین نسبت بار به جرم الکترون $\frac{e}{m}$

حباب نیروی لورنتز را به گونه ای بچرخانید که شاخص حباب روی زاویه 90 درجه قرار گیرد و ولتاژ شتاب دهنده الکترونها را بین 150 تا 200 ولت تنظیم کنید. جریان مغناطیسی کنده

شتاب دهنده \rightarrow بین $750-200$
 جریان مغناطیسی کنده \rightarrow $1-25$

جفت سیم پیچهای هلمهولتز را بین ۱ تا ۲ آمپر تنظیم کنید. در این حالت قطر D مسیر دایره ای حرکت الکترونها در داخل جباب را با خط کش شاخص دار اندازه بگیرید. (شکل بعدی)



شکل- چگونگی اندازه گیری قطر اتحانه مسیر حرکت الکترون تحت نیروی لورنتز.

در این حالت ولتاژ شتابدهنده V_a و جریان منحرف کننده I را از روی ولتمتر و آمپر متر دستگاه قرائت و ثبت کنید و به کمک رابطه

$$\frac{e}{m} = 9.88 \times 10^6 \frac{V_a}{D^2 I^2}, \text{C/Kg}$$

بار ویژه الکترون را اندازه بگیرید.

۶- مشاهده اتحانه مسیر حرکت الکترون تحت یک میدان مغناطیسی

جریان مغناطیسی کننده سیم پیچها را روی حداقل قرار دهد. کلید جهت جریان را روی off قرار دهد. جهت کلید ولتاژ شتابدهنده را رو به بالا تنظیم کنید، در صورتی که صفحه منحرف کننده متصل به جباب لامپ رو به بالا و درجهت ولتاژ مثبت باشد، مشاهده خواهیم کرد که باریکه اشعه الکترونی رو به بالا منحرف خواهد شد.

با چرخاندن ولتاژ منحرف کننده در مقابل جهت حرکت عقربه های ساعت با افزایش ولتاژ، زاویه انحراف باریکه الکترونی را مشاهده کنید که شروع به گسترش می یابد.

جهت دلخواه ستاب بعنوان سرمه با
تنظیم ولتاژ انحراف → درجهت عقربه ساعت / تنظیم افزایش
تنظیم ولتاژ ستاب بعنوان سرمه → درجهت عقربه ساعت / کم کم افزایش

ولتاژ متغیر کننده را تغییر ندهید و ولتاژ ثابت‌هونده را افزایش دهید تا زاویه انحراف باریکه الکترونی را مشاهده کنید که شروع به کاهش می‌باید.

۷- نکات قابل توجه:

- ۱) حباب نیروی لورنتز طول عمر نسبتاً کوتاهی دارد لذا برای افزایش این طول عمر سعی کنید در ابتدای آزمایش ولتاژ ثابت‌هونده روی حداقل تنظیم شود و پس از حداقل ۵ دقیقه گرم شدن دستگاه شروع به افزایش ولتاژ ثابت‌هونده بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ ولت بنماید و در این هنگام مدار حرکت دورانی باریکه الکترونی را خواهید دید.
هنگامی که آزمایش خاتمه یافت ولتاژ ثابت‌هونده را بلافاصله صفر کنید، سپس دستگاه را خاموش کنید. مدت زمان اجرای آزمایش از ۴۵ دقیقه تجاوز نکند.
- ۲) در آزمایشها باید نیاز به دوران دادن جهت جریان مغناطیسی دارید ابتدا باید جریان مغناطیسی را به صفر برسانید. این کار مانع از بروز خدمات جدی به کلیدها و سیم پیچها و حباب لامپ $\frac{e}{m}$ تحت جریانهای زیاد یا میدانهای مغناطیسی بزرگ خواهد گشت.
- ۳) برای دوران دادن حباب نیروی لورنتز باید پایه حباب را با دست گرفته و دوران دهید و ته خود شیشه حباب را تابه حباب دستگاه صدمه ای وارد نشود.
- ۴) هنگام مشاهده ظهور نیروی لورنتز داخل حباب توجه داشته باشید که کلید جهت ولتاژ انحراف باید خاموش باشد و در هنگام مشاهده انحراف الکترونها تحت میدان مغناطیسی باید جریان مغناطیسی را روی حداقل بچرخانید و کلید جهت جریان مغناطیسی را روی off قرار داده باشید.

$$\text{عدد المول} = \frac{e}{m}$$

عدد المول \rightarrow عدد جسيمات

$N = 190$

قياس سرعة الدوران \rightarrow
 $\beta = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{\mu_0 NI}{d^2 R}$
 قياس سرعة الدوران \rightarrow
 $d = \sqrt{\frac{eB^2 r^2}{2U}}$

روابط

$$F_L = F_C$$

$$q\vec{v} \times \vec{B} = qvB = \frac{mv^2}{r} \Rightarrow v = \frac{eBr}{m}$$

الآن نحسب حملة لوران

$$E = V \quad (\text{حيث } V = \frac{1}{2}mv^2)$$

$$ev = \frac{1}{r}mv^2 \Rightarrow ev = m \frac{e^2 B^2 r^2}{m^2}$$

$$\Rightarrow \frac{eV}{B^2 r^2} = \frac{m}{e} - \frac{e}{m} = \frac{B^2 r^2}{2U} \quad (\text{حيث } V = \frac{1}{2}B^2 r^2)$$

نسبة المول إلى عدد جسيمات

$$\text{نسبة المول إلى عدد جسيمات} = \frac{e}{m}$$