



دستور کار در آزمایشگاه فیزیک جدید

(رشته فیزیک)

دکتر سعید محمدی

بسم الله الرحمن الرحيم

پیشگفتار ناشر

کتاب‌های دانشگاه پیام نور حسب مورد و با توجه به شرایط مختلف یک درس در یک یا چند رشته دانشگاهی، به صورت کتاب درسی، متن آزمایشگاهی، فرادرسی، و کمک درسی چاپ می‌شوند.

کتاب درسی ثمره کوشش‌های علمی صاحب اثر است که براساس نیازهای درسی دانشجویان و سرفصل‌های مصوب تهیه و پس از داوری علمی، طراحی آموزشی، و ویرایش علمی در گروه‌های علمی و آموزشی، به چاپ می‌رسد. پس از چاپ ویرایش اول اثر، با نظرخواهی‌ها و داوری علمی مجدد و با دریافت نظرهای اصلاحی و متناسب با پیشرفت علوم و فناوری، صاحب اثر در کتاب تجدیدنظر می‌کند و ویرایش جدید کتاب با اعمال ویرایش زبانی و صوری جدید چاپ می‌شود.

متن آزمایشگاهی (م) راهنمایی است که دانشجویان با استفاده از آن و کمک استاد، کارهای عملی و آزمایشگاهی را انجام می‌دهند.

کتاب‌های فرادرسی (ف) و **کمک درسی** (ک) به منظور غنی‌تر کردن منابع درسی دانشگاهی تهیه و بر روی لوح فشرده تکثیر می‌شوند و یا در وبگاه دانشگاه قرار می‌گیرند.

مدیریت تولید محتوا و تجهیزات آموزشی

فهرست

هفت	پیشگفتار
۱	آزمایش ۱. اثر فوتوالکتریک
۵	آزمایش ۲. پراش الکترون
۹	آزمایش ۳. تعیین نسبت $\frac{e}{m}$ الکترون
۱۵	آزمایش ۴. میلیکان
۲۱	آزمایش ۵. فرانک - هرتر
۲۷	آزمایش ۶. پراکندگی رادرفورد (شامل ۳ آزمایش)
۳۳	آزمایش ۷. طیف‌نگاری اشعه‌ی گاما (شامل ۵ آزمایش)
۴۳	آزمایش ۸. طیف‌نگاری اشعه‌ی بتا
۴۷	آزمایش ۹. طیف‌نگاری اشعه‌ی آلفا (شامل ۲ آزمایش)
۵۳	آزمایش ۱۰. طیف‌های اتمی
۵۶	ضمیمه الف. آشنایی با چشمه‌های رادیواکتیو
۵۹	ضمیمه ب. محاسبات آماری
۶۰	ضمیمه ج. آشنایی با نرم‌افزار CASSY
۶۴	ضمیمه د. برخی از ثابت‌های فیزیکی
۶۵	مراجع
۶۶	واژگان فارسی - انگلیسی
۶۷	واژگان انگلیسی - فارسی

پیشگفتار

دستورکاری که اینک پیش روی شماست، دستورکار مجموعه‌ی بی‌نظیری از آزمایش‌های فیزیک جدیدی می‌باشد که اغلب آن‌ها در اوایل قرن بیستم با دشواری‌های زیادی در تضاد با نتایج فیزیک کلاسیک انجام گرفته بودند. آزمایش‌هایی که نخستین پژوهشگران خود را برنده‌ی جایزه نوبل کرده‌اند. از بین این آزمایش‌ها و برندگان نوبل آن می‌توان نام برد از:

- اثر فوتوالکتریک توسط اینشتاین در سال ۱۹۰۵
 - آزمایش فرانک - هرتز توسط جیمز فرانک و گوستاو هرتز در سال ۱۹۱۴ که خود تأییدی بود بر مدل اتمی بوهر
 - آزمایش میلیکان توسط رابرت میلیکان در سال ۱۹۱۲
 - آزمایش مدل اتمی رادرفورد توسط ارنست رادرفورد در سال ۱۹۱۰
- در تنظیم این دستورکار تلاش بر این بوده است تا حداکثر آزمایش‌ها را بتوان با امکانات موجود انجام داد. از این رو دستورکار در ۱۹ آزمایش آماده شده است که هر آزمایش طی یک جلسه ۳ الی ۴ ساعته انجام خواهد گرفت.
- دانشجو باید دستورکار هر آزمایش را قبل از ورود به آزمایشگاه مطالعه کرده باشد. در نوشتن این دستورکار فرض بر این بوده است که دانشجو قبلاً آزمایشگاه‌های مقدماتی فیزیک (۱) و (۲) را گذرانده و با برخی از مفاهیم نظیر ارقام بامعنی، محاسبه خطاها، رسم منحنی و همین‌طور کار با برخی از دستگاه‌های الکتریکی نظیر ولت‌سنج و آمپرسنج و رئوستا و غیره به اندازه کافی آشنا می‌باشد.
- در پایان دستورکار برخی از اطلاعات مورد نیاز آزمایش‌ها در چهار ضمیمه گردآوری شده‌اند که امید است مورد استفاده واقع شوند.
- از همکاران محترمی که تدریس این درس آزمایشگاهی را بر عهده دارند تقاضا می‌شود پیشنهادات خود را در مورد کم‌وکیف این دستورکار و احتمالاً برخی نارسائی‌ها به اینجانب تذکر دهند. پیشاپیش از توجه همگان کمال تشکر را دارم.

دکتر سعید محمدی

استاد فیزیک هسته‌ای دانشگاه پیام‌نور

در آزمایشگاه فیزیک جدید توجه به نکات زیر ضروری است:

۱. کلیه وسایل با ولتاژ بالا کار می‌کنند. لازم است هرگونه تغییر در مدار با هماهنگی کارشناس مربوطه باشد.
۲. برخی از آزمایش‌ها با مواد رادیواکتیو کار می‌کنند. رعایت نکات ایمنی در این مورد بخصوص از جانب خانم‌های باردار الزامی است.
۳. مسئولیت حفاظت و نگهداری وسایل هر میز به عهده گروه آزمایش کننده است. به‌طور کلی هر آزمایش به مراقبت خاصی نیاز دارد که باید مراعات گردد.
۴. هر گروه یا فرد موظف است گزارش کاری در مورد هر آزمایش تهیه کند.
۵. حضور در آزمایشگاه از اول وقت ضروری است. کار در آزمایشگاه مانند کار در کلاس درس نیست که بایک یا چند ساعت غیبت بتوان آن را به راحتی جبران کرد.
۶. سؤالات مربوط به هر آزمایش را بهتر است دانشجو ابتدا خودش و اگر نتوانست با مشورت همکاران خود در گروه پاسخ گوید و در نهایت نظر کارشناس آزمایشگاه را جویا شوند.

آزمایش ۱

اثر فوتوالکتریک

هدف آزمایش

تعیین ثابت پلانک h و تابع کار ϕ .

وسایل آزمایش

لامپ جیوه - فوتوسل - جعبه مخصوص اندازه گیری - فیلترهای رنگی - تقویت کننده جریان - منبع تغذیه - آمپرسنج - کلید قطع و وصل - ولت متر DC

تئوری آزمایش

از برخورد نور با سطح یک فلز معین الکترون جدا می شود. انرژی جنبشی این الکترون ها $\left(\frac{1}{2}mv^2\right)$ بستگی به بسامد نور دارد. قسمتی از انرژی نور نیز صرف جدا کردن الکترون از سطح فلز می گردد (تابع کار ϕ). طبق رابطه اینشتاین:

$$h\nu = \frac{1}{2}mv^2 + \phi \quad (1)$$

با اعمال ولتاژ منفی مناسب (u) می توان سرعت الکترون ها را صفر کرد:

$$eu = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2)$$

با مقایسه روابط (۱) و (۲):

$$h\nu = e u + \phi \quad (۳)$$

فرض کنید دو نور با بسامدهای ν_1 و ν_2 برای تاباندن به سطح یک فلز به کار برده و ولتاژهای بازدارنده به ترتیب u_1 و u_2 باشند:

$$h\nu_1 = e u_1 + \phi \quad \text{برای نور اول}$$

$$h\nu_2 = e u_2 + \phi \quad \text{برای نور دوم}$$

با حذف ϕ بین دو رابطه فوق مقدار h به دست می آید:

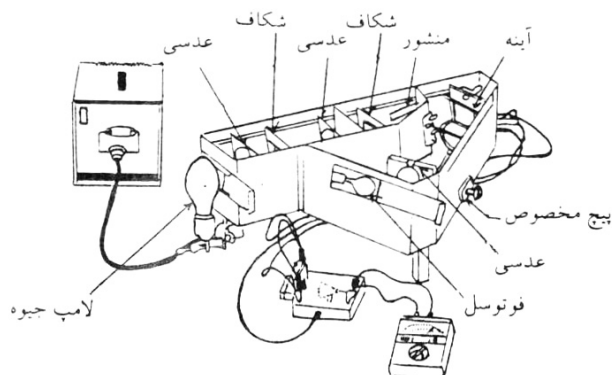
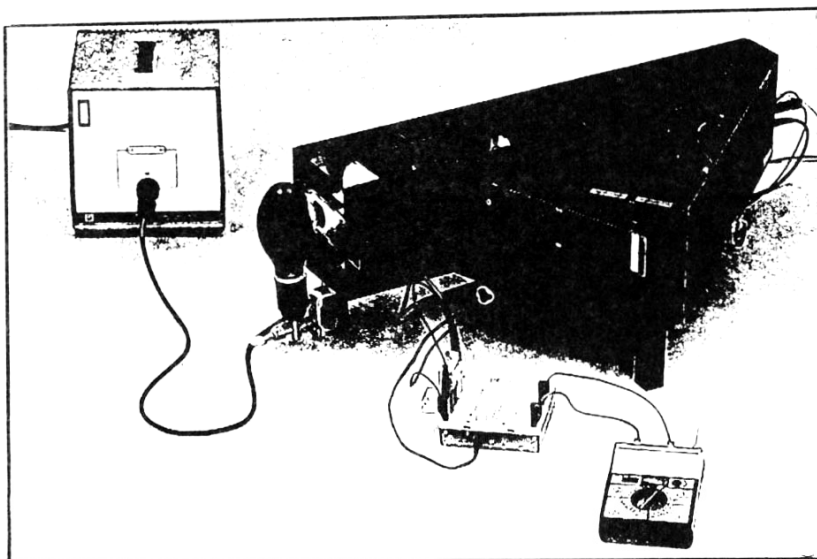
$$h = e \frac{u_1 - u_2}{\nu_1 - \nu_2} \quad (۴)$$

با قرار دادن مقدار h در رابطه (۳) برای یک نور خاص، می توان تابع کار فلز (ϕ) را نیز به دست آورد.

روش آزمایش

مداری مطابق شکل (۱-۱) ترتیب دهید. لامپ جیوه را روشن کرده و مدت ۱۰ دقیقه صبر کنید تا لامپ به خوبی گرم شود. از دست زدن به سطح لامپ خودداری کنید چون دمای آن بیش از ۱۰۰ درجه سانتی گراد است! با کمک عدسی ها و شکاف ها و منشور داخل جعبه مخصوص آزمایش، خطوط طیفی جیوه را پس از انعکاس از آینه توسط یک عدسی بر روی لایه آلکایی حساس یک فوتوسل کانونی کنید.

یکی از رنگ های طیف جیوه را انتخاب کنید. با چرخاندن آینه یا پیچ مخصوص آن را بر روی فوتوسل کانونی کنید. لازم است سرپوش مخصوص جعبه در محل آن قرار داده شود تا هیچ نور دیگری به فوتوسل برخورد نکند. ولتاژ بازدارنده را روی صفر قرار دهید. آمپرسنج جریان فوتوالکتریک مربوط به نور مورد نظر را نشان می دهد. ولتاژ را به آهستگی افزایش داده تا جریان صفر شود. ولتاژ به دست آمده را ثبت کنید. این آزمایش را برای رنگ های دیگر طیف تکرار کنید. سعی کنید تمام رنگ ها به قسمت یکسانی از کاتد بتابند. نتایج را در جدولی مانند زیر تنظیم کنید:



شکل ۱-۱. مدار آزمایش فوتوالکتریک

قرمز	آبی	فیروزه‌ای	سبز	زرد	رنگ
$7,41 \times 10^{14}$	$6,88 \times 10^{14}$	$6,08 \times 10^{14}$	$5,49 \times 10^{14}$	$5,19 \times 10^{14}$	فرکانس ν (Hz)
					ولتاژ بازدارنده u
					(ولت)

در اینجا می‌توان بجای استفاده از روابط (۳) و (۴) برای دو رنگ، برای چند رنگ منحنی تغییرات ν بر حسب u را رسم کرده و با کمک رابطه (۳) از طریق محاسبه

شیب و عرض از مبدأ خط مقادیر h و ϕ را به دست آورد. مقادیر به دست آمده را با مقادیر تئوری برای h و ϕ مقایسه کرده و درصد خطا را برای هر کدام مشخص نمایید. در این آزمایش می توان بجای منشور، از فیلترهای رنگی (زرد- سبز- آبی و بنفش) برای جداسازی خطوط طیف جیوه استفاده کرد. ولتاژ مناسب این نوع آشکارساز بین ۳۰۰ تا ۴۵۰ ولت می باشد. شیب ناحیه ولتاژکار را با استفاده از رابطه‌ی زیر تعیین کنید:

پرسش‌ها

۱. این آزمایش بیانگر چه موضوعی است؟
۲. جریان نشان داده شده توسط آمپرسنج از کجا حاصل می شود؟
۳. آیا شدت رنگ‌ها در تعیین اندازه ولتاژ u اثر دارند؟
۴. چرا در فوتوسل باید یک فلز آلکایی نظیر پتاسیم به کار برد؟
۵. منابع خطا در این آزمایش کدام‌ها هستند؟

آزمایش ۲

پراش الکترون

هدف آزمایش

مشاهده رفتار موجی الکترون‌ها با استفاده از پدیده‌ی پراش

وسایل آزمایش

حباب پراش باریکه الکترونی - منبع تغذیه با ولتاژ بالا - رئوستا - مولتی‌متر - کلید قطع و وصل - خط‌کش فلزی - آهن‌ربا - شبکه بلوری گرافیت

تئوری آزمایش

پس از رفتار ذره‌ای برای فوتون‌ها، در سال ۱۹۲۴ «لوئی دوبروی» پیشنهاد کرد که ذرات مادی نظیر الکترون‌ها نیز باید دارای رفتار موجی باشند. در این صورت باید طول موج دوبروی آن‌ها $\left(\lambda = \frac{h}{mv}\right)$ در رابطه شرط براگ $2d \sin \theta = n\lambda$ صدق کند که d فاصله بین اتم‌ها در شبکه بلوری، θ زاویه تابش نسبت به سطح شبکه و n یک عدد صحیح می‌باشد. با اعمال ولتاژ u انرژی الکترون‌ها از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$eu = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow mv(2eu)^{1/2}$$
$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{(2eu)^{1/2}} \quad (1)$$

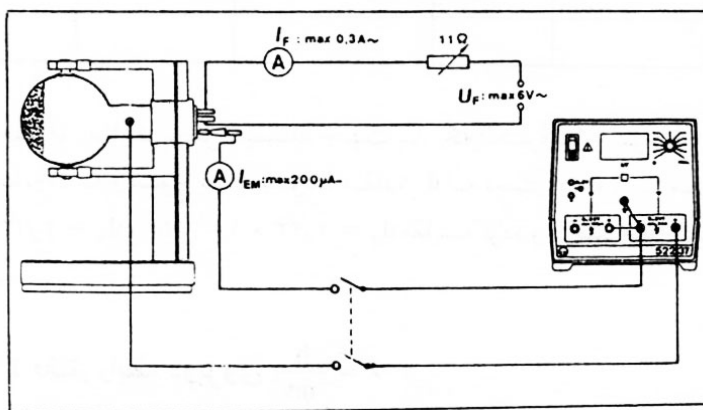
اگر λ برحسب انگستروم و u برحسب ولت باشند، با قرار دادن مقادیر e, h (بار الکترون) و m (جرم الکترون)، رابطه فوق بدین صورت در می آید:

$$\lambda = \frac{12/253}{(u)^{1/2}} \quad (2)$$

روش آزمایش

مداری مطابق شکل (۱-۲) ببندید. شدت جریان در فیلامان را با تغییر رئوستا تا $0.3A$ بالا ببرید.

منبع تغذیه ولتاژ بالا را روشن کرده و آن را به آهستگی افزایش دهید. الکترون‌های تابشی به صورت یک باریکه روی لایه کریستالی از گرافیت برخورد کرده و پدیده تداخل اتفاق می افتد. در اینجا تداخل سازنده امواج به صورت دو حلقه نورانی روی یک صفحه فلئورسنت در داخل حباب دیده می شوند. ولتاژ را تا $5kV$ بالا برده و ثابت نگه دارید.



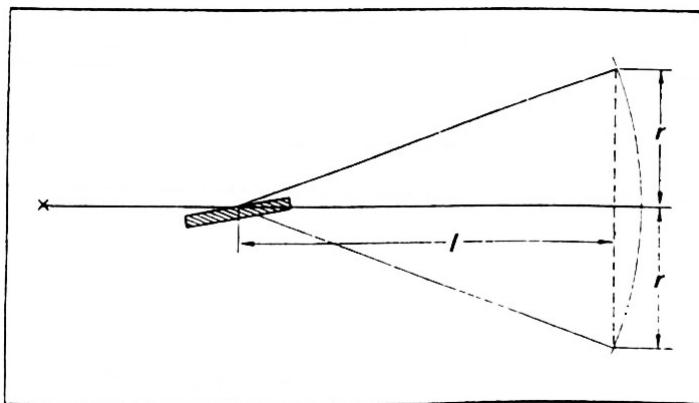
شکل ۱-۲. مدار پراش الکترون

آزمایش ۱: اندازه گیری فاصله بین صفحات بلوری در گرافیت

با توجه به شکل (۲-۲)، $\alpha = 2\theta$ که $\tan \theta = \frac{r}{l}$ ، r شعاع حلقه، l فاصله بین محفظه پودر گرافیت تا صفحه فلئورسنت یا تقریباً قطر حباب و θ زاویه براگ است. اگر

زاویه θ خیلی کوچک باشد، با قرار دادن رابطه فوق در رابطه شرط براگ داریم:

$$(n=1)$$



شکل ۲-۲

$$d = \frac{\lambda l}{r} \quad (3)$$

شعاع‌های I_1 و I_2 حلقه‌های پراش را تعیین کرده و نتایج را در جدولی مانند زیر تنظیم کنید:

حلقه	شعاع	طول موج λ	l	فاصله بین صفحات (d)
حلقه ۱				
حلقه ۲				

اگر حلقه‌ها رضایت‌بخش نیستند، جهت باریکه الکترون‌ها را توسط آهن‌ربا تغییر دهید تا حلقه‌ها به‌وضوح دیده شوند. مقادیر d به‌دست آمده را با مقادیر تجربی $d_1 = 2.13 \times 10^{-10} \text{ m}$ و $d_2 = 1.23 \times 10^{-10} \text{ m}$ مقایسه کرده و درصد خطا را برای هر مورد محاسبه کنید.

آزمایش ۲: تحقیق رابطه دوبروی $\lambda = \frac{h}{mv}$

ولتاژ را از ۳ تا ۵ کیلوولت تغییر داده و شعاع یکی از حلقه‌ها را در هر حالت اندازه بگیرید (داشتن ۵ شعاع کافی است). با استفاده از رابطه (۱) سرعت الکترون‌ها و از رابطه (۳) طول موج آن‌ها را به دست آورید. نتایج را در جدولی مانند زیر بنویسید:

ولتاژ u (kV)	۳	۳/۵	۴	۴/۵	۵
شعاع یک حلقه (برحسب متر)					
سرعت الکترون v (m/s)					
طول موج λ (برحسب متر)					

منحنی تغییرات λ برحسب $\frac{1}{v}$ را رسم کرده و شیب خط را که همان $\frac{h}{m}$ است محاسبه کنید. مقدار به دست آمده را با مقدار تجربی مقایسه کرده و درصد خطا را محاسبه کنید.

پرسش‌ها

۱. این آزمایش بیانگر چه موضوعی است؟
۲. چرا در این آزمایش فقط دو حلقه نورانی برای مرتبه $n=1$ دیده می‌شوند؟
۳. در داخل حباب چه گازی وجود دارد؟
۴. روابط (۲) و (۳) را ثابت کنید.
۵. منابع خطا در این آزمایش کدام‌ها هستند؟

آزمایش ۳

تعیین نسبت $\frac{e}{m}$ الکترون

هدف آزمایش

محاسبه نسبت بار الکتریکی به جرم الکترون $\left(\frac{e}{m}\right)$

وسایل آزمایش

حباب مخصوص - پیچ‌های هلمهولتز - منبع تغذیه چند منظوره - ولت‌سنج - آمپرسنج - آهن‌ربای استوانه‌ای کوچک - متر فلزی

تئوری آزمایش

اگر باریکه‌ای از الکترون‌ها را توسط ولتاژ u شتاب داده و وارد میدان مغناطیسی به شدت B نمائیم، چنانچه سرعت ذره v عمود بر میدان باشد، مسیر حرکت الکترون‌ها یک دایره به شعاع R خواهد بود. در اینجا نیروی مغناطیسی F_B برابر با نیروی جانب مرکز F_C خواهد بود.

$$F_B = evB$$

$$F_C = \frac{mv^2}{R}$$

$$evB = \frac{mv^2}{R} \Rightarrow eB = \frac{mv}{R}$$

اما از طرفی داریم:

$$\frac{1}{2}mv^2 = eu$$

با حذف سرعت بین روابط فوق خواهیم داشت:

$$B^2 R^2 = \frac{2u}{e/m} \quad (1)$$

میدان مغناطیسی یکنواخت B توسط جریان I در سیم‌پیچ‌های هلمهولتز ایجاد می‌شود که رابطه بین شدت جریان و میدان مغناطیسی به صورت زیر است:

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \frac{\mu_0 N I}{r} \quad (2)$$

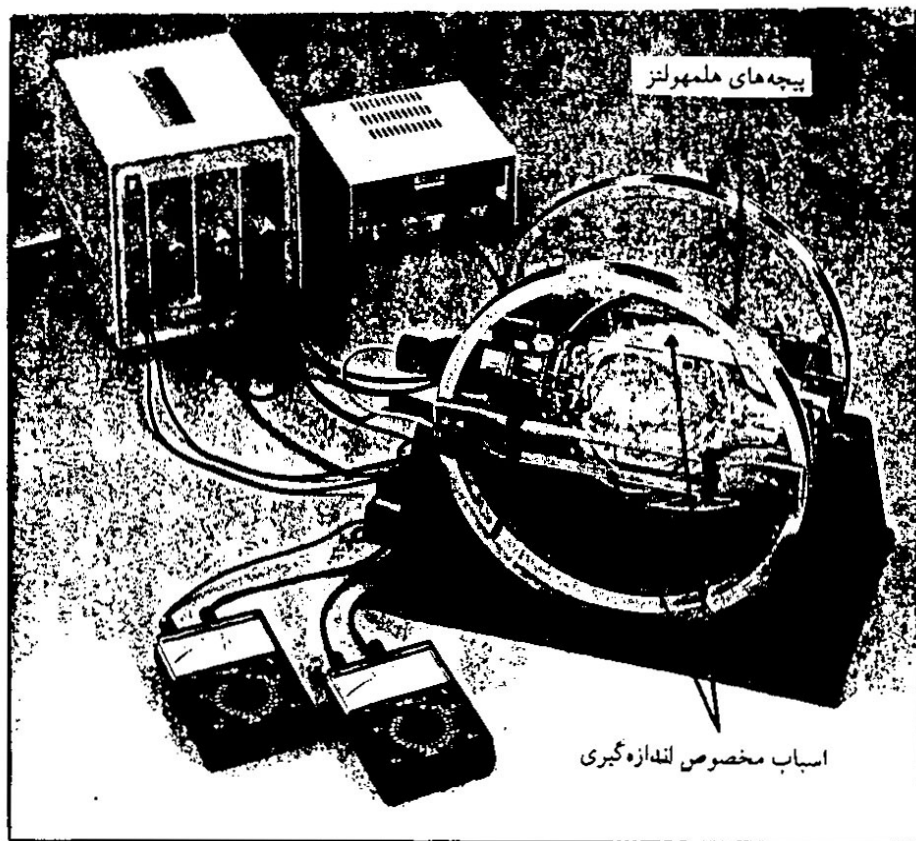
با استفاده از روابط (۱) و (۲) و با گذاشتن مقادیر $N = 130$ و $r = 0.15 \text{ m}$ و $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{\text{web}}{\text{m.A}}$ خواهیم داشت:

$$I = \left[\frac{2u}{\left(\frac{4}{5}\right)^3 \mu_0^2 N^2 (e/m)} \right]^{1/2} \frac{1}{R} \cong 1.815/7 \left(\frac{u}{e/m} \right)^{1/2} \frac{1}{R} \quad (3)$$

در رابطه فوق I برحسب آمپر و u برحسب ولت و R برحسب متر خواهد بود.

روش آزمایش

آزمایش ۱: مداری مطابق شکل زیر ترتیب دهید. جریان ولتاژ را در حداقل قرار داده و دستگاه را روشن کنید.



شکل ۱-۳

ولتاژ آند را بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ ولت تغییر داده تا یک باریکه دایروی از الکترون‌ها به‌دست آید. اکنون ولتاژ را ثابت نگه داشته (مثلاً در ۳۰۰ ولت) و با تغییر دادن شدت جریان، شعاع مسیر دایروی الکترون‌ها را به کمک اسباب اندازه‌گیری نصب شده بر روی پیچه‌ها اندازه بگیرید. نتایج را در جدولی مانند زیر یادداشت کنید (۵ الی ۶ اندازه‌گیری کافی است).

در غیاب میدان مغناطیسی زمین، رابطه (۳) پیش‌بینی می‌کند که شدت جریان I متناسب با $\frac{1}{R}$ است. منحنی تغییرات I برحسب $\frac{1}{R}$ را رسم کرده و شیب خط را

به دست آورید. با دانستن مقدار u ، نسبت به $\frac{e}{m}$ را به دست آورده و با مقدار تئوری آن مقایسه کنید. درصد خطا برای $\frac{e}{m}$ چقدر است؟ توجه کنید که $\left(\frac{e}{m} = 1.76 \times 10^{11} \frac{C}{kg}\right)$ مسیر دایروی الکترون‌ها را می‌توانید توسط یک جفت آهن‌ریا بهبود ببخشید.

شدت میدان B (برحسب تسلا)	شعاع باریکه R (برحسب متر)	شدت جریان I (برحسب آمپر)

آزمایش ۲: می‌دانیم که با تغییر شدت جریان در سیم پیچ‌ها در واقع شدت میدان مغناطیسی میان دو سیم‌پیچ را تغییر می‌دهیم. به ازای مقادیر مختلف شدت جریان، مقادیر شدت میدان مغناطیسی را نیز به دست آورده و در جدول فوق ثبت کنید. با توجه به رابطه $B = \left(\frac{m}{e}\right) \frac{v}{R}$ ، منحنی تغییرات B برحسب $\frac{1}{R}$ را رسم کنید. با توجه به معلوم بودن مقدار $\frac{m}{e}$ ، سرعت الکترون را از روی شیب خط به دست آورده و انرژی جنبشی آن را محاسبه کنید. از روی این انرژی جنبشی حدس بزنید درون حباب چه گازی می‌تواند وجود داشته باشد.

پرسش‌ها

۱. در داخل حباب شیشه‌ای چه گازی وجود دارد؟
۲. رابطه (۳) را به دست آورید.
۳. نوع گاز و فشار گاز چه تأثیری در آزمایش دارد؟

تعیین نسبت $\frac{e}{m}$ الکترون ۱۳

۴. در رسم تغییرات I برحسب $\frac{1}{R}$ ، خط رسم شده دقیقاً از مبدأ مختصات نمی‌گذرد. علت را توضیح دهید.

۵. منابع خطا در این آزمایش کدام‌ها هستند؟

آزمایش ۴

میلیکان

هدف آزمایش

تحقیق کوانتیده بودن بار الکتریکی

وسایل آزمایش

اسباب اندازه گیری میلیکان - منبع تغذیه - زمان سنج دستی یا الکتریکی

تئوری آزمایش

با قرار گرفتن یک قطره روغن باردار الکتریکی به جرم m و بار q در میدان الکتریکی E یک خازن مسطح به فاصله صفحات d ، این نیروها بر قطره وارد می شوند:

$$F_g = mg \quad \text{- وزن قطره}$$

$$F_q = qE \quad \text{- نیروی الکتریکی}$$

با تنظیم ولتاژ u بین صفحات خازن و در نتیجه تنظیم شدت میدان الکتریکی E ، می توان qE را برابر mg کرد در نتیجه:

$$mg = qE \Rightarrow q = \frac{mg}{E} \quad (۱)$$