Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

دانشگاه بیرجند

دستور کار شماره ۲۲

آزمایشگاه

فیزیک مدرن

کاظم نفیسی

مهرماه ۱۳۷۷

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

بسم اللّهِ الرَّحمن الرَّحیم

بنام خداوند بخشنده و مهربان

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه	ب
آزمایش ۱ : تابش جسم سیاه	۱
آزمایش ۲ : طیف اتم هیدروژن	۷
آزمایش ۳ : قطره روعن میلیکان	۱۱
آزمایش ۴ : اثر فوتوالکتریک	۱۶
آزمایش ۵ : پدیده زیمن	۱۹
آزمایش ۶ : پراش اشعه X	۲۳
آزمایش ۷ : طیف پیوسته اشعه X	۲۵
آزمایش ۸ : جذب اشعه X	۲۸
آزمایش ۹ : اندازه‌گیری e/m الکترون	۳۲
آزمایش ۱۰ : پراش الکترون	۳۵
آزمایش ۱۱ : فرانک - هرتز	۳۹
آزمایش ۱۲ : پدیده فاراده	۴۲
منابع	۴۵

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

دستورالعمل کار در آزمایشگاه

توجه به نکات زیر در آزمایشگاه فیزیک مدرن ضروری است

۱ - هر گروه، مسئولیت حفاظت از وسایل آزمایش مربوط به خود را به عهده دارد. پس از آزمایش وسایل فوق سالم تحویل گرفته خواهد شد.

۲ - قبل از اتصال وسایل آزمایش به برق و روشن کردن آنها، با هماهنگی ونظارت کارشناس، از صحت اتصالات اطمینان حاصل کنید.

۳ - در هر جلسه قبل از شروع، از آزمایش مربوطه کوئیز به عمل می آید. این کوئیز می تواند شفاهی یا کتبی باشد و هم تئوری و هم روش آزمایش را در بر دارد.

۴ - در نوشتن گزارش کار، نیاز به توضیح مفصل تئوری آزمایش نیست. فقط کارهای انجام شده و نتایج به دست آمده را بطور مختصر ولی دقیق بیان کنید. فراموش نکنید که به سوالات مطرح شده حتما پاسخ دهید.

۵ - گزارش کار هر جلسه آزمایش حداکثر تا جلسه بعد قابل تحویل است. کسانی که به هر دلیل گزارش کار را با تاخیر تحویل دهند امتیاز کامل آن را دریافت نخواهند کرد.

توجه : در تمام آزمایشها، هرجا اشاره به خطای نسبی شده، محاسبه خطای نسبی به روش لگاریتمی مورد نظر می باشد.

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

مقدمه

امروزه جامعه انقلابی ما جهت تحقق اهداف فرهنگی که از مهمترین آنها دستیابی به استقلال و خود کفایی کشور است، نیاز به تحصیلکردَه‌هایی دارد که درکنار فراگیری تئوریها واصول علمی، توانایی کاربرد آنها در عرصه عمل را نیز بدست آورند. در این راستا آزمایشگاههایَ فیزیک از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند.

به نظر می‌رسد با توجه به نوپا بودن مبحث فیزیک مدرن و مفاهیم جدید و ناآشنایی که برای دانشجویان در آن وجود دارد، اهمیت آزمایشگاه فیزیک مدرن نسبت به سایرین دو چندان باشد. در این جزوه سعی شده با ساده و ملموس کردن مفاهیم، علاقه و شوق دانشجو نسبت به آزمایشهای فیزیک مدرن بر انگیخته شود. فرض بر این گذاشته شده که دانشجو با تئوری آزمایشها در درس فیزیک مدرن آشنایی دارد و در اینجا فقط اصول کلی تئوری بدون شرح و بسط اضافی آورده شده است . در عین حال دانشجوی علاقمند به مطالعه بیشتر می‌تواند به منابع فهرست شده در آخر جزوه مراجعه نماید. در پایان لازم است از همکاری صمیمانه کارشناس محترم آقای بهمن دولت آبادی و دانشجویان گرامی آقای هادی ظریف و خانم فاطمه وجدی سبزوار تشکر وقدر دانی نمایم. همچنین ازکلیه اساتید ودانشجویانی که قبل از انتشار این جزوه با انتقادات و پیشنهادهای خود بر غنای آن افزودند، تشکر می‌کنم. امید دارم که دانشجویان گرامی با دید منتقدانه خود مرا در جهت رفع نواقص این جزوه یاری نمایند.

کاظم نفیسی

مهرماه ۷۷ - دانشگاه بیرجند

Sample output to test PDF Combine only

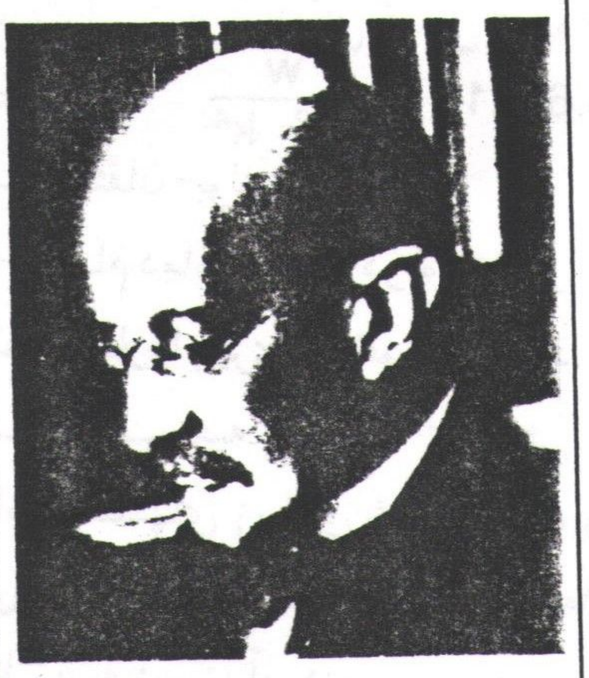
Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

تابش جسم سیاه

هدف آزمایش:

۱ - اندازه‌گیری شدت تابش جسم سیاه برحسب تابعی از دما(تحقیق قانون استفان-بولتزمن)

۲ - تحقیق قانون لامبرت



ماکس پلانک (۱۹۴۷-۱۸۵۸)،فیزیکدان آلمانی،استاد دانشگاه برلین،او درپیشبرد ترمودینامیک نقش عمده‌ای داشت.به خاطر کشف کوانتمهای‌انرژی جایزه نوبل سال ۱۹۱۸ را دریافت کرد.

تئوری آزمایش:

تمام مواد در هر دمایی ، امواج الکترومغناطیسی تابش می‌کنند . در گازها که اتمها دور از هم و تقریبا بدون بر همکنش هستند ، طیف تابش بصورت خطوط گسسته است که توجیه آن در آزمایش طیف اتم هیدروژن آمده است .در جامدات ، بدلیل برهمکنش بین مولکولها تعداد درجات آزادی بسیار افزایش می‌یابد و در نتیجه طیف تابش پیوسته می‌شود .

هر جامدی کسر معینی از تابش فرودی بر سطح خود را جذب و بقیه را منعکس می‌نماید .

جسم سیاه ایده آل ، جسمی است که تمام تابش فرودی یعنی هر فوتون با هر بسامدی را جذب می‌کند و ضریب انعکاس آن صفر است . پس از دیدگاه نظریه کوانتمی ، جسم سیاه عبارت است از ماده‌ای که دارای تعداد بیشماری ترازهای انرژی کوانتیده است بطوریکه فاصله ترازها به سمت صفر میل می‌کند .از طرفی دمای جسم سیاه با جذب تابش افزایش یافته و در نتیجه خود جسم تابش می‌کند .در هنگام تابش نیز یک جسم سیاه همه فرکانسهای طیف امواج الکترومغناطیسی را تابش می‌کند .

خواص تجربی تابش جسم سیاه

منحنی توان گسیلی $E(\nu, T)$ (انرژی گسیل یافته در بسامد ν و دمای T از واحد سطح در واحد زمان) برحسب بسامد در شکل صفحه بعد نشان داده شده است.

این منحنی دارای خواص تجربی زیراست :

۱-طیف تابش جسم‌سیاه به جنس آن بستگی ندارد.

۲-با افزایش دما ماکزیمم منحنی به سمت طول‌موجهای کوتاهتر(بسامد بیشتر)جابجامیشودبه‌طوری که:

قانون جابجایی وین

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

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

که در آن b یک ثابت جهانی است :

$$b = 2.898 \times 10^{-3} \quad m\text{-}^{\circ}K$$

۳-با افزایش دما،سطح زیرمنحنی افزایش میابد بطوریکه:

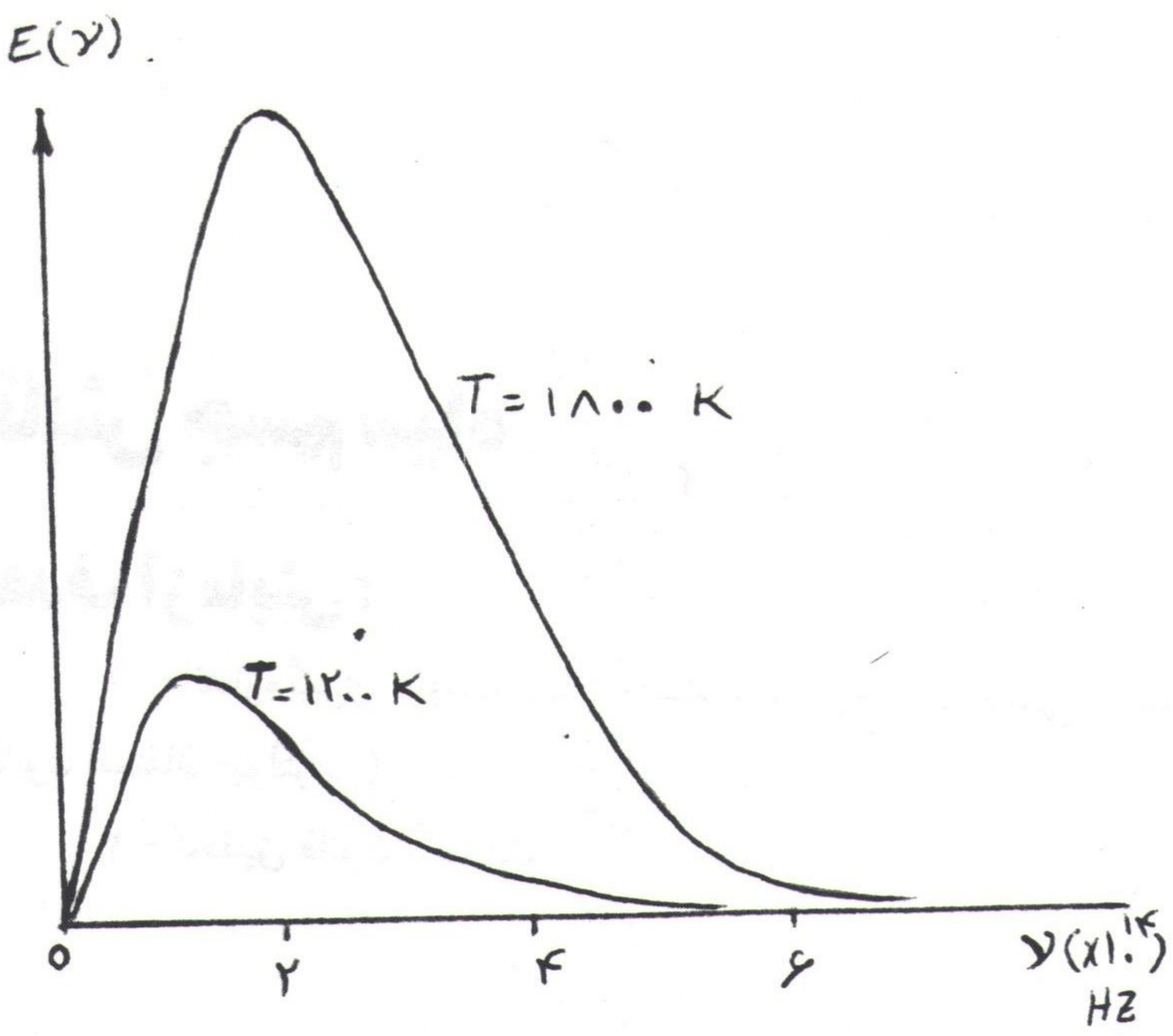
قانون استفان-بولتزمن $E(T) = \sigma T^4$

که در آن $E(T) = \int_0^{\infty} E(\nu, T)\, d\nu$

عبارت است از توان کل گسیل شده از واحد سطح و $\sigma = 5.67\times10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$ ثابت استفان-بولتزمن است .

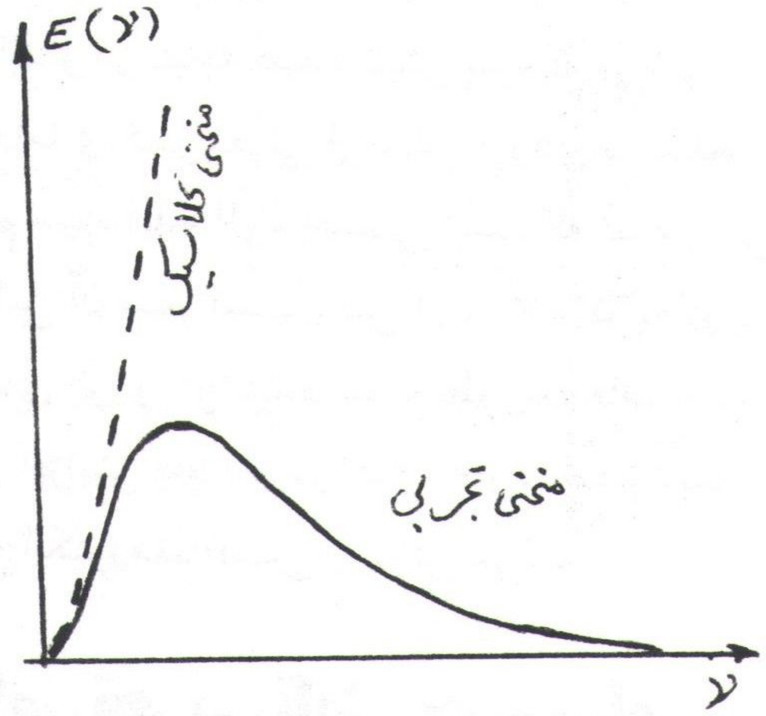
۴-در تمام دماهامنحنی در $\nu \to 0$ و $\nu \to \infty$ مقدار بسیار ناچیزی به خود می‌گیرد.

برای توجیه طیف تابش جسم سیاه‌کوششهای زیادی شده است.وین از روی منحنیهای تجربی رابطه‌ای به شکل‌زیربه دست آورد:



$$E(\nu, T)d\nu = \frac{a}{c^4} \nu^3 e^{-b\nu/cT} d\nu$$

پارامترهای b و a به گونه‌ای تعیین می‌شوند که رابطه فوق بر منحنی تجربی منطبق شود.از روی رابطه فوق می‌توان قانون جابجایی وین وقانون استفان-بولتزمن را به دُست آورد ولیکن چون نمیتوان آن را از روی هیچ مدل فیزیکی به دست آورد،به عنوان یک نظریه قابل قبول نیست.



رایلی وجینز با در نظر گرفتن یک مدل کلاسیکی متشکل ازتعداد زیادی نوسانگر هارمونیک ساده به رابطه زیر رسیدند:

$$E(\nu, T)d\nu = \frac{2\pi\nu^2 k T}{c^2} d\nu$$

این رابطه در بسامدهای کوچک بامنحنی تجربی تطابق دارد ولی در حد $\nu \to \infty$ با شکست مواجه میشود.بعلاوه طبق رابطه فوق،تابش کل (سطح زیر منحنی)برابر بی‌نهایت می‌شود که غیر قابل قبول است.

پلانک با در نظرگرفتن انرژی نوسانکرها به صورت کوانتیده $\varepsilon = nh\nu$ وپیگیری همان روش قبلی به نتیجه زیر رسید:

$$E(\nu, T)\, d\nu = \frac{2\pi h}{c^2} \cdot \frac{\nu^3}{e^{h\nu/kT}-1} d\nu$$

که در آن h پارامتر قابل تنظیمی است که ثابت پلانک نامیده میشود و به لحاظ تجربی برابر است با $h = 6.63 \times 10^{-34}\ J.S$ رابطه فوق در حد $\nu \to 0$ به رابطه رایلی - جینز و در حد $\nu \to \infty$ به رابطه وین نزدیک میشود وبه طورکلی به ازای همه فرکانسها با منحنی تجربی در توافق است.از طرفی توان گسیلی کل به صورت

$$E(T) = \frac{2\pi^5 k^4}{15 h^3 c^2} T^4 \equiv \sigma T^4$$

در می‌آید که همان قانون استفان-بولتزمن است.

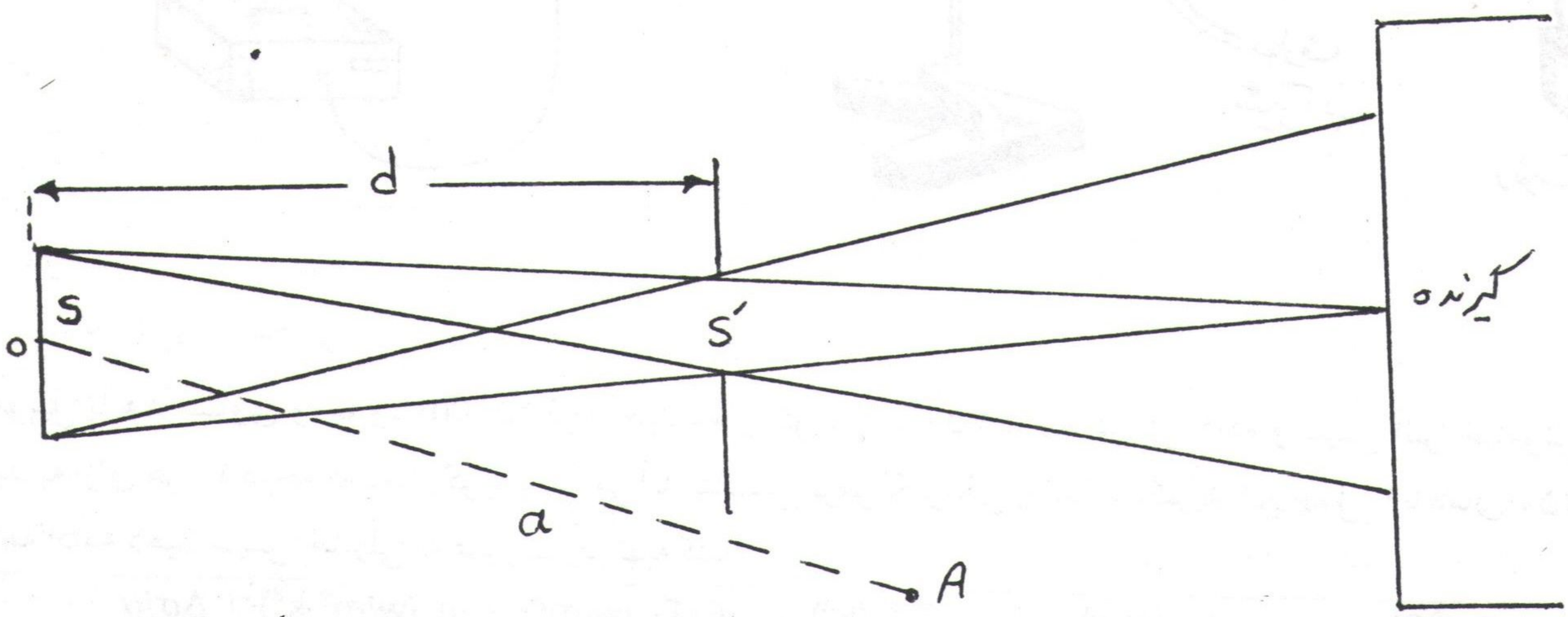
Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

روش آزمایش:

جسم سیاه را تا دمای معینی گرم کرده وتابش آن را توسط یک گیرنده امواج حرارتی اندازه گیری می‌کنیم.در شکل زیر فرض کنید سطح S تابش کننده‌ای است که امواج حرارتی را با آهنگ ϕ_0 وات پخش می‌کند داریم: $E(T) = \frac{\phi_0}{S}$. آن قسمت از این اشعه که به واحد سطح عمود بر امتداد OA و واقع در نقطه دلخواه A به فاصله a از چشمه می‌رسد بااستفاده از قانون لامبرت برابر است با

$$\frac{\phi_0}{\pi a^2} \text{Cos}\,\theta$$



بنا بر این اگر درمقابل سطح تابش کننده S وبه فاصله d از آن دیافراگمی به سطح S′ وجود داشته باشد،انرژی تابشی عبور کرده از این سطح برابر است با:

$$\phi_d = \frac{\phi_\circ S'}{\pi d^2} \text{Cos}(0) = E(T) \frac{S S'}{\pi d^2}$$

اکنون فرض کنید گیرنده در فاصله 2d از S یا d از دیافراگم قرار داشته باشد.در این صورت از روی شکل داریم :

$$\frac{S}{S'} = 4 \rightarrow S = 4 S'$$

اگر قطر دیافراگم ℓ باشد:

$$S' = \pi \left(\frac{\ell}{2}\right)^2 \rightarrow S = \pi \ell^2$$

$$\phi_d = E(T) \frac{\pi^2 \ell^4}{4 \pi d^2} = E(T) \frac{\pi \ell^4}{4 d^2}$$

اگر همه اشعه عبور کرده از سوراخ دیافراگم وارد سطح گیرنده شود (سطح گیرنده بزرگتر از سطح نیمسایه حاصل باشد)، ϕ_d اندازه‌گیری شده و E(T) به دست می‌آید:

$$E(T) = \frac{4 d^2}{\pi \ell^4} \phi_d$$

کارهای آزمایش:

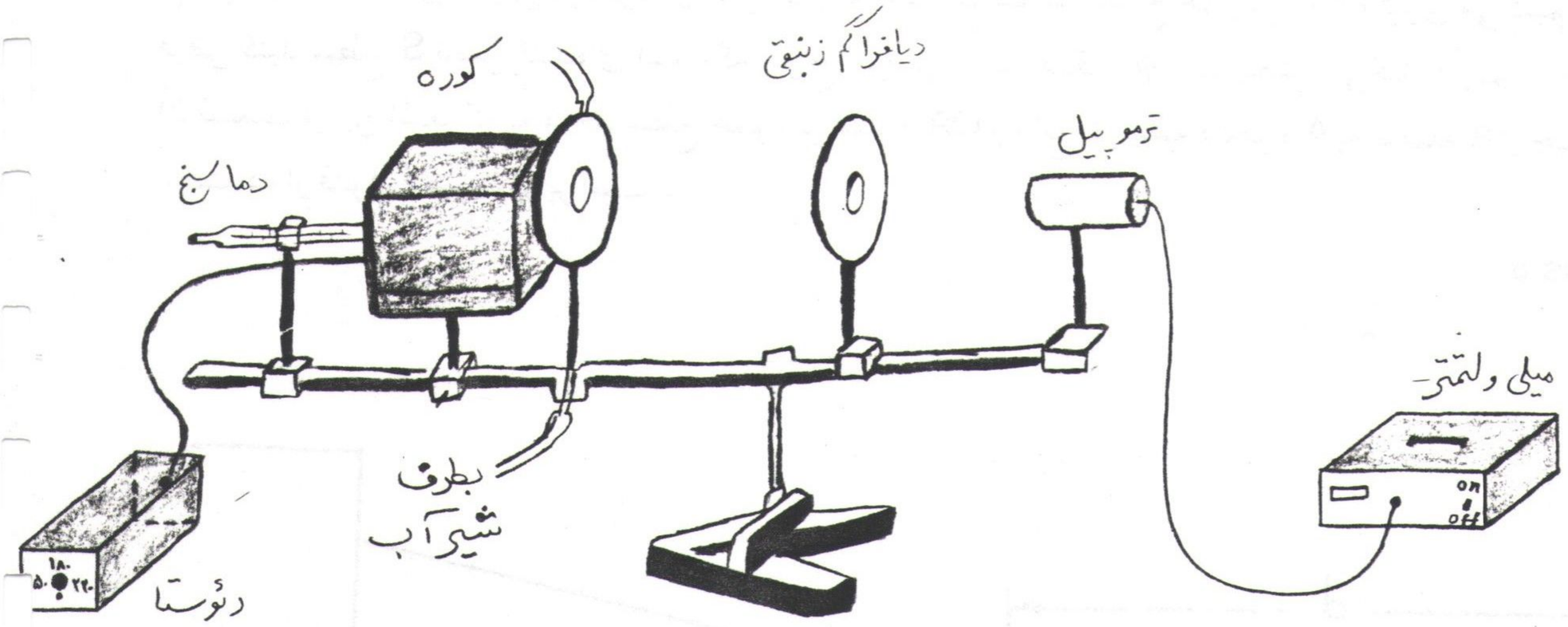
۱ -تحقیق قانون استفان - بولتزمن

مداری مطابق شکل صفحه بعد ببندید.قطر روزنه دیافراگم زنبقی شکل را برابر ۱ cm وفاصله آن را با جسم سیاه و

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

تابش جسم سیاه



ترموپیل با هم مساوی و حدود 15 cm قرار دهید.دمای کوره را تا ۳۵۰ درجه افزایش داده و سپس آنرا خاموش کنید.به ازای هر ۱۰ درجه که دمای کوره پایین می آید پتانسیل ترموالکتریکی را اندازه بگیرید.این عمل را تا دمای ۲۵۰ درجه ادامه دهید.سپس جدولی به صورت زیر تهیه کنید.

T (^{0}C)	ϕ_d (mw)	T^4 (k^4)	E(T) (w/m^2)	σ (w/m^2-k^4)	$\Delta\sigma/\sigma$

- خطای نسبی آزمایش را در هر مورد به دست آورده و در ستون آخر جدول درج کنید.
- منحنی تغییرات E(T) بر حسب T^4 را رسم کرده و σ را به دست آورید.

۲ -تحقیق قانون لامبرت

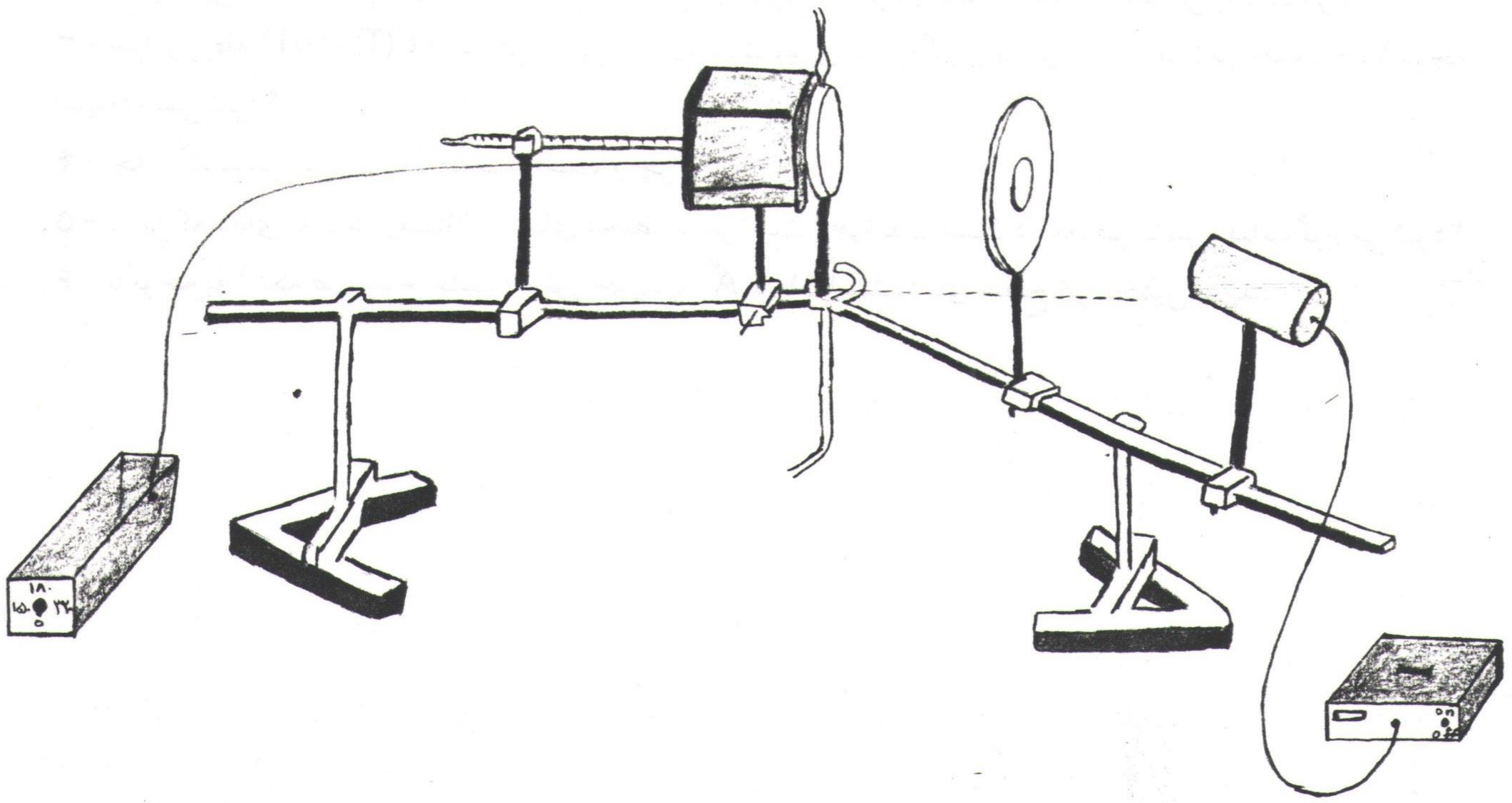
مداری مطابق شکل صفحه بعد ببندید.به وسیله رئوستا دمای کوره را در حدود ۲۵۰-۲۰۰ ثابت کنید.

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

تابش جسم سیاه

زاویه تابش را از صفر تا ۳۵ درجه با گامهای ۵ درجه تغییر داده وپتانسیل ترموالکتریکی را اندازه بگیرید.سپس دیافراگم زنبقی شکل را از سر راه بردارید،فاصله ترموپیل نسبت به جسم سیاه را تغییر دهید و پتانسیل ترموالکتریکی را



اندازه گیری کنید. نتایج را در جدول زیر ثبت کنید ،سپس نمودار تغییرات ϕ_d را بر حسب $\cos\theta$ و نیز بر حسب $\frac{1}{d^2}$ رسم کنید.

θ (deg)	$\cos\theta$	ϕ_d (mW)	d (cm)	$1/d^2$ (cm^{-2})	ϕ_d (mW)

چند نکته :

۱ - دقت کنید که ترمو پیل بسیار حساس است.با نزدیک شدن دست و بدن شما اندازه گیریها دچار خطا می شود.

۲ - در هنگام آزمایش درپوش شیشه‌ای ترموپیل را برداشته وپس از آزمایش آن را در جای خود قرار دهید.

۳ - در هنگام آزمایش حتما"جریان آب را برقرار کنیدتا تشعشع دیافراگم باعث خطادر آزمایش نشود.

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

به سؤالات زیر پاسخ دهید:

۱ - آیا جسم سیاه همیشه سیاه می نماید؟چرا؟

۲ - حفره‌هایی که توسط زغال در آتش زغال تشکیل می‌شوند از خود زغالها روشنتر به نظر می‌رسند،چرا؟

۳ - چرا از رابطه $E(T) = \sigma T^4$ که در هر دمایی صادق است ،برای اندازه‌گیری دمای اجسام مثلا در حدود ۱۰۰ درجه استفاده نمی‌شود؟

۴ - چه رنگ لباسی در تابستان مناسبتر است و چرا؟

۵ - با این که دمای بدن در زمستان از دمای محیط بیشتر است ،چرا بدن انسان در معرض تابش آفتاب گرم می‌شود؟

۶ - با توجه به اینکه طول‌موج غالب در نور خورشید $5100\ A^{\circ}$ است،دمای سطح آنرا تخمین بزنید.

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

طیف اتم هیدروژن

هدف آزمایش:

۱ - بررسی طیف مرئی اتم هیدروژن

۲ - تعیین تجربی ثابت ریدبرگ

تئوری آزمایش:

وقتی یک گاز تک اتمی یا بخار یک عنصر در فشاری کمتر از فشار اتمسفر تحریک شود (معمولا با عبور جریان الکتریسیته)، تابش می‌کند و تشعشع گسیل شده دارای طیفی است که تنها شامل طول موجهای مشخص گسسته‌ای است.(شکل ۱)

ساده‌ترین اتمهااتم هیدروژن است و بنابراین عجیب نیست که طیف اتمی هیدروژن نخستین طیفی بود که مورد بررسی قرار گرفت. در سال ۱۸۸۵ چهار خط طیف مرئی اتم هیدروژن با دقت زیاد توسط آنگستروم اندازه‌گیری شدند. این اندازه‌گیریها توسط یک معلم سوئیسی به نام بالمر بررسی شد. وی دریافت که طول موج نورهای مشاهده شده در فرمول زیر صدق می‌کنند:

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad (۱)$$

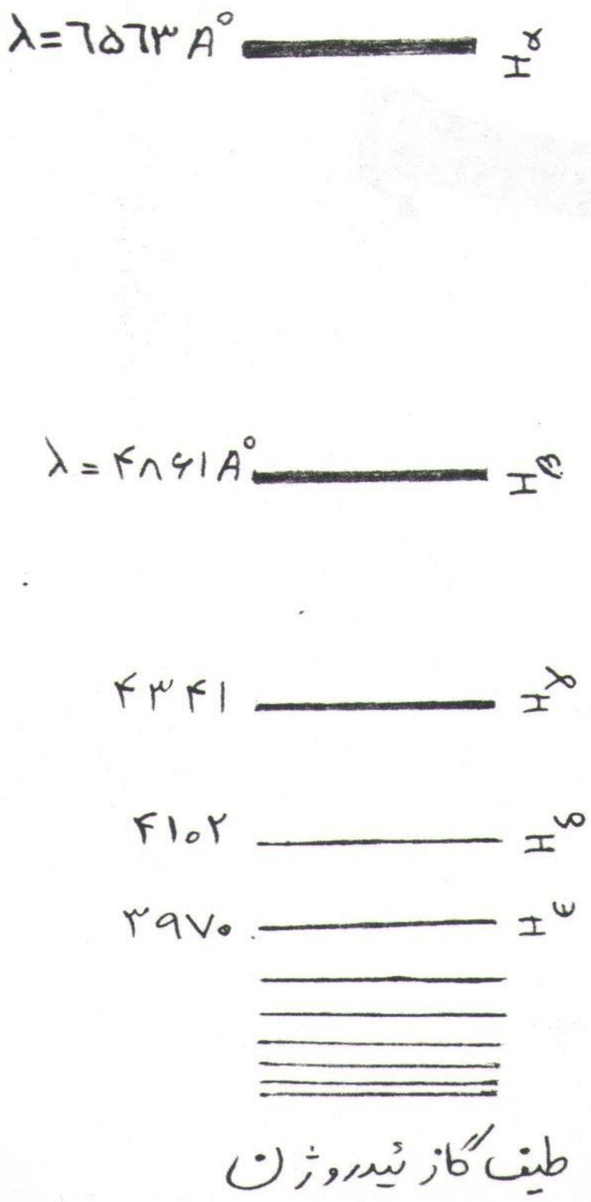
که در آن R یک مقدار ثابت با دیمانسیون (طول/۱) و n یک عدد صحیح با مقادیر ۳، ۴، ۵ و ۶ برای چهار خط مورد نظر بود.

به آسانی می‌توان دید که فرمول بالمر حالت خاصی از فرمول کلّیتر زیر است:

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad (n>n') \qquad (۲)$$

می‌توان حدس زد که طیف اتمی هیدروژن باید شامل همهٔ طول موجهایی باشد که از سایر مقادیر صحیح n و n′ حاصل می‌شوند. خود بالمر حدس زد که چنین تعمیمی امکان پذیر است امّا معادله (۲) نخستین بار توسط ریدبرگ عنوان شد و به این دلیل آن را معمولا فرمول ریدبرگ و R را ثابت ریدبرگ می‌نامند. در واقع همهٔ طول موجهای اضافی‌که توسط فرمول ریدبرگ پیشبینی می‌شوند در ناحیهٔ فرابنفش یا فروسرخ طیف هیدروژن قرار دارند. در سال ۱۹۰۸ پاشن تعدادی از خطوط زیر قرمز را با $n' = 3$ پیداکرد و در سال ۱۹۱۲

نیلز بوهر(۱۹۶۲ - ۱۸۸۵)فیزیکدان دانمارکی مطالعات خود را در انگلستان زیر نظر تامسون ورادر فورد به انجام رسانید. پس از ارائه مدل اتمی خود جایزه نوبل۱۹۲۲ را دریافت کرد. تعبیر وتفسیر نظریه کوانتمی جدید و ارائه مدل قطره‌ای هسته از دیگر کارهای اوست.



Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

لیمان برخی از خطوط فرابنفش با $n' = 1$ را یافت. امروزه کاملا مشخص شده است که فرمول ریدبرگ تمام طول موجهای طیف هیدروژن را به دست می‌دهد.

توجه به این نکته مهم است که نه ریدبرگ ، نه بالمر ونه هیچکس دیگر تا سال ۱۹۱۳ نتوانست فرمول تجربی ریدبرگ را از لحاظ تئوری توجیه کند. در این سال نیلز بوهر توانست با ارائه مدل خود برای اتم هیدروژن که بر پایهٔ ماهیت موجی ماده قرار داشت، طیف اتم هیدروژن را توجیه کند. مطابق نظریهٔ بوهر الکترون اتمی در ترازهای انرژی کوانتیده‌ای قرار می‌گیرد. هر گاه الکترونی از یک تراز با انرژی بالاتر E_i به ترازی با انرژی پایینتر E_f منتقل شود، این اختلاف انرژی به صورت یک فوتون آزاد می‌شود:

$$E_i - E_f = h\nu$$

بر اساس مدل بوهر طول موج نورگسیلی در اثر تحریک اتم هیدروژن از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{-E_1}{c\,h}\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right) \quad , \quad E_1 = -13.6 \ \ ev$$

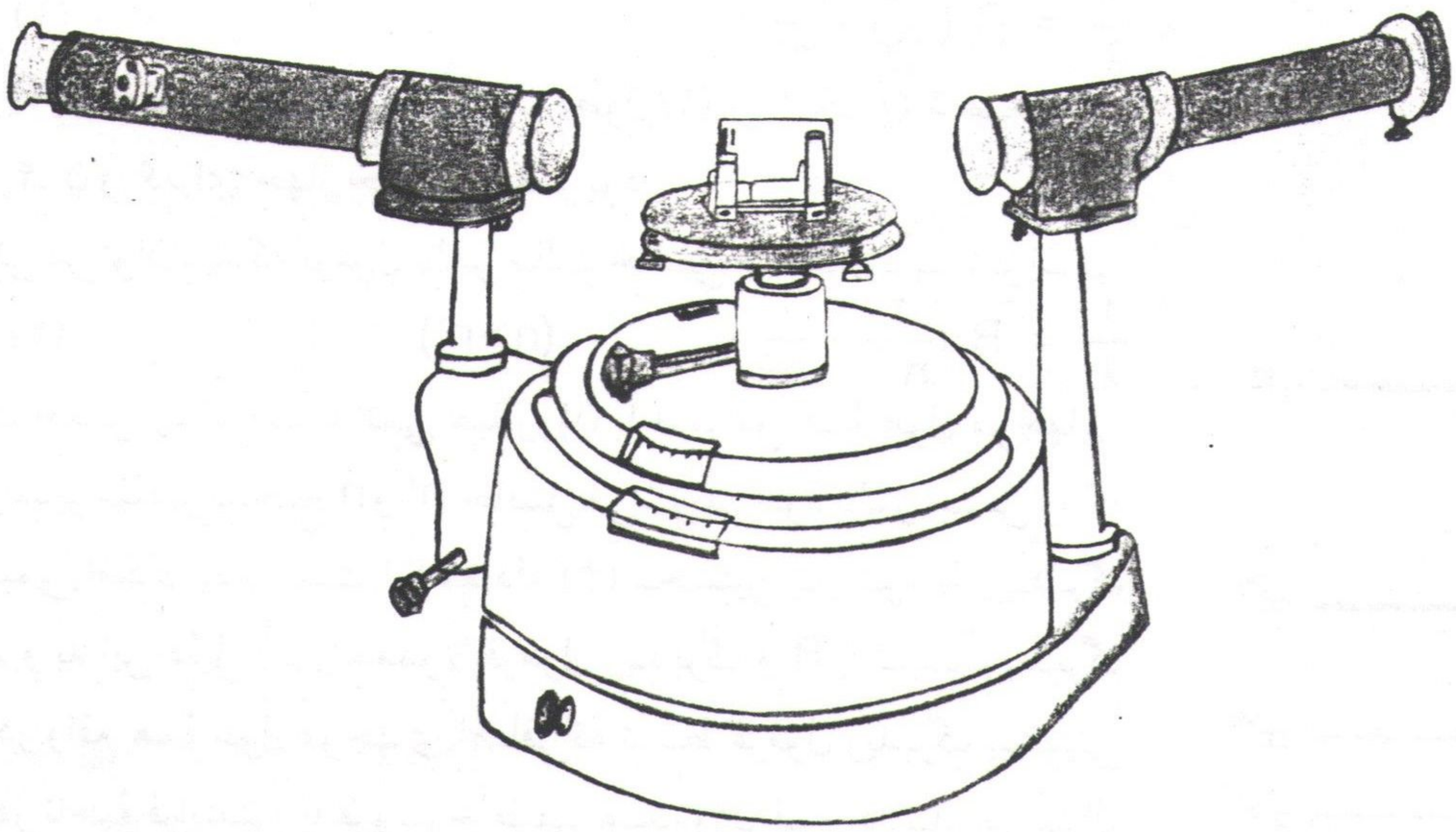
رابطه فوق کاملا با تجربه سازگار است و از مقایسه آن با فرمول ریدبرگ نتیجه می‌گیریم که:

$$R = \frac{-E_1}{c\,h}$$

همخوانی مقدار پیشبینی شده برای R توسط نظریه بوهر و مقدار تجربی آن را شاید بتوان بزرگترین تأیید بر درستی نظریهٔ او دانست.

روش آزمایش:

در این آزمایش برای تعیین طول موج خطوط طیفی هیدروژن از یک طیف‌سنج استفاده می‌کنیم.(شکل ۲)



Sample output to test PDF Combine only

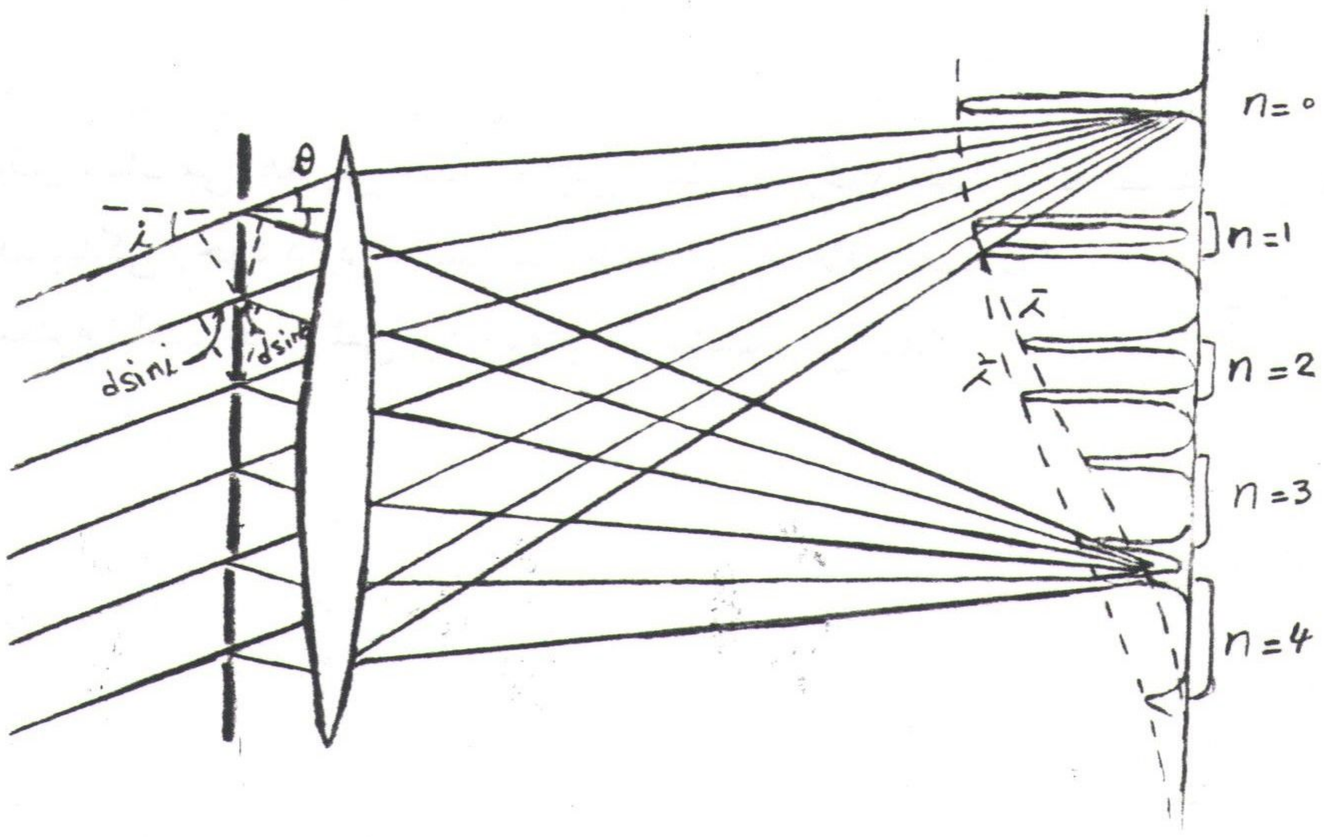
Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

نور لامپ هیدروژن وارد طیف‌سنج می‌شود و با استفاده از یک شکاف و عدسی در قسمت موازی‌ساز به صورت یک دسته پرتو موازی در می‌آید. این پرتو به یک توری پراش که روی میز طیف‌سنج نصب شده است برخورد می‌کند و پراشیده می‌شود.

اگر زاویهٔ فرود پرتو بر توری i و زاویهٔ پراکندگی نور θ باشد با توجه به شکل (۳) شرط تداخل سازنده برای دو پرتو پراکنده شده و ایجاد یک خط روشن مطابق رابطه زیر است:

$$d\,(\sin i + \sin\theta) = n\lambda \qquad (۴)$$

که در آن d ثابت توری، n مرتبه خط طیفی و λ طول موج نور است. به این ترتیب طول موجهای مختلف طیف هیدروژن از یکدیگر تفکیک می‌شوند و می‌توان با استفاده از طیف‌سنج زاویه پراکندگی هر طول موج را اندازه گرفت و از روی آن λ را به دست آورد.



کارهای آزمایش:

اخطار: توجه داشته باشید که دو قطب لامپ هیدروژن دارای ولتاژ بالایی است. احتیاط کنید!

۱ - به منظور ساده‌تر شدن رابطه (۴) زاویهٔ فرود نور بر توری را صفر اختیار می‌کنیم ($i = 0$). بدین ترتیب باید راستای پرتو فرودی عمود بر توری باشد.برای عمود کردن توری بر نور فرودی چنین عمل کنید:

۱/۱ - لامپ هیدروژن را روشن کنید. نور لامپ را به صورت یک خط باریک از داخل دوربین مشاهده کنید ودر این حالت رتیکول دوربین را بر آن منطبق کنید.

۱/۲ - زاویهٔ دوربین را به کمک ورنیه آن بخوانید. سپس دوربین را به اندازه ۹۰ درجه بچرخانید و آنرا قفل کنید.

۱/۳ - توری را در جای خود قرار دهید و میزحامل آنرا بچرخانید تا نور(سفید) منعکس شده از آن بر رتیکول دوربین منطبق شود. در این حالت زاویه نور فرودی و توری ۴۵ درجه است.

۱/۴ - اکنون توری را ۴۵ درجه بچرخانید تا بر پرتو فرودی عمود شود و میز طیف سنج را قفل کنید.

۲ - دوربین را روی ماکزیمم مرکزی (نور سفید) منطبق کنید و زاویه آن را بخوانید.

۳ - دوربین را به آرامی حرکت دهید و رتیکول آن را به ترتیب بر تک‌تک خطوط طیف منطبق کنید. برای هر رنگ طیف

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

زاویهٔ دوربین را یادداشت کنید.

۴ - اختلاف این زاویه را با زاویهٔ ماکزیمم مرکزی به دست آورید.

نکته: می‌توان اختلاف زاویه هر خط طیف را در دو طرف ماکزیمم مرکزی به دست آورده و نتیجه را بر دو تقسیم کرد.

۵ - با توجه به مشخصات توری مورد استفاده ثابت توری d را تعیین کنید.

۶ - به کمک رابطه (۴)، λ و به کمک رابطه (۱)، R را محاسبه کنید و نتایج را در جدول زیر بنویسید:

رنگ نور	n	θ_1 دقیقه	θ_1 درجه	θ_2 دقیقه	θ_2 درجه	$\theta_1 - \theta_2$ درجه	λ (A^0)	R (A^{0-1})	خطای نسبی
قرمز	۳								
آبی	۴								
بنفش	۵								
									میانگین

سؤالات:

۱ - اندازه‌گیریهای دقیق نشان می‌دهد بین مقدار تجربی ثابت ریدبرگ و مقداری که نظریه بوهر مطابق رابطه (۳) به دست می‌دهد اختلاف اندکی وجود دارد. به نظر شما علت این اختلاف چیست؟

۲ - اگر ثابت توری معلوم نباشد چه روشی برای یافتن آن پیشنهاد می‌کنید؟

Sample output to test PDF Combine only

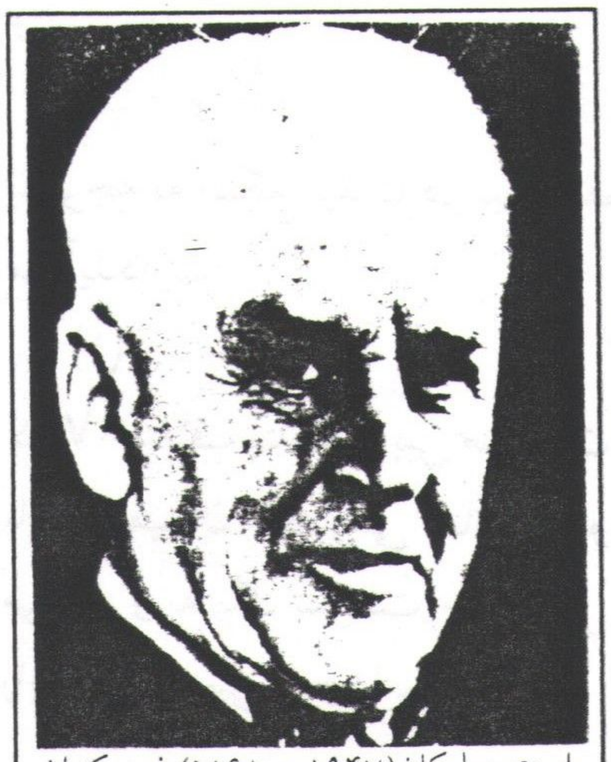
Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

آزمایش میلیکان

هدف آزمایش:

۱ - تحقیق کوانتیدگی بار الکتریکی

۲ - تعیین بار الکترون



رابرت میلیکان(۱۹۴۷ - ۱۸۶۸)،فیزیکدان تجربی آمریکایی، استاد دانشگاه شیکاگو. برای اندازه‌گیری بار الکترون چند سال وقت صرف کرد وبطور همزمان روی اثر فوتوالکتریک کار کرد. به خاطر این کوششها جایزه نوبل ۱۹۲۳ به وی اعطا شد.

تئوری آزمایش:

در سال ۱۹۰۹ رابرت میلیکان روشی برای اندازه‌گیری دقیق بارهای الکتریکی ارائه کرد.اساس این روش را مشاهده حرکت قطرات ریز روغن تحت تاثیر میدان الکتریکی بین صفحات یک خازن، تشکیل میداد.از آنجا که این قطرات ریز روغن حامل اندکی بار الکتریکی هستند تحت تاثیر میدان الکتریکی قرار می‌گیرند.نیروی الکتریکی وارد بر یک قطره را می‌توان به آسانی (با مشاهده حرکت قطره تحت تاثیر میدان) و یا آنگونه که در این آزمایش انجام می‌دهیم، با معلق کردن قطره تحت تاثیر نیروی گرانش، میدان الکتریکی و سایر نیروهای وارد بر آن، بدست آورد.

قطرات روغن در هنگام سقوط به دلیل وجود نیروی مقاومت هوا، پس از گذشت زمان کمی به یک سرعت نهایی (سرعت حد) می‌رسند.نیروی مقاومت هوا از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$F_s = 6\pi\, a\, \eta\, v$$

که در آن F_s نیروی وارد بر قطره، a شعاع قطره، η ضریب چسبندگی هوا و v سرعت سقوط قطره است.

هنگامی که قطره در میدان گرانش سقوط آزاد می‌کند نیروی گرانش وارد بر آن از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$F_g = \frac{4}{3}\pi\, a^3\, \rho\, g$$

که در آن ρ چگالی روغن و g شتاب گرانش است.

در حضور هوا نیروی ارشمیدس به سمت بالا نیز به قطره وارد می‌شود که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$F_A = \frac{4}{3}\pi\, a^3\, \sigma\, g$$

که σ چگالی هوا است.

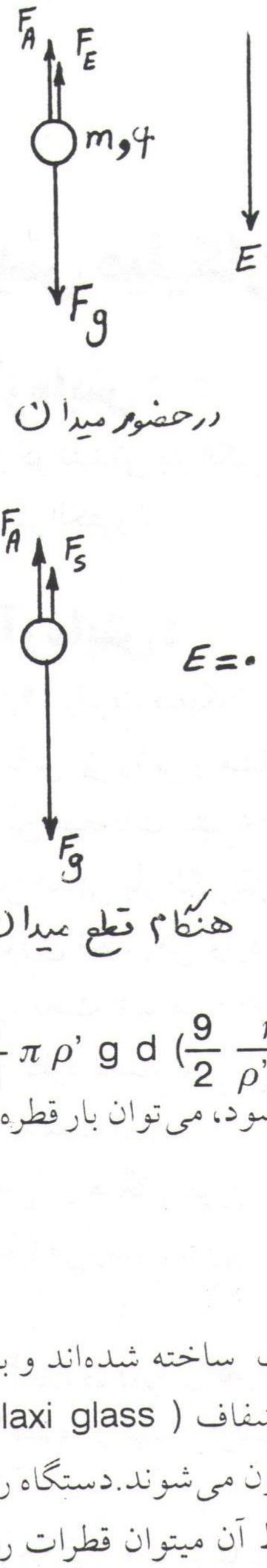
در صورت وجود میدان الکتریکی، نیروی الکتریکی وارد بر قطره از رابطه

$$F_E = q\, E$$

بدست می‌آید.

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)



حال اگر قطره روغن باردار تحت تاثیر نیروی گرانش، ارشمیدس والکتریکی قرار گیرد به‌گونه‌ای که برآیند این نیروها صفر شود و قطره روغن ساکن بماند از قانون دوم نیوتن داریم:

$$F_g - F_A - F_E = 0$$

و درنتیجه :

$$\frac{4}{3}\pi a^3 (\rho - \sigma) g - qE = 0$$

با توجه به اینکه میدان در بین صفحات خازن از رابطه $E = \frac{V}{d}$ به دست می‌آید داریم:

$$\frac{4}{3}\pi a^3 (\rho - \sigma) g = q \frac{V}{d} \qquad (۱)$$

که V اختلاف پتانسیل بین صفحات خازن و d فاصله بین صفحات خازن است.

با قطع میدان الکتریکی تعادل نیروها به هم خورده و قطره شروع به سقوط می‌کند و به یک سرعت حدی می‌رسد. در این حالت تعادل جدید، می‌توان رابطه زیر را بین نیروها نوشت:

$$F_g - F_A - F_s = 0$$

$$\frac{4}{3}\pi a^3 (\rho - \sigma) g = 6\pi a \eta v \qquad (۲)$$

با حذف a از روابط (۱) و (۲) بار الکتریکی قطره روغن از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$q = \frac{4}{3}\pi \rho' g d \left(\frac{9}{2}\frac{\eta}{\rho' g}\right)^{3/2} \frac{v^{3/2}}{V} \quad , \quad \rho' = (\rho - \sigma) \qquad (۳)$$

با اندازه‌گیری v سرعت سقوط قطره و V پتانسیلی که به ازای آن قطره روغن ساکن می‌شود، می‌توان بار قطره را تعیین کرد.

دستگاه آزمایش:

قسمت اصلی دستگاه یک خازن مسطح است که از دو صفحه از جنس آلیاژی سبک ساخته شده‌اند و به فاصله $d = 6\ mm$ از یکدیگر قرار گرفته‌اند. این مجموعه درون حفاظی از جنس پلاستیک شفاف (plaxi glass) قرار دارد. روی این حفاظ سوراخهای ریزی تعبیه شده است که از آنها قطرات روغن وارد خازن می‌شوند. دستگاه روی یک سه‌پایه نصب می‌شود. روی این سه‌پایه یک میکروسکوپ نصب شده است که توسط آن میتوان قطرات روغن را مشاهده کرد. علاوه بر این یک سیستم اپتیکی شامل یک لامپ و چند عدسی نیز روی پایه نصب شده است که پرتوی نور لازم برای دیدن قطرات را فراهم می‌کند.

منبع تغذیه بکار رفته شامل دو خروجی است. یک خروجی پتانسیل ثابت 6 v را برای روشن کردن لامپ و خروجی دیگر ولتاژ متغیر 600 - 0 v را برای صفحات خازن تأمین میکند. منبع تغذیه با یک ساعت در ارتباط است، به گونه‌ای که با قطع پتانسیل خازن، ساعت شروع به کار می‌کند.

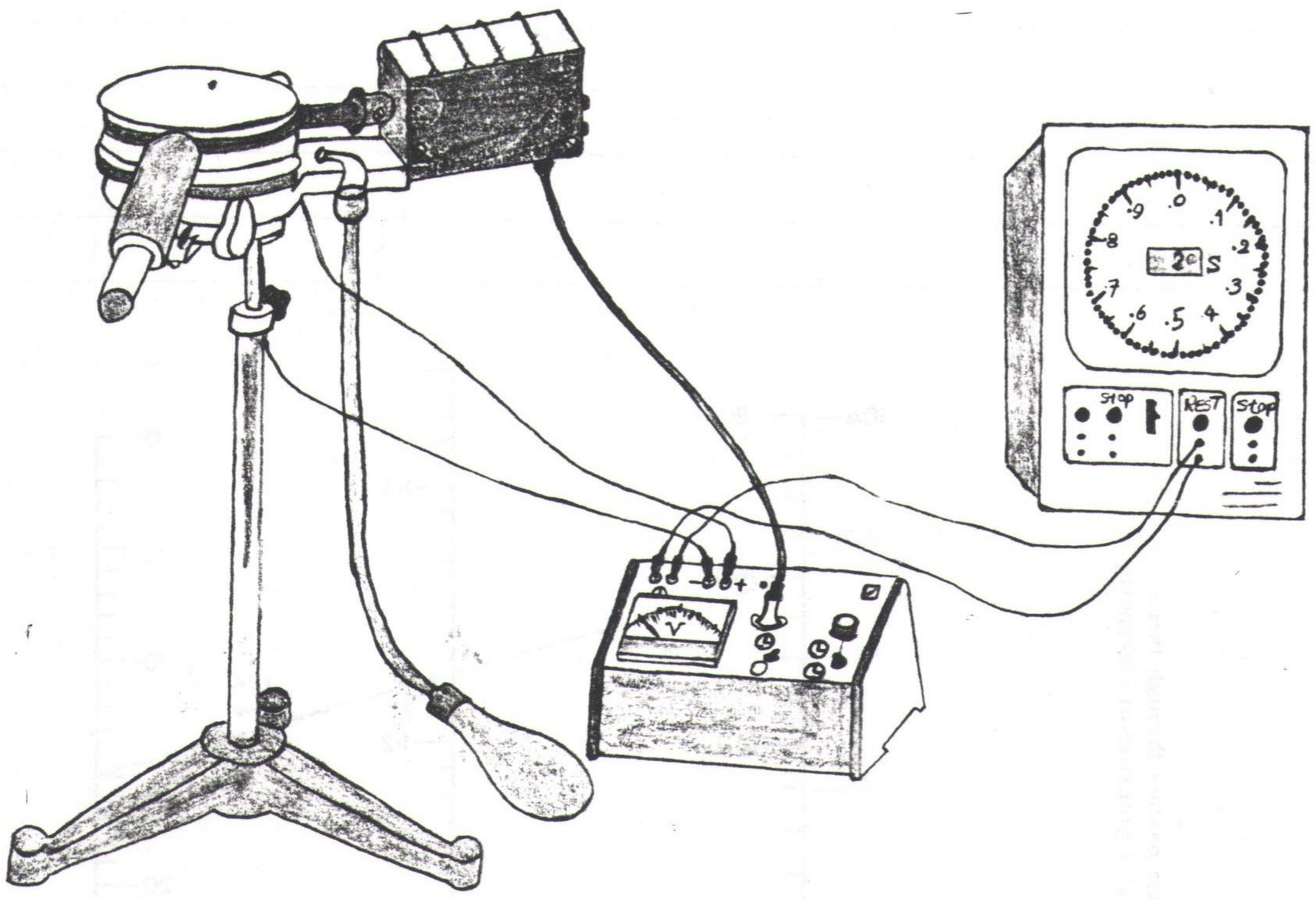
Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

کارهای آزمایش:

۱ - قبل از شروع آزمایش شاخص میکروسکوپ را درجه بندی کنید.بدین منظور ابتدا خازن و محفظه آن را از روی پایه برداشته و خط کشی با درجه‌بندی مشخص را روی آن قرار دهید. سپس لامپ را روشن کرده، پیچ میکروسکوپ را آنقدر بچرخانید که خط کش و درجات آن به وضوح دیده شوند. اکنون با معلوم بودن درجه بندی خط کش شاخص میکروسکوپ را مدرج کنید. خط کش را از روی پایه برداشته و خازن را در جای خود قرار دهید.

۲ - دستگاه را مطابق شکل سوار کنید ومنبع تغذیه را روشن کنید.



۳ - توسط روغن‌پاش قطرات روغن را به درون خازن بپاشید.

۴ - در حالیکه با میکروسکوپ به قطرات روغن نگاه می‌کنید قطره‌ای را که به وضوح دیده می‌شود در نظر بگیرید. ولتاژ را آنقدر تغییر دهید تا قطره ساکن شود. پس از اطمینان از اینکه قطره کاملا ساکن است، مکان قطره و ولتاژ خازن را یادداشت کنید.

۵ - با کلیدی که روی منبع تغذیه است ولتاژ را قطع کنید. قطره را تحت نظر بگیرید تاچندین درجه از شاخص میکروسکوپ را طی کند(مثلا ۶۰ درجه). در این حالت با همان کلید اولیه ساعت را متوقف کرده، فاصله طی شده توسط قطره و زمان سپری شده را یادداشت کنید.

۶ - این مراحل را برای چند قطره و برای هر قطره سه بار تکرار کنید و نتایج را در جدولی مانند جدول صفحه بعدبنویسید.

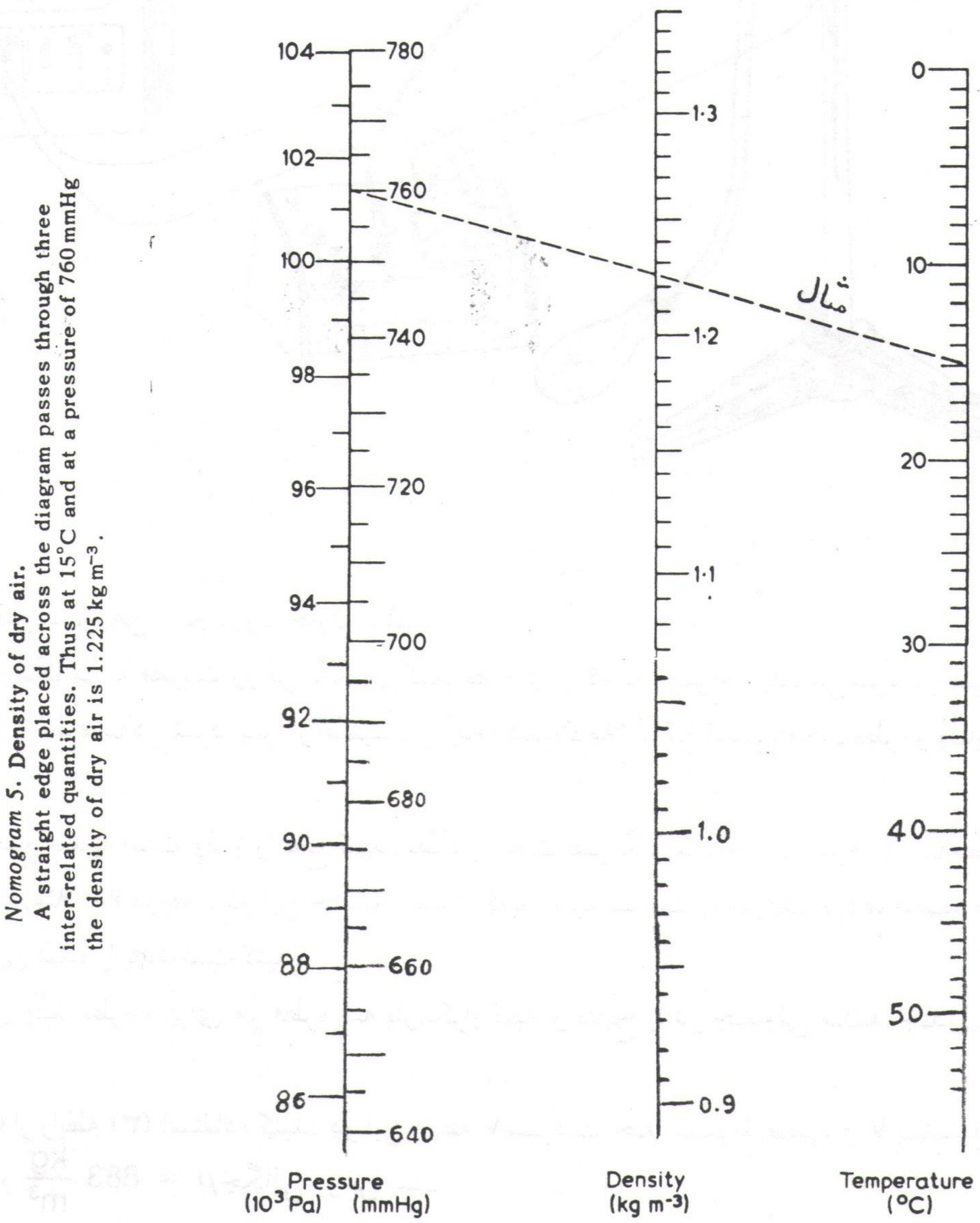
برای به دست آوردن q از رابطه (۳) استفاده کنید. در این رابطه v سرعت حد سقوط قطره و V پتانسیل خازن اندازه‌گیری شده است و $\rho = 883 \frac{kg}{m^3}$ چگالی روغن است.

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

قطره روغن میلیکان

قطره	تکرار	t(s)	x_1(mm)	x_2(mm)	v(m/s)	V (v)	q (C)	متوسطq(C)	n	e(C)
	باراول									
اول	باردوم									
	بارسوم									
	باراول									
دوم	باردوم									
	بارسوم									
	باراول									
سوم	باردوم									
	بارسوم									



Nomogram 5. **Density of dry air.**
A straight edge placed across the diagram passes through three inter-related quantities. Thus at 15°C and at a pressure of 760 mmHg the density of dry air is 1.225 kg m^{-3}.

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

از آنجاکه چگالی هوا (σ) و ضریب چسبندگی آن (η) نسبت به شرایط دما وفشار محیط حساس هستند، این دو کمیت را می‌توان با توجه به شرایط آزمایشگاه از روی دو نمودار واقع در صفحه قبل و همین صفحه بدست آورد.

۷ - در پایان خطای نسبی آزمایش را برای یکی از قطره‌ها بدست آورید.

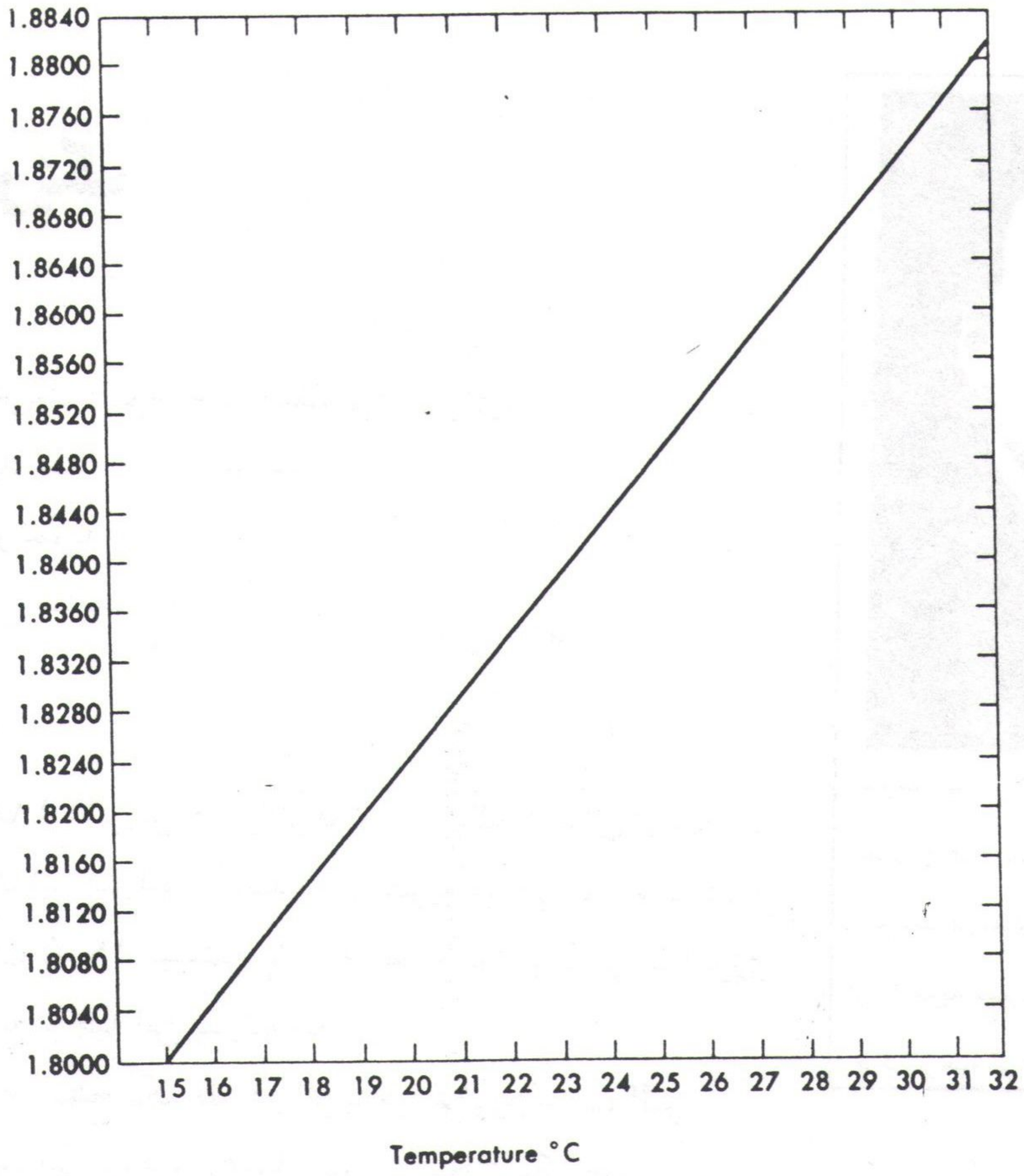


FIG. 1.3 Viscosity of dry air as a function of temperature.

به سؤالات زیر پاسخ دهید:

۱ - چرا در این آزمایش از روغن استفاده می‌شود و مثلا از آب استفاده نمی‌کنیم؟

۲ - قطرات روغن چگونه بار خود را به دست می‌آورند؟

۳ - اگر قطبهای خازن را اشتباه ببندیم، چه اتفاقی می‌افتد؟

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

اثر فوتوالکتریک

هدف آزمایش:

۱ - مطالعهٔ اثر فوتوالکتریک - توجیه کوانتیده بودن انرژی

۲ - اندازه‌گیری ثابت پلانک

۳ - اندازه‌گیری تابع کار نمونه

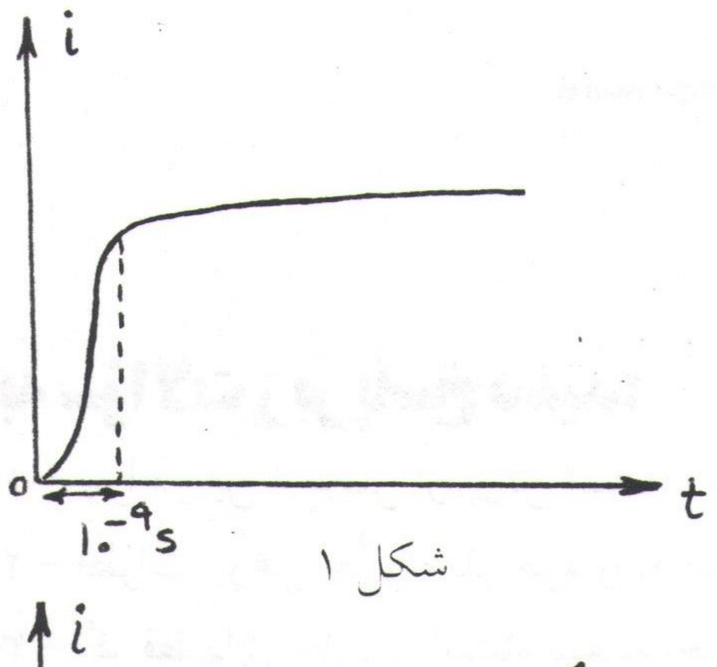
۴ - اندازه‌گیری فرکانس آستانه

آلبرت انیشتین(۱۹۵۵ - ۱۸۷۹)فیزیکدان آلمانی از برجسته‌ترین نوابغ عصر ما،به رغم دستاوردهای عظیم علمی خود به ویژه ارائه نظریه نسبیت،جایزه نوبل ۱۹۲۱ را به خاطر توجیه اثر فوتوالکتریک دریافت کرد.

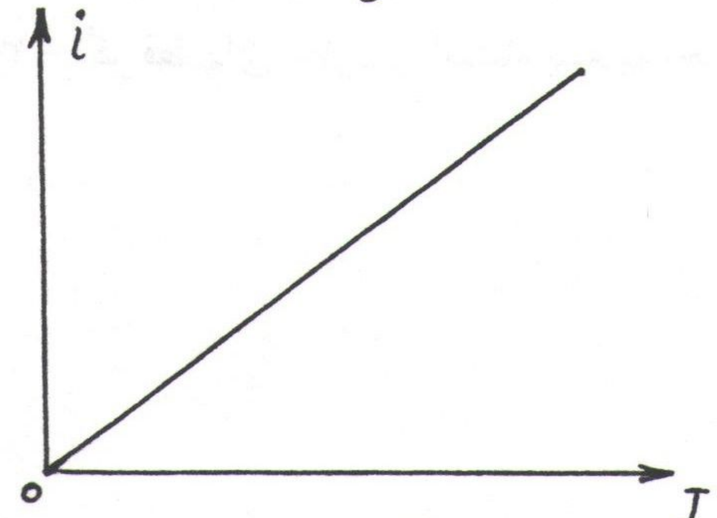
تئوری آزمایش:

در سالهای ۱۸۸۶ و ۱۸۸۷ هانریش هرتز اثر فوتوالکتریک را برای اولین بار مشاهده کرد. در آن زمان این پدیده با استفاده از نظریه موجی نور غیر قابل توجیه بود.بعدها در سال ۱۹۰۵ انیشتین با ارائه نظریه کوانتیده بودن انرژی الکترومغناطیسی موفق به توجیه این پدیده شد.

بیرون اندازی الکترونها از سطح یک فلز در اثر برخورد نور به آن، **اثر فوتوالکتریک** نامیده می‌شود.در عمل پس از ایجاد یک جریان فوتوالکترونی، آن را توسط یک اختلاف پتانسیل معکوس (ترمزی) متوقف می‌کنند و بدین وسیله انرژی فوتوالکترونها را اندازه می‌گیرند.



شکل ۱



شکل ۲

جنبه‌های تجربی اثر فوتوالکتریک به قرار زیرند:

۱ - به محض تابش نور به سطح فلز فوتوالکترونها گسیل می‌شوند (حتی اگر شدت نور بسیار کم باشد).(شکل ۱)

۲ - به ازای یک فرکانس نور تابشی (ν) مشخص و یک پتانسیل ترمزی (V) ثابت (مثلا صفر)، جریان فوتوالکترونی i متناسب با شدت نور I است.(شکل ۲)

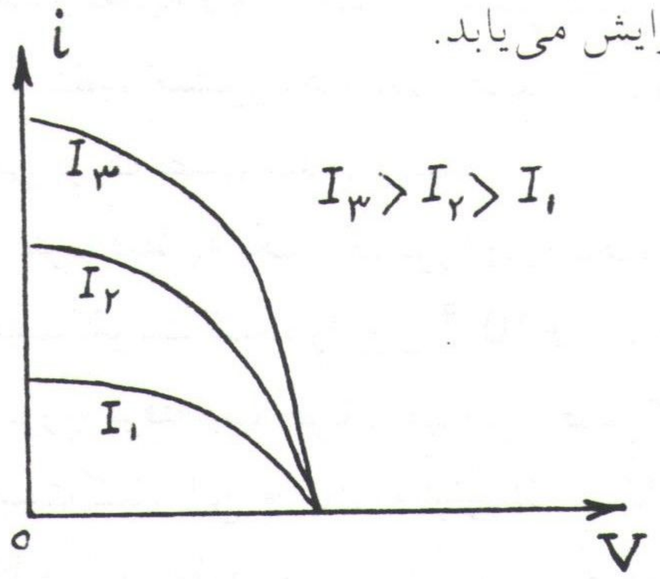
۳ - به ازای یک ν مشخص با افزایش V، i کاهش می‌یابد و به ازای یک V_0 مشخص، جریان صفر خواهد شد. با افزایش شدت نور I، i افزایش می‌یابدولی درهر حال V_0 مقدار ثابتی است (بستگی به ν دارد).(شکل ۳)

۴ - برای هر فلز، به ازای بسامد کمتر از ν_0 مشخص (فرکانس آستانه) هر

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

چقدر هم I زیاد باشد، $i = 0$ است ولی به ازای $\nu > \nu_0$ با افزایش ν، V_0 افزایش می‌یابد.



شکل ۳

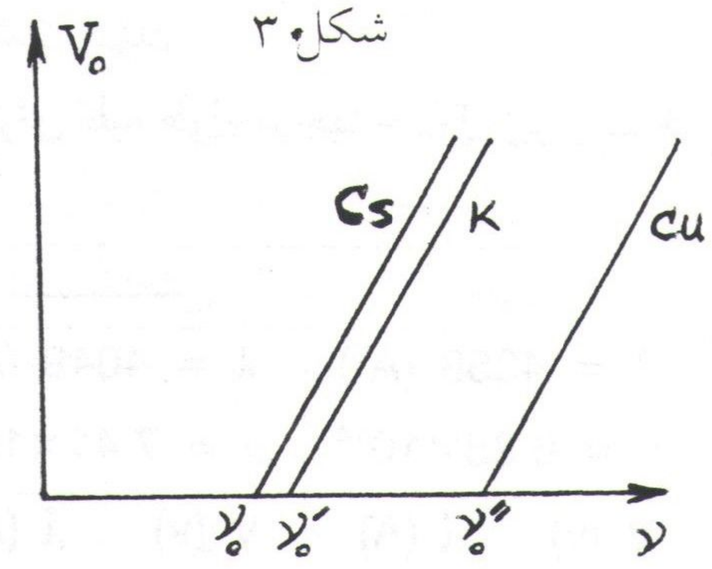
شیب نمودار برای همه فلزات ثابت است وبرابر ثابت پلانک (h) می‌باشد.(شکل ۴)

$$\frac{1}{2} m v^2_{max} = e V_0 = h(\nu - \nu_0) \qquad \nu > \nu_0$$

$$= 0 \qquad \nu \le \nu_0$$

$$h\nu = e V_0 + \Phi$$

در رابطه فوق فرض شده است که انرژی فقط بین الکترون و فوتون مبادله می‌شود در حالی که برای حفظ بقای اندازه حرکت جسم سومی لازم است که در واقع شبکه بلوری به عنوان جسم سوم با انرژی بسیار ناچیز ولی تکانه قابل توجه پس می‌زند.



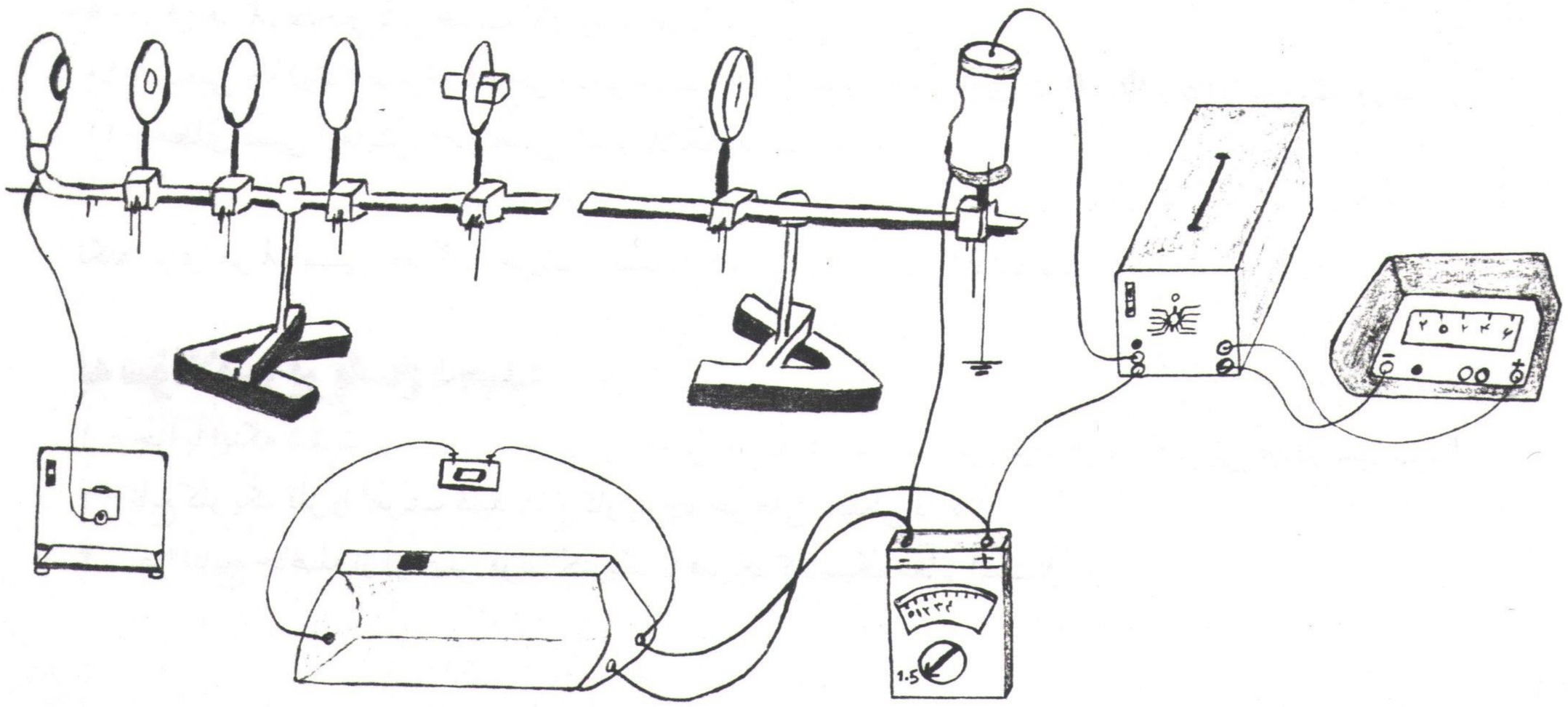
شکل ۴

روش آزمایش:

در این آزمایش با تاباندن چند نور مرئی موجود در طیف لامپ جیوه بر سطح یک فتوسل، جریان ضعیفی تولید می‌شود که ما آن را تقویت و اندازه‌گیری می‌کنیم. سپس به وسیله یک ولتاژ معکوس جریان را صفر کرده و بدینوسیله V_0 را تعیین می‌کنیم.

کارهای آزمایش:

۱ - مدار را مطابق شکل سوار کنید. توجه کنید که کلید باطری در حالت قطع باشد. قبل از ادامه کار توسط کارشناس آزمایش از درستی مدار مطمئن شوید.



Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

۲ - منبع تغذیه لامپ جیوه را روشن کنید و چند دقیقه صبر کنید تا لامپ گرم شود.

۳ - با تنظیم منشور وعدسیها، طیف واضح و تفکیک شده نور لامپ جیوه را روی صفحه کاغذ شکافدار که روی عدسی بزرگ نصب شده، ببینید.

۴ - اکنون فقط به یک رنگ نور اجازه دهید که از شکاف کاغذ رد شود و روی فتوسل بتابد.

۵ - کلید تقویت کننده را روی 10^{-9} قرار داده و آنرا روشن کنید. در حالیکه دستتان را روی شکاف قرار داده و جلوی عبور نور راگرفته‌اید، جریان آمپرمتر را صفر کنید. سپس دستتان را از جلوی شکاف برداشته و جریان نشان داده شده را یادداشت کنید. این جریان به ازای $V = 0$ می‌باشد.

۶ - کلید بین باطری ورئوستا را وصل کرده و با تنظیم رئوستا، V را تغییر داده، به ازای مقادیر مختلف V، i را یادداشت کنید.

۷ - برای کلیه طول موجها جدول زیر را تشکیل دهید:

بنفش		آبی		فیروزه‌ای		سبز		زرد	
$\lambda = 4049\ (A^0)$		$\lambda = 4358\ (A^0)$		$\lambda = 4916\ (A^0)$		$\lambda = 5461\ (A^0)$		$\lambda = 5780\ (A^0)$	
$\nu = 7.41\times10^{14}$		$\nu = 6.88\times10^{14}$		$\nu = 6.10\times10^{14}$		$\nu = 5.49\times10^{14}$		$\nu = 5.19\times10^{14}$	
V (v)	i (A)	V (v)	i (A)	V (v)	i (A)	V (v)	i (A)	V (v)	i (A)

۸ - به ازای هر λ، V_0 را مشخص کنید.

۹ - برای هر λ، منحنی i بر حسب V را رسم کنید.

۱۰ - منحنی V_0 (ولتاژ صفر کننده جریان) بر حسب ν را رسم کرده واز روی آن h، Φ و ν_0 را بدست آورید.

۱۱ - خطای نسبی آزمایش را در تعیین ثابت پلانک بدست آورید.

نکته: برای هر λ بایستی جداگانه جریان را صفر کرد و سپس آزمایش را ادامه داد.

به سؤالات زیر پاسخ دهید:

۱ - چرا با اینکه شدت نور قرمز بیشتر از نور بنفش است، در اثر تابش نور قرمز فوتو الکترونی صادر نمی‌شود؟

۲ - تابع کار یک فلز را تعریف کنید. تابع کار به چه عواملی بستگی دارد؟

۳ - چرا نتایج حاصله از آزمایش فوتوالکتریک با فیزیک کلاسیک مغایر است؟

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

پدیده زیمن

هدف آزمایش:

۱ - تحقیق اثر عادی زیمن

۲ - محاسبه e/m با اندازگیری شکافتگی خط قرمز کادمیم

تئوری آزمایش:

زیمن در سال ۱۸۹۶ مشاهده کرد که هنگامی که یک منبع نور سدیم در یک میدان مغناطیسی قوی قرار گیرد، خطوط زرد D آن به چند خط شکافته می‌شود.

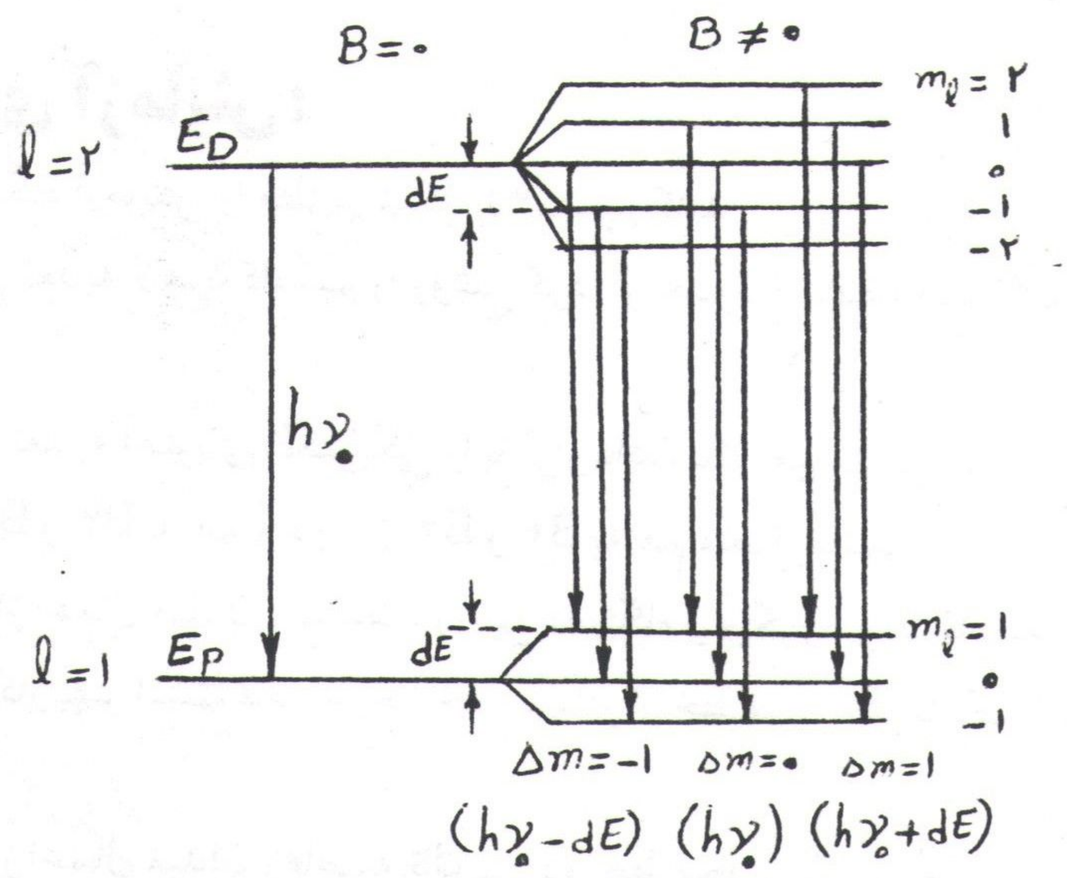
در اثر عادی زیمن (که در آن اسپین کل صفر است و یا می توان از اثر اسپین صرفنظر کرد) هر خط طیفی به سه خط شکافته می‌شود. این شکافتگی ناشی از حالتهای ابتدایی یا انتهایی یا هر دو حالتی است که انتقال بین آنها صورت می‌گیرد.

پیتر زیمن (۱۹۲۳-۱۸۶۵)

فیزیکدان تجربی هلندی، استاد دانشگاه آمستردام.به خاطر کشف اثر زیمن جایزه نوبل سال ۱۹۰۲ را به همراه لورنتس دریافت کرد.

به عنوان مثال خط طیفی ناشی از انتقال الکترون از حالت D به حالت P را در نظر بگیرید.در غیاب میدان $2\ell+1$ حالت تبهگن وجود دارد (برای D پنج حالت و برای P سه حالت) و فرکانس خط طیفی مربوطه برابر $\nu_0 = \frac{E_u - E_\ell}{h}$ است.در حضور میدان مغناطیسی هر تراز انرژی مربوط به یک ℓ معین به $2\ell + 1$ تراز تقسیم می‌شود که فاصله هر دو زیر تراز برابر است با:(شکل ۱)

$$dE = \frac{e\hbar}{2m} B$$



شکل ۱ ترازهای انرژی در حضور ودر غیاب میدان

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

با توجه به قاعده گذار $\Delta m = 0 , \pm 1$ ، شکافتگی فوق سه خط طیفی مجزا نتیجه می‌دهد که یکی از آنها($\Delta m=0$)بدون جابجایی ودوتای دیگر ($\Delta m = \pm 1$) به مقدار زیر جابجا می‌شوند:

$$d\nu = \frac{dE}{h} = \pm \frac{e B}{4 \pi m} \qquad (1)$$

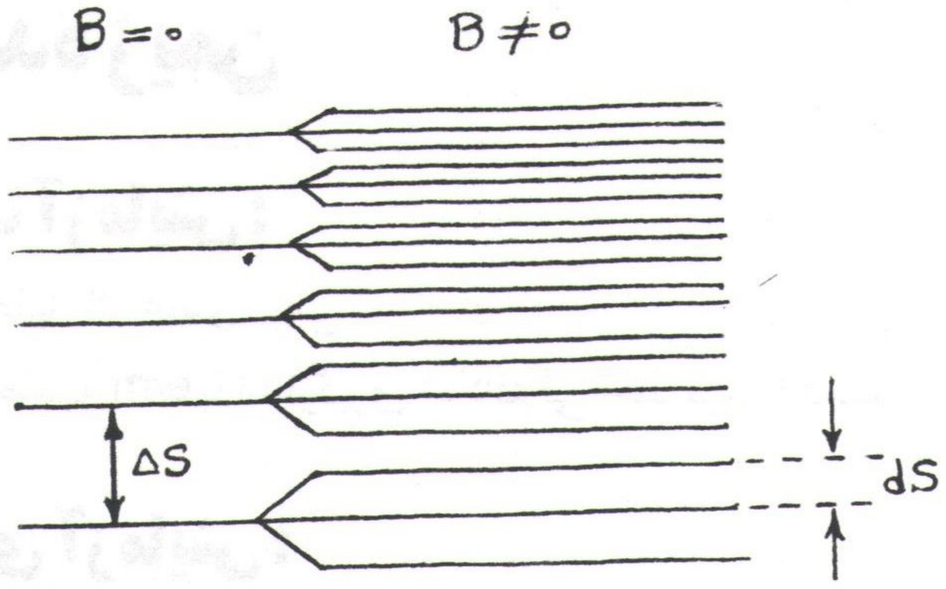
لازم به ذکر است که سه خط طیفی فوق پلاریزه هستند به طوری که صفحه پلاریزاسیون خط وسطی عمود بر دو خط جانبی می‌باشد.

روش آزمایش:

در این آزمایش اختلاف طول موج با استفاده از تیغه Lummer - Gehrke تعیین می‌گردد.این وسیله شبیه انترفرومتر، خطوط طیفی را از هم جدا می‌کند ویک سیستم خطوط رنگی در آن ظاهر می‌شود (شکل ۲).

فاصله Δs دو تراز تداخلی مجاور مربوط به تغییر طول موج $\Delta \lambda$ می‌باشد

در این دستگاه از رابطه زیر برای به دست آوردن شکافتگی خطوط طیف $d\lambda$ استفاده می‌شود:



شکل ۲ خطوط طیفی در غیاب و در حضور میدان

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

که در آن $n \simeq 1/5$ ضریب شکست تیغه L-G و $d = 4\ mm$ ضخامت آن است.همچنین Δs فاصله بین دو خط تداخلی همرنگ (در غیاب میدان مغناطیسی) و ds میزان شکافتگی خطوط در اثر میدان مغناطیسی برای همان خط مورد نظر است.در این آزمایش شکافتگی خط قرمز کادمیم $\lambda = 6438\ A^0$ (که اسپین کل حالت اولیه ونهایی آن صفر است) در اثر میدان مغناطیسی اندازه گیری شده و با دانستن مقادیر B ،مقدار e/m از رابطه (۱) به دست می‌آید.

کارهای آزمایش:

۱- دستگاه آزمایش را مطابق شکل (۳) سوار کنید.

۲ - منبع تغذیه لامپ کادمیم را روشن کرده و حدود ۵ دقیقه صبر کنید تا خط طیفی قرمز آن با قدرت کافی تشعشع کند.

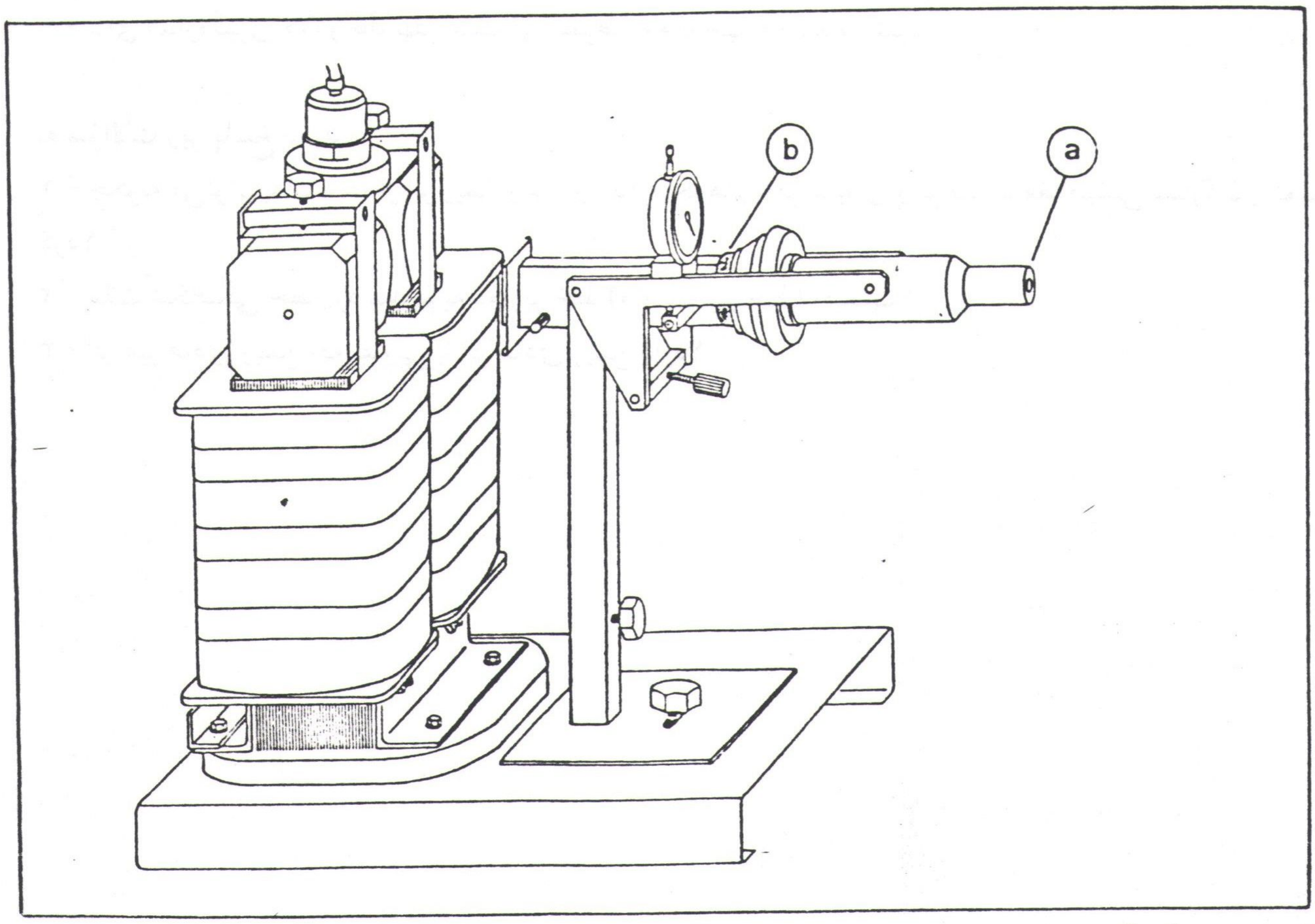
۳ - منبع تغذیه آهنربای الکتریکی را با قرار دادن یک آمپرمتر بر سر راه آن به قطبهای آهنربا متصل کنید. توجه کنید که دو سر B۱ و B۳ به هم و دو سر B۲ و B۴ به هم متصل باشند.

۴ - قبل از اعمال میدان ، توسط دوربین دستگاه و میکرومتر آن فاصله Δs را برای یک خط مشخص به دست آورید. برای این کار بهتر است فاصله یک خط پایینتر از خط مورد نظر با یک خط بالاتر از آن اندازه گیری وسپس بر دوتقسیم شود.

۵ - پس از اعمال میدان ، فاصله ds بین دو خط مجاور یک انشعاب سه تایی را اندازه گیری کنید. برای این کار توسط فیلتر پولاریزاسیون خط وسط را حذف کنید تا دو خط دیگر بهتر قابل تفکیک باشند. پس از اندازه گیری دو خط بالایی وپایینی آن را بر دو تقسیم نمایید.

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)



شکل ۳ : دستگاه آزمایش اثر زیمان

۶ - با تغییرات جریان (و در نتیجه میدان B با توجه به جدول جریان میدان) مقادیر مختلف ds (و در نتیجه $d\lambda$ یا $d\nu$) را در جدول زیر ثبت نمایید.(با توجه به $\nu = \frac{c}{\lambda}$ داریم $d\nu = \frac{c\, d\lambda}{\lambda^2}$)

I(A)	B(T)	ds	$d\lambda$ (A^0)	$d\nu$ (Hz)	e/m	خطای نسبی
۸	۰/۱۵					
۱۰	۰/۲۲					
۱۲	۰/۳۰					
۱۵	۰/۳۷					

۷ - با رسم منحنی $d\nu$ بر حسب B و استفاده از رابطه (۱) مقدار e/m را به دست آورید.

چند نکته :

۱ - با تیغه L - G با احتیاط کامل عمل کنید تا سطح صاف آن (با دقت $\frac{1}{100}\ \mu m$) بی‌عیب و بدون خراش باقی بماند.

۲ - بعد از برقراری میدان مغناطیسی هیچ جسم فرومغناطیسی را به لامپ کادمیم نزدیک نکنید.

۳ - آهنربا را به مدت طولانی روشن نگذارید.

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

۴ - برای اندازه‌گیری Δs و ds بهتر است از خطوط دوم تا چهارم استفاده شود.

به سؤالات زیر پاسخ دهید :

۱ - چگونه می‌توان با استفاده از اثر زیمن راستا و اندازه لکه‌های خورشیدی ونیز میدان مغناطیسی ستارگان را تعیین کرد؟

۲ - علت شکافتگی خط زرد سدیم به دو ریز خط (ونه سه ریز خط) چیست؟

۳ - اثر غیر عادی زیمن چه تفاوتی با اثر عادی زیمن دارد؟

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

آزمایش پراش اشعه X

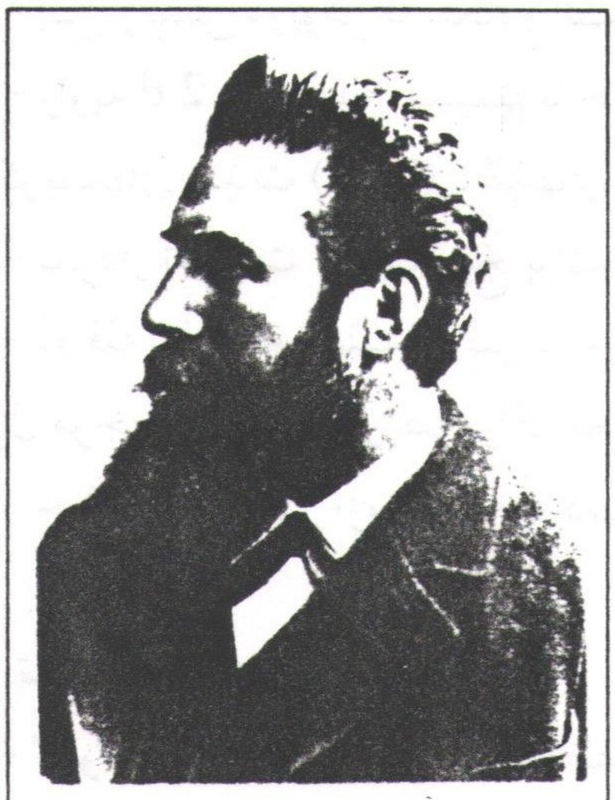
هدف آزمایش:

۱ - اندازه‌گیری طول موج اشعه X با استفاده از یک بلور با ثابت شبکه معلوم

۲ - اندازه‌گیری فاصله دسته صفحات یک بلور مجهول

تئوری آزمایش:

در سال ۱۸۹۵ رونتگن مشاهده کرد که در اثر برخورد الکترونهای پر انرژی (چند هزار ولتی) با یک جسم، تشعشعاتی ایجاد می‌شوند که قابلیت نفوذ زیادی دارند. به دلیل نامشخص بودن ماهیت این تابش در آن زمان، رونتگن آن را اشعه X (اشعه مجهول) نامید. بعدها مشخص شد که اشعه X در واقع از جنس امواج الکترومغناطیسی است.



ویلهلم کنراد رونتگن (۱۹۲۳ - ۱۸۴۵)
فیزیکدان تجربی آلمانی و استاد دانشگاه مونیخ به خاطر کشف پرتو X و برخی کاربردهای آن در پزشکی نخستین جایزه نوبل رادر سال ۱۹۰۱ دریافت کرد.

در لامپ اشعه X الکترونهای ساتع شده از یک فیلامان در اثر یک اختلاف پتانسیل الکتریکی شتاب می‌گیرند و نهایتاً به یک هدف فلزی برخورد می‌کنند و در نتیجه اشعه X تولید می‌شود.

چون اشعه X یک موج الکترومغناطیسی است باید بتواند از یک توری مناسب پراشیده شود. از آنجاکه طول موج اشعه X از مرتبه آنگستروم است، توری مناسب برای پراش آن شبکه بلوری جامدات است. قله‌های منحنی پراش پرتو X از یک بلور در زوایایی واقع می‌شوند که در رابطه زیر که به قانون براگ موسوم است صدق کنند:

$$2\,d\,\mathrm{Sin}\,\theta = n\,\lambda$$

که در آن d فاصله بین صفحات بلور و θ زاویه راستای پرتو فرودی با صفحات بلوری است. در این حالت زاویه بین پرتو فرودی و پرتو پراشیده برابر $2\,\theta$ می‌باشد.

روش آزمایش:

روشی که در این آزمایش مورد استفاده قرار می‌گیرد بنام روش بلور چرخان مشهور است . در این روش از طول موج تکفام اشعه X (λ ثابت) و چرخش بلور در برابر آن (θ متغیر) استفاده می‌شود. به ازای زوایایی که قانون براگ ارضا شود، پرتو پراشیده خواهیم داشت . در اینصورت با معلوم بودن هر کدام از کمیتهای λ ویا d می‌توان کمیت دیگر را محاسبه کرد.

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

کارهای آزمایش:

تعیین طول موج اشعه X

۱ - بلور Na Cl را (با $d = 2.82\ A^0$)در جای خود روی دستگاه قرار دهید.

۲ - پس از بستن درپوش دستگاه و اتصال آشکارساز به تقویت کننده و شمارنده دیجیتال، لامپ اشعه X را روشن کنید.

۳ - زاویه 2θ را از مقدار مینیمم تا حدود 70 درجه تغییر دهید. افزایش زاویه را با گامهای دو درجه‌ای ودر نزدیکی ماکزیممهای شدت (پیکها) با گامهای نیم درجه‌ای انجام دهید.

۴ - نمودار تغییرات شدت موج پراشیده را بر حسب 2θ روی کاغذ میلیمتری رسم کنید.

۵ - دو قله اول (که از بقیه بزرگترند) مربوط به طول موجهای $K\alpha$ و $K\beta$ به ازای مرتبه اول پراش ($n = 1$) هستند. این طول موجها را به کمک رابطه براگ محاسبه کنید.

۶ - خطای لگاریتمی آزمایش را به دست آورید.

تعیین ثابت شبکه بلور

۷ - اکنون بلور LiF را روی دستگاه نصب کنید. در این مرحله فقط زوایای مربوط به پیکهای $K\alpha$ و $K\beta$ را در مرتبه $n = 1$ به طور دقیق تعیین کنید.

۸ - با استفاده از طول موجهای به دست آمده در مراحل قبلی آزمایش ثابت شبکه این بلور (d) را تعیین کنید.

چند نکته:

۱ - کلیه پارازیتهای الکتریکی (مثلاً قطع و وصل کلیدها) در آزمایشگاه روی نتایج اثر می‌گذارد.

۲ - توصیه می‌شود در هر زاویه دو بار تعداد پالسها خوانده و از نتیجه میانگین گیری شود.

۳ - کلید شمارشگر را روی ۱۰ ثانیه تنظیم کنید (پالسها را در بازه‌های زمانی ۱۰ ثانیه بخوانید).

2θ																
اول																
دوم																
سوم																

سؤالات:

۱ - آیا لامپ تلویزیون اشعه X تولید می‌کند؟ توضیح دهید.

۲ - چرا اشعه X روی سلولهای زنده اثر مخرب می‌گذارد؟

۳ - چند کاربرد اشعهٔ X در علم،صنعت و پزشکی را نام ببرید؟

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

مطالعه طیف پیوسته اشعه X

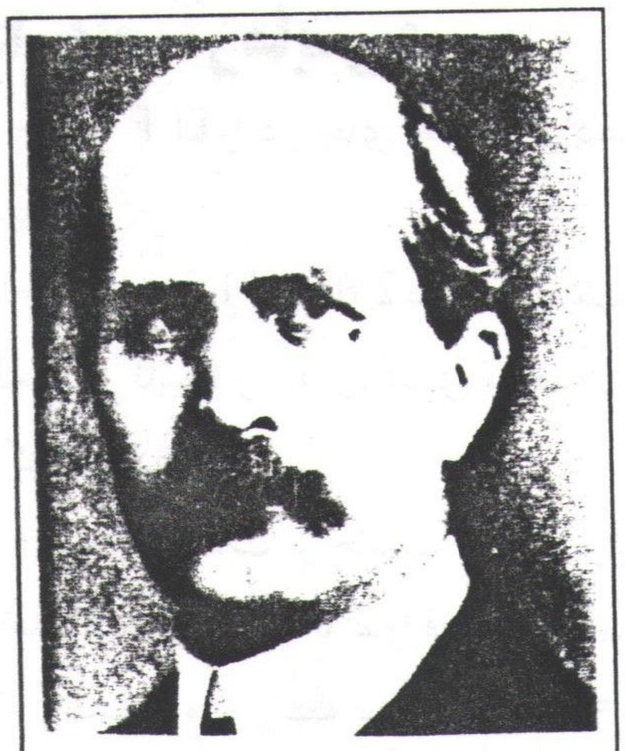
هدف آزمایش:

۱ - تحقیق کوانتایی بودن انرژی اشعه X

۲ - تعیین ثابت پلانک

تئوری آزمایش:

نمودار شدت اشعه X بر حسب طول موج (یا فرکانس) آن را، طیف اشعه X می‌نامند. این طیف که در شکل (۱) نشان داده شده است دارای دو بخش، یکی پیوسته و دیگری خطی (گسسته) می‌باشد.



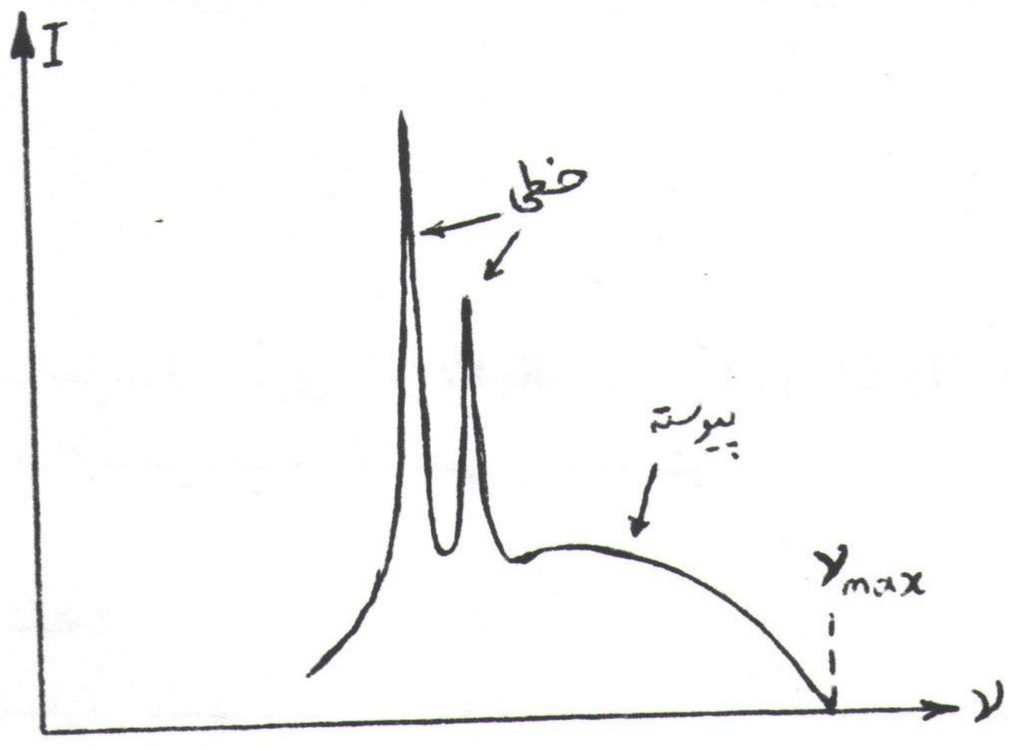
ویلیام هنری براگ (۱۸۶۲- ۱۹۴۲)

فیزیکدان انگلیسی،استاد دانشگاههای آدلاید ولیدز.وی با همکاری پسرش به تحقیق در ساختار بلورها با استفاده از اشعه X پرداخت.آن دو به خاطر پژوهشهایشان به جایزه نوبل ۱۹۱۵ دست یافتند.

طیف پیوسته اشعه X تابش الکترومغناطیسی ناشی از شتاب گرفتن الکترونها در مجاورت هسته (تابش ترمزی) است. این طیف پیوسته دارای یک طول موج مینیمم (λ_{min}) است. λ_{min} به نوع فلز هدف بستگی ندارد و فقط به ولتاژ شتاب دهنده وابسته است:

$$e V = E_k = h \nu_{max} = \frac{h c}{\lambda_{min}} \qquad (۱)$$

که در آن V پتانسیل شتابدهنده (پتانسیل آند - کاتد) است. λ_{min} ناشی از برخوردی است که در طی آن الکترون همه انرژی خود را از دست می دهد.



طیف خطی اشعه X ناشی از نفوذ الکترونهای پرتو کاتدی به پوسته‌های الکترونی داخلی اتم هدف (مثلاً پوسته k)، و برخورد آنها با یکی از الکترونهای آن پوسته و راندن آن به لایه های بالاتر یا خارج از اتم می‌باشد. پس از انجام این فرایند، جای خالی الکترون پوسته K با یکی از الکترونهای پوسته L یا M پر می شود و اتم اختلاف انرژی بین تراز K با L یا M را به صورت یک فوتون اشعه X تابش می‌کند. طول موج ناشی از انتقال $L \rightarrow K$ را $K\alpha$ و انتقال $M \rightarrow K$ را $K\beta$ می نامند. قله‌های طیف خطی اشعه X به جنس هدف بستگی دارد و مستقل از ولتاژ شتاب دهنده است.

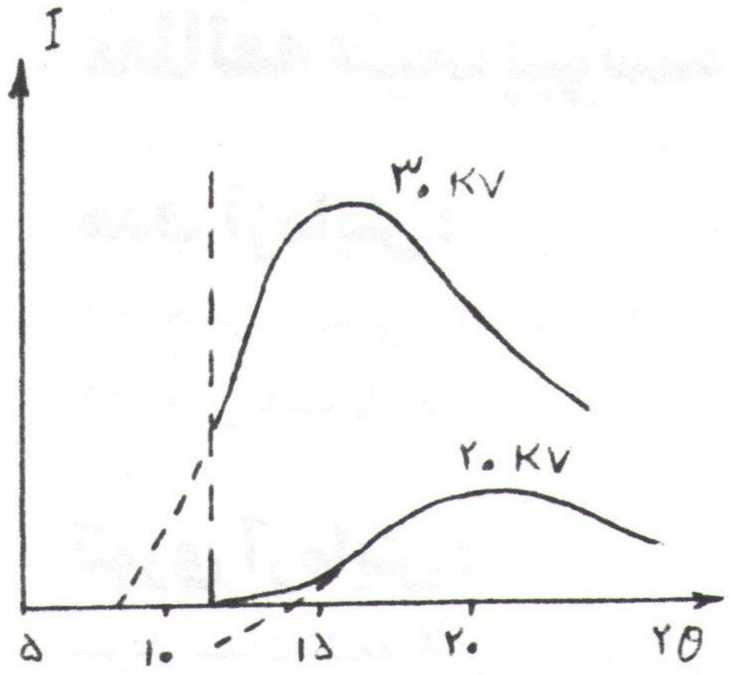
Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

روش آزمایش:

در این آزمایش با استفاده از یک طیف سنج اشعه X بخشی از نمودار طیف اشعه X را رسم می‌کنیم. به کمک این نمودار λ_{min} مربوط به طیف پیوسته پرتو X را به دست می‌آوریم و از آنجا ثابت پلانک (h) به دست خواهد آمد.

کارهای آزمایش:



۱ - بلور Li F را در جای خود قرار دهید. ولتاژ دستگاه را برابر 20 kv انتخاب کنید.

۲ - از زاویه $2\theta = 11.5$ درجه با گامهای 0.5 درجه‌ای شدت اشعه X (تعداد پالسها در ثانیه) را اندازه‌گیری و جدول‌بندی کنید. این کار را تا رسیدن به اولین ماکزیمم ادامه دهید.

۳ - منحنی شدت بر حسب 2θ را روی کاغذ میلیمتری رسم کنید. سپس آن را ادامه دهید تا محور 2θ را قطع کند. $2\theta_{min}$ متناظر با λ_{min} است.

۴ - با استفاده از رابطه براگ ($2d \sin\theta = n\lambda$)، λ_{min} را به دست آورید.

۵ - با استفاده از رابطه (۱) ثابت پلانک را محاسبه کنید.

۶ - اطلاعات به دست آمده را در جدول زیر ثبت نمایید:

بلور	V (kv)	$2\theta_{min}$	$\sin\theta_{min}$	2 d (A°)	λ_{min}(A°)	h (j.s)	Δh
Li F	۳۰			۴/۰۳		—	
Li F	۲۰			۴/۰۳			
NaCl	۳۰			۵/۶۴			
NaCl	۲۰			۵/۶۴			
						میانگین	

۷ - مراحل فوق را برای ولتاژ 30 kv و نیز برای بلور Na Cl تکرار کنید.

برای هر آزمایش خطای لگاریتمی را به دست آورید.

چند نکته :

۱ - شمارش پالسها باید دسته‌کم در بازه زمانی ۱۰ ثانیه انجام گیرد. با افزایش بازه زمانی (مثلاً ۱۰۰) دقت نتایج بیشتر می‌شود.

۲ - منحنی رسم شده را باید پیش از آنکه به صورت مجانبی درآید ادامه دهید تا محور 2θ را قطع کند.

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

سوالات:

۱ - هر یک از موارد زیر چه تغییری در طیف اشعه X پدید می آورند؟

الف) افزایش شدت جریان در فیلامان لامپ اشعه X

ب) افزایش پتانسیل آند - کاتد

ج) تعویض جنس آند

۲ - آیا وجود λ_{min} در طیف پیوسته اشعه X از نظر کلاسیکی قابل توجیه است؟

۳ - انتظار دارید جواب آزمایش شما با اختلاف پتانسیل 20 kv دقیقتر شود یا 30 kv و چرا؟

۴ - فرایند تابش ترمزی را بصورت (الف) عکس فرایند کامپتون و (ب) عکس فرایند فتوالکتریک مورد بحث قرار دهید.

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

مطالعه جذب اشعه X

هدف آزمایش:

۱ - مطالعه جذب اشعه X در ماده و بستگی آن به ضخامت

۲ - به دست آوردن ضریب جذب خطی ماده

۳ - مطالعه لبه جذب در چند عنصر

تئوری آزمایش:

رونتگن وسایر دانشمندان پیشگام این رشته تحت تأثیر قدرت نفوذ پرتوهای X قرار گرفتند. باریکه‌های اشعه X می‌توانند از مواد کدر در برابر نور، مانند - کاغذ، ورقه‌های نازک فلز یا بافتهای بدن انسان عبور کنند. اما تمام مواد پرتوهای X را تا حدودی تضعیف می‌کنند.

اثر فوتوالکتریک واثر کامپتون نقشی اساسی در تضعیف پرتوهای X به وسیلهٔ یک لایه از ماده بازی می‌کنند. اگر انرژی فوتونها به اندازهٔ کافی زیاد باشد (مثلاً در حدود پرتو γ)، فرایند تولید زوج نیز در تضعیف موثر است. اگر I_0 شدت اولیهٔ اشعه X باشد، پس از عبور از لایه‌ای به ضخامت X، خواهد شد:(شکل ۱)

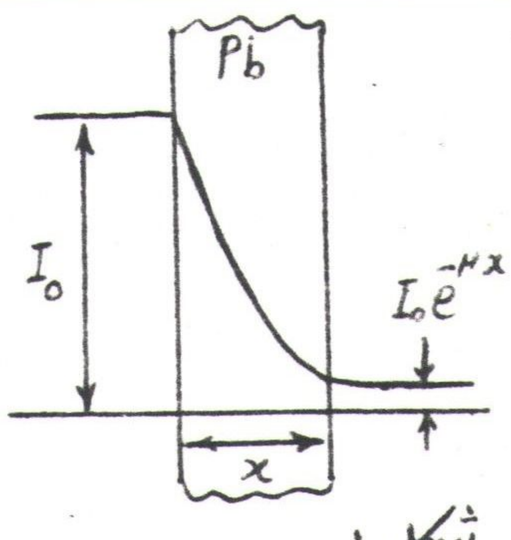
$$I = I_0 e^{-\mu x} \qquad (۱)$$

که در آن μ ضریب جذب خطی ماده نامیده می‌شود و به جنس ماده بستگی دارد. به عنوان یک قاعده کلی میزان جذب متناسب با چگالی ماده افزایش می‌یابد.

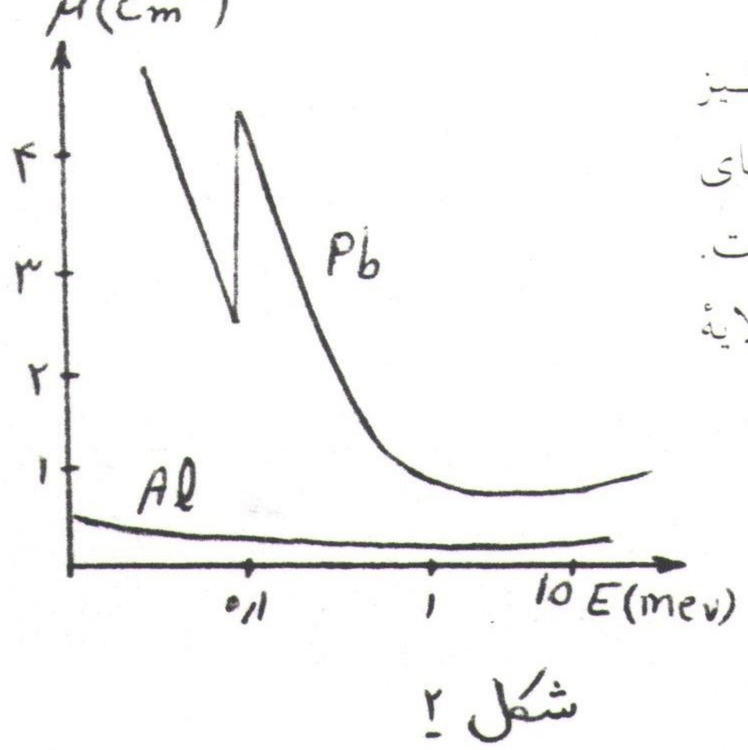
با نگاهی دقیقتر درمی‌یابیم که μ تابعی از انرژی اشعه X فرودی نیز هست(شکل ۲). قسمتی از این تغییرات ناشی از غلبه هر یک از فرایندهای مختلف (فوتوالکتریک، کامپتون و تولید زوج)در گستره‌ای از انرژی است. علاوه بر آن جذب نشدیدی فوتونها توسط الکترونهایی که از یک لایه به لایهٔ بالاتر منتقل می‌شوند، سبب ایجاد قله‌های تیزی در منحنی μ (X) می‌شود.

ویلیام لاورنس براگ (۱۸۹۰- ۱۹۷۱)

فرزند و همکار ویلیام هنری براگ در پژوهشهای مربوط به بلورشناسی با استفاده از اشعه X بود. جایزه نوبل ۱۹۱۵ مشترک به براگ پدر و پسر تعلق گرفت.



شکل ۱



شکل ۲

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

کارهای آزمایش:

آزمایش (الف) بستگی میزان جذب به ضخامت ماده

در این آزمایش با استفاده از ورقه‌هایی با ضخامتهای مختلف و اندازه‌گیری شدت اشعه X خروجی از آن ورقه‌ها منحنی میزان جذب بر حسب ضخامت را به دست می‌آوریم.

۱ - دستگاه اشعه X را روی ولتاژ kv ۳۰ قرار دهید.

۲ - جریان لامپ اشعه X را به آرامی بالا ببرید(در زاویهٔ $2\theta = 0$). پالسهای آشکار شده توسط شمارندهٔ دیجیتالی به تدریج افزایش یافته تا به مقدار ماکزیمم می‌رسد و سپس افت می‌کند. این مقدار ماکزیمم نقطهٔ اشباع کنتورگایگر مولر نامیده می‌شود.

۳ - جریان را کم کنید تا اینکه میزان شمارش پالسها حدود $100\ s^{-1}$ زیر نقطهٔ اشباع باشد. این جریان را تحت عنوان I_0 یادداشت کنید.

۴ - طبق جدول زیر به ترتیب ورقه‌های آلومینیمی با ضخامتهای مختلف را در مقابل اَشعه X قرار دهید و شدت اشعه X خروجی راسه بار اندازه بگیرید ودر جدول ثبت کنید.

جذب کننده	ضخامتx(mm)	$I_1(s^{-1})$	$I_2(s^{-1})$	$I_3(s^{-1})$	$I(s^{-1})$متوسط	$LnI_0 - LnI$
562.033	0					
562.017	0.10					
562.019	0.50					
562.020	1.00					
562.019 562.020	1.50					
562.021	2.00					
562.020 562.021	3.00					
562.019 562.020 562.021	3.50					

۵ - منحنی تغییرات I بر حسب x را رسم کنید. طبق رابطهٔ (۱) منحنی به صورت نمایی در می‌آید.

۶ - منحنی تغییرات $\mathrm{Ln}\frac{I_0}{I}$ را بر حسب x رسم کنید. اگر منحنی قسمت ۵ دقیقا نمایی باشد این منحنی باید به صورت خط راست در آید و شیب آن همان μ ضریب جذب خطی ماده(در اینجا آلومینیوم) است.

نکته:

منحنی فوق دقیقا به صورت خط راست در نمی‌آید بلکه در مقادیر بزرگ x تمایل به کاهش دارد. این امر به دلیل تکفام نبودن اشعهٔ X است. اشعهٔ X بسیاری از طول موجها را در بر دارد و μ برای طول موجهای مختلف متفاوت است. به این اشعهٔ X اصطلاحا اشعهٔ سفید می‌گویند.

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

آزمایش (ب) مطالعهٔ لبهٔ جذب

در این آزمایش پرتو X یک بار بطور مستقیم و بار دیگر پس از عبور از یک ورقه نازک فلزی به بلور تابیده شده و نقش پراش آن بر حسب 2θ ثبت می‌شود. با مقایسه شدت پرتو بازتابیده در دو حالت فوق، می‌توان میزان جذب پرتو توسط ورقهٔ فلزی را بر حسب 2θ رسم کرد. در منحنی حاصل یک ناپیوستگی وجود دارد که لبهٔ جذب نامیده می‌شود و حکایت از جذب تشدیدی الکترونها دارد.

۱ - بلور Na Cl را در محل خود قرار دهید.

۲ - کنتور گایگر مولر را از طریق تقویت کننده به شمارندهٔ دیجیتال متصل کنید. وقتی آهنگ شمارش کم است پالسها باید در بازهٔ زمانی ۱۰ s شمرده شوند.

۳ - پالسهای شمرده شده (I_0) را از زاویهٔ 2θ برابر ۲۰ تا ۴۰ درجه با گامهای یک درجه در جدول زیر بنویسید.

$2\theta_0$	I_0 (s^{-1})	I_{Cu} (s^{-1})	I_{Cu}/I_0
20			
21			
22			
.			
40			

۴ - فیلتر مسی (564.006) را در E.S.2 قرار دهید و پالسهای شمرده شده I_{Cu} را در جدول فوق بنویسید.

۵ - نسبت $\frac{I_{Cu}}{I_0}$ را محاسبه کرده و منحنی آن را بر حسب 2θ رسم کنید. یک ناپیوستگی در آن ظاهر خواهد شد.

۶ - از روی منحنی زاویهٔ 2θ راکه ناپیوستگی در آن اتفاق می‌افتد پیدا کنید و با استفاده از قانون براگ $\lambda = 2\,d\,\mathrm{Sin}\,\theta$ طول موج متناظر با آن را به دست آورید.

۷ - این طول موج جذبی را با طول موجهای $K\alpha$ و $K\beta$ اشعه X مقایسه کنید.

۸ - فیلتر مسی را با فیلتر روی (563.009) جایگزین کرده و مراحل ۴ تا ۷ را تکرار کنید.

۹ - فیلتر روی را با فیلتر نیکل (564.004) جایگزین کرده و مراحل ۴ تا ۷ را تکرار کنید.

۱۰ - فیلتر نیکل را با فیلتر کبالت (564.008) جایگزین کرده و مراحل ۴ تا ۷ را تکرار کنید.

توجه : انتظار می‌رود منحنیهای بدست آمده ، شبیه شکلهای مندرج در صفحه بعد باشند.

سوالات:

۱ - چرا طول موج لبهٔ جذب برای ورقهٔ مسی کوچکتر از طول موجهای $K\alpha$ و $K\beta$ مس می‌باشد؟

۲ - برای حذف طول موج ($K\beta$) Cu اشعهٔ X چه فیلتری مناسب است؟

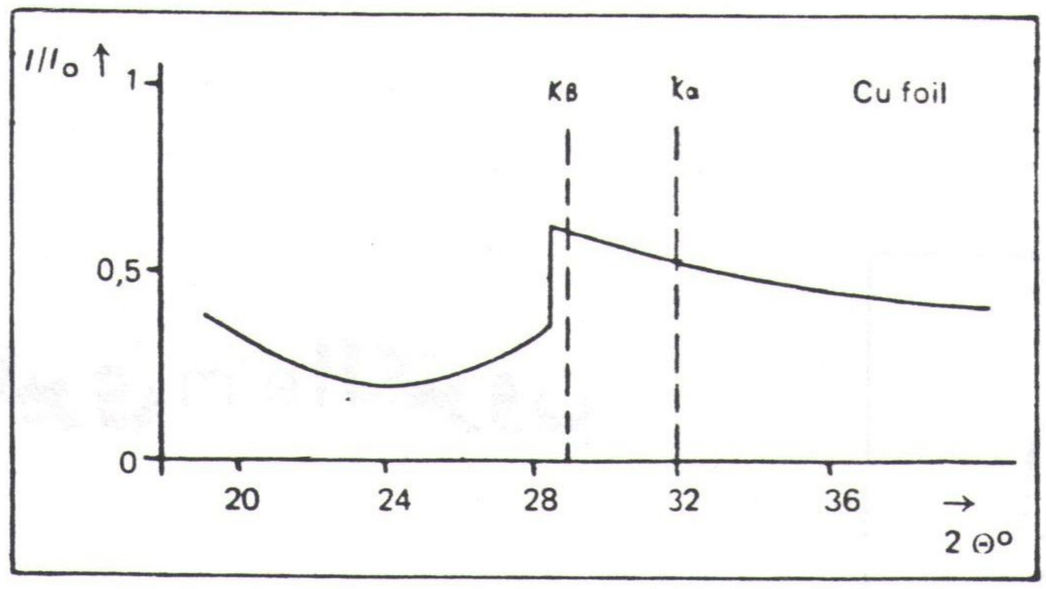
Sample output to test PDF Combine only

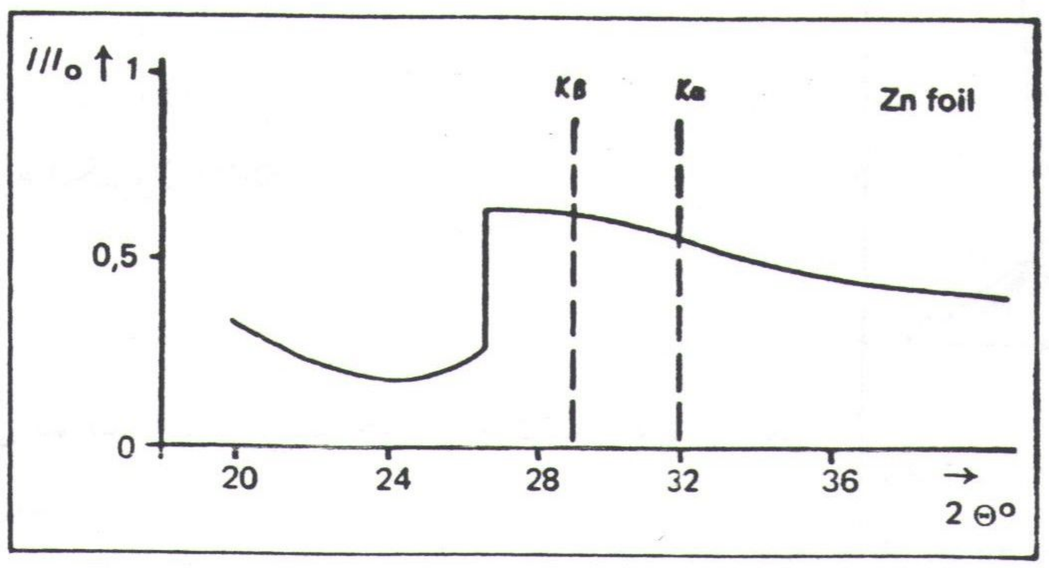
Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

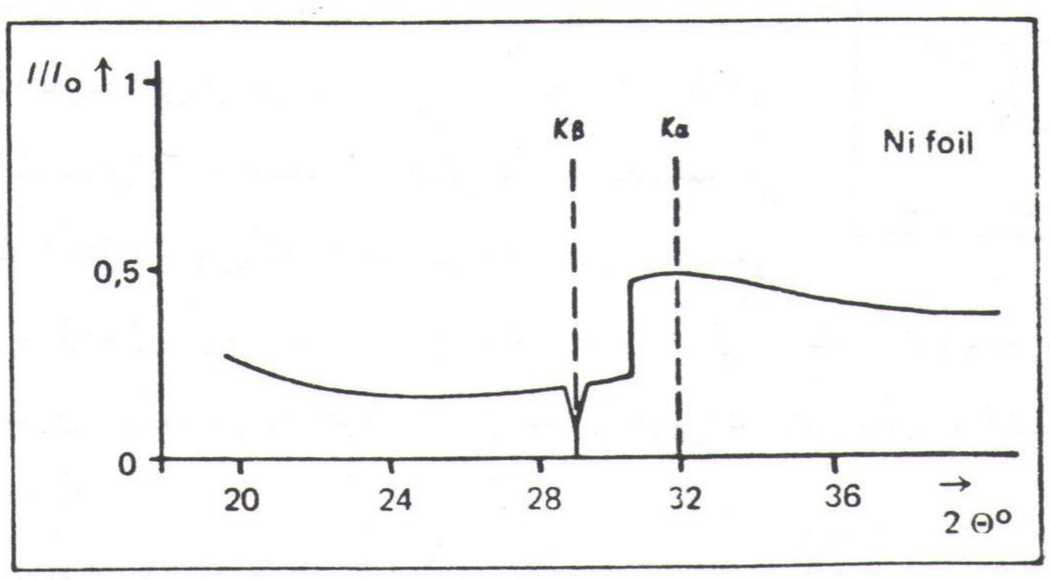
جذب پرتو X

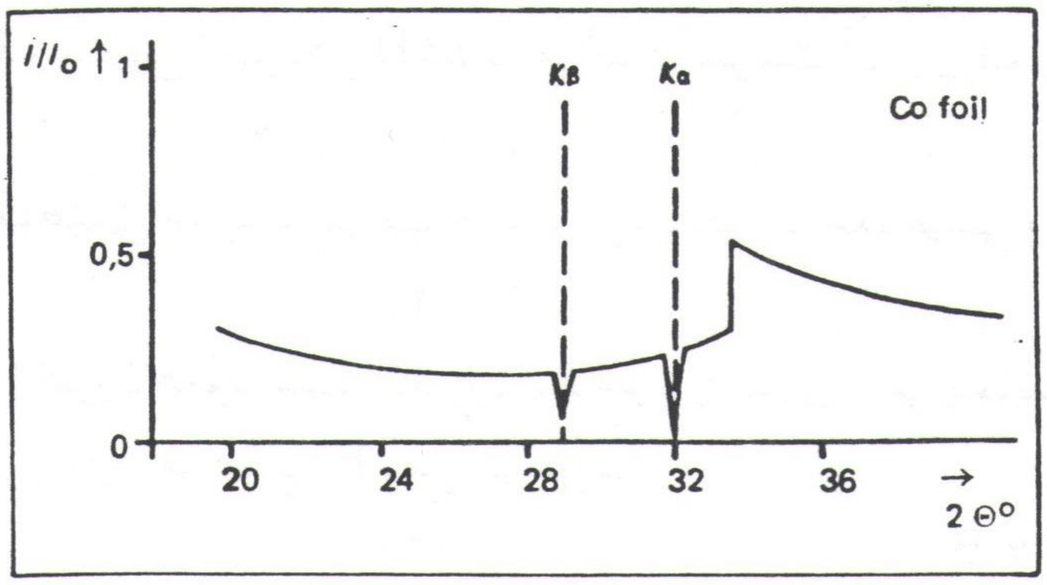
۳ - چرا سرب سد خوبی برای جذب انواع تابشهای اتمی و هسته‌ای است؟

۴ - چرا اتاق اپراتور رادیوگرافی پرده مخصوص دارد؟ راجع به جنس وضخامت این پرده تحقیق کنید.









Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

آزمایش اندازه‌گیری e/m الکترون

هدف آزمایش:

۱ - بررسی جنبه ذره‌ای الکترون

۲ - بررسی حرکت الکترون در میدان مغناطیسی

۳ - اندازه‌گیری نسبت بار به جرم الکترون e/m

جی جی تامسون (۱۹۴۰ - ۱۸۵۶)
فیزیکدان انگلیسی، استاد کاوندیش در کمبریج به خاطر پژوهشهایش در زمینه هدایت الکتریسیته در گازهای کم‌فشار جایزه نوبل ۱۹۰۶ را دریافت کرد.

تئوری آزمایش:

در اثر تخلیه الکتریکی درگازهای کم فشار پرتویی درخشان ازکاتد به سوی آند می‌تابد که آن را پرتو کاتدی می‌نامند.

ماهیت پرتو کاتدی چیست؟ بعضی فکر می‌کردند نوع جدیدی از نور است و برخی دیگر متقاعد شده بودند که باریکه‌ای از ذرات است. تامسون دستگاهی ساخت و میزان انحراف پرتو کاتدی را در میدان الکتریکی ومغناطیسی اندازه‌گیری کرد. او از روی جهت انحراف باریکه تعیین کرد که بار آن منفی است. تامسون متقاعد شد که پرتو کاتدی از ذرات تشکیل شده است و توانست با ترکیب میدانهای الکتریکی و مغناطیسی در یک آزمایش سرعت و نسبت بار به جرم این ذرات را تعیین کند.در سال ۱۸۹۷ تامسون کشف خود را اعلام کرد واین ذرات را **الکترون** نامید.

در این آزمایش برای تعیین مقدار e/m الکترون از حرکت الکترون در میدان مغناطیسی استفاده میکنیم.

هنگامی که یک الکترون در اختلاف پتانسیل الکتریکی U شتاب می‌گیرد، سرعت آن از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$e\,U = \frac{1}{2}\,m\,v^2 \qquad (۱)$$

اکنون اگر این الکترون در میدان مغناطیسی عمود بر سرعت خود قرارگیرد، نیروی مغناطیسی وارد بر آن عبارت است از:

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

از آنجاکه این نیرو بر بردار سرعت الکترون عمود است، الکترون یک مسیر دایره‌ای را می‌پیماید. در این حالت نیروی جانب مرکز وارد بر الکترون توسط نیروی مغناطیسی F تأمین می‌شود:

$$\frac{m\,v^2}{r} = F = e\,v\,B \qquad (۳)$$

از روابط (۱) و (۳) مقدار e/m به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\frac{e}{m} = \frac{2\,U}{B^2\,r^2} \qquad (۴)$$

که r شعاع مسیر دایره‌ای الکترونها و B میدان در مرکز لامپ است.

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

شرح دستگاه و روش آزمایش:

بخش اصلی دستگاه آزمایش یک لامپ پرتو کاتدی است . لامپ اشعه کاتدی شامل یک لامپ خلا (محتوی گازی با فشار کم)است که در آن دو پایانه کار گذاشته شده است. این پایانه‌ها به یک اختلاف پتانسیل الکتریکی وصل می‌شوند. پایانه منفی (کاتد) شامل یک رشته سیم است که در اثر عبور جریان ملتهب می‌شود والکترونها در اثر گسیل گرمایونی از آن خارج میگردند. این الکترونها در پتانسیل الکتریکی بین آند وکاتد شتاب می‌گیرند و پرتو کاتدی را تشکیل می‌دهند.

این لامپ توسط دو پیچه هلمهولتز احاطه شده است. این پیچه‌ها در مرکز لامپ یک میدان مغناطیسی یکنواخت افقی ، عمود بر راستای حرکت الکترون ایجاد می‌کنند. اگر N تعداد دورهای هر پیچه، I جریان عبوری از پیچه‌ها و R شعاع آنها باشد میدان مغناطیسی در مرکز لامپ از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$B = \frac{\mu_0 N I}{R} \times \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \qquad (۵)$$

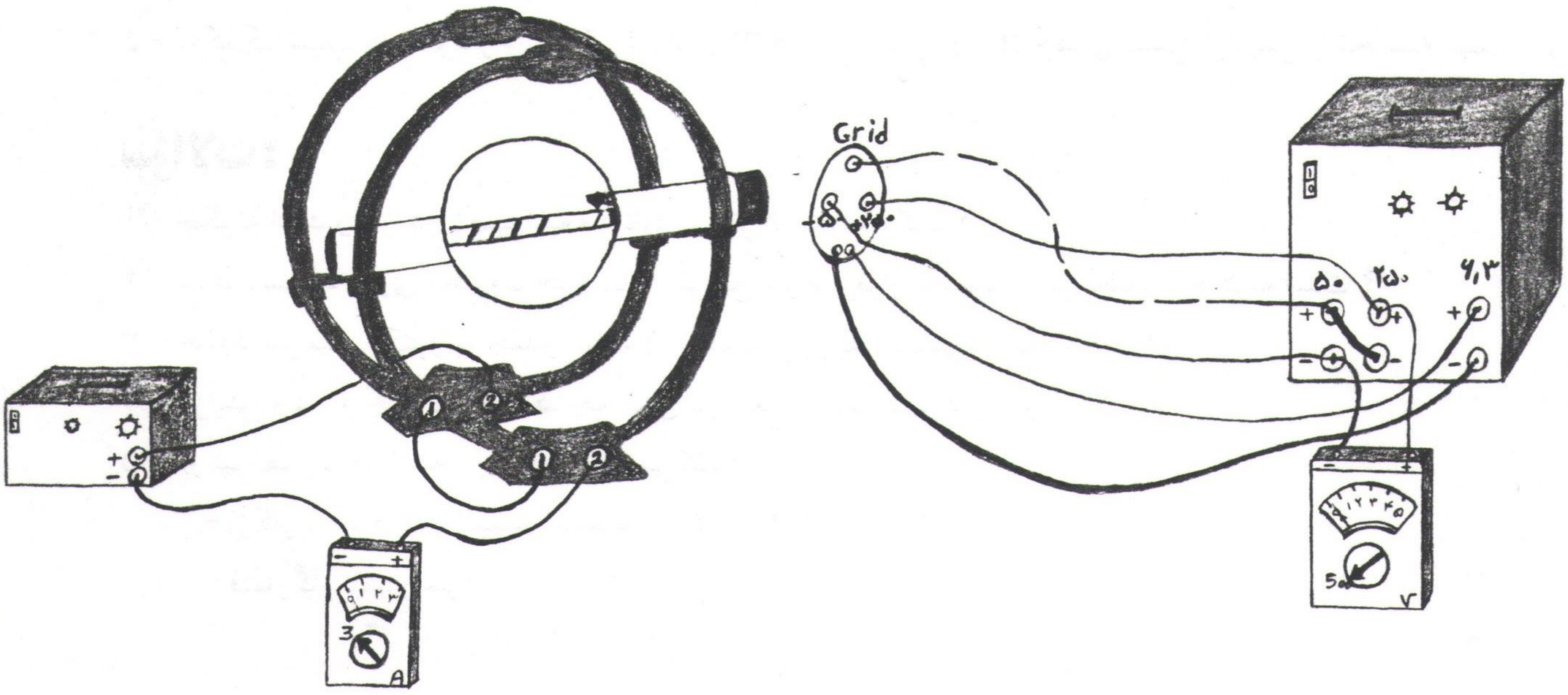
که در آن $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ ثابت گذردهی خلا است.

الکترونها تحت تاثیر این میدان مغناطیسی مسیری دایره‌ای را می‌پیمایند که شعاع آن را می‌توان به وسیله شاخص نردبانی شکلی که در لامپ نصب شده تعیین کرد و بدین ترتیب با معلوم بودن پتانسیل شتاب دهنده به الکترون، میدان مغناطیسی و شعاع دایره مسیر الکترون e/m محاسبه خواهد شد.

کارهای آزمایش:

۱ - وسایل آزمایش شامل لامپ کاتدی وپیچه‌های هلمهولتز ، منبع تغذیه لامپ وپیچه‌ها، ولتمتر وآمپرمتر را مطابق شکل (۱) سوار کنید:

- فیلامان را به ولتاژ ۶/۳ ولت وصل کنید.



Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

تعیین e/m

- آند را به قطب مثبت منبع تغذیه (۲۵۰ - ۰ ولت) وکاتد را به قطب منفی منبع تغذیه (۵۰ - ۰ ولت) وصل کنید ودو منبع تغذیه را با هم سری کنید.(برای این منظور باید قطب منفی منبع تغذیه اولی را به قطب مثبت منبع تغذیه دومی متصل کرد)

- سر مشترک دو منبع تغذیه را به Grid وصل کنید. ولتمتر را با آند وکاتد به طور موازی در مدار قرار دهید.

- پیچه‌های هلمهولتز را به همراه یک آمپرمتر با منبع تغذیه سری کنید. دقت کنید که حتما فیش ۱ به ۱ یا ۲ به ۲ وصل شود.

۲ - پس از اطمینان از درستی اتصالات توسط کارشناس آزمایش لامپ کاتدی را روشن کنید. ولتاژ آند کاتد را مطابق اولین مقدار داده شده در جدول زیر تنظیم کنید.

۳ - جریان را در پیچه برقرارکنید. به ازای جریانهای مختلف به کمک شاخص نردبانی درون لامپ شعاع دایره پرتو کاتدی را تعیین کنید و نتایج را در جدول زیر بنویسید:(فاصله هر دو میله شاخص نردبانی cm ۲ است)

U = 120 v		U = 140 v		U = 160 v		U = 180 v		U = 200 v	
I(A)	r(m)	I(A)	r(m)	I(A)	r(m)	I(A)	r(m)	I(A)	r(m)
	0.02		0.02	———	———	———	———	———	———
	0.03		0.03		0.03		0.03		0.03
	0.04		0.04		0.04		0.04		0.04
	0.05		0.05		0.05		0.05		0.05

۴ - با استفاده از روابط (۴) و(۵) می توان رابطه I را با U و r به صورت زیر نوشت:

$$I = \sqrt{\frac{2U}{A^2 (e/m)}}\ \frac{1}{r} \qquad , A = \frac{\mu_0 N}{R}\left(\frac{4}{5}\right)^{3/2}$$

به ازای هر مقدار پتانسیل آند - کاتد (U) نمودار تغییرات I بر حسب $\frac{1}{r}$ را روی کاغذ میلیمتری رسم کنید.

دستگاه مورد استفاده شما در این آزمایش، دارای پیچه هلمهولتز با N=۱۵۴ دور و بشعاع R=۲۰ cm است.

۵ - به کمک شیب هر نمودار در هر مورد مقدار e/m را به دست آورید. خطای نسبی آزمایش را محاسبه کنید.

سؤالات:

۱ - چگونه الکترون را در لامپ اشعه کاتدی می توان مشاهده کرد ؟

۲ - شرط مسیر دایروی الکترون چیست ؟ اگر این شرط برقرار نباشد، مسیر الکترون چگونه است ؟

۳ - حدود سرعت الکترونها چقدر است ؟ آیا نباید از روابط نسبیتی استفاده کرد ؟

۴ - افزایش ولتاژ و جریان ، هر یک چه اثری در شعاع دایره مسیر دارند و چرا؟

۵ - در شرایط زیر آیا نتایج آزمایش تغییر می کند؟

- ازگاز با جرم اتمی بیشتر استفاده شود.
- فشارگاز بیشتر شود.

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

پراش الکترون

هدف آزمایش:

۱ - بررسی خاصیت موجی الکترون

۲ - تحقیق رابطه دوبروی

۳ - اندازه‌گیری فاصله بین صفحات بلوری در گرافیت

لوئی پرنس ویکتور دوبروی

(۱۸۹۲-۱۹۹۰)

ریاضی فیزیکدان فرانسوی . استاد دانشگاه پاریس.جایزه نوبل ۱۹۲۹ را به خاطر پیشنهاد خاصیت موجی ذره دریافت کرد.

تئوری آزمایش:

شواهد بسیاری وجود دارد که امواج الکترومغناطیسی از خود رفتارذره‌ای نشان‌می‌دهند.اثر فوتوالکتریک واثر کامپتون دو پدیده‌ای هستند که در آنها خواص ذره‌ای امواج کاملا مشهود است. انیشتین در توجیه اثر فوتوالکتریک پیشنهاد کرد که امواج الکترومغناطیسی به صورت بسته‌های انرژی (ذرات) هستند که انرژی $E = h\nu$ را حمل می‌کنند. او این ذرات را فوتون نامید. برای فوتونها روابط زیر برقرارند:

$$\nu = \frac{E}{h} \quad \text{و} \quad \lambda = \frac{h}{p} \qquad (۱)$$

در سال ۱۹۲۴ دوبروی پیشنهاد کرد از آنجا که امواج الکترومغناطیسی خاصیت ذره‌ای دارند، ذرات نیز باید دارای خواص موجی باشند.وی اظهار داشت که روابط فوق نه تنها در مورد فوتونها بلکه برای سایر ذرات نیز برقرارند. بدین‌سان طول موج وابسته به یک ذره به جرم m و سرعت v عبارت است از:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m\,v} \qquad (۲)$$

کمیت λ را **طول موج دوبروی** می‌نامند.

دوبروی نظریه خود را با موفقیت برای توضیح شرط کوانتش.بوهر به کار برد و نتایج کارش را در رساله دکتری خود ارائه کرد. او در این مرحله هنوز نسبت به نظریه خود مطمئن نبود ونمی توانست این مسئله راکه چرا ذرات مانند امواج رفتار می‌کنند توجیه کند. تنها توجیه او این بود که طرح پیشنهادیش کار می‌کند. کمیته بررسی کار دوبروی به کار او مشکوک بود ولی با خونسردی آنرا بررسی کرد. چند سال بعد دیویسون وگرمر در آمریکاو جرج پاژ تامسون در انگلستان نظریه دوبروی را به صورت تجربی تأیید کردند، رساله دوبروی پذیرفته شد ویک‌باره به صورت یکی از مشهورترین رساله‌های فیزیک درآمد،تنها رساله ای که برای مؤلفش جایزه نوبل را به ارمغان آورد.

اگر ذرات از خود خاصیت موجی نشان دهند باید بتوان برای آنها پدیده‌های موجی مانند پراش یا تداخل را مشاهده کرد. می‌دانیم پدیده پراش وقتی مشهود است که طول موج در حدود ابعاد مانع باشد.مثلا طول موج وابسته به یک

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

الکترون با انرژی یک الکترون‌ولت (1 ev) برابر $12\ A^0$ و برای الکترونی با انرژی ۱۴۴ ev برابر $1\ A^0$ است.با در نظر گرفتن طول موجهای کوچک الکترونها وسایر ذرات بنیادی، مشاهده تجربی خواص موجی آنها مستلزم انجام آزمایشهای دقیق تداخل است که در آنها باید از توریهایی استفاده شود که دارای شیارهایی فوق‌العاده کوچک باشند. نخستین مشاهده تجربی چنین آثاری با الکترونها توسط دیویسون و گرمر در سال ۱۹۲۷ انجام شد. آنها در ضمن پژوهش در زمینه پراکندگی کشسان الکترونها توسط یک بلور نیکل، تصادفا متوجه شدند که الکترونها با زاویه‌ای غیر منتظره از این بلور خارج می‌شوند.زاویه خروج باریکه الکترون متناظر است با تداخل سازنده مطابق شرط براگ:

$$2\ d\ \mathrm{Sin}\ \theta = n\lambda \qquad (۳)$$

که در این رابطه d فاصله بین صفحات براگ در بلور و θ زاویه بازتاب است. با معلوم بودن d واز روی مقادیر اندازه‌گیری شده زاویه θ دیویسون طول موج الکترونها را تعیین کرد و پی برد که این طول موج با طول موج دوبروی محاسبه شده از رابطه (۲) در توافق است.

تقریبا به طور همزمان تامسون آزمایشهای مشابهی در زمینه پراش الکترون انجام داد و او نیز رابطه دوبروی را در تجربه تأیید کرد. دیویسون و تامسون به خاطر کار تجربی مستقلی که در جهت تأیید عملی تداخل الکترون انجام دادند جایزه نوبل ۱۹۳۸ را دریافت کردند.

شرح دستگاه و روش آزمایش:

در این آزمایش برای بررسی خواص موجی الکترون از روشی مشابه روش تامسون استفاده می‌کنیم.برای پراش الکترون یک لامپ پرتو کاتدی به کار می‌رود. در انتهای این لامپ یک رشته وجود دارد-که در اثر عبور جریان ملتهب میشود و الکترونها در اثر گسیل گرمایونی از این رشته خارج می‌شوند و در اختلاف پتانسیلی که بین دو قطعه فلزی استوانه‌ای شکل برقرار است،شتاب می‌گیرند. اگر از سرعت اولیه الکترونها صرف نظر کنیم و اختلاف پتانسیل بین دو قطعه فلزی برابر V باشد، انرژی الکترون از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$E_k = e\ V$$

باریکه الکترونی که بدین ترتیب ایجاد شده است به یک محفظه حاوی پودرگرافیت که از تعداد بسیار زیادی ریزبلور تشکیل شده است برخورد می‌کند. در نتیجه همانند روش پودر در پراش اشعه X الکترونهای خروجی به صورت مخروطهایی با نصف زاویه فضایی $\alpha = 2\theta$ منتشر می‌شوند (شکل ۱).در اینجا θ همان زاویه براگ است. این مخروطها در برخورد با صفحه فلورسنت حلقه‌های روشنی را به شعاع r تشکیل می‌دهند(شکل ۲). هر حلقه مربوط به یک دسته صفحه در بلورگرافیت با فاصله d می‌باشد. در این آزمایش صرفا پراش ناشی از دو دسته صفحه قابل رؤیت است و فقط حلقه‌های مربوط به مرتبه $n = 1$ را بررسی می‌کنیم.

حال می‌توان با توجه به شکل (۱) و استفاده از شرط براگ طول موج الکترون را به دست آورد.از آنجا که زاویه θ خیلی کوچک است می‌توان نوشت:

$$\mathrm{Sin}\ (2\theta) \approx \mathrm{tg}\ (2\theta) \approx 2\theta \approx \frac{r}{D} \quad \rightarrow \quad \mathrm{Sin}\ \theta = \frac{r}{2D}$$

با قرار دادن این مقدار در شرط براگ داریم:

$$2\ d\ \left(\frac{r}{2\ D}\right) = n\ \lambda$$

با معلوم بودن D (فاصله بلور تا پرده) و d ثابت شبکه بلور و با در نظر گرفتن $n = 1$ می‌توان طول موج الکترون (λ) را بدست آورد:

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

پراش الکترون

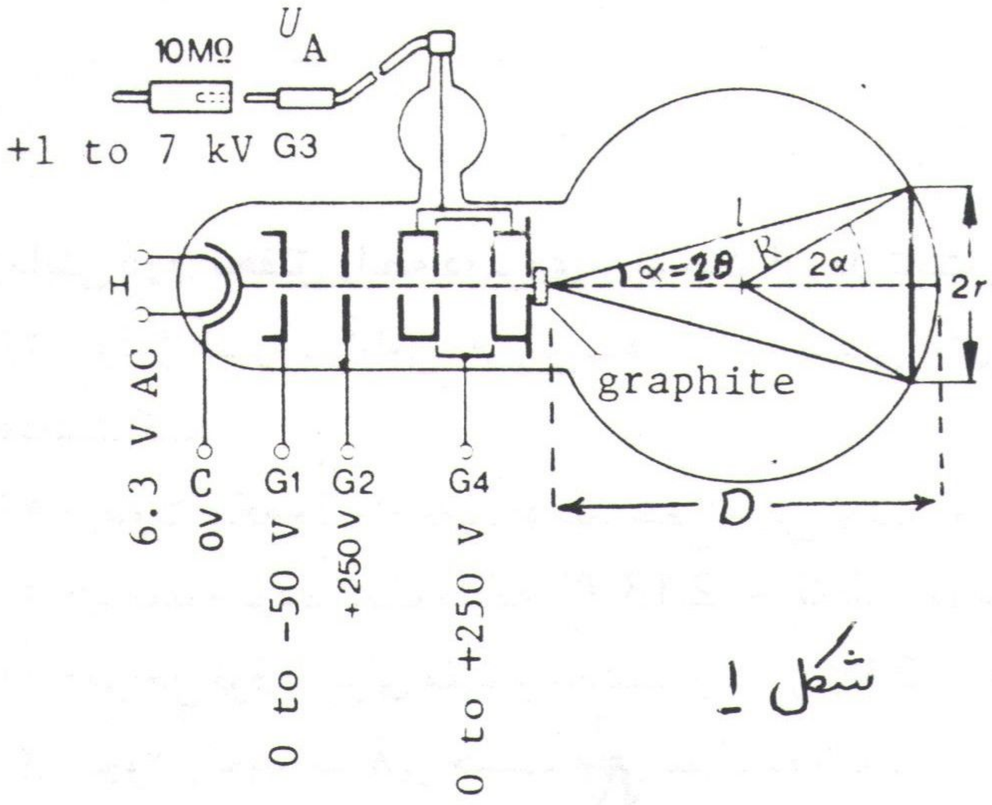
$$\lambda = \frac{r\,d}{D} \qquad (۴)$$

از طرف دیگر میتوان رابطه‌ای بین پتانسیل شتاب‌دهنده الکترون و طول موج آن به دست آورد:

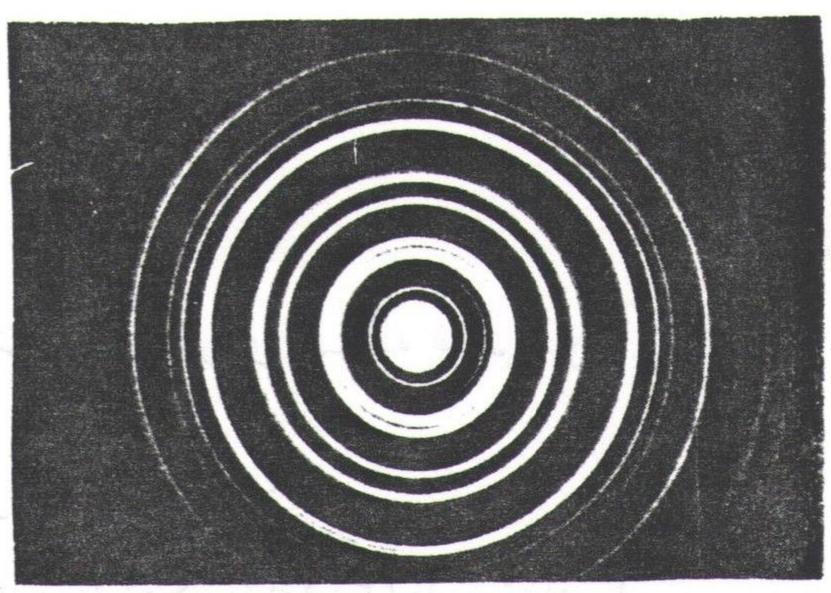
$$e\,V = \frac{1}{2}\,m\,v^2$$

در نتیجه:

$$p = m\,v = \sqrt{2\,e\,V\,m}$$



شکل ۱



شکل ۲

با استفاده از رابطه دوبروی داریم:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2\,e\,m}} \times \frac{1}{\sqrt{V}} \qquad (۵)$$

که در این رابطه λ طول موج الکترون ، V اختلاف پتانسیل، m جرم و e بار الکترون است. می توان با استفاده از λهایی که به ازای مقادیر مختلف V از رابطه (۴) به دست می آیند، نمودار λ بر حسب $\frac{1}{\sqrt{V}}$ را رسم کرد واز روی شیب این خط ثابت پلانک (h) را محاسبه نمود.

کارهای آزمایش:

قبل از انجام آزمایش به نکات زیر توجه کنید:

- آند دستگاه دارای ولتاژ بالاست، دست زدن به آن باعث برق گرفتگی جدی می‌شود.
- چون لوله پراش الکترون تخلیه است مواظب باشید ضربه‌ای به آن وارد نشود زیرا شکستن آن باعث پرتاب قطعات شیشه به اطراف می‌شود.
- دستگاه را روشن کرده، ولتاژ منبع را درکمترین میزان خود قرار دهید وکمی صبرکنید تا لکه روشن ناشی از برخورد الکترونها روی صفحه فلوئورسانس مشاهده شود.

آزمایش اول: اندازه‌گیری فاصله بین دسته صفحات گرافیت

۱/۱ - ولتاژ آند را در حدود ۲/۵ کیلوولت ثابت کنید. دو حلقه روشن مشاهده می‌شود.

۱/۲ - شعاع این حلقه‌ها را اندازه‌گیری کنید. بدین منظور می‌توانید قطر داخلی وخارجی حلقه ها را اندازه گرفته و میانگین آنرا بدست آورید.

۱/۳ - با استفاده از رابطه (۵) λ و با استفاده از رابطه (۴) d را بدست آورید. فاصله پرده تا بلور $D = ۱۳۵\ mm$

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

است.

۱/۴ - با استفاده از نتایج آزمایش جدول زیر را تکمیل کنید:

خطای نسبی	d (A^0)	λ (A^0)	V (kv)	قطر حلقه	حلقه
					اول
					دوم

آزمایش دوم: تحقیق رابطه دوبروی و بدست آوردن ثابت پلانک

۲/۱ - ولتاژ آند را به آرامی افزایش دهید تا حلقه‌های ناشی از پراش الکترون روی صفحه ظاهر شوند.ولتاژ آند را یادداشت کنید.

۲/۲ - بدون اینکه ولتاژ را تغییر دهید شعاع اولین حلقه روشن را اندازه‌گیری کنید.

۲/۳ - با معلوم بودن ثابت شبکه $d = 2.13\ A^0$ طول موج الکترون را به کمک رابطه (۴) بدست آورید.

۲/۴ - مراحل فوق را برای مقادیر مختلف ولتاژ از 2 kv تا حدود 3 kv تکرار کنید ونتایج را در جدول زیر ثبت کنید:

۲/۵ - نمودار تغییرات λ بر حسب $\frac{1}{\sqrt{V}}$ رسم کرده و به کمک این نمودار ثابت پلانک (h) را بدست آورید.

خطای نسبی	h (J-S)	$1/\sqrt{V}$	$\lambda(A^0)$	r (cm)	V (kv)

به سؤالات زیر پاسخ دهید:

۱ - چرا در مشاهدات روزمره ما طبیعت موجی ماده مشهود نیست؟

۲ - آیا اطلاعاتی که آزمایش پراش الکترون در باره بلورها به دست می‌دهد، با اطلاعات حاصل از پراش پرتو X متفاوت است؟ با آنچه آزمایشهای پراش نوترون می‌دهند چطور؟ توضیح دهید.

۳ - آیا طول موج دوبروی ذره می‌تواند از ابعاد ذره کوچکتر باشد؟ بزرگتر چطور؟

۴ - آیا بسامد موج الکترون به طور مستقیم قابل اندازه‌گیری است؟ بطور غیر مستقیم چطور؟

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

آزمایش فرانک هرتز

هدف آزمایش:

۱ - تحقیق کوانتیده بودن انرژی مدارهای اتمی

۲ - اندازه‌گیری اختلاف انرژی حالت پایه واولین حالت براگیخته اتم جیوه

Franck

Hertz

جیمز فرانک(۱۸۸۲-۱۹۶۴) فیزیکدان آلمانی وبعدا آمریکایی، استاد دانشگاه[۵]های گوتینگن و شیکاگو به خاطر کارش در زمینه تغییرات انرژی در برخوردهای الکترون، جایزه نوبل ۱۹۲۵ را به همراه همکارش گوستاو هرتز آلمانی دریافت کرد.

تئوری آزمایش:

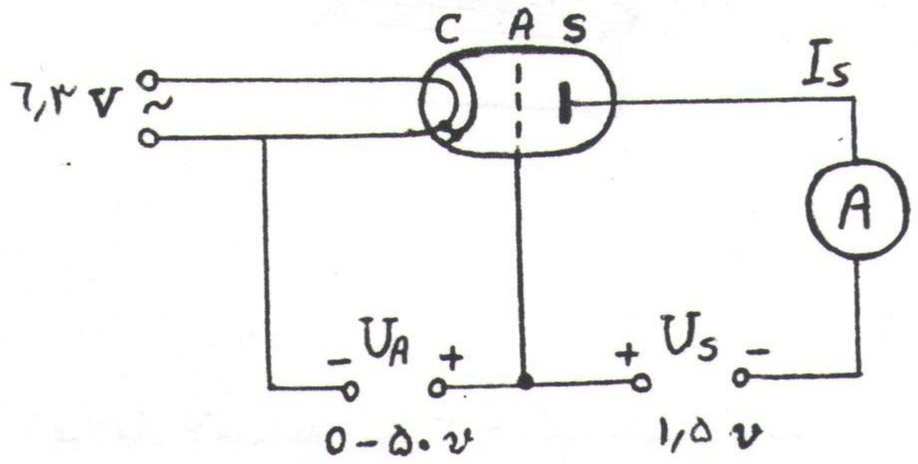
طبق نظریه بوهر الکترون در گردش خود به دور هسته در مدارهای "**مانا**" قرار دارد. الکترون در این مدارها تابش نمی‌کند. هنگامی که انرژی کافی به الکترون داده شود از یک مدار مانا به مدار مانای با انرژی بیشتر منتقل می‌شود. و بالعکس هنگامی که به مدار مانای با انرژی پایینتر انتقال یابد یک فوتون با انرژیی برابر با اختلاف انرژی دو مدار تابش می‌کند.

برانگیختن یک الکترون از یک مدار به مدار بالاتر می‌تواند به وسیله جذب انرژی نوری توسط اتم، یا برخورد ذرات مادی (مانند اتمها یا الکترونهای دیگر) به اتم مورد نظر صورت گیرد. اگر انرژی ذره برخورد کننده کمتر از اختلاف انرژی بین دو مدار باشد، انرژی مبادله نمی شود وبرخورد کشسان است. برعکس چنانچه انرژی مساوی یابیش از مقدار آستانه فوق باشد، برخورد ناکشسان بوده وانرژی ذره برخورد کننده توسط اتم جذب می‌شود. از طرفی اتم برانگیخته در هنگام بازگشت به حالت پایه، فوتون ساطع می‌کند.

روش آزمایش:

اندک زمانی پس از آنکه بوهر کوانتش انرژیهای اتمی را مطرح کرد، نظریه‌اش طی آزمایشی در خصوص جذب انرژی به وسیله برخورد اتمهای جیوه با الکترونها، که به توسط فرانک وهرتز در سال ۱۹۱۴ انجام گرفت، تایید شد.

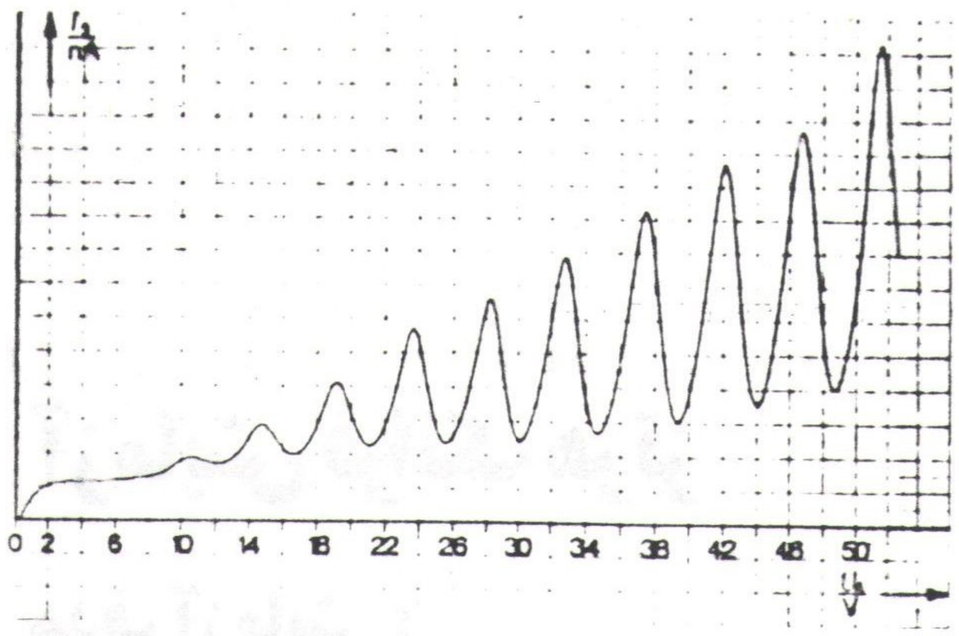
در این آزمایش، در یک لامپ مخصوص حاوی بخار جیوه (شکل ۱)، الکترونهاتوسط پدیده ترمویونیک از کاتد گسیل شده و سپس توسط ولتاژ شتاب‌دهنده U_A، به طرف



Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

آند شتاب می‌گیرند و نهایتا انرژی آنها از طریق الکترود شمارنده S و توسط آمپرمتر اندازه‌گیری می‌شود
ولتاژ معکوس U_S بین آند A و الکترود شمارنده S جهت حذف الکترونهای سرگردان اعمال می‌شود. با افزایش تدریجی U_A و در نتیجه افزایش انرژی جنبشی الکترونها، جریان I_s افزایش می‌یابد، ولیکن هنگامی که انرژی الکترونها برابر با انرژی اولین حالت برانگیخته اتمهای جیوه (تراز $6\ ^3p_1$) گردد، مبادله انرژی صورت گرفته و جریان I_s به طور ناگهانی کاهش می‌یابد. با افزایش بیشتر U_A مجددا جریان I_s افزایش یافته و بدین ترتیب در منحنی I_s بر حسب U_A به طور متوالی با افت و خیزهایی مواجه خواهیم بود.(شکل ۲)

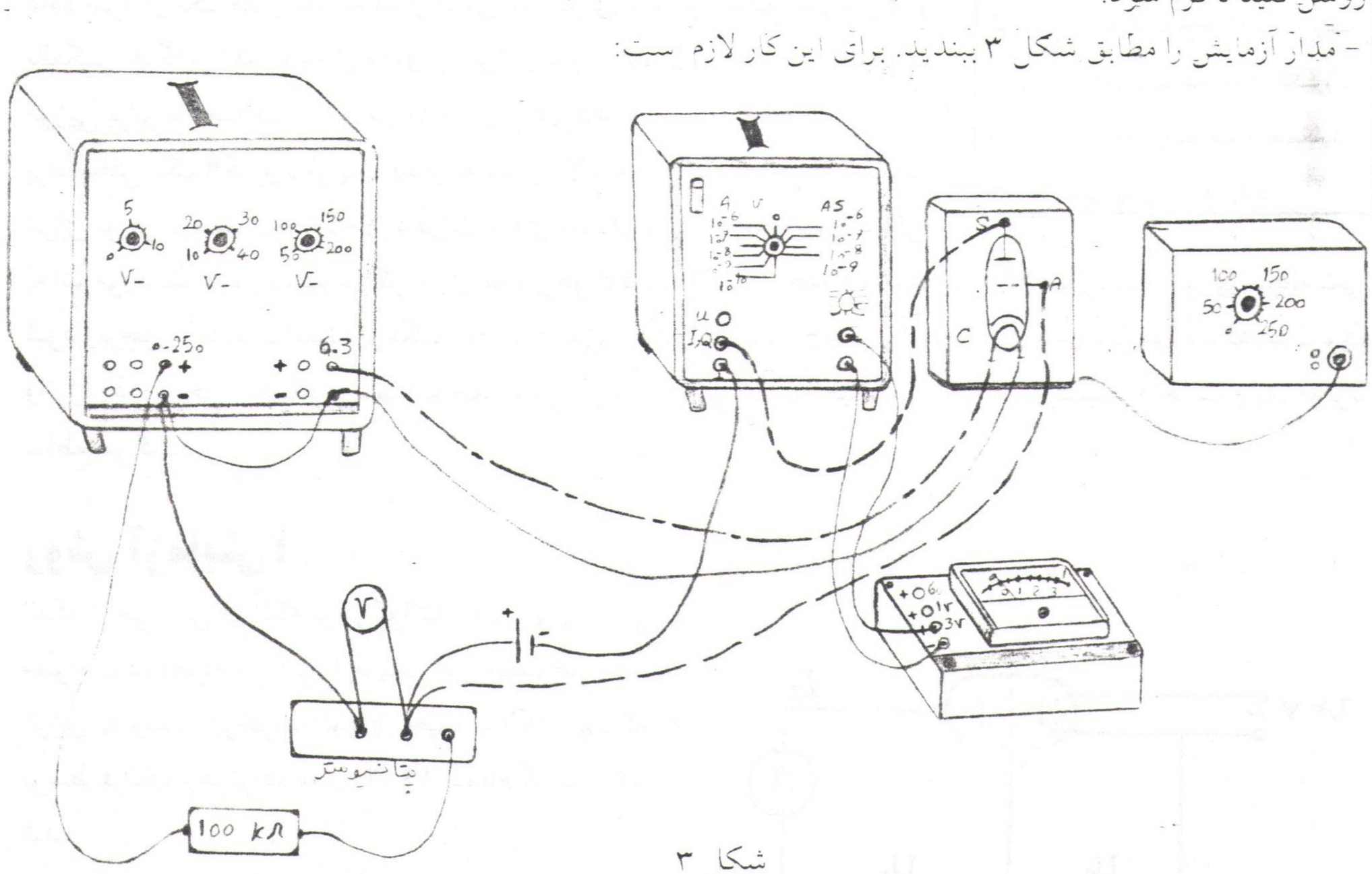


شکل ۲

کارهای آزمایش:

۱ - کوره‌ای که در آن لامپ فرانک-هرتز قرار دارد را به منبع تغذیه متصل کرده و آنرا در حدود ۲۰۰ ولت تنظیم نموده و روشن کنید تا گرم شود.

۲ - مدار آزمایش را مطابق شکل ۳ ببندید. برای این کار لازم است:



شکل ۳

- فیلامان لامپ به ولتاژ ۶/۳ ولت متصل گردد.
- آند و کاتد لامپ از طریق یک مقاومت ۱۰۰ kΩ (به طور سری) و یک پتانسیومتر به ولتاژ متغیر ۲۵۰ - ۰ ولت

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

متصل گردد. در این حال توسط یک ولتمتر این ولتاژ اندازه‌گیری می‌شود.

- الکترودهای A و S از طریق تقویت کننده جریان به یک ولتاژ معکوس ۱/۵ ولت متصل می‌گردد.
- توسط یک آمپر متر (یا ولت متر) جریان تقویت شده I_s اندازه‌گیری می‌شود.

۳ - هنگامی که دمای کوره به ۱۵۰-۱۴۰ درجه سانتیگراد رسید، با افزایش ولتاژ U_A در گامهای ۱ ولتی، جریان I_s را اندازه‌گیری کنید و نهایتا منحنی تغییرات I_s بر حسب U_A را رسم کنید.

توجه : چنانچه در حین آزمایش جریان I_s بیش از حد بالا رفت بهتر است یک مقاومت کوچک سر راه فیلامان قرار دهید.

به سوالات زیر پاسخ دهید:

۱ - با توجه به ولتاژ آستانه برای افت شدید جریان که در این آزمایش به دست آورده‌اید، طول موج نورگسیل شده از اتمهای جیوه را محاسبه کنید.

۲ - چرا منحنی به دست آمده جریان - ولتاژ در این آزمایش شکل تیزی ندارد؟

۳ - آیا مینیمم دوم منحنی، ناشی از دو برخورد متوالی الکترون با اتمهای جیوه است، یا ناشی از یک برخورد و برانگیختن اتم جیوه به حالت برانگیخته دوم؟

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

پدیدهٔ فاراده

هدف آزمایش:

۱ - مطالعه اثر فاراده

۲ - تعیین ثابت وردت شیشه فلینت .

مایکل فاراده (۱۸۶۷-۱۷۹۱) فیزیکدان انگلیسی و رئیس آزمایشگاههای علمی انجمن سلطنتی انگلیس؛ وی در زمینه آثار شیمیایی جریان الکتریسیته، موتورهای الکتریکی، تولید الکتریسیته از راه القای مغناطیسی فعالیتهای درخشانی انجام داده است

تئوری آزمایش:

فاراده در سال ۱۸۴۵ به طور تجربی دریافت که اگر یک دی‌الکتریک همسانگرد در یک میدان مغناطیسی قرار داده شود و یک پرتو نور قطبیده خطی در امتداد میدان از آن عبور کند، چرخشی در صفحه قطبیدگی نور خروجی دیده می‌شود. به عبارت دیگر وجود میدان باعث می‌شود که دی‌الکتریک از لحاظ نوری فعال شود. زاویه $\Delta\theta$ (بر حسب دقیقه قوسی) که صفحه ارتعاش به اندازه آن می‌چرخد، از رابطه تجربی زیر بدست می‌آید:

$$\Delta\theta = V B L$$

که در آن B شدت میدان مغناطیسی (معمولا بر حسب گاوس) و L طول قطعه‌ای (بر حسب سانتیمتر) که نور از آن عبور کرده است و V ضریب تناسب به نام ثابت وردت است. ثابت وردت برای یک قطعه خاص هم به دما و هم به طول موج بستگی دارد. بستگی آن به طول موج به صورت زیر است:

$$V(\lambda) = \frac{\pi}{\lambda} \frac{n^2 - 1}{n} \left(A + \frac{B}{\lambda^2 - \lambda_0^2} \right)$$

که در آن n ضریب شکست قطعه و A و B و λ_0 پارامترهای ثابتی هستند.

مقدار V برای گازها از مرتبه 10^{-2} min / Gs.cm و برای جامدات و مایعات از مرتبه 10^{-5} min / Gs.cm است. بررسی تئوری اثر فاراده مستلزم در نظر گرفتن فرضیه مکانیک کوانتمی پاشندگی از جمله اندرکنشهای اسپین-مدار و اثر میدان مغناطیسی بر روی ترازهای انرژی است [7]. ولی می‌توان آن را با یک مدل کلاسیکی نیز بطور کیفی توجیه کرد [4].

روش آزمایش:

در این آزمایش از نورلیزر قطبی شده با طول موج ۶۳۲۸ A^0 استفاده می‌شود. پرتو لیزر فوق از یک قطعه شیشه فلینت عبور داده شده و سپس توسط یک آنالیزور، جهت صفحه قطبش نور خارج شده از شیشه فلینت مشخص می‌گردد. پس از برقراری میدان مغناطیسی، مجددا جهت صفحه قطبش مشخص شده و میزان چرخش آن اندازه‌گیری می‌شود.

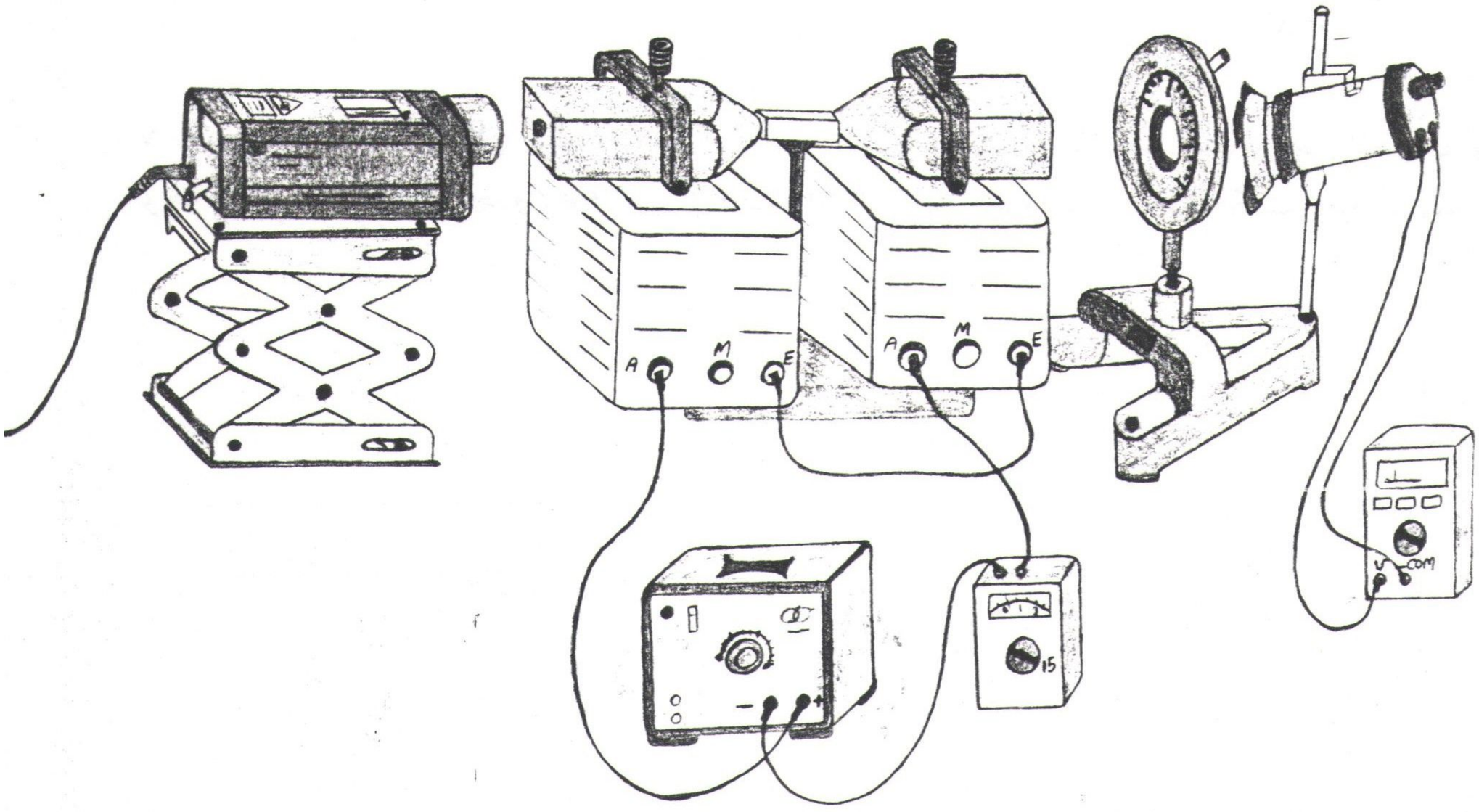
Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

در این آزمایش از قطبهای مخروطی سوراخدار استفاده می‌شود تا حتی المقدور میدان شدیدتری به وسیله الکترومگنت تهیه شود. این قطبها باید به گونه‌ای به الکترومگنت محکم شوند تا بتوان از داخل سوراخ آنها نور را به موازات میدان مغناطیسی از قطعه عبور ومورد مطالعه قرار داد.

کارهای آزمایش:

۱ - وسایل آزمایش را مطابق شکل سوار کنید.



۲ - وسایل را به گونه‌ای هم‌خط کنید که نور لیزر پس از عبور از سوراخ قطبهای مخروطی وشیشه فلینت وآنالیزور، منطبق بر شکاف فتوسل گردد.

۳ - آنالیزور را آنقدر بچرخانید تا فتوسل تاریکترین وضعیت را نشان دهد(موقعیت A).

۴ - منبع تغذیه الکترومگنت را روشن کرده و جریان عبوری را برابر ۲A تنظیم کنید. مشاهده می‌شود که با اعمال میدان مغناطیسی، وضعیت کاملا تاریک، کمی روشنتر می‌گردد. اکنون آنالیزور را به مقدار بسیار جزئی و به آهستگی بچرخانید تا دوباره به تاریکترین وضعیت برسید(موقعیت B). در این حال جریان و زاویه را یادداشت کنید.

۵ - قطبین الکترومگنت را عوض کرده و با اعمال همان مقدار جریان قبلی،مجددا تاریکترین وضعیت آنالیزور را به دست آورید(موقعیت C).

۶ - موقعیت B و C را برای جریانهای ۴A ، ۶A و ۸A نیز بدست آورده و نتایج را در جدول صفحه بعد یادداشت کنید. (توجه کنید که موقعیت A در نتایج شما تاثیری ندارد و فقط عاملی برای چک کردن داده های بدست آمده است زیرا موقعیت A بایستی تقریبا وسط دو موقعیت B و C باشد.)

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

I (A)	B (G)	θ(B موقعیت)	θ(C موقعیت)	$2\ \Delta\theta = \theta_C - \theta_B$ (min)
۲	۳۳۰			
۴	۶۷۰			
۶	۱۱۱۰			
۸	۱۷۸۰			

۷ - منحنی $\Delta\theta$ بر حسب B را رسم کرده و با استفاده از شیب منحنی بدست آمده ثابت وردت را بدست آورید.
توجه کنید که مقادیر B در جدول فوق به ازای فاصله ۲۰ mm بین مخروطهای الکترو مگنت برقرار هستند.

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

منابع:

۱ - ریچارد وایدنر، رابرت سلز، مبانی فیزیک نوین، ترجمه علی اکبر بابایی، مهدی صفا، مرکز نشر دانشگاهی

۲ - هانس سی اهانیان، فیزیک نوین، ترجمه دکتر جلال‌الدین پاشایی راد، بهرام معلمی، نشر کتاب ماد

۳ - رابرت آیزبرگ، رابرت رزنیک، فیزیک کوانتمی، ترجمه ناصر نفری، مرکز نشر دانشگاهی

۴ - یوجین هشت، آلفرد زایاک، نورشناخت، ترجمه پروین بیات مختاری، حبیب محمدی ذوالبنین، مرکز نشر دانشگاهی

5 - H.F.Meiners & et. al. , Laboratory Physics , John Wiley & Sons (1987)

6 - University Laboratory Experiments Physics , Phywe (1995)

7 - R.M.White , Quantum Theory of Magnetism , Springer-Verlag(1983)

8 - A.C.Melissinos , Experiments in Modern Physics , Academic Press (1966)

9 - W.H.J.Childs, Physical Constants (1972)

Sample output to test PDF Combine only