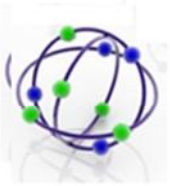
دستور کار

آزمایشگاه فیزیک مدرن

modern physics laboratory

manual



تهیه و تنظیم:

دکتر مهناز محمدی

فهرست

آزمایش شماره۱: پدیده فوتوالکتریک ۳
آزمایش شماره ۲: بیناب مرئی اتم هیدروژن ۸
آزمایش شماره ۳: گسیل و جذب نور ۱۴
آزمایش شماره۴: فرانک-هرتز ۱۶
آزمایش شماره ۵: آزمایش میلیکان ۲۲
آزمایش شماره ۶: اثر زیمن ۲۶
آزمایش شماره ۷: تابش جسم سیاه ۳۱
آزمایش شماره ۸: اثر هال ۳۵

آزمایش شماره ۱

پدیده فوتوالکتریک

هدف آزمایش:

۱) بررسی پدیده فوتوالکتریک

۲) اندازه گیری ثابت پلانک (h)

۳) اندازه گیری تابع کار یک فلز (W_φ')

تئوری آزمایش:

ماکسول با استفاده از معادلات الکترومغناطیس، امواج الکترومغناطیس را پیش بینی کرد. بیست سال بعد در سالهای ۱۸۸۶ و ۱۸۸۷، هاینریش هرتز آزمایش‌هایی انجام داد که برای اولین بار وجود امواج الکترومغناطیسی و نظریه الکترومغناطیس ماکسول درباره انتشار نور را تأیید می‌کردند. هرتز کشف کرد که وقتی نور فرابنفش بر یکی از الکترودها می‌تابد، تخلیه الکتریکی بین دو الکترود بهتر به وقوع می‌پیوندد. در ادامه بعضی از آزمایش‌ها نشان دادند که نور فرابنفش با فراهم آوردن موجبات گسیل الکترون از سطح کاتد، تخلیه الکتریکی را سهولت می‌بخشد. بیرون اندازی الکترون‌ها از یک سطح در اثر کنش نور، به اثر فوتوالکتریک موسوم است.

در یک فلز، الکترون‌ها روی سطح فلز مقید هستند و انرژی مشخصی دارند (بسته به این که در کدام تراز انرژی قرار گرفته باشند). با تابانیدن نور به سطح فلز، در شرایط خاصی الکترون از سطح فلز آزاد می‌شود. هرگاه نور با فرکانس مناسبی برسطح فلز بتابد، الکترون از سطح فلز آزاد می‌شود. نتایج تجربی نشان می‌دهد که:

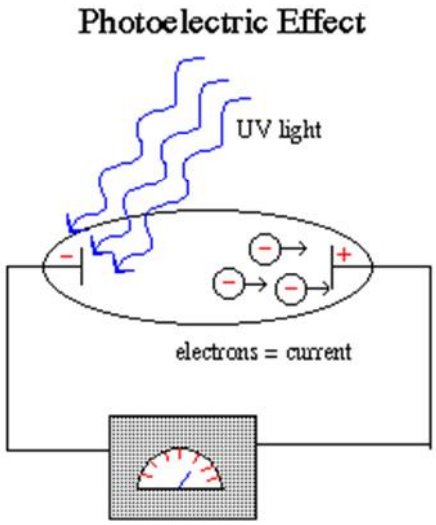
۱) تعداد الکترونهایی که در واحد سطح از فلز جدا می‌شوند، با شدت نور تابشی متناسب است (نسبت مستقیم دارد).

۲) برای هرفلز معین فرکانس آستانه‌ای برای نور تابیده شده وجود دارد که به ازای فرکانس‌های کمتر از آن به هیچ عنوان الکترون از سطح فلز آزاد نمی‌شود.

$$\nu \geq \nu_0$$

۳) حداکثر انرژی جنبشی الکترون‌های تولید شده که اصطلاحاً آنها را فوتوالکترون می‌نامیم به فرکانس نور تابش شده بستگی داشته و از شدت نور تابشی مستقل است.

۴) گسیل فوتوالکترون بدون درنگ زمانی انجام می‌شود، حتی اگر شدت نور چشمه بسیار اندک باشد. در حقیقت یک زمان بسیار اندک در حدود 3×10^{-9}s لازم است تا الکترون از سطح فلز کنده شود بنابراین این یک پدیده آنی است.

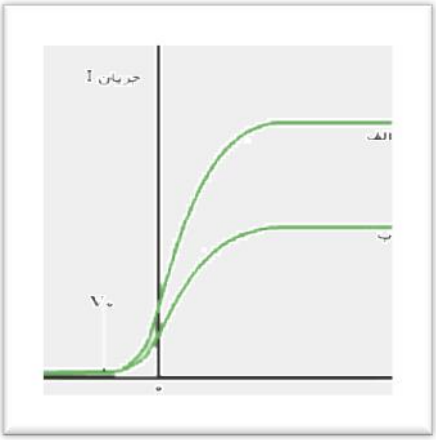


شکل مقابل دستگاهی را نشان می‌دهد که از آن برای مطالعه اثر فوتوالکتریک استفاده می‌شود. این دستگاه شامل یک لامپ خلأ است که دارای یک سطح کاتد و آند می‌باشد. یک پوشش شیشه‌ای دستگاه آزمایش را در فضای تخلیه شده از هوا قرار می‌دهد. نور تکفام با عبور از پنجره کوارتزی، برصفحه فلزی فرود می‌آید و الکترونهای موسوم به فوتوالکترونها را آزاد می‌کند. در مدار دستگاه، یک میکروآمپرسنج حساس، یک ولتمتر و یک رئوستا قرار دارد. زمانی که بین آند و کاتد اختلاف پتانسیل اعمال می‌شود، چون بین آنها هیچ ارتباطی وجود ندارد و خلأ است، جریانی در مدار برقرار نمی‌شود ولی اگر یک فوتون $h\nu$ به کاتد بتابانیم، می‌توانیم یک الکترون آزاد کنیم و می‌توان جریان الکتریکی برقرار ساخت.

برای اندازه گیری این جریان از آمپرسنج استفاده می‌شود. چنانچه یک جریان از باتری در جهت موافق با فوتوالکتریک بفرستیم، شدت جریان در مدار افزایش یافته، الکترون‌های بیشتری از سطح فلز کنده شده و آمپرسنج جریان بیشتری را نشان می‌دهد. اگر اختلاف پتانسیل به حد کافی زیاد شود، جریان فوتوالکتریک به مقدار حدی (اشباع) معینی می‌رسد. (نمودار (۱-الف)). لازم به ذکر است اگر علامت اختلاف پتانسیل معکوس شود، یعنی در مدار، جریانی مخالف با جهت جریان فوتوالکتریک برقرار شود (در اصطلاح سد پتانسیل ایجاد کنیم)، با افزایش اختلاف پتانسیل معکوس، جریان مدار کم کم به سمت صفر میل می‌کند و به سرعت صفر نمی‌شود و این اشاره برآن دارد که الکترونها با انرژی جنبشی گسیل می‌یابند و بعضی از این الکترونها علی رغم اینکه میدان الکتریکی با حرکتشان مخالفت می‌ورزد، به آند می‌رسند. در حقیقت تنها الکترونهایی که دارای سرعت بیشینه هستند (V_{max})، از سد پتانسیل عبور می‌کنند. اگر این اختلاف پتانسیل معکوس به قدر کافی بزرگ شود و به مقدار u_0 که به پتانسیل توقف موسوم است برسد در آنجا جریان به صفر می‌رسد. حاصلضرب اختلاف پتانسیل u_0 در بار الکترون، انرژی جنبشی (K_{max}) سریع‌ترین فوتوالکترونهای بیرون انداخته شده را اندازه می‌گیرد:

$$\frac{1}{2} m v_{max}^2 = e u_0$$

تجربه نشان می‌دهد که کمیت K_{max} از شدت نور مستقل است. این موضوع در منحنی ب در شکل ۱ نشان داده شده است. در این منحنی شدت نور به نصف مقدار مورد استفاده در منحنی الف کاهش یافته اما مقدار u_0 همچنان ثابت است.



شکل ۱

در اثر فوتوالکتریک ۳ وجه عمده وجود دارد که برحسب نظریه موجی کلاسیک قابل توجیه نیستند:

۱) نظریه موجی ملزم می‌دارد که دامنه بردار الکتریکی نوسان کننده E موج نور با ازدیاد شدت باریکه نور افزایش می‌یابد. چون نیروی وارد بر الکترون Ee است، بنابراین بایستی انرژی جنبشی فوتوالکترونها نیز با ازدیاد شدت نور، افزایش یابد. لیکن در نتایج تجربی دیدیم که انرژی جنبشی بیشینه از شدت نور مستقل است.

۲) بنابر نظریه موجی، چنانچه شدت نور مناسب باشد، اثر فوتوالکتریک باید در هر بسامدی از نور اتفاق بیفتد. در صورتی که در عمل، برای هر سطحی یک بسامد حدی مشخص ν_0 وجود دارد.

۳) در نظریه موجی، انرژی نور به صورت یکنواخت روی جبهه موج توزیع می‌شود. بنابراین اگر شدت نور به قدر کافی ضعیف باشد، باید بین زمانی که فرود آمدن نور برسطح فلز آغاز می‌شود و زمان بیرون اندازی فوتوالکترون یک تأخیر زمانی قابل اندازه‌گیری وجود داشته باشد، ولی تاکنون هیچ تأخیر قابل مشاهده‌ای اندازه گیری نشده است.

در سال ۱۹۰۵ اینشتین نظریه کلاسیک نور را مورد سؤال قرار داد و نظریه نوینی را پیشنهاد کرد. در این نظریه از اثر فوتوالکتریک برای اثبات موضوع استفاده شده بود. اینشتین استدلال کرد که آزمایش‌های اپتیکی مشهور درباره تداخل و پراش تابش الکترومغناطیسی تنها در شرایطی انجام گرفته بودند که تعداد بسیار زیادی از بسته‌های متمرکز نور به نام فوتون که کوانتیده هستند را شامل می‌شدند. اینشتین توجه خود را نه برطریق آشنای انتشار موج گونه تابش بلکه به طرز گسیل و جذب ذره گونه تابش متمرکز کرد. وی چنین استدلال کرد که شرط پلانک، در یک چشمه تابنده محتوی انرژی امواج الکترومغناطیسی با بسامد ν تنها می‌تواند ۰، $h\nu$،

$h\nu$، $2h\nu$، $3h\nu$ و... یا $nh\nu$ باشد، بیانگر آن است که چشمه در جریان گذار از حالت انرژی $nh\nu$ به حالت انرژی $(n-1)\ h\nu$ یک بسته متمرکز گسسته از انرژی با محتوی $h\nu$ گسیل می‌دارد:

$$E = h\nu$$

اینشتین همچنین فرض کرد که در فرآیند فوتوالکتریک، یک فوتون کاملاً توسط یک الکترون در فوتو کاتد جذب می‌شود. وقتی الکترون از سطح فلز گسیل می‌یابد، انرژی جنبشی آن برابر با:

$$K = h\nu - w$$

خواهد بود که در آن $h\nu$ انرژی فوتون فرودی جذب شده و w کار لازم برای جداکردن الکترون از فلز است. این مقدار کار برای غلبه بر میدان‌های ربایشی اتم‌های درون سطح و افت انرژی جنبشی ناشی از برخوردهای درونی الکترون مورد نیاز است. بعضی الکترونها از بعضی دیگر مقیدترند و برخی در اثر برخوردهای حین خروج، انرژی از دست می‌دهند. در مورد سست‌ترین بستگی و عدم افت انرژی درونی، فوتوالکترون با انرژی جنبشی بیشینه K_{max} بیرون می‌آید. از این رو :

$$K_{max} = h\nu - w_{\varphi}$$

در این رابطه، w_{φ} یعنی انرژی مشخصه فلز موسوم به تابع کار عبارت است از انرژی کمینه مورد نیاز الکترون برای عبور از سطح فلز و فرار از نیروهای ربایشی که معمولاً الکترون را به فلز پیوند می‌دهند. در سال ۱۹۲۱ اینشتین جایزه نوبل را به خاطر پیشگویی نظری قانون فوتوالکتریک دریافت کرد.

در نتیجه با توجه به مشاهده‌های تجربی و پیشگویی نظری اینشتین، می‌توان این گونه نوشت:

$$v_0 = \frac{h}{e}\nu - \frac{w_{\varphi}}{e}$$

روش انجام آزمایش:

در این آزمایش همان طور که در تئوری هم اشاره شد، دستگاه از یک جعبه فوتوالکتریک که قسمت اپتیکی و فتوسل در آن قرار گرفته تشکیل شده است. فتوسل یک لامپ خلأ است که دارای یک سطح کاتد و آند است. در خارج از دستگاه، یک میکروآمپرسنج حساس و یک ولتمتر است که به ترتیب به صورت سری و موازی در مدار قرار گرفته‌اند. یک رئوستا داخل مدار قرار می‌دهیم تا بتوانیم اختلاف پتانسیلهای مختلف را به مدار اعمال کنیم. باتری را به گونه‌ای به مدار وصل می‌کنیم که جریانی مخالف با جهت جریان فوتوالکتریک تولید نماید.

لامپ جیوه را روشن کرده و آن را مقابل جعبه فوتوالکتریک قرار دهید تا با عبور نور از سیستم اپتیکی داخل اتاقک طیف آن تشکیل شود و با تغییر پیچ کنار جعبه فوتوالکتریک نور زرد را به داخل فوتوسل هدایت کنید. دریچه ورود نور دستگاه را ببندید و دستگاه اندازه گیری را روشن کنید تا گرم شود و به حالت پایدار برسد.

سپس ولتاژ معکوس را روی صفر قرار داده و پیچ صفر کننده (Zero ad.) گالوانومتر دستگاه اندازه گیری را صفر کنید. دامنه تقویت را توسط پیچ مربوطه افزایش داده مجدداً گالوانومتر را صفر کنید و این عمل را برای دامنه‌های تقویت بالاتر نیز تکرار کنید. حال دریچه را باز کنید و انحراف عقربه گالوانومتر را ملاحظه نمایید. بین دو الکترود پتانسیل معکوس اعمال کنید تا عقربه گالوانومتر به صفر برسد و ولتاژ را قرائت کنید.

این کار را برای رنگ‌های سبز، آبی، نیلی و بنفش تکرار کنید.

با استفاده از رابطه زیر مقدار h ثابت پلانک و w_{φ} تابع کار فلز را به دست آورید.

$$v_0 = \frac{h}{e}\nu - \frac{w_{\varphi}}{e}$$

سؤالات:

۱) تابع کار یک فلز چیست و به چه عواملی بستگی دارد؟

۲) تعداد الکترون‌هایی که در واحد زمان از سطح فلز ساطع می‌شود به چه عواملی بستگی دارد؟

۳) منحنی پتانسیل توقف برحسب فرکانس را رسم نموده و شیب آن را به دست آورید؟

۴) به کمک منحنی، ثابت پلانک و تابع کار فوتوسل را پیدا کنید؟

۵)) با استفاده از روش حداقل مربعات، خطا در محاسبه ثابت پلانک و تابع کار فوتوسل را پیدا کنید؟

۶) فرکانس آستانه سلول فتوالکتریک را به دست آورید؟

آزمایش شماره ۲:

بیناب مرئی‌اتم هیدروژن

هدف آزمایش:

۱) اندازه گیری طول موج‌های سری بالمر اتم هیدروژن

۲) اندازه گیری ثابت ریدبرگ با استفاده از سری بالمر

تئوری آزمایش:

تا کنون نظریه‌های مختلفی درباره اتم مطرح شده که هر یک به شکلی آن را توصیف می‌کند ابتدایی‌ترین توصیف طیف اتمی مدل کیک کشمشی تامسون بود. رادرفورد مدل سیاره‌ای را مطرح کرد بر طبق مدل سیاره‌ای، الکترون در یک مدار دایروی بدور هسته گردش می‌کند (همچون گردش سیارات منظومه شمسی بدور خورشید) در این مدل الکترون صرفاً بصورت یک ذره کلاسیک و تابش الکترومغناطیس نیز صرفاً به صورت امواج پیوسته در نظر گرفته می‌شوند. این مدل به دلیل منظور نکردن خواص موجی الکترون و خواص ذره‌ای تابش الکترومغناطیسی با شکست مواجه شد.

نخستین نظریه نیمه کلاسیک، نیمه کوانتومی اتم هیدروژن در سال ۱۹۱۳ توسط نیلز بوهر ارائه شد. اصول موضوعه این نظریه که تلفیقی از قوانین کلاسیک مکانیک و الکترومغناطیس و قوانین کوانتومی تابش پلانک – انیشتین است به قرار زیر است.

۱- الکترون تحت تأثیر نیروی جاذبه کولنی هسته در مدارهایی دایروی بدور هسته گردش می‌کند.

$$F = K\frac{e^2}{r^2} = m\frac{v^2}{r}$$

۲- الکترون تنها در مدارهایی بدور هسته گردش می‌کند (مدارهای مجاز) که در آنها، اندازه حرکت زاویه‌ای الکترون مضرب درستی از $\hbar$ باشد.

$$L = m\,v\,r = n\,\hbar$$

۳- مادامی که الکترون در مدارهای مجاز قرار دارد انرژی تابش نمی‌کند. این برخلاف نظریه الکترومغناطیس کلاسیک ماکسول است که بر طبق آن ذره باردار شتابدار به هرصورت انرژی تابش می‌کند.

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) $h\upsilon$ تابش می‌کند.

$$E_u - E_\ell = h\upsilon = h\frac{c}{\lambda}$$

که در آن E_u انرژی الکترون در مدار بالائی و E_ℓ انرژی آن در مدار پائینی است.

مطابق تئوری بوهر انرژی مدارهای مجاز به صورت $E_n = -\frac{1}{n^2}\ \frac{mk^2e^4}{\hbar^2}$ محاسبه می‌شود که در آن n شماره مدار مجاز، $K = \frac{1}{4\pi\varepsilon_\circ}$، m و e به ترتیب جرم و بار الکترون است.

با قرار دادن $n = 1$ انرژی اولین مدار بوهر، $E_۱ = -۲/۱۷۶ * ۱۰^{-۱۸}\ J = -۱۳/۶\ eV$ بدست می‌آید. انرژی مدارهای بعدی برابر $E_n = \frac{1}{n^2}E_1$ خواهد شد.

$E_۲ = \frac{۱}{۴}\ (-۱۳/۶) = -۳/۴\ eV$ و $E_۳ = \frac{۱}{۹}\ (-۱۳/۶) = -۱/۵۱\ eV$ ،...

بدین ترتیب چنانچه الکترون بخواهد از مدار شماره ۱ به مدار شماره ۲ انتقال یابد باید انرژی معادل

$$\Delta E = E_۲ - E_۱ = -۳/۴ - (-۱۳/۶) = ۱۰/۲\ eV$$

را دریافت کند که در بازگشت همین مقدار انرژی را به صورت یک فوتون نوری به طول موج λ تابش نماید ($\Delta E = h\upsilon = h\frac{c}{\lambda}$) که این طول موج در ناحیه فرابنفش قرار دارد.

هیدروژن یک سری خطوط طیفی در ناحیه مرئی دارد که از سالهای قبل از ارائه تئوری بوهر، در سال ۱۸۸۵ توسط بالمر مطالعه و طول موج آنها بطور تجربی اندازه گیری شده بود. بالمر توانست با استفاده ازیک فرمول، طول موج اولین ۹ خط رشته، یعنی تمام خطوط شناخته شده تا آن زمان را با تقریبی بهتر از یک در هزار پیشگویی کند. این معادله عبارت بود از:

$$\lambda = B\frac{m^2}{m^2-n^2}\quad n = 2\ \&\ m = 3,4, \ldots.$$

n: تراز پایه

m: شماره ترازی است که الکترون از آن تراز به تراز بالاتر می‌رود.

B= 3465 Å: حد سری

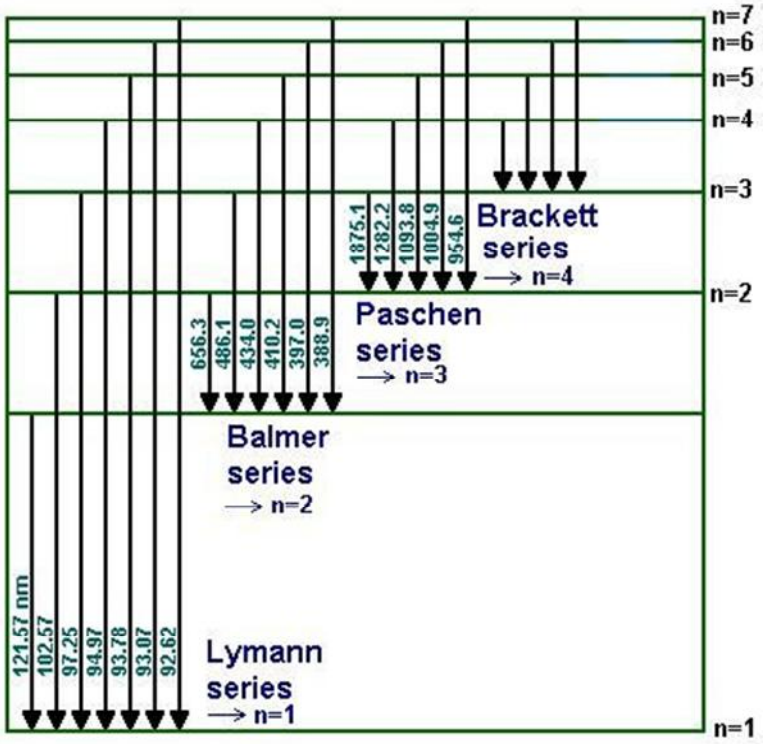
فرض کنید از برانگیخته کردن اتم هیدروژن خطوط (قرمز، سبز، آبی، بنفش) را داشته باشیم. برای به دست آوردن محدوده طول موجی اتم هیدروژن از رابطه بالمر استفاده کرده به قرمز m=3 را نسبت می‌دهیم و به ترتیب خواهیم داشت: m=4 (سبز)، m=5 (آبی) و m=6 (بنفش). در نتیجه خواهیم داشت:

$$\lambda_{\text{قرمز}} = B\frac{9}{5} = 6500\text{Å}$$

$$\lambda_{\text{سبز}} = B\frac{36}{32} = 3600\text{Å} \;\&\; ....$$

ما در اینجا مطمئن هستیم که n=2 حالت پایه ماست. چون فقط سری بالمر است که با چشم قابل مشاهده است و در این سری حالت پایه از n=2 شروع می‌شود. از طرفی چون قرمز بیشترین طول موج را دارد، پس کمترین انرژی را خواهد داشت و این معادل داشتن تراز m=3 برای این رنگ می‌باشد. خطوط طیفی مشاهده شده براساس طول موج تنظیم شده است (یعنی از بیشترین طول موج به سمت کمترین طول موج).

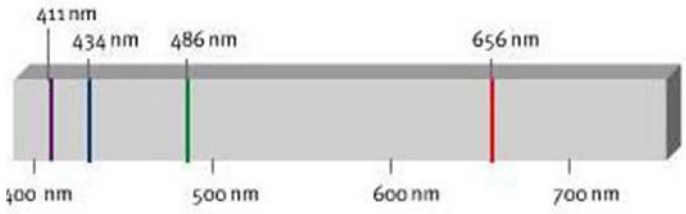
در شکل زیر کلیه انتقالات الکترونی‌اتم هیدروژن نشان داده شده‌اند چنانچه روشن است در انتقالات اتم هیدروژن چندین سری دیده می‌شود:



۱) سری لیمان (ni→n1) : چون در این انتقالات برگشت به تراز اول صورت می‌گیرد. انرژی نور حاصله بسیار بالا بوده و طول موج آن به قدری کوتاه است که در منطقه فرا بنفش قرار می‌گیرد. از این رو سری لیمان طیف قابل دیدن نیست.

۲) سری بالمر (ni→n2): در این سری، الکترون برانگیخته به تراز دوم بر می‌گردد. انرژی و طول موج مربوط به این انتقالات در محدوده مرئی بوده و طیف آن قابل دیدن است.

۴) طیف مرئی در سری بالمر ناشی از انتقالات زیر هستند: (n6→n2) به رنگ بنفش با طول موج ۴۱۰ نانومتر (n5→n2) به رنگ آبی با طول موج ۴۳۴ نانومتر (n4→n2) به رنگ سبز با طول موج ۴۸۶ نانومتر (n3→n2) به رنگ قرمز با طول موج ۶۵۶ نانومتر.



۳) سری پاشن (ni→n3): بر گشت الکترون به تراز سوم می باشد. اختلاف انرژی در ترازهای بالاتر کمتراست بنابراین در سری پاشن اختلاف انرژی به قدر کافی کم و طول موج به اندازه کافی بزرگ است که این انتقالات در محدوده فروسرخ قرار بگیرند از این رو طیف سری پاشن هم قابل رویت نیست.

۴) سری براکت (ni→n4): برگشت به تراز چهارم است و مانند سری لیمان در محدوده فروسرخ قرار گرفته از این رو سری براکت نیز طیف مرئی ندارد.

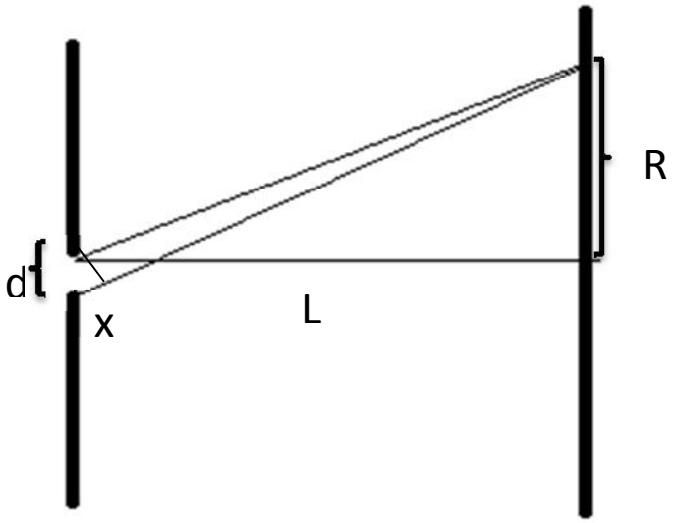
کشف بالمر آغازگر جستجو برای فرمولهای مشابهی شد که در مورد رشته خطوط معینی کاربرد پیدا می‌کردند، رشته خطوطی که گاه در توزیع خطوط پیچیده تشکیل دهنده طیف عناصر دیگر قابل تشخیص بودند. بخش اعظم این کار در سال ۱۸۹۰ توسط ریدبرگ انجام شد. ریدبرگ کارکردن با عکس طول موج خطوط را از کارکردن با طول موج آن‌ها مناسب‌تر یافت. فرمول بالمر را می‌توان برحسب عکس طول موج به صورت زیر نوشت که در آن R_H به ثابت ریدبرگ برای هیدروژن موسوم است.

$$\frac{1}{\lambda} = R_H\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right)$$

شرح آزمایش:

در این آزمایش براساس رابطه ریدبرگ در سری بالمر R_H به دست می‌آید.

در این روش لامپ هیدروژن را به منبعی با ولتاژ بالا (High Volt) وصل کرده که باعث برانگیخته شدن الکترون‌های اتم هیدروژن می‌شود و به سرعت با آزاد کردن انرژی به حالت پایه بر می گردند. نور مرئی حاصل شده مربوط به سری بالمر می‌باشد. چون فاصله شکاف در توری کم است، مطابق شکل زیر پس می‌توان نوشت:



$\sin\Theta=x/d$

که در آن x اختلاف راه نوری دو دسته پرتو که از توری به پرده می‌رسند است. بنابراین

$X=d\sin\Theta=n\lambda$

روش انجام آزمایش:

توری پراش را در محل خود روی میزچه اسپکترمتر قرار داده و سطح آن را بر امتداد لوله کلیماتور (موازی ساز) عمود نمایید و پیچ میزچه را محکم کنید تا در حین آزمایش حرکت نکند. لامپ هیدروژن را به گیره مربوطه و منبع تغذیه متصل کرده و کلید منبع ورودی را روی low قرار دهید. شکاف لوله موازی ساز اسپکترومتر را کمی باز کنید و از درون چشمی دوربین اسپکترومتر نور لامپ را مشاهده کنید و بتدریج پهنای شکاف را کاهش دهید تا باریکه کوچکی از نور وارد دستگاه شود. تار عمدی چشمی دوربین را بر روی این باریکه (که به رنگ نور لامپ دیده می‌شود) منطبق نموده و θ_{0° را اندازه بگیرید. لوله اسپکترومتر را بچرخانید تا بر روی یکی از خطوط رنگی طیفی منطبق کرده و θ مربوطه را یاداشت کنید و با استفاده از رابطه زیر λ را بدست آورید.

$$m\lambda=d\sin(\theta_1-\theta_\circ)$$

سؤالات:

۱- θ خطوط قرمز، آبی، بنفش ۱ و بنفش ۲ را اندازه بگیرید و λ را برای هریک از خطوط محاسبه کنید؟

۲-فرکانس را برای هریک از خطوط از رابطه $\nu = \frac{c}{\lambda}$ به دست آورید. سپس انرژی هریک از خطوط را به دست آورید؟

۵-به کمک رابطه زیر، مقدار R_H را برای اتم هیدروژن تعیین کنید؟ R_H میانگین را محاسبه کنید؟

$$\frac{1}{\lambda} = R_H(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2})$$

۶-درصد خطای دیفرانسیلی را بیابید؟

۷-خطای ایجاد شده را ناشی از چه می دانید؟

۸- با قرار دادن R_H در دنباله‌های لیمان، پاشن، براکت و پفوند محدوده فرکانس و طول موج هر دنباله را تعیین و در جدول زیر درج نمایید. علت عدم مشاهده سایر دنباله‌ها در آزمایش را توضیح دهید؟

دنباله	λ_{max}	ν_{max}	λ_{min}	ν_{min}
لیمان				
بالمر				
پاشن				
براکت				
پفوند				

۹-علت گسسته بودن طیف عناصر گازی و پیوسته بودن طیف عناصر جامد و مایع را توضیح دهید؟

آزمایش شماره ۳:

گسیل و جذب نور

هدف آزمایش:

مشاهده طیف گسیلی و جذبی سدیم و محاسبه طول موج‌های آن

تئوری آزمایش:

همانطور که می‌دانیم نیوتون برای نخستین بار با گذراندن نور خورشید از منشور، طیف نور سفید را تشکیل داد. نیوتون نشان داد که طیف نور سفید یک طیف پیوسته است و آمیزه‌ای از رنگهای مختلف است که گسترده طول موجی این رنگها از ۰/۴ میکرومتر (بنفش) تا ۰/۷ میکرومتر (قرمز) است. به همین ترتیب می‌توان طیف هر نوری را توسط پاشندگی در منشور شناسایی کرد. طیف اتمی هیدروژن، اولین طیفی بود که بطور کامل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

طیف جذبی

در سال ۱۸۱۴ میلادی فرانهوفر فیزیکدان آلمانی کشف کرد که اگر به دقت به طیف خورشید بنگریم، خطهای تاریکی در طیف پیوسته آن مشاهده خواهیم کرد. این مطلب نشان می‌دهد که بعضی از طول موجها در نوری که از خورشید به زمین می‌رسد، وجود ندارد و به جای آنها، در طیف پیوسته نور خورشید خطهای تاریک (سیاه) دیده می‌شود. اکنون می‌دانیم که گازهای عنصرهای موجود در جو خورشید، بعضی از طول موجهای گسیل شده از خورشید را جذب می‌کنند و نبود آنها در طیف پیوسته خورشید به صورت خطهای تاریک ظاهر می‌شود. در اواسط سده نوزدهم معلوم شد که اگر نور سفید از داخل بخار عنصری عبور کند و سپس طیف آن تشکیل شود (طیف جذبی)، در طیف حاصل خطوط تاریکی ظاهر می‌شود. این خطوط توسط اتمهای بخار جذب شده‌اند.

به طور کلی نتایج طیف نگاری نشان می‌دهد که

۱. هم در طیف گسیلی و هم در طیف جذبی هر عنصر، طول موجهای معینی وجود دارد که از ویژگیهای مشخصه آن عنصر است. یعنی طیفهای گسیلی و جذبی هیچ دو عنصری مثل هم نیست.

۲. اتم هر عنصر دقیقاً همان طول موجهایی از نور سفید را جذب می‌کند که اگر دمای آن به اندازه کافی بالا رود و یا به هر صورت دیگر بر انگیخته شود، آن‌ها را تابش می‌کند.

درک ساز و کار جذب و گسیل نور بوسیله اتم‌ها از دیدگاه فیزیک کلاسیک آسان است. زیرا بنابر نظریه‌های کلاسیکی یک اتم در صورتی نور گسیل می‌کند که به طریقی مانند برخورد با سایر اتمها یا توسط میدان الکتریکی به الکترونهای آن انرژی داده شود، در نتیجه الکترونها با به دست آوردن انرژی ارتعاش می‌کنند و امواج

الکترومغناطیس بوجود می‌آورند، یعنی نور گسیل می‌کنند. اما این که چرا اتمهای همه عنصرها موج الکترومغناطیسی با طول موجهای یکسان نمی‌کنند و این که چرا هر عنصر طول موج خاص خود را دارد، از دیدگاه فیزیک کلاسیک قابل توجیه نیست. در مورد جذب نور هم، از دیدگاه فیزیک کلاسیک، می‌توان گفت که وقتی نور به یک اتم می‌تابد، نوسان میدان الکتریکی ناشی از نور فروری باعث می‌شود که الکترونهای اتم شروع به ارتعاش کنند و نور فرودی را جذب کنند. ولی باز هم در این دیدگاه هیچ توجیه قانع کننده‌ای برای این که چرا هر عنصر تنها طول موجهای خاصی را که مشخصه آن عنصر است جذب می‌کند و بقیه طول موجها را جذب نمی‌کند؟ وجود ندارد.

طیف نشری و جذبی عناصر پس از ارائه مدل اتمی بور همانطور که در آزمایش شماره ۲ توضیح داده شد، توجیه شد. طیف اتمی مستقیماً به ترازهای انرژی اتم نسبت داده می‌شود. هر خط طیفی متناظر یک گذار خاص بین دو تراز انرژی یک اتم است. پس آنچه در طیف نمایی دارای اهمیت است، تعیین ترازهای انرژی یک اتم به کمک اندازه گیری طول موجهای طیف خطی گسیل شده از اتمها است. پایین‌ترین تراز انرژی، حالت پایه و همه ترازهای بالاتر حالتهای برانگیخته نامیده می‌شوند. موقعی که یک اتم از حالت بر انگیخته بالاتر به یک حالت برانگیخته پایین‌تر گذاری را انجام می‌دهد و یک فوتون متناظر به یک خط طیفی گسیل می‌شود.

روش انجام آزمایش:

۱- توری پراش را در محل خود روی میزچه اسپکترمتر قرار داده و سطح آن را بر امتداد لوله کلیماتور (موازی ساز) عمود نمایید و پیچ میزچه را محکم کنید تا در حین آزمایش حرکت نکند. لامپ جیوه را به گیره مربوطه و منبع تغذیه متصل کنید و کلید منبع را روی ورودی low قرار دهید. شکاف لوله موازی ساز اسپکترومتر را کمی باز کنید و از درون چشمی دوربین اسپکترومتر نور لامپ را مشاهده کنید و بتدریج پهنای شکاف را کاهش دهید تا باریکه کوچکی از نور وارد دستگاه شود. تار عمودی چشمی دوربین را بر روی این باریکه (که به رنگ نور لامپ دیده می‌شود) منطبق نموده و θ° را یاداشت کنید. لوله اسپکترومتر را بچرخانید تا بر روی یکی از خطوط رنگی طیفی منطبق کرده و θ مربوطه را یاداشت کنید و با استفاده از رابطه زیر λ را بدست آورید.

$$m\lambda=d\sin(\theta_1-\theta^\circ)$$

۲- نور افکن لامپ سفید را در مقابل اسپکترومتر قرار دهید و پس از اتصال آن به منبع آنرا را روشن کنید و رنگ‌های موجود در طیف آن را یادداشت کرده و با اندازه گیری Θ هر رنگ، طول موج آنرا بدست آورید.

۳- طیف حاصل از لامپ‌های آرگون و نئون را نیز مشاهده فرمایید و طول موج رنگ‌های موجود در طیف را بدست آورید. طیف‌ها را با طیف حاصل از قسمت اول و دوم آزمایش مقایسه کنید.

آزمایش شماره ۴:

فرانک-هرتز

هدف آزمایش:

۱-اندازه گیری انرژی الکـترون در اولین تراز برانگیخته اتم جیوه

۲- مطالعه کوانتیدگی ترازهای انرژی.

تئوری آزمایش:

نیلز بوهر فیزیکدان دانمارکی برای حل مشکل ناپایداری الگوی اتمی رادرفورد و با توجه به طیف گسسته‌ی تابش گسیل شده از اتم‌ها و رابطه‌ی تجربی ریدبرگ و بالمر برای طیف اتم هیدروژن و با الهام گرفتن از نظریه‌های کوانتومی پلانک و اینشتین، الگویی برای اتم هیدروژن که یک الکترون دارد ارائه کرد.

طبق اصل موضوع بوهر، انرژی کل یک الکترون در اتم کوانتیده است و مقادیر مجاز الکترون در یک اتم تک الکترونی برابر است با:

$$\begin{cases} E = -E_R \dfrac{Z^2}{n^2} \\ E_R = \dfrac{2\pi^2 k^2 me^4}{h^2} = 2.17\times10^{-8}\, j = 13.6ev \end{cases} \Rightarrow E = \frac{-mZ^2e^4}{2\pi^2\hbar^2}$$

M = جرم الکترون

Z= بار هسته اتم

n= شماره تراز اتمی

گرچه رابطه بالا فقط شامل اتم‌های تک الکترونی است ولی روشن است که بنا بر الگوی بوهر، انرژی کل هریک از الکترون‌ها در اتم‌های چند الکترونی نیز کوانتیده است و در نتیجه محتوای انرژی کل اتم نیز باید کوانتیده باشد.

کوانتیده بودن ترازهای انرژی را می‌توان به وسیله بمباران الکترونی بین اتم‌های دو عنصر نشان داد که این عناصر عبارتند از:

۱- عنصر بمباران کننده که با انرژی E_e حرکت می‌کند.

۲- عنصر هدف (بمباران شونده) که در این آزمایش جیوه است.

بر اساس الگوی بوهر حالت عادی‌اتم، حالتی است که در آن الکترون کمترین انرژی را دارد یعنی حالت $n=1$، این حالت به حالت پایه موسوم است. در تخلیه الکتریکی یا در یک فرآیند دیگر، اتم‌ها به علت برخوردها انرژی دریافت می‌کنند. این به معنی آن است که الکترون باید به حالتی با انرژی بیشتر یا حالت بر انگیخته که در آن $n\rangle 1$، گذار کند. برای گذار الکترون از حالت پایه به تراز بالاتر، الکترون باید انرژیی به اندازه اختلاف انرژی بین دو لایه جذب کند که این انرژی مربوط به اتم‌های عنصر بمباران شونده است و E_K نامیده می‌شود. اتم در حالت برانگیخته بسیار ناپایدار است و ظرف مدت $10^{-9}s$ با تابش یک فوتون به حالت اولیه‌ی خود بـاز می‌گردد که انرژی فوتون تابیده شده برابر است با:

$$E = h\nu = E_{n+1} - E_n \qquad n = 1,2,.....$$

در اتم جیوه الکترون‌ها در مدارهای معین و با فاصله مشخص به دور هسته می‌گردند و انرژی هرکدام نیز مقدار معینی است. چنانچه اتم‌های جیوه در حالت پایه توسط یک باریکه‌ی تک انرژی از الکترون‌ها بمباران شوند، بر حسب اینکه الکترون‌های فرودی چه میزان انرژی دارند، امکان وقوع ۳ حالت وجود دارد

۱- $E_e < E_k$:

در این حالت انرژی لازم برای برانگیخته شدن اتم‌های جیوه فراهم نشده است، لذا یک برخورد کاملاً کشسان بین این دو صورت می‌گیرد که در آن انرژی جنبشی کل ذرات خروجی با انرژی جنبشی کل ذرات ورودی برابر است. یعنی اصل پایستگی انرژی جنبشی بر قرار است.

۲- $E_e = E_k$:

در صورتی که انرژی جنبشی الکترون‌های فرودی دقیقاً برابر انرژی لازم برای برانگیختگی‌اتم جیوه باشد، بین الکترون‌های فرودی با الکترون اتم جیوه می‌تواند یک برخورد از نوع غیرکشسان اتفاق افتد که در نتیجه‌ی آن، کل انرژی جنبشی الکترون فرودی به انرژی داخلی‌اتم جیوه تبدیل می‌شود و این اتم یک گذار از حالت پایه به اولین حالت برانگیخته انجام می‌دهد. سپس اتم برانگیخته با گسیل یک فوتون به حالت پایه باز می‌گردد.

۳- $E_e > E_k$:

در این حالت نیز همه اتفاقات حالت دوم رخ می‌دهد با این تفاوت که الکترون فرودی هنوز به اندازه‌ی $E_e - E_k$ انرژی دارد و می‌تواند به اتم‌های جیوه بعدی برخورد کند. چنانچه این میزان انرژی کوچکتر از E_k باشد یعنی $E_e - E_k < E_k$، برخورد نوع اول رخ می‌دهد. چنانچه $E_e - E_k = E_k$ باشد، برخورد نوع دوم رخ خواهد داد و الکترون بمباران کننده پس از برخورد متوقف می‌شود. چنانچه $E_e - E_k > E_k$ باشد برخورد نوع سوم صورت می‌گیرد و الکترون بمباران کننده با انرژی باقیمانده $E_e - 2E_k$ به حرکت خود ادامه می‌دهد و این روند می‌تواند در برخورد این الکترون با اتم‌های جیوه بعدی ادامه یابد.

چنانچه انرژی الکترون‌های فرودی خیلی زیاد باشد، الکترون‌های اتم‌های جیوه می‌توانند به ترازهای بالاتر مثل n=2,3… نیز بروند. در ضمن آزمایش، چنانچه ولتاژ بالایی به طور ناگهانی اعمال شود این اتفاق رخ می‌دهد. ولی افزایش ولتاژ باید به صورت بسیار آرام انجام شود تا اتم‌های جیوه به حالت‌های بالاتر برانگیخته نشوند. در این آزمایش تعداد بیشماری اتم بمباران کننده و تعداد بیشماری اتم جیوه به عنوان هدف داریم. بنابراین امکان وقوع هر سه حالت وجود دارد.

اهمیت تاریخی آزمایش فرانک-هرتز که جایزه نوبل ۱۹۲۵ را به خود اختصاص داده است آنست که این آزمایش نشان داد دستگاه‌های اتمی کوانتیده‌اند و این موضوع نه فقط در جذب و گسیل فوتون بلکه در بمباران ذره‌ای نیز نمایان شد.

شرح دستگاه آزمایش:

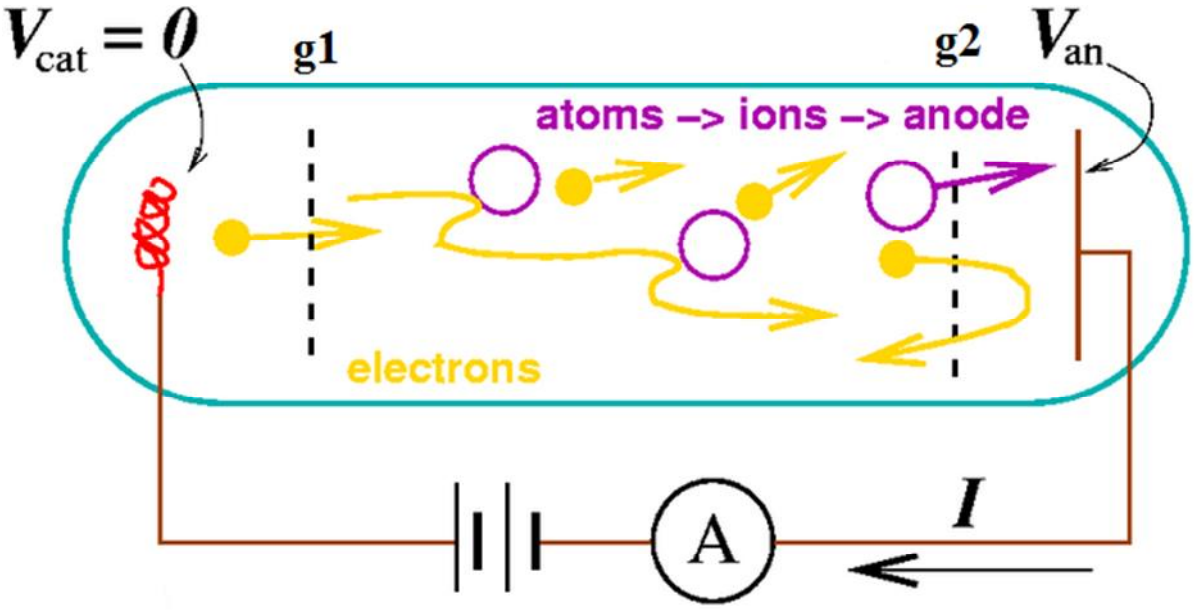
ساختار لامپ فرانک هرتز به صورت زیر است:

شامل یک محفظه خلأ است که یک قطره جیوه روی آن قرار گرفته است. اجزای مختلف آن عبارتند از:

فیلامان F که به وسیله جریان الکتریکی گرم می‌شود و کاتد K را نیز گرم می‌کند و این گرم شدن کاتد باعث می‌شود که الکترون‌ها در سطح آن، انرژی لازم برای جدا شدن از سطح فلز کاتد را به دست آورند.

یک شبکه توری مانند به نام g_1 جلوی راه الکترون‌ها قرار دارد و در سمت دیگر لامپ، شبکه توری مانند دیگری به نام g_2 قرار دارد و بعد از آن یک کلکتور (آند A) قرار دارد که الکترون‌ها را جمع آوری کرده و از سمت راست به مدار می‌فرستد.

دو شبکه g_1 و g_2 نسبت به کاتد به پتانسیل مثبتی وصل هستند که این اختلاف پتانسیل، مقداری متغیر است که در جریان آزمایش، آن را ۰/۵ ولت ۰/۵ ولت از ۰ تا ۳۰ ولت افزایش می‌دهیم و تغییرات جریان را از روی آمپر سنجِ قرار گرفته در سمت راست مدار بررسی می‌کنیم.

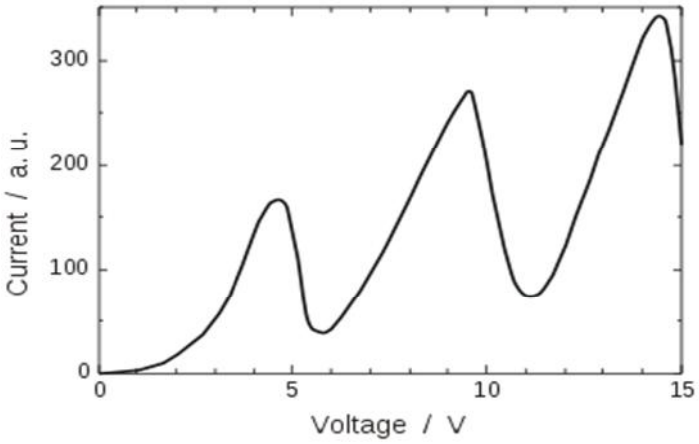


با اعمال ولتاژ ۶ ولت به فیلامان، فیلامان روشن می‌شود. بنابراین فیلامان و نیز کاتدِ قرار گرفته در مجاورت آن گرم می‌شوند. پدیده گرما یونی باعث آزاد شدن تعدادی از الکترون‌ها می‌شود. با اعمال ولتاژ ۱/۵ ولت بین دو صفحه k و توری g_1، الکترون‌ها انرژی جنبشی اولیه پیدا کرده و از شبکه g_1 عبور می‌کنند. پس از آن تحت تأثیر ولتاژ متغیر بین دو توری، انرژی به دست آورده، به اتم‌های جیوه برخورد کرده و باعث برانگیخته شدن آن‌ها می‌گردند و چون خود الکترون‌ها انرژی از دست می‌دهند، به جمع کننده A نخواهند رسید و جریان مداری کم خواهد شد.

در این صورت مشاهده می‌کنیم که در ولتاژهای پایین ابتدا برخوردهای نوع اول را داریم. سپس با افزایش ولتاژ، انرژی الکترون‌های بمباران کننده به حدی می‌رسد که شاهد برخوردهای نوع دوم خواهیم بود. یعنی در ولتاژهای حدود ۵ الی ۵/۵ ولت می‌بینیم که جریان کاهش می‌یابد تا به مقدار کمینه‌ای برسد. در این حالت، الکترون‌های بیشتری دارای انرژی $E_e = E_k$ می‌شوند که در برخورد با اتم‌های جیوه، آن را از دست می‌دهند.

اگر باز هم اختلاف پتانسیل را افزایش دهیم مقدار انرژی الکترون‌ها از مقدار انرژی لازم برای بر انگیختن اتم جیوه بیشتر می‌شود و با ادامه این افزایش، مقدار این انرژی به دو برابر E_k رسیده و در نیمه اول راه دارای انرژی E_k شده و در برخورد با یک اتم جیوه، آن را از دست می‌دهد و در نیمه دوم راه باز همان مقدار انرژی را کسب نموده و در برخورد دیگری از دست می‌دهد و بدین ترتیب برای بار دوم، جریان به مقدار کمینه‌ای خواهد رسید.

اگر اختلاف پتانسیل‌ها باز هم بیشتر شود به ترتیب به کمینه‌های سوم و چهارم و ... خواهیم رسید. در این حالت‌ها الکترون‌ها، سه، چهار و .... بار با اتم‌های جیوه برخورد غیر الاستیک نموده و انرژی خود را به اتم داده‌اند. قسمت‌هایی از نمودار زیر که جریان در حال کاهش است تا به کمینه خود نزدیک شود مربوط به لحظاتی است که برآیند الکترون‌هایی که برخوردهای نوع سوم را انجام داده‌اند کم شده است و شانس برخوردهای نوع اول افزایش یافته است. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود اختلاف نقطه‌های کمینه باهم و بیشینه با هم، یک مقدار مشخص است. بنابراین می‌توان انرژی اولین تراز برانگیخته اتم جیوه را با اندازه گیری ΔV ها اندازه گیری کرد. به علاوه، تغییرات جریان با ولتاژ به گونه‌ای است که به طور کلی با افزایش ولتاژ، نمودار یک سیر صعودی را طی می‌کند.



روش انجام آزمایش:

لامپ فرانک –هرتز را در کوره قرار دهید. منبع تغذیه را به برق وصل کنید و پس از چند ثانیه که ترموستات روشن شد دکمه set را فشار دهید تا چراغ SV روشن شود و دما را روی ۱۶۰ درجه قرار دهید. ولتاژ منبع تغذیه را روی ۱۲۰ ولت قرار دهید تا کوره بتدریج گرم شود (مراقب باشید که دمای لامپ بالای ۲۰۰ درجه نرود). بعد از رسیدن کوره به دمای ۱۶۰ درجه منبع تغذیه لامپ فرانک-هرتز را روشن کنید.

توجه: قبل از رسیدن دمای کوره به ۱۶۰ درجه منبع تغذیه لامپ را روشن نکنید زیرا موجب سوختگی لامپ می‌شود.

پس از اطمینان از گرم شدن لامپ منبع تغذیه آنرا را روشن کنید و چند لحظه بعد، لامپ را اندکی از کوره خارج کنید بطوریکه سرخ شدن رشته مرکزی آنرا را ببینید و از گرم شدن آن اطمینان حاصل کنید. تقویت کننده جریان را روشن کنید و ۳ دقیقه صبر کنید تا تثبیت شود. ضریب تقویت آنرا را روی 10^5 قرار دهید.

ولتاژ شبکه g_1 را از طریق پیچ ۰-۱۵ ولت تا ۲ ولت بالا ببرید و با پیچ تنظیم صفر تقویت کننده، میکروآمپر را صفر کنید.

اکنون ولتاژ g_2 را از طریق پیچ ۰-۳۰ ولت ضمن اینکه میکروآمپرمتر را نظاره می‌کنید به آهستگی بالا ببرید. ملاحظه خواهید کرد که عقربه میکروآمپرمتر متناوباً بالا و پایین می‌رود. در صورتی که این حالت ایجاد شده باشد، ولتاژ g_2 را به ۳۰ ولت افزایش دهید و ولتاژ g_1 را طوری تنظیم کنید که عقربه میکروآمپرمتر تقریباً تا انتها منحرف شود. حال ولتاژ g_2 را صفر کنید و تقویت کننده میکروآمپر را نیز صفر کنید.

حال ولتاژ شبکه g_2 را با فواصل ۰/۵ ولت افزایش دهید و شدت جریان میکروآمپر را یادداشت کنید.

پرسش‌ها:

۱-نمودار پتانسیل شتابدهنده بر حسب جریان را رسم کنید.

۲-فاصله مینیمم‌ها را از یکدیگر تعیین کنید.

۳-انرژی اولین تراز برانگیخته اتم جیوه چقدر است؟

۴-طول موج گسیل شده از جیوه را در این آزمایش را محاسبه کنید؟

۵-چرا در طول آزمایش، جریان مدار هرگز صفر نمی‌شود؟

۶-اگر لامپ سرد باشد و جیوه کاملاً بخار نشده باشد چه اتفاقی خواهد افتاد؟

آزمایش شماره ۵:

آزمایش میلیکان

هدف آزمایش:

۱-اندازه گیری بار الکتریکی یک ذره باردار

۲-نشان دادن طبیعت کوانتومی بارالکتریکی

تئوری آزمایش:

میلیکان با طرح آزمایشی توانست طبیعت کوانتومی بودن بار الکتریکی را مورد تصدیق قرار دهد. از میان همه آزمایش‌هایی که به این منظور انجام شد این آزمایش نسبت به بقیه کلاسیک‌تر می‌باشد. میلیکان در این آزمایش حرکت قطرات بسیار ریز روغن تحت تأثیر میدان الکتریکی را مورد بررسی قرار داد. به این صورت که میدان الکتریکی قائم E را بین دو ورقه موازی و افقی برقرار کرده و قطرات روغن را توسط یک پودر افشان بین دو ورقه هدایت کرد و توسط یک میکروسکوپ با صفحه مدرج تغییرات حرکت قطرات را اندازه گرفت.

اساس کار این روش این است که بر یک قطره روغن باردار در میدان الکتریکی یکنواخت بین صفحات خازن نیروهای مختلفی اثر می‌کند که به طور غیر مستقیم قابل اندازه گیری می‌باشد.

بر یک قطره روغن بار دار در میدان الکتریکی یکنواخت بین صفحات خازن نیروهای زیر اثر می‌کنند:

۱- نیروی وزن: mg

۲- نیروی ارشمیدس: $m_L g$ (جرم هوای هم حجم قطره روغن m_L)

۳- نیروی مقاومت هوا: $f_k = -kv$ که v سرعت حد ذره است. K مقدار ثابتی است که استوکس برای یک حجم کروی کوچک مقدار آن را به صورت تجربی $k = 6\pi r\eta$ به دست آورد. که در آن r شعاع قطره و η ضریب چسبندگی محیط مقاوم است.

۴-نیروی الکتریکی $f_e=QE$

برای جرم و چگالی مؤثر قطره می‌توان نوشت:

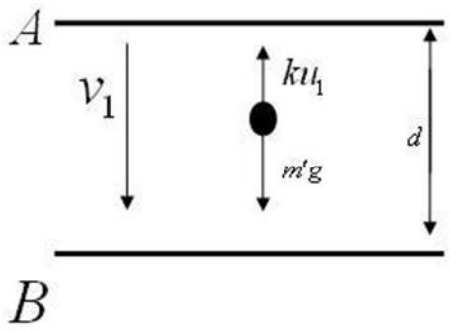
$$m' = m - m_L \quad \text{و} \quad \rho' = \rho - \rho_L$$

که در آن ρ_L چگالی هوا و ρ چگالی قطره روغن است.

برای اندازه گیری بار بنیادی، حرکت ذره را در سه حالت بررسی می‌کنیم:

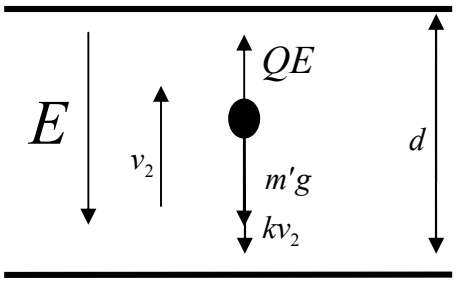
۱-به یک قطره که در میان فضای خازن بدونه بار حرکت می‌کند نیروهای وزن، ارشمیدوس و مقاومت هوا اثر می‌کند.

$$m'g - f_k = 0 \Rightarrow \frac{4}{3}\pi r^3 \rho' g - 6\pi r \eta v_1 = 0 \Rightarrow r = (\frac{9\eta v_1}{2\rho' g})^{\frac{1}{2}}$$ (رابطه ۱)



۲- حال اگر قطره روغن باردار در حضور میدان الکتریکی خارجی سقوط کند بر حسب اینکه دو صفحه فوقانی و تحتانی دستگاه میلیکان به چه صورت باردار شده باشند و قطب مثبت و منفی کدامیک از آنها باشد؛ نیروی میدان الکتریکی بر روی فرآیند سقوط قطره تأثیر می‌گذارد و عمل سقوط را سرعت می‌بخشد و یا مانع آن می‌شود. به طور کلی بر این قطره که در میان فضای خازن در اثر میدان الکتریکی حرکت می‌کند نیروهای وزن، ارشمیدوس، مقاومت هوا و میدان الکتریکی اثر می‌کند. اگر یک ذره با بار منفی را در نظر بگیریم و اگر صفحه بالایی دارای بار مثبت باشد آنگاه خواهیم داشت:

$$QE - m'g - f_k' = 0 \Rightarrow Q\frac{u}{d} - \frac{4}{3}\pi r^3 \rho' g - 6\pi r \eta v_2 = 0$$ (رابطه ۲)



$$Q = \frac{18\pi d}{u}\eta^{\frac{3}{2}}(v_1 + v_2)(\frac{v_1}{2\rho' g})^{\frac{1}{2}}$$ (رابطه ۳)

که در آن u اختلاف پتانسیل اعمال شده به خازن و d فاصله دو صفحه خازن است.

در یک اختلاف پتانسیل خاص، بعد از اعمال میدان، ذرات معلق می‌شوند در این صورت $v_2 = 0$ خواهد شد در نتیجه خواهیم داشت:

$$Q = \frac{18\pi d}{u}\eta^{\frac{3}{2}}(v_1)(\frac{v_1}{2\rho' g})^{\frac{1}{2}}$$

دو روش برای اندازه گیری بار بنیادی به وسیله دستگاه میلیکان وجود دارد:

۱-اندازه گیری اختلاف پتانسیل دو سر خازن وقتی که قطره روغن در اتاق میلیکان معلق می‌ماند و اندازه گیری سرعت قطره v_1 پس از قطع این ولتاژ، هنگامی که قطره به سمت پایین حرکت می‌کند.

۲-اندازه گیری سرعت سقوط قطره روغن (v_1) در فضای خازن بدون میدان و اندازه گیری سرعت صعود قطره روغن (v_2) در فضای بین خازن در میدان E و اندازه گیری ولتاژ خازن u، ما در این آزمایش از روش دوم برای محاسبه استفاده می‌کنیم. (یعنی استفاده از رابطه ۳)

روش انجام آزمایش:

بوسیله روغن پاش چند قطره روغن وارد فضای بین دو صفحه خازن کنید. از میان ذرات روغنی که مشاهده می‌کنید یکی را که جرم آن به اندازه کافی بزرگ است و به راحتی بدونه تأثیر میدان الکتریکی سقوط آزاد انجام می‌دهد انتخاب کنید. با تغییر قطب خازن ذرات روی درجات میکرومتر و میکروسکوپ به بالا و پایین حرکت می‌کنند. زمان‌های t_1 و t_2 به ترتیب مربوط به صعود قطره در حضور میدان الکتریکی و سقوط ذره در میدان الکتریکی صفر در یک فاصله معین x را یادداشت کنید.

با استفاده از رابطه زیر مقدار دقیق s را به دست آورید:

$$s = \frac{x}{1.875}\times 10^{-4} m$$

با استفاده از رابطه v=s/t و زمان‌های t_1, t_2 سرعت‌ها را بدست آورید.

سپس بار الکتریکی قطره روغن را با استفاده از رابطه ۳ و با استفاده از ثوابت زیر بدست آورید.

$\eta = 1.81 \times 10^{-5}$

$d = 6 \times 10^{-3}$

$\rho = 875.3$

$\rho_L = 1.29$

$g = 9.81$

$p = 69 cmHg$

$b = 6.33 \times 10^{-5} mbar.m = 47.48 \times 10^{-7} cmHg.m$

$e = 1.6 \times 10^{-19}$

با استفاده از رابطه مقابل مقدار اصلاح شده بار الکتریکی را بدست آورید.

$$Q_k = \frac{Q}{(1+\frac{b}{rp})^{\frac{3}{2}}}$$

این آزمایش را برای ۳۰ قطره روغن انجام داده و جدول زیر را کامل کنید

ردیف	$t_1(s)$	$t_2(s)$	$v_1 \times 10^{-4}(\frac{m}{s})$	$v_2 \times 10^{-4}(\frac{m}{s})$	$Q \times 10^{-19}(c)$	$Q_k \times 10^{-19}(c)$
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

با استفاده از جدول فوق نمودار میله‌ای تعداد قطرات بر حسب بار اصلاح شده را رسم کنید.

سؤالات:

۱-قطرات روغن چگونه باردار می‌شوند؟

۲- علت تغییر جهت حرکت تعدادی از قطرات در حضور میدان الکتریکی و بعضی از قطرات دیگر در جهت حرکت قبلی خود چیست؟

آزمایش شماره ۶:

اثرزیمن

هدف آزمایش:

۱) مشاهده اثر زیمن از طریق قرار دادن اتم جیوه در یک میدان مغناطیسی خارجی

۲) محاسبه مگنتون بوهر

تئوری آزمایش:

در سال ۱۸۹۶ میلادی، زیمن مشاهده کرد که وقتی اتم در میدان مغناطیسی بیرونی قرار می‌گیرد و برانگیخته می‌شود، خطوط طیفی گسیلی آن در فرآیند برگشت به حالتهای پایدارتر، به چندین مؤلفه تجزیه می‌شوند. گسسته شدن خطوط طیفی در حضور میدان مغناطیسی، پدیده زیمن نام دارد. اثر زیمان در طیف نمایی تجربی بسیار مفید است.

اثر زیمن در دو قسمت اثر عادی زیمن و اثر غیرعادی زیمن مورد بررسی قرار می‌گیرد. اگر در حضور میدان مغناطیسی هر خط طیفی به سه خط تبدیل شود، پدیده عادی زیمن و اگر هرخط به بیش از سه خط شکافته شود، پدیده غیرعادی زیمن را داریم.

در اثر عادی زیمن، اندازه حرکت زاویه مداری الکترون، $\vec{L}$، بررسی می‌شود. اما در اثر غیر عادی آن، علاوه بر $\vec{L}$، اندازه حرکت اسپینی الکترون S، نیز بررسی می‌شود. از آنجا که الکترون علاوه بر حرکت مداری خود به دور هسته، دارای یک حرکت اسپینی نیز می‌باشد، بنابراین اندازه حرکت کلی الکترون یعنی $\vec{J}$، برابر حاصل جمع بردار اندازه حرکت زاویه‌ای مداری کل الکترون و اندازه حرکت زاویه اسپین الکترون می‌باشد.

اثر عادی زیمن به دو طریق توجیه پذیر است:

الف) شناختن شکافتگی‌های تراز انرژی به کمک نظریه کلاسیکی لورنتس

ب) درک این شکافتگی‌ها برحسب نظریه نوین مکانیک کوانتومی

الف: چنانچه لامپ حاوی یک نوع عنصر گازی را در میدان مغناطیسی خارجی قرار دهیم، الکترون‌های این عنصر که در حال چرخش به دور هسته‌اند، تحت تأثیر این میدان قرار خواهند گرفت.

همان گونه که می دانیم، نیروی وارد برذره بارداری که در میدان مغناطیسی خارجی قرار می‌گیرد، برابر است با:

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

اگر $\vec{v}$ و $\vec{B}$، عمود بر یکدیگر باشند، در نتیجه خواهیم داشت:

$$F = qvB$$

نیروی $\vec{F}$، در واقع همان نیروی جانب مرکز می‌باشد که جهت سرعت را تغییر می‌دهد بنابراین

$$F = \frac{mv^2}{r} = mr\omega^2 = qvB$$

اگر نیروی وارده به اندازه ΔF تغییر کند، فرکانس هم به اندازه $\Delta\omega$ تغییر می‌کند.

قبل از اعمال میدان مغناطیسی فرکانس ω بوده و

$$F = \frac{mV^2}{r}$$

بعد از اعمال میدان نیرو تغییر کرده و فرکانس نیز تغییر خواهد کرد. بنابراین

$$\Delta F = 2mr\omega\Delta\omega = qr\omega B \Rightarrow \Delta\omega = \frac{qB}{2m}$$

این تغییر در فرکانس می‌تواند، شکافتگی در خطوط طیف را توجیه کند.

ب: حرکت الکترون روی یک مدار دایره‌ای، معادل با یک حلقه جریان است که میزان جریان عبوری از حلقه برابر است با:

$$i = \frac{q}{t} = -\frac{e}{t} = -ef \quad (1)$$

$$2\pi r = vT \Rightarrow T = \frac{2\pi r}{v} \quad (2)$$

$$\overset{1\&2}{\Longrightarrow} i = -\frac{ev}{2\pi r}$$

از طرفی به این حلقه جریان، یک گشتاور دو قطبی مغناطیسی نسبت می‌دهند. پس ممان مغناطیسی وابسته به الکترون مذکور برابر است با:

$$\mu = iA = -\frac{ev}{2\pi r} \times \pi r^2 = -\frac{evr}{2} \times \frac{m_e}{m_e} = -\frac{eL}{2m_e} \quad (L = mvr)$$

علامت منفی، به دلیل منفی بودن بار الکترون است و در نتیجه $\vec{L}$ و $\vec{\mu}$، در خلاف جهت هم هستند. وقتی‌اتم در میدان مغناطیسی خارجی قرار گیرد بر این دوقطبی گشتاوری وارد می‌شود که سعی دارد $\vec{\mu}$ را با $\vec{B}$ هم جهت کند. گشتاور وارد شده انرژی پیکربندی دوقطبی را به اندازه زیر تغییر می‌دهد:

$$\Delta E = U = -\vec{\mu}.\vec{B} = \frac{e\vec{L}}{2m_e} \cdot \vec{B} = \frac{el_z}{2m_e}B$$

l_z تصویر بردار $\vec{L}$ در امتداد $\vec{B}$ است. با در نظر گرفتن $\vec{B}$ در راستای z بنابراین $\vec{L}$ فقط در راستای z مؤلفه خواهد داشت. بر اساس نظریه کوانتومی

$$l_z = m_l\bar{h} \qquad -l \le m_l \le l$$

که m_l یکی از اعداد کوانتومی الکترون است.

در این آزمایش، انتقال از تراز p به d را بررسی می‌کنیم. در این حال، اختلاف انرژی برابر است با:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow \Delta E = -\frac{hc}{\lambda^2}\Delta\lambda = -\frac{\bar{h}c}{\bar{\lambda}^2}\Delta\bar{\lambda}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{2\pi} \;\&\; \bar{h} = \frac{h}{2\pi}$$

با اعمال میدان مغناطیسی بیرونی $\vec{B}$، هر تراز به زیر ترازهایی شکسته می‌شود. مثلاً تراز p، به سه خط و تراز d، به ۵ خط تبدیل می‌شود (شکل ۱). با رعایت اصل بقای انرژی، الکترون مجاز است که فقط از تراز d به p برود و برای آن گذار درون خود تراز d یا خود تراز p مجاز نمی‌باشد و طبق اصل بقای پاریته، انتقالات مجاز، شامل $\Delta m = 0$ و $\Delta m = \pm 1$ می‌باشد.

به ازای $\Delta m = -1$ سه انتقال مختلف داریم که هر سه اینها دارای فوتونهای هم انرژی هستند. همین طور برای $\Delta m = 0$ و $\Delta m = 1$ وضع اینگونه است.

اما دسته فوتونهای $\Delta m = -1$ با $\Delta m = 0$ هم انرژی نیستند بلکه به اندازه ΔE انرژی‌شان کمتر است و دسته فوتونهای مربوط به $\Delta m = 1$ به اندازه یکΔE انرژی‌شان از فوتونهای مربوط به $\Delta m = 0$ بیشتر است و از آنجایی که:

$$\Delta E = \frac{eB}{2m_e}m\bar{h} \;\&\; m = 1$$

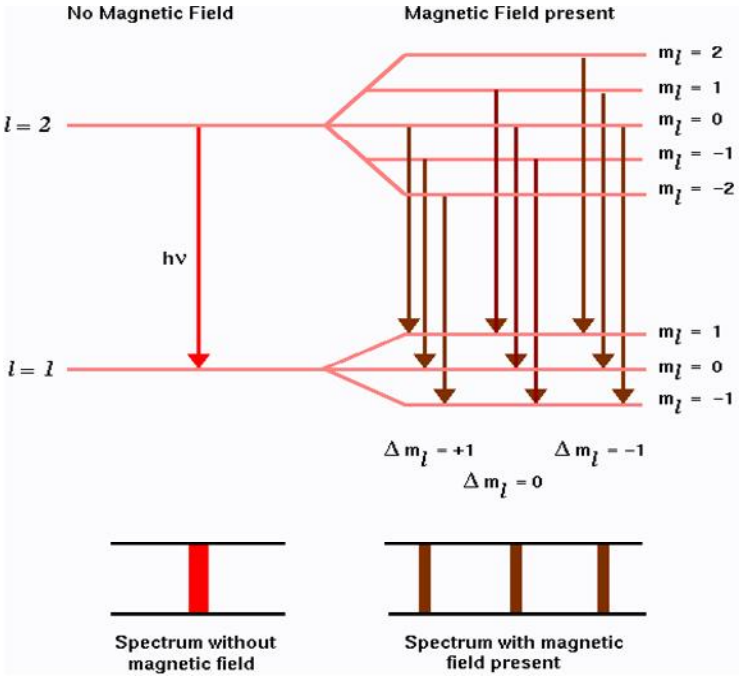
$$\begin{cases} \Delta E_1 = \dfrac{eB\bar{h}}{2m_e}\Delta m = 1 \\ \Rightarrow \Delta E_2 = 0 \;\Delta m = 0 \\ \Delta E_3 = -\dfrac{eB\bar{h}}{2m_e}\Delta m = -1 \end{cases}$$

اگر انرژی اولیه برابر با E_0 باشد، خواهیم داشت:

$$E_0 + \frac{eB\bar{h}}{2m_e}\Delta m = 1$$

$$E_0\,\Delta m = 0$$

$$E_0 - \frac{eB\bar{h}}{2m_e}\Delta m = -1$$



شکل ۱: با اعمال میدان مغناطیسی بیرونی $\vec{B}$ تراز p، به سه خط و تراز d، به ۵ خط شکسته می‌شود. انتقال‌های مجاز در شکل نشان داده شده است.

شرح دستگاه آزمایش:

لامپ جیوه منبع تولید نور است و بین دو قطب آهن ربا قرار می‌گیرد. سیم‌های آهن ربای الکتریکی را به یک منبع تغذیه با جریانی حدود ۵ آمپر وصل کنید. اگر جهت گردش جریان در سیم پیچ‌ها درست انتخاب شده باشد با کم و زیاد کردن شدت جریان، نور لامپ جیوه کم و زیاد می‌شود.

تداخل سنج فابری-پرو را تنظیم کنید و آنرا در مقابل نور لامپ جیوه که از عدسی محفظه خارج می‌شود قرار دهید. در این حالت فاصله آینه‌های تداخل سنج را ۲ میلی متر انتخاب کنید. پلاریزور مدرج را بین تداخل سنج و محفظه روی پایه‌ای نصب نموده و زاویه آنرا روی صفر تنظیم و فیلتر سبز را بر پایه نگه دارنده نصب و در مسیر نور قرار دهید. شدت جریان منبع تغذیه را صفر کنید و از درون دوربین تداخل سنج نوارهای تداخلی دایروی را مشاهده کنید. در صورتی که شدت جریان منبع را افزایش دهید ملاحظه خواهید کرد که هر خط تداخلی دایروی به دو خط (مؤلفه‌های σ) تبدیل و به دو طرف جابجا می‌شوند بطوریکه محل اولیه خط تداخلی تاریک می‌شود. اگر در این حالت محور قطبش گر را روی ۹۰ درجه ببرید این دو خط محو و خط سوم (مؤلفه π) در محل اولیه نوار تداخلی مشاهده خواهد شد. بدین ترتیب ملاحظه می‌شود که خط سبز طیف جیوه در

میدان مغناطیسی به سه خط قطبیده که دو تای آن‌ها در امتداد عمود بر امتداد میدان مغناطیسی (مؤلفه‌های σ) و دیگری در امتداد موازی خطوط میدان (مؤلفه π) قطبیده‌اند، تبدیل می‌گردد.

روش انجام آزمایش:

شدت جریان منبع تغذیه را بین ۵ تا ۱۰ آمپر انتخاب نمایید و با استفاده از منحنی تغییرات میدان آهنربای الکتریکی، شدت القای مغناطیسی را تعیین کنید.

با کمک تداخل سنج، اختلاف طول موج ($\Delta\lambda$) دو مؤلفه σ خط سبز جیوه را اندازه گیری نموده و در جدول زیر درج نمایید.

با توجه به اینکه $C/\lambda=\nu$

$$\Delta\nu = -C\Delta\lambda/\lambda^2$$

که در آن $\lambda= 5460.74$ Å طول موج سبز جیوه می‌باشد، مقادیر اختلاف بسامد ν مؤلفه‌های σ را محاسبه و در جدول وارد نمایید.

با رسم منحنی تغییر بسامد هر مؤلفه نسبت به حالت بدونه میدان ($\Delta\nu$) بر حسب میدان مغناطیسی و محاسبه ضریب زاویه آن مقدار مگنتون بوهر را حساب کنید و خطا در محاسبه آنرا بدست آورید.

ردیف	$I\ (A)$	B(T)	$\Delta\lambda\ (m)$	$\Delta\nu(Sec^{-1})$	μ_B	درصد خطا
۱						
۲						
۳						
۴						
۵						

اکنون تداخل سنج، فیلتر سبز جیوه و پلاریزور را برداشته و آنها را عمود بر وضعیت اولیه در امتداد قطبین سوراخدار آهنربای الکتریکی که از درون آن لامپ جیوه دیده می‌شود قرار دهید. با اعمال میدان مغناطیسی هر خط به دو خط تبدیل می‌گردد. اگر محور قطبش پلاریزور را دوران دهید هیچ تغییری در وضعیت نوارهای تداخلی ایجاد نمی‌شود. با بکار بردن تیغه ربع موج می‌توان دریافت که هردوی این خطوط قطبیده دایروی هستند که یکی راستگرد و دیگری چپگرد می‌باشد.

سؤالات:

۱) نحوه تشکیل طیف در لامپ و علت گسسته بودن آن را توضیح دهید؟

۲) آیا نوع لامپ در میزان شکافتگی تراز انرژی تاثیری دارند یا خیر؟ چرا؟

۳) شدت میدان مغناطیسی، چه تاثیری در شکافتگی خطوط انرژی خواهد داشت؟

آزمایش شماره ۷:

تابش جسم سیاه

هدف آزمایش:

۱) بررسی قانون استفان-بولتزمن

۲) بررسی قوانین لامبرت در تابش جسم سیاه

تئوری آزمایش:

هر جسم جامد کسری از تابش فرودی بر سطح خود را درمی‌آشامد و بقیه این تابش بازتاب می‌یابد. یک جسم سیاه ایده‌آل به صورت ماده‌ای که تمامی تابش فرودی را، بدون هیچ بازتابشی درمی‌آشامد، تعریف می‌شود. یک جسم توخالی که تنها سوراخ کوچکی برای ورود یا خروج تابش دارد (کاواک) تقریب خوبی برای جسم سیاه ایده‌آل است. تابشی که از راه این حفره وارد ظرف شود، احتمال بازتابیدن بسیار اندکی دارد. این تابش پی‌درپی در دیواره‌های داخلی جسم باز می‌تابد تا سرانجام درآشامیده شود. به همین دلیل، اگر از سوراخ به درون جسم بنگریم آن را سیاه خواهیم دید.

قانون جابه جایی وین:

انرژی که در بازه کوچک فرکانسی dv بین فرکانس‌های v و dv+v گسیل می‌شود، در دمای ثابت نخست با فرکانس افزایش پیدا می‌کند، سپس به یک تعداد بیشینه می‌رسد و سرانجام در فرکانس‌های بالاتر باز هم کاهش می‌یابد. با افزایش دمای جسم تابش کننده کسر بیشتری از تابش گسیل شده توسط مولفه‌های فرکانس بالاتر حمل می‌شود. شکل زیر طیف تابش جسم سیاه می‌باشد. همان طور که در شکل دیده می‌شود توزیع طیفی

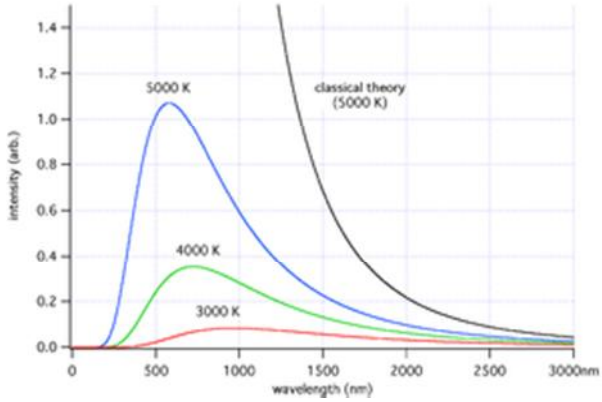
جسم سیاه یک ماکزیمم دارد و طول موج متناظر آن به دما بستگی دارد. ماهیت این وابستگی را با قانون جابه جایی وین می‌توان نشان داد. طبق قانون جابه جایی وین برای بیشینه توان تابشی می‌توان نوشت

$$\lambda_{max} = \frac{c}{T}$$

که در رابطه بالا T دمای جسم و لاندا طول موجی است که در آن بیشینه توان تابشی حاصل می‌شود. ثابت c برابر است با: $2/9*10^{-3}mk$

طبق این قانون، ماکزیمم توان گسیل طیفی با افزایش دما به طرف طول موج‌های کوتاه‌تر جابه جا می‌شود.

طیف تابش جسم سیاه مستقل از ماده‌ای است که تابش کننده از آن ساخته شده است.



طیف جسم سیاه: هرکدام از خط‌های رنگی (که نماینده دماهای گوناگون هستند) نشان می‌دهند که در طول موج‌های گوناگون شدت تابش چه قدر است. با کم شدن دما، قلهٔ تابش جسم سیاه به سمت شدت‌های کمتر و طول موج‌های بیشتر می‌رود.

آزمایشات انجام شده برروی جسم سیاه نشان می‌دهد که توان کل تابشی مربوط به کلیه فرکانسها از واحد سطح جسم سیاه با توان چهارم دمای مطلق (کلوین) آن متناسب است یعنی $R(T)=\sigma T^4$ که R توان تابشی جسم سیاه و σ ثابت استفان-بولتزمن برابر است با $\sigma = 56.7 \times 10^{-9} W/m^2k^4$

قانون لامبرت

شار تابشی که بطور عمودی از سطح معینی عبور می‌کند با عکس مجذور فاصله آن سطح تا منبع تابش متناسب است. یعنی اگر سطح S عمود بر امتداد تابش و فاصله آن تا منبع تابش d باشد $\varphi(T)\alpha 1/d^2$. همچنین اگر زاویه بین امتداد عمود بر سطح جسم سیاه و گیرنده انرژی Θ باشد شار عبوری از سطح S متناسب با کسینوس زاویه Θ می‌باشد یعنی $\varphi(T)\alpha Cos\theta$. در این آزمایش از ترموپیل به عنوان گیرنده انرژی استفاده خواهیم کرد.

شرح آزمایش

از یک کوره حرارتی می‌توان بعنوان یک جسم سیاه یا حداقل یک جسم خاکستری (Grey.Body) استفاده کرد. در فاصله حدود d=۱۰ cm از کوره دیافراگم متغیر را قرار دهید و در فاصله d از دیافراگم ترموپیل را که بعنوان آشکارساز در این آزمایش بکار گرفته می‌شود، نصب کنید. دهانهٔ خروجی کوره، دیافراگم و دهانه ترموپیل را دقیقاً در یک راستا قرار دهید.

دیافراگم سرد کننده را روی میزچه اپتیکی مقابل کوره نصب کنید. نقش دیافراگم سرد کننده این است که از تابش‌های اضافی بجز حفره جسم سیاه و فقط به اندازه دهانه دیافراگم جلوگیری نماید.

کوره را به منبع تغذیه وصل کنید و اجازه دهید تا دمای آن تا حدود ۳۵۰ درجه سانتی گراد بالا رود. برای اندازه‌گیری دمای کوره از یک دماسنج ترموکوپلی دیجیتالی استفاده کنید، اتصال ترموکوپل را از روزنه پشت کاواک وارد حفره جسم سیاه نمائید. قبل از ورود ترموکوپل به درون حفره، دمای اتاق را بدقت اندازه گیری کنید زیرا ترموکوپل قادر است اختلاف دمای کوره با دمای محیط را بدهد.

قطر دهانه دیافراگم متغیر را یک سانتیمتر انتخاب کنید و وقتی دما به ۳۵۰ درجه سانتی گراد رسید، ضمن اینکه آب از درون دیافراگم سرد کننده می‌گذرد، ولتاژ کوره را صفر نمایید تا از ازدیاد دمای آن جلوگیری شود. دما قدری بالاتر می‌رود و پس از آن به آهستگی شروع به کاهش خواهد کرد. در دماهای مختلف دریچه شیشه‌ای ترموپیل را بردارید تا انرژی حرارتی دریافت و میکرو ولتمتر ولتاژ خروجی آن را نمایش دهد. در اثر تابش گرمایی به ترموپیل، ولتاژی روی ولت سنج مشاهده می‌شود که با آن توان تابشی کاواک را می‌توان اندازه گیری کرد. وقتی که میکرو ولتمتر تقریباً ثابت شد، ولتاژ را یادداشت کنید و دریچه شیشه‌ای را در محل خود قرار دهید تا گرمای اضافی موجب گرم شدن ترموپیل و ایجاد خطا نگردد.

در دماهای مختلف در طی سرد شدن کوره، ولتاژ خروجی از ترموپیل را دقیقاً اندازه گیری کنید و نتایج را در جدولی مطابق جدول زیر درج کنید. سپس منحنی تغییرات V بر حسب T^4 را رسم کنید و خطی بودن آن را مشاهده کنید.

T(˚C)	T(K)	V(mV)	T^4*10^{11}
377	650		
367	640		
357	630		

بررسی تغییر شدت تابش با عکس مجذور فاصله

دیافراگم متغیر را از میزچه اپتیکی باز کنید و ترموپیل را در فاصله حدود ۱۰ سانتی متر از کوره قرار دهید. دمای کوره را حدود ۳۵۰ درجه سلسیوس ثابت نگه دارید. پس از ثابت شدن دما دریچه شیشه‌ای ترموپیل را برداشته و ولتاژ میکروولتمتر را قرائت کنید. فاصله ترموپیل از کوره را افزایش دهید و مجدداً ولتاژ میکروولتمتر را قرائت کنید و نتایج را در جدول زیر یادداشت کنید. نمودار تغییرات ولتاژ بر حسب عکس مجذور فاصله از کوره را رسم کنید و خطی بودن آن را توجیه کنید.

d(m)	T(K)	V(mV)	$1/d^2$

تذکر: در تمام مراحل انجام آزمایش دریچه شیشه‌ای ترموپیل را تنها زمان قرائت میکروولتمتر بردارید.

بررسی تغییر شدت تابش با زاویه

لوله دیافراگم سرد کننده را از سوراخ گیره مدرج عبور داده و پیچ گیره را محکم کنید. دو میزچه اپتیکی را به دو طرف گیره مدرج طوری ببندید که گیره کاملاً در محل اتصال آنها قرار گیرد و با جابجا کردن یکی از میزچه ها زاویه تغییر کند. کوره را پشت دیافراگم سرد کننده قرار دهید و دمای آن را روی ۳۵۰ درجه سلسیوس تنظیم کنید. لوله آب را به دیافراگم سرد کننده وصل کنید و با باز کردن شیر آب آن را سرد نگه دارید. در فاصله ۲۰ سانتی متر از کوره ترموپیل را قرار دهید. وقتی که میزچه ها در یک امتداد هستند، عقربه گیره مدرج عدد صفر یا ۱۸۰ را نشان می‌دهد که در این وضعیت زاویه تابش پرتوهای گرمایی با سطح ترموپیل صفر درجه است. دریچه شیشه‌ای را بردارید و ولتاژ را قرائت کنید. سپس میزچه متحرک را کمی بچرخانید و مجدداً ولتاژ را قرائت کنید و در جدول زیر یادداشت کنید. منحنی تغییرات ولتاژ بر حسب $\cos\Theta$ را رسم کنید و علت خطی بودن آنرا توضیح دهید.

Θ	V(mV)	$\cos(\Theta)$

سؤالات

۱-نظریه کوانتومی تابش جسم سیاه را توضیح دهید و همچنین ناتوانی فیزیک کلاسیک در توصیف جسم سیاه را شرح دهید.

۲-ترموپیل چیست؟

۳-نقش دیافراگم متغیر در این آزمایش چیست؟

آزمایش شماره ۸:

اثر هال

هدف آزمایش

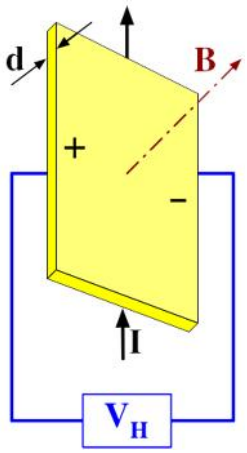
۱) تعیین نوع حامل‌های بار الکتریکی در رساناها

۲) محاسبه چگالی حجمی الکترون‌های آزاد در رساناهای مورد آزمایش

تئوری آزمایش

اثر هال یکی از پدیده‌های جالب توجه مبحث مغناطیس است که در سال ۱۸۷۹ به وسیله ادوین هربرت هال کشف شد و اثر هال نامیده شد. اثر هال از حرکت ذرات باردار در دو میدان توام الکتریکی و مغناطیسی ناشی می‌شود. وقتی یک جریان الکتریکی در طول یک رسانا یا نیم رسانای تیغه‌ای شکل بر قرار باشد و این رسانا (یا نیم رسانا) در میدانی مغناطیسی عمود بر سطح آن قرار گیرد بر همکنش حامل‌های بار و میدان مغناطیسی موجب می‌شود که یک اختلاف پتانسیل الکتریکی به تدریج در راستای عمود بر میدان مغناطیسی، 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 برقرار باشد. پس از برقراری جریان الکتریکی، حامل‌های بار سرعت پیشروی V_d پیدا می‌کنند که در مورد الکترونها در خلاف جهت و در مورد حفره‌ها در جهت میدان الکتریکی است. در غیاب میدان مغناطیسی، اختلاف پتانسیل بین دیواره‌های جانبی، که در روی یکی از صفحات هم پتانسیل قرار دارند، برابر صفر است. اکنون اگر یک میدان مغناطیسی B، در جهت عمود بر سطح تیغه اعمال شود (Z)، در نتیجه نیروی لورنتس ناشی از میدان مغناطیسی حامل‌های بار به سمت دیواره‌های جانبی منحرف می‌شوند و در این دیواره‌ها انباشته می‌شوند و در نتیجه یک اختلاف پتانسیل فزاینده V_Hبین دیواره‌های جانبی

به وجود می‌آید که نتیجه آن تولید یک میدان الکتریکی E در جهت محور Y است. پس حامل‌های بار تحت تأثیر نیروی حاصل از این میدان الکتریکی اضافی هم قرار می‌گیرند. وقتی دو نیروی ناشی از میدان الکتریکی هال و میدان مغناطیسی (که در دو جهت مخالف یکدیگرند) مساوی هم شوند، حامل‌های بار دیگر تمایلی به تجمع در دیواره‌ها نشان نمی‌دهند و حالت تعادل برقرار و افزایش اختلاف پتانسیل متوقف می‌شود.



تجربه نشان داده است که در مواقعی که میدان مغناطیسی خیلی قوی نیست V_H با القای مغناطیسی B و شدت جریان I و عکس ضخامت تیغه متناسب است $V_H=C_HBI/b$ ضریب C_H را ثابت هال گویند.

زیرا نیروی لورنتس وارد بر هر الکترون برابر است با $F=qV_d*B$

میدان حاصل از تجمع بارها در دیوارها ناشی ازنیروی لورنتس $E_H=V_H/a$

و نیروی وارد بر حامل بار ناشی از E_H برابر است با $F_H=-qE_H$

تجمع بارها در دیواره‌های تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که داشته باشیم:

$F_H=F_L \rightarrow eV_dB=eE_H \rightarrow E_H=V_dB$

پس از این لحظه عمل تجمع یافتن حامل‌های بار متوقف می‌شود و حامل‌های بار چنان حرکت می‌کنند که گویی فقط تحت تأثیر میدان الکتریکی اعمال شده هستند. از طرفی چگالی جریان در هر رسانا عبارت است از $j=env$ که در آن n غلظت الکترون‌ها است. بنابراین به طور نظری برای V_H رابطه‌ای به دست می‌آید که با آنچه از آزمایش حاصل شده بود سازگار است پس ثابت هال عبارت است از $C_H=1/en$

روش آزمایش

در این آزمایش از سیم پیچ برای تولید میدان مغناطیسی در اطراف رسانای مورد نظر که در این آزمایش مس می‌باشد، استفاده می‌شود. سیم پیچ را به منبع تغذیه جریان وصل کرده و دو سر رسانای مورد آزمایش را نیز به منبع تغذیه جریان وصل کرده و سپس آن را به میکرو ولت متر وصل کرده تا ولتاژ هال را نمایش دهد.

جریان دو سر ورقه مورد آزمایش را به ۱۰ آمپر برسانید و با پیچاندن پتانسیومتر روی تابلو هال میکروولتمتر را صفر نمایید. آهنربای الکتریکی را که به منبع تغذیه متصل کرده و شدت جریان منبع را با فواصل ۰/۵ آمپری تا ۵ آمپر تغییر داده $I_m(A)$ و هر بار ولتاژ هال را از روی میکروولتمتر قرائت کنید و نتایج را در جدول زیر وارد

کنید و جدول را کامل کنید. سپس نمودار ولتاژ هال برحسب میدان مغناطیسی را رسم کنید. با تعیین ضریب زاویه خط و با توجه به اینکه ضخامت ورقه ۳۰ میکرومتر است مقدار ثابت هال را محاسبه کنید. سپس با استفاده از رابطه $C_H=1/en$ چگالی حاملهای بار در رسانا را حساب کنید.

I(A)	I_m(A)	B(mT)	V_H(μV)

نمودار ولتاژ هال برحسب جریان عبوری از رسانا

شدت جریان منبع تغذیه آهنربای الکتریکی را روی ۴ آمپر تنظیم کرده I_m(A) و با تغییر شدت جریان ورقه، ولتاژهای هال را اندازه گیری کنید و نتایج را در جدول زیر وارد کنید.

I_m(A)	B(mT)	V_H(μV)

نمودار ولتاژ هال برحسب جریان را رسم کنید. با تعیین ضریب زاویه خط مقدار ثابت هال و چگالی حامل‌های بار در رسانا را محاسبه کنید.

جدول مربوط به میدان‌های مغناطیسی

I(A)	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8
B(mT)	40	88	130	160	210	240	280	320	350	380	410	430	460	480	500	520