

## آزمایش ۱: قطره میلیکان (فیزیک جدید)

### تئوری:

آزمایشهای آغازین برای تعیین بار الکترون توسط تاون سند و تامسون انجام شد.

روش آنها به این ترتیب بود که بخار آب را روی یونها جمع میکردند و ابر تشکیل میدادند، سپس بار حمل شده توسط ابر را تعیین میکردند. آنها آب حاصل از ابر را وزن میکردند و با تقسیم آن بر وزن میانگین یک قطره، تعداد قطره ها در ابر را محاسبه میکردند و با فرض اینکه هر قطره روی یک تک یون حامل بار  $e$  نشسته باشد، مقدار  $e$  را از مرتبه ایستا کولن بدست می آوردند. میانگین وزن یک قطره را با فرض برقرار بودن قانون استوکس و با اندازه گیری آهنگ سقوط قطره ها در هوا بدست می آوردند.

یکی از دستاوردهای مهم این پژوهش، کشف روش تولید ابر توسط ویلسون بود.

اگر هوایی را که از بخار آب اشباع و با عاملی یونیده شده است، به طور ناگهانی منبسط کنیم، هوا سرد میشود و بخار آب دور تا دور یونهای موجود در هوا مینشیند و به این ترتیب ابر تشکیل میشود. ویلسون با تشکیل ابر در میان صفحات خازنی که به دو سر یک باتری وصل میشود، در روش تعیین بار الکترون پیشرفت بارزی بوجود آورد.

در این روش آزمایش، ابتدا آهنگ سقوط لایه فوقانی ابر را تحت تأثیر گرانش تعیین میکرد و سپس ابر دوم را تولید و صفحات خازن را چنان باردار میکرد که قطره ها بتوانند توسط هر دو نیروی گرانی و الکتریکی به طرف پائین رانده شود.

نتایج عددی بار الکترون نزدیک به همان عددی بود که توسط تاون سند و تامسون بدست آمده بود.

تمام این آزمایشها از این واقعیت که وزن یک قطره آب در طول زمان آزمایش ثابت نمی ماند، دچار اشکال میشدند، علاوه بر این تعداد دقیق یونها که هر قطره روی آنها تشکیل میشود، آشکار نبود.

میلیکان تصمیم گرفت برای جلوگیری از خطای ناشی از تبخیر قطرات آب، از قطرات روغن استفاده کند، زیرا تبخیر روغن به دمای بالایی نیاز دارد.

آزمایش میلیکان به این صورت بود که او ابتدا توسط عطریاش قطرات روغن را به فضای میان دو صفحه خازن که بدون بار هستند، (ولتاژ و میدان الکتریکی صفر است) وارد کرد، سپس او قطره ای را به دلخواه انتخاب کرده

و فاصله دلخواهی را روی خط کش میان دو صفحه خازن انتخاب کرد و زمان لازم برای طی این فاصله توسط قطره را بوسیله زمان سنج اندازه گیری کرد و سپس توسط رابطه زیر سرعت سقوط قطره در میدان گرانش را اندازه گیری کرد که آنرا با  $v_g$  نشان داد.

$$v_g = \frac{x}{t}$$

در مرحله بعد میلیکان خازن را باردار کرد (از طریق اعمال ولتاژ) و این ولتاژ سبب یونیدگی هوای مابین صفحات خازن شد. از طرفی هنگامی که قطرات روغن توسط عطریاش به فضای داخل خازن وارد میشوند، توسط همین میدان یونیده میشوند، پس میتوان گفت که هم قطرات روغن و هم هوای بین صفحات خازن، توسط میدان الکتریکی یونیده میشوند.

قطرات یونیده شده روغن بوسیله یونهای هوا احاطه میشوند.

با قطرات روغن را با  $q$  و بار یونهای هوا را با  $q_n$  نشان میدهند، که در نهایت از ترکیب اینها یونی با بار  $q+q_n$  حاصل میشود.

حال با توجه به علامت بار یون حاصل، میتوان در مورد نحوه حرکت آن به سمت صفحه بالایی یا صفحه پایینی خازن، اظهار نظر کرد.

یون حاصل همواره به سمت صفحه با بار مخالف بار خودش، حرکت میکند. چون هدف میلیکان از انجام این آزمایش اندازه گیری بار الکترون بود، لذا به بررسی یونهای با بار منفی پرداخت. و لذا میتوان گفت که قطره های بسیار ریز روغن را در نظر بگیرید که با گرفتن الکترون بار منفی بدست می آورند، این قطره ها بین دو صفحه افقی جای میگیرند و جرم یک قطره، با اندازه گیری سرعت سقوط آن تعیین میشود.

وقتی که صفحه ها باردار میشوند، سرعت سقوط قطره باردار تغییر میکند، زیرا قطره دارای بار منفی بوسیله صفحه فوقانی که دارای بار مثبت است، جذب میشود. (فرض که صفحه فوقانی به پلاریته + و صفحه پایینی به پلاریته - منفی وصل شده باشد). مقدار بار صفحه ها را میتوان طوری تنظیم کرد که قطره روغن بصورت معلق باقی بماند و سقوط نکند. بار روی قطره روغن را از روی جرم قطره و بار صفحه ها پس از انجام تنظیم بار میتوان محاسبه کرد. از آنجایی که یک قطره میتواند یک یا چند الکترون بگیرد، لذا بارهای محاسبه شده با این روش یکسان نیستند و ضربهای ساده از مقدار واحدی هستند که بار یک الکترون فرض میشود:

$$q = -e = -1/6022 \times 10^{-19} \text{c}$$

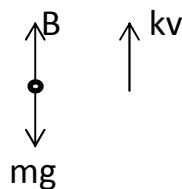
مقدار  $e$  را واحد بار الکتریکی مینامند.

الکترون دارای بار منفی واحد یعنی  $-e$  است. جرم الکترون را میتوان از رابطه زیر محاسبه کرد که در این رابطه  $q/m$  نتیجه آزمایشهایی است که قبل از میلکان انجام شده بود:

$$m = \frac{q}{q/m} = \frac{-1/6022 \times 10^{-19} c}{-1/7588 \times 10^8 c/g} = 9/1096 \times 10^{-28} g$$

حال یک قطره روغن در حال سقوط را در نظر میگیریم که بر آن نیروی وزن  $W$ ، نیروی ارشمیدس مربوط به هوا  $B$  و نیروی مقاومت  $R=KV$  وارد میشود، در این حالت نیروی برآیند عبارت است از:

$$F=W-B-KV$$



هنگامیکه سرعت قطره صفر است. (قطره ساکن است)  $R=0$  میباشد، پس نیروی برآیند برابر خواهد بود با:

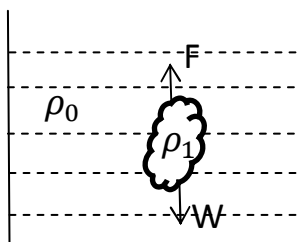
$$F=W-B$$

قبل از ارائه سایر مطالب در رابطه با آزمایش میلکان، به توضیحاتی در رابطه با نیروی ارشمیدس میپردازیم:

قانون غوطه وری ارشمیدس میگوید: هر گاه جسمی در سیالی غوطه ور شود، به اندازه وزن سیال جابجا شده از وزن آن سبکتر میشود. این وزن سبک شده به حجم جسم بستگی دارد. چون هر چه حجم جسم بیشتر شود، حجم بیشتری از سیال جابجا میشود و جسم سبکتر میشود. این نیروی سبک شده، نیروی ارشمیدس نام داد و جهت آن همواره به سمت بالا بوده و بصورت زیر محاسبه میشود:

$$\dot{W} = W - B \quad (I)$$

که در این رابطه  $\dot{W}$  وزن ظاهری و  $W$  وزن واقعی میباشد و  $B$  نیروی ارشمیدس یا وزن سبک شده یا نیروی ئیدروستاتیک میباشد. در این رابطه  $\rho_0$  چگالی سیال و  $V_0$  حجم سیال جابجا شده است. حجم سیال جابجا شده با حجم جسم برابر است.  $V_0=V_1=V$ .



میتوان رابطه (II) را بصورت زیر نوشت:

$$\dot{W} = W - B = mg - \dot{m}g = \rho_1 V_1 g - \rho_0 V_0 g = \rho_1 V g - \rho_0 V g = V(\rho_1 - \rho_0)g$$

$$\dot{W} = V(\rho_1 - \rho_0)g$$

پس میتوان گفت که وزن مؤثر جسم برابر است با:

$$\dot{W} = V(\rho_1 - \rho_0)g$$

که در این رابطه  $V$  حجم جسم یا حجم سیال جابجا شده و  $\rho_1$  چگالی جسم و  $\rho_0$  چگالی سیال می باشد.

در آزمایش میلکان گفتیم هنگامیکه قطره در حال سکون باشد، نیروی برآیند به صورت زیر است:

$$F=W-B=V\rho_1g-V\rho_0g=V(\rho_1 - \rho_0)g$$

و میتوان گفت که نیروی برآیند همان وزن مؤثر قطره است.

$$Mg= V(\rho_1 - \rho_0)g$$

که در این رابطه  $V$  حجم قطره روغن یا هوای جابجا شده است و برابر است با:

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3$$

و  $r$  شعاع قطره می باشد.

پس میتوان گفت که به قطره ای که مابین صفحات خازن قرار دارد در حالتی که میدان الکتریکی وجود ندارد، فقط وزن مؤثر آن یعنی  $Mg$  و نیروی مقاوم  $kv$  وارد میشود و تعادل زمانی برقرار میشود که سرعت قطره به چنان اندازه ای برسد که نیروی مقاومت با وزن مؤثر قطره روغن برابر شود، آنگاه قطره روغن با سرعت یکنواخت حرکت خود را به سمت پایین ادامه خواهد داد:

$$Mg-kv$$

که در این رابطه  $k$  ضریب تناسب است.

حال اگر دو صفحه خازن را به باتری وصل کنیم، در واقع صفحات را با اعمال ولتاژ باردار کنیم، در این صورت میتوان با تنظیم ولتاژ بین این صفحات، قطره را در حال سکون نگه داشت و این زمانی اتفاق می افتد که وزن مؤثر قطره با نیروی ناشی از میدان الکتریکی بین صفحات خنثی شود، در این حالت ولتاژ بدست آمده ، ولتاژ تعلیق نام دارد.

حال فرض کنید که دو صفحه A و B (صفحات خازن) رابه باتری وصل کنیم به طوری که صفحه A مثبت و صفحه B منفی باشد. در این صورت سرعت قطره روغن به هنگام خروج از عطریاش و وارد شدن به فضای میان دو صفحه، تغییر میکند و علت آن است که قطره در این هنگام باردار میشود و میتوان گفت که نیروی وارد بر قطره در این حالت برابر است با:

$$F = Eq = \frac{V}{d}q$$

که در این رابطه،  $d$  فاصله بین صفحات و  $v$  اختلاف پتانسیل بین صفحات و  $q$  بار قطره میباشد.

اگر قطره روغن منفی باشد، آنگاه نیروی ناشی از میدان الکتریکی به سمت بالا خواهد بود. سرعت  $v_1$  در این مورد عبارتست از، سرعت قطره به هنگام ورود به فضای میان دو صفحه خازن.

اگر برآیند نیروها را در این حالت بنویسیم داریم:

$$F = Mg = kv_1 \quad \rightarrow \quad \frac{V}{d}q - Mg = kv_1 \quad (I)$$

در این آزمایش هوای بین صفحات خازن به روشهای گوناگون یونیده میشود، اگر قطره روغن یک یون مثبت یا یک یون منفی بدست آورد، سرعتش در میدان الکتریکی تغییر میکند و یا ممکن است در اثر عبور، یک یون از دست بدهد.

هرگاه  $V_n$  نمایشگر سرعت جدید قطره پس از بدست آوردن یون با بار  $q_n$  باشد، در اینصورت داریم:

$$\frac{V}{d}(q + q_n) - Mg = kv_n \quad (II)$$

قطره به محض ورود به فضای میان دو صفحه خازن باردار میشود، بار  $q$  مربوط به قطره روغن در این حالت است. سپس بلافاصله در اثر برخورد با مولکول های قطبیده هوا، یون جذب میکند و بار  $q_n$  بدست می آورد. بنابراین بار جدید قطره  $q+q_n$  خواهد بود که با سرعت  $v_n$  حرکت میکند.

$$(II) \rightarrow \frac{V}{d}q + \frac{V}{d}q_n - Mg = kv_n \quad \rightarrow \quad \frac{V}{d}q_n + kv_1 = kv_n$$

$$\frac{V}{d}q_n = k(v_n - v_1) \quad \rightarrow \quad q_n = k(v_n - v_1)\frac{d}{V}$$

اگر اندیس  $n$  را حذف کنیم، داریم:  $q = k(v_n - v_1) \frac{d}{v}$  که  $v = v_n - v_1$  سرعت حد نام دارد.

$K$  در این رابطه ثابت تناسب است و مقدار آن برابر است با:

$$k = 6\pi\eta r$$

که  $r$  شعاع قطره و  $\eta$  ضریب چسبناکی هوا میباشد.

لذا بار قطره از رابطه زیر بدست می آید:

$$q = 6\pi\eta r v \frac{d}{v}$$

میخواهیم شعاع قطره روغن را محاسبه کنیم.

رابطه ای داشتیم بصورت:  $Mg = kv(1)$

از طرفی رابطه دیگری نیز معرفی کردیم بصورت:

$$Mg = V(\rho_1 - \rho_0)g = \frac{4}{3}\pi r^3(\rho_1 - \rho_0)g \quad (2)$$

لذا با استفاده از رابطه (۱) و (۲) داریم:

$$\frac{4}{3}\pi r^3(\rho_1 - \rho_0)g = 6\pi\eta r v$$

لذا رابطه ای برای  $r$  بصورت زیر بدست می آید:

$$r = \left[ \frac{9}{2} \frac{\eta v}{g(\rho_1 - \rho_0)} \right]^{1/2}$$

برای تعیین  $k$  یک سری اصطلاحاتی بر روی رابطه  $k = 6\pi\eta r$  به عمل آمد تا دقت آن بالا رود در این حالت

$k$  با استفاده از رابطه زیر بطور دقیق محاسبه شده که با  $\rho$  فشار هوا بر حسب سانتی متر جیوه و  $b$  ثابت تجربی

و  $\eta = 0.0001825 \frac{kg}{m.s}$  میباشد.

$$k = \frac{6\pi\eta r}{1 + \frac{b}{\rho r}}$$

از این آزمایش معلوم شد که  $q_n$  را میتوان بصورت  $q_n = ne$  نوشت که در آن  $n$  عدد صحیح و  $e$  نمایانگر بار بنیادی معادل با بار الکترون است. بنابر پژوهش میلیکان مقدار بار الکترون  $e = 4.77 \times 10^{-10} \text{ stc}$  است که در آن زمان خطای این آزمایش به علت خطای ناشی از اندازه گیری  $\eta$  بود.

پس بار  $q$  از رابطه زیر بدست می آید:

$$q = \frac{d}{V} kv = 6\pi\eta r v \frac{d}{V}$$

$$q = \frac{d}{V} 6\pi\eta v \left[ \frac{9/2 \eta v}{g(\rho_1 - \rho_0)} \right]^{1/2}$$

که در اینجا  $v_1 = v - v_n$  ،  $v$  سرعت حدی میباشد.

میلیکان با روش معروف قطره روغن در سال ۱۹۱۰ نشان داد که الکتریسیته دارای طبیعت کوانتومی است.

دستگاه اندازه گیری او در اصل از دو صفحه برنجی  $A$  و  $B$  با قطر نزدیک به  $22\text{cm}$  و با فاصله  $1.5\text{cm}$  از یکدیگر تشکیل شده بود.

وقتی روغن توسط عطرباش به درون جعبه پاشیده میشود، پس از لحظاتی یکی از قطره ها از طریق روزنه  $C$  به فضای بین صفحات خازن وارد میشود که توسط میکروسکوپ میتوان آن را مشاهده کرد، روشنایی قطره توسط نور غیر مستقیم چراغ تأمین میشود.

وسایل لازم:

(۱) دستگاه میلیکان شامل (صفحه خازن - وسیله روشنایی - میکروسکوپ - پاشنده روغن)

(۲) منبع تغذیه

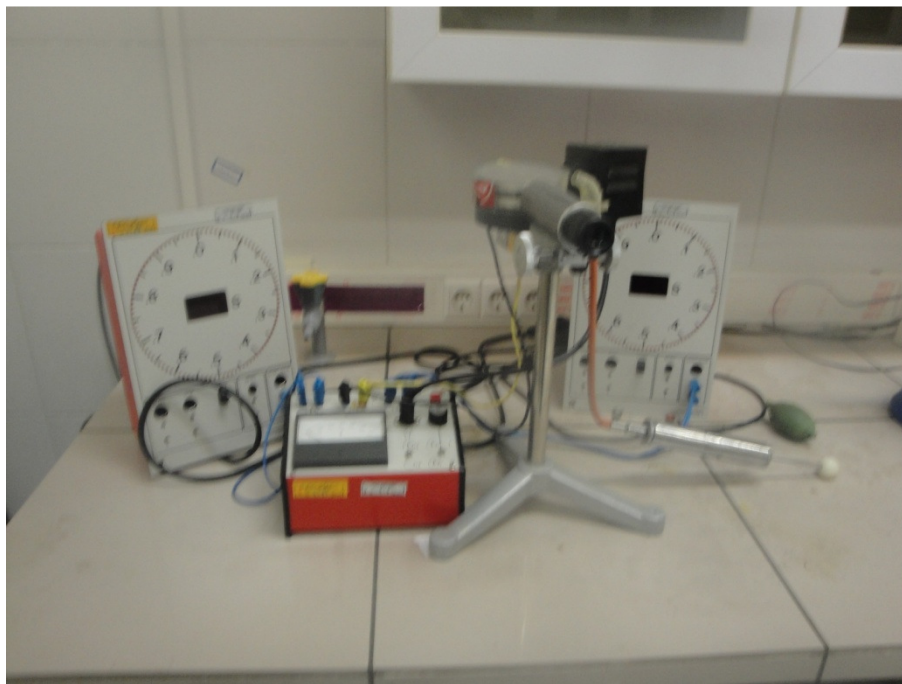
(۳) دو عدد زمان سنج

**دستگاه میلیکان**

شامل دو صفحه خازن و وسیله روشنایی میباشد. سیستم روشنایی از یک لامپ ذره بینی کوچک که در یک انتهای لوله روشنایی قرار دارد تشکیل شده است. این سیستم فقط قادر است اجسام واقع در امتداد لوله را

روشن سازد. در این دستگاه یک میکروسکوپ جهت رؤیت قطره ها نصب شده که دارای دو عدسی چشمی و شیئی قابل تنظیم است و قطرات توسط این میکروسکوپ معکوس دیده خواهد شد. پاشنده روغن ، قطرات روغن سیلیکون را بصورت پودر به داخل فضای میان دو صفحه خازن میپاشد.

شکل دستگاه میلکان:



#### منبع تغذیه:

ولتاژ منبع تغذیه از ۰-۶۰۰ ولت مستقیم (dc) پیوسته قابل تنظیم است که دارای سه جفت سوکت برای اتصال خازن و زمان سنج های الکتریکی و کلید قطع و وصل میباشد منبع تغذیه دارای یک ولت متر است که برای اندازه گیری ولتاژ دو صفحه خازن به کار میرود.

#### زمان سنج:

برای اندازه گیری زمان کوتاهی طراحی شده و دقت آن ۰/۰۱ ثانیه میباشد و بر اساس نوسان بلور کوارتز کار میکند. اندازه گیری زمان به طور دستی یا از طریق علائم الکتریکی میتواند شروع یا متوقف شود.



## شرح آزمایش:

### مرحله اول:

ابتدا سرعت گرانش قطره را بدست آورید (بدون حضور میدان الکتریکی)، برای انجام این کار یک قطره روغن را که به طرف پائین حرکت میکند در نظر بگیرید، سپس مسافتی را روی خط کش در نظر بگیرید و مدت زمان را که طول میکشد تا قطره آن را طی کند توسط زمان سنج اندازه گیری کنید. بعد باید ولتاژ تعلیق را برای قطره محاسبه کنید. برای این کار صفحه بالایی را به مثبت و صفحه پائینی را به منفی منبع تغذیه وصل کنید. تا جهت میدان الکتریکی از بالا به پائین باشد در این حالت نیروی وارد بر قطرات باردار منفی از پائین به بالا  $\uparrow$  و در خلاف جهت نیروی وزن  $Mg$  خواهد بود. با اعمال ولتاژ تدریجی به کمک سعی کنید تا قطره به حال تعلیق در آید. (ساکن بماند). حالت تعلیق زمانی است که نیروی الکتریکی و نیروی وزن وارد بر قطره با هم در تعادل باشند، سپس ولتاژ تعلیق را یادداشت کنید و سرعت این قطره را نیز با بر گرداندن دگمه ولتاژ نه وضعیت اولیه (ولتاژ صفر) مانند قبل اندازه بگیرید. سپس شعاع قطره و بار قطره را با استفاده از روابطی که در تئوری آمده محاسبه کنید.

نکته ای که باید به آن توجه کرد این است که چون جرم قطره های روغن با هم تفاوت چندانی ندارند و مسافت طی شده هم، مسافت بسیار کوچکی است، لذا تقریباً می توان از یک ولتاژ تعلیق برای تمام قطره ها استفاده کرد.

$$q = 6\pi\eta r v \frac{d}{v} = \frac{d}{v} 6\pi\eta v \left[ \frac{9}{2} \frac{\eta v}{g(\rho_{oil} - \rho_{air})} \right]^{1/2}$$

$V$ : ولتاژ تعلیق

$v'g$ : سرعت گرانش

این کار را برای ۷ قطره تکرار کنید و جدولی به صورت زیر را کامل کنید:

n	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	L	t	v <sub>g</sub>	V	r	q	N=q/e
1									
2									
3									

4									
5									
6									
7									

### مرحله دوم:

ابتدا صفحه بالای خازن را به قسمت منفی و صفحه پائینی خازن به قسمت مثبت منبع تغذیه وصل کنید تا میدان الکتریکی در جهت پائین به بالا باشد.

در این صورت نیروی الکتریکی وارد بر قطره باردار ( $F_e$ ) به سمت پائین و هم جهت با نیروی وزن خواهد بود.

ابتدا: ولتاژ بین دو صفحه خازن را روی 500 ولت قرار دهید و یک قطره روغن دلخواه را در نظر بگیرید که در حال حرکت به سمت پائین است و سپس مسافت  $L_1$  و مدت زمانی که طول میکشد تا قطره این مسافت را در حضور میدان الکتریکی طی کند، اندازه گیری کنید. در مرحله بعد ولتاژ را با دکمه سیستم کنترل قطع کنید، در این لحظه زمان سنج دوم شروع به کار میکند. این بار مسافت  $L_2$  را در نظر بگیرید و زمان لازم برای طی این مسافت توسط همان قطره را (بدون اعمال ولتاژ) اندازه گیری کنید، سپس با استفاده از رابطه زیر بار  $q$  را محاسبه کنید.

$$q = 6\pi\eta r(v_q + v_E)\frac{d}{V}$$

$$v_g = \frac{L_1}{t_1}$$

$v_E$ : سرعت قطره در حضور میدان الکتریکی است.

$$v_g = \frac{L_2}{t_2}$$

این کار را برای ۱۰ قطره تکرار و نتایج را در جدولی دیگر تنظیم کنید

