

# آزمایش میلیکان

## هدف آزمایش:

بررسی کوانتایی بودن بار و اندازه‌گیری بار الکترون

## مقدمه:

در سال ۱۹۰۹ رابرت میلیکان (R.A. Millikan) یک روش عملی برای اندازه‌گیری بار یون‌ها گزارش کرد. این روش، مشاهده حرکت قطرات ریز روغن باردار در میدان الکتریکی و یا در سقوط آزاد بود. او متوجه شد که بار قطرات روغن همواره مضرب صحیحی از یک مقدار ( $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ ) می‌باشد که همان بار الکترون است.

اگر قطرات روغن باردار وارد محفظه استوانه‌ای شوند، در سقوط آزاد تحت تاثیر نیروهای جاذبه گرانش، نیروی ارشمیدس و نیروی مقاومت استوک قرار دارند. این نیروها عبارتند از:

نیروی ثقل  $\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_i g$

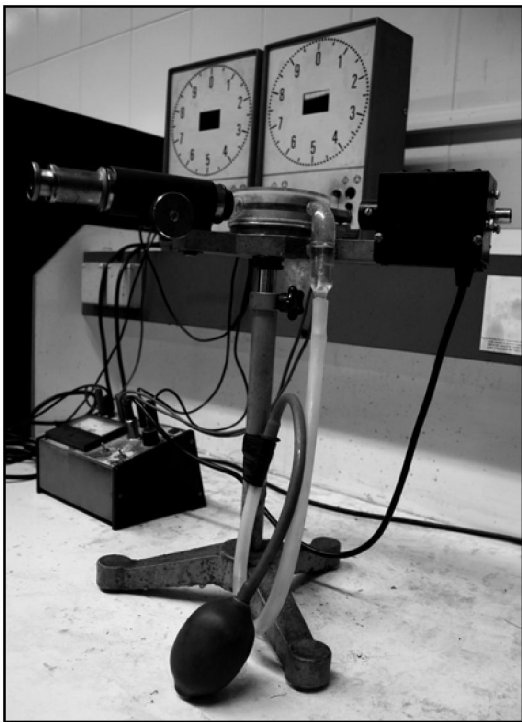
نیروی ارشمیدس  $\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_l g$

نیروی استوک  $6\pi r \eta v_1$

که  $r$  شعاع قطره،  $\rho_i$  و  $\rho_l$  به ترتیب چگالی قطره و هوا،  $g$  شتاب گرانش زمین،  $\eta$  ضریب چسبندگی هوا و  $v_1$  سرعت قطره می‌باشد.

قطره پس از طی مسافت کوتاهی در محفظه به سرعت حدی (شتاب صفر) می‌رسد. در این صورت برابری نیروهای وارد بر آن صفر است و بنابر این می‌توان نوشت:

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_i g - \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_l g - 6\pi r \eta v_1 = 0 \quad (۱)$$



و در نتیجه:

$$r = \left( \frac{9\eta v_1}{2(\rho_i - \rho_l)g} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

حال اگر بخواهیم که یک یا چند قطره در فضای محفظه معلق بماند، باید ذره را به نحوی باردار سازیم و آنگاه به سیستم یک میدان الکتریکی معادل  $V/d$  (اختلاف پتانسیل اعمال شده در محفظه و  $d$  فاصله دو الکترود می‌باشد)، اعمال کنیم. جهت این میدان بسته به علامت بار قطره متفاوت می‌باشد. پس از اندکی محاسبه به رابطه‌ی زیر برای بار قطره می‌رسیم:

$$q = \frac{18\pi\eta d v_1}{V} \left( \frac{\eta v_1}{2(\rho_i - \rho_l)g} \right)^{1/2} \quad (3)$$

اکنون حالتی را در نظر بگیرید که اعمال میدان الکتریکی باعث شود قطره با سرعت  $v_2$  به سمت بالا حرکت کند (جهت میدان که برای بدست آوردن رابطه ۳ در نظر گرفتیم). در این صورت نیرو وارد بر قطره، برابری نیروهای گرانش، ارشمیدس، استوکس و نیروی وارد از طرف میدان می‌باشد. در واقع با در نظر گرفتن دو حالت عدم حضور میدان (سرعت قطره  $v_1$ ) و حضور میدان (سرعت قطره  $v_2$ ) به رابطه زیر برای بار قطره می‌رسیم:

$$q = (v_1 + v_2) \frac{v_1^{1/2}}{V} \eta^{3/2} \frac{18\pi d}{\sqrt{2(\rho_i - \rho_l)g}} \quad (4)$$

بنابراین، از هر یک از دو روش فوق می‌توان مقدار بار الکتریکی قطره را تعیین کرد. در هر دو ابتدا باید قطره را باردار ساخت. در روش اول، حالت/ایستای با اعمال میدان الکتریکی و معلق نگه داشتن قطره بار را از طریق رابطه ۳ تعیین می‌کنیم. در روش دوم، از طریق تعیین سرعت قطره در حضور و عدم حضور میدان الکتریکی و استفاده از رابطه ۴ بار قطره تعیین می‌شود (حالت پویا).

مقادیر ثابت‌های مورد نیاز در دمای ۲۳ درجه سانتیگراد عبارتند از:

$$\eta = 1.82 \times 10^{-5} \text{ Nsm}^{-2} \quad \text{ضریب چسبندگی هوا:}$$

$$\rho_i = 875 \text{ kgm}^{-3} \quad \text{جرم ویژه روغن:}$$

$$\rho_l = 1.29 \text{ kgm}^{-3} \quad \text{جرم ویژه هوا:}$$

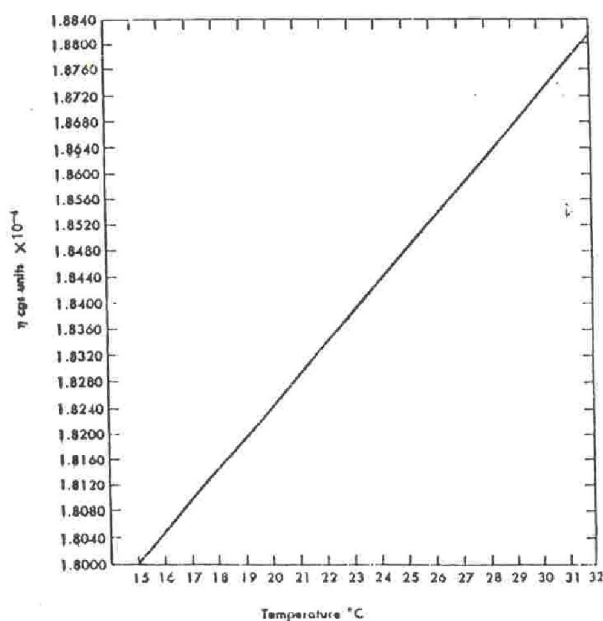
$$g = 9.81 \text{ ms}^{-2} \quad \text{شتاب ثقل زمین:}$$

$$d = 6 \text{ mm} \quad \text{فاصله بین دو صفحه:}$$

در واقع ضریب چسبندگی هوا به دما  $T$  و فشار  $P$  بستگی دارد و از رابطه زیر تبعیت می‌کند:

$$\eta(P, T) = \eta_0(T) \left[ 1 + \frac{b}{aP} \right]^{-1}$$

که  $b = 6.17 \times 10^{-4} \text{ cmHgcm}$  و  $a$  شعاع قطره است. منحنی  $\eta_0$  بر حسب دما به فرم زیر است.



### وسایل آزمایش:

دستگاه‌ها شامل دستگاه میلیکان، منبع تغذیه و ساعت یا زمان سنج می‌باشد. دستگاه میلیکان در شکل ۱ نشان داده شده است. و دارای اجزای زیر می‌باشد:

۱- میکروسکوپ اندازه‌گیر با ریزسنج چشمی

۲- پیچ تنظیم میکروسکوپ

۳- محفظه میلیکان با پوشش acrylic

۴- یک جفت سوکت اتصال ولتاژ DC به صفحات خازن

۵- وسیله روشنایی

۶- دگمه خمیده جهت تنظیم لامپ (به آن دست نزدیک)

۷- روغن پاش با پاشنده قابل ارتجاع

۸- کابل اتصال ولتاژ لامپ (از طریق سوکت چندگانه ۱۵)

۹- پیچ تنظیم ارتفاع (برای تنظیم ارتفاع مورد نظر آزمایشگر)

منبع تغذیه در شکل ۲ نشان داده شده است که دارای اجزای زیر می‌باشد:

۱۰- یک جفت سوکت برای خاموش کردن ساعت ۱ برای اندازه‌گیری زمان سقوط

۱۱- یک جفت سوکت جهت اتصال به محفظه میلیکان

۱۲- یک جفت سوکت برای خاموش کردن ساعت ۲ جهت اندازه‌گیری زمان صعود

۱۳- لامپ روشن بودن دستگاه

۱۴- دگمه چرخنده برای انتخاب ولتاژ بین ولت ۶۰۰- و ولت

۱۵- سوکت چند گانه برای اتصال به منبع روشنایی

۱۶- کلید خاموش- روشن منبع ولتاژ ۶۰۰- و شروع اندازه‌گیری زمان

۱۷- کلید خاموش- روشن زمان سنج‌ها

۱۸- ولتمتر ۶۰۰- ولت برای نشان دادن ولتاژ دو صفحه خازن که به وسیله دگمه چرخنده انتخاب شده است.

دو ساعت نیز در شکل ۳ نشان داده شده‌اند.

## شرح آزمایش:

به وسیله دو رشته سیم سوکت‌های شماره ۴ دستگاه میلیکان را به سوکت‌های ۱۱ منبع تغذیه وصل نمایید. دقت کنید که پلاریته موجود بر روی آن درست بسته شود (شکل ۲). سوکت‌های سمت راست ورودیهای ۱۲ و ۱۰ که از داخل دستگاه بهم متصل شده‌اند را با دو رشته سیم به زمین هر کدام از شمارنده‌ها متصل کنید. سمت چپ سوکت شماره ۱۰ را به سوکت زرد شمارنده A و سمت چپ سوکت شماره ۱۲ را به سوکت زرد شمارنده B، سوکت زرد شمارنده A به سوکت آبی شمارنده B و سوکت زرد شمارنده B به سوکت آبی شمارنده A متصل کنید. برای صفر کردن صفحه شمارنده‌ها دگمه مشکی روی آن‌ها را فشار دهید. شکل ۴ چگونگی اتصالات را نشان می‌دهد. با کمینه کردن دگمه ۱۴، دستگاه را می‌توانید روشن کرده و روغن را با روغن‌پاش در محفظه اسپری نمایید. توجه کنید که تصویر و جهت حرکت قطرات معکوس دیده می‌شوند.

## آزمایش ۱

هدف: اندازه‌گیری بار الکترون با استفاده از پتانسیل تعلیق

کلیدهای ۱۶ و ۱۷ را به سمت بالا قرار دهید و به وسیله دکمه ۱۴ پتانسیل  $V$  برای تعلیق قطره را بدست آورید. وقتی قطره در یک‌سوم میدان دید مثلاً روی درجه ۱ ریزسنج دیده می‌شود کلید ۱۶ را در حالت ۰ قرار بدهید. در این حالت قطره سقوط می‌کند، پس از آنکه قطره مسافت معین  $S'$  را در میدان دید سقوط کرد، کلید ۱۶ را به حالت اول برگردانید. با اندازه‌گیری مقادیر  $S_1, t_1$  و  $V$  برای ۸ قطره جدول ۱ را پر کنید. توجه داشته باشید که چنانچه یک قطره باردار در مدت زمان طولانی‌تری بررسی گردد، مقدار بار آن به مقدار بار پایه نزدیکتر خواهد بود.

$$S = \frac{S'}{1.875} \times 10^{-4} m$$

مسافت واقعی

## آزمایش ۲

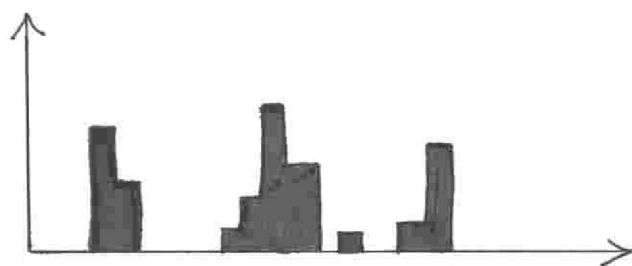
با چرخاندن دکمه ۱۴، ولتاژ بین صفحات را ۵۰۰ تا ۶۰۰ ولت انتخاب کنید. قطره‌های روغن به سمت بالا حرکت می‌کنند. ولتاژ  $V$  را اندازه بگیرید.

کلید ۱۶ را در حالت پایین قرار دهید، قطره سقوط می‌کند و زمان‌سنج  $A$  بکار می‌افتد و زمانی که در میدان دید قرار می‌گیرد، کلید را معکوس کنید؛ در این صورت قطره مجدداً صعود کرده و زمان‌سنج  $B$  به کار می‌افتد. زمانی که هنوز قطره در میدان دید قرار دارد، کلید ۱۶ را در وضعیت ۰ قرار دهید؛ قطره سقوط کرده و زمان‌سنج  $A$  مجدداً به کار می‌افتد. بدین ترتیب با تغییر وضع کلید ۱۶ می‌توان زمان سقوط و صعود را بدست آورد و مسافت طی شده،  $S$ ، توسط قطره را از طریق میکروسکوپ اندازه گرفت. با اندازه‌گیری مقادیر  $V, t_1, t_2, S_1$  و  $S_2$  جدول ۲ را پر کنید.

## توضیح مختصری در مورد روش بدست آوردن بار الکترون با استفاده از بار قطره روغن.

بدیهی است که چنانچه یک کمیت کوانتایی را بخواهیم بارها از طریق آزمایش بدست آوریم، مقدار بدست آمده از طریق آزمایش بطور اتفاقی مضرب صحیحی از یک مقدار اولیه و پایه خواهد بود. لذا در این آزمایش دیده می‌شود که بار قطره روغن بطور اتفاقی مضرب صحیحی از مقدار  $C \times 10^{-19} \times 1/6$  خواهد بود. مشاهده این امر بسیار ساده است. چنانچه شما مقادیر بار

n تعداد دفعات



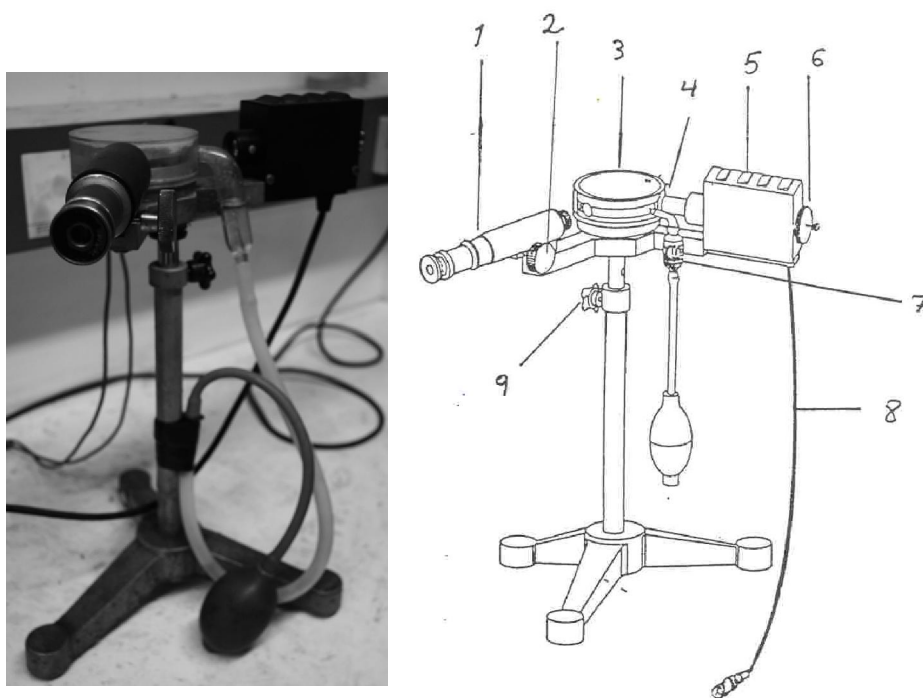
Q بار قطره روغن

بدست آمده را بر روی یک محور افقی ببرید و از طرف دیگر محور عمودی را اختصاص به تعداد دفعات مشاهده شده هر عدد بدهید، در این صورت چنانچه

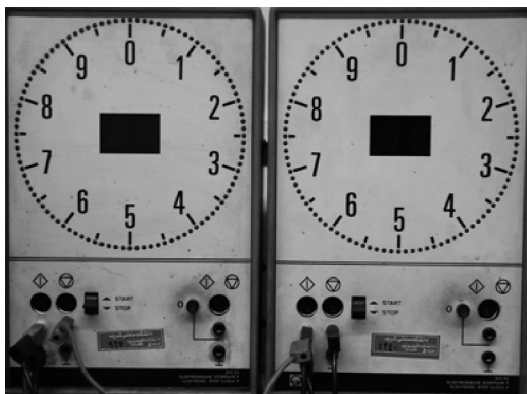
تعداد آزمایشات شما زیاد باشد به یک هیستوگرام مشابه با شکل روبرو خواهید رسید.

برای به دست آوردن مقدار کوانتایی کافی است که میانگین هر گروه را بر کوچکترین عدد بدست آمده برای بار قطره روغن تقسیم کرده، سپس عدد فوق را گرد کنید که این عدد  $n$  مربوط به این گروه می باشد سپس میانگین این گروه را بر این  $n$  تقسیم کرده، بار الکترون را بدست آورید. این کار را برای گروه‌های دیگر تکرار کرده و از اعداد بدست آمده میانگین بگیرید و عدد فوق را گزارش کنید.

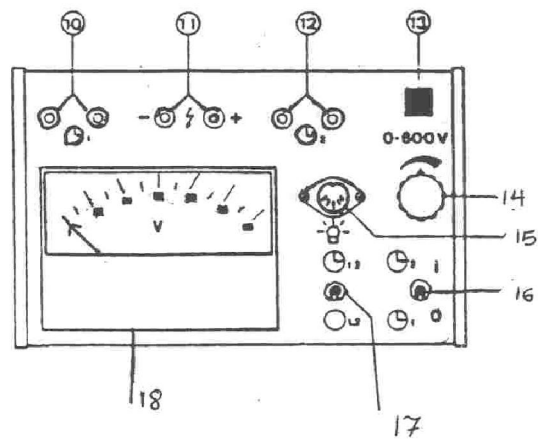
### تصاویر:



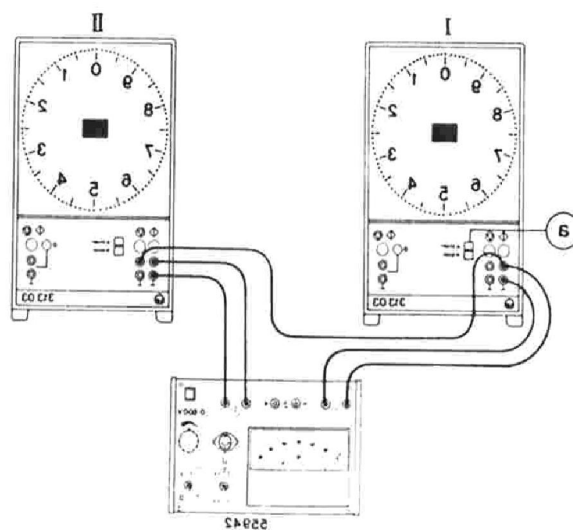
شکل ۱. دستگاه میلیکان و اجزای آن



شکل ۳. دو زمان سنج



شکل ۲. منبع تغذیه و اجزای آن



شکل ۴. مدار مربوط به آزمایش

## جداول و داده‌ها:

جدول ۱ نتایج آزمایش ۱. حالت ایستا

شماره قطره	$S(m)$	$t(s)$	$v_1(\frac{m}{s})$	$U(V)$	$q(C)$
۱					
۲					
۳					
۴					
۵					
۶					
۷					
۸					

جدول ۲ نتایج آزمایش ۲. حالت پویا.

شماره قطره	$S_1(m)$	$t_1(s)$	$v_1(\frac{m}{s})$	$S_2(m)$	$t_2(s)$	$v_2(\frac{m}{s})$	$U(V)$	$q(C)$
۱								
۲								
۳								
۴								
۵								
۶								
۷								
۸								

## پرسش‌ها:

در زمان انجام آزمایش به سوالات زیر پاسخ دهید:

۱- رابطه ۳ را به دست آورید. درباره علامت بار قطره و جهت میدان مورد نیاز برای ثابت نگه داشتن آن، بحث کنید.

۲- رابطه ۴ را به دست آورید و جزئیات محاسبه آن را بنویسید.



پاسخ سوالات زیر را در جلسه بعد تحویل دهید.

۱- مقدار میانگین بار را برای هر دو روش اندازه‌گیری کنید.

۲- عوامل موثر در ایجاد خطاها را ذکر کنید.

۳- کدامیک از دو روش آزمایش خطای کمتری دارند. چرا؟

۴- چرا نباید در مدت زمان طولانی یک قطره را مطالعه کرد؟

۵- چگونه قطرات باردار می‌شوند.

۶- به چه روشهای دیگری می‌توان بار الکتریکی الکترون را اندازه‌گیری کرد؟

یادداشت -----