

بسم الله الرحمن الرحيم

گزارش آزمایشگاه فیزیک ۴ – دکتر ایرجی زاد

۱ اردیبهشت ماه سال ۱۴۰۰

گروه اول – چهارشنبه از ساعت ۱۰:۰۰ الی ۱۴:۰۰

آزمایش هفتم

آزمایش میلیکان

حسین محمدی

۹۶۱۰۱۰۳۵

در این جلسه آزمایشگاه، آزمایش معروف میلیکان که به «قطره روغن میلیکان» معروف است را انجام دادیم و مقدار بار الکترون را بدست آوردیم و گسستگی مقدار بار الکترون را به عینه مشاهده کردیم.

به طور خلاصه، در یک محفظه، قطره های روغن باردار از یک نازل، بین سطح یک خازن پاشیده می شوند و از توازن بین نیروهای گرانش، مقاومت هوا، ارشمیدس و نیروی الکتریکی وارد بر قطره روغن، می توان مقدار بار آن را مستقلا حساب کرد و با یک تحلیل بسیار مختصر داده و رسم هیستوگرام، مقدار بار پایه ی الکترون را حساب کرد. همچنین گسستگی بار الکترون را تا حد خوبی می توان مشاهده کرد.

در این فایل، نتایج به دست آمده و سولاتی را که در گزارش کار پرسیده شده است را پاسخ می دهیم.

آزمایش ۱: حالت ایستا

در این روش؛ ابتدا قطره در حالت تعلیق قرار می گیرد و سپس با صفر کردن پتانسیل، سقوط می کند. ما با اندازه گیری مسافت و زمان سقوط، سرعت آن را به دست می آوریم و به کمک رابطه ی

$$q = \frac{18\pi\eta d v_1}{V} \sqrt{\frac{\eta v_1}{2(\rho_i - \rho_l)g}}$$

بار قطره را محاسبه می کنیم. به این حالت، ایستا گفته می شود.

جدول داده های این آزمایش را می بینید:

جدول ۱: داده های آزمایش ۱ - حالت ایستا

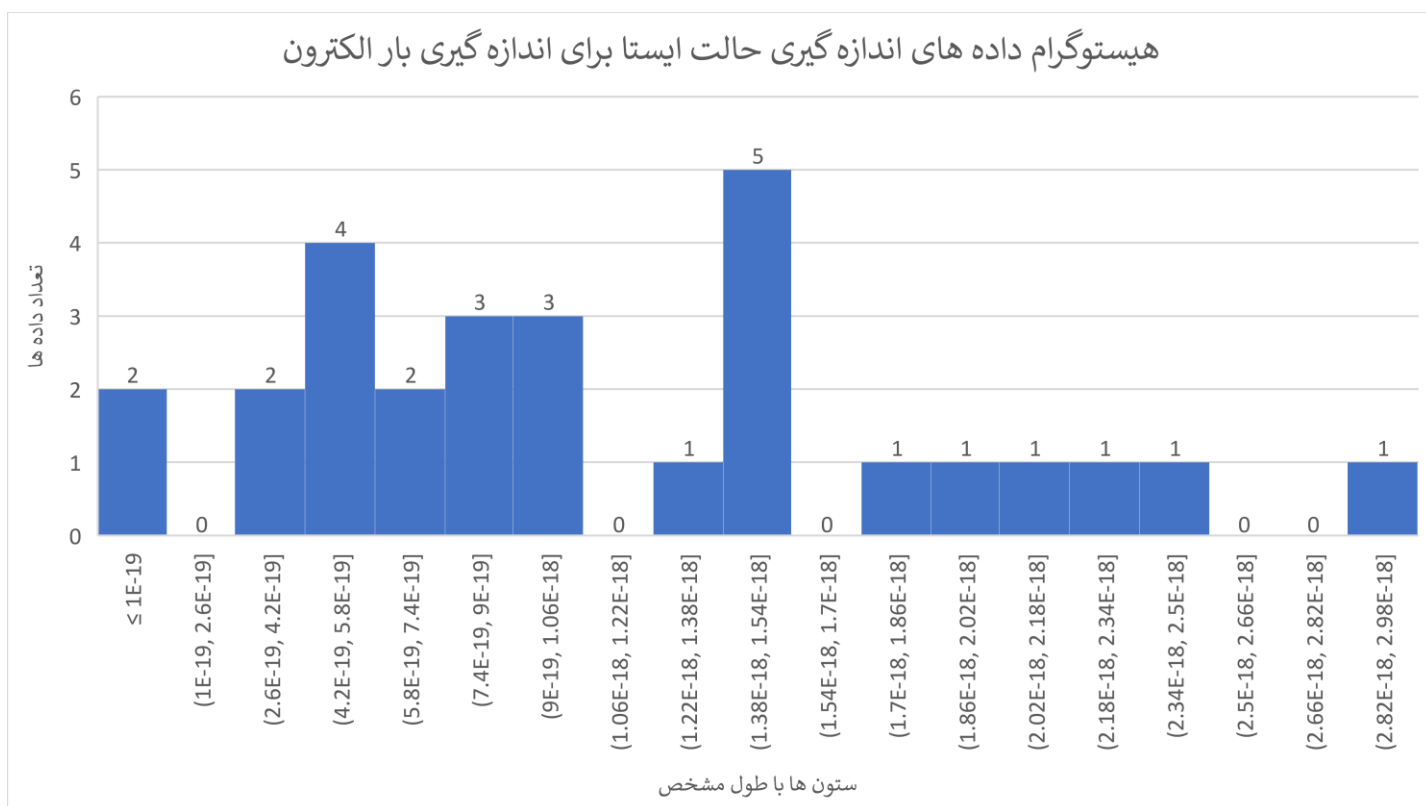
شماره قطره	$S(m)$	$t(s)$	$v_1(\frac{m}{s})$	$U(V)$	$q(C)$	n گرد شده
۱	۰,۰۰۰۸	۲,۰۲	۰,۰۰۰۳۹۶۰۴	۵۲۰	۳,۴۹۵۸E-۱۸	۱۵
۲	۰,۰۰۱۷۶	۴,۸۹	۰,۰۰۰۳۵۹۹۱۸	۵۲۰	۲,۶۴۲۰۳E-۱۸	۱۳
۳	۰,۰۰۱۰۶۷	۶,۶	۰,۰۰۰۱۶۱۶۶۷	۵۲۰	۷,۹۵۳۵۷E-۱۹	۴
۴	۰,۰۰۰۴۲۷	۶,۶۶	۶,۴۱۱۴۱E-۰۵	۵۲۰	۱,۹۸۶۳۸E-۱۹	۱
۵	۰,۰۰۰۶۴	۲,۰۱	۰,۰۰۰۳۱۸۴۰۸	۵۲۰	۲,۱۹۸۴E-۱۸	۱۱
۶	۰,۰۰۰۷۴۷	۲,۳۲	۰,۰۰۰۳۲۱۹۸۳	۵۲۰	۲,۲۳۵۵۳E-۱۸	۱۱
۷	۰,۰۰۰۶۴	۲,۳۶	۰,۰۰۰۲۷۱۱۸۶	۵۲۰	۱,۷۲۷۹۶E-۱۸	۹
۸	۰,۰۰۰۶۹۳	۲,۶۳	۰,۰۰۰۲۶۳۴۹۸	۵۲۰	۱,۶۵۵E-۱۸	۸

این داده ها به ما مقدار بار را می دهند ولی بهتر است که برای دقیق تر شدن نتیجه آزمایش، نمودار هیستوگرام را رسم کنیم و مقدار بار را از روی آن نمودار به دست بیاوریم.

برای این که مقدار خطای این اندازه گیری ها کمتر شود، کاری که می کنیم این است که دو به دو مقدار بارها را از هم کم می کنیم و هیستوگرام «داده های تولید شده» را رسم می کنیم و سپس به تحلیل این داده ها می پردازیم.

ما در فایل اکسل، داده ها را در سربرگ Exp I آورده ایم و از آوردن مجدد آنها اجتناب می کنیم.

نمودار هیستوگرام این داده ها چنین می شود:



نمودار ۱: هیستوگرام آزمایش اول - حالت ایستا با کمک داده ها تولید شده (تفاضل دو به دو داده ها)

که در آن، طول یک ستون برابر 1.6×10^{-19} در واحد کولمب است و بارهای بالاتر از 10^{-17} کولمب و کمتر از 10^{-19} کولمب را حذف کرده ایم. (شاید بشود گفت اینجا جایی است که داریم تقلب می کنیم چرا که این مقادیر را به کمک مقدار حقیقی بار الکترون انتخاب کرده ایم).

حالا به کمک دستور مرتب کردن داده ها، ما داده های ستون های با بیشتر از یک عضو را استخراج کردیم و میانگین آن ها را به دست آوردیم. سپس با تقسیم بر بار پایه ای الکترون (که در همین آزمایش آن را به دست آوردیم و مقدارش $1.98938 \times 10^{-19} C$ است)، تعداد الکترون های قطره روغن را محاسبه کردیم و در انتها با تقسیم میانگین هر ستون بر تعداد الکترون های موجود در قطره، بار پایه ای الکترون را محاسبه کردیم.

باز هم در اینجا از آوردن داده های هر ستون خودداری می کنیم و جدولی را که مربوط به مقدار بار الکترون است را می آوریم^۱:

جدول ۲: تحلیل داده های هر ستون هیستوگرام و به دست آوردن بار پایه الکترون

تعداد اعضای ستون هیستوگرام	۲	۴	۲	۳	۳	۵
میانگین	$4.07023E-19$	$4.91261E-19$	$5.88625E-19$	$8.4162E-19$	$9.44567E-19$	$1.4447E-18$
تعداد الکترون ها	2.049071265	2.473147386	2.963307629	4.236957767	4.75521589	7.273012981
بار الکترون	$2.03511E-19$	$1.63754E-19$	$1.96208E-19$	$2.10405E-19$	$1.88913E-19$	$2.06385E-19$

و همچنین با میانگین گیری روی تمامی این بارهای به دست آمده در جدول بالا می توانیم مقدار

$$e = -1.94863 \times 10^{-19} C$$

را برای بار الکترون به دست بیاوریم.

آزمایش ۲: حالت پویا

در این روش؛ ابتدا قطره سقوط می کند و ما مسافت و زمان سقوط آن را اندازه می گیریم سپس، قطره به سمت بالا حرکت می کند. ما با به دست آوردن مسافت و زمان صعود قطره، آن ها را در جدول وارد می کنیم و سپس به کمک رابطه ی

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

بار قطره را محاسبه می کنیم. به این شکل از انجام آزمایش، حالت پویا گفته می شود.

جدول داده های این آزمایش را می بینید:

جدول ۳: داده های آزمایش ۲ - حالت پویا

شماره قطره	$S_1(m)$	$t_1(s)$	$v_1(\frac{m}{s})$	$S_2(m)$	$t_2(s)$	$v_2(\frac{m}{s})$	$U(V)$	$q(C)$	n گرد شده
۱	۰.۰۰۰۸۵۳	۲.۶۵	۰.۰۰۰۳۲۱۸۸۷	۰.۰۰۰۶۴	۱	۰.۰۰۰۶۴	۵۲۰	$6.77739E-18$	۳۴
۲	۰.۰۰۰۱۶	۴.۵۲	۰.۰۰۰۳۵۳۹۸۲	۰.۰۰۱۸۶۷	۰.۶۷	۰.۰۰۲۷۸۶۵۶۷	۵۳۰	$2.24313E-17$	۱۱۳
۳	۰.۰۰۰۱۲۸	۳.۳۲	۰.۰۰۰۳۸۵۵۴۲	۰.۰۰۱۲۲۷	۶.۳	۰.۰۰۰۱۹۴۷۶۲	۵۳۰	$4.32564E-18$	۲۲
۴	۰.۰۰۰۱۰۶۷	۵.۰۸	۰.۰۰۰۲۱۰۰۳۹	۰.۰۰۱۷۶	۹.۴	۰.۰۰۰۱۸۷۲۳۴	۵۴۰	$2.14526E-18$	۱۱
۵	۰.۰۰۰۰۸	۲.۷۶	۰.۰۰۰۲۸۹۸۵۵	۰.۰۰۱۹۲	۳.۱۵	۰.۰۰۰۶۰۹۵۲۴	۵۵۰	$5.6151E-18$	۲۸
۶	۰.۰۰۰۰۹۶	۶.۵۳	۰.۰۰۰۱۴۷۰۱۴	۰.۰۰۱۰۶۷	۶.۳۲	۰.۰۰۰۱۶۸۸۲۹	۵۸۰	$1.32849E-18$	۷
۷	۰.۰۰۰۱۰۶۷	۳.۵۲	۰.۰۰۰۳۰۳۱۲۵	۰.۰۰۱۳۳۳	۱۶.۹	$7.88757E-05$	۶۰۰	$2.23028E-18$	۱۱

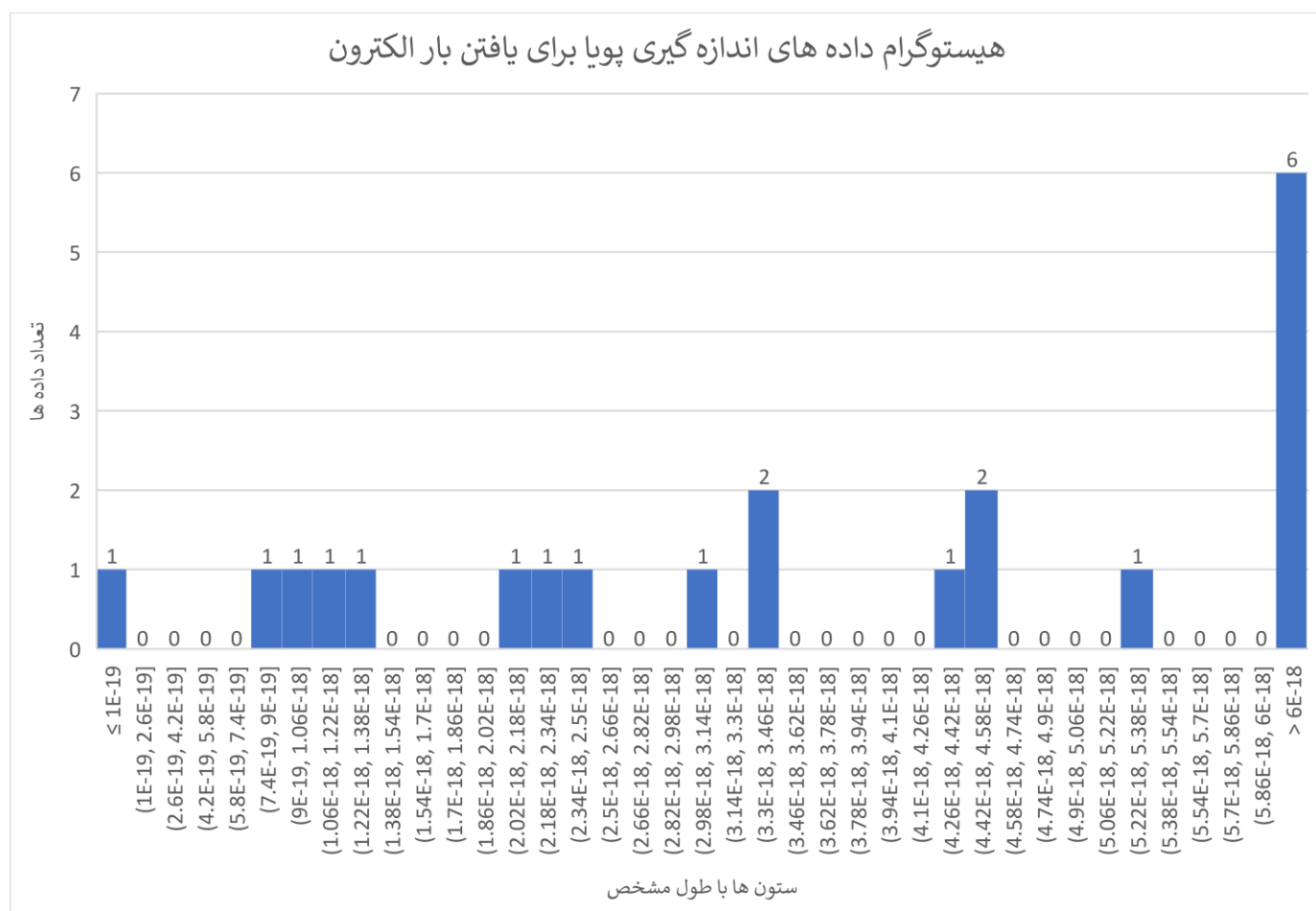
^۱ به راحتی این داده ها را می توانید در فایل اکسل و در سر برگ Exp I پیدا کنید.

این داده ها به ما مقدار بار را می دهند ولی بهتر است که برای دقیق تر شدن نتیجه آزمایش، نمودار هیستوگرام را رسم کنیم و مقدار بار را از روی آن نمودار به دست بیاوریم.

برای این که مقدار خطای این اندازه گیری ها کمتر شود، کاری که می کنیم این است که دو به دو مقدار بارها را از هم کم می کنیم و هیستوگرام «داده های تولید شده» را رسم می کنیم و سپس به تحلیل این داده ها می پردازیم.

ما در فایل اکسل، داده ها را در سربرگ Exp II آورده ایم و از آوردن مجدد آنها اجتناب می کنیم.

نمودار هیستوگرام این داده ها چنین می شود:



نمودار ۲: هیستوگرام آزمایش دوم – حالت پویا با کمک داده های تولید شده (تفاضل دو به دو داده ها)

(توجه کنید که در این آزمایش، تعداد داده های تولید شده به نسبت آزمایش قبلی کمتر است و رسم نمودار هیستوگرام آن ها، به شکل بالا صورت می پذیرد و همانطور که می بینیم، پراکندگی داده ها زیاد است. همین باعث می شود که به دست آوردن بار با این روش دقت خوبی نداشته باشد. اگر داده های بیشتری با این روش تولید می کردیم، می توانستیم همچون آزمایش ۱ به تحلیل بهتر هیستوگرام و یافتن دقیقتر مقدار بار الکترون پردازیم.)

در این نمودار، طول یک ستون برابر 1.6×10^{-19} در واحد کولمب است و بارهای بالاتر از 10^{-17} کولمب و کمتر از 10^{-19} کولمب را حذف کرده ایم. (شاید بشود گفت اینجا جایی است که داریم تقلب می کنیم چرا که این مقادیر را به کمک مقدار حقیقی بار الکترون انتخاب کرده ایم.)

حالا به کمک دستور مرتب کردن داده ها، ما داده های ستون های با بیشتر از یک عضو را استخراج کردیم و میانگین آن ها را به دست آوردیم. سپس با تقسیم بر بار پایه ای الکترون (که در همین آزمایش آن را به دست آوردیم و مقدارش $1.98938 \times 10^{-19} C$ است)، تعداد الکترون های قطره روغن را محاسبه کردیم و در انتها با تقسیم میانگین هر ستون بر تعداد الکترون های موجود در قطره، بار پایه ای الکترون را محاسبه کردیم. باز هم در اینجا از آوردن داده های هر ستون خودداری می کنیم و جدولی را که مربوط به مقدار بار الکترون است را می آوریم^۲:

جدول ۴: تحلیل داده های هر ستون هیستوگرام و به دست آوردن بار پایه الکترون

تعداد اعضای ستون هیستوگرام	۲	۲
میانگین	$3,41374E-18$	$4,48962E-18$
تعداد الکترون ها	۱۷	۲۲
بار الکترون	$2,00808E-19$	$1,95201E-19$

و همچنین با میانگین گیری روی تمامی این بارهای به دست آمده در جدول بالا می توانیم مقدار

$$e = -1.98005 \times 10^{-19} C$$

را برای بار الکترون به دست بیاوریم.

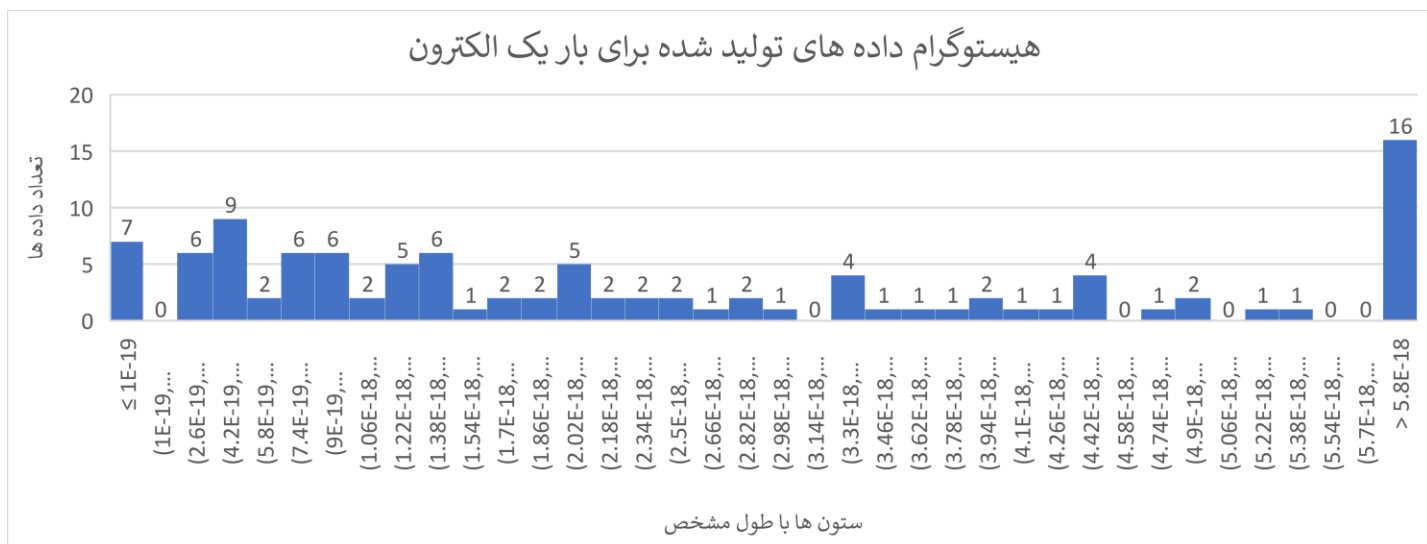
تحلیل تمامی داده های بار به صورت یکجا

در این قسمت، ۱۵ داده ای که برای بار الکترون به دست آمد را به طور یکجا تحلیل می کنیم؛ یعنی مشابه قسمت قبل، نمودار هیستوگرام می کشیم و ستون به ستون، با میانگین گیری و یافتن تعداد الکترون ها، مقدار بار الکترون را محاسبه می کنیم.

باز هم از آوردن داده های تولید شده خودداری می کنیم ولی این داده ها در فایل اکسل و سربرگ Cumulative موجودند.

یک راست به سراغ نمودار هیستوگرام می رویم:

^۲ به راحتی این داده ها را می توانید در فایل اکسل و در سر برگ Exp II پیدا کنید.



نمودار ۳: هیستوگرام تحلیل تجمعی داده های هر دو آزمایش

در این نمودار، طول یک ستون برابر 1.6×10^{-19} در واحد کولمب است و بارهای بالاتر از 10^{-17} کولمب و کمتر از 10^{-19} کولمب را حذف کرده ایم. (شاید بشود گفت اینجا جایی است که داریم تقلب می کنیم چرا که این مقادیر را به کمک مقدار حقیقی بار الکترون انتخاب کرده ایم.)

حالا به کمک دستور مرتب کردن داده ها، ما داده های ستون های با بیشتر از یک عضو را استخراج کردیم و میانگین آن ها را به دست آوردیم. سپس با تقسیم بر بار پایه ای الکترون (که در همین آزمایش آن را به دست آوردیم و مقدارش $1.98938 \times 10^{-19} C$ است)، تعداد الکترون های قطره روغن را محاسبه کردیم و در انتها با تقسیم میانگین هر ستون بر تعداد الکترون های موجود در قطره، بار پایه ای الکترون را محاسبه کردیم.

باز هم در اینجا از آوردن داده های هر ستون خودداری می کنیم و جدولی را که مربوط به مقدار بار الکترون است را می آوریم^۳:

جدول ۵-۱: تحلیل داده های هر ستون هیستوگرام و به دست آوردن بار پایه الکترون

تعداد اعضای ستون هیستوگرام	۶	۹	۲	۶	۶	۲	۵
میانگین	۳,۹۴۸۴۸E-۱۹	۵,۰۶۹۷۷E-۱۹	۵,۸۸۶۲۵E-۱۹	۸,۳۸۴۸E-۱۹	۹,۲۴۴۷۳E-۱۹	۱,۰۲۸۶E-۱۸	۱,۳۰۷۴E-۱۸
تعداد الکترون ها	۱,۹۸۷۷۷۸۸۲۷	۲,۵۵۲۲۶۸۴۹	۲,۹۶۳۳۰۷۶۲۹	۴,۲۲۱۱۲۹۴۲	۴,۶۵۴۰۶۶۴۳۳	۵,۵۵۲۱۴۰۹۳۵	۶,۵۸۱۸۲۹۴۲۵
بار الکترون	۱,۹۷۴۲۴E-۱۹	۱,۶۸۹۹۲E-۱۹	۱,۹۶۲۰۸E-۱۹	۱,۶۷۷E-۱۹	۱,۸۴۸۹۵E-۱۹	۱,۸۳۸۱۱E-۱۹	۱,۸۶۷۷۱E-۱۹

^۳ به راحتی این داده ها را می توانید در فایل اکسل و در سر برگ Exp II پیدا کنید.

جدول ۵-۲: تحلیل داده های هر ستون هیستوگرام و به دست آوردن بار پایه الکترون

تعداد اعضای ستون هیستوگرام	۶	۲	۲	۵	۲	۲
میانگین	۱,۴۴۳۰۷E-۱۸	۱,۷۸۳۸۸E-۱۸	۱,۹۷۳۲E-۱۸	۲,۰۷۶۲۵E-۱۸	۲,۲۱۷۳E-۱۸	۲,۳۹۷۵۷E-۱۸
تعداد الکترون ها	۷,۲۶۴۸۱۰۰۹۱	۸,۹۸۰۰۵۶۳۳۳۸	۹,۹۳۳۶۳۷۹۳۸	۱۰,۴۵۲۴۳۵۷	۱۱,۱۶۲۵۱۴۰۷	۱۲,۰۷۰۰۶۱۹
بار الکترون	۱,۸۰۳۸۳E-۱۹	۱,۹۸۲۰۹E-۱۹	۱,۹۷۳۲E-۱۹	۱,۸۸۷۵E-۱۹	۱,۸۴۷۷۵E-۱۹	۱,۹۹۷۹۸E-۱۹

جدول ۵-۳: تحلیل داده های هر ستون هیستوگرام و به دست آوردن بار پایه الکترون

تعداد اعضای ستون هیستوگرام	۲	۲	۴	۲	۴	۲
میانگین	۲,۵۷۴۸۱E-۱۸	۲,۹۰۵۲۱E-۱۸	۳,۴E-۱۸	۳,۹۹E-۱۸	۴,۴۸E-۱۸	۴,۹۹E-۱۸
تعداد الکترون ها	۱۲,۹۶۲۳۳۱۹۶	۱۴,۶۲۵۶۷۱۶۳	۱۷,۱۱۲۲۷	۲۰,۰۹۱۵۴	۲۲,۵۲۸۵۷	۲۵,۱۰۰۵۳
بار الکترون	۱,۹۸۰۶۲E-۱۹	۱,۹۳۶۸۱E-۱۹	۱,۸۹E-۱۹	۲E-۱۹	۲,۰۳E-۱۹	۱,۹۹E-۱۹

و همچنین با میانگین گیری روی تمامی این بارهای به دست آمده در جدول بالا می توانیم مقدار

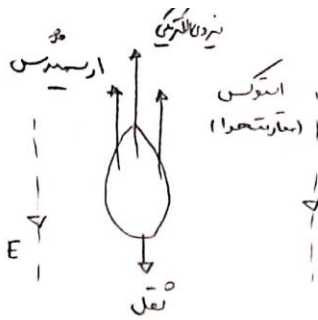
$$e = -1.90422 \times 10^{-19} C$$

را برای بار الکترون به دست بیاوریم.

به نسبت دو آزمایش بالا، مقدار بار الکترون را به طور دقیق تر و بهتری به دست می دهد.

پرسش ها:

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



پرسش ۱! مطابق شکل دربر، چون که ذره بین از دقت به سرعت حدی می رسد، پس حلقه‌ای از خطوط آن
 مایه نیزی به جهت بالا دارد و چون بار مقله منفی است، جهت میدان به سمت پایین مایه مایه
 (سی دانیم که ذرات مایه منفی حالت جهت میدان نیز در سطح می گیرند.)

$$m_i g - m_e g - 4\pi r \eta v_1 = 0 \quad \text{رابطه برتون}$$

$$\begin{aligned} m_i &= \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_i & (\text{تقریب برتون}) \\ m_e &= \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_e \end{aligned}$$

$$E = \frac{V}{d} \quad (\text{جهت}) \downarrow$$

$$\Rightarrow \frac{4}{3} \pi r^3 (\rho_i - \rho_e) g = 6\pi \eta v_1$$

$$\Rightarrow r = \left(\frac{9 \eta v_1}{2(\rho_i - \rho_e) g} \right)^{1/2} (*)$$

حال ما توانستیم شعاع مقله را حساب کنیم، اگر میدان را روشن کنیم:

$$(m_i g - m_e g - qE) = 0 \rightarrow \frac{4}{3} \pi r^3 (\rho_i - \rho_e) g = \frac{qV}{d}$$

توجه کنید که در رابطه بالا، منبری استوک را وارد نکردیم، چرا که اگر منبری وارد می شد مقله صغریا در این صورت به سرعت اولیه آن افتاده
 کم است که محاسبه این نیز (که وابسته به سرعت است) صغریا شده:

$$\frac{4}{3} \pi \left(\frac{9 \eta v_1}{2(\rho_i - \rho_e) g} \right)^{3/2} (\rho_i - \rho_e) g = \frac{qV}{d} \quad \text{جابجایی (*)}$$

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

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

پرسش 2) حالا اگر ذره با سرعت v_2 حرکت کند، معادست حساب می‌کنیم است و دوباره در محادله بنویس و ظاهر می‌شود:

$$m_1 g - m_2 g \pm 6 \pi r \eta v_2 - \frac{qV}{d} = 0 \rightarrow \frac{qV}{d} = \frac{4}{3} \pi r^3 (\rho_1 - \rho_2) g + 6 \pi r \eta v_2$$

مجرداً r را از * معادله دوم:

$$\frac{4}{3} \pi \left(\frac{q \eta v_1}{2(\rho_1 - \rho_2) g} \right)^{3/2} (\rho_1 - \rho_2) g + 6 \pi \eta v_2 \left(\frac{q \eta v_1}{2(\rho_1 - \rho_2) g} \right)^{1/2} = \frac{qV}{d}$$

$$\frac{4}{3} \pi \times \frac{27}{2\sqrt{2}} (\eta v_1)^{3/2} \left(\frac{1}{(\rho_1 - \rho_2) g} \right)^{1/2} + \frac{6 \pi \eta v_2 (\eta v_1)^{1/2}}{\sqrt{2(\rho_1 - \rho_2) g}} = \frac{qV}{d}$$

$$18 \eta v_1 \pi \left(\frac{\eta v_1}{(\rho_1 - \rho_2) g} \right)^{1/2} + 18 \pi \eta v_2 \left(\frac{\eta v_1}{2(\rho_1 - \rho_2) g} \right)^{1/2} = \frac{qV}{d}$$

$$\Rightarrow \eta = \frac{d}{V} \times 18 \pi \eta^{3/2} (v_1 + v_2) \sqrt{v_1} \times \frac{1}{\sqrt{2(\rho_1 - \rho_2) g}}$$

همان رابطه (۲) دست‌نویس است.

سوالات:

- 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؟

پاسخ سوال ۱:

در بالا مقدار میانگین بار را به سه روش محاسبه کردیم.

- سوال ۱:
- زمان کردن قطره با میکرو سکوپ و برپس زمان دقیق رسیدن آن به سطح خطا دارد.
 - زمان بعضی هم دلایل خطا است، چرا که زمان واکنش انسان در آن دخیل است.
 - مقدار ۶ سببه به فشار و دمای هوا متفاوت است و ما آن را لحاظ نمی‌کنیم.
 - در آزمایش اول، حتی تصحیح این که کدام قطره ثابت است، ممکن است دلایل خطا باشد.
 - ممکن است قطره دارای مولفه سرعت افقی باشد که اندازه گرفتن آن با میکرو سکوپ اصعب است و نیز از این رو باعث تولید خطا در رابطه (3) و (4) می‌شود.
 - مایه ذرات در برخورد با یکدیگر یا با سطوح های هوا ممکن است عوض شود.

- سوال ۲:
- معتبر بوده که در آزمایشگاه حضور این سوال را می‌پرسید، چرا که به نظری رد حل این سوال نیاز به تجربه دارد.
- اما حدس من این است که آزمایش دوم یعنی آزمایش پولا، وقت تهری دارد. چرا که ما به قطره دقیق ساکن شدن ذره را نمی‌توانیم تشخیص دهیم، لذا ممکن است در پتانسیل گریزی نیز از آنچه در جدول می‌آید، ذره ساکن شود.
- همین این که هر دو روش خطای مطابقت دارد در سوال ۳ را دارند.
- توجه کنید اگر بخواهیم با رسم هیستوگرام رده بندی داده ها، مقدار e را حساب کنیم، ۷ تا ۸ داده را قاطعاً به اندازه کافی خوب می‌بینند لذا مقایسه کردن میانگین با هر از روش ۱ و ۲ معنی دار نیست!

سوال ۴: به در دلیل:

- توجه کنید که تمامی سرعت های صافی گذاری شده در رابطه (3) و (4)، سرعت های عمودی هستند. حال در آزمایش ممکن است که ذرات سرعت های افقی پیدا کنند و آنچه که ما اندازه می‌گیریم، اندازه سرعت است و راه برای یافتن مولفه عمودی نداریم. در طول زمان به علت تابش پرتو قطرات روغن، این مولفه افقی باعث ایجاد خطا می‌شود.
- قطرات روغن در برخورد با هوا با یکدیگر ممکن است به تبادل کنند و برپس آن ها تغییر ممکن شود.
- قطرات روغن ممکن است به هم بچسبند و در کار را غراب کنند.

پاسخ سوال ۵:

- اثرات اصطکاکی بین قطرات روغن با جداره های نازل یک مکانیسم برای باردار شدن قطرات روغن است.

- در یک سری از آزمایش ها، با کمک اشعه X ، و با تاباندن آن به قطرات روغن پیش از فرود آمدن آن ها را باردار می کنند.

طبق ویکیپدیا، خود میلیکان از روش دوم استفاده کرده است.

سوال ۴

- آزمایش جوزفسون - دن مکتنرنگ که اثر کوانتومی حالت یک را به خوبی برای یافتن e است.
- حاصل تقسیم ثابت فارادی بر عدد آووگادرو برابر با e است به شرطی که آن ثابت درست آورده باشیم.
- روش مبتنی بر زوج های کوپلر در ابررسانا اندازه گیری ثابت بنیادی این زوج ها است که مقدار e را به دست می دهد.