آزمایش ۲ : معادل الکتریکی عدد ژول

هدف: اندازه‌گیری عدد ژول به روش الکتریکی

وسایل لازم: گرماسنج الکتریکی به همراه سیم‌پیچ، دماسنج دیجیتال، منبع تغذیه‌ی جریان مستقیم، زمان‌سنج

مبانی نظری :

بر اساس پایستگی انرژی، شکل‌های مختلف انرژی می‌تواند به‌یکدیگر تبدیل شود. به عنوان مثال انرژی مکانیکی یا الکتریکی می‌توانند به انرژی گرمایی تبدیل شوند. ژول با آزمایش نشان داد که هرگاه مقدار معینی از انرژی مکانیکی به گرما تبدیل شود، مقدار گرمای حاصل مقدار مشخصی است. او چنین گفت: نسبت کار مکانیکی به انرژی گرمایی تولید شده مقداری ثابت است. این نسبت ثابت که عدد ژول نامیده می‌شود، معرف معادل مکانیکی انرژی گرمایی است.

با توجه به هم‌ارزی شکل‌های مختلف انرژی، عدد ژول را می‌توان به روش الکتریکی یا مکانیکی محاسبه کرد. در روش الکتریکی از انرژی گرمایی تولید شده توسط عبور جریان الکتریکی از یک مقاومت (یا سیم‌پیچ) استفاده می‌شود. در این حالت عدد ژول به عنوان معادل الکتریکی انرژی گرمایی شناخته می‌شود.

روش انجام آزمایش :

۱- مقدار $180cc$ آب معمولی معادل $180gr$ را به کمک استوانه‌ی مدرج تهیه کرده و داخل گرماسنج بریزید.

۲- دماسنج را داخل گرماسنج بگذارید و آب داخل آن را هم بزنید. پس از ثابت شدن دما، دمای تعادل اولیه را بخوانید و آن را θ_1 بنامید.

۳- مطابق شکل (۱) دو شاخه منبع تغذیه را به دو سر گرماسنج وصل کنید.

۴- در حالی که منبع تغذیه در بیشترین مقدار ولتاژ خود است و زمانسنج بر روی $Mode\ 4$ قرار گرفته است. منبع تغذیه و زمانسنج را به طور همزمان به ترتیب روشن و $Start$ کنید.

۵- در این مرحله مدام همزن گرماسنج را به‌هم بزنید و افزایش دما را از به کمک دماسنج مشاهده کنید.

۶- هنگامی که دماسنج افزایش چهار درجه‌ای از وضعیت دمای تعادل را نشان داد، بلافاصله زمانسنج را $Stop$ کنید.

۷- در این حالت دمای نهایی که θ_2 نامیده می‌شود و چهار درجه بیشتر از دمای اولیه‌ی θ_1 است را یادداشت کنید.

به روابط زیر توجه کنید:

در آزمایش انجام گرفته چنان‌چه جریان در مدت زمان t از مقاومتی که به اختلاف پتانسیل V وصل شده است عبور کند، آنگاه انرژی الکتریکی مصرف شده را می‌توان از رابطه‌ی زیر به‌دست آورد:

$$W = VIt$$

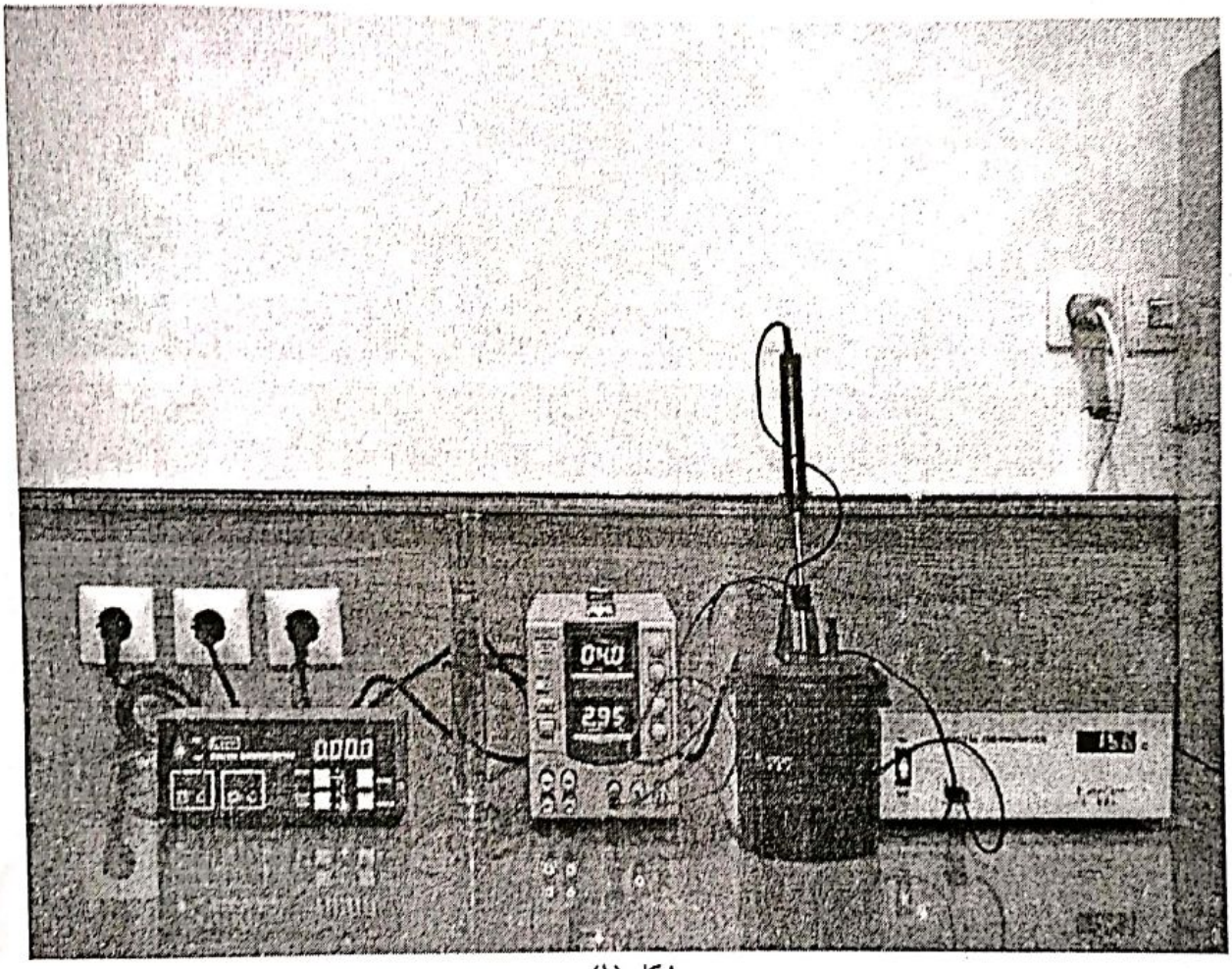
اگر این انرژی، دمای m گرم از آب به گرمای ویژه $c_w = 1$ را به اندازه $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$ بالا ببرد، انرژی گرمایی تولید شده برابر است با:

$$Q = (mc_w + A)(\theta_2 - \theta_1)$$

که در آن A ظرفیت گرمایی یا ارزش آبی گرماسنج است که در آزمایش داده شده است. بنابراین به راحتی می‌توان با داشتن W و Q ثابت ژول را به صورت زیر به‌دست آورد:

CamScanner

$$J = \frac{VIt}{(mc_w + A)(\theta_2 - \theta_1)}$$



شکل (۱)

۸- آزمایش را دوبار انجام داده و به کمک کمیت‌های بدست آمده جدول‌های (۱) و (۲) را کامل کنید.

آزمایش	M	θ_1	θ_2	I	V	t
۱						
۲						

جدول (۱)

آزمایش	J_1	J_2	$J \pm \Delta J$
$J = \frac{W}{Q}\ (\frac{J}{cal})$			

جدول (۲)

CamScanner

آزمایش ۳: تعیین گرمای نهان ذوب یخ

هدف: اندازه‌گیری گرمای نهان ذوب یخ با استفاده از کالریمتر
وسایل لازم: گرماسنج، دماسنج الکتریکی، استوانه‌ی مدرج

مبانی نظری :

هنگامی که به یخ صفر درجه سیلسیوس گرما داده می‌شود، یخ شروع به ذوب شدن می‌کند. در این حالت است که تمام انرژی گرمایی داده شده به یخ صرف تغییر حالت از حالت جامد به مایع می‌شود. مقدار گرمایی که یک گرم یخ می گیرد تا بدون آنکه دمایش تغییر کند از حالت جامد به مایع تبدیل شود، ***گرمای نهان ذوب یخ*** نامیده می‌شود. این گرما را با L_f نشان می‌دهند. و واحد آن Cal/gr است. گرمای لازم برای ذوب کردن m گرم یخ از رابطه‌ی $Q = mL_f$ به‌دست می‌آید. مقدار Q در ادامه با توجه به آزمایش به شکل صریح بیان خواهد شد.

روش انجام آزمایش :

۱- با دستمال داخل و خارج گرماسنج را تمیز و خشک کنید.
۲- جرم گرماسنج را با درب و متعلقات آن به کمک ترازو تعیین کنید. مقدار آن را M_1 بنامید. (دقت کنید که دقت ترازو یک دهم گرم است).
۳- به کمک استوانه‌ی مدرج مقدار ۲۰۰cc آب را درون گرماسنج بریزید.
۴- دومرتبه جرم گرماسنج را با درب و متعلقات به کمک ترازو تعیین کنید و مقدار آن را M_2 بنامید. بنابراین جرم آب درون گرماسنج برابر با $M = M_2 - M_1$ می‌شود. این مقدار را در جدول (۱) یادداشت کنید.
۵- به کمک دماسنجی که در اختیار دارید دمای گرماسنج و آب درون آن را اندازه‌گیری کنید. مقدار این دما را θ_1 بنامید و در جدول (۱) یادداشت کنید. (توجه کنید که همزن گرماسنج را آرام بزنید تا آب و گرماسنج به تعادل گرمایی برسند و دماسنج دمای ثابتی را نشان دهد).
۶- یک قطعه‌ی کوچک یخ را با دستمال خشک کرده و داخل گرماسنج حاوی آب بیاندازید.
۷- درحالی که دماسنج را درون گرماسنج گذاشته‌اید، همزن را مرتب به‌هم بزنید تا یخ به‌طور کامل ذوب شود. در این حالت دماسنج دمای ثابتی را نشان می‌دهد که مقدار آن را θ یادداشت می‌کنید.
۸- جرم گرماسنج را به همراه آب و یخ ذوب شده اندازه‌گیری کنید و مقدار آن را M_3 بنامید. بنابراین جرم یخ درون گرماسنج برابر با $m = M_3 - M_2$ می‌شود. این مقدار را در جدول (۱) یادداشت کنید.
۹- با داشتن مقدار ارزش آبی گرماسنج که قبلا مشخص شده است مقدار L_f را به کمک روابط زیر مشخص کنید.

گرمایی که یخ گرفته است تا ذوب شود: $Q_1 = mL_f$
گرمایی که یخ ذوب شده گرفته است تا به آب با دمای θ تبدیل شود: $Q_2 = mc_i(\theta - \theta_2)$
گرمایی که آب از دست داده تا به آب با دمای θ تبدیل شود: $Q_3 = mc_w(\theta_1 - \theta)$
گرمایی که گرماسنج و متعلقات آن از دست داد تا از دمای θ_1 به دمای نهایی θ برسد: $Q_4 = A(\theta_1 - \theta)$

CamScanner

براساس اصل پایستگی انرژی گرمایی، می‌توان نوشت :

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4$$
$$Mc_w(\theta_1 - \theta) + A(\theta_1 - \theta) = mL_f + mc_c(\theta - \theta_2)$$

بنابراین رابطه‌ی نهایی برای گرمای نهان ذوب یخ به صورت زیر بیان می‌شود:

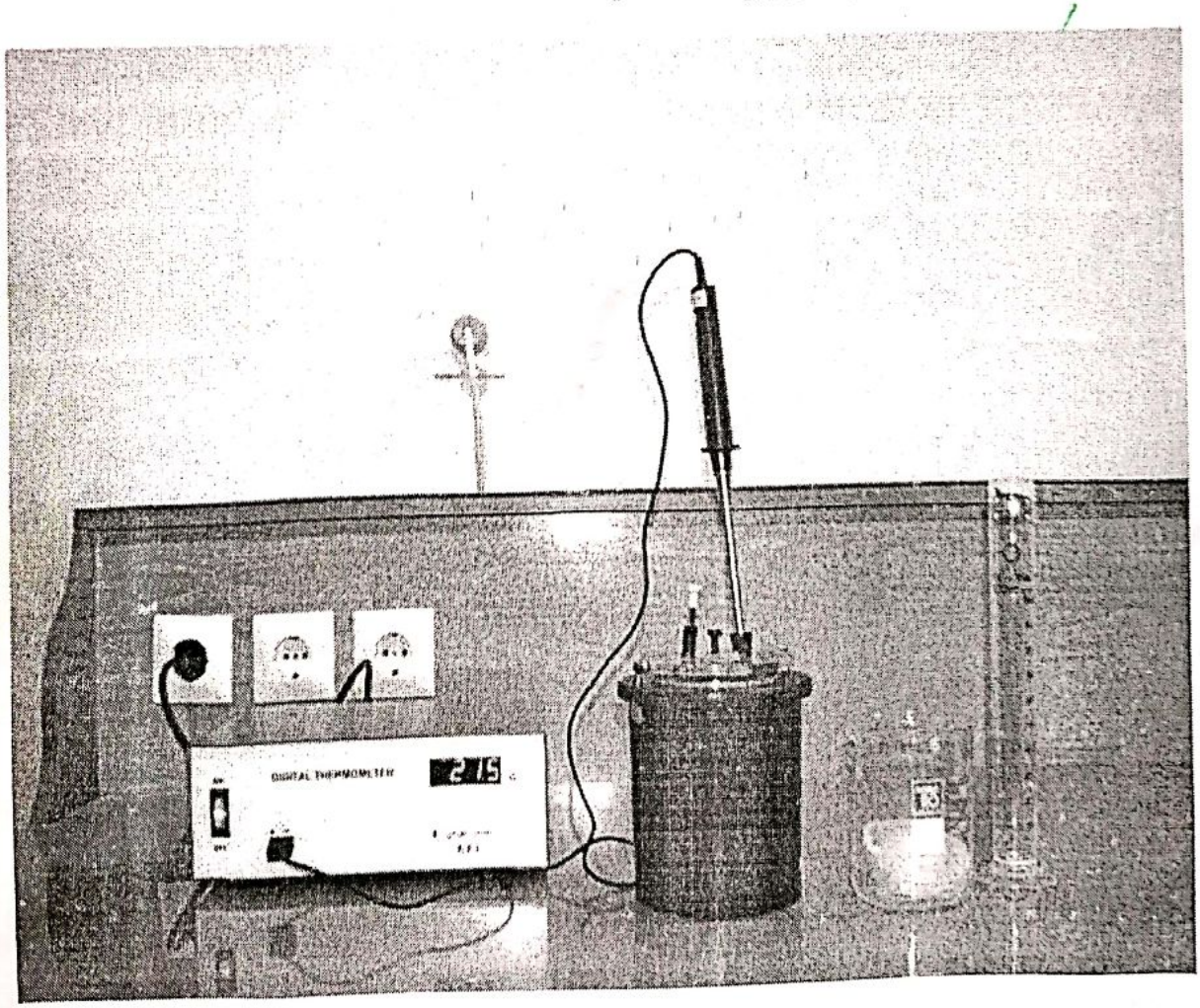
$$L_f = \frac{(Mc_w + A)(\theta_1 - \theta) - mc_i(\theta - \theta_2)}{m}$$

۱۰- آزمایش را دو بار انجام دهید و جدول (۱) را کامل کنید.

شماره آزمایش	M	θ_1	θ	m	A	L_f
۱						
۲						

جدول (۱)

نمایی از آزمایش را می‌توانید در شکل زیر مشاهده کنید.



آزمایش ۴: تعیین گرمای نهان تبخیر آب

هدف: اندازه‌گیری گرمای نهان تبخیر آب به کمک کالریمتر

وسایل لازم: کالریمتر، ترازو، اجاق برقی، منبع تولید بخار، لوله‌ی شیشه‌ای، شیلنگ، گیره وسه‌پایه

مبانی نظری :

هنگامی که جسمی گرم می‌شود تمام انرژی گرمایی داده شده به جسم به صورت انرژی جنبشی انتقالی مولکول‌ها ظاهر نمی‌شود. بخشی از این انرژی صرف درهم شکستن پیوندهای مولکولی می‌شود و آنها را از هم دور می‌کند. لذا اجسام از نظر مقدار انرژی گرمایی لازم برای تغییر دمای یکسان با هم تفاوت دارند. مقدار گرمایی که هنگام تغییر حالت فیزیکی، هر گرم از جسم می‌دهد یا دریافت می‌کند، گرمای نهان تغییر حالت نامیده می‌شود. تجربه نشان می‌دهد که در تمام مدتی که جسم تغییر حالت پیدا می‌کند، دما ثابت می‌ماند. این دما را دمای تغییر حالت می‌نامند. ***گرمای نهان تبخیر*** آب($L_{بخ}$) ، مقدار انرژی است که برای تبدیل واحد جرم آب از حالت مایع به حالت بخار لازم است. توجه داشته باشید که در تبدیل بخار به مایع نیز همین مقدار انرژی آزاد می‌شود.

روش انجام آزمایش :

۱- دستگاه تعیین گرمای نهان تبخیر آب را مطابق شکل (۱) روی میز سوار کنید.

۲- در درون ارلن مخصوص تولید بخار تا 1/3 حجم آن آب بریزید و آن را به پایه ببندید. پس از محکم کردن درب، آن را روی اجاق برقی قرار دهید.

۳- جرم درب گرماسنج را اندازه بگیرید و آن را M_1 بنامید.

۴- در حدود ۲۰۰cc آب معادل ۲۰۰gr آب در داخل گرماسنج بریزید ($m_{آب} = 200gr$). در این حالت درب گرما سنج در داخل آب قرار می‌گیرد.

۵- پراب دماسنج را در جای خود بر روی درب گرما سنج قرار دهید. درب گرماسنج را محکم کنید. آب داخل گرماسنج را با همزن بهم زنید. وقتی دما تقریباً ثابت ماند، دمای تعادل اولیه‌ی آب، گرماسنج، همزن، دماسنج و درب را بخوانید و آن را θ_1 بنامید.

۶- مطابق شکل(۱) یکی از لوله‌های شیشه‌ای درب ارلن را با شیلنگ به منبع تولید بخار وصل کنید. شیلنگ دیگری را به لوله‌ی شیشه‌ای دوم درب ارلن وصل کنید و سر دیگر این شیلنگ را به یکی از ورودی‌های درب گرماسنج وصل کنید.

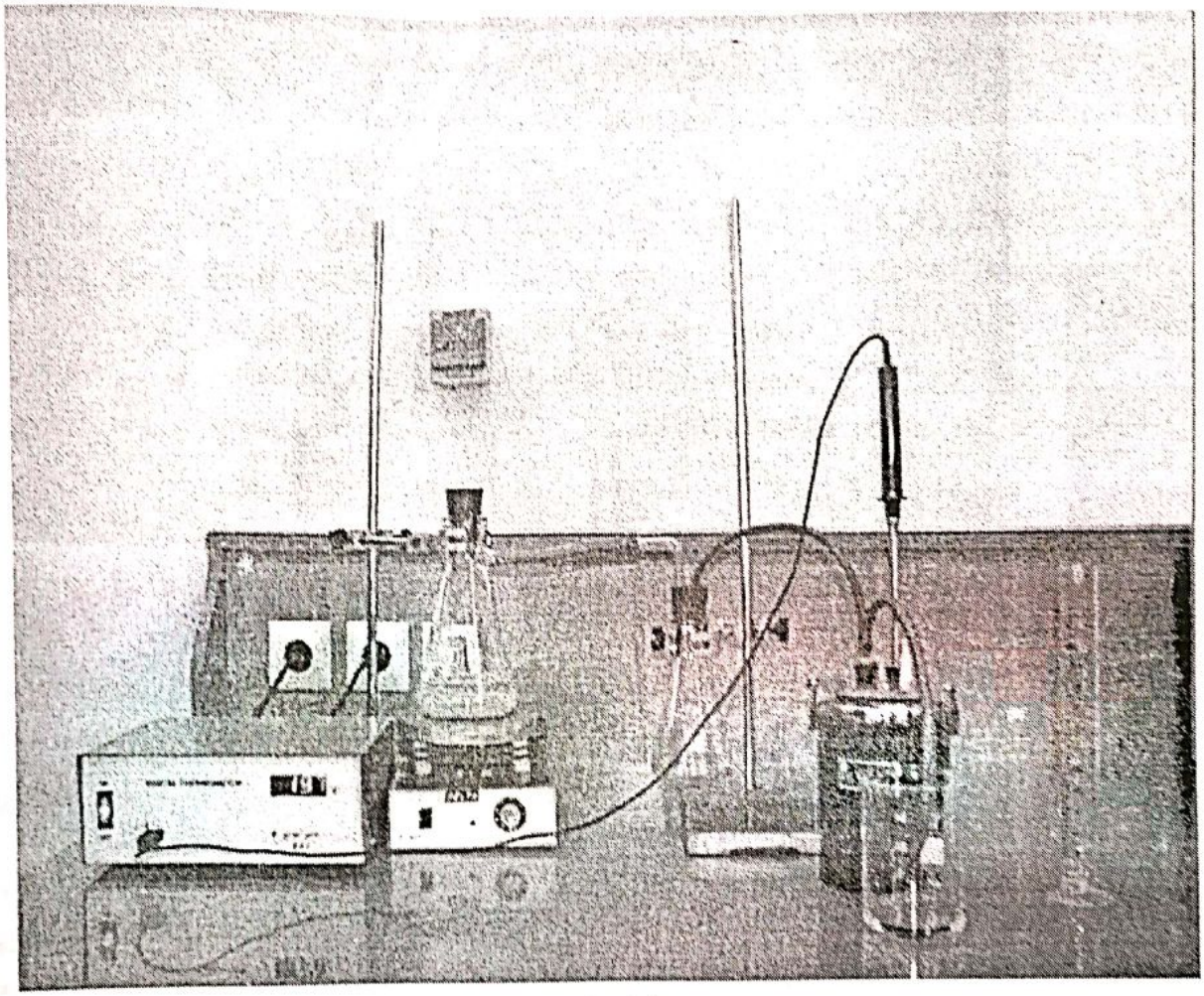
۷- اجاق برقی را روشن کنید تا آب داخل منبع تولید بخار بجوشد و بخار تولید شود.در این حالت بخار تولید شده به داخل ارلن راه می‌یابد و از داخل ارلن بوسیله‌ی لوله‌ی شیشه‌ای دوم و شیلنگ به داخل گرماسنج وارد می‌شود. در این حالت، در داخل چگالنده‌ی درب گرماسنج، بخار به آب تبدیل می‌شود و گرمای نهان خود را به آب و سایر قسمت‌های گرماسنج می‌دهد.

۸- پراب دماسنج را در داخل گرماسنج قرار دهید. مرتب با همزن، آب داخل گرماسنج را هم بزنید و به دمایی که دماسنج نشان می‌دهد، نگاه کنید. در هنگامی که دمای داخل گرماسنج تقریباً ۴۰ درجه بیشتر از θ_1 شد، شیلنگ بخار را از درب گرماسنج جدا کرده و اجاق برقی را خاموش کنید.

CamScanner

۹- آب داخل گرماسنج را مرتب هم بزنید.وقتی که دما تقریباً ثابت ماند ،دما را بخوانید و آن را θ بنامید.

۱۰- پس از اندازه‌گیری دمای تعادل نهایی، درب گرماسنج را وزن کنید و جرم آن را M_2 بنامید. جرم بخار تبدیل شده به آب در این حالت از رابطه‌ی $M=M_2-M_1$ بدست می‌آید.



شکل (۱)

اکنون به روابط زیر توجه کنید:

گرمایی که بخار آب با دمای θ_2 از دست داده است تا به آب با دمای θ_2 تبدیل شود: $Q_1 = ML_v$

گرمایی که آب با دمای θ_2 از دست داده است تا به دمای θ برسد: $Q_2 = MC_w(\theta_2 - \theta)$

گرمایی که آب داخل گرماسنج دریافت کرده است تا از دمای θ_1 به دمای θ برسد: $Q_3 = m_w C_w(\theta - \theta_1)$

گرمایی که گرماسنج دریافت کرده است تا از دمای θ_1 به دمای θ برسد: $Q_4 = A(\theta - \theta_1)$

CamScanner

A، ارزش آبی گرماسنج است،که به شما داده شده است و L_v گرمای نهان بخار آب است.

توجه کنید که θ_2 دمای جوش آب است که معادل ^0C ۹۶ است.

با استفاده از پایستاری انرژی گرمایی می‌توان نوشت:

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4$$

$$ML_v + MC_w(\theta_2 - \theta) = m_w C_w(\theta - \theta_1) + A(\theta - \theta_1)$$

$$L_v = \frac{(m_w C_w + A)(\theta - \theta_1) - MC_w(\theta_2 - \theta)}{M}$$

اکنون مقادیر جدول (۱) را کامل کنید.

$m_w(gr)$	$M_2(gr)$	$M_1(gr)$	$M(gr)$	$(^0C)\theta_1$	$(^0C)\theta_2$	$(^0C)\theta$	A	L_v (cal/gr)	توضیحات

جدول (۱)

آزمایش ۵: سنجش ارزش آبی گرماسنج

هدف: اندازه‌گیری ارزش آبی گرماسنج

وسایل لازم: گرماسنج، بشر، دماسنج دیجیتال، اجاق برقی

مبانی نظری :

ساده‌ترین وسیله برای اندازه‌گیری گرمای ویژه استفاده از کالریمتر (گرماسنج) است. همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده است، کالریمتر ظرفی است که به خاطر دیواره‌های عایق‌بندی شده اگر جسمی درون آن قرار گیرد مبادله گرمای آن با محیط اطراف به حداقل کاهش می‌یابد. کالریمترها سرپوش عایقی دارند که دارای دو سوراخ است: یکی محل همزن و دیگری محل ورود دماسنج.

هر کالریمتر دارای یک ***ارزش آبی*** است که مقدار آن برابر حاصل جمع حاصل ضرب‌های جرم هر جزء در گرمای ویژه آن جزء است و آن را با A نشان می‌دهند.

برای تعیین ارزش آبی کالریمتر ابتدا مقدار گرم آب درون کالریمتر ریخته می‌شود. پس از به‌هم زدن آب و پس از به تعادل رسیدن دمای آب و کالریمتر، دمای تعادل با استفاده از دماسنج اندازه گرفته می‌شود (). سپس مقدار گرم آب گرم با دمای داخل کالریمتر ریخته شده و پس از گذشت زمان کافی دمای تعادل () اندازه گرفته می‌شود. چون کالریمتر کاملا با هوای بیرون ایزوله است، طبق اصل تعادل حرارتی، مقدار گرمایی که جسم گرم ازدست می‌دهد با مقدار گرمایی که جسم سرد می‌گیرد برابر است. بدین ترتیب می‌توان مقدار A را از طریق معادله زیر محاسبه کرد.

$$\sum Q = 0 \quad \rightarrow \quad MC_w(\theta - \theta_1) + A(\theta - \theta_1) = mC_w(\theta_2 - \theta)$$

$$A = \frac{mC_w(\theta_2 - \theta) - MC_w(\theta - \theta_1)}{\theta - \theta_1}$$

$\frac{gr\ \frac{cal}{g \cdot K}\ (K)}{K} = cal$

روش انجام آزمایش :

۱- به کمک استوانه‌ی مدرج M گرم آب سرد($M = 100gr$) را اندازه‌گرفته، درون گرماسنج بریزید و درب آن را ببندید.

۲- دماسنج را داخل گرماسنج بگذارید و آب داخل آن را هم بزنید. پس از ثابت شدن دما، دمای تعادل اولیه را بخوانید و آن را θ_1 بنامید.

۳- مقدار m گرم آب گرم ($m = 120gr$) را با استفاده از استوانه‌ی مدرج جدا کرده و داخل بشر بریزید و با اجاق برقی گرم کنید.

۴- با پراب دماسنج، آب داخل بشر را به‌هم بزنید و دمای آن را بخوانید. وقتی دمای آب تقریبا به $45\ ^0C$ رسید اجاق را خاموش کنید و درحالی که بشر را به‌هم می‌زنید، دمای آن را بخوانید (θ_2) و بلافاصله آن را داخل گرماسنج بریزید و درب آن را ببندید. سپس آب را به‌هم بزنید و پس از گذشت چند دقیقه، دمایی که دماسنج ثابت نشان می‌دهد را به عنوان دمای تعادل (θ) بنامید.

۵- در مرحله‌ی نهایی مقدار A را به کمک مقادیر اندازه‌گیری شده بدست آورید.

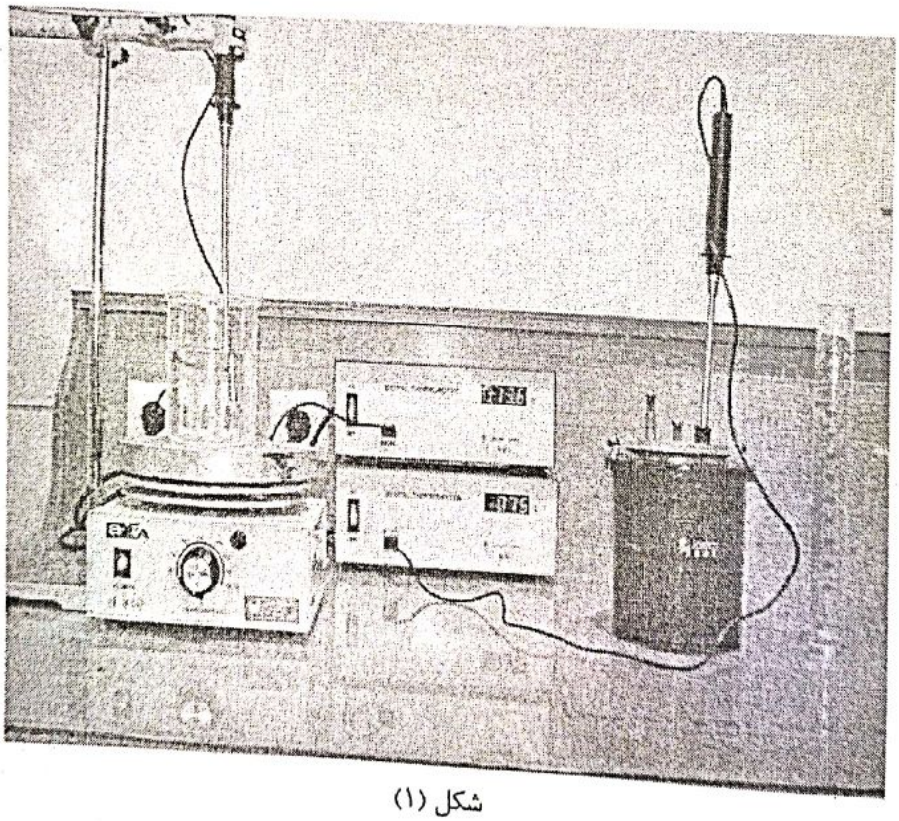
۶- آزمایش را سه بار انجام داده و جدول شماره‌ی (۱) را کامل کنید.

CamScanner

آزمایش	M	θ_1	m	θ_2	θ	A
۱						
۲						
۳						

جدول (۱)

نمایشی از چیدمان آزمایش ***سنجش ارزش آبی گرماسنج***



شکل (۱)

آزمایش ۶: سنجش گرمای ویژه اجسام

هدف: تعیین گرمای ویژه مایعات به روش سرد کردن

وسایل لازم: دو عدد دماسنج، گیره و پایه، بشر، اجاق برقی

مبانی نظری :

گرمای ویژه هر جسم مقدار گرمایی است که واحد آن جسم دریافت می‌کند تا دمای آن یک درجه سیلسیوس یا یک درجه کلوین افزایش یابد. ظرفیت گرمایی (C) یک جسم به جرم m مقدار گرمایی است که جسم می‌گیرد تا دمای آن یک کلوین یا یک درجه سیلسیوس بیشتر شود.

فرض کنید جرم ماده m است، برای آن‌که دمای آن به اندازه‌ی $\Delta\theta$ تغییر دهیم به اندازه ΔQ گرما لازم است. در این صورت می‌توان نوشت:

$$Q = mc\Delta\theta$$

یکای ظرفیت گرمایی در دستگاه بین‌المللی یکاها، $\left(\frac{J}{K}\right)$ است ولی معمولا از یکای $\left(\frac{cal}{gK}\right)$ استفاده می‌شود.

هرگاه چند جسم متفاوت با گرماهای ویژه متفاوت و دماهای اولیه‌ی متفاوت با هم در تماس کامل قرار گیرند، برای یافتن دمای تعادل می‌توانیم جمع گرماهایی را که هر یک مبادله کرده‌اند، را برابر صفر قرار دارد و از آن‌جا معادله‌ای به‌دست می‌آید که می‌توان دمای تعادل را از آن محاسبه کرد. و در صورت داشتن دمای تعادل می‌توان از این معادله جهت یافتن گرمای ویژه استفاده کرد.

روش انجام آزمایش :

۱- مقدار $100cc$ آب معمولی معادل $m_w = 100gr$ را به کمک استوانه‌ی مدرج تهیه کرده و داخل گرماسنج بریزید.

۲- دماسنج را داخل گرماسنج بگذارید و آب داخل آن را هم بزنید. پس از ثابت شدن دما، دمای تعادل اولیه را بخوانید و آن را θ_1 بنامید.

۳- جرم قطعه‌ی فلزی که در اختیار دارید به کمک ترازو اندازه بگیرید و آن را m بنامید. (توجه کنید که دقت ترازوی آزمایشگاه $0.1gr$ است).

۴- در درون ارلن مخصوص تولید بخار تا $1/3$ حجم آن آب بریزید و آن را به پایه ببندید. پس از محکم کردن درب، آن را روی اجاق برقی قرار دهید.

۵- سر لوله‌ی ارلن تولید بخار را مطابق شکل (۱) به کمک شیلنگ به یک طرف حمام بخار فلزی که روی پایه به وسیله‌ی گیره محکم شده است، وصل کنید.

۶- شیلنگ متصل به سر دیگر حمام بخار را درون بشر قرار دهید تا از ریزش قطرات آب داغ و بخار روی بدن خود و میز آزمایشگاه جلوگیری کنید.

۷- قطعه فلز را درون حمام بخار قرار دهید و سر چوب پنبه‌ای آن را بگذارید.

۸- سر پراب دماسنج را از طریق سوراخ درب چوب پنبه‌ای حمام بخار، وارد حمام بخار کنید به‌گونه‌ای که بتوانید افزایش دمای فلز را بخوانید.

CamScanner

۹- اکنون اجاق برقی را روشن کنید و منتظر بمانید تا آب به جوش بیاید. هنگامی که دمای درون حمام بخار به $75\ ^{0}C$ رسید، قطعه فلز را بلافاصله در توری گرماسنج وارد کنید و درب آن را بگذارید.
۱۰- آب داخل گرماسنج را به‌هم بزنید و دمایی که دماسنج پس از ثابت شدن دما نشان می‌دهد، بخوانید و آن را دمای تعادل (θ) بنامید.

اکنون به روابط زیر توجه کنید:

گرمایی که آب دریافت کرده تا به دمای تعادل برسد: $Q_1 = m_w c_w(\theta - \theta_1)$

گرمایی که گرماسنج و متعلقات آن دریافت کرده تا به دمای تعادل برسد: $Q_2 = A(\theta - \theta_1)$

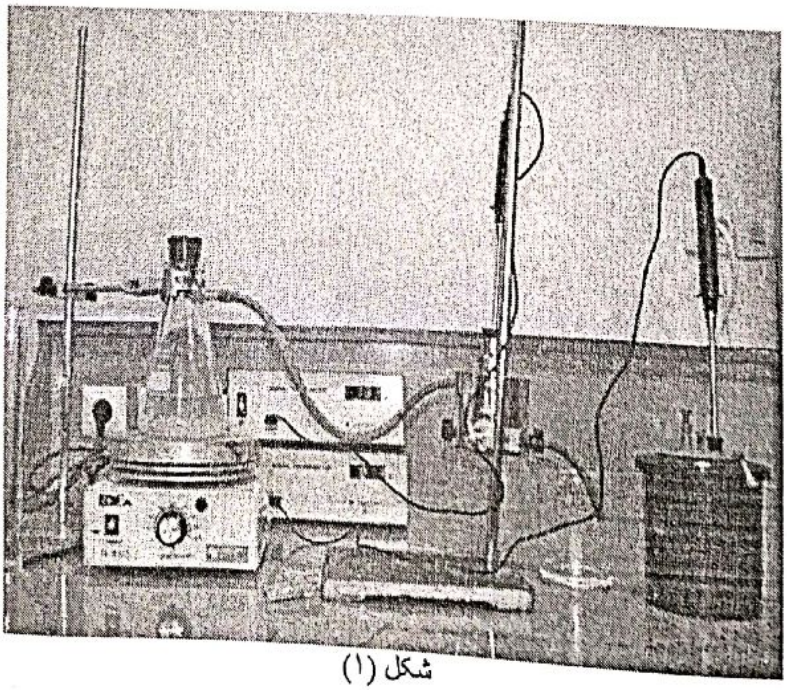
گرمایی که قطعه‌ی فلزی از دست داده است تا به دمای تعادل برسد: $Q_3 = mc(\theta_2 - \theta)$

با استفاده از پایستاری انرژی گرمایی می‌توان نوشت:

$$Q_1 + Q_2 = Q_3$$

$$c = \frac{(A + m_w c_w)(\theta - \theta_1)}{m(\theta_2 - \theta)}$$

با توجه به مقدار ارزش آبی گرماسنج (A) که از آزمایش قبل به‌دست آورده‌اید، از رابطه‌ی بالا، گرمای ویژه قطعه فلز (c) را به دست آورید.



شکل (۱)

آزمایش ۷: اندازه گیری ضریب اصطکاک ایستایی روی سطح افقی

هدف: اندازه‌گیری ضریب اصطکاک ایستایی

وسایل لازم: سطح افقی، ترازو، جعبه وزنه، کفه

مبانی نظری :

هرگاه جسمی به جرم m بر روی یک سطح افقی قرار می‌گیرد، از طرف سطح، نیروی عمودی N=mg بر جسم وارد می‌شود. اگر جسم روی سطح به حرکت درآید، از طرف سطح یک نیروی موازی سطح و در خلاف جهت تمایل حرکت نیز به جسم وارد می‌شود که به آن نیروی اصطکاک لغزشی گفته می‌شود. تجربه نشان می‌دهد که نیروی اصطکاک لغزشی با نیروی عمودی N متناسب است و مستقل از مساحت تماس ظاهری و سرعت نسبی است. هنگامی که جسم درآستانه‌ی حرکت قرار می‌گیرد، نیروی اصطکاک وارد از طرف سطح، نیروی اصطکاک ایستایی f_s نامیده می‌شود. نیروی اصطکاک ایستایی در نامساوی $f_s \leq \mu_s N$ صدق می کند که در آن μ_s ضریب اصطکاک ایستایی است. این ضریب بدون بعد یا دیمانسیون است. در رابطه بالا علامت تساوی مربوط به آستانه حرکت است. نیروی اصطکاک به عواملی چون پرداخت سطحی، جنس مواد، دما و میزان آلودگی سطوح بستگی دارد. در این آزمایش برای اندازه‌گیری نیروی اصطکاک لغزشی از سطح افقی استفاده می‌شود. اگر جسمی روی سطح افقی تحت اعمال نیروی موازی با سطح F در آستانه حرکت قرار گیرد، ضریب اصطکاک ایستایی از رابطه $\mu_s = \frac{F}{N}$ بدست می آید. در این‌جا چون جسم در آستانه‌ی حرکت قرار می‌گیرد نیروی موازی سطح F با نیروی اصطکاک ایستایی f_s برابر است.

روش انجام آزمایش :

الف) بررسی تأثیر جنس سطوح بر روی ضریب اصطکاک ایستایی

۱- سطح شیب‌دار را به وسیله ترازسنج در حالت افقی قرار دهید.

۲- جرم جسم آزمون را همراه با سربارهای دلخواه که روی آن قرار می‌دهید با ترازو اندازه گیری کنید و آن را m_N بنامید.

۳- جسم آزمون با سربارهاش را روی سطح افقی قراردهید و آن را مطابق شکل (۱) بوسیله نخ و قرقره به نگهدارنده وزنه‌ها وصل کنید.

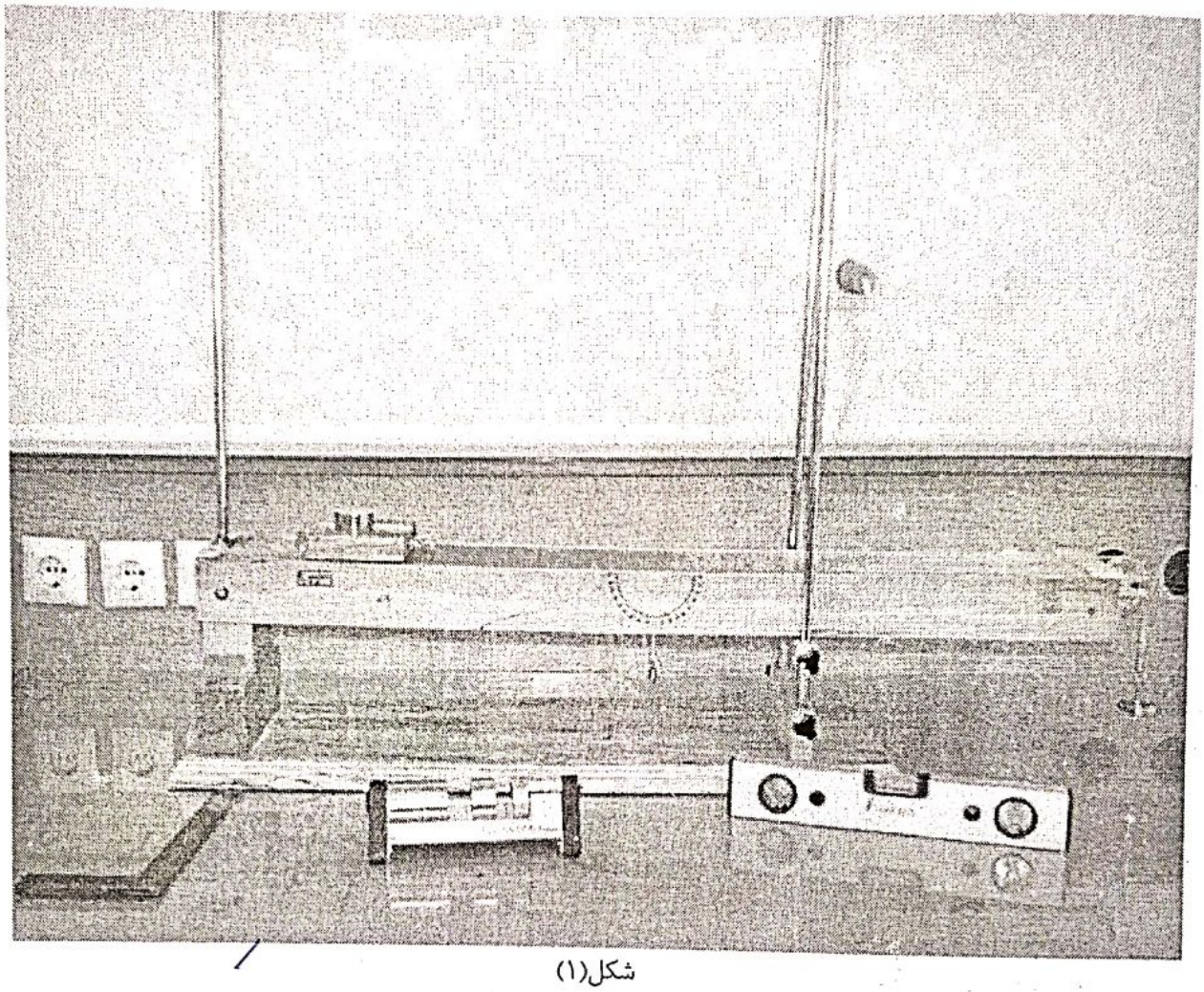
۴- آنقدر به نگه‌دارنده، وزنه اضافه کنید تا جسم آزمون در آستانه حرکت قرار گیرد.

۵- جرم نگه‌دارنده وزنه‌ها و وزنه‌های متصل به آن را یادداشت کنید(m_s).

۶- از رابطه $\mu_s = \frac{f_s}{N} = \frac{m_s}{m_N}$، ضریب اصطکاک ایستایی را پیدا کنید.

۷- آزمایش را برای سطوح با جنس های مختلف تکرار کرده و جدول شماره (۱) را کامل کنید.

CamScanner



شکل(۱)

جنس سطوح	$m_N \pm \Delta m_N$	$m_s \pm \Delta m_s$	$\mu_s \pm \Delta \mu_s$
چوب بر روی چوب			
چوب بر روی فلز			
چوب بر روی شیشه			
چوب بر روی پلاستیک			
فلز بر روی فلز			
فلز بر روی شیشه			
فلز بر روی پلاستیک			
پلاستیک بر روی شیشه			
پلاستیک بر روی پلاستیک			

جدول (۱)

CamScanner

ب) بررسی تأثیر نیروی عمودی تکیه‌گاه بر روی ضریب اصطکاک ایستایی

۱- مراحل ۱ تا ۴، **قسمت الف** را برای سطوح چوب بر روی چوب انجام دهید.

۲- جرم نگه‌دارنده وزنه‌ها و وزنه‌های متصل به آن را یادداشت کنید(m_s). این کار را سه بار انجام دهید و در جدول (۲) یادداشت کنید.

۳- از رابطه $\mu_s = \frac{\vec{f_s}}{N} = \frac{m_s}{m_N}$، ضریب اصطکاک ایستایی را پیدا کنید.

۴- آزمایش را به ازای دو سربارهٔ مختلف تکرار کنید و جدول (۲) را کامل کنید. (بهتر است که محل جسم آزمون در تمام مراحل یک جا انتخاب شود).

تعداد سرباره	$m_N \pm \Delta m_N$	m_{s1}	m_{s2}	m_{s3}	$m_s \pm \Delta m_s$	$\mu_s \pm \Delta \mu_s$
۱						
۲						

جدول(۲)

برای وضع مختلف سرباره تکرار شود

CamScanner

آزمایش ۹: سقوط آزاد

هدف: اندازه‌گیری شتاب گرانش زمین به کمک حرکت سقوط آزاد

وسایل لازم: پایه، گیره، زمانسنج، گلوله‌ها سنسور ضربه‌ای و متر

مبانی نظری :

طبق قانون گرانش نیوتن دو جسم M و m به فاصله r از یکدیگر نیروی برابر $F = G\frac{Mm}{r^2}$ به هم وارد می‌کنند که G ثابت جهانی و برابر $G = 6.6 \times 10^{-11}\ Nm^2/kg$ می‌باشد. بر طبق این قانون زمین به واسطه جرم خود به تمام اجسام نیرو وارد می‌کند و باعث می‌شود تمام اجسام بر روی سطح زمین بچسبند. برای محاسبه این نیرو کافی است جرم زمین و شعاع آن در معادله‌ی گرانش قرار داده شود. چنانچه M، جرم زمین و R شعاع زمین باشد، $g = \frac{GM}{R^2} = 9.8$ یک مقدار ثابت است و آن شتاب ثقل روی سطح زمین نامیده می‌شود. بنابراین نیروی وارد بر جسم به جرم M در سطح زمین برابر $F = mg$ می‌شود که همان نیروی وزن است. چنان‌چه جسمی از ارتفاع h (h نسبت به R کوچک باشد) رها شود، جسم با شتاب ثابت g به سطح زمین نزدیک می‌شود که طبق معادلات حرکت با شتاب ثابت $(y = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0t + y_0)$ می‌توان زمان سقوط را محاسبه کرد که برابر $t^2 = \frac{2h}{g}$ است، چون g مقدار ثابتی است زمان سقوط فقط تابعی از ارتفاع سقوط است.

روش انجام آزمایش :

۱- مطابق شکل (۱)، پیچ رهاکننده را به یک میله‌ی استوانه‌ای بلند که بر روی یک پایه سوار است محکم کنید.

۲- فیش رابط پیچ رهاکننده را به ترمینال Micro switch وصل کنید.

۳- حسگر ضربه‌ای (صفحه‌ی دایره‌ای به همراه توری محافظ آن‌را) را درست در زیر پیچ رهاکننده قرار دهید.

۴- فیش حسگر ضربه‌ای را را به ترمینال plate موجود بر روی زمان‌سنج وصل کنید.

۵- زمان‌سنج را بر روی mode 2 قرار دهید.

۶- گلوله را در داخل پیچ رهاکننده که از دو صفحه کوچک تشکیل شده قرارداده و پیچ آن‌را محکم کنید تا گلوله در آن‌جا قرارگیرد. در این حالت زمان سنج را reset کنید تا زمان صفر را نشان دهد.

۷- پیچ صفحه رهاکننده را باز کرده به گونه‌ای که گلوله رها شده و به حسگر ضربه‌ای برخورد کند.

۸- زمانی را که دستگاه نشان می‌دهد، همان زمان سقوط آزاد است. این آزمایش را مطابق جدول (۱) برای سه ارتفاع مختلف و برای هر ارتفاع ۵ بار انجام دهید.

۹- مراحل بالا را برای گلوله‌ای با جرم دیگر انجام دهید و نتایج را در جدول (۱) وارد کنید.

h(m)	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_{avg}	t^2_{avg}	$g = \frac{2h}{t^2_{avg}}$
۱								
۱/۲								
۱/۴								
۱/۶								

جدول (۱)

آزمایش ۱۰: برآیند نیرو

هدف: بررسی برآیند برداری کمیت نیرو

وسایل لازم: صفحه‌ی دایره‌ای مدرج، وزنه‌ها و تراز

مبانی نظری :

نیرو کمیتی برداری است که از قاعده‌ی جمع برداری پیروی می‌کند. هنگامی که به یک سیستم چندین نیرو وارد می‌شود، سیستم بر اساس قانون دوم نیوتن در جهتی شتاب می‌گیرد که نیروی برآیند در آن جهت به سیستم وارد می‌شود. اگر سیستم در حال تعادل بماند، برآیند نیروهای وارد بر سیستم صفر می‌شود. در این آزمایش برآیند نیروها به عنوان یک کمیت برداری مورد بررسی قرار می‌گیرد.

روش انجام آزمایش :

الف) بررسی برآیند نیروها در حالتی که دو نیرو بر یکدیگر عمود هستند. (الف) برآیند

۱- با استفاده از تراز، پیچ‌های پایه ستاره‌ای را آنقدر جابجا کنید تا سطح قرص کاملا افقی شود.

۲- بر روی قرص مدرج دو محور عمود برهم وجود دارد که به اختیار یکی از آن‌ها را محور xها و دیگری را محور yها بنامید.

۲- نگهدارنده‌ها را به حلقه‌های آویزان کنید و مطابق شکل دو قرقره را در راستای دو قطر عمود برهم قرار دهید.

۴- بر روی نگهدارنده‌های متصل به این دو قرقره‌ی عمود برهم وزنه‌هایی قرار دهید که به ترتیب نیروهای وزن $3N$ و $4N$ فراهم شود.

۵- بر روی نگهدارنده‌ی سوم آنقدر وزنه قرار دهید و آنقدر آن را جابجا کنید تا مرکز حلقه دستگاه درست در وسط قرص مدرج قرار گیرد.

۶- مقدار نیروی سوم (وزن وزنه‌های نگهدارنده‌ی سوم) را محاسبه و به همراه زاویه‌ای که امتداد این نیرو با محور xها می‌سازد را در جدول (۱) یادداشت کنید.

۷- آزمایش را برای وزنه‌هایی که نیروی آن‌ها (وزن آن‌ها) نصف مقدار قبلی برای دو راستای عمود برهم هستند، تکرار کنید.

۸- نتایج را مانند حالت قبل در جدول (۱) وارد کنید.

۹- آزمایش را برای وزنه‌هایی که نیروی آن‌ها (وزن آن‌ها) دو برابر مقدار قبلی برای دو راستای عمود برهم هستند، تکرار کنید و نتایج را در جدول (۱) وارد کنید.

۱۰- با استفاده از جدول (۱) بزرگی نیروی سوم F_3 حاصل از آزمایش را با بزرگی F مقایسه کنید.

$F_1(N)$	60	120	30
$F_2(N)$	80	160	40
$F_3(N)$	110	205	60
$F=\sqrt{F_1^2+F_2^2}(N)$			
$\tan\theta=\frac{F_2}{F_1}$			

$\theta' = 210$

جدول (۱)

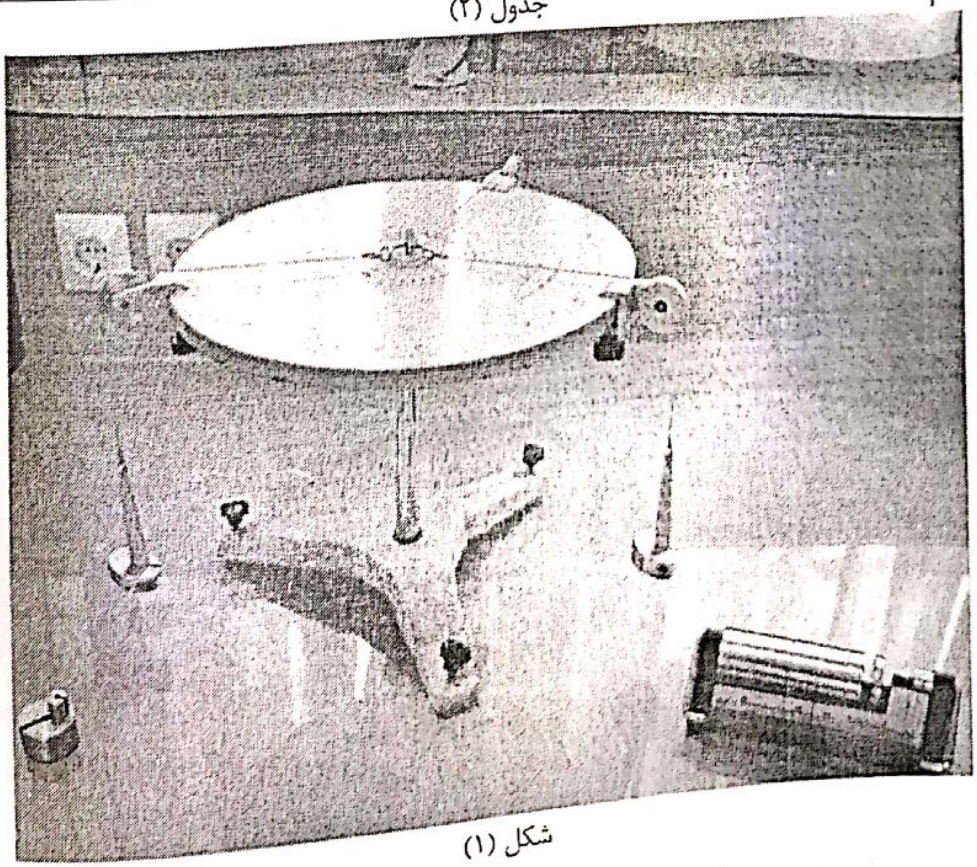
CamScanner

ب) بررسی برآیند نیروها در حالتی که دو نیرو در یک زاویه‌ی اختیاری نسبت به یکدیگر قرار دارند.

۱- آزمایش را مشابه با حالت الف آماده سازی کنید.
۲- در این قسمت دو قرقره را در زاویه‌ای اختیاری نسبت به یکدیگر روی دستگاه سوار کنید.
۳- وزنه‌های اختیاری بر روی این دو قرقره قراردهید و زاویه‌ی هر نیرو (نیروی وزن وزنه‌ها) را با محور xها بدست آورید.
۴- مانند قبل بر روی نگهدارنده‌ی سوم آنقدر وزنه قرار دهید و آن‌را آنقدر جابجا کنید تا وضعیت تعادل فراهم شود.
۵- نتایج را در جدول (۲) وارد کنید.
۶-بزرگی F_3 را با F مقایسه کنید.

F_1		60	30
$F_1 \sin\alpha$	$\alpha=30^\circ$		
$F_1 \cos\alpha$	$\alpha=30^\circ$		
F_2		80	40
$F_2 \sin\beta$	$\beta=60$		
$F_2 \cos\beta$	$\beta=60$		
F_3		135	65
$F=\sqrt{(F_1\cos\alpha+F_2\cos\beta)^2+(F_1\sin\alpha+F_2\sin\beta)^2}$			

جدول (۲)



شکل (۱)

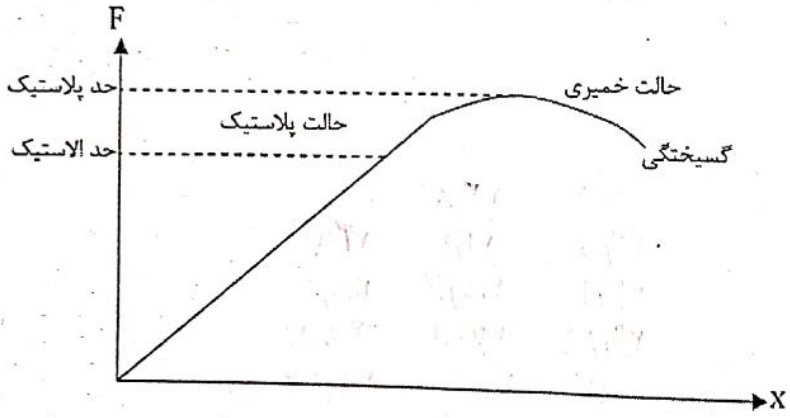
CamScanner

آزمایش ۱۱: بررسی قانون هوک

هدف: محاسبه‌ی ثابت فنر، بررسی روابط مربوط به فنرهای سری و موازی
وسایل لازم: فنر با ثابت‌های مختلف، پایه و گیره، ترازو، زمان‌سنج، وزنه

مبانی نظری :

نیرو به عنوان عامل تنش یا تغییر شکل می‌تواند باعث تغییر شکل ماده شود. کشیدگی و تراکم برش و تنش هیدرولیکی (فشار) از عوامل مهم تنش به‌شمار می‌روند. فرض کنید به جسمی نیرو وارد شود و باعث کشیدگی یا افزایش طول آن شود، اگر این ازدیاد طول از حد خاصی موسوم به حد کشسانی یا الاستیک بیش‌تر نشود، نیروی وارد بر جسم با افزایش طول نسبت مستقیم دارد. در این حالت اگر نیرو قطع شود جسم به حالت اول خود برمی‌گردد. اما اگر نیرو از حد کشسانی تجاوز کند دیگر تغییرات نیرو برحسب افزایش طول، خطی نیست. بلکه مطابق شکل (۱) به صورت یک منحنی است. این حالت پلاستیک نامیده می‌شود. با حذف نیرو دیگر جسم به طور کامل به حالت اول برنمی‌گردد. با افزایش نیرو و گذر از حالت پلاستیک امکان گسیختگی یا پارگی جسم وجود دارد.



شکل (۱)

بهترین جسمی که می‌تواند کشش الاستیک را به نمایش بگذارد فنر متصل به تکیه‌گاه است. افزایش طول فنر تا حد کشسانی با نیرو متناسب است و از قانون هوک پیروی می‌کند. $F = -kx$ که در آن علامت منها نشان می‌دهد که نیروی وارد از طرف فنر به عامل تغییر شکل در خلاف جهت افزایش طول است و می‌خواهد جسم را به حالت تعادل برگرداند. k ثابت فنر است و بنابر تعریف برابر با نیروی وارد به ازای افزایش واحد طول فنر است.
به سادگی می‌توان نشان داد که در حالت پویا مدت زمان یک نوسان کامل یا دوره‌ی تناوب حرکت نوسانی T یک فنر از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید. $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ بدین ترتیب اگر در حالت پویا نمودار تغییرات m بر حسب T^2 را با توجه به رابطه‌ی $m = \frac{k}{4\pi^2}T^2$ رسم کنید، خطی به‌دست می‌آید که شیب آن برابر $\frac{k}{4\pi^2}$ است و از آن‌جا می‌توان ثابت فنر را به‌دست آورد.

روش انجام آزمایش :

الف) قانون هوک در حالت پویا؛ محاسبه‌ی ثابت فنر

۱- جرم فنر را با ترازو اندازه‌گیری کنید و آن را m_s بنامید.

۲- از وزنه‌های موجود در آزمایش با توجه به ضریب سختی فنر، جرمی را انتخاب کنید، و جرم آن را M بنامید.

۳- جرم موثر فنر m_s که برابر با $\frac{1}{3}$ جرم فنر است را به مجموع بالا اضافه کنید و آن را m بنامید $\left(m = M + \frac{1}{3}m_s\right)$.

۴- وزنه‌ی انتخاب شده را به فنر متصل کرده و آن را کمی از وضعیت تعادل به پایین کشیده و رها کنید.

۵- زمان لازم برای $n \geq 20$ نوسان کامل را با زمان‌سنج سه بار اندازه‌گیری کنید و میانگین آن‌را حساب کنید. و آن‌را $\bar{t}$ بنامید.

۶- دوره‌ی تناوب فنر را با توجه به رابطه‌ی زیر بدست آورید. $T = \frac{\bar{t}}{n}$

۷- T^2 را محاسبه کرده و مقدار آن را در جدول (۱) واد کنید.

۸- آزمایش را برای ۶ وزنه‌ی مختلف انجام دهید و مقادیر T^2 را در جدول (۱) وارد کنید.

۹- نمودار خطی تغییرات m بر حسب T^2 را رسم کرده و شیب خط آن را بدست آورید.

۱۰- با توجه به شیب نمودار، ثابت فنر را بدست آورید.

آزمایش	$M \pm \Delta M$	$m \pm \Delta m$	t_1	t_2	t_3	$\bar{t} \pm \Delta\bar{t}$	$T \pm \Delta T$	$T^2 \pm \Delta T^2$
۱	۲۵۰ gr	۲۱ gr	۲۲٫۰۲	۲۳٫۸۵	۲۲٫۴			
۲	۱۰۰ gr	〃	۲۳٫۵	۲۲٫۲	۲۲٫۸			
۳	۱۵۰ gr	〃	۲۵٫۱	۲۵٫۰۴	۲۵٫۳			
۴	۲۰۰ gr	〃	۲۶٫۸۵	۲۷٫۰۱	۲۶٫۵۹			
۵	۲۵۰ gr	〃	۲۸٫۲	۲۷٫۹	۲۷٫۷۶			
۶								

جدول (۱) محاسبه‌ی ثابت فنر

ب) به‌هم بستن فنرها؛ بررسی روابط فنرهای سری و موازی

۱- دو فنر مشابه را ابتدا به صورت متوالی به‌هم ببندید.

۲- جرم دوفنر را به‌دست آورید و آن را m_s بنامید.

۳- وزنه‌ای به جرم مشخص m را به انتهای فنر دوم وصل کنید.

۴- نگهارنده را کمی از وضعیت تعادل پایین بکشید و رها کنید.

۵- مدت n نوسان را اندازه‌گیری کنید و T دوره‌ی نوسان را به‌دست آورید.

۶- با استفاده از رابطه‌ی $k = \frac{4\pi^2}{T^2}\left(m + \frac{1}{3}m_s\right)$ ضریب ثابت مجموعه k را به‌دست آورید و رابطه‌ی زیر را تحقیق کنید:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$$

۷- در مرحله‌ی بعد دو فنر را مطابق شکل (۲) به صورت موازی به‌یکدیگر وصل کنید و با روش قبل دوره‌ی نوسان T و ثابت فنر مجموعه k را به‌دست آورید و رابطه‌ی زیر را تحقیق کنید:

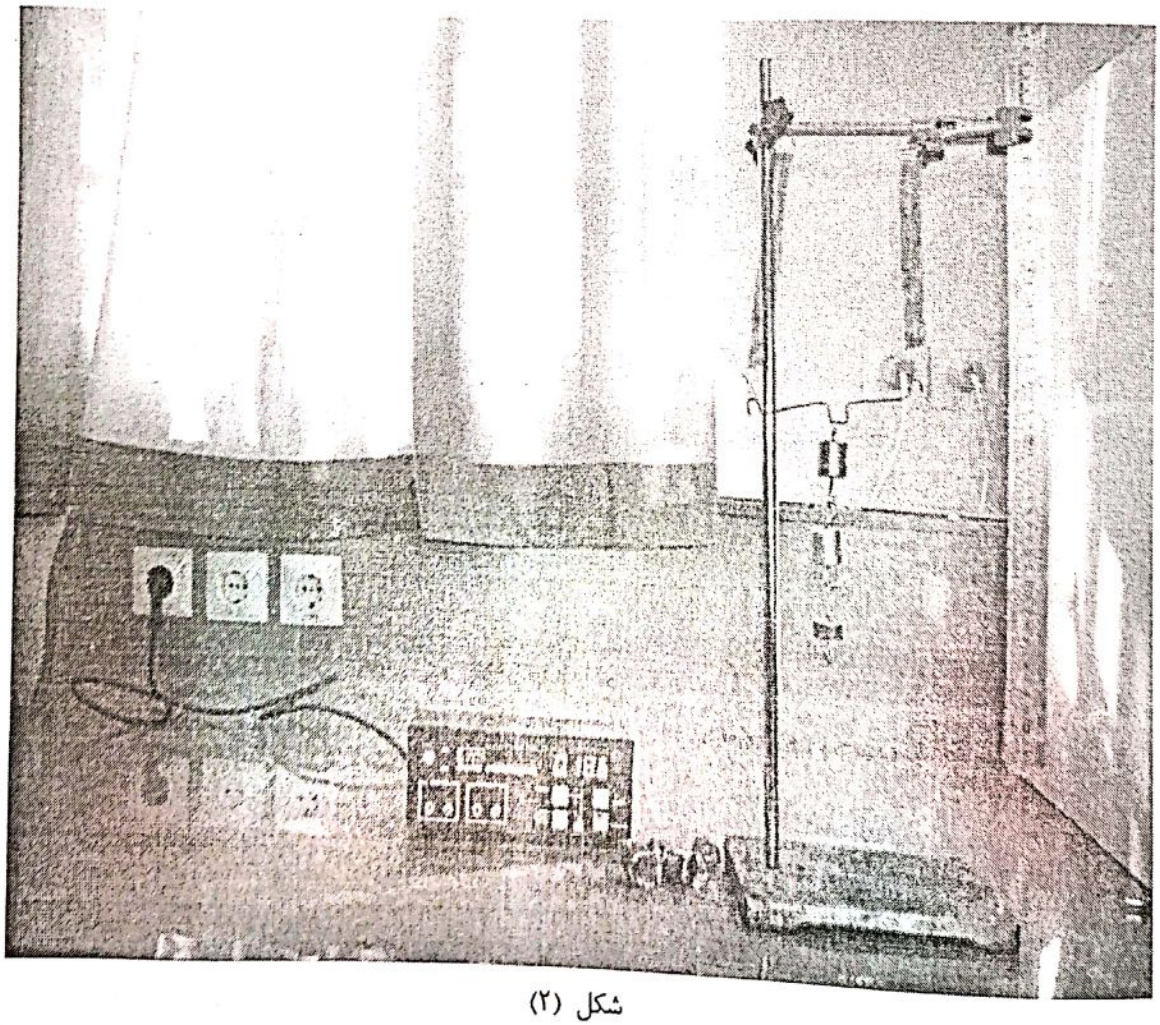
CamScanner

$$k = k_1 + k_2$$

۸- در تمام مراحل از یک وزنه‌ی ثابت استفاده کنید و با سه بار اندازه‌گیری $n \geq 20$ نوسان کامل و میانگین‌گیری، دوره‌ی نوسان T و ثابت فنر مجموعه k را به‌دست آورید و جدول (۲) را کامل کنید.

آزمایش	$m_g(kg)$	m	$\bar{t}$	n	$T_{تجربی}$	$T_{محاسبه}$	k
۱							
۲							
دو فنر سری	۱۵۰	۲۱	۲۴,۲۱				
دو فنر موازی	۱۵۰	۲۱	۲۵,۹۵				

جدول (۲) به‌هم بستن فنرها به‌صورت سری و موازی



شکل (۲)

آزمایش ۱۲: آونگ ساده

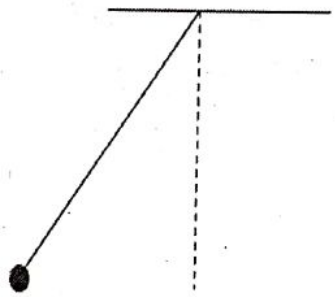
هدف: تحقیق قوانین حرکت نوسانی ساده با آونگ و محاسبه‌ی شتاب جاذبه‌ی زمین

وسایل لازم: گلوله‌های مختلف، نخ، گیره و پایه، خط‌کش و زمان‌سنج

مبانی نظری :

آونگ ساده عبارت است از یک جرم نقطه ای که از نخ سبکی آویزان است. اگر آونگ را از موضع تعادلش منحرف و سپس رها کنیم. آونگ تحت تاثیر نیروی جاذبه زمین در یک صفحه تالم نوسان می کند. یک نوسان کامل وقتی است که گلوله از یک وضعیت و در یک جهت دوبار عبور کند.

شکل زیر آونگی به طور L و جرم m را نشان می دهد که با خط قائم الزاویه θ می سازد. نیروهای وارد بر m عبارت اند از نیروی گرانشی mg و کشش نخ T.



شکل (۱)

مطابق شکل نیروی mg به دو مولفه تجزیه می شود . مولفه $mg\cos\theta$ نیروی لازم برای به وجود آوردن شتاب مرکز گرا را تامین می کند تا دره بتواند روی کمان از دایره حرکت کند.

مولفه $mg\sin\theta$ یک نیروی بازگرداننده است که می کوشد m را به موضع تعادل بازگرداند. بنابراین نیروی بازگرداننده عبارت است از :

$$F = -mg\sin\theta$$

اگر θ کوچک باشد (کمتر از ۶ درجه) با تقریب خوبی می توان گفت :

$$\sin\theta \cong \theta$$

جابه جایی در طول کمان برابر است با $\theta x = L$ و برای زوایای کوچک تقریباً یک حرکت مستقیم الخط است.

با در نظر گرفتن $\frac{mg}{l} = k$ دوره تناوب آونگ ساده برابر است با:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{\frac{mg}{l}}} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$\left.\begin{matrix} F = k\ell \\ F = mg \end{matrix}\right\} k = \frac{mg}{\ell}$$

بنابراین برای آونگ ساده ($\theta \leq 6°$) می توان گفت که دوره متناوب با جذر طول نخ آونگ رابطه مستقیم و با جذر شتاب گرانشی زمین رابط عکس دارد.

CamScanner

روش انجام آزمایش :

الف) بررسی اثر جنس و جرم در دوره‌ی تناوب آونگ

۱- دستگاه را مطابق شکل (۲) آماده سازید.

۲- در حالیکه گلوله‌ی فلزی به نخ آویزان است، شمارنده و زمان سنج را برای انجام ۲۰ نوسان کامل آماده کند.

۳- طول آونگ را با توجه به جدول (۱) تنظیم کنید.

۳- با زدن دکمه‌ی start دوره‌ی نوسان آونگ را به‌دست آورید. (توجه کنید که انراف گلوله از راستای قائم ۶ درجه است).

۴- آزمایش را برای گلوله‌های دیگر نیز تکرار کنید و نتایج را در جدول (۱) وارد کنید.

آزمایش	طول آونگ $L(m)$	جنس گلوله	n تعداد نوسان	t مدت زمان نوسان	دوره‌ی نوسان $T=\frac{t}{n}$
۱	۱/۰۰				
۲	۰/۸۰				
۳	۰/۶۰				
۴	۱/۰۰				
۵	۰/۸۰				
۶	۰/۶۰				
۷	۱/۰۰				
۸	۰/۸۰				
۹	۰/۶۰				

جدول (۱)

ب) بررسی اثر طول در دوره‌ی نوسان آونگ و محاسبه‌ی شتاب گرانش زمین (g)

۱- دستگاه را مطابق قسمت الف آماده کنید.

۲- آزمایش را برای گلوله‌ی فلزی و طول‌های مشخص شده در جدول (۲) انجام دهید. (تعداد ۲۰ نوسان کامل را درنظر بگیرید).

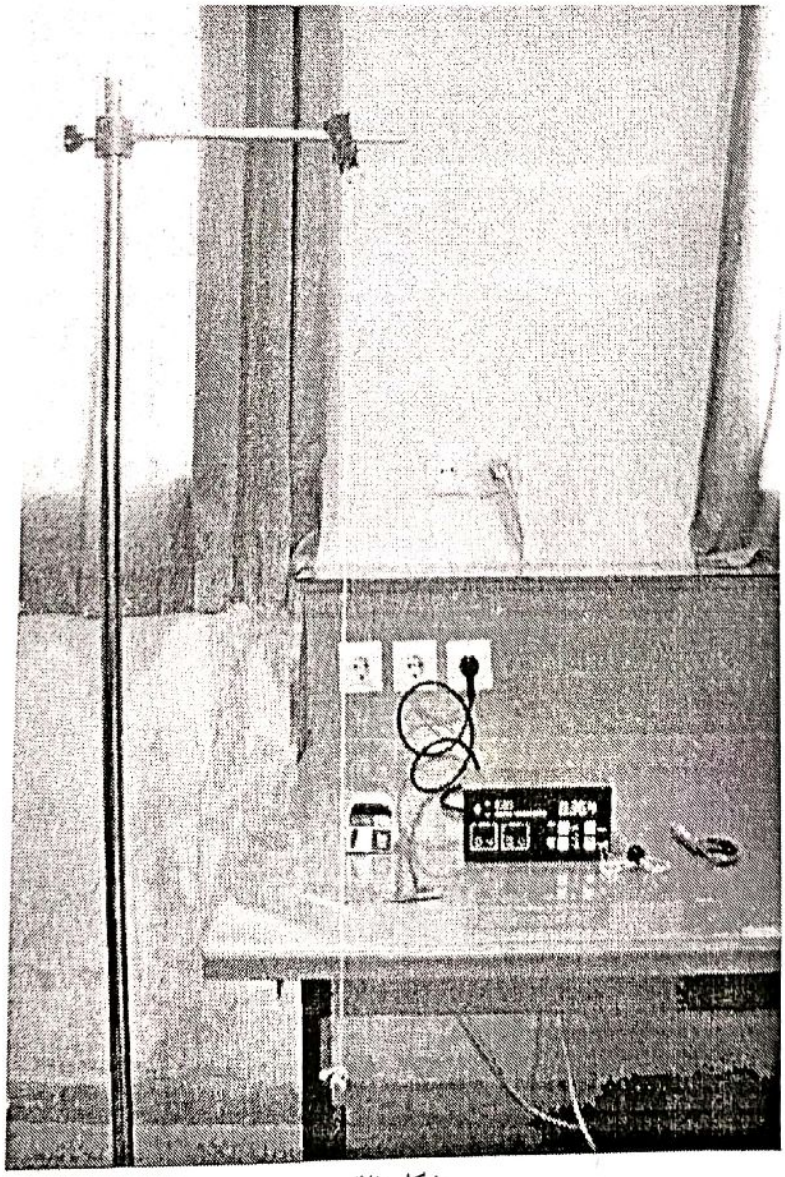
۳- نتایج را در جدول (۲) وارد کنید.

۴- توجه دارید که طبق روابط بالا نمودار L بر حسب T^2 یک خط راست است که شیب آن برابر است با $\frac{g}{4\pi^2}$. با توجه به نتایج جدول (۲) نمودار خطی L را برحسب T^2 را رسم کنید و از روی آن شتاب جاذبه‌ی زمین را محاسبه کند.

CamScanner

آزمایش	طول آونگ $L(m)$	t مدت زمان نوسان	دوره‌ی نوسان $T=\frac{t}{n}$
۱	۱/۴۰		
۲	۱/۳۰		
۳	۱/۲۰		
۴	۱/۱۰		
۵	۱/۰۰		
۶	۰/۹۰		
۷	۰/۸۰		
۸	۰/۷۰		
۹	۰/۶۰		
۱۰	۰/۵۰		

جدول (۲)



شکل (۲)

CamScanner