بسمه تعالی

دستورکار آزمایشگاه

فیزیک پایه ۱

تهیه کننده: بخشی فرد

فهرست مطالب

مقدمه ۱

قوانین و مقرات آزمایشگاه ۲

نحوهء نوشتن گزارش کار ۳

نحوه ارزیابی ۵

مفاهیم و تعاریف آزمایشگاهی ۶

آزمایش اول اندازه‌گیری ۱۰

آزمایش دوم اصطکاک ۱۹

آزمایش سوم تعادل و برآیند نیروها ۲۷

آزمایش چهارم تحقیق قانون هوک ۳۳

آزمایش پنجم آونگ ساده ۳۹

آزمایش ششم سقوط آزاد ۴۳

آزمایش هفتم سرعت و شتاب خطی ۴۶

مقدمه

دانشجویان عزیز سلام، به آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ خوش آمدید.

همان طور که می دانید هدف از علم فیزیک ارائه مدل های ریاضی برای پدیده های طبیعت است. اثبات درستی یا نادرستی این مدل ها به عهده ء علم فیزیک است و این کار در آزمایشگاه های فیزیک انجام می شود. در آزمایشگاه های مختلف علم فیزیک آزمایش های متنوعی انجام می شود و کاری که در تمام این آزمایش ها انجام می گیرد، اندازه گیری است. اندازه گیری یک فرآیند مقایسه کردن است. مقایسه ای بین یک کمیت فیزیکی و یک مقیاس یا واحد اندازه گیری. از این روست که برخی علم فیزیک را علم اندازه گیری می نامند.

اساس کار ما در آزمایشگاه کار عملی و نتیجه گرفتن از آزمایش است. امید است که با سعی و تلاش و پشتکاری که از خود نشان می دهید در این آزمایشگاه به اندوخته های عملی و علمی خود بیفزایید. موفقیت روز افزون شمار آرزومندیم.

قوانین و مقررات آزمایشگاه

به منظور افزایش بهره‌وری و استفاده بهینه از وسایل و تجهیزات موجود در آزمایشگاه و بالا رفتن ضریب یادگیری، ایمنی و سلامت فردی و وسایل، لازم است دانشجویان به نکات زیر توجه کرده و به انجام آن‌ها اهتمام ورزند:

۱. حضور به موقع در ساعت مقرر در آزمایشگاه.

۲. رعایت نظم و ترتیب در انجام کار گروهی و مسئولیت‌پذیری در اجرای آزمایش مورد نظر.

۳. رعایت موارد ایمنی جهت حفظ سلامتی خود و همکلاسیها.

۴. دقت در حفظ و نگهداری وسایل و دستگاه‌های آزمایشگاهی.

۵. عدم تحرک بیجا در آزمایشگاه و عدم دخالت در اجرای آزمایش گروه‌های دیگر.

۶. یادداشت نتایج به دست آمده از آزمایش به منظور تکمیل گزارش کار آزمایش مربوط.

۷. تحویل گزارش کار جلسه قبلی در بدو ورود به آزمایشگاه.

۸. عدم استفاده از وسایل ارتباطی در کلاس.

نحوهء نوشتن گزارش کار

پس از پایان انجام هر آزمایش و خلاصه برداری و ثبت نتایج، شما دانشجویان عزیز تا جلسهء بعد فرصت دارید که کلیه اهداف و خواسته های آزمایش را نظیر اطلاعات مربوط به آزمایش، گروه و نتایج آزمایش اعم از محاسبات عددی، جدول ها، رسم نمودارها، محاسبات خطاها، نتیجه گیری و پاسخ به سوالات را در گزارش کار خود نوشته و در بدو ورود به مسئول آزمایشگاه تحویل دهید. درصدی از نمره نهایی آزمایشگاه شما مربوط به گزارش کارهای آزمایشگاهی است، لذا ضمن رعایت تمیزی و مرتب و خوانا نوشتن نتایج باید توجه داشته باشید که برای تحویل هر گزارش کار تنها تا جلسهء بعدی فرصت دارید. هرگونه کپی برداری از نوشته دیگران یا استفاده از نتایج آزمایش ها در اینترنت، معادل نمرهء صفر خواهد بود. در زیر به موارد لازم در هر گزارش کار آزمایشگاهی اشاره می کنیم : (ترتیب رعایت شود)

۱- ذکر نام آزمایش، گروه، اعضای گروه و تاریخ انجام آزمایش.

۲- مشخص کردن عنوان و هدف از انجام هر بخش آزمایش و ذکر وسایل مورد استفاده.

۳- رسم شکل که نحوه انجام آزمایش را نشان می دهد. (شکل هایی که طرز چیدن وسایل را نشان می دهد)

۴- ارائه توضیح مختصر اما کافی درباره تئوری آزمایش. (تئوری آزمایش به طور دلخواه)

۵- بیان توضیح مختصر درباره نحوهء انجام آزمایش و نکات اندازه گیری.

۶- ارائه جدول های ثبت داده های اندازه گیری. (کمیت و واحد آن فراموش نشود)

۷- به دست آوردن کلیه روابط لازم برای انجام محاسبات در صورتی که روابط واضح نباشد.

۸- رسم نمودارهای لازم برای تحلیل آزمایش در کاغذ میلیمتری یا با نرم افزارهای رسم نمودار. (به نمودارهای رسم شده در کاغذ معمولی نمره ای تعلق نمی گیرد)

۹- محاسبه خطاهای کمیت های موجود که اندازه گیری یا محاسبه شده اند.

۱۰- پاسخ به سوالات هر آزمایش.

۱۱- ذکر عوامل خطای آزمایش به صورت مجزا و ارائه پیشنهادهای عملی برای رفع آنها و در صورت لزوم انجام آن.

۱۲- به طور خلاصه:

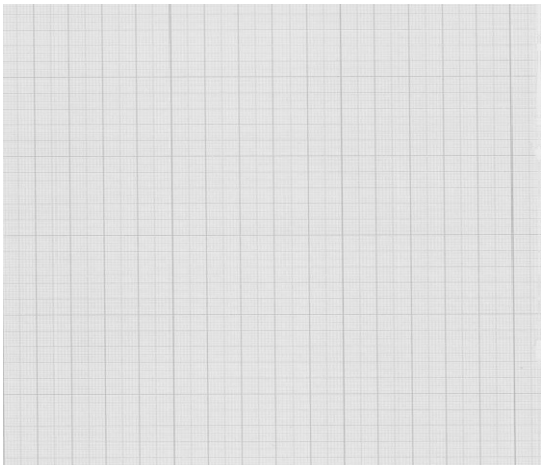
صفحه اول: عنوان آزمایش- نام گروه- اعضای گروه- گزارش دهنده- تاریخ انجام آزمایش

صفحات بعدی: هدف آزمایش- وسایل مورد نیاز- تئوری آزمایش- نحوهء انجام آزمایش- جداول- پاسخ به سوالات- محاسبه خطاها- نمودارها

نحوه ارزیابی

رعایت نظم و ترتیب و نکات انضباطی در آزمایشگاه و عدم غیبت، ده درصد نمرهء نهایی، گزارش کار سی درصد، و امتحان عملی شصت درصد نمره کل آزمایشگاه را تشکیل می دهد.

نمونه ای از کاغذ میلیمتری



مفاهیم و تعاریف آزمایشگاهی

کمیت: هر چیز قابل اندازه‌گیری

اندازه‌گیری: محاسبهء مقدار کمیت بر حسب یکای مربوطه

کمیت‌ها: اصلی و فرعی

اندازه‌گیری: مستقیم و غیر مستقیم

عدم امکان اندازه‌گیری دقیق کمیت و تعریف خطا: اندازه‌گیری‌ها همواره با خطا همراهند. اندازه‌گیری دقیق یک کمیت فاقد معناست زیرا عوامل زیادی مانع رسیدن ما به مقدار واقعی کمیت می‌باشد که حذف همهء آنها به‌طور کامل ممکن نیست. بعضی از این عوامل خطا عبارتند از:

۱- وسایل اندازه‌گیری کمیات

۲- شخص آزمایش‌گر

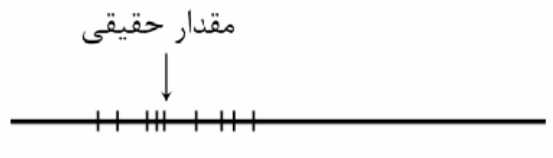
۳- عوامل پیچیده و متغیر محیط

خطاها به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۱- خطاهای کاتوره‌ای(تصادفی)

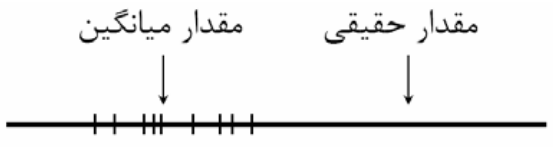
۲- خطاهای سیستماتیک (ذاتی)

کمیتی را چند بار اندازه‌گیری می‌کنیم و اعداد به‌دست آمده را روی یک محور مشخص می‌کنیم.



پراکندگی که روی محور دیده می‌شود ناشی از خطاهای کاتوره‌ای(تصادفی) موجود می‌باشد .اگر خطاهای موجود در اندازه‌گیری فقط از نوع خطاهای کاتوره‌ای باشند نتایج اندازه‌گیری‌های متوالی در اطراف مقدار حقیقی کمیت مورد نظر گسترده می‌شوند. طبق تعریف، خطاهای کاتوره‌ای خطاهایی هستند که احتمال مثبت یا منفی بودن آنها مساوی است پس معقول به‌نظر می‌رسد که میانگین این اعداد تقریب خوبی از مقدار واقعی کمیت باشد و هرچه تعداد اندازه‌گیری‌ها افزایش پیدا کند به مقدار واقعی نزدیک‌تر شود.

اثر خطاهای سیستماتیک موجود، این است که یک جابجایی از مقدار واقعی در میانگین اعداد به وجود می‌آورد.



تشخیص و رفع خطاهای سیستماتیک در حالت کلی کار نسبتا مشکلی است و معمولا وقتی یک کمیت از طریق آزمایش‌های مختلف به‌دست می‌آید قابل تشخیص است.

خطاها:

خطای مطلق: مقدار اندازه‌گیری شده - مقدار واقعی آن کمیت یعنی:

$$\varepsilon = \Delta x = x - X$$
$$x - \Delta x \le x \le x + \Delta x$$

خطای نسبی: قدر مطلق خطای مطلق تقسیم بر مقدار واقعی را خطای نسبی می‌نامند. $\left|\frac{\Delta x}{x}\right|$

درصد خطای نسبی: خطای نسبی ضرب در صد . $\left|\frac{\Delta x}{x}\right|\times 100$

خطای حاصل جمع و حاصل تفاضل:

$$x=a+b\rightarrow \Delta x=\Delta a+\Delta b\rightarrow \frac{\Delta x}{x}=\frac{\Delta a+\Delta b}{a+b}$$

$$x=a-b\rightarrow \Delta x=\Delta a+\Delta b\rightarrow \frac{\Delta x}{x}=\frac{\Delta a+\Delta b}{a-b}$$

خطای حاصل ضرب و حاصل تقسیم:

$$x=ab\rightarrow \Delta x=b\Delta a+a\Delta b\rightarrow \frac{\Delta x}{x}=\frac{\Delta a}{a}+\frac{\Delta b}{b}$$

$$x=a/b\rightarrow \Delta x=(b\Delta a-a\Delta b)/b^2\rightarrow \frac{\Delta x}{x}=\frac{\Delta a}{a}+\frac{\Delta b}{b}$$

💣 محاسبات روابط فوق را تحقیق کنید. در روابط فوق چه نکته‌ای مشاهده می‌کنید؟

دقت وسیلهء اندازه‌گیری: کمترین مقداری است که از روی درجه‌بندی وسیله اندازه‌گیری خوانده می‌شود. برای تعیین دقت وسیله از رابطهء زیر استفاده می‌کنیم:

دقت وسیله اندازه‌گیری: تفاضل دو عدد متوالی روی دستگاه اندازه‌گیری تقسیم بر تعداد فواصل مساوی بین آن دو عدد

رقم مشکوک: اولین رقم سمت راست هر عددی که از اندازه‌گیری کمیت به‌دست می‌آید.

ارقام با معنی: حاصل اندازه‌گیری و معرف مقدار کمیت همراه با دقت در اندازه‌گیری کمیت است. به بیان دیگر ارقام با معنی به‌ارقامی گفته می‌شود که در حد دقت وسیله اندازه‌گیری هستند. صفرهای قبل از ممیز و بعد از ممیز اگر قبل از آنها رقمی وجود نداشته باشد جزو ارقام با معنی نیستند.

نماد علمی: نوشتن گزارش اندازه‌گیری به‌صورت حاصل‌ضرب عددی بین ۰ و ۹ در توانی از ۱۰.

کمیت اولیه: کمیتی که مستقیماً از روی وسیله اندازه‌گیری خوانده می‌شود مثل طول یک میز، اختلاف پتانسیل دو سر یک باتری و زمان سقوط یک گلوله فلزی از یک ارتفاع مشخص.

کمیت ثانویه: این نوع کمیت مستقیماً از روی وسیله اندازه‌گیری خوانده نمی‌شود بلکه توسط تابعی به کمیات اولیه و ثانویه دیگر ربط پیدا می‌کند، مثل چگالی یک جسم که از روی تقسیم جرم بر حجم جسم به‌دست می‌آید.

مقدار مناسب کمیت: (مقدار میانگین)

برای به‌دست آوردن مقدار درست یک کمیت باید چندبار اندازه‌گیری انجام شود. اعداد به‌دست آمده را $x_1, x_2, x_3, ..., x_N$ می‌نامیم. مقدار میانگین کمیت از رابطه ء زیر به‌دست می‌آید:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + ... + x_N}{N}$$

محاسبه خطا در توابع یک و چند متغیره:

ما حالتی در نظر می گیریم که تابع f تابعی از یک کمیت باشد یعنی $y = f(x)$. در این حالت:

$\Delta y = (df/dx)\Delta x$. اگر تابع f تابعی از چند کمیت باشد یعنی $y = f(x, y, z, w, ...)$ آنگاه:

$$(\Delta y)^2 = (df/dx)^2 \Delta x^2 + (df/dy)^2 \Delta y^2 + (df/dz)^2 \Delta z^2 + (df/dw)^2 \Delta w^2 + ...$$

جدول زیر در تبدیل یکاها به ما کمک می کند:

پیشوند	نماد	ضریب	پیشوند	نماد	ضریب
اگزا	E	10^{18}	دسي	d	10^{-1}
پتا	P	10^{15}	سانتي	c	10^{-2}
ترا	T	10^{12}	ميلي	m	10^{-3}
گیگا	G	10^{9}	ميكرو	μ	10^{-6}
مگا	M	10^{6}	نانو	n	10^{-9}
کیلو	k	10^{3}	پیکو	p	10^{-12}
هکتو	h	10^{2}	فمتو	f	10^{-15}
دکا	da	10^{1}	آتو	a	10^{-18}

آزمایش اول---------- اندازه‌گیری

فیزیک، علم اندازه‌گیری یا به عبارتی علم تجربه‌های کمی است. ابزارهای اندازه‌گیری بسیاری با دقت بالا به منظور رفع نیازهای آزمایشگاه‌های فیزیک ساخته شده‌اند و همواره در حال توسعه می‌باشند. اندازه‌گیری طول در کار علمی از اهمیت بنیادی برخوردار است که در اغلب آزمایش‌ها اندازه‌گیری می‌گردد. بنابراین ما کار علمی در این آزمایشگاه را با اندازه‌گیری این کمیت با استفاده از ابزارهایی دقیق‌تر از ابزارهای روزمره آغاز می‌کنیم.

هدف آزمایش: آشنایی با اصول درجه‌بندی ورنیه و چگونگی به‌کارگیری کولیس و ریزسنج.

ورنیه به ما در خواندن دقیق‌تر تا کسری از درجه‌بندی ریزِ ابزار اندازه‌گیری کمک می‌کند. اصول این درجه بندی در سال ۱۶۳۱ توسط شخصی به نام ورنیه ابداع شد. درجه بندی ورنیه یک درجه‌بندی کمکی است که می‌تواند در مقابل مقیاس اصلی و ثابت وسیلهٔ اندازه‌گیری جابجا شود. درجه‌بندی ورنیه از نقطه‌نظر اندازه با

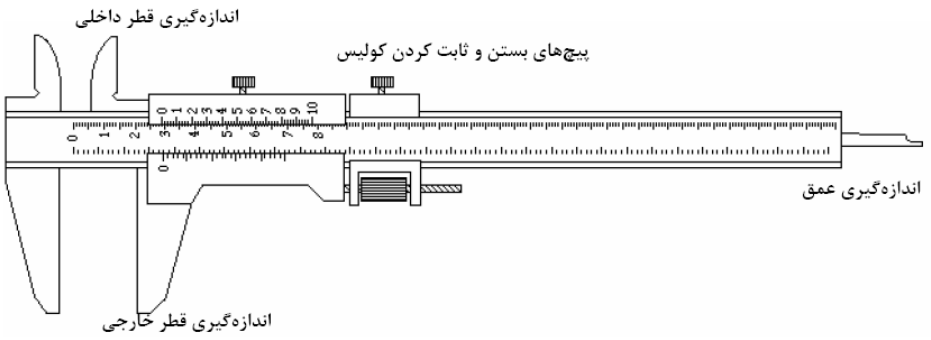
درجه‌بندی مقیاس ثابت متفاوت است. بدین ترتیب که n درجه ورنیه مساوی با $n-1$ درجه مقیاس ثابت است. برای مثال اگر طول یک درجه ورنیه را با X و طول یک درجه خط کش ثابت را با Y نمایش دهیم خواهیم داشت: $nX=(n-1)Y \rightarrow X=\frac{n-1}{n}Y$. n عددی صحیح است که دقت دستگاه را تعیین می‌کند. کوچکترین مقداری که توسط درجه‌بندی ورنیه خوانده می‌شود کمترین شمارش (least count) نام دارد و برابر است با تفاضل بین یک درجه خط‌کش ثابت و یک درجه ورنیه یعنی: $Y-X=Y-\frac{n-1}{n}Y=\frac{1}{n}Y$. مقدار عدد n در اسباب‌های مختلف، متفاوت است . در هر حال اصول کلی ورنیه‌ها یکی است و کسی که اصول کار ورنیه را فرا گرفته باشد به‌آسانی می‌تواند از اسباب‌های مختلف استفاده نماید . در هنگام استفاده از اسبابی که دارای ورنیه است اول باید کمترین شمارش آن را مشخص کرد بعد برای اندازه‌گیری جابجایی باید ابتدا تعداد درجات خط کش ثابت را که قبل از صفر ورنیه قرار دارند قرائت کرد. سپس درجه‌ای از ورنیه که روبروی یکی از درجات خط کش ثابت قرار گرفته معین نموده در نهایت باید حاصلضرب کمترین شمارش در عدد خوانده شده ورنیه را به‌دست آورد و با عدد خوانده شده خط کش ثابت جمع کرد.

کولیس وسیلهء اندازه‌گیری طول است که دقیق‌تر از خط‌کش معمولی با دقت اندازه‌گیری کمتر از میلی‌متر می‌باشد. دقت کولیس به چگونگی درجه‌بندی روی ورنیه بستگی دارد . کولیس از یک خط کش ثابت معمولی مدرج بر حسب سانتی‌متر و میلی‌متر و یک قسمت متحرک، ورنیه ساخته شده است . این وسیله که در شکل نمایش داده شده دارای سه دهانه برای اندازه‌گیری می‌باشد که عبارتند از:

۱- دهانهٔ بزرگ برای اندازه‌گیری ضخامت و قطرهای خارجی (این دو شاخه بر لبه‌های خارجی جسم مورد نظر مماس می‌شوند)

۲-دهانهٔ مربوط به اندازه‌گیری قطر داخلی و داخل شیارها (این دو فک بر لبه‌های داخلی جسم مورد نظر منطبق می‌شوند)

۳-قسمت عمق‌سنج که برای اندازه‌گیری عمق به‌کار می‌رود. (نوک تیغهء عمق سنج در عمق جسم مورد نظر قرار داده می‌شود)

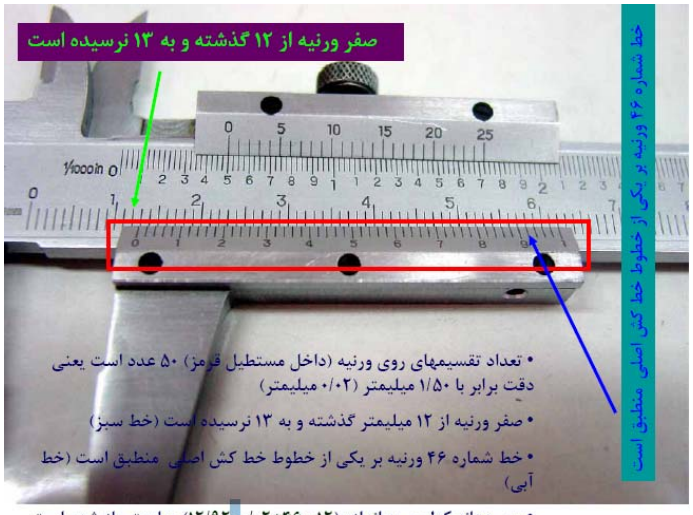


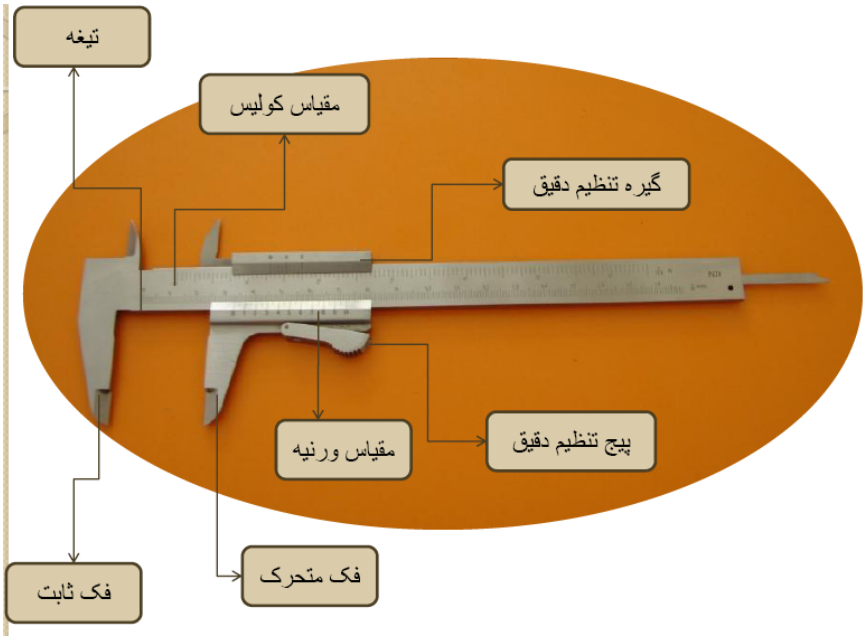
شکل ۱ – اجزای کولیس

وقتی ورنیه حرکت می‌کند تمام دهانه‌ها به یک اندازه باز می‌شوند. شکل ۲ اساس کار کولیس را به‌طور شماتیک نشان می‌دهد. جسمی را که منظور، تعیین طول یا قطر خارجی آن است در بین شاخک‌های ثابت و متحرک بزرگ قرار داده و سپس به کمک ورنیه و خط کش ، قطر یا طول مورد نظراندازه‌گیری می‌شود. عددی را که کولیس نشان می‌دهد در دو مرحله قرائت می‌کنیم:

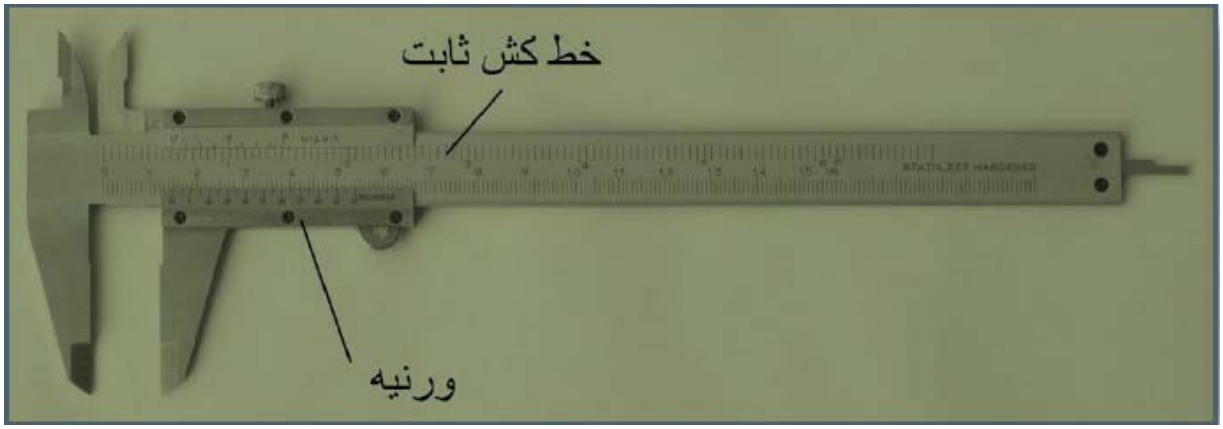
۱- ابتدا نگاه می‌کنیم که خط صفر ورنیه بین کدام دو خطِ خط‌کش قرار گرفته است. عدد کوچکتر را از روی خط کش یادداشت می‌کنیم. (بر حسب میلی‌متر)

۲-بهترین خط منطبق ورنیه بر خطِ خط‌کش را پیدا کرده از صفر ورنیه تا آن خط منطبق را از روی ورنیه شمرده و در دقت کولیس ضرب می‌کنیم و با عدد مرحله ۱ جمع می‌کنیم.



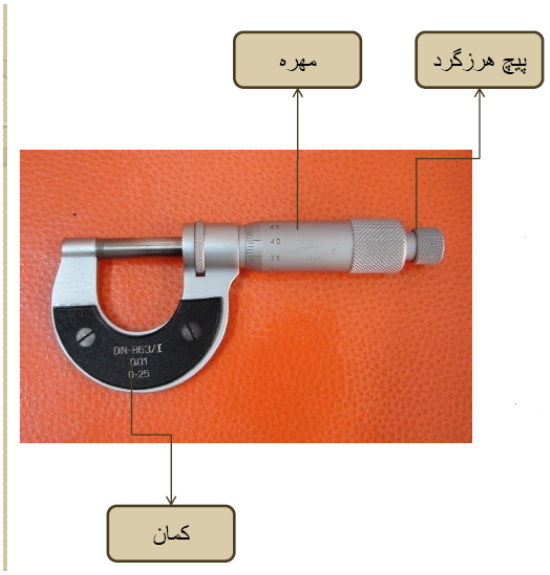


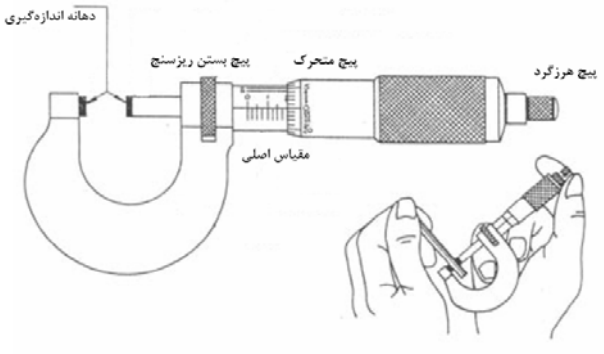
برای تعیین دقت کولیس، کمترین درجه بندی روی خط کش(که یک میلی‌متر است)را به تعداد تقسیمات ورنیه تقسیم می‌کنیم.



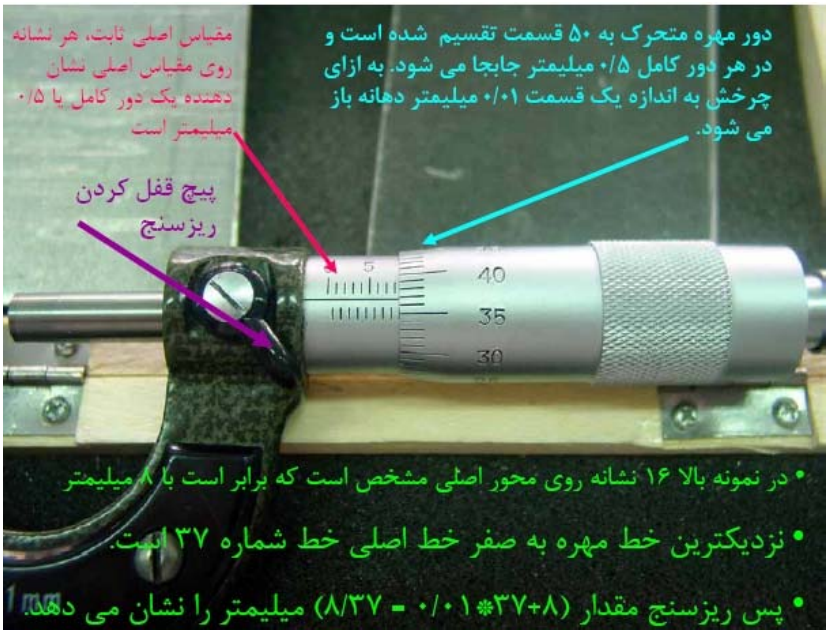
ریزسنج (میکرومتر) وسیله‌ای است که دقیق‌تر از کولیس بوده و معمولاً برای دقت‌های بالا به‌کار می‌رود و برای اندازه‌گیری ضخامت ورقه های نازک و سیم‌های نازک کاربرد دارد. این وسیله از یک استوانه ثابت مدرج و یک استوانهٔ متحرک مدرج که محیط آن به ۵۰ قسمت مساوی تقسیم شده است و می‌تواند روی استوانه ثابت مدرج بچرخد و جابجا شود و یک کمان فلزی متصل به استوانهٔ ثابت تشکیل شده است . گام ریزسنج عبارت است از جابجایی استوانهٔ متحرک در طول استوانه ثابت به ازای هر دور چرخش و به نحوهٔ طراحی و دقت دستگاه بستگی دارد . گام ریزسنج می‌تواند ۱ میلی‌متر یا ۱/۲ میلی‌متر باشد. هرگاه استوانهٔ متحرک به ۵۰ قسمت تقسیم شده باشد با چرخاندن استوانهٔ متحرک به اندازهٔ دو دور کامل دهانه یک

میلی‌متر جابجا می‌شود(گام ۱/۲ میلی‌متر) و در نتیجه ۱۰۰ قسمت از استوانهٔ متحرک معادل ۱ میلی‌متر از استوانهٔ ثابت (خط کش ثابت) می‌باشد، بنابراین دقت دستگاه ۱/۱۰۰ میلی‌متر می‌باشد. فرض کنید دهانه ریزسنج پس از چندین دور چرخش مقداری باز شده است، حال برای خواندن این مقدار، تعداد میلی‌مترها را می‌توان از روی استوانهٔ ثابت خوانده و با کسری از میلی‌متر که بر روی استوانهٔ متحرک خوانده می‌شود جمع کرد و مقدار جابجایی را اندازه‌گیری نمود (در امتداد خطی که روی محور ثابت قرار دارد عددی را که روی میکرومتر مشاهده می‌شود قرائت کرده بر حسب صدم میلی‌متر (دقت ریز سنج) با عدد خط کش ثابت جمع می‌کنیم). شکل ۳ شماتیکی از ریزسنج و روش استفاده از آن را نشان می‌دهد.



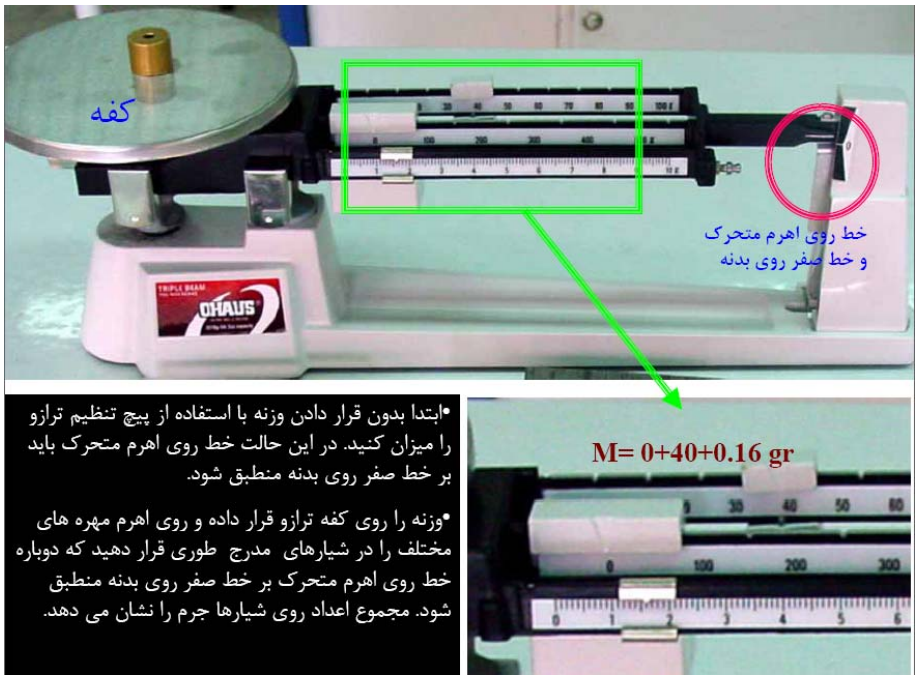


شکل ۳- ریزسنج و اصول کار و نحوه استفاده از آن



خطای صفر: خط نشان صفر قسمت متحرک هر وسیله اندازه‌گیری در حالت عادی باید در مقابل خط صفر قسمت ثابت آن قرار گیرد . اگر این دو خط در مقابل هم نباشند، گفته می‌شود خطای صفر وجود دارد. در آزمایشگاه همیشه باید مقدار خطای صفر را از مقدار خوانده شده کم یا با آن جمع کرد.

ترازوی اهرمی:



هدف آزمایش: آشنایی با وسایل اندازه‌گیری طول و جرم

وسایل مورد نیاز: ترازو- کولیس- ریزسنج- ورنیه- نمونه های اندازه‌گیری

روش انجام آزمایش: وزن تعدادی از نمونه های اندازه‌گیری را با ترازو سنجیده و با محاسبهء حجم، چگالی آن‌ها را بیابید. با استفاده از کولیس و ریز سنج طول کمیت های مختلف نمونه‌های در اختیار را اندازه‌گیری کرده و اندازه‌ها را با هم مقایسه نمایید. دقت کنید که هر اندازه‌گیری را حداقل سه بار تکرار نمایید.

جدول ۱: اندازه‌گیری جرم با ترازو

جرم	حجم	چگالی

جدول ۲: اندازه‌گیری ابعاد نمونه استوانه‌ای

کمیت	کولیس چوبی				کولیس فلزی				ریزسنج			
	۱	۲	۳	میانگین	۱	۲	۳	میانگین	۱	۲	۳	میانگین
قطرخارجی استوانه توپر												
ارتفاع استوانه توپر												
قطرداخلی استوانه توخالی												
ضخامت استوانه توخالی												

جدول ۳: اندازه گیری ضخامت ورقه ها

تعداد ورقه	۱	۲	۳	میانگین

جدول ۴: اندازه گیری ابعاد نمونه کروی

کمیت	کولیس چوبی				کولیس فلزی			
	۱	۲	۳	میانگین	۱	۲	۳	میانگین
قطر گوی بزرگ								
قطر گوی کوچک								

سوالات:

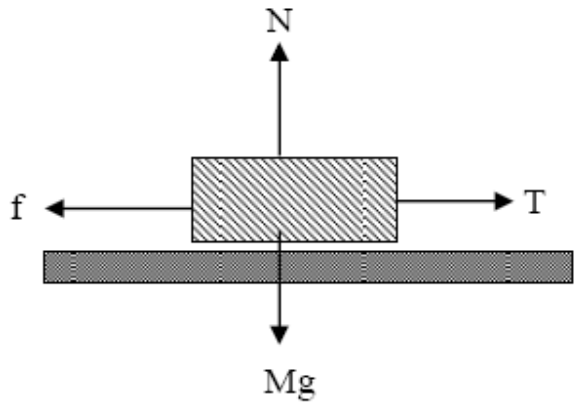
۱- یکاهای اصلی را نام برده و روش تعریف هر یک را بنویسید.

۲- خطای صفر کولیس و ریز سنج را اندازه بگیرید و بگویید در چه حالتی باید آن را با مقدار اندازه‌گیری شده جمع و یا از آن کسر کرد.

آزمایش ۲---------- اصطکاک

تئوری آزمایش:

وقتی جسمی بر روی جسم دیگر می لغزد نیروی مقاومی در سطح تماس دو جسم، در خلاف جهت لغزش پدید می‌آید که آن را نیروی اصطکاک می‌نامند. این نیرو در اثر ناهمواری های بسیار کوچک موجود در سطوح تماس پدید می‌آید. وجود نیروی اصطکاک در بعضی موارد بسیار لازم و ضروری می باشد؛ از جمله هنگام راه رفتن، پیچیدن اتو مبیل‌ها در جاده‌ها، برای متوقف کردن حرکت و... . ولی در بعضی موارد اصطکاک یک نیروی مزاحم است ؛ چرا که سبب اتلاف انرژی و کم شدن بازده کار می‌گردد. لذا در این موارد باید اصطکاک را کوچک و یا حذف کرد، پس این نیرو را باید شناخت. وقتی جسمی را به طور افقی به وسیله یک ریسمان بدون جرم بکشیم نیروهایی مطابق شکل (۱) به جسم وارد می شوند که در آن T نیروی کشش ریسمان، f نیروی اصطکاک، Mg نیروی وزن و N نیروی عکس‌العمل عمودی سطح است.



شکل ۱ - جسم روی سطح افقی

واضح است که چون جسم در امتداد عمودی شتابی ندارد $Mg = N$. حال اگر T بزرگتر از یک مقدارمعینی باشد، جسم در امتداد افق شتاب خواهد گرفت . در این حالت نیروی اصطکاک جنبشی f_k مقدار ثابتی خواهد داشت . اگر T به گونه ای باشد که جسم حرکت بدون شتاب، یعنی با سرعت ثابت انجام دهد، در این صورت $T = f_k$ خواهد بود و لذا می توان با اندازه گیری نیرویی که در حرکت بدون شتاب به جسم وارد می شود، مقدار نیروی اصطکاک جنبشی را اندازه گرفت. اگر به جسم نیروی کششی وارد شود ولی جسم در حال سکون باشد و حرکتی را آغاز نکرده باشد، نیروی اصطکاک آنرا ایستایی می نامند .در این حالت نیروی اصطکاک ایستایی، تابع

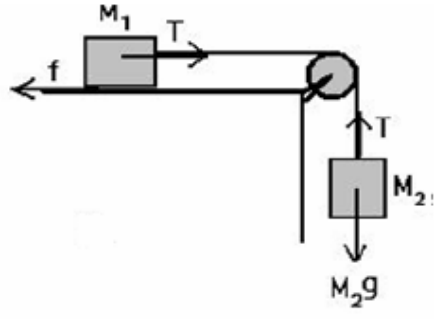
T است و با بزرگ شدن T افزایش می یابد و به تدریج به مقدار بیشینهٔ خود که با $f_{s\max}$ نشان می دهند، می‌رسد. در این حالت افزایش بیشتر Tموجب خواهد شد که جسم از حال سکون خارج شده و حرکت کند. آزمایش نشان می‌دهد که همیشه f_k کوچکتر از بیشینهٔ **نیروی اصطکاک ایستایی** $f_{s\max}$ است.

همچنین آزمایش نشان داده است که مقادیر f_k و f_sمتناسب با نیروی عمود بر سطح دو جسم هستند. لذا می‌توان روابط زیر را نوشت:

$$f_k = \mu_k N$$
$$f_s = \mu_s N$$

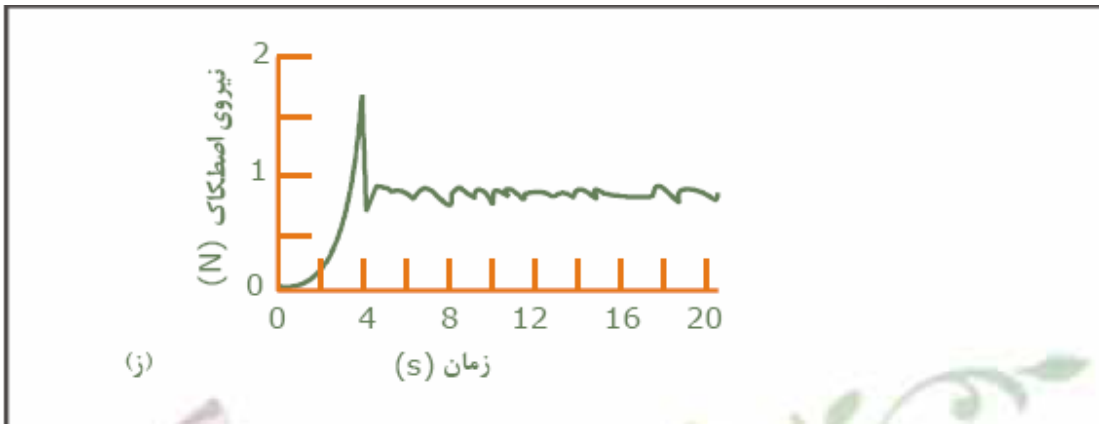
در این روابط μ_s و μ_k به ترتیب ضریب اصطکاک ایستایی و ضریب اصطکاک جنبشی نامیده می شوند که:

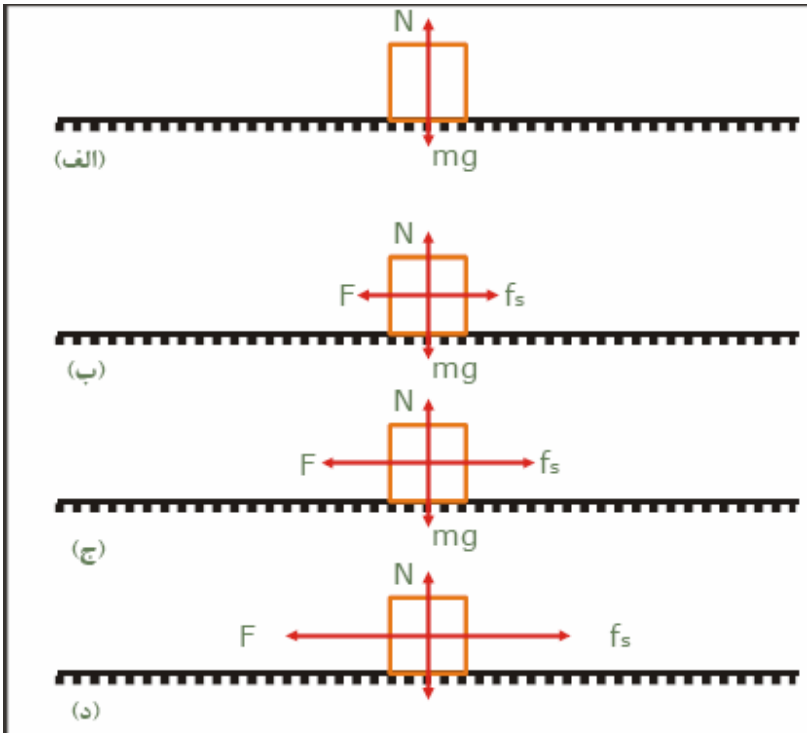
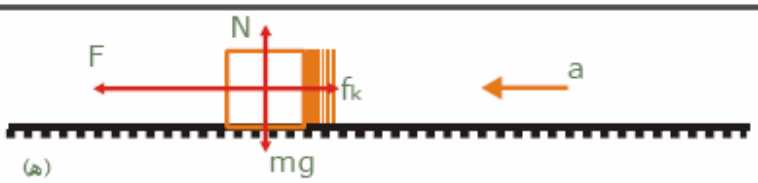
$$\mu_s > \mu_k$$



$$T = M_1 g \quad , \quad T = f_s = \mu_s N = \mu_s M_1 g$$

$$\Rightarrow \mu_s = \frac{M_2}{M_1}$$



سکون	
حرکت شتابدار	
حرکت یکنواخت	

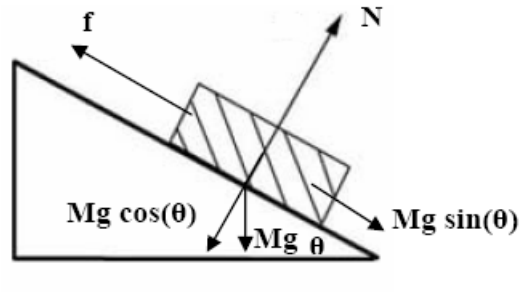
به طور کلی قوانین حاکم بر نیروی اصطکاک را می توان به صورت زیر خلاصه نمود:

۱- نیروی اصطکاک متناسب با نیروی عمود بر سطح دو جسم است.

۲- ضریب اصطکاک مستقل از مساحت سطح لغزنده است.

۳- ضریب اصطکاک مستقل از سرعت جسم لغزنده است.

۴- ضریب اصطکاک با جنس و کیفیت سطوح تماس، رابطه دارد.



شکل ۲ - جسم روی سطح شیب دار

در شکل (۲) وقتی جسم در آستانه حرکت است داریم:

$$Mg\sin\theta_s - f_s = 0 \;\rightarrow\; f_s = Mg\sin\theta_s \qquad (۱)$$

$$N - Mg\cos\theta_s = 0 \rightarrow N = Mg\cos\theta_S \qquad (۲)$$

$$f_s = \mu_S Mg\cos\theta_S \qquad (۳)$$

$$\mu_s M\, g\cos\theta_s = Mg\sin\theta_s \qquad (۴)$$

حال اگر جسم در اثر نیروی وزنش با سرعت ثابت روی سطح به پایین بلغزد، به طور مشابه برای ضریب اصطکاک لغزشی خواهیم داشت:

$$\mu_s = \tan\theta_s$$
$$\mu_k = \tan\theta_k \qquad (۵)$$

اگر جسمی روی سطح افقی تحت اعمال نیروی موازی با سطح (F) در آستانهء حرکت قرار گیرد ضریب اصطکاک ایستایی از رابطهء $\mu_S = F/N$ به‌دست می‌آید و اگر در حال حرکت یکنواخت باشد ضریب اصطکاک جنبشی از رابطه $\mu_k = F/N$ به‌دست می‌آید.

جدول 1. ضرایب اصطکاک

سطوح	μ_s	μ_k
چوب بر چوب	0/25 – 0/5	0/2
شیشه بر شیشه	0/9 – 1/0	0/4
فولاد بر فولاد، برای سطوح تمیز	0/6	0/6
فولاد بر فولاد، برای سطوح روغنکاری شده	0/09	0/05
لاستیک بر بتون خشک	1/0	0/8
چوب اسکی موم زده بر برف خشک	0/04	0/04
تفلون بر تفلون	0/04	0/04

* مقادیر این جدول تقریبی هستند و فقط برای تخمین مناسبند. مقدار واقعی ضریب اصطکاک هر زوج سطح

بستگی به شرایطی از قبیل تمیز بودن سطوح، دما و رطوبت دارد.

هدف آزمایش: مطالعهٔ قوانین حاکم بر نیروی اصطکاک و اندازه‌گیری ضریب اصطکاک بین دو سطح .

لوازم مورد نیاز: سطح شیب دار با زاویهٔ شیب قابل تنظیم – برُهٔ فلزی با جنس سطوح متفاوت - جاوزنه ای(کفه) - وزنه های کوچک و بزرگ- ترازو - ریسمان شاقول- نیروسنج - قرقره.

روش انجام آزمایش:

الف: **اندازه گیری ضریب اصطکاک ایستایی بین دو جسم در حالت افقی**

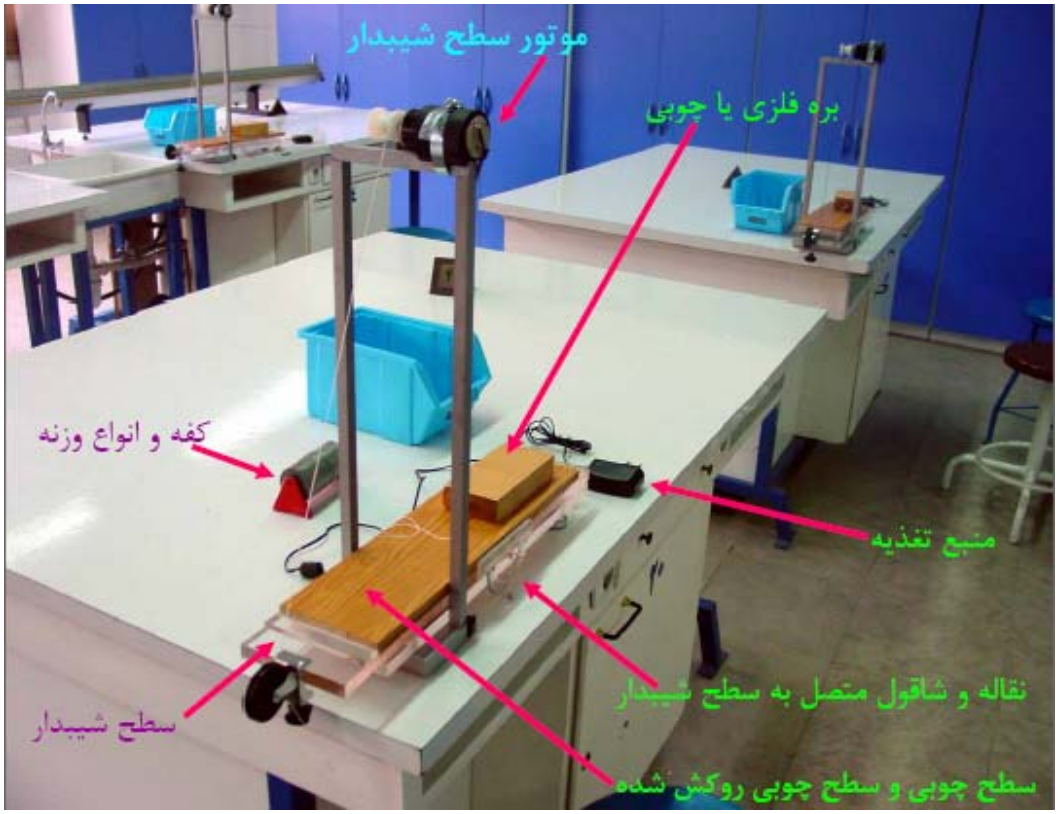
یک بُره با جنس سطوح متفاوت در اختیار شما قرار دارد . ابتدا سعی کنید سطوح را تمیز و سطح شیب دار را کاملاً افقی کنید .حال بره را روی سطح چوبی قرار داده و نخی را به آن وصل کرده و پس از عبور از قرقره

متصل به سطح شیب دار به کفه وصل نمایید. سپس با قرار دادن وزنه های معین بر روی آن، آن را در آستانهء حرکت قرار دهید. جرم بره و سرباره‌اش را با ترازو اندازه گرفته و یادداشت نمایید(m_N). جرم کفه و وزنه‌های درون آن را نیز اندازه بگیرید و m_s بنامید.

جنس سطح	m_N	m_{s1}	m_{s2}	m_{s3}	$\bar{m}_s$	$\mu_s = \frac{\bar{f}_s}{N} = \frac{\bar{m}_s}{m_N}$

ب: **اندازه گیری ضریب اصطکاک جنبشی بین دو جسم در حالت افقی**

برای این کار به جاوزنه ای که از طریق نخی به قطعه چوبی وصل شده است آنقدر وزنه اضافه کنید تا با زدن ضربه های کوچک به سطح ، بره با سرعت یکنواخت شروع به حرکت کند . در این آزمایش از جرم نخ و اصطکاک قرقره صرف نظر شده است . تخته را تعویض و سطح بره را این بار به‌ترتیب روی سطح پلاستیکی یا فلزی قرار دهید و آزمایش را تکرار کنید. جرم کفه و وزنه را در این حالت m_k بنامید .



جنس سطح	m_N	m_{k1}	m_{k2}	m_{k3}	$\bar{m}_k$	$\mu_s = \frac{\bar{f}_k}{N} = \frac{\bar{m}_s}{m_N}$

ج: اندازه گیری ضریب اصطکاک روی سطح شیب دار ثابت:

برای خواندن زاویه از نقاله ای که کنار سطح شیب دار نصب شده استفاده نمایید. از قرار دادن اشیاء دیگر، علامت گذاشتن و لمس کردن سطح قطعه چوبی، خودداری شود. ابتدا سطح شیب دار را در یک زاویه ء دلخواه تنظیم نمایید. بره را (m_A) روی سطح چوبی قرار دهید .کشش نخ را طوری تنظیم کنید که بره در آستانهء حرکت به سمت پایین قرار گیرد. جرم کفه و وزنه ها را m_B بنامید. سپس با کاهش وزنه های درون کفه با زدن چند ضربه

به سطح شیب دار بره را به طور یکنواخت به سمت بالا به حرکت درآورید. در این حالت جرم کفه و وزنه‌های درون آن را m'_B بنامید. این آزمایش را ۳ بار تکرار کنید.

جنس سطح	θ	m_A	m_B	m'_B	$\mu_s = \frac{m_B - m_A \sin\theta}{m_A \cos\theta}$	$\mu_k = \frac{m' - m_A \sin\theta}{m_A \cos\theta}$

پرسش ها:

۱) چرا ترمز کردن ناگهانی اتومبیل بر روی سطح آسفالت خیس عاقلانه نیست؟

۲) آیا نیروی اصطکاک ایستایی ثابت است؟

۳) چگونه می توان مستقل بودن نیروی اصطکاک از سطح تماس ظاهری را تحقیق کرد؟

۴) روابط محاسبه ضرایب اصطکاک جنبشی و ایستایی برای حالت شیب دار را اثبات کنید.

آزمایش سوم ---------- تعادل و برآیند نیروها

تئوری آزمایش:

در فیزیک کمیت هایی وجود دارد که اندازهٔ آنها به تنهایی اطلاعات کافی به ما نمی‌دهد. اما اگر چند مشخصهٔ مهم دیگر در مورد آن کمیت معلوم شود، آن کمیت دارای اطلاعات کامل و کافی برای تحلیل مسألهٔ مورد مطالعه خواهد بود . کمیت‌هایی وجود دارند که علاوه بر اندازه، جهت نیز از مشخصه‌های آنهاست . این کمیت‌ها برداری خوانده می‌شوند. بردار را به صورت یک پیکان نشان می‌دهند. طول پیکان متناسب با اندازهٔ کمیت و جهت آن سوی عمل (اثر) کمیت برداری مورد نظر می‌باشد .جابجایی، سرعت، شتاب و نیروکمیت‌های برداری هستند . در این آزمایش تأکید ما بر بردار نیرو و آشنایی با عملیات ریاضی و محاسباتی با آن به عنوان نمونه‌ای از کمیت برداری است. جمع بردارها، مجموع یا برآیند بردارها را به دو طریق ترسیمی و تحلیل می‌توان بدست آورد . برآیند دو یا چند بردار، برداری منفردی است که همان اثر مجموعهٔ بردارهای قبلی را ایجاد می‌کند. به‌عنوان مثال، برآیند چند نیرو که به جسمی اعمال شده است همان اثری را بر مرکز جرم جسم (مجموعه ای از ذرات) دارد که ترکیب اثر تک نیروهای مجموعهٔ اول داشت .هم‌چنین برآیند گشتاور این نیروها حول یک محور دوران همان اثری را دارد که از ترکیب اثر گشتاور تک نیروها حاصل می‌شود.

ضرب یک عدد(اسکالر) در یک بردار:

این حاصل ضرب برابر است با برداری در امتداد بردار $\vec{v}$ و به طول $a|\vec{v}|$ و اگر a مثبت باشد بردار حاصل هم جهت با $\vec{v}$ است.

جمع بردارها :

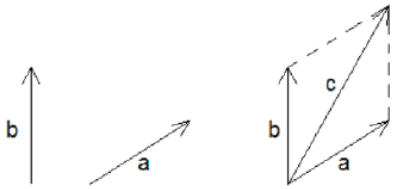
برای جمع کردن کمیت‌های برداری روش‌های خاصی وجود دارد که در ذیل به آنها اشاره می‌شود.

الف – روش متوازی الاضلاع:

در این روش از یک نقطه دلخواه، همسنگِ بردارهایی که می‌خواهیم با هم جمع کنیم، رسم می‌کنیم .قطر متوازی الاضلاع که از این دو بردار تشکیل می‌گردد حاصل جمع این دو بردار است.

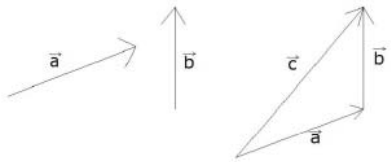
$$\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$$

$$|\vec{c}|^2 = |\vec{a}|^2 + |\vec{b}|^2 + 2|\vec{a}||\vec{b}|\cos\alpha$$



ب -روش مثلث یا چند ضلعی:

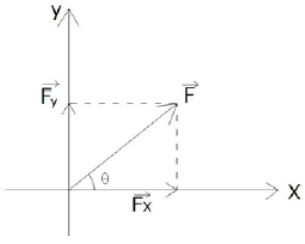
در این روش از یک نقطه دلخواه برداری همسنگ یکی از بردارها رسم می‌کنیم و سپس از انتهای آن برداری همسنگ بردار دوم رسم می‌کنیم .اگر ابتدای بردار اول را به انتهای بردار دوم وصل کنیم حاصل جمع دو بردار بدست می‌آید.



$$\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$$

ج – روش تجزیه:

دراین روش ابتدا کلیه بردارها را دریک دستگاه مختصات رسم می‌کنیم و سپس تک تک آنها را به روی محورها تجزیه می‌کنیم، بعد از آن هم نِه‌های افقی را جمع جبری می‌کنیم و هم نِه‌های قائم را نیز با هم جمع جبری می‌کنیم و حاصل این دو هم‌نِه را به‌عنوان برآیند مؤلفه‌های افقی و قائم در نظر گرفته، قطرمستطیل حاصل ازآنها جمع کل بردارها می‌باشد.



$$F_x = F\cos\theta \qquad F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

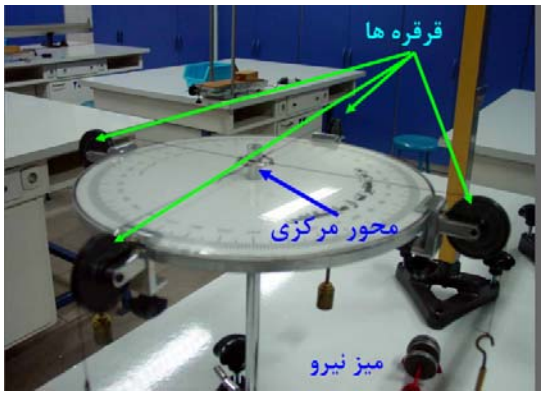
$$F_y = F\sin\theta \qquad \tan\theta = \frac{F_y}{F_x}$$

هدف آزمایش: تحقیق قانون جمع بردارها و شرط تعادل اجسام.

لوازم مورد نیاز: میزنیرو - قرقره - خط کش - نیروسنج

روش انجام آزمایش:

میز نیرو : میز نیرو صفحه فلزی دایره‌ای شکل است که محیط آن بین ۰ و ۳۶۰ درجه مدرج شده است . این صفحه روی میله قائمی پیچ شده است . میله قائم، خود بر روی سه پایه سنگین فلزی پیچ شده است . سه پایه فلزی در هر پایه خود، دارای پیچی است که با پیچاندن آنها می‌توان صفحه را کاملاً افقی نگاه داشت .جسمی که تعادل آن مورد نظر است حلقهٔ واقع در وسط میز است. نیروهای وارد بر حلقه، کشش‌های نخ‌هایی است که به این حلقه بسته شده‌اند .چون اصطکاک قرقره‌ها ناچیز است نیروی کشش هر نخ برابر با وزن وزنه‌ای است که از نخ آویزان شده است.



الف) برآیند دو بردارمساوی و مختلف الجهت:

بعد از تراز نمودن دستگاه، یک وزنه دلخواه را در یکی از کفه‌ها قرار داده ، نخ دیگر را آن قدر تحت زوایای مختلف بکشید که حلقه در وسط شاخص قرار گیرد. نخ را از روی قرقره عبور داده و آن‌قدر وزنه به آن اضافه کنید که شاخص در وسط قرار گیرد. تحقیق کنید که آیا نیروهایی که حلقه را از دو طرف می‌کشند مساوی و در خلاف جهت هستند یا نه.

مرتبهء تکرار آزمایش	بردار $\vec{A}$ ($M_A g = \vec{A}$) از طریق اضافه کردن وزنه به ریسمان A	بردار $\vec{B}$ ($M_B g = \vec{B}$) پس از ایجاد تعادل حلقه ء وسط میز نیرو	θ	خطای مطلق
۱				
۲				
۳				

برآیند سه نیروی متقاطع:

الف- سه قرقره را انتخاب کنید و آنها را C,B,A بنامید. ابتدا قرقره های B,A را با زاویه ۹۰ درجه نسبت به هم قرار دهید . از نخ های B,A وزنه های متفاوت آویزان کنید. آنگاه وزنه آویخته شده از قرقره C و محل آن را چنان انتخاب کنید که حلقه وسط میز در حالت تعادل باشد. سپس این کار را برعکس انجام می‌دهیم یعنی تجزیهء نیروی برآیند به دو نیروی متعامد. هر دو مرحله آزمایش را سه بار برای سه وزنه تکرار نمایید. حالت الف را برای زوایای ۶۰ و ۱۲۰ درجه انجام دهید.

مرتبهء تکرار آزمایش	بردار $\vec{A}$ ($M_A g = \vec{A}$) ازطریق اضافه کردن وزنه به ریسمان A	بردار $\vec{B}$ ($M_B g = \vec{B}$) از طریق اضافه کردن وزنه به ریسمان B	بردار $\vec{C}$ نتیجهء آزمایش	بردار $\vec{C}$ نتیجهء محاسبه	θ	خطای مطلق
۱					۹۰	
۲					۹۰	
۳					۹۰	

مرتبهء تکرار آزمایش	بردار $\vec{A}$ ($M_A g = \vec{A}$) ازطریق اضافه کردن وزنه به ریسمان A	بردار $\vec{B}$ ($M_B g = \vec{B}$) از طریق اضافه کردن وزنه به ریسمان B	بردار $\vec{C}$ نتیجهء آزمایش	بردار $\vec{C}$ نتیجهء محاسبه	θ	خطای مطلق
۱					۶۰	
۲					۶۰	
۳					۶۰	

مرتبهء تکرار آزمایش	بردار $\vec{A}$ ($M_A g = \vec{A}$) ازطریق اضافه کردن وزنه به ریسمان A	بردار $\vec{B}$ ($M_B g = \vec{B}$) از طریق اضافه کردن وزنه به ریسمان B	بردار $\vec{C}$ نتیجهء آزمایش	بردار $\vec{C}$ نتیجهء محاسبه	θ	خطای مطلق
۱					۱۲۰	
۲					۱۲۰	
۳					۱۲۰	

پرسش ها:

۱- نتیجه تجربی را با نتیجهء تحلیلی مقایسه کنید.

۲- فرمول $c = \sqrt{a^2 + b^2 + 2ab\cos\theta}$ را اثبات نمایید.

۳- یک نیرو را به دو نیروی متعامد تجزیه کنید و نتایج را در یک جدول یادداشت نمایید.

۴- برای تمام قسمت‌های آزمایش شکلی واضح رسم نمایید و روی شکل نیروهای وارده را رسم کنید.

آزمایش چهارم---------- تحقیق قانون هوک

تئوری آزمایش:

رابرت هوک در ۳۰۰ سال پیش آزمایش‌هایی انجام داد که رابطه بین نیروی کشش و افزایش طول را بدست آورد . هر ماده‌ای که افزایش طول آن با نیروی کشش وارد بر آن متناسب باشد از قانون هوک تبعیت می‌کند . هرگاه به جسم الاستیکی مانند یک فنر نیرویی وارد کنیم، تحت اثر این نیرو جسم تغییر طول می‌دهد .نسبت این تغییر طول ، متناسب است با نیرو و بصورت یک تابع خطی است $F = kx$ که در آن k ضریب سختی فنر است .این رابطه به قانون هوک موسوم است، جسم را در این حالت الاستیک گویند، اگر نیرو را در این حالت حذف کنیم فنر به صورت اولیه در می‌آید. مادامی که نیرو از حد معینی تجاوز نکند این قانون صادق است، این حد را حد ارتجاع یا الاستیک گویند .اگر نیرو از این حد تجاوز کند دیگر تغییرات نیرو با ازدیاد طول خطی نیست بلکه به صورت یک منحنی می باشد، در این حالت اگر نیرو حذف شود دیگر فنر به حالت اولیه برنمی‌گردد. به یک فنر وزنه ای متصل می‌کنیم و آن را به آرامی پایین می‌آوریم تا به حال تعادل قرار بگیرد .در این حالت برای نیروی وارد بر فنر که وزن جسم است داریم:

$$F = -kx$$

که در آن x افزایش طول فنر است، پس برای ضریب سختی فنر داریم:

$$k = \frac{mg}{x} = \frac{W}{x}$$

اگر به یک فنر وزنه ای متصل کنیم و آن را از حالتی که فنر در حال تعادل است کمی پایین کشیده و رها کنیم، جسم شروع به نوسان می کند . برای نیروی وارد بروزنه برحسب افزایش یا فشردگی طول فنر داریم.

$$F = -kx$$

پس نمودار آن به صورت خطی می باشد و آن خط راست است . شیب نمودار معرف k ضریب سختی فنر می‌باشد . $k = F / \Delta x = \tan\theta$

از طرفی از دینامیک حرکت داریم :

$$F = Ma = M\frac{dv}{dt} = M\frac{d^2x}{dt^2}$$

$$F = -kx = M\frac{d^2x}{dt^2} \rightarrow \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{M} = 0$$

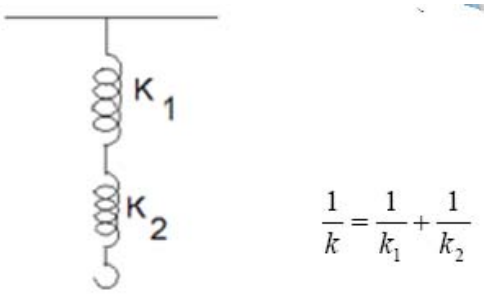
این یک معادله دیفرانسیل مرتبه دوم است، و هر جسمی که مکان آن در یک چنین معادله ای صدق کند دارای حرکت نوسانی خواهد بود، پاسخ معادله دیفرانسیل فوق $x = A\sin(\sqrt{\frac{k}{m}})t$ است .از مقایسه پاسخ فوق با معادله حرکت هماهنگ ساده داریم: $x = A\sin\omega t$ که سرعت زاویه ای حرکت نوسانی آن جذر ضریب x در معادله است، در اینجا یعنی $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ بنابراین:

$$W = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{k}{m}} \rightarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

T زمان تناوب حرکت نوسانی است. با توجه به رابطه فوق اگر زمان تناوب حرکت نوسانی جسم متصل به فنر و جرم جسم متصل به فنر را داشته باشیم، ضریب سختی فنر به دست می آید.

به هم بستن فنرها:

اگر دو فنررا که ضرایب سختی آنها k_2, k_1 است مطابق شکل روبرو به طورسری به هم وصل کنید ضریب سختی مجموعه آنها از رابطه زیر بدست می آید .

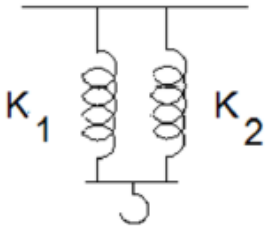


$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$$

اثبات کنید.

اگرهمان دو فنررا مطابق شکل روبرو موازی به هم متصل کنید ضریب سختی مجموعه عبارتست از:

اثبات نمایید.



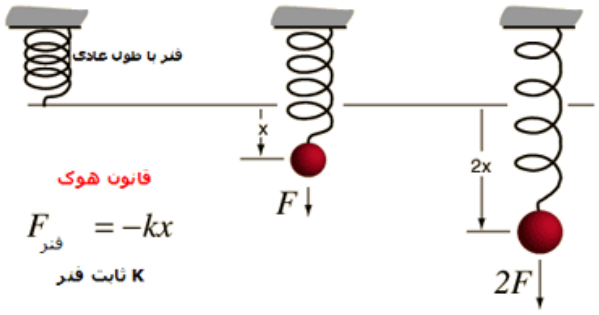
$$k = k_1 + k_2$$

هدف آزمایش: محاسبهء ثابت فنر با استفاده از قانون هوک

وسایل مورد نیاز: فنر - متر -وزنه - پایه ای که وزنه ها را از آن آویزان کنیم- سنسور- تایمر

روش انجام آزمایش: در این قسمت از وزنه های ۱۰۰و۱۵۰ و ۲۰۰ گرمی استفاده کرده و تغییرات طول فنر را به ازای قرار دادن هر وزنه در جدول زیر یادداشت نمایید.

m	Δl_1	Δl_2	Δl_3	$\overline{\Delta l}$	$\overline{k}$
۱۰۰					
۱۵۰					
۲۰۰					



نمودار x بر حسب m را رسم کرده و از طریق شیب نمودار مقدار ثابت فنر را به دست آورید.

$$F = -kx \rightarrow mg = -kx \rightarrow x = -(g/k)m$$

خطای ثابت فنر بهدست آمده از دو طریق را محاسبه کنید.

در این قسمت هدف تعیین سختی فنرها با استفاده از نوسان فنر است .برای این کار ابتدا یک وزنه مناسب به فنر متصل کرده و وزنه را به آرامی تا حالت تعادل پایین بیاورید، سپس وزنه را از این حالت کمی پایین کشیده و رها

کنید، با استفاده از تایمر زمان دقیق نوسان را بدست آورده و جدول زیر را برای همه فنرها پر کنید. بارسم منحنی T^2 برحسب m جرم وزنه ها و تعیین شیب خط که با توجه به رابطه $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ ، $\frac{4\pi^2}{k}$ است می‌توان ضریب سختی فنر را محاسبه کرد. این عدد، ضریب سختی را با مقدار به‌دست آمده در قسمت الف مقایسه کنید.

m	n تعداد نوسان	t	$T = \frac{t}{n}$	T^2	k از روی نمودار
۱۰۰					
۱۵۰					
۲۰۰					

به هم بستن فنرها:

الف) دو فنر با ثابت معلوم از قسمت اول آزمایش را بصورت سری بسته و ثابت فنر معادل را برای وزنه‌های خواسته شده بیابید و جدول زیر را کامل کنید.

ب) این آزمایش را برای اتصال موازی فنرها تکرار نمایید.

ج) در هر دو مرحله مقدار به‌دست آمده ثابت فنر از آزمایش را با مقدار تئوری آن مقایسه نمایید.

جرم	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۳۰۰
Δx				
k				

بهم بندی موازی و سری دو فنر

پرسش ها:

۱- زمان تناوب فنری که بطور قائم نوسان می کند با کمیت های زیر چگونه تغیر می کند؟

الف-جرم متصل به فنر

ب-دامنه نوسان فنر

ج-ثابت فنر

د-شتاب گرانش

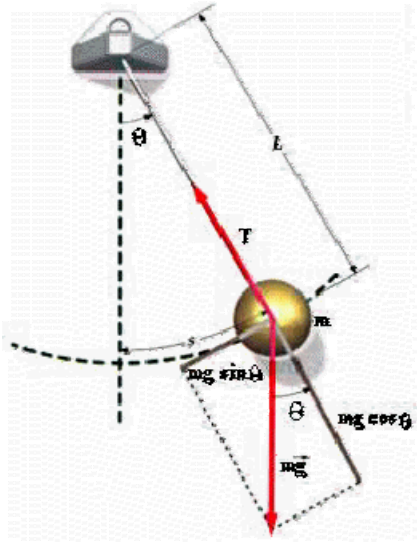
۲- ضریب ثابت فنر به چه عواملی بستگی دارد؟

۳- برای اتصال سری و موازی فنرها، دورهء تناوب را بدست آورید.

آزمایش پنجم---------- آونگ ساده

تئوری آزمایش: آونگ ساده عبارت است از نقطه‌ای مادی است که به انتهای نخ بی وزنی آویخته باشد و بتواند حول محور افقی در یک صفحه قائم نوسان کند در حالی که بتوان از ابعاد گلوله در برابر نخ و و همچنین از وزن نخ در برابر گلوله صرف نظر کرد .

می‌توان ثابت کرد که در نوسانات کم دامنه زمان نوسان تابع دامنه نوسان نبوده بلکه تابع طول آونگ و شتاب ثقل می‌باشد . هرگاه جرم نقطه‌ای را از وضیت تعادل به اندازه θ منحرف کنیم و سپس رها کنیم، جرم نقطه ای تحت دو نیرو قرار می‌گیرد :



۱) نیروی وزن که جهت آن رو به پایین است و در هر لحظه عمود بر سطح افق می باشد

۲) نیروی کشش نخ

نیرویی که موجب می شود تا نقطهء مادی را به حال تعادل برگرداند عبارت است از : $F = -Mg\sin\theta$

که همواره مماس بر راستای مسیر حرکت می باشد .علامت منفی بدان جهت است که نیروی برگشتی در خلاف جهت حرکت است . حال با توجه به رابطه بالا داریم :

$$M\,(d^2x/dt^2) = -Mg\sin\theta, if\ \theta \le 6 \to \sin\theta \approx \theta \to M\,(d^2x/dt) = -Mg\theta$$

چون $\theta = x/L$ است پس با جایگذاری و حل معادله دیفرانسیل فوق می توان نوشت :

$$w = (g/L)^{\frac{1}{2}} \to 2\pi/T\ , x = x_0\cos(wt) \to (d^2x/dt^2) + (g/L)x = 0$$

$$T = 2\pi(L/g)^{\frac{1}{2}} \to g = 4\pi^2 L/T^2$$

که در رابطه بالا L طول آونگ , g شتاب ثقل و T زمان نوسان آونگ است . اگر دامنهء نوسان کوچک نباشد دورهء تناوب عبارتست از $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}(1+\frac{1}{4}\sin^2\theta+...)$

هدف آزمایش: اندازه‌گیری شتاب ثقل با استفاده از آونگ ساده

وسایل مورد نیاز: آونگ ساده - تایمر- پایه- سنسور

روش انجام آزمایش:

(تمام مراحل آزمایش برای توپ چوبی تکرار شود. ابتدا توپ فولادی را به نخ وصل کنید. شعاع توپ باید در اندازه گیری طول آونگ به حساب آید.)

الف) برای اندازه‌گیری دورهء نوسان به عنوان تابعی از طول آونگ، در دستگاه تایمر، کانتر را ابتدا دکمه Reset را می‌زنیم و بعد دکمه set را فشار می‌دهیم و با دکمه up تعداد ۲۰ نوسان را وارد می کنیم و دکمه start را می‌زنیم و بعد برای ارتفاعات مختلف در هر بار آونگ را ۶ درجه که در صفحه آویز مدرج شده است منحرف کرده و بعد آن را بدون سرعت اولیه رها می‌کنیم . دستگاه، زمان نوسان t را اندازه‌گیری می‌کند . T را

حساب کرده و در آخر میانگین سه حالت را حساب می کنیم . نموداری بر حسب دورهء نوسان (T^2) و طول آونگ رسم نموده و با استفاده از رابطهء $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ مقدار g را از روی نمودار بدست می‌آوریم.

$$T = t / n$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \rightarrow T^2 = 4\pi^2 \frac{l}{g} \rightarrow T^2 = \alpha l \rightarrow \alpha = \frac{4\pi^2}{g}$$

l	t_1	t_2	t_3	$\bar{t}$	T	g_m	gاز روی نمودار
l_1							
l_2							
l_3							

ب) برای اندازه گیری دورهء نوسان به صورت تابعی از میزان انحراف، آونگ را با زوایای مختلف بزرگتر از ۶ درجه و طول یکسان منحرف کنید و زمان یک تناوب را برای آنها بسنجید و در جدول دیگری یادداشت نمایید.

θ	t_1	t_2	t_3	$\bar{t}$	T	g_m
θ_1						
θ_2						
θ_3						

ج) برای تحقیق عدم وابستگی تناوب به جرم آزمایش رابرای دوگلوله چوبی و فلزی با طول های یکسان انجام دهید.

m	t_1	t_2	t_3	T	g_m
فلزی					
چوبی					

پرسش ها:

۱- مقدار محاسبه شده در کدام یک از گلوله ها به مقدار واقعی نزدیک تر است؟

۲- چرا زاویهء انحراف را کوچکتر از ۶ درجه در نظر می‌گیریم؟

آزمایش ششم ---------- سقوط آزاد

تئوری آزمایش: جسمی که در نزدیکی سطح زمین سقوط می کند شتاب ثابتی دارد .پیرو آزمایش‌های سال های اخیر ، فضا نوردان بر روی کره ماه مشاهده نمودند که اگر یک چکش و یک پر را با هم رها کنیم چکش و پر هر دو با شتاب $1.6\ m/s^2$ سقوط می‌کنند تا به سطح ماه برسند . در اطراف زمین اجسام در داخل هوا سقوط می‌کنند وجود هوا باعث می‌شود که پر بسیار آرام تر از چکش سقوط کند. اگر مقاومت هوا وجود نداشت در اطراف زمین نیز همه اجسام با هم سقوط می‌کردند , در صورت عدم وجود هوا در اطراف زمین شتاب سقوط اجسام تقریبا $9.81m/s^2$ خواهد بود . این شتاب را شتاب سقوط آزاد میگویند و آن را با g نشان می‌دهند , اگر در معادله مکان – زمان به جای شتاب در سطح زمین a شتاب سقوط آزاد g را قرار دهیم معادله به شکل زیر در می آید که در این آزمایش با استفاده از فرمول مذکور مقدار g را حساب می کنیم .

$$y = -\frac{1}{2}gt^2 + V_0 t + y_0$$

$$V_0 = 0, y_0 = 0$$

$$y = -\frac{1}{2}gt^2 \rightarrow g = \frac{-2y}{t^2}$$

چون در این آزمایش گوی را رها می کنیم و نقطهء سقوط را مبدا میگیریم:

دیگر معادلات سقوط آزاد عبارتند از:

$$V = -gt + V_0$$
$$V^2 - V_0^2 = -2ay$$

شتاب گرانشی ناشی از نیروی گرانشی بین جرم سقوط کننده m و جرم کرهء زمین M است. بطوری که:

$$F = G\frac{mM}{r^2}$$
$$= G\frac{mM}{(R+h)^2} = mg \rightarrow g = \frac{GM}{(R+h)^2}$$

هدف آزمایش: محاسبهء شتاب ثقل با استفاده از سقوط آزاد اجسام

وسایل مورد نیاز: گلولهء آهنی- نگهدارندهء مغناطیسی- خط کش- پایه - سبد- تایمر - سنسور

روش انجام آزمایش:

الف) دستگاه را مطابق شکل آماده نمایید. (حسگر نوری، نگهدارندهء مغناطیسی و سبد جمع آوری گلوله هر سه باید در یک امتداد قرار گیرند.) در ابتدا گلولهء فلزی به کمک نگهدارندهء مغناطیسی در ارتفاع معینی از حسگر نوری نگه داشته می شود. حسگراول را در کمترین فاصلهء ممکن از نگهدارنده و حسگر دوم را در فواصل مختلف قرار میدهید تا بتوانید سرعت اولیه را صفر بگیرید و زمان سقوط را اندازه بگیرید. نحوه کار این دستگاه بدین قراراست که گلوله فولادی توسط زبانه و دکلانشور درقسمت بالای دستگاه نگه داشته می شود. درقسمت زیرین، حسگری قراردارد که به دستگاه تایمردیجیتال متصل می باشد. همزمان با قطع جریان الکتریکی در رها کننده، گلوله فولادی رها شده و تایمربه کارمی افتد و به محض عبورگلوله ازحسگرتایمرمتوقف می شود. زمانی که به کمک تایمر قرائت می شود، همان زمان سقوط گلوله فلزی می باشد .با توجه به معادله (۱) منحنی تغییرات y برحسب t^2 را رسم و به کمک آن نیز مقدار g را بدست آورید.

چیدمان آزمایش سقوط آزاد:

۱- حسگر نوری
۲- نگهدارنده مغناطیسی
۳- زمان سنج
۴- ظرف جمع آوری گلوله
۵- پایه ثابت

$h(cm)$	t_1	t_2	t_3	$\bar{t}$ $h(cm)$	t^2	g

ب)در این مرحله سنسور اول را با کمی فاصله از قسمت نگهدارنده قرار میدهیم تا گلوله هنگام عبور از روبروی آن دارای سرعت اولیهء غیر صفر باشد و زمان سقوط را با تغییر مکان سنسور دوم برای چند ارتفاع دلخواه می سنجیم و با استفاده از فرمول $y = -\frac{1}{2}gt^2 + V_0 t + y_0$ و حل دستگاه دو معادله دو مجهول، سرعت اولیه و شتاب ثقل را می یابیم.

$\Delta h(cm)$	t_1	t_2	t_3	$\bar{t}$	t^2	V_0	g

پرسش ها:

۱- خطای این آزمایش را از روش Lnگیری محاسبه کنید.

آزمایش هفتم ---------- سرعت و شتاب خطی

تئوری آزمایش: حرکت امری نسبی است . برای توصیف موقعیت و وضعیت حرکت یک جسم در فضا، تعریف یک دستگاه مختصات مرجع ضروری است . موقعیت یک نقطه در هر دستگاه مختصات با تعدادی مختصه معین می شود . مثلاً در دستگاه مختصات قائم، سه عدد یا به عبارتی دیگر سه مختصه x, y, z موقعیت یک نقطه را نسبت به مبدأ اختیار شده برای سه محور متعامد دستگاه مختصات مذکور معین می کند. واضح است مختصات یک نقطه که در حال حرکت است با زمان تغییر خواهد کرد .به عبارت دیگر مختصات آن نقطه تابعی از زمان می باشد .دو کمیت برداری مهم یعنی سرعت و شتاب می توانند تا حدودی چگونگی حرکت هر نقطه از فضا را تشریح کنند. نیرو تأثیری است که محیط بر جسم وارد می کند و آن را بر حسب شتابی که جسم در آن محیط می گیرد، اندازه می گیرند. اگر جسمی که بر روی یک خط مستقیم حرکت می کند در لحظهٔ t_0 در موقعیت x_0 (نسبت به مبدأ اختیار شده) باشد و در لحظهء t در موقعیت x قرار گیرد، جابجایی آن $x - x_0$ خواهد بود .حال سرعت متوسط و سرعت لحظه ای جسم به ترتیب به صورت:

$$\bar{V} = \frac{x - x_0}{t - t_0}$$

$$V = \lim_{t \to t_0} \frac{x - x_0}{t - t_0} = \frac{dx}{dt}$$

تعریف می شوند . اگر آهنگ جابجایی جسم در یک بازهٔ زمانی در هر لحظه ثابت باشد در حالت $t = t_0$ داریم:

$$x(t) = x_0 + Vt$$

لذا در این حرکت که سرعت ثابت یا یکنواخت نامیده می شود، مکان (موقعیت) جسم به صورت خطی با زمان تغییر می کند .شتاب نیز به صورت آهنگ تغییر سرعت با زمان تعریف می شود .اگر سرعت جسم در لحظهٔ t_0 برابر V_0 و در لحظه t برابر V باشد، شتاب متوسط و شتاب لحظه ی جسم به ترتیب به صورت:

$$\bar{a} = \frac{V - V_0}{t - t_0}$$

$$a = \lim_{t \to t_0} \frac{V - V_0}{t - t_0} = \frac{dV}{dt}$$

تعریف می شوند. اگر شتاب جسم ثابت باشد در حالت $t_0 = 0$ برای سرعت لحظه ای جسم می‌توان نوشت:

$$V(t) = V_0 + at$$

یعنی سرعت لحظه ای در حرکت شتاب ثابت تابعی خطی از زمان است. از این رابطه با توجه به تعریف سرعت می توان تابعیت مکان جسم را با زمان به صورت زیر بدست آورد:

$$x(t) = x_0 + V_0 t + \frac{1}{2}at^2$$

طبق قانون اول نیوتن، اگر به جسمی نیرو وارد نشود و یا برآیند نیروهای وارد بر آن صفر باشد، در صورتی که جسم در یک دستگاه مختصات (لخت) در حال سکون باشد، در همان دستگاه مختصات مرجع همواره به حالت سکون باقی خواهد ماند و اگر در حال حرکت باشد به حرکت خود بر روی خطی راست با سرعت ثابت ادامه خواهد داد. قانون دوم نیوتن نیز در مورد حرکت بیان می کند که اگر برآیند نیروهای وارد بر جسمی صفر نباشد چه اتفاقی برای آن می افتد .طبق این قانون اگر یک نیروی خالص غیر صفر بر جسمی وارد شود، به جسم شتابی در جهت نیرو می دهد که اندازهٔ آن با اندازهٔ نیرو متناسب و با جرم جسم نسبت عکس دارد . شتاب می تواند ثابت و یا متغیر باشد . تابعیت شتاب یک جسم به مختصه ها، همان تابعیت نیرو به آن مختصه هاست. نیرو حداکثر می تواند تابعی از مختصه های مکان، زمان و سرعت باشد. برای حرکت با سرعت ثابت داریم:

$$\vec{F} = m\vec{a} \rightarrow \vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

$$\vec{p} = m\vec{V}, \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{V})}{dt} = \frac{dm}{dt}\vec{V} + m\frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{dm}{dt}\vec{V} + m\vec{a}$$

$$\text{if} \quad \vec{F} = 0, \frac{dm}{dt} = 0 \rightarrow m\vec{a} = 0, m\frac{d\vec{V}}{dt} = 0 \rightarrow \vec{V} = \text{cte}$$

هدف آزمایش: اندازه گیری سرعت و شتاب در حرکت بر روی خط مستقیم

وسایل موردنیاز: ریل هوا با - شیر اتصال به پمپ هوا -آغازگر حرکت - زمان سنج الکترونیکی- سنسور نوری - خرطومی اتصال به پمپ هوا - سره - خط کش با دقت نیم میلی متر - تیغه پایه دار- تعدادی وزنه سورخدار- قرقره پایه دار- نگهدارنده وزنه - وزنه

روش انجام آزمایش:

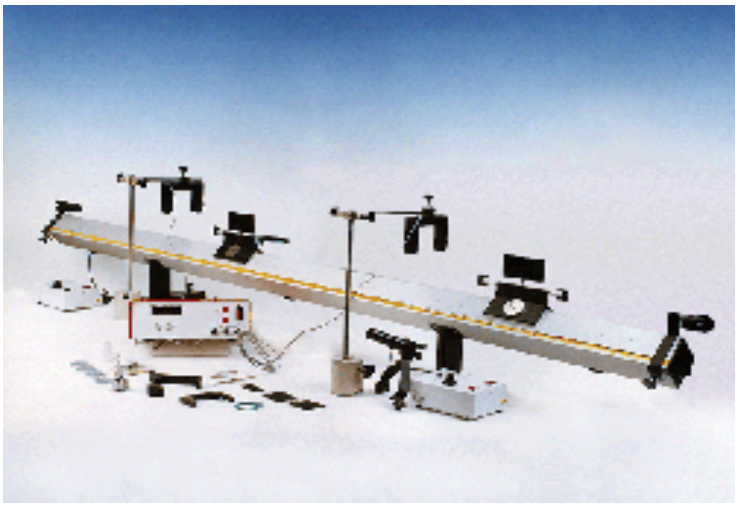
الف) حرکت با سرعت ثابت: دستگاه ریل هوا که از آن برای انجام آزمایش سرعت و شتاب خطی استفاده می شود دارای سوراخ های بسیار ریزی است، این دستگاه به یک دمنده(پمپ هوا) متصل است و وقتی دمنده روشن می شود هوا از طریق شیلنگ رابط به درون دستگاه ریل هوا راه یافته و پس از مدت کوتاهی، هوای خارج شده از سوراخ های ریل موجب می شود که بین جسم سوار بر ریل و ریل فاصله ای ایجاد شده و اصطکاک بسیار ناچیز و تقریبا صفر شود. برای انجام آزمایش سنسورها را به زمان سنج متصل کرده و سنسور اولی، سمتی که حرکت شروع می شود، را به start و دومی را بهstop بزنید .دستگاه زمان سنج را روشن کرده و آن را reset کنید .یکی از تیغه های پایه دار را بر روی یکی از سره ها سوار کنید، سره را بر روی ریل قراردهید .پمپ هوا را روشن کنید .ریل را با پیچاندن پیچ پایه ها، کاملاً تراز کنید . اگر ریل تراز باشد سره موجود بر روی ریل با وجود جریان هوا در ریل در هر مکانی ساکن می ماند .با پیچاندن پیچ های پایه های ریل هوا ، آن را طوری تنظیم کنید که سره به حالت ساکن روی آن در هر نقطه دلخواه با وجود روشن بودن پمپ هوا، قرار گیرد. پس از تراز کردن ریل، یکی از سره ها را بر روی ریل قرار دهید. حسگرها را جابجا کنید تا در فاصله های دلخواه از یکدیگر قرار گیرند. با استفاده از دستگاه ضربه زن سره را به حرکت درآورید. با عبور سد نوری از مقابل حسگر شروع تایمر دیجیتال به کار می افتد و زمان ثبت می شود و هنگامی که سد نوری از مقابل حسگر خاتمه عبور کند تایمر دیجیتال متوقف می شود. به این ترتیب زمانی را که سره فاصلهء بین دو حسگر را طی می‌کند ثبت می شود. آزمایش را برای فواصل ۲-۵- ۱۰- ۲۰-۳۰ -۴۰ تکرار و نتایج را در جدول زیر ثبت کنید.

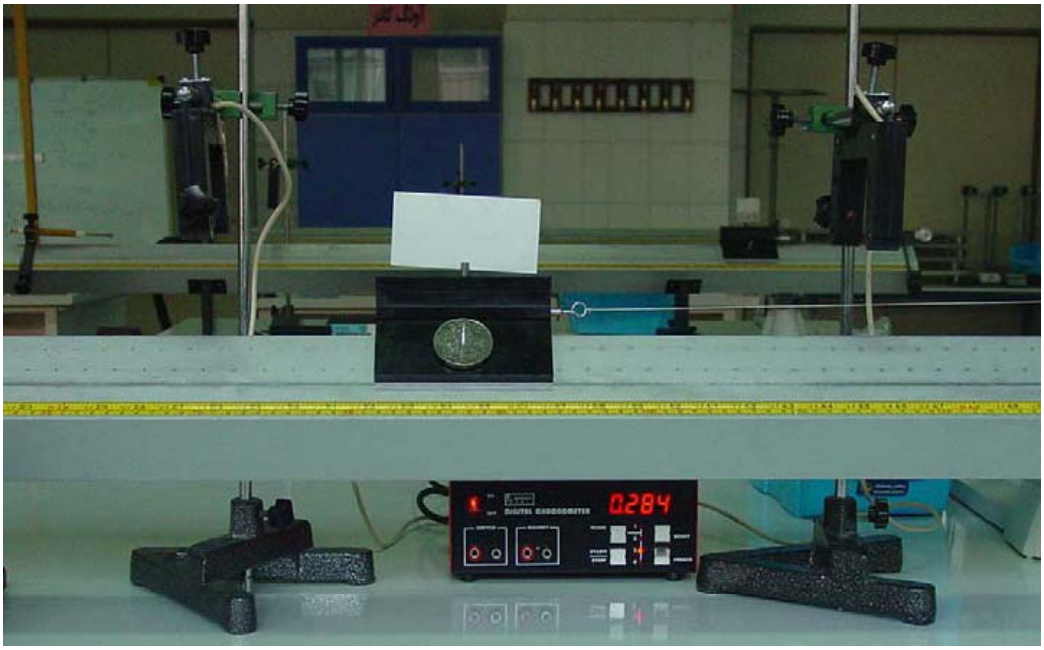
Δx (cm)	۲	۵	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰
Δt_1						
Δt_2						
Δt_3						
$\overline{\Delta t}$						
$\overline{V}$						

ب) حرکت با شتاب ثابت: سره را روی ریل قرار دهید بطوریکه سد نوری از میان دو شاخه هر دو حسگر عبور کند. یک سر نخ را به سره و سر دیگر آن را به نگهدارنده وزنه وصل کنید. دو حسگر را در فاصلهء مشخص Δx از یکدیگر قرار دهید. وزنهء شیار دار مناسب بر کفه و سره سوار کنید. سره را در نزدیکترین فاصله از حسگر

نوری شروع نگه دارید. به نحوی که بلافاصله پس از رها شدن سره، سد نوری در جلوی حسگر قرار گیرد و زمان ثبت شود.. با استفاده از فرمول $x(t) = x_0 + V_0 t + \frac{1}{2}at^2$ مقدار a و V_0 را بدست آورید. با تکرار آزمایش برای فواصل مختلف، جدول زیر را کامل کنید. برای افزایش دقت آزمایش زمان را ۳ بار اندازه گیری نموده و میانگین بگیرید.

$\Delta x(cm)$	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰
Δt_1						
Δt_2						
Δt_3						
$\overline{\Delta t}$						
a						
V_0						





نمای مقابل زمان‌سنج، نمای پشت زمان‌سنج

پرسش ها:

۱- نمودارهای زیر را رسم کنید:

سرعت- زمان و مکان- زمان و شتاب- زمان در حرکت های کند و تند شونده