دانشکده علوم – گروه فیزیک

دستور کار

آزمایشگاه فیزیک پایه ۱

دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش : احمد سلیمی

تالیف: کارشناسان گروه فیزیک

تنظیم و ویرایش: احمد سلیمی

بهمن ۱۳۹۸

فهرست مطالب

۱) کلیات

۲) اندازه گیری

۳) سقوط آزاد

۴) حرکت پرتابی

۵) میز نیرو

۶) ماشین آتوود

۷) اصطکاک

۸) حرکت نوسانی فنر

۹) تعادل

۱۰) فنر پیچشی

۱۱)آونگ ساده

دستورکار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش : احمد سلیمی

کلیات

اندازه گیری:

اساس علم تجربی اندازه گیری است. نظریه های علمی و قوانین علوم تجربی، بیان روابط ریاضی بین کمیتهای فیزیکی است. برای اندازه گیری هر کمیت فیزیکی ، پیمانه یا واحدی برای آن تعریف می شود و مقدار هر کمیت با واحدآن مقایسه می گردد.

خطا تقریبا در اندازه گیری بیشتر کمیتهای فیزیکی گریز ناپذیر است. اما با استفاده از روشها و ابزار دقیق تر می توان خطای اندازه گیری را کاهش داد.

تئوری:

وقتی مقدار کمیتی فیزیکی را اندازه گیری می کنیم، همراه با هرنتیجه خطای اندازه گیری را نیز گزارش می کنیم. مثلا برای سرعت صوت در هوا نتیجه اندازه گیری را به صورت زیر می نویسیم:

$$V_s = (۳۴۰ \mp ۷)\frac{m}{s}$$

یا :

$$V_s = ۳۴۰\frac{m}{s} \mp ۲٪$$

دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش : احمد سلیمی

در واقع عبارت بالا عبارت احتمالی است و نشان می دهد با احتمال معینی سرعت صوت بین دو مقدار ۳۳۳ و ۳۴۷ متر بر ثانیه است. در واقع بدون اطلاع از خطاها، نتایج بدست آمده اهمیت زیادی ندارند. مثلا فرض کنید برای مطالعه ی رابطه ی مقاومت الکتریکی یک سیم پیچ با دما ، دو مقدار زیر بدست آمده باشد :

۲۰۰.۰۲۵ Ω در دمای ۱۰°C

۲۰۰.۰۳۴ Ω در دمای ۲۰°C

آیا بدون اطلاع از خطاها تفاوت بین دو مقدار فوق اهمیتی دارد؟

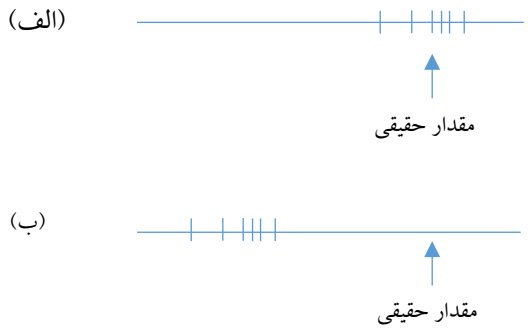
اگر خطا در هر مقدار ۰.۰۰۱ Ω باشد تفاوت مهم است ولی اگر این خطا ۰.۰۱۰ Ω باشد اهمیتی ندارد.

خطاهای سیستماتیک و کاتوره ای

برای روشن شدن مطلب به این دو مثال توجه کنید. در اندازه گیری دوره ی تناوب یک آونگ، تاخیر و تقدم های در راه اندازی و توقف زمان سنج در لحظه ی رفت و برگشت آونگ از نوع خطای کاتوره ای می شود ولی چنانچه زمان سنج بطور کلی به دلایل مختلف (ضعیف بودن باتری یا ...)کند کار کند منشاء خطای سیستماتیک می شود. به عنوان مثالی دیگر از خطای کاتوره ای می توان به خطای دید در خواندن درجه بندی خط کش اشاره کرد که درهر بار خواندن ممکن است مقادیر مختلف در دوطرف مقدار واقعی حاصل شود. اگر خط کش به دلیلی انبساط گرمایی به طور کلی تغییر طول بدهد باعث خطای سیستماتیک می گردد.

خطای سیستماتیک خطایی است که مقدار آن در تمامی موارد یک دسته اندازه گیری ثابت است ؛ از طرف دیگر خطای کاتوره ای خطایی است که مقدار آن در هر بار اندازه گیری تغییر می کند و احتمال مثبت و منفی بودن آن با هم مساوی است.

خطاهای کاتوره ای همواره در یک آزمایش وجود دارند؛ در غیاب خطاهای سیستماتیک (شکل الف)، سبب می شوند که نتایج اندازه گیری در دوطرف مقدار حقیقی گسترده شوند. در حضورخطاهای سیستماتیک (شکل ب)، کلیه ی نتایج به مقدار یکسانی تغییر مکان می دهند و حول مقدار جابجا شده گسترده می شوند.



خطاهای کاتوره ای همواره وجود دارند و گریزناپذیرند. منشاء خطاهای سیستماتیک می تواند شخص اندازه گیری کننده ، وسیله یا روش آزمایش باشد. برای بهبود نتایج باید منشاء خطاهای سیستماتیک را پیدا کرد و آنها را از آزمایش حتی الامکان حذف نمود. نکته ای قابل توجه در اینجا وجود دارد؛ هرچه آزمایش پیچیده تر می گردد احتمال حضور منابع خطا در آن بیشتر می شود. بنابراین استفاده از روشها و تکنیک های ساده تر منجر به نتایج بهتری می شود.

دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش : احمد سلیمی

محاسبه ی خطای معیار میانگین:

در حالت ایده آل، فر ض می کنیم سیستم اندازه گیری عاری از خطاهای سیستماتیک است. برای کاهش میزان خطا در اندازه گیری، تعداد n بار اندازه گیری $x_1, x_2, \dots x_n$ روی کمیت x انجام داده ایم. خطا دریک بار اندازه گیری یا اصطلاحاً خطای تک مشاهده عبارت است از:

خطای تک مشاهده: $$e = x - X$$

اگر X مقدار حقیقی کمیت x باشد ، بهترین مقدار برای مقدار حقیقی X ، مقدار میانگین $\bar{x}$ است.

$$\bar{x} = \sum_{1}^{n} x_i$$

حال فرض می کنیم تعداد بسیار زیاد N اندازه گیری روی کمیت x انجام شده باشد و کل تعداد اندازه گیریها را به n دسته تقسیم و میانگین هر دسته را تعیین کنیم.

خطای میانگین: $$E = \bar{x} - X$$

اگر $f(x)$ تابع توزیع (فراوانی) اندازه گیریها باشد، که نشان می دهد در بازه ی $(x, x+dx)$ چه تعداد از اندازه گیری ها نتیجه ای برابر x دارد در آنصورت روابط زیر برقرار خواهند بود:

میانگین در توزیع پیوسته: $\bar{x} = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx$

خطای معیار در یک تک مشاهده: $\sigma^2 = < e^2 > = \int_{-\infty}^{\infty} (x - X)^2 f(x) dx$

خطای معیار در میانگین: $\sigma_m{}^2 = < E^2 > = \int_{-\infty}^{\infty} (\bar{x} - X)^2 f(x) dx$

می توان نشان داد که:

$$\sigma_m{}^2 = \frac{\sigma^2}{n} \Rightarrow \sigma_m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

بنابراین نتیجه اندازه گیری به شکل $X = \bar{x} \mp \sigma_m$ خواهد بود.

برآورد عملی σ و σ_m

اگر واریانس نمونه $s^2 = \frac{1}{n}\sum(x_i - \bar{x})^2$ باشد، با تقریب داریم:

دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش : احمد سلیمی

$$\sigma \approx \left(\frac{n}{n-1}\right)^{1/2} s$$

$$\sigma_m \approx \frac{1}{(n-1)^{1/2}} s$$

برای محاسبه ی s داریم:

$$s^2 = \frac{1}{n}\sum x_i{}^2 - \frac{1}{n^2}(\sum x_i)^2$$

در عمل برای انجام محاسبه ی فوق کافی است از ماشین حسابهای علمی ($Scientific\ Calculator$) استفاده شود که معمولا امکانات فوق را ارائه می دهند، به عنوان نمونه در $Casio\ fx-۳۶۰۰$ کافی است به مد SD یا ۳ mode برویم. مقدار σ به راحتی با فشردن دکمه های $shift$ + $x\sigma_{n-1}$ بدست می آید. در صفحه ی بعد دستور العمل کار با ماشین حساب فوق جهت محاسبه ی خطا و آورده شده است.

10/STATISTICAL CALCULATIONS

*Be sure to press [SHIFT] [AC] in sequence prior to starting a statistical calculation.

10-1 Standard deviation

*Set the function mode to "SD" by pressing [MODE] [3].

Ex.) Find σ_{n-1}, σ_n, $\bar{x}$, n, Σx and Σx^2 based on the data 55, 54, 51, 55, 53, 53, 54, 52.

"SD" [SHIFT] [AC] 55 [DATA] 54 [DATA] 51 [DATA] 55 [DATA] 53 [DATA] [DATA] 54 [DATA] 52 [DATA]		52.
(Sample standard deviation)	[SHIFT] [$x\sigma_{n-1}$]	1.407885953
(Population standard deviation)	[SHIFT] [$x\sigma_n$]	1.316956719
(Arithmetical mean)	[SHIFT] [$\bar{x}$]	53.375
(Number of data)	[Rnd#] [n]	8.
(Sum of value)	[Rnd#] [Σx]	427.
(Sum of square value)	[Rnd#] [Σx^2]	22805.

Calculate the unbiased variance and the deviation between each data item and the average.

(Subsequently)	[SHIFT] [$x\sigma_{n-1}$] [SHIFT] [x^2]	1.982142857 (Unbiased variance)
	[SHIFT] [$\bar{x}$] [−] [−] 55 [=]	1.625 ($55-\bar{x}$)
	54 [=]	0.625 ($54-\bar{x}$)
	51 [=]	−2.375 ($51-\bar{x}$)
	⋮	⋮

Note: The sample standard deviation σ_{n-1} is defined as

$$\sqrt{\frac{\Sigma x^2 - \frac{(\Sigma x)^2}{n}}{n-1}}$$

the population standard deviation σ_n is defined as

$$\sqrt{\frac{\Sigma x^2 - \frac{(\Sigma x)^2}{n}}{n}}$$

and the arithmetical mean $\bar{x}$ is defined as

$$\frac{\Sigma x}{n}$$

*Pressing [$x\sigma_{n-1}$], [$x\sigma_n$], [$\bar{x}$], [n], [Σx] or [Σx^2] key need not be done sequentially.

Ex.) Find n, $\bar{x}$ & σ_{n-1} based on the data: 1.2, −0.9, −1.5, 2.7, −0.6, 0.5, 0.5, 0.5, 0.5, 1.3, 1.3, 1.3, 0.8, 0.8, 0.8, 0.8, 0.8.

"SD"	[SHIFT] [AC] 1 [.] 2 [DATA] [.] 9 [+/−] [DATA]	−0.9
1 (Mistake)	2 [.] 5 [+/−]	−2.5
1 '(To correct)	[C]	0.
	1 [.] 5 [+/−] [DATA]	−1.5
	2 [.] 7 [DATA]	2.7
2 (Mistake)	[DATA]	2.7
3 (Mistake)	1 [.] 6 [+/−] [DATA]	−1.6
3 '(To correct)	[SHIFT] [DEL]	−1.6
	[.] 6 [+/−] [DATA]	−0.6
2 '(To correct)	2 [.] 7 [SHIFT] [DEL]	2.7
	[.] 5 [×]	0.5
	4 [DATA]	0.5
4 (Mistake)	1 [.] 4 [×]	1.4
4 '(To correct)	[AC]	0.
	1 [.] 3 [×] 3 [DATA]	1.3
	[.] 8 [×]	0.8
5 (Mistake)	6 [DATA]	0.8

دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش : احمد سلیمی

خطای کمیتهای وابسته

در این قسمت و قسمتهای بعد برای نمایش خطای معیار میانگین σ_m یا به اختصار خطای معیار از نوتاسیون Δx استفاده می کنیم

اگر A، B و C و ...کمیتهایی مستقل باشند و Z کمیتی باشد که بر حسب آنها تعریف گردد یعنی :

$Z = Z(A, B, C, \dots)$ آنگاه خطای معیار کمیت Z بر حسب خطای کمیتهای مستقل به شکل زیر قابل محاسبه است:

$$(\Delta Z)^2 = \left(\frac{\partial Z}{\partial A}\right)^2 (\Delta A)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial B}\right)^2 (\Delta B)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial C}\right)^2 (\Delta C)^2 + \cdots$$

رسم نمودار و محاسبه ی خطا به روش رگرسیون خطی

در رسم نمودار ها نکات ذیل باید رعایت شود.

- انتخاب عنوان و درج آن
- درج عنوان کمیت هر محور در انتهای آن
- انتخاب مقیاس مناسب برای هر محور و درج
- مشخص کردن نقاط با نقطه یابی

در بسیاری از موارد لازم نیست مقدار داده ی کمیت هر محور حتما از صفر شروع شود بلکه برای وضوح بهتر مناسبتر است شروع هر محور با کمترین مقدار داده ی مربوط به آن باشد. ساده ترین انتخاب مقیاس از تقسیم طول بازه ی داد ها بر تعداد خانه های محور مورد نظر بدست می آید. برای رسم نمودار به صورت دستی باید از کاغذهای مخصوص با عنوان کاغذ میلیمتری مخصوص استفاده نمود.

رگرسیون خطی و روش کمترین مربعات (*Linear regression and Least squares method*)

در بسیاری از پدیده های و آزمایشها ارتباط بین دو کمیت فیزیکی وابسته مانند x ,y را بررسی می کنیم و به دنبال پیدا کردن تابعی به صورت $y = f(x)$ هستیم. درساده ترین حالت این تابع می تواند تابعی خطی به شکل $y = mx + c$ باشد. فرض کنیم از طریق اندازه گیری یک مجموعه از داده ها به صورت (x_i, y_i) حاصل شده باشند. با فرض خطی بودن رابطه x ,y به دنبال خطی هستیم که به بهترین نحو به این داده ها منطبق یا اصطلاحاً فیت گردد. روش استاندارد برای تعیین چنین خطی روش کمترین مربعات است. در این روش کافی است فواصل هر نقطه ی داده ای (x_i, y_i) را تا خط مفروض به صورت

$$d_i = y_i - Y_i$$

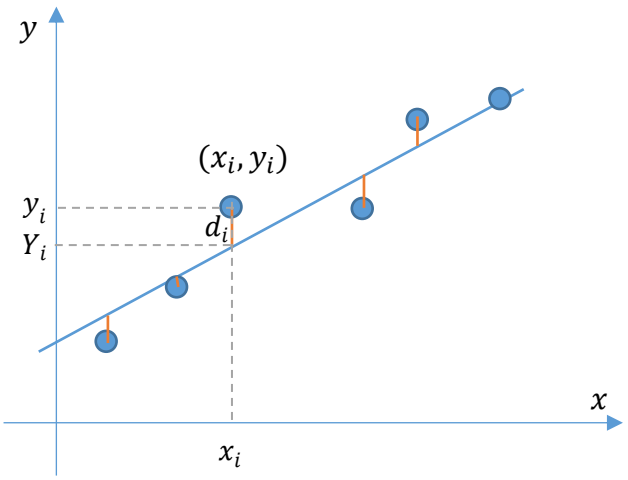
$$d_i = y_i - mx_i - c$$

بدست آوریم و سپس مجذور فواصل حاصل را با هم جمع کنیم و در تابعی مانند $S(m, c)$ قرار دهیم.

$$S(m, c) = \sum_{i=1}^{N} d_i^2$$

دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش : احمد سلیمی

در این صورت بهترین خط، خطی است که تابع S را کمینه کند.



بنابراین برای رگرسیون خطی داریم:

$$\frac{\partial S}{\partial m} = ۰$$
$$\frac{\partial S}{\partial c} = ۰$$

از حل معادلات فوق مقادیر c, m بهینه به دست می آیند:

برای حالتی که خط از مبدا می گذرد یعنی $c = ۰$:

$$d_i = y_i - mx_i$$
$$m = \frac{\sum x_i y_i}{\sum {x_i}^۲}$$

خطای معیار شیب برابر است با:

$$(\Delta m)^۲ \approx \frac{۱}{\sum {x_i}^۲} \frac{\sum {d_i}^۲}{n-۱}$$

دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش : احمد سلیمی

برای حالت کلی $c \neq ۰$ داریم:

$$y = mx + c$$
$$m = \frac{۱}{D} \sum (x_i - \bar{x}) y_i$$
$$(\Delta m)^۲ \approx \frac{۱}{D} \frac{\sum {d_i}^۲}{n-۲}$$
$$c = \bar{y} - m\bar{x}$$
$$(\Delta c)^۲ \approx \left(\frac{۱}{n} + \frac{\bar{x}^۲}{D} \right) \frac{\sum {d_i}^۲}{n-۲}$$
$$D = \sum (x_i - \bar{x})^۲$$
$$d = y_i - mx_i - c$$

طرزکار ماشین حساب برای محاسبات رگرسیون خطی

⑤'(To correct)	·8×6 SHIFT DEL	0.8
	·8×5 DATA	0.8
	Kout 11	17.
	SHIFT x̄	0.635294117
	SHIFT xσn	0.95390066

10-2 Regression analysis

*Set the function mode to "LR" by pressing MODE 2.

■ Linear regression

Formula: $y = A + Bx$

$$A = \frac{\Sigma y - B \cdot \Sigma x}{n} \qquad B = \frac{n \cdot \Sigma xy - \Sigma x \cdot \Sigma y}{n \cdot \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2}$$

$$r = \frac{n \cdot \Sigma xy - \Sigma x \cdot \Sigma y}{\sqrt{\{n \cdot \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2\}\{n \cdot \Sigma y^2 - (\Sigma y)^2\}}}$$

Ex.) Results from measuring the length and temperature of a steel bar.

temp.	length
10°C	1003mm
15	1005
20	1010
25	1008
30	1014

Find the constant term (A), regression coefficient (B), correlation coefficient (r) and estimated values ($\hat{x}$, $\hat{y}$) using the above figures as a basis.

"LR"	SHIFT KAC 10 Σx,y	10.
	1003 DATA	1003.
	15 Σx,y 1005 DATA	1005.
	20 Σx,y 1010 DATA	1010.
	25 Σx,y 1008 DATA	1008.
	30 Σx,y 1014 DATA	1014.
	SHIFT A	998.
	SHIFT B	0.5 (B)
	SHIFT r	0.919018277 (r)

(When the temp. is 18°C)	18 SHIFT ŷ	1007. (mm)
(When the length is 1000mm)	1000 SHIFT x̂	4. (°C)

Note: Σx^2, Σx, n, Σy^2, Σy, Σxy, $\bar{x}$, $x\sigma n$, $x\sigma n-1$, $\bar{y}$, $y\sigma n$, $y\sigma n-1$, A, B and r are respectively obtained by pressing a numeral key (1 to 9) after the Kout or SHIFT key.

*Correction of data entry

Ex.)

x_i	2	3	2	3	2	4
y_i	3	4	4	5	5	5

"LR"	SHIFT KAC 2 Σx,y 3 DATA	3.
① (Mistake)	4	4.
①'(To correct)	C	0.
	3 Σx,y	3.
	4 DATA	4.
② (Mistake)	3 Σx,y	3.
②'(To correct)	2 Σx,y	2.
	4 DATA	4.
③ (Mistake)	1 Σx,y	1.
	5 DATA	5.
③'(To correct)	SHIFT DEL	5.
	3 Σx,y 5 DATA	5.
	2 Σx,y	2.
④ (Mistake)	4 DATA	4.
	4 Σx,y	4.
⑤ (Mistake)	6 DATA	6.
⑤'(To correct)	SHIFT DEL	6.
	4 Σx,y 5 DATA	5.
④'(To correct)	2 Σx,y 4 SHIFT DEL	4.
	2 Σx,y 5 DATA	5.

These ways of correction can also be applied to logarithmic, exponential or power regression.

اندازه گیری

هدف از آزمایش:

آشنایی با چند وسیله و روش اندازه گیری طول، حجم و جرم ، شامل ریزسنج، کولیس، گوی سنج و ...

وسایل آزمایش:

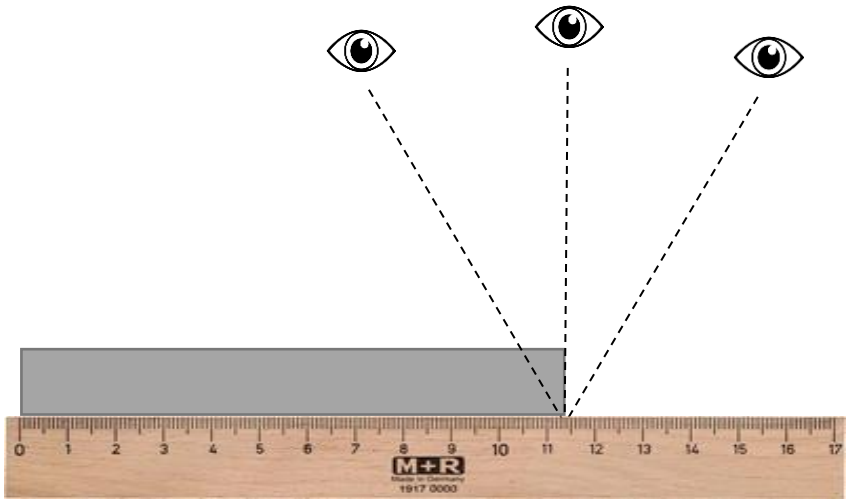
خط کش میلی متری، ریزسنج، کولیس، گوی سنج، استوانه ی مدرج، ترازوی آزمایشگاهی، برگه ی کاغذ A٤ ، استوانه ی فلزی، سطح کاو یا کوژ

تئوری آزمایش:

برای اندازه گیری های طول در آزمایشگاه از چند وسیله ی مختلف استفاده می شود که در ذیل به شرح آنها می پردازیم.

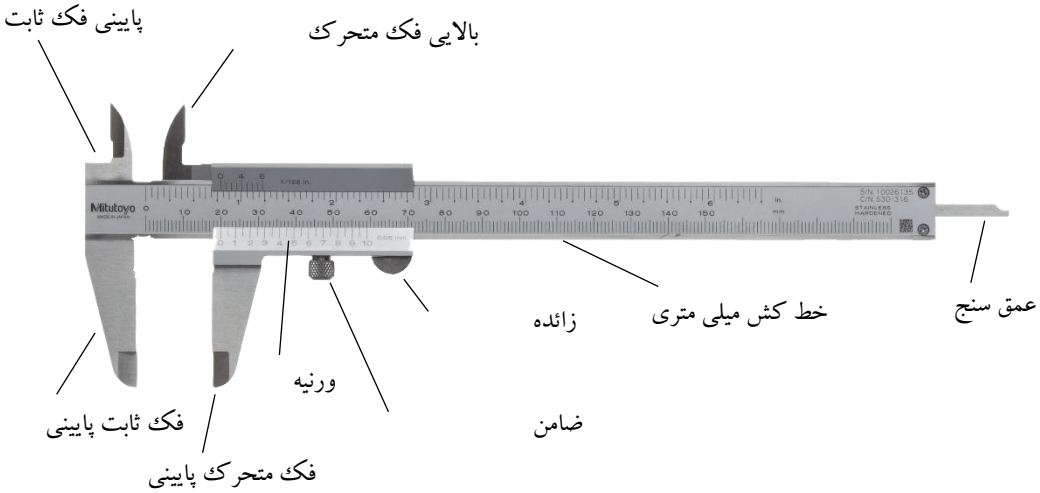
خط کش میلی متری:

برای اندازه گیری طولهایی به بزرگی تا حدود ۱ متر با دقت ۱ میلیمتر از این وسیله استفاده می شود. در استفاده از خط کش های چوبی و پلاستیکی باید به انبساط گرمایی آنها توجه کرد و بهتر است از یک نمونه ی فولادی به عنوان مرجع استفاده شود. همچنین در زمان اندازه گیری طول ها بهتر است با توجه به امکان سایید گی از انتهای خط کش به عنوان صفر استفاده نشود و بجای آن از نقطه ی دیگری استفاده شود یا از خط کشی استفاده شود که صفر آن روی لبه نباشد. در هنگام خواندن اعداد، باید توجه نمود که زاویه ی های دید مختلف به نتایج متفاوتی منجر می شود و بهترین نتیجه زمانی حاصل می شود که خواندن در راستای عمود بر نقطه ی مورد نظر صورت گیرد.



کولیس(*Vernier Caliper*):

برای اندازه گیری قطرهای خارجی، داخلی و عمق هایی به بزرگی تا حدود ۲۵ سانتی متر با دقت بیشتر از یک میلی متر از کولیس استفاده می شود. کولیس از یک خط کش ثابت میلی متری و یک خط کش متحرک بنام ورنیه ساخته شده است که روی خط کش ثابت حرکت می کند.



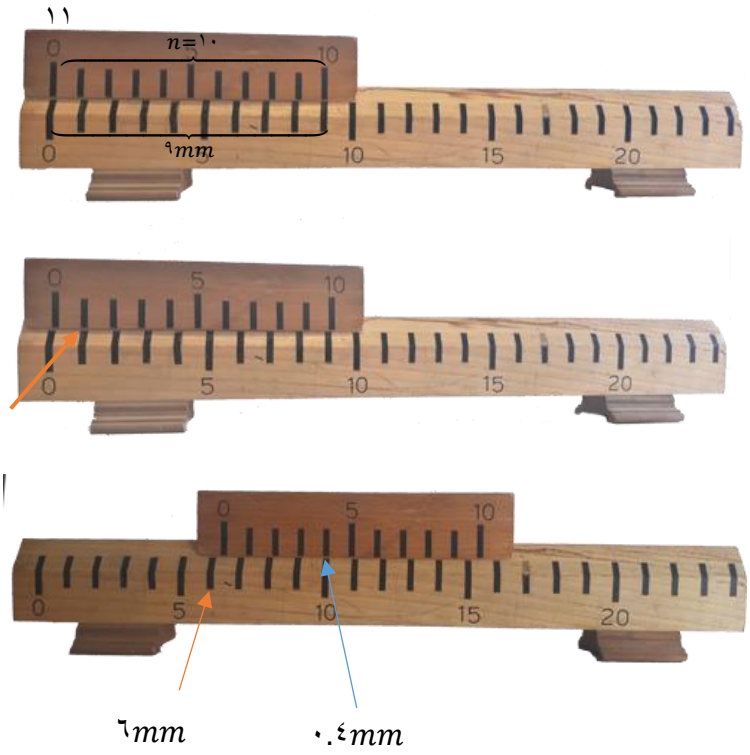
دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش : احمد سلیمی

طرزکار :

برای اندازه گیری ضخامت خارجی اجسام آنها را بین دو فک پایینی قرار می دهیم، سپس با استفاده از انگشت شست زائده ی روی ورنیه را به سمت چپ می فشاریم طوری که لبه های فک های ثابت و متحرک کاملاً با جسم مماس شوند، آنگاه پیچ ضامن را محکم می کنیم تا فک متحرک قفل شود وآماده برای خواندن گردد. برای قطرهای داخلی باید دو لبه ی فک های بالایی به جداره ی داخلی جسم مماس گردند و برای اندازه گیری عمق حفره ها باید لبه ی انتهای خط کش میلی متری به دهانه ی حفره و نوک عمق سنج به کف حفره مماس شود.

طرز خواندن :

وقتی فک متحرک کولیس کاملاً روی فک ثابت قرار می گیرد، صفر درجه بندی ورنیه بر صفر درجه بندی خط کش منطبق می گردد. حال چنانچه دهانه ی کولیس به مقدار معینی باز شود، برای خواندن طول مورد نظر در ابتدا مکان صفر ورنیه را روی خط کش میلی متری مشخص نماییم و مقدار آنرا بر حسب میلی متر می خوانیم. تا اینجا فقط از کولیس به عنوان خط کش میلی متری استفاده کرده ایم. برای خواندن طول مورد نظر با دقت بیشینه، به این نکته توجه می کنیم که اولاً تعداد درجه بندی ها(خانه های روی ورنیه) ی ورنیه چند تا است و ثانیاً این تعداد درجه بندی معادل چند میلی متر است. کافی است مجدداً صفر ورنیه را بر صفر خط کش میلی متری منطبق کنیم ومکان آخرین درجه ی ورنیه را روی خط کش میلی متری مشاهده کنیم. به عنوان مثال ممکن است ورنیه ۱۰ قسمت درجه بندی داشته باشد که معادل ۹ میلی متر باشد، در این صورت هرقسمت از درجه بندی ورنیه معادل $\frac{۹}{۱۰}$ میلی متر خواهد بود، به عبارت دیگر هر درجه ی ورنیه به اندازه $\frac{۱}{۱۰}mm$ از درجه بندی میلیمتری کوچکتر است. به این ترتیب اگر ورنیه را آنقدر جلو ببریم که اولین درجه ی آن (یک ورنیه) بر اولین درجه ی خط کش میلی متری منطبق شود،



دراین صورت ورنیه به اندازه ی $\frac{۱}{۱۰}mm$ جلو رفته است.

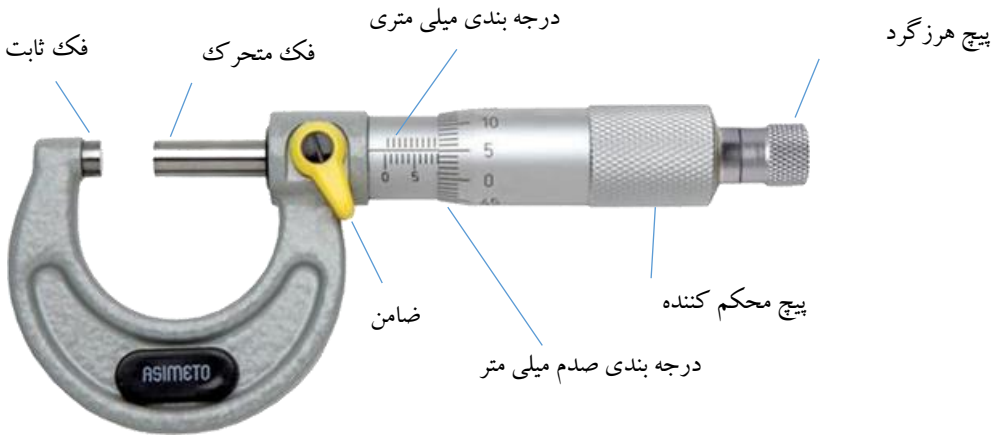
به همین ترتیب اگر m امین درجه ی ورنیه بر یکی از درجات خط کش منطبق شود میزان باز شدن ورنیه برابر $\frac{m}{۱۰}$ میلی متر خواهد بود. در شکل مقابل (شکل سوم) صفر ورنیه بین ۶ و ۷ قرار گرفته و ۴ امین درجه آن با یکی از درجات خط کش منطبق شده است و بنابراین معادل عدد ۶.۴ میلی متر است.

بطور کلی اگر n-۱ قسمت از خط کش میلی متری بوسیله ی ورنیه به n قسمت تقسیم شود، دقت آن ورنیه $\frac{۱}{n}mm$ خواهد بود. دقت کولیس های متداول معمولاً ۰.۱، ۰.۰۵ و ۰.۰۲ میلی متر است.

دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش : احمد سلیمی

ریزسنج (micrometer) :

برای اندازه گیری ضخامت های تا حدود ۲.۵ سانتی متر با دقت معمولاً ۰.۰۱ میلی متر بکار می رود. از یک فک ثابت کمانی شکل و یک فک متحرک که لبه ی آن با پیچاندن مهره ای روی یک ساقه ی مدرج حرکت می کند.



اندازه گیری با ریزسنج:

جسم در بین دو فک قرار داده قرار می دهیم و پیچ محکم کننده را آنقدر می پیچانیم تا جسم به لبه ی دو فک مماس گردد، حال برای جلوگیری از فشرده شدن جسم که ممکن است باعث خطا در اندازه گیری شود، پیچ هرزگرد را دو تا سه دور می پیچانیم و سپس طول مورد نظر را می خوانیم.

طریقه ی خواندن:

روی ساقه ی ریزسنج دو درجه بندی تعبیه شده است که شامل درجه بندی میلی متری در امتداد محور ساقه که البته بین هر دو درجه ی متوالی یک شاخص نیم در پایین برای اندازه گیری با دقت نیم میلی متر قرار گرفته است و درجه بندی دیگر روی پیچ متحرک قرار دارد که با توجه به طول گام پیچ که معادل نیم میلی متر است و به پنجاه قسمت برابر تقسیم شده معادل یک صدم میلی متر است. برای خواندن ضخامت مورد نظر ابتدا مکان لبه ی پیچ را روی خط کش میلی متری با دقت نیم میلی متر پیدا می کنیم و سپس دقت می کنیم کدام شاخص از درجه بندی پیچ مقابل محور میلی متری واقع شده است تا آن را بر حسب صدم میلی متر به مقدار قبلی بیفزاییم.

گوی سنج (*Spherometer*):

گوی سنج برای اندازه گیری شعاع انحنای سطوح استفاده می گردد.

از سه پایه ی جانبی موازی با نوک های ثابت که در رئوس یک مثلث متساوی الاضلاع در صفحه ای افقی قرار گرفته اند و یک پایه مرکزی متحرک موازی با پایه های ثابت که نوک آن در مرکز مثلث فوق قرار دارد و با یک پیچ میکرومتری بالا و پایین می رود، تشکیل شده است.

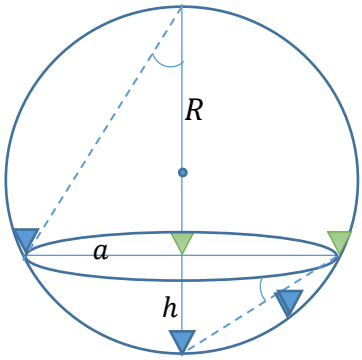
دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش محمد سلیمی

قسمتهای مختلف گوی سنج

اندازه گیری با گوی سنج:

برای اندازه گیری شعاع انحنای سطح، ابتدا گوی سنج را روی سطح تختی (مثلا روی میز) قرار می دهیم و پیچ میکرومتری و سپس هرزگرد را آنقدر می چرخانیم تا نوک پایه مرکزی بر سطح مماس گردد. سپس موقعیت پایه ی مرکزی را از روی درجه بندی میکرومتری می خوانیم (h_1). حال گوی سنج را بر سطح منحنی مورد نظر قرار می دهیم و مجدداً پایه ی مرکزی را بر سطح مماس می کنیم و موقعیت آنرا می خوانیم (h_2). بنابراین جابجائی آن برابر $h = h_2 - h_1$ خواهد بود. اگر فاصله ی پایه ی مرکزی تا پایه های جانبی برابر a باشد شعاع انحنای سطح از رابطه ی زیر بدست می آید:

$$R = \frac{h^2 + a^2}{2h}$$



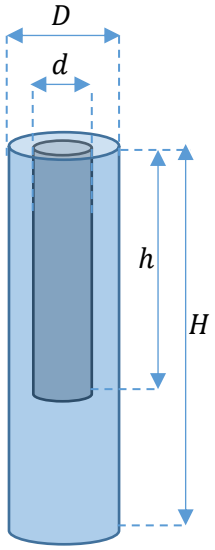
روش آزمایش:

- با استفاده از ریز سنج ضخامت ۱۰ برگه دفتر یادداشت آزمایشگاه خودتان را اندازه بگیرید. و ضخامت یک برگه را محاسبه کنید و به همراه خطای آن گزارش کنید.

دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش : احمد سلیمی

$$d = \cdots \mp \cdots$$

- آزمایش فوق را با استفاده از کولیس تکرار کنید.
- با اندازه گیری ابعاد خارجی و داخلی استوانه ی تو خالی حجم آنرا بدست آورید و نتیجه را به همراه خطای آن گزارش کنید.



$$V = \frac{\pi}{4}(D^2 H - d^2 h)$$

$$V = \cdots \mp \cdots$$

- به کمک استوانه ی مدرج حجم استوانه را مجدداً اندازه گیری کنید. برای این کار چند دور سیم مسی یا نخ مناسب به دور استوانه ی فلزی بپیچانید و آنرا کاملاً محکم کنید. مقداری آب داخل استوانه ی مدرج بریزید و سطح اولیه ی آنرا بخوانید(V_1). استوانه ی فلزی را به آرامی طوری که دهانه ی حفره بالا باشد داخل آب وارد کنید و سطح جدید آب را بخوانید(V_2):

$$V = V_2 - V_1$$

- چگالی استوانه ی فلزی را اندازه بگیرید. برای این کار در ابتدا جرم آنرا را با ترازوی دو کفه ای اندازه بگیرید. نتیجه را به همراه خطای آن گزارش کنید.

$$\rho = \cdots \mp \cdots$$

- شعاع انحنای سطح کاو را اندازه گیری کنید. نتیجه را به همراه خطای آن گزارش کنید.

$$R = \cdots \mp \cdots$$

دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش : احمد سلیمی

سقوط آزاد

هدف از آزمایش:

بررسی سقوط آزاد اجسام و اندازه گیری شتاب جاذبه ی زمین (شدت میدان گرانشی)

وسایل آزمایش:

دستگاه سقوط آزاد به همراه ضمائم آن.

تئوری آزمایش:

هرچند عبارت سقوط آزاد در اصطلاح عموم به معنای رها شدن جسم از حال سکون و سقوط در میدان گرانش زمین اطلاق می شود، اما در فیزیک نیوتنی به هرگونه حرکت جسمی که صرفاً تحت میدان جاذبه ی گرانشی قرار داشته باشد سقوط آزاد گفته می شود، این در حالی است که در نسبیت عام اینشتین، میدان جاذبه، جای خود را به انحنای فضا-زمان می دهد و جسمی که سقوط آزاد می کند تحت اثر هیچ نیرویی نیست.

مطابق قانون جاذبه ی عمومی اگر بتوانیم از ابعاد اجسام صرفنظر کنیم هر دو جسم به یکدیگر نیروی جاذبه ای وارد می کنند که با جرم اجسام رابطه ی مستقیم و با جذور فاصله ی آن رابطه ی معکوس دارد:

دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش : احمد سلیمی

$$F_G = G\frac{Mm}{R^2}$$

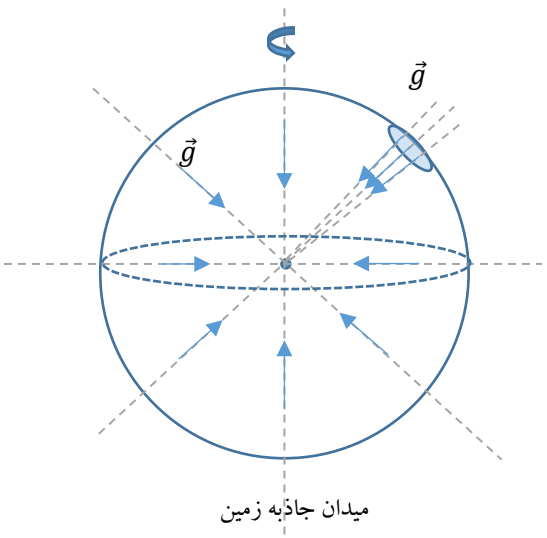
شدت میدان جاذبه ی گرانشی یک جرم به صورت نیروی وارد بر واحد جرم تعریف می شود و باتوجه به تعریف شتاب حرکت از قانون دوم با آن برابر است.

$$g(r) = \frac{F_G}{m}$$

برای یک جرم کروی مانند زمین و در روی سطح آن اندازه ی

شدت میدان جاذبه از رابطه زیر حاصل می شود:

$$g = G\frac{M_e}{R_e^2}$$



میدان جاذبه زمین

با وجود اینکه میدان جاذبه به صورت کلی میدانی شعاعی و غیریکنواخت است اما در یک مکان مشخص روی سطح کره ی زمین خطوط میدان تقریباً موازی اند و در نتیجه میدان جاذبه یکنواخت و شتاب گرانشی تقریباً ثابت است. به دلیل عدم کرویت کامل زمین و همچنین حرکت دورانی وضعی (نیروی کوریولیس)، شتاب جاذبه در نقاط مختلف تابع عرض جغرافیایی ϕ، ارتفاع از سطح زمین h و ... است. روابط تجربی زیر برای مقدار دقیق شتاب جاذبه در عرضهای جغرافیایی و ارتفاع های مختلف بدست آمده است.

$$g\{\phi,h\} = g\{\phi\} - 3.086 \cdot 10^{-6} h$$

$$g\{\phi\} = 9.7803253359\ \mathrm{m \cdot s^{-2}} \left[\frac{1 + 0.001931850400\ \sin^2\phi}{\sqrt{1 - 0.006694384442\ \sin^2\phi}} \right]$$

با توجه به ثابت بودن شتاب جاذبه در یک نقطه، حرکت جسمی که از حال سکون در میدان جاذبه سقوط آزاد کند از معادلات حرکت با شتاب ثابت پیروی می کند:

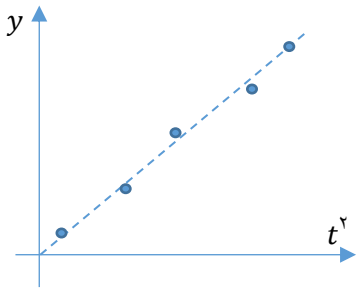
$$y = \frac{۱}{۲} g t^{۲}$$

دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش : احمد سلیمی

حال اگر زمان های سقوط، به ازای ارتفاع های سقوط مختلف اندازه گیری شود،

می توان با رسم نمودار $y - t^{۲}$ و محاسبه ی شیب نمودار، شتاب

جاذبه را اندازه گیری کرد.



روش آزمایش:

۱) تنظیم اولیه دستگاه:

- از اتصال درست کابلهای یونیت دستگاه سقوط آزاد مطمئن شوید، سپس دستگاه را به برق وصل کنید. دکمه پاور پشت یونیت را در حالت روشن قرار دهید. چراغ LED قرمز رنگ کنار دکمه ی استارت باید در وضعیت روشن باشد.

دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد - تنظیم و ویرایش: احمد سلیمی

- یک سر شاغول که دارای پیچ فلزی است، را به انتهای پیچ تنظیم زیر الکترو مگنت نزدیک می کنیم تا به آن بچسبد و شاغول از آن آویزان شود. در این حالت چون نخ شاغول مقابل سنسور شروع قرار می گیرد نشانگر آن روشن می شود. حال پایه ی متحرک را آنقدرجابجا می کنیم تا مهره ی شاغول هم سطح سنسور آن قرار گیرد. در این حالت پیچ پایه های دستگاه را طوری تنظیم می کنیم تا مهره ی شاغول دقیقاً مقابل سنسور توقف قرار گیرد طوری که LED آن روشن شود و در این حالت باقی بماند. شاغول را ازمگنت دستگاه جدا کنید و از این لحظه به بعد از جابجا کردن دستگاه روی میز خودداری کنید.
- گوی فلزی را از داخل کیسه ی چرمی زیر سنسور توقف برداشته و به پیچ زیر مگنت بچسبانید. مکان گوی را ابتدا با جابجا کردن پایه ی قابل تنظیم سنسور شروع و سپس با پیچ تنظیم زیر مگنت طوری تنظیم کنید که سطح پایینی گلوله کمترین فاصله را با سنسور شروع حرکت داشته باشد طوری که اگر مقدار خیلی کمی پیچ را باز کنیم، LED بالایی روشن شود. دستگاه در این حالت تنظیم اولیه شده است.

۲) انجام آزمایش:

- ارتفاع سقوط را مطابق مقادیرجدول زیر تنظیم کنید.
- به ازای هر ارتفاع پس از اتصال گلوله به مگنت، دکمه ی استارت را بزنید و پس از سقوط گلوله به داخل کیسه زمان سقوط را بخوانید و یادداشت نمایید.
- نمودار $y - t^2$ را رسم نمایید.
- شیب و خطای شیب را به روش رگرسیون به دست آورید.
- مقدار g و Δg را حساب کنید.

$y(cm)$	$t(sec)$	$t^2(s^2)$
۴۰		
۴۵		
۵۰		
۵۵		
۶۰		
۶۵		
۷۰		
۷۵		
۸۰		

دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش: احمد سلیمی

حرکت پرتابی

هدف از آزمایش: تحقیق رابطه ی برد در حرکت پرتابی

وسایل آزمایش: دستگاه حرکت پرتابی با ضمائم، کاغذ کاربن، خط کش

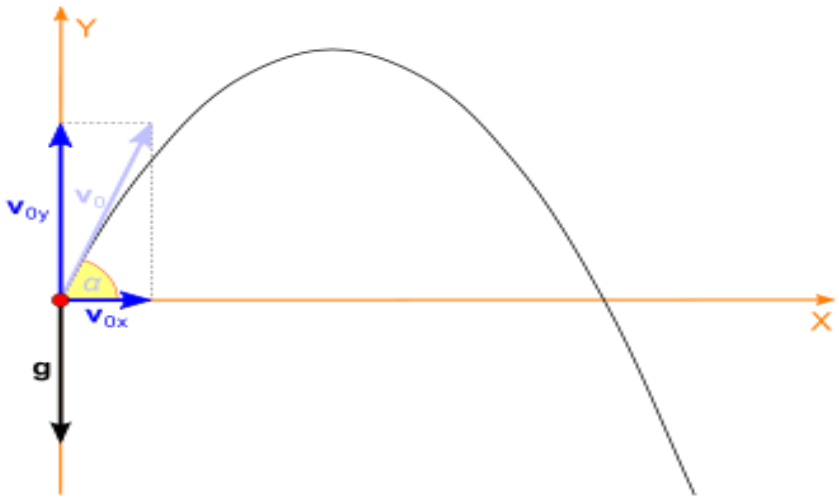
تئوری آزمایش:

حرکت پرتابی حرکت جسمی است که در نزدیکی سطح زمین و تحت تاثیر نیروی جاذبه ، پرتاب شود و مسیری منحنی را بپیماید. گالیله نشان داد که این مسیر یک سهمی است. مطالعه ی حرکت چنین اجسامی در حوزه ی علم بالیستیک است و مسیر حرکت آنها مسیر بالیستیک نامیده می شود. اگرچه در ساده ترین حالت تنها نیروی جاذبه، مسیر حرکت را تعیین می کند اما در عمل نیروهای مقاومت هوا تحت عنوان نیروهای پسار (*drag forces*)، تاثیر به سزایی بر حرکت دارند. این نیروها مماس بر مسیر و در جهت خلاف حرکت و وابسته به سرعت پرتابه اند و معمولاً به صورت $f = -bv^2$ از سرعت تبعیت می کنند. معمولاً حل مسائل حرکت پرتابه به صورت دقیق تر نیاز به روشهای محاسبات عددی دارد و به صورت فرم بسته (*closed form*) قابل حل نیست.

سینماتیک پرتابه:

فرض می کنیم پرتابه ای با سرعت اولیه v_0 تحت زاویه ی θ پرتاب شود. از مقاومت هوا صرفنظر می کنیم:

دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش : احمد سلیمی



$$v_{x0} = v_0 \cos\theta$$

$$v_{y0} = v_0 \sin\theta$$

جسم تنها تحت تاثیر شتاب جاذبه است بنابر این:

$$a_x = 0$$

$$a_y = -g$$

با فرض پرتاب از مبدأ مختصات:

$$x = v_{x0}t = v_{\circ}\cos\theta\,.\,\mathrm{t}$$
$$y = -\frac{۱}{۲}gt^{۲} + v_{y0}t = -\frac{۱}{۲}gt^{۲} + v_{\circ}\sin\theta\,t$$

با ترکیب دو عبارت اخیر مسیر حرکت پرتابه حاصل می شود که بوضوح یک سهمی است.

$$y = -\frac{g}{۲v_{\circ}^{۲}\cos\theta^{۲}}x^{۲} - x.tan\theta$$

با قرار دادن $y = ۰$ درمعادله ی اخیر و حل آن برای x ، برد پرتابه بدست می آید:

دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه ... م و ویرایش : احمد سلیمی

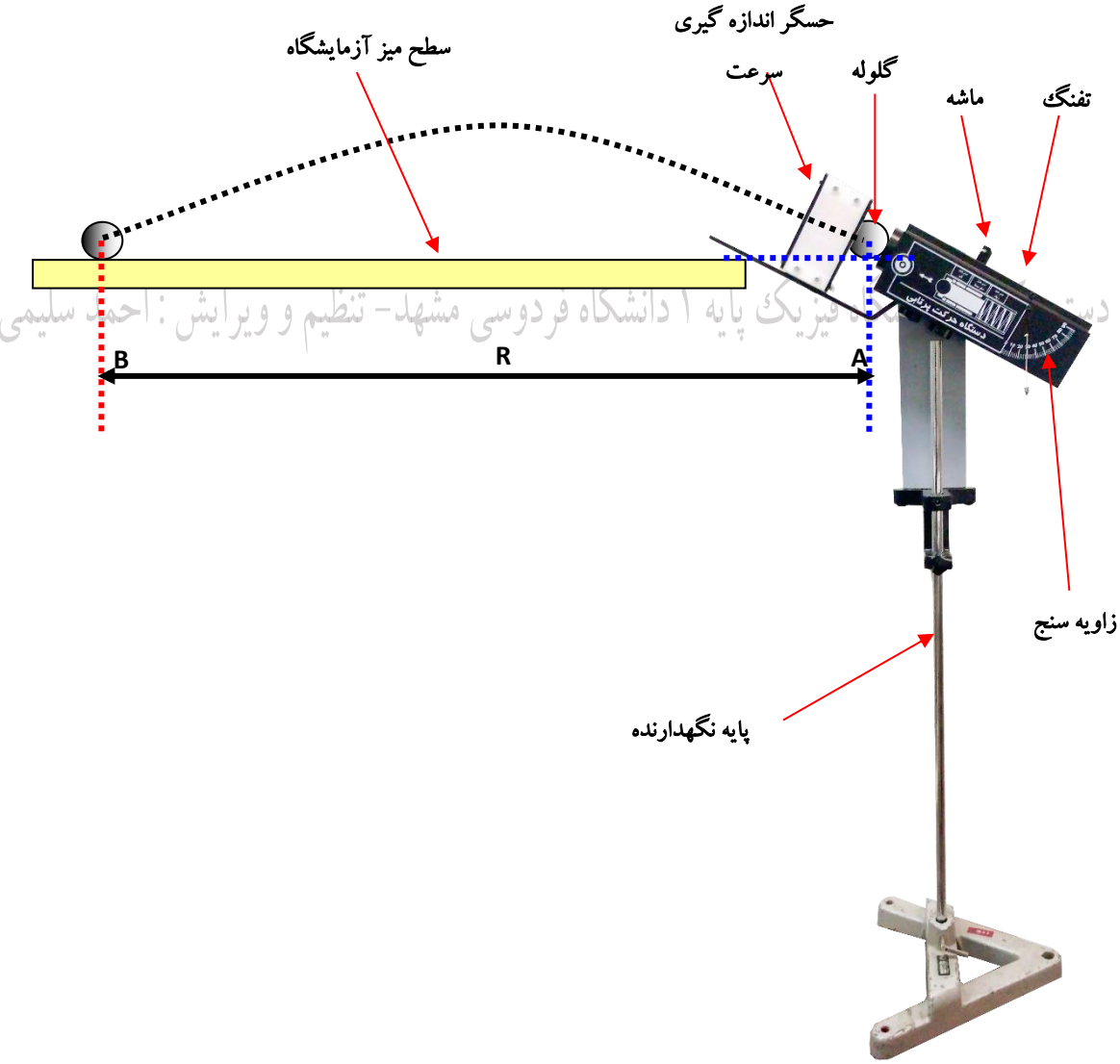
$$R = \frac{v_{\circ}^{۲}\sin ۲\theta}{g}$$

روش آزمایش:

۱) تنظیم اولیه دستگاه:

دستگاه حرکت پرتابه شامل تفنگ، زاویه سنج، ماشه، حسگر اندازه گیری سرعت و پایه نگهدارنده تفنگ است این اجزا در شکل زیر نمایش داده شده است.

همانطور که در شکل دیده می شود ارتفاع تفنگ توسط پایه نگهدارنده باید به گونه ای تنظیم شود که گلوله درست در هنگام خارج شدن از دهانه تفنگ قبل از ورودی حسگر قرار گیرد و سطح زیر گلوله مماس با سطح میز باشد. با این تنظیم $y_0 = 0$ خواهد بود و برد پرتابه یعنی R از موقعیت زیرین گلوله در هنگام پرتاب تا محل برخورد گلوله روی سطح میز خواهد بود. توجه داشته باشید که عدم تنظیم دقیق دستگاه باعث خطا در محل اصابت گلوله می شود.



دست... فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش: احمد سلیمی

۲) نحوه انجام آزمایش:

- توسط پیچ های تنظیم کنار دستگاه، زاویه پرتابه را روی مقدار دلخواه تنظیم کنید.
- سیم حسگر اندازه گیری سرعت را به یونیت سرعت سنج وصل کنید. توجه کنید که سمت ورودی حسگر که با برچسب روی حسگر مشخص شده است را به سمت دهانه تفنگ قرار دهید در غیر اینصورت سرعت سنج با پیغام خطا مواجه می شود.

- توسط میله پلاستیکی، فنر تفنگ را فشرده کنید ودر حالت برد متوسط قرار دهید. توجه کنید که تفنگ موجود در این آزمایشگاه قادر به شلیک گلوله در سه وضعیت با برد کوتاه، متوسط و بلند است. برد پرتابه در حالت کوتاه، حدود ۳۰ سانتیمتر، در حالت متوسط حدود ۱.۳۰ متر و در وضعیت برد بلند حدود ۳ متر است.
- یک متر نواری را روی سطح میز طوری قرا ردهید که مبدا آن بر مکان اولیه گلوله (نقطه A) مطابق شکل منطبق باشد.
- یک ورق کاربن را به صورت بر عکس روی یک صفحه کاغذ قرار دهید و آن را در موقعیت تقریبی اصابت گلوله تثبیت کنید تا به محض اصابت گلوله، اثر برخورد گلوله توسط کاربن روی کاغذ ثبت شود.
- دکمه reset روی دستگاه سرعت سنج را فشار دهید تا مطمئن شوید دستگاه آماده اندازه گیری است.
- با کشیدن ماشه، گلوله پرتاب می شود. سرعت اولیه گلوله را از روی دستگاه سرعت سنج بخوانید و یادداشت نمایید و برد پرتابه را به کمک خط کش و نقطه اثر گلوله روی کاغذ اندازه بگیرید.
- آزمایش را به ازاء زوایای مختلف مطابق جدول زیر تکرار نمایید.

دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش: احمد سلیمی

زاویه	v_0	$R_{\text{تئوری}}$	$R_{\text{عملی}}$	$\Delta R_{\text{تئوری}}$	$\lvert R_{\text{عملی}} - R_{\text{تئوری}} \rvert$
۱۵					
۲۵					
۳۵					
۴۵					
۵۵					

سوالات:

۱) چه عواملی در تعیین محل دقیق اصابت گلوله نقش دارند و تاثیر آنها چگونه است؟

۲) جواب را بر اساس تحلیل خطا ارایه دهید.

۳) بیشترین برد گلوله به ازاء چه زاویه ای است؟ چرا؟

۴) اگر بخواهیم زمان پرتابه را با آزمایش بدست آوریم چه مکانیزمی را برای این اندازه گیری پیشنهاد می کنید؟

۵) تحقیق کنید که در توپ های جنگی یا موشک های بالستیک چه نکاتی وجود دارد که در حرکت پرتابه ایده آل دیده نشده است.

دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش : احمد سلیمی

میز نیرو

هدف آزمایش : بررسی قوانین جمع برداری نیروها

وسایل آزمایش: دستگاه میز نیرو، جعبه وزنه ی آویز، تراز

تئوری آزمایش:

کمیتهای فیزیکی به دو گروه کمیتهای نرده ای و برداری دسته بندی می شوند؛ کمیت های نرده ای کمیتهایی هستند که تنها دارای اندازه هستند و با یک عدد نمایش داده می شوند مانند فاصله، جرم، زمان و ... از طرف دیگر کمیتهای برداری کمیتهایی هستند که علاوه بر اندازه دارای جهت اند و حداقل با دو عدد یا مختصه نمایش داده می شوند؛ نیرو، جابجایی، سرعت، شتاب، تکانه و ... کمیتهایی برداری اند.

ویژگی های بردار:

ساده ترین تعریف بردار آن است که دارای اندازه و جهت است و از روابط جمع برداری پیروی می کند؛ برای جمع برداری دوبردار از دو روش مثلث و متوازی الاضلاع استفاده می شود.

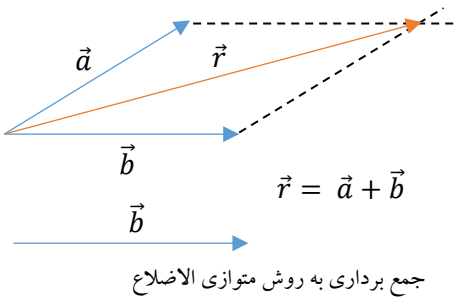
دستورکار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش : احمد سلیمی

روش متوازی الاضلاع:

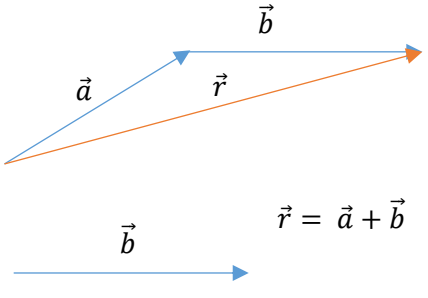
اگر $\vec{a}$ و $\vec{b}$ دو بردار مفروض در فضا باشند برای پیدا کردن بردار برآیند یا حاصل جمع کافی است از ابتدای $\vec{a}$ برداری همسنگ (هم اندازه، موازی و هم جهت) بردار $\vec{b}$ رسم کنیم. سپس با رسم خطوط موازی دو بردار از انتهای آنها متوازی الاضلاعی تشکیل می شود. اگر برآیند $\vec{a}$ و $\vec{b}$ را با $\vec{r}$ نمایش دهیم، در این صورت مطابق شکل سمت چپ زیر $\vec{r}$ قطر متوازی الاضلاع است.

روش مثلث:

در این روش برای پیدا کردن $\vec{r}$ کافی است از انتهای $\vec{a}$ همسنگ $\vec{b}$ رسم نماییم، سپس با رسم پاره خطی ابتدای $\vec{a}$ به انتهای $\vec{b}$ متصل می کنیم در این صورت مطابق شکل سمت راست زیر، $\vec{r}$ برداری است که ابتدایش ابتدای $\vec{a}$ و انتهایش انتهای $\vec{b}$ است.



جمع برداری به روش متوازی الاضلاع



جمع برداری به روش مثلث

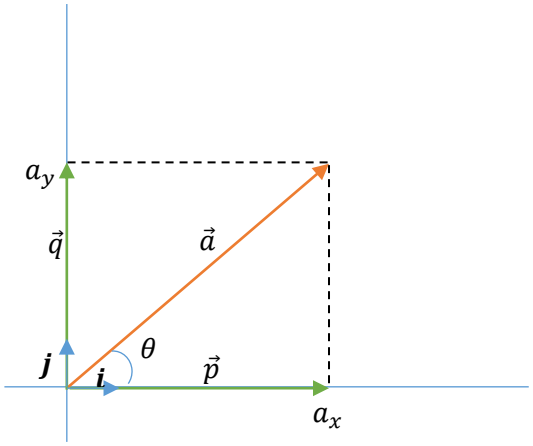
بردارها علاوه بر این از قواعد جبر برداری فضاهای برداری شامل بسته بودن نسبت به جمع، ضرب عدد، شرکت پذیری و... پیروی می کنند.

جمع بردارها – روش مؤلفه ای

هر بردار یا کمیت برداری را می توان در یک دستگاه مختصات بر حسب مؤلفه هایش مشخص نمود. از آنجایی که برآیند هردو بردار، در صفحه ی آنها قرار می گیرد برای سهولت کافی است از یک دستگاه مختصات متعامد دکارتی استفاده کنیم. فرض کنیم ابتدای بردار $\vec{a}$ بر مبدأ دستگاه مختصات منطبق باشد. آنگاه اگر از انتهای $\vec{a}$ به دو محور عمود کنیم دو بردار $\vec{p}$ و $\vec{q}$ به دست می آیند که مطابق روش متوازی الاضلاع بردار، $\vec{a}$ برآیند آنهاست یعنی:

$$\vec{a} = \vec{p} + \vec{q}$$

این دو بردار را بردارهای مؤلفه ی بردار $\vec{a}$ می نامند. از طرفی اگر بردارهای یکه ی $\boldsymbol{i}$ و $\boldsymbol{j}$ را در راستای محورهای x و y در نظر بگیریم. خواهیم داشت:



مؤلفه های یک بردار

$$\vec{p} = a_x\boldsymbol{i}$$
$$\vec{q} = a_y\boldsymbol{j}$$

که در آن a_x و a_y مکانهای انتهای دو بردار مؤلفه روی محورهایند. بنابر این:

$$\vec{a} = a_x\boldsymbol{i} + a_y\boldsymbol{j}$$

دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش: احمد سلیمی

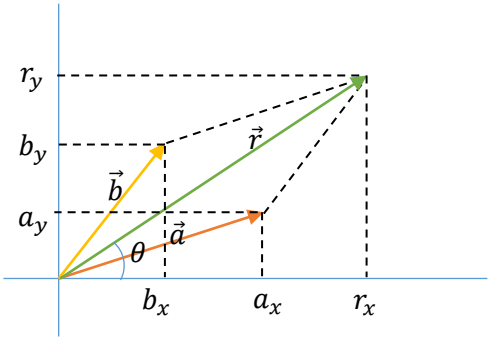
a_x و a_y را مؤلفه های بردار $\vec{a}$ در دستگاه مختصات می نامند. علاوه بر این می توان بین اندازه و جهت بردار و مؤلفه هایش مطابق روابط زیر رابطه برقرار کرد:

$$a_x = a\cos\theta$$
$$a_y = a\sin\theta$$

یا :

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{a_y}{a_x}\right)$$
$$a = \sqrt{{a_x}^2 + {a_y}^2}$$

حال چنانچه $\vec{r} = \vec{a} + \vec{b}$ باشد، خواهیم داشت:

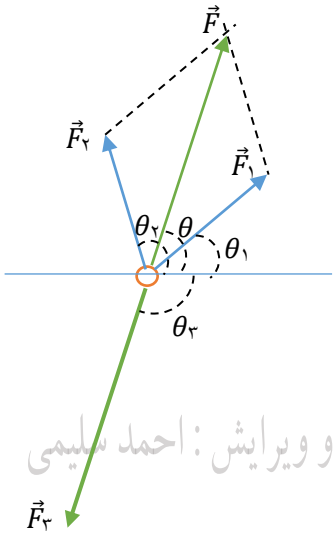


$$r_x = a_x + b_x$$
$$r_y = a_y + b_y$$
$$r = \sqrt{{r_x}^2 + {r_y}^2}$$
$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{r_y}{r_x}\right)$$

تعادل انتقالی:

حرکت کلی اجسام قابل تفکیک به حرکت انتقالی محض مرکز جرم به اضافه ی حرکت دورانی محض حول مرکز جرم است. حرکت انتقالی محض حرکتی است که در آن محورهای دستگاه مختصات متصل به جسم با محورهای دستگاه مختصات مرجع همراستا باقی بماند طوری که تمام ذرات جسم حرکت واحدی انجام دهند و در اینصورت حرکت یک ذره (مرکز جرم) نماینده حرکت کل جسم است. بر اساس قانون اول نیوتن: جسمی که در یک دستگاه مرجع لخت تحت اثر هیچ نیرویی نباشد یا برآیند نیروهای وارد بر آن صفر باشد، یا ساکن می ماند یا با سرعت ثابت به حرکتش ادامه می دهد. در واقع به بیان دقیق تر قانون اول نیوتن بیان شرط تعادل انتقالی اجسام است.

فرض کنیم جسمی (حلقه ی سبکی) تحت اثر سه نیروی افقی $\vec{F}_1$، $\vec{F}_2$ و $\vec{F}_3$ قرار گرفته است. به دلیل جرم کم حلقه از نیروی وزن آن می توانیم صرفنظر کنیم. اگرزاویه و اندازه ی سه نیروی طوری تنظیم شود که حلقه در حالت سکون قرار بگیرد، در این صورت سه نیروی وارد شده در حالت تعادل قرار دارند و خواهیم داشت:



$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{0}$$

یا:

$$\vec{F}_3 = -(\vec{F}_1 + \vec{F}_2)$$

بنابراین چنانچه نیروهای $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_2$ از قبل مشخص باشند می توان نیروی $\vec{F}_3$ را از رابطه ی فوق پیدا نمود. اگر برآیند $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_2$ را با $\vec{F}$ نشان دهیم در اینصورت:

دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش : احمد سلیمی

$$\vec{F}_3 = -\vec{F}$$

از طرفی:

$$F_x = F_{1,x} + F_{2,x}$$
$$F_y = F_{1,y} + F_{2,y}$$

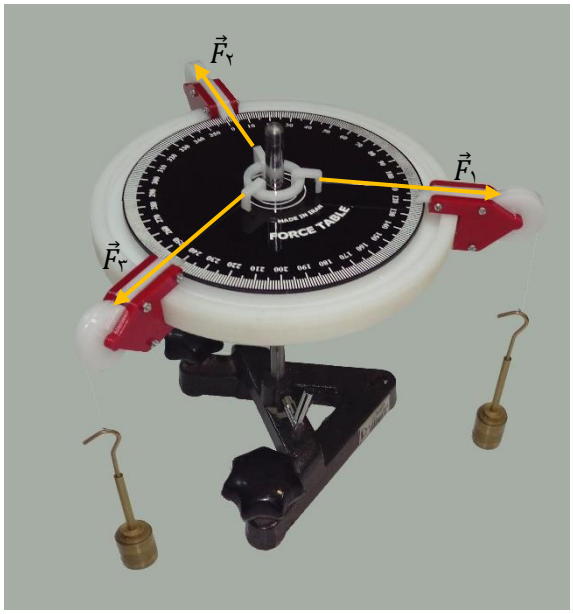
$$F_x = F_1 Cos\,\theta_1 + F_2 Cos\,\theta_2$$
$$F_y = F_1 Sin\,\theta_1 + F_2 Sin\,\theta_2$$

$$\theta = Arctan\left(\frac{F_y}{F_x}\right)$$
$$F = \sqrt{F_x^{\,2} + F_y^{\,2}}$$

بنابراین:

$$F_3 = F$$
$$\theta_3 = \theta + \pi$$

روش آزمایش:



درشکل مقابل، دستگاه میز نیرو نمایش داده شده است. با قراردادن وزنه های دلخواه روی کفه ها، نیروی وزن آنبه حلقه منتقل می شود، بدین ترتیب اندازه ی هر نیرو تعیین می شود. برای راحتی می توان از واحد گرم نیرو (gf)به عنوان واحد نیرو استفاده کرد. هر گرم نیرو برابر با وزن وزنه ی یک گرمی است.

$$۱gf = mg = ۱۰^{-۳}Kg.۹.۸\left(\frac{m}{s^۲}\right) = ۹.۸ \times ۱۰^{-۳}N$$

$$۱gf \cong ۰.۰۱\ N$$

تعیین زاویه هر نیرو با حرکت قرقره ها به راحتی انجام می شود.

- مطابق جدول زیر مقادیر اندازه و زاویه ی نیروهای $\vec{F}_۱$ و $\vec{F}_۲$ را تنظیم نمایید.

سپس اندازه و زاویه ی نیروی $\vec{F}_۳$ را با تغییر وزنه و زاویه آنقدر تغییر دهید تا حلقه در وضعیت تعادل قرار گیرد. حلقه در وضعیت تعادل درست در وسط صفحه و بر دایره ای کوچکی که در آنجا ترسیم شده است منطبق می گردد. مقدار اندازه و زاویه ی تجربی را با مقادیر تئوری که از روابط مربوطه بدست می آید را با هم مقایسه نمایید.

- شرح محاسبات را در گزارش بیاورید.
- عوامل خطا در این آزمایش را مشخص کنید.

دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش: احمد سلیمی

ردیف	$F_۱(gf)$	$\theta_۱(deg)$	$F_۲$	$\theta_۲$	F	θ	$F_۳$ تجربی	$\theta_۳$ تجربی	$F_۳$ تئوری	$\theta_۳$ تئوری
۱	۶۰	۳۰	۶۰	۶۰						
۲	۶۰	۴۵	۶۰	۱۳۵						
۳	۶۰	۳۰	۹۰	۶۰						
۴	۶۰	۹۰	۹۰	۱۸۰						
۵	۹۰	۹۰	۶۰	۱۸۰						
۶	۱۱۵	۴۵	۶۰	۲۱۰						
۷	۱۱۵	۱۳۵	۶۰	۳۰۰						

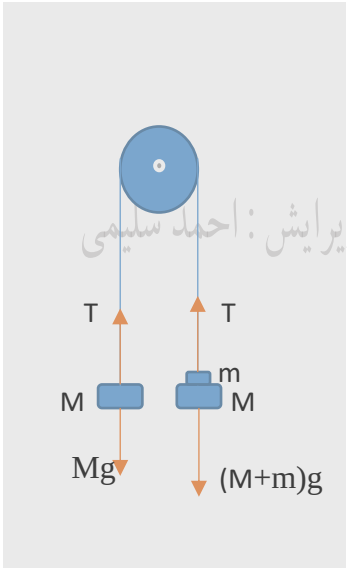
ماشین آتوود

هدف آزمایش: تحقیق اصول دینامیک

وسایل آزمایش: دستگاه ماشین آتوود، کرونومتر دیجیتال، سیمهای رابط، آداپتور

تئوری آزمایش:

ماشین آتوود دستگاهی است که اولین بار درسال ۱۷۸۴ توسط جورج آتوود دانشمند انگلیسی برای تحقیق قوانین مکانیک دستگاههای با شتاب ثابت طراحی و ساخته شد . این دستگاه مطابق شکل شامل یک قرقره ثابت است که دو وزنه ی مساوی به کمک نخی از دوطرف آن آویزان شده است و درحال تعادل است. چنانچه سرباری روی وزنه ی سمت راست گذاشته شود دستگاه شروع به کار می کند و وزنه ها شتاب می گیرند.



با صرفنظر کردن از جرم و اصطکاک قرقره و سبکی نخ مطابق قوانین حرکت نیوتن،

معادلات زیر برای دستگاه برقرار است:

برای وزنه های سمت راست :

دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد تنظیم و ویرایش : احمد سلیمی

$$(M+m)g - T = (M+m)a$$

برای جرم سمت چپ:

$$T - Mg = Ma$$

از حل دستگاه معادله ی فوق خواهیم داشت:

$$a = \frac{m}{2M+m}g$$

که مقدار شتابی را که قوانین حرکت نیوتن پیش بینی می کند در اختیار می گذارد.

از آنجا که دستگاه با شتاب دستگاه ثابت حرکت می کند معادله ی حرکت دستگاه به صورت $y = \frac{1}{2}a\,t^2$ خواهد بود. با اندازه گیری زمان حرکت دستگاه برای مسافتهای مشخص می توان شتاب تجربی دستگاه را اندازه گیری نمود

روش آزمایش:

کرونومتر را به دستگاه متصل نموده و مکان مانع را در انتهای مسیر روی عدد مشخصی تنظیم کرده ویادداشت می کنیم. با آزاد کردن ضامن دستگاه و حرکت اجرام و سپس برخورد آن به مانع، زمان حرکت را یاد داشت می کنیم.

ردیف	$y(cm)$	$t(sec)$	$t(s^۲)$
۱	۴۰		
۲	۴۵		
۳	۵۰		
۴	۵۵		
۵	۶۰		
۶	۶۵		
۷	۷۰		
۸	۷۵		
۹	۸۰		
۱۰	۸۵		

دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش: احمد سلیمی

- آزمایش را به ازای ۱۰ مقدارy مختلف تکرار کنید و جدول فوق را تکمیل کنید.
- نمودار $y - t^۲$ را رسم کنید. به روش رگرسیون خطی شیب نمودار و خطای معیار آنرا محاسبه کنید.
- با داشتن شیب خط و خطای آن، شتاب تجربی و خطای معیار آنرا محاسبه کنید.
- به کمک معادله ی ماشین آتوود مقدار شتاب تئوری و خطای آنرا بدست کنید.
- مقادیر تئوری و تجربی را مقایسه کنید.

اصطکاک

هدف از آزمایش:

اندازه گیری ضریب اصطکاک استاتیک و دینامیک

وسایل آزمایش: دستگاه سطح شیبدار، جعبه وزنه ، تخته مکعب مستطیل چوبی با سطوح صاف و خشن، کفه ، خطکش میلیتری، **نخ**

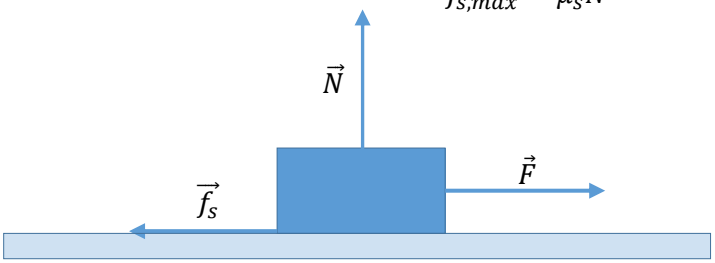
تئوری آزمایش:

اگر سطوح دو جسم در تماس با یکدیگر قرار بگیرند، هنگام حرکت دو جسم نیروی مخالفی ایجاد می شود که به آن نیروی اصطکاک می گویند. منشاء نیروی اصطکاک نیروهای الکتریکی بین اتمها و مولکولهای دو جسم در سطوح تماس است و تعیین مقدار دقیق آن کار پیچیده ای است و بستگی به جنس و شکل دقیق سطوح تماس دو جسم دارد؛ اما از دید ماکروسکوپی قوانین ساده ای در مورد آن به صورت تجربی به دست آمده است.

اصطکاک استاتیک و دینامیک

فرض کنید مطابق شکل زیر جسمی روی سطح افقی ناصافی قرار گرفته است چنانچه نیروی افقی F به آن وارد شود، از طرف سطح نیز نیروی اصطکاک استاتیکی f_s در جهت مخالف به جسم وارد خواهد شد، که مانع حرکت جسم می شود. تا قبل ازحرکت دو نیرو از لحاظ اندازه برابرند . با زیاد شدن F نیروی f_s نیز زیاد می شود و در آستانه ی حرکت به بیشترین مقدار خود می رسد. مقدار نیروی اصطکاک با نیروی عمودی یا نیروی عکس العمل سطح متناسب است. ضریب اصطکاک استاتیک در آستانه ی حرکت به صورت زیر تعریف می شود:

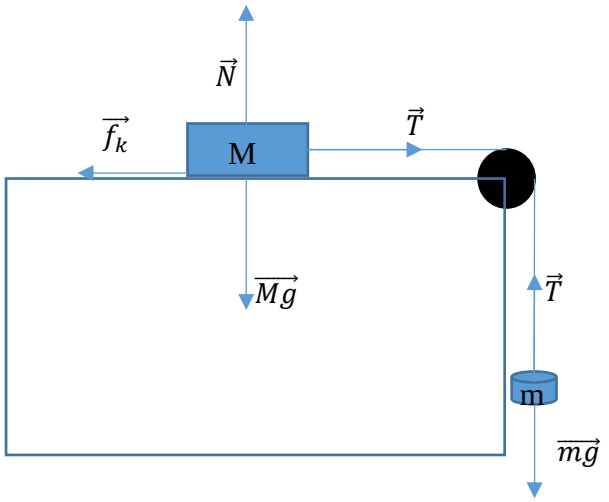
$$f_{s,max} = \mu_s N$$



بعد از شروع حرکت از اندازه ی نیروی اصطکاک کاسته می شود ولی در کل حرکت مقدار ثابتی دارد. در زمان حرکت، ضریب اصطکاک دینامیک به صورت زیر تعریف می شود:

$$f_k = \mu_k N$$

دستگاه آزمایشی مطابق شکل زیردرحال سکون در نظر بگیرید. مقادیر جرمهای مکعب و وزنه ی آویخته قابل تنظیم اند. چنانچه جرم m آویخته را به تدریج آنقدر افزایش دهیم تا مکعب (وکل سیستم) درآستانه ی حرکت قرار گیرد. درآستانه ی حرکت سیستم در حال تعادل است و بر اساس قوانین حرکت می توان نوشت:



$$\begin{cases} N - Mg = ۰ \\ T - f_{s,max} = ۰ \end{cases}$$

دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش : احمد سلیمی

$$\begin{cases} mg - T = ۰ \\ f_{s,max} = \mu_s N \end{cases}$$

با حل دستگاه معادلات فوق خواهیم داشت:

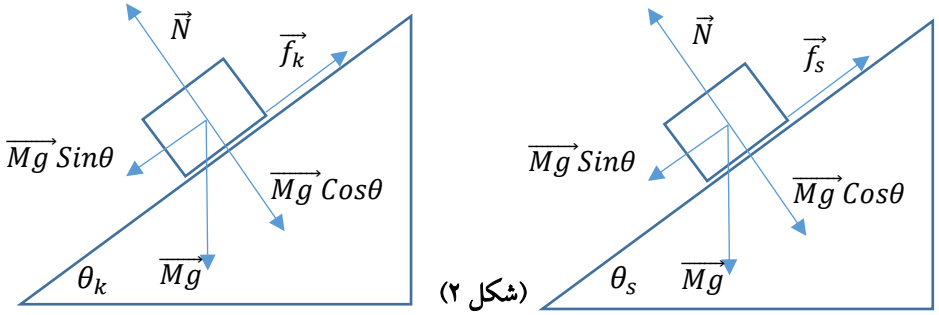
$$\mu_s = \frac{m}{M}$$

به همین ترتیب می توان نشان داد که اگر با انتخاب وزنه ی مناسب و با واردکردن ضربه روی سطح یا ویبره کردن آن، سیستم حرکت خود را آغاز و با سرعت ثابت حرکت کند، باز هم سیستم درحال تعادل خواهد بود و روابط مشابه روابط قبلی برای این حالت برقرار خواهد بود و می توان برای ضریب اصطکاک دینامیک رابطه ی زیر را بدست آورد:

$$\mu_k = \frac{m}{M}$$

اندازه گیری ضریب اصطکاک به کمک سطح شیبدار

فرض کنید جسمی مطابق شکل زیر روی سطح شیبداری در حال سکون قرار گرفته است. اگر زاویه ی سطح را طوری تنظیم می کنیم که مجددا جسم در آستانه ی حرکت قرارگیرد یا به با واردکردن ضربه یا ویبره کردن، جسم روی سطح شروع به حرکت یکنواخت کند، بر اساس قوانین حرکت خواهیم داشت:



آستانه ی حرکت (شکل ۲) حرکت یکنواخت

دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش : احمد سلیمی

$$N - Mg\,Cos\theta = ۰$$

$$Mg\,Sin\theta - f_k = ۰$$

$$f = \mu N$$

در نتیجه:

$$\mu = tan\,\theta$$

برای دوحالت مختلف استاتیک و دینامیک داریم:

$$\mu_k = tan\theta_k$$

$$\mu_s = tan\theta_s$$

روش آزمایش:

- به ازای ۵ مقدار مختلف جرم M، ۵ مقدار جرم m بیابید تا سیستم در حالت:

الف) درآستانه ی حرکت

ب) حرکت یکنواخت

- نمودار m بر حسب M را رسم کنید.
- بر طبق رابطه ی $m = \mu_k M$ و $m = \mu_s M$ با محاسبه ی شیب به روش کمترین مربعات ، ضریب اصطکاک دینامیک و استاتیک را بدست آورید.
- درصد خطای معیار μ_k و μ_s را نیز محاسبه کنید.
- زاویه ی θ سطح شیبدار را که جسم در آن:

الف) درآستانه ی حرکت

ب) حرکت یکنواخت

قرار می گیرد پیدا کنید.

- ضریب اصطکاک را از رابطه ی زیر بدست آورید. خطای آنرا محاسبه کنید.

دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش : احمد سلیمی

$$\mu_s = \tan\theta_s$$

$$\mu_k = tan\,\theta_k$$

$$\Delta\mu = \frac{d\mu}{d\theta}\Delta\theta = (۱ + tan^۲\theta)\Delta\theta$$

در اینجا $\Delta\theta$ بر حسب رادیان است.

حرکت نوسانی فنر

هدف از آزمایش:

تعیین سختی فنر کشسانی، تعیین ضریب جرمی فنر

وسایل آزمایش: فنر کشسانی ، کفه با وزنه های مختلف، زمان سنج، خطکش میلیمتری، پایه و گیره

تئوری آزمایش:

چنانچه جسمی تحت اثر نیروی خارجی قرارگیرد، تغییر شکل می دهد. در محدوده ی مشخصی از تغییر شکل که به آن حد کشسانی می گویند، نیروی مقاومت جسم در برابر نیروی خارجی، متناسب با میزان تغییر شکل است. این قاعده تحت به افتخار رابرت هوک دانشمند انگلیسی به عنوان قانون هوک شناخته می شود:

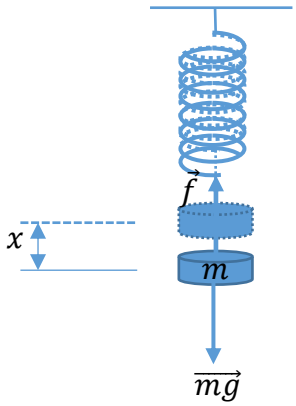
$$\vec{F} = -k\vec{x}$$

در شکل زیر فنری در حالت عمودی درحالت تعادل قرار دارد. اگر وزنه ی m را به آن بیاویزیم طوری که فنر به آرامی تغییر طول داده و در حالت تعادل جدیدی قرار گیرد. برای اندازه نیروها و تغییر طول خواهیم داشت:

دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش : احمد سلیمی

$$f = mg$$

از طرفی:



$$f_s = kx$$

بنابراین:

$$mg = kx$$

حال همانطور که فنر در حال تعادل است کمی (به اندازه ی a) در راستای قائم آنرا می کشیم و رها می کنیم، جسم شروع به حرکت نوسانی ساده در راستای قائم حول نقطه ی تعادل اولیه خواهد نمود. به دلیل اتلاف انرژی به تدریج دامنه ی نوسانات کاهش می یابد و سر انجام جسم متوقف می شود. بر اساس قانون دوم نیوتن معادله ی حرکت نوسانگر به شکل زیر است:

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = -kx$$

در اینجا از نیروهای مقاومت هواصرفنظر شده است. درحالتی که مقاومت هوا کم باشد باعث تغییر فرکانس حرکت می شود و دامنه ی حرکت به صورت نمایی میرا خواهد شد که به آن نوسانات کند میرا می گویند.

جواب معادله ی فوق به صورت زیر است:

$$x(t) = \mathrm{a}\cos(\omega t)$$

که درآن

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

و بنابر این دوره ی تناوب حرکت برابر است با:

$$T = ۲\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

اگر جرم فنر را به حساب آوریم، رابطه ی فوق به صورت زیر تصحیح می شود:

دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش : احمد سلیمی

$$T = ۲\pi\sqrt{\frac{m+\lambda m_s}{k}}$$

$$T^۲ = \frac{۴\pi^۲}{k}m + \frac{۴\pi^۲ m_s}{k}\lambda$$

که در آن m_s جرم فنر و λ ضریب جرمی فنر است که مقدار آن از لحاظ تئوری برابر $\frac{۱}{۳}$ است.

برای اثبات مقدار تئوری ضریب جرمی کافی است در نظر داشته باشیم که سرعت حرکت هرکدام از المانهای جرم فنر متناسب با فاصله ی آن از نقطه ی آویز فنر است طوریکه : $v = \frac{x}{L}V$ و جرم هر المان جرم برابر $dm = \frac{m_s}{L}dx$ است. بنابر این سهم انرژی جنبشی کل فنر برابر خواهد بود با:

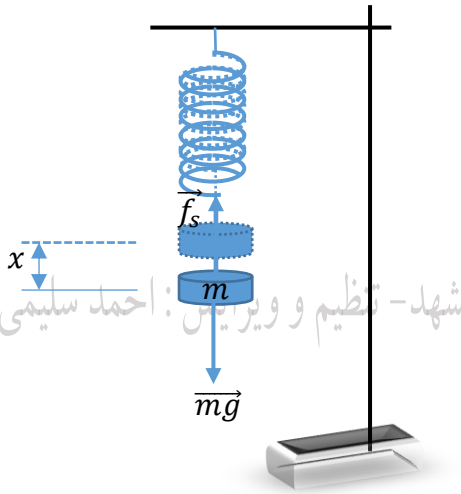
$$T_s = \frac{۱}{۲}\int v^۲ dm = \frac{۱}{۲}\int_۰^L (\frac{x}{L}V)^۲ \frac{m_s}{L}dx = \frac{۱}{۲}(\frac{۱}{۳}m_s)V^۲$$

روش آزمایش:

آزمایش ۱

خطکش میلیمتری که روی پایه نصب شده است را به صورت قائم در کنار فنرقرار دهید. مکان x_i انتهای فنر را در حالت تعادل از روی خط کش بخوانید. وزنه ی m را به آرامی به فنر بیاویزید و فنر را دوباره درحالت تعادل قرار دهید. . مکان x_f انتهای فنر را در حالت تعادل از روی خط کش بخوانید. تغییر طول $x = x_f - x_i$ فنر را اندازه بگیرید. آزمایش را به ازای وزنه های متفاوت (حد اقل ۵ وزنه) تکرار نمایید.(x_i مکان انتهای فنر بدون وزنه و x_f مکان انتهای فنر به ازای وزنه ی مشخص است.)

با توجه به رابطه ی $mg = kx$ نمودار m را بر حسب x رسم نمایید و مقدار k و خطای معیار آن را به روش کمترین مربعات بدست آورید.



دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش: احمد سلیمی

آزمایش ۲

- فنر را از میله ی افقی بیاویزید و وزنه ی m را به آن آویزان نمایید. کرونومتر را آماده کنید. فنر را به اندازه ی حدود ۲ سانتی متردر حالت قائم از وضعیت تعادل بکشید. بطور همزمان فنر را رها نمایید و کرونومتر را به کار اندازید. زمان ۲۰ نوسان کامل (رفت و برگشت) (= $۲۰T$) را اندازه بگیرید. آزمایش را برای حداقل ۵ جرم متفاوت تکرار نمایید. با توجه به رابطه ی

$$m = \frac{k}{۴\pi^۲} T^۲ - m_s\,\lambda$$

- نمودار m را بر حسب $T^۲$ رسم نمایید و با استفاده از روش کمترین مربعات، مقدار k و λ و خطای معیار آنها را بدست آورید.
- نتایج آزمایش ۱ و ۲ را برای سختی k فنر مقایسه کنید . به نظر شما کدام آزمایش برای اندازه گیری k مناسبتر است ؟

تعادل دورانی

هدف از آزمایش:

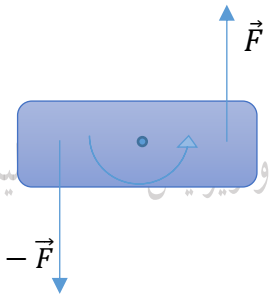
آشنایی با مفهوم گشتاور نیرو، تعادل دورانی و مرکز ثقل اجسام

وسایل آزمایش:

خط کش فولادی سوراخ دار، محور دوران خط کش، جعبه وزنه ی آویز، کفه ی وزنه، نیرو سنج، خط کش میلیمتری

تئوری آزمایش:

برای آنکه جسمی در تعادل کامل باشد شرط صفر بودن برآیند نیروها کافی نیست. برای مثال جسمی را در نظر بگیرید که تحت اثر دو نیروی هم اندازه و موازی ولی در جهت خلاف هم قرار گرفته است (به این دو نیرو اصطلاحاً جفت نیرو می گویند). همانطور که معلوم است برآیند آنها صفر است ولی جسم تحت تاثیر آنها حرکت می کند. در واقع جفت نیرو باعث دوران جسم می گردد. بنابراین برای برقراری تعادل کامل شرط دیگری لازم است و آن شرط تعادل دورانی است. برای آنکه جسمی در تعادل دورانی باشد برآیند عاملی که باعث دوران می گردد یعنی گشتاور نیرو باید صفر باشد.



دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و تدوین

گشتاور نیرو:

برای آنکه جسمی را وادار به حرکت دورانی نماییم تنها اعمال نیرو کافی نیست بلکه نیروی وارد شده باید در مکان مناسب و تحت زاویه ی درستی وارد شود تا بیشترین تاثیر را در دوران داشته باشد. به عنوان تجربه ی روزمره وقتی می خواهیم در اتاق را باز کنیم یا ببندیم، معمولاً نیرو را به لبه ی در و به صورت عمود بر آن اعمال می کنیم. اگر نیرو را در فاصله ی کمی از محور در وارد کنیم برای باز کردن آن نیاز به نیروی بیشتری داریم. به طور کلی عاملی که باعث چرخش جسم می گردد به سه عامل بستگی دارد:

عامل چرخش جسم (نیرو گشتاور) $\begin{cases} \text{اندازه ی نیرو} \\ \text{فاصله عمودی نیرو تا محور دوران} \\ \text{راستای نیرو} \end{cases}$

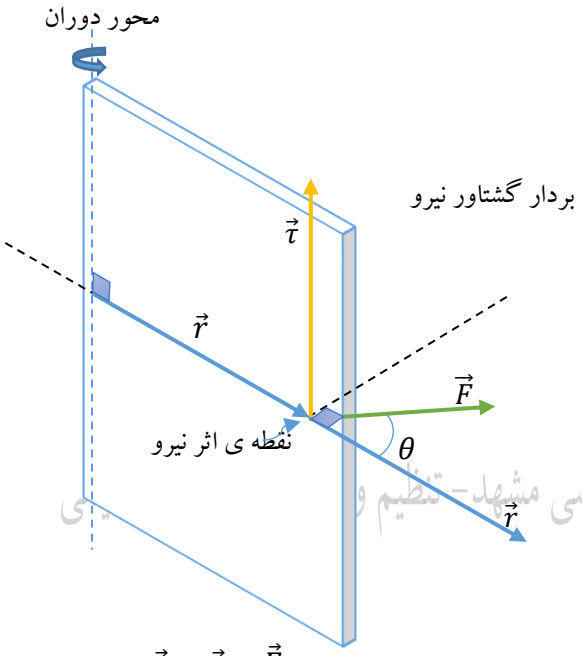
بطور دقیقتر می توان رابطه ی زیر برای گشتاور نیرو بیان کرد:

$$\tau = rFSin\,\theta$$

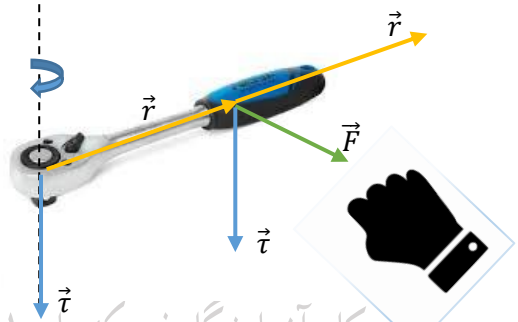
یا:

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$$

که در آن $\vec{\tau}$ بردار گشتاور نیروست و جهت آن از قانون دست راست در ضرب برداری تعیین می گردد.



$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$$
$$\tau = rFSin\,\theta$$



جهت گشتاور نیروی وارد به آچار

در حال بستن پیچ

دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و

شرط تعادل دورانی:

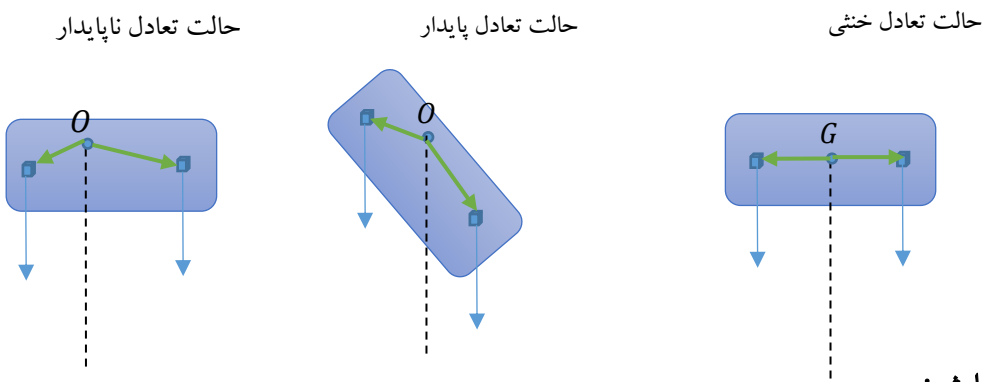
حال چنانچه جسمی تحت اثر چند نیرو قرار گیرد شرط تعادل دورانی برای آن این است که مجموع گشتارو نیروهای وارد بر آن برابر صفر باشد. به عبارت دیگر:

$$\sum \vec{\tau} = \vec{0}$$

مرکز ثقل:

استفاده از مفاهیم کمکی خیلی از مواقع به فهم و درک ما از مسائل فیزیکی کمک شایانی می کنند و علاوه بر این در حل مسائل نیز بسیار رهگشایند. مرکز ثقل از جمله ی این مفاهیم است. برای درک بهتر مفهوم مرکز ثقل فرض کنید صفحه ی مسطح مستطیل شکل و صیقلی را مانند شکل زیر را با فشردن نوک سوزنی روی نقطه ای از آن تخته وایت برد نگه داریم. بسته به مکان نقطه ی O ممکن است صفحه در جهت ساعتگرد یا پاد ساعتگرد بچرخد، زیرا در ابتدا مجموع گشتاورهای وزن ذرات در یک طرف از طرف دیگر بیشتر است. نهایتا جسم در وضعیتی که گشتاور وزن ذرات جسم دو طرف نقطه ی آویز یکی شوند می ایستد و گشتاور وزن کل جسم صفر می گردد. این یک وضعیت تعادل پایدار است زیرا اگر کمی زاویه جسم را تغییر دهیم به خاطر گشتاور وزن تولید شده پس از چند نوسان دوباره به حالت قبلی باز می گردد. با جابجا کردن نقطه ی O به صورت آزمایش و خطا می توان نقطه ای را روی سطح صفحه پیدا کرد که دیگر با چرخاندن و تغییر زاویه جسم، به حالت قبل باز نگردد بلکه در همان وضعیت جدید بماند و در یک وضعیت تعادل خنثی قرار بگیرد. حال اگر فرض کنیم وزن کل (مجموع وزن تک تک ذرات جسم) به نقطه ی جدید O وارد شود، در این صورت گشتاور وزن حول آن باز هم برابر صفر خواهد بود زیرا نیرو به مرکز دوران وارد شده است و جسم مجدداً در وضعیت تعادل خنثی قرارد می گیرد. این نقطه که گشتاور وزن کل جسم حول آن صفر و جسم تحت نیروی ثقل در حالت تعادل خنثی قرار می گیرد است را مرکزثقل جسم نامند (نقطه ی G) و می توان فرض کرد تمام وزن جسم به این نقطه وارد می شود.

دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد - تنظیم و ویرایش: احمد سلیمی

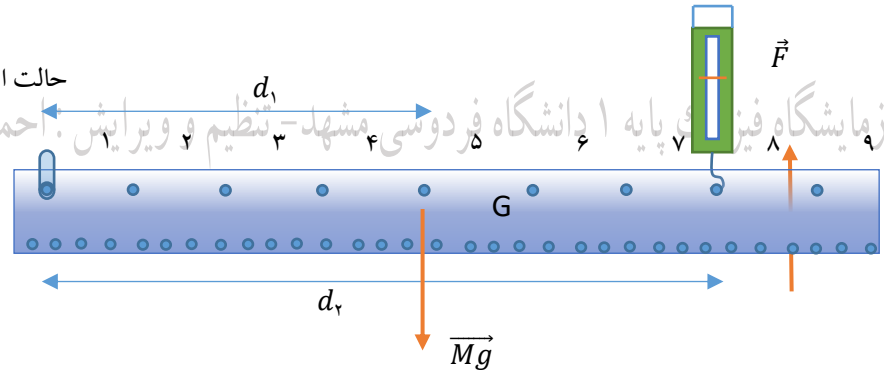


روش آزمایش:

خط کش فولادی سوراخ داری را مطابق شکل دارای تعدادی سوراخ به عنوان محور دوران یا محل اتصال نیرو سنج در لبه ی بالایی و تعدادی سوراخ کوچکتر در لبه ی پایینی جهت آویختن وزنه است. خط کش را از اولین سوراخ سمت چپ بالا (شماره ۱) روی محور دوران قرار می دهیم.خط کش در اثر وزن در جهت ساعتگرد می چرخد و آویزان می شود. نیروسنج را به یکی از سوراخهای بالایی متصل می کنیم و آنقدر به سمت بالا نیرو وارد می کنیم تا خط کش در وضعیت تعادل افقی قرار گیرد. در این حالت کمیتهای زیر را اندازه گرفته و در جدول یاد داشت می نماییم:

- d_1 فاصله ی افقی محور دوران ۱ خط کش تا مرکز ثقل G
- d_2 فاصله ی افقی محور دوران ۱ خط کش تا محل اتصال نیرو سنج
- F اندازه ی نیروی نیروسنج

شماره محور	$x = d_1(mm)$	$d_2(mm)$	$F(gf)$	$y = F.d_2$
۱				
۲				
۳				
۴				
۶				
۷				



دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش: احمد سلیمی

این کار را برای محورهای ۲، ۳ و ۴ تکرار می کنیم. برای محورهای ۶ و ۷ نیرو سنج را در قسمت پایین و نیرو را رو به پایین اعمال می کنیم یا با استفاده از کفه و وزنه، در مکان مناسب وزنه هایی می آویزیم تا مجدداً خط کش در تعادل افقی قرار گیرد.

از آنجا که فاصله های d_1 , d_2 بر امتداد نیروها عمودند. با توجه به تعادل دورانی داریم:

$$\sum \vec{\tau} = 0$$

بنابراین:

$$Mg.d_1 = F.d_2$$

- نمودار $F.d_2$ (یا y) را بر حسب d_1 (یا x) رسم کنید.
- شیب نمودار و خطای شیب را از طریق رگرسیون خطی بدست آورید.
- نتیجه ی اندازه گیری را همراه با خطای آن بنویسید.
- وزن خط کش را به صورت مستقیم با ترازو اندازه می گیریم و نتیجه را با خطای آن بنویسید.
- دو نتیجه را با هم مقایسه کنید.

دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش : احمد سلیمی

فنر پیچشی

هدف از آزمایش: بررسی حرکت دورانی و تعیین سختی فنر پیچشی و لختی دورانی دیسک

وسایل آزمایش: دستگاه فنر پیچشی ، نیروسنج، زمان سنج، خط کش میلیمتری، میله ی فلزی، دیسک تفلونی

تئوری آزمایش:

همانطور که از مکانیک مقدماتی می دانیم معادلات دینامیک دورانی برای جسمی که حول محور ثابت دوران می کند به شرح ذیل است:

$$\sum \tau = I\alpha$$

که در آن τ گشتاور بر آیند نیروهای مؤثر، I لختی دورانی و α شتاب زاویه ای است.

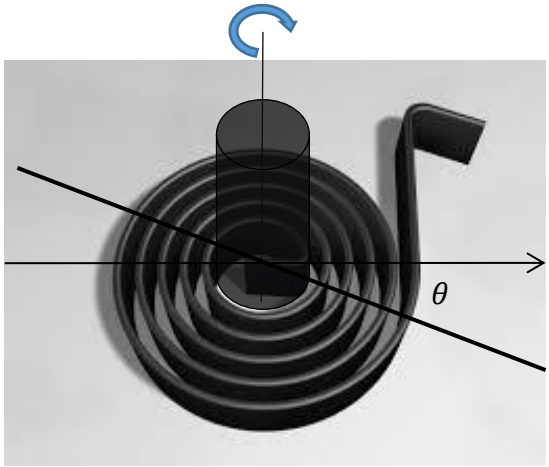
فنر پیچشی نوع خاصی از فنر است که به جسم گشتاور بازگرداننده وارد می کند که مانند فنر کشسان از قانون هوک پیروی می کند. به عبارت دیگر گشتاور نیروی فنر پیچشی به شکل زیر است:

$$\tau = -k\theta$$

دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش : احمد سلیمی

و معادله ی حرکت جسمی که تحت اثر آن است:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{k}{I}\theta = 0$$



با فرض $\omega = \sqrt{\frac{k}{I}}$ جواب معادله عبارت خواهد بود از:

$$\theta = \theta_0 \cos \omega t$$

به عبارت دیگر حرکتی دورانی و تناوبی با دوره ی تناوب $T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{k}}$ پیش بینی می گردد.

روش آزمایش:

آزمایش ۱

- میله ی فلزی را روی دستگاه فنر پیچشی سوار کنید. میله را از حالت تعادل اولیه به اندازه زاویه ی ۹۰ درجه بچرخانید و سپس گیره ی نیرو سنج را در به یکی از شیارهای ایجاد شده روی انتهای میله متصل نموده و نیروی لازم برای ثابت نگه داشتن آن یا همان نیروی فنر را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.
- اندازه گیری فوق را برای زاویه هایی از ۳۶۰- تا ۳۶۰ + تکرار نمایید و نتایج را در جدول یادداشت کنید. دقت کنید اتصال نیرو سنج در هربار اندازه گیری دقیقا به همان مکان قبلی انجام شود. برای اینکار می توانید یک انتهای میله را علامتگذاری نمایید. فاصله مکان اتصال نیروسنج به میله را تا مرکز محور دوران اندازه بگیرید.
- نمودار τ بر حسب θ را رسم نمایید و با استفاده از رابطه ی فنر پیچشی، سختی فنر و خطای معیار آن را بدست آورید.

آزمایش ۲

- به جای میله ی فلزی ، دیسک تفلونی را جایگزین نمایید. زمان سنج را آماده کنید. دیسک را حدود ۱۸۰ درجه بچرخانید و با رها کردن دیسک ، زمان سنج را به کار اندازید و زمان ۲۰ حرکت تناوبی کامل (رفت و برگشت) را اندازه بگیرید.
- با توجه به رابطه ی دوره ی تناوب حرکت و با داشتن سختی فنر از آزمایش ۱ ، لختی دورانی فنر را بدست آورید.
- جرم و شعاع دیسک را اندازه بگیرید و با توجه به رابطه ی تئوری لختی دورانی دیسک ($I = \frac{1}{2}MR^2$) مقدار لختی دورانی آن را اندازه بگیرید و درصد اختلاف نسبی مقداری را که از قسمت قبل بدست آورید با آن مقایسه کنید.

دستورکار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش: احمد سلیمی

آونگ ساده

هدف از آزمایش: اندازه گیری شتاب جاذبه

وسایل آزمایش: گلوله های فلزی ، سیم لاکی نازک یا نخ نایلونی مقاوم، سطح شیشه ای مقعر، زمان سنج، خطکش میلیمتری، کولیس، اسفیرومتر ، پایه و گیره

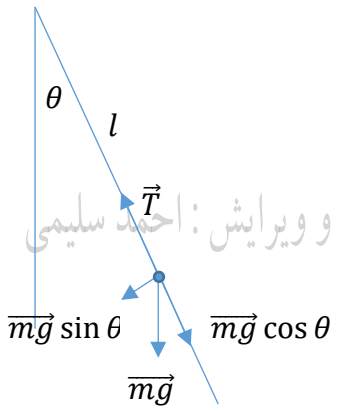
تئوری آزمایش:

اگر جسم نقطه ای را تحت اثر نیروی گرانش از نقطه ای آویزان کنیم تشکیل آونگ ساده می دهد. نمودار نیروهای مؤثر در حرکت آونگ به شکل زیر خواهد بود.

معادله ی حرکت دورانی آونگ به شکل زیر خواهد بود:

$$-mg\, l \sin\theta = I \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

یا:



$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{l}\sin\theta = 0$$

به ازای زاویه های کوچک ($\theta \leq 6^\circ$) $\sin\theta \cong \theta$

مرکز آزمایشگاهی فیزیک پایه دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش : احمد سلیمی

بنابراین:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{l}\theta = 0$$

که جواب آن به شکل زیر است:

$$\theta = \theta_0 \cos\omega t$$

و

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

بنابر این دوره ی تناوب حرکت برابر خواهد بود با:

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

روش آزمایش:

- گلوله فلزی را که به آن سیم مسی نازک متصل است به میله افقی مطابق شکل بیاویزید. حتی الامکان طول سیم را حدود ۶۰ سانتی متر انتخاب کنید.
- زمان تناوب ۲۰ نوسان آونگ را با کرونومتر اندازه بگیرید .
- به همین ترتیب طول سیم را تغییر دهید (با چرخاندن سیم حول محور طول آن کم می شود) و به ازای طولهای مختلف آزمایش را تکرار نمایید.
- با رسم نمودار $L - T^2$ و پیدا کردن شیب نمودار مقدار g و خطای آنرا بدست آورید.

دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش : احمد سلیمی

پیوست ۱

آونگ ساده با در نظر گرفتن شعاع گلوله

چنانچه به جای جسم نقطه ای کره ی توپری را جایگزین نماییم و نخ را جسم صلب فرض کنیم که با کره یکپارچه ای را تشکیل دهند، با توجه به اینکه لختی دورانی کره توپر $\frac{۲}{۵}mr^۲$ است داریم:

$$-mg\,(l+r)\sin\theta = \left(\frac{۲}{۵}mr^۲ + m(l+r)^۲\right)\frac{d^۲\theta}{dt^۲}$$

یا با فرض:

$$L = l + r$$

$$\frac{d^۲\theta}{dt^۲} + \frac{g}{\frac{۲}{۵}\frac{r^۲}{L} + L}\theta = ۰$$

در اینصورت دوره ی تناوب به شکل زیر تصحیح می گردد.

دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش : احمد سلیمی

$$T = ۲\pi\sqrt{\frac{\frac{۲}{۵}\frac{r^۲}{L} + L}{g}}$$

*** می توان نشان داد که چنانچه طول سیم از ۵.۳ شعاع گلوله بیشتر باشد خطایی بیشتر از ۱ درصد نخواهیم داشت.**

پیوست ۲

برخورد

هدف آزمایش: تحقیق اصل بقای اندازه حرکت خطی

وســـایل آزمایش: پایه عمودی، گیره، میله ی فلزی، دوعدد گوی فلزی با مکان آویز، ســـیم نازک مســـی یا نخی، نقاله دوعدد، نوارچسب

تئوری آزمایش: در شرایط فیزیکی مشخص ممکن است یک یا چند کمیت فیزیکی مختلف سیستم مقدار ثابت داشته باشدکه در آن صورت به صورت قانون بقای آن کمیت به آن اشاره می شود. قوانین بقا به صورت یک معادله ی اضافی در مسائل فیزیک وارد می شـــوند و می توان در حل مســـائل از آنها کمک گرفت. یکی از قوانین بقای بنیادی، قانون بقای تکانه خطی اســـت، که در این آزمایش به آن می پردازیم.

به هر جسم ساکن یا متحرک، کمیتی به نام تکانه ی خطی (یا اندازه حرکت خطی) نسبت داده می شود که حاصل ضرب جرم در بردار سرعت است. به عبارت دیگر:

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

طبق قانون دوم نیوتن نیرو آهنگ تغییر تکانه است:

دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش : احمد سلیمی

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

(درصورتی که جرم جسم ثابت باشد: $\vec{F} = m\vec{a}$)

حال چنانچه نیروی خارجی کل وارد بر سیستم وجود نداشته باشد. براحتی قابل فهم خواهد بودکه:

$$\vec{p} = constant$$

در یک سیستم ذرات، خواهیم داشت:

نیروی وارد بر هر ذره مجموع نیروی خارجی به علاوه ی مجموع نیروهای داخلی است که از طرف سایر ذرات سیستم به آن ذره وارد می شود:

$$F_i = {F_i}^e + \sum_{j \neq i} F_{ij}$$

$$\overrightarrow{F_i} = \frac{d\vec{p}_i}{dt} = \frac{d\vec{P}}{dt}$$

نیروی کل وارد بر سیستم مجموع نیروهای خارجی کل و نیروهای داخلی کل است:

$$\vec{F} = \sum {F_i}^e + \sum_i \sum_{j \neq i} F_{ij} = F^e$$

از آنجا که نیروهای عمل و عکس العمل قرینه ی همدیگرند، مجموع نیروهای داخلی کل برابر صفر خواهد بود بنابراین:

$$\vec{F} = \vec{F}^e$$

و :

$$\vec{F}^e = \frac{d\vec{P}}{dt}$$

بنابراین اگر نیروی خارجی کل وارد بر سیستم صفر باشد تکانه ی کل سیستم پایسته می ماند.:

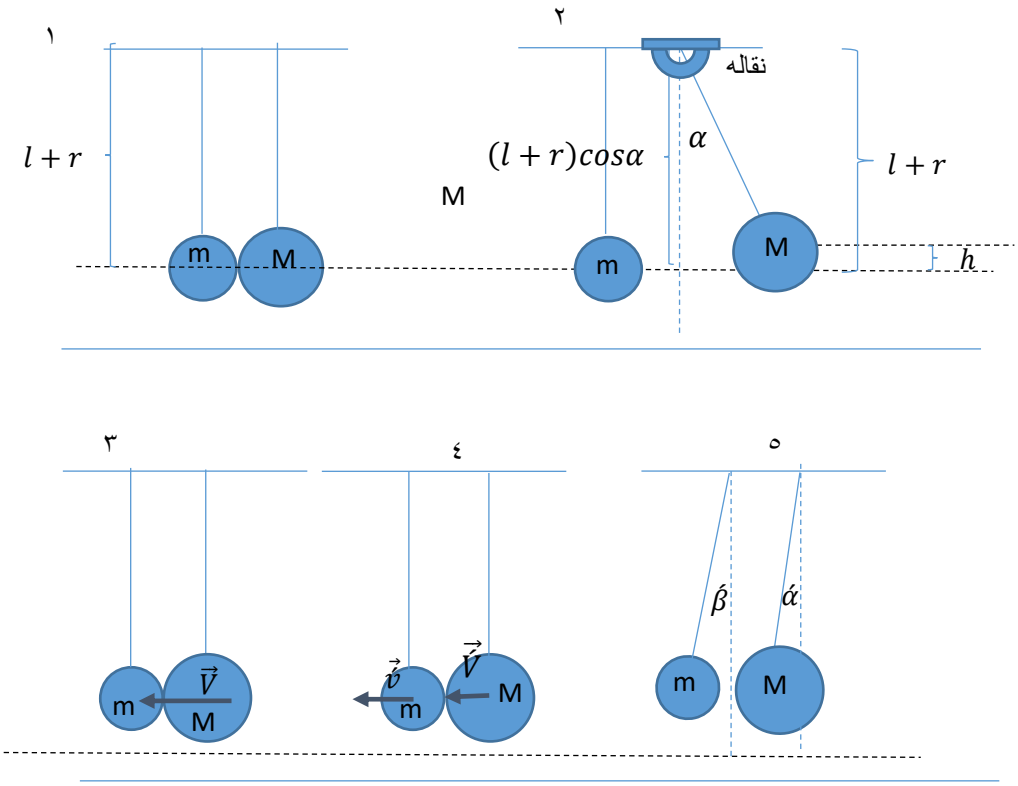
دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش : احمد سلیمی

$$\vec{P} = \overrightarrow{p_1} + \overrightarrow{p_2} + \overrightarrow{p_3} + \cdots = constant$$

برخورد

اندرکنش دو ذره یا جسم از فاصله ی خیلی نزدیک در یک بازه ی زمانی خیلی کوتاه را برخورد می نامند، به عنوان نمونه برخورد توپهای بیلیارد نمونه ی بارز از برخورد در مکانیک کلاسیک است. اگر نیروهای خارجی کل وارد بر سیستم صفر باشد، اصل بقای تکانه ی خطی در مورد آن صادق است. برخورد اگر در راستای خط المرکزین دوجسم انجام گیرد برخورد رودرو و یک بعدی است در غیر اینصورت برخورد خراشان و چند بعدی خواهد بود. اندازه ی تغییر تکانه ی جسم در اثر برخورد ضربه نام دارد.

در این آزمایش برخورد دو گلوله را در یک بعد مورد بررسی قرار می دهیم. فرض کنیم دو گلوله به شکل زیر از دو نخ نازک در راستای قائم آویزان شده و کاملاً مماس هم باشند. هردو گلوله و نخها در یک صفحه ی قائمند و همچنین ارتفاع مراکز آنها ازسطح یکسان باشد باشد.



چنانچه گلوله ی M را از راستای قائم به اندازه ی زاویه α منحرف نماییم و رها کنیم وقتی در حالت قائم قرار می گیرد سرعت آن از صفر به $\vec{V}$ افزایش می یابد که برداری افقی است. سپس دو گلوله در راستای افقی به هم برخورد می کنند و هرکدام پس از برخورد سرعتهای $\vec{v}$ و $\vec{V}$ را بدست می آورند. سپس دو گلوله به حرکت خود ادامه می دهند و به بیشترین انحراف $\acute{\alpha}$ و $\acute{\beta}$ از حالت قائم می رسند. داریم:

دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش: احمد سلیمی

قبل از برخورد $$P = MV$$

بعد $$\acute{P} = M\acute{V} + m\acute{v}$$

برای تعیین سرعت با توجه به اینکه انرژی جنبشی گلوله های به دلیلی پایستگی انرژی مکانیکی(تحت نیروی جاذبه) پایسته است، خواهیم داشت:

$$\frac{۱}{۲}mv^{۲} = mgh$$

یا:

$$v^{۲} = ۲gh$$

مطابق شکل ۲:

$$h = (l+r)(۱ - cos\alpha) = ۲(l+r)sin^{۲}(\alpha/۲)$$

با ترکیب دو رابطه :

$$v = ۲\sqrt{(l+r)g}\,\sin(\alpha/۲)$$

بنابر این می توانیم درصد اختلاف تکانه بعد و قبل برخورد را تعیین کنیم.

$$\mu = \frac{\acute{P} - P}{P} \times ۱۰۰$$

$$\mu = \left|\frac{M\sin(\acute{\alpha}/۲) + m\sin(\beta\acute{}/۲) \ -M\sin(\alpha/۲)}{M\sin(\alpha/۲)}\right|$$

ضریب بازگشت

کیمیت دیگری به نام ضریب بازگشت که درجه ی کشسانی برخورد را مشخص می کند قابل محاسبه است که به شکل زیر تعریف می شود:

$$e = \left|\frac{\text{برخورد از بعد جسم دو نسبی سرعت}}{\text{برخورد از قبل جسم دو نسبی سرعت}}\right|$$

$$e = \left|\frac{\acute{V} - \acute{v}}{V}\right|$$

دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ دانشگاه فردوسی مشهد- تنظیم و ویرایش : احمد سلیمی

در نهایت:

$$e = \left|\frac{\sin(\acute{\alpha}/۲) - \sin(\beta\acute{}/۲)}{\sin(\alpha/۲)}\right|$$

روش آزمایش

مطابق شکل ۱ دستگاه آزمایش را بنا می کنیم و در قسمت اتصال سیم ها(نخ ها) به محل آویز، یک نقاله را به صورت وارونه جهت اندازه گیری زاویه ی انحراف گلوله ها به کمک نوار چسب نصب می کنیم.

گلوله ی اولی را به اندازه ی زاویه ی مشخصی منحرف می کنیم. زاویه را یادداشت کرده و سپس گلوله را به آرامی رها می کنیم. بعد از برخورد انحراف ماکزیمم هر یک از گلوله ها را مشاهده و یادداشت می کنیم.

آزمایش را ۵ بار تکرار می کنیم و مقدار میانگین μ و e و خطاهای معیار آنها را به روشی که در فصل اول توضیح داده شد (خطای کمیتهای وابسته) بدست می آوریم.