

به نام خدا

آزمایشگاه فیزیک 1

آزمایش اندازه گیری ثابت گرانش عمومی با استفاده از ترازوی پیمایشی

ممسن نجفی یزدی و امسان غزلباش

گروه : C10

## تئوری آزمایش:

در این آزمایش برآنیم تا ثابت گرانش عمومی را اندازه گیری کنیم.

### ترازوی پیمایشی مساس:

این ترازو از دو وزنه  $N', N$  که جرم هر کدام  $0.015\text{kg}$  می باشد ، توسط میله ای به یکدیگر متصل بوده به طوری که فاصله مراکز گلوله ها برابر  $2d = 0.1\text{m}$  می باشد ، تشکیل شده است. این دو گلوله و میله مربوطه توسط یک سیم باریک پیمایشی از نقطه  $O$  آویزان شده است. به طوری که این دو گلوله همیشه بصورت افقی قرار گرفته و محور آویز می تواند دوران کند. همچنین می توان بوسیله پیچ  $V$  محور آویز را حول نقطه  $O$  پرفراند و محل استقرار گلوله های  $N', N$  را تنظیم کرد. بر روی محور آویز آینه  $M$  که شعاع انحنای آن  $0.7\text{m}$  است قرار داده شده است. این آینه همراه با محور آویز حول آن محور دوران خواهد کرد. در زیر دستگاه دو پیچ ضامن  $P, P'$  قرار دارند که با پیماندن آنها در جهت عقربه های ساعت دو گلوله  $N', N$  ضامن و از حرکت و پرفش باز می مانند. بر روی محور دستگاه محل استقرار وزنه های  $1.5\text{kg}$  یعنی  $Z$  قرار دارد. توسط پیچ  $V'$  مکان محور  $Z$  را می توان تنظیم نمود. فاصله مراکز دو گلوله  $D', D$  نیز برابر  $2d = 0.1\text{m}$  می باشد.

### طرز سوار کردن ترازوی مساس پیمایشی:

ترازوی پیمایشی مساس را که پیچهای ضامن  $P', P$  آن دقیقاً بسته است ، بوسیله سره مربوطه روی فط کش نوری قرار دارد. همچنین گیرنده و فرستنده مادون قرمز IRPD بوسیله سره دیگری روی فط کش نوری نصب می نماییم، بطوری که فاصله صفحه جلویی دو وسیله از یکدیگر  $67\text{cm}$  باشد. یعنی IRPD در مرکز آینه مقعر قرار گیرد. ترازوی پیمایشی مساس بایستی کاملاً در مات شاقولی قرار گیرد. حال وزنه های  $1.5\text{kg}$  را در جای خود قرار می دهیم و آنرا چنان می پرفانیم که فط المرکزین آنها بر راستای دو وزنه  $N', N$  ترازوی پیمایشی مساس عمود باشند. همچنین گیرنده و فرستنده مادون قرمز را پس از اتصال به برق و کامپیوتر فعال می کنیم. پیچهای ضامن را آزاد می کنیم.

گشتاور ماند پیمایشی وارده بر وزنه های  $N', N$  بصورت :

$$\tau = 2F \times D$$

می باشد که در آن  $F$  نیروی گرانش بین گلوله  $D$  و وزنه  $N$  می باشد. و  $2d$  فاصله مراکز دو وزنه  $N', N$  ترازوی پیمایشی مساس است. بر اثر اعمال این گشتاور نیرو سیم  $\alpha$  به اندازه  $\alpha$  دوران پیدا می کند که اگر ضریب پیمایشی سیم را با  $k$  نمایش دهیم داریم:

$$\tau = -k\alpha$$

مطابق شکل پارامترهای مربوطه را بصورت زیر در نظر می گیریم:

$b=0.047m$  - فاصله بین مرکز گلوله  $K$  و وزنه  $N$

$S$  - مقدار انحراف دامنه تغییرات ثبت شده توسط کامپیوتر در دو حالت تعادل

$x$  - مقدار انحراف وزنه  $N$  در حالت تعادل.

$D$  - فاصله وزنه  $N$  از محور دوران ( $d=0.05m$ )

$L$  - فاصله آینه (محور آویز ترازوی پیمایشی مساس) تا IRDP ( $L=70cm$ )

$m_N$  - جرم هر یک از وزنه های  $N', N$  ( $0.0015kg$ )

$m_D$  - جرم هر یک از وزنه های  $D', D$  ( $1.5kg$ )

همانطور که در شکل دیده می شود وقتی پرتو تابش ثابت باشد و آینه به اندازه  $\alpha$  دوران کند ، پرتو باز تابش به اندازه  $2\alpha$  دوران می کند. در نتیجه با در نظر گرفتن اینکه زاویه  $\alpha$  کوچک می باشد داریم:

$$\frac{S'}{2} = L \tan \alpha \Rightarrow S' \cong 2L\alpha$$

$$\frac{x}{2} = \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)d \Rightarrow x \cong \alpha d$$

$\Rightarrow$

$$\frac{x}{d} = \frac{S'}{2L}$$

دوره تناوب نوسانات آونگ پیمایشی برای نوسانات کوچک از رابطه زیر بدست می آید:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{K}}$$

که در آن  $K$  ثابت پیمایش فنر و  $I$  گشتاور ماند دو وزنه  $N', N$  می باشد. و از این رابطه داریم:

$$K = \frac{4\pi^2 I}{T^2}$$

از طرفی داریم :

$$I = 2m_N d^2$$

که در آن از گشتاور ماند آینه و سیم صرف نظر می کنیم. پس خواهیم داشت:

$$K = \frac{8\pi^2 m_N d^2}{T^2}$$

و از آنجا که نیروی گرانش بین دو جرم از رابطه :

$$F = G \frac{m_N m_D}{b^2}$$

بدست می آید و داریم:

$$\tau = 2G \frac{m_N m_D}{b^2} d = K\alpha = \frac{8\pi^2 m_N d^2}{T^2} \times \frac{S'}{2L}$$

$$S = 2S'$$

⇒

$$G = \frac{\pi^2 b^2 d S}{m_D T^2 L}$$

روش آزمایش:

پس از سوار کردن ترازوی پیمایشی مساس و از نوسان افتادن آینه و قرار گرفتن تصویر بازتابی از آن روی IPRD، گلوله های سربی  $D, D'$  با آهستگی مول محور  $Z$  آن قدر دوران می دهیم تا به صفحه مماس ترازوی پیمایشی مساس مماس گردد. دوران مول محور  $Z$  آنچنان به آهستگی باشد صورت گیرد تا اثر ضربه بر ترازو مشاهده نشود. به علت نزدیک شدن گلوله ها به وزنه ها گشتاور ماند نیروی  $F$  بین دو جرم باعث پیچش وزنه ها و سیم آویز و آینه متصل به آن می شود و چون حرکت یک مدکت نوسانی میرا است، لکه های نورانی روی IPRD شروع به حرکت نوسانی می کند. و نمودار نوسان دامنه بر مسب زمان روی منمنی مشاهده می شود. پس از میرایی کامل وضعیت گلوله های سربی را به آهستگی مول محور  $Z$  در جهت مخالف حالت اول تغییر می دهیم، تا دوباره بر صفحه مماس ترازوی پیمایشی مساس مماس گردد. در این حالت منمنی تغییرات دامنه بر مسب زمان میرای جدیدی مانند شکل روی صفحه مانیتور مشاهده می شود. پس از انجام آزمایش و رسم نمودار دوره تناوب قله های منمنی اول ( $T_1$ ) و دوره تناوب قله های منمنی دوم ( $T_2$ ) را محاسبه کنیم. در نتیجه می توان دوره تناوب را از رابطه زیر محاسبه کنیم:

$$t_1 = n_1 T_1, t_2 = n_2 T_2$$

$$\bar{T} = \left( \frac{T_1 + T_2}{2} \right)$$

مقدار  $S$  نیز به روش ریشه میانگین مربعات قابل محاسبه است.

$$\bar{S}' = \sqrt{\frac{S_1'^2 + \dots + S_n'^2}{N}}$$

$$\bar{S}'' = \sqrt{\frac{S_1''^2 + \dots + S_n''^2}{N}}$$

$$S = |\bar{S}'' - \bar{S}'|$$

فواسته:

با مناسبه مقادیر T و S ، G را بدست می آوریم. در اینجا داریم:

$$t_1 = 4T_1 = (43.30 - 1.00) = 42.30 \Rightarrow T_1 = 10.575 \text{ min}$$

$$t_2 = 4T_2 = (123 - 80.30) = 42.70 \Rightarrow T_2 = 10.675 \text{ min}$$

$$\Rightarrow \bar{T} = \left(\frac{T_1 + T_2}{2}\right) = 10.625 \text{ min} = 637.5S$$

همچنین می توان با مراجعه به جدول با کم کردن S قله ها از هم S2 بدست می آید :

$$S_1' = 56.3mm$$

$$S_1'' = 74.8mm$$

$$S_2' = 48mm$$

$$S_2'' = 69.1mm$$

$$S_3' = 42.8mm$$

$$S_3'' = 66.5mm$$

$$S_4' = 39mm$$

$$S_4'' = 64mm$$

$$S_5' = 38.4mm$$

$$S_5'' = 62.7mm$$

$$\bar{S}' = \sqrt{\frac{S_1'^2 + \dots + S_n'^2}{N}} = \sqrt{\frac{3169.69 + 2304 + 1831.84 + 1521 + 1474.56}{5}} = \sqrt{\frac{10301.09}{5}} = 45.389624mm$$

$$\bar{S}'' = \sqrt{\frac{S_1''^2 + \dots + S_n''^2}{N}} = \sqrt{\frac{5595.04 + 4774.81 + 4422.25 + 4096 + 3931.29}{5}} = \sqrt{\frac{22819.39}{5}} = 67.55648007mm$$

$$S = |\bar{S}'' - \bar{S}'| = 22.16685607mm = 0.02216685607m$$

اکنون با استفاده از S و T بدست آمده و مقادیر داده شده و رابطه زیر G بدست می آید:

$$G = \frac{\pi^2 b^2 d S}{m_p T^2 L} = \frac{\pi^2 (0.047)^2 (0.05) S}{1.5 T^2 0.7} = \frac{0.001090097806 S}{1.05 T^2} = 5.662652221 \times 10^{-11}$$