دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
دانشکده فیزیک

بسمه تعالی

آزمایشگاه فیزیک پایه ۱

گزارش کار آزمایش شماره ۵

« سقوط آزاد وحرکت پرتابه »

گروه ۲

محمدرضا مهدیه

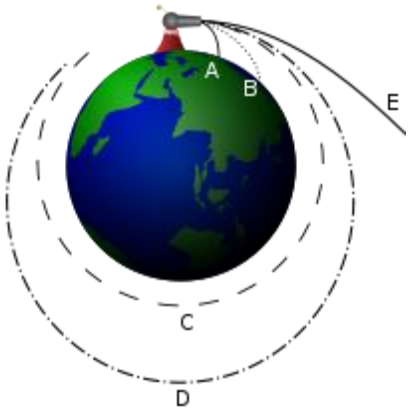
تاریخ آزمایش : ۱۳۹۰/۸/۸

تاریخ تحویل گزارش کار: ۱۳۹۰/۸/۱۵

استاد: آقای روزبه ترکی

تئوری آزمایش:

جاذبه یا به عبارت دقیقتر نیروی جاذبه نیرویی است که دو جسم را به طرف هم می‌کشد. این نیرو بین اجسام بزرگتر قویتر است. هر چه فاصله اجسام از هم بیشتر باشد، ضعیفتر عمل می‌کند .نیروی جاذبه زمین همه اشیاء سطح خود و یا نزدیک به سطح خود را به طرف مرکز خود می‌کشد. هرگاه یک توپ را به هوا پرتاب کنیم، توپ به زمین بر می‌گردد، این نیروی جاذبه است که آن را به طرف پایین می‌کشد و هر چه توپ را با نیروی بیشتری به هوا پرتاب کنیم، با همان نیرو به طرف زمین بر می‌گردد، و البته اگر بتوانیم با قدرت کافی آنرا پرتاب کنیم، می‌تواند از نیروی جاذبه زمین جدا شده و به فضا برود. برای بدست آوردن چنین نیرویی، به نیروی رانش موتور یک موشک نیاز داریم .



قانون نیوتن

فرضیه‌های اسحاق نیوتن در سال ۱۶۸۷ در کتابش با عنوان اصول ریاضی در فلسفه طبیعی منتشر شد. در این اثر ، او قانون عمومی جاذبه‌اش را اعلام کرد که در این جهان برای دو جرم کاربرد دارد. اسحاق نیوتن چنین محاسبه کرد که قدرت نیروی جاذبه میان ۲ جسم به سه عامل بستگی دارد: جرم آن دو جسم و فاصله میان مراکزشان. با فرمولهای ریاضی ، این قانون چنین بیان می‌شود:

$$F = Gm_1m_2/r^2$$

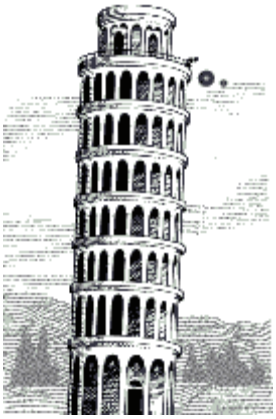
که F قدرت نیروی جاذبه ، m۲ ،m۱دو جرم و r فاصله میان مراکز دو جرم و G عدد ثابت یا ثابت عمومی جاذبه است. قانون عمومی جاذبه نشان می‌دهد که هر چه جرم دو جسم بیشتر و فاصله‌شان کمتر باشد، آنها بیشتر به طرف یکدیگر کشیده می‌شوند. رابطه آنها تحت تأثیر قانون عکس مجذور قرار دارد، که بیان می‌کند کشش میان دو جسم با مجذور فاصله آنها کاهش می‌یابد. اگر زمین دو برابر مسافت فعلی از خورشید فاصله داشت، شدت نیروی جاذبه میان این دو جسم یک چهارم می‌شد. اگر زمین ۵ برابر فاصله کنونی از خورشید دورتر بود، نیروی جاذبه ۲۵ برابر کاهش می‌یافت .

پایداری و فرار در میدان جاذبه

این نیروی جاذبه زمین است که یک ماهواره را در مدار زمین نگه می‌دارد. سرعت لازم برای رفتن به مدار اطراف ماه ۲۸۰۰۰ کیلومتر در ساعت (۱۷۵۰۰ مایل در ساعت) است .خارج شدن از مدار زمین و به فضا رفتن نیازمند سرعت بیشتری است که آن را سرعت گریز از نیروی می‌نامند.سرعت گریز از نیروی جاذبه زمین ۴۰۳۲۰ کیلومتر در ساعت (۲۵۰۰۰ مایل در ساعت) است. چون نیروی جاذبه هر یک از سیارات و همچنین ماه با سیاره دیگر متفاوت است.

برای مثال ، سرعت گریز از جاذبه ماه یک پنجم سرعت گریز از جاذبه زمین است .کاوشگری که از نیروی جاذبه زمین فرار می‌کند، در مدار خورشید باقی می‌ماند و این بخاطر نیروی جاذبه خورشید است. این کاوشگر اگر بخواهد از منظومه شمسی خارج شود، باید سرعتی متناسب با سرعت گریز از جاذبه خورشید داشته باشد.

سقوط آزاد :



هنگامی که جسمی از ارتفاعی رها شود، شتاب می‌گیرد و سرعتش از مقدار صفر افزایش مییابد. جالب توجه است که در خلا ، تمامی اجسام از قبیل سنگ ، پر ، قطرات باران و ذرات گرد و غبار بطور یکنواخت شتاب می‌گیرند و باهم به زمین می‌رسند. این قاعده صرفا به دلیل مقاومت هوا در مقابل سقوط اجسام ، که اثر آن بر «پر» مؤثرتر از اثر آن بر سنگ است، در زندگی روزمره که در محیط خلأ صورت نمی‌گیرد، صادق نیست .

شتاب حرکت سقوط آزاد

شتاب سقوط آزاد اجسام در خلا به طبیعت جسم بستگی ندارد. بلکه فقط به محل جسم بستگی دارد. این شتاب ثابت است و مقدار آن با شتاب گرانشی که با علامت g نشان داده می‌شود، برابر است که آن هم تحت عنوان شتاب ثقلی مطرح است و مقدار آن بر روی زمین برابر ۹.۸ m/s^2 می‌باشد .

سقوط آزاد چیست؟

برای اینکه سنگی آزادانه سقوط کند، لازم نیست که شما آنرا در امتداد قائم رها کنید. می توانید سنگ را به طرف بالا ، پایین یا به اطراف پرتاب کنید. به محض اینکه سنگ در هر جهتی اختیاری از دست شما رها شود، سقوط آزاد خواهد کرد. اگر سنگی را در امتداد قائم به طرف بالا با سرعت ۲۵ m/sپرتاب کنید ، چون شتاب به سمت پایین و در خلاف جهت سرعت است، سنگ بایستی در نقطه اوج حرکتش متوقف شده و برگردد. چون در حالت پایین آمدن شتاب در جهت حرکت است، سنگ سرعت می‌گیرد. اگر جسم در حال سکون ، خیلی سبک و یا سطح آن تخت باشد و یا اینکه از فاصله خیلی دور سقوط کرده باشد، مقاومت هوا قابل توجه می‌شود و شتاب جاذبه زمین در چنین حالتی متغیر می‌باشد .

آزمایش ساده

فرض کنید شخصی در پشت بام خانه ایستاده و توپی را در راستای افق پرتاب می‌کند. توپ بدون هیچگونه سرعتی در راستای قائم ، از دست شخص رها می‌شود. اما ، نیروی گرانشی اجازه نمی‌دهد که این وضعیت ادامه یابد. توپ بعد از رها شدن از دست شخص رها می‌شود. اما ، نیروی گرانشی اجازه نمی‌دهد که این وضعیت ادامه یابد. توپ بعد از رها شدن از دست شخص با شتاب ۹.۸ m/s۲به طرف پایین سرعت می‌گیرد و چون حرکت در امتداد قائم یک حرکت با شتاب یکنواخت است که از صفر شروع شده است، می‌توانیم از مجموعه معادلات استاندارد حرکت با شتاب ثابت استفاده کنیم .

معادلات حرکت سقوط آزاد

- معادله مکان حرکت سقوط آزاد جسم بر حسب زمان یک معادله سهمی شکل است که نقطه ماکزیمم (قله) سهمی در نقطه اوج جسم می‌باشد:

$$y = -gt^2/2 + V.t$$

در این معادله Y مکان جسم ، tزمان ، gشتاب جاذبه زمین و .V سرعت اولیه جسم می‌باشد.

- معادله سرعت حرکت سقوط آزاد بر حسب زمان یک معادله خطی است که تا نقطه اوج شیب خط منفی و حرکت کند شونده و از آن زمان به بعد حرکت شتابدار تند شونده با شیب مثبت می‌باشد:

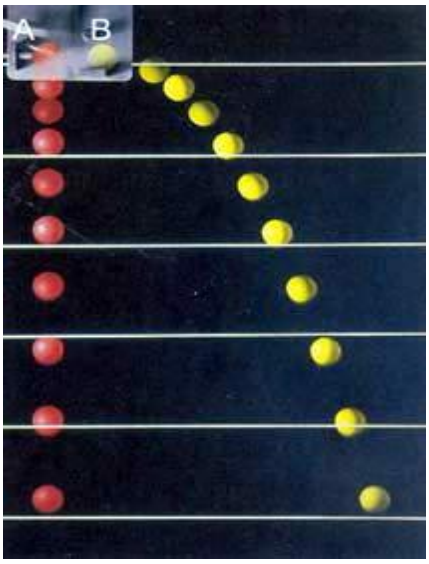
$$V = -gt + V.$$

در این معادله V سرعت حرکت جسم می‌باشد.

- معادله شتاب حرکت سقوط آزاد جسم مستقل از زمان بوده و در نزدیکی سطح زمین مقداری ثابت است و مقدار آن با دقت بالایی با شتاب گرانشی بر روی سطح زمین برابر است $a = g = ۹.۸ \ m/s^۲$.

- معادله نیرو در این حرکت همانند شتاب مستقل از زمان بوده و با نیروی وزن جسم برابر است:

$$F = ma = mg = ۹.۸ \ m/s^۲$$



- معادله مستقل از زمان حرکت سقوط آزاد :
در این معادله سرعت اولیه و نهایی ، ارتفاع سقوط و شتاب جاذبه در غیاب زمان به هم مربوط می‌شوند:

$$V^۲ - V.^۲ = -۲gy$$

مسایل کاربردی سقوط آزاد

از این نوع حرکت و معادلاتش در توجیه حرکت جسم افتان ، پرتاب موشک ، حرکت پرتابی ، حرکت گلوله توپ ، صعود و فرود هواپیما ، حرکت نوسانی سیستم جرم و فنر آویزان و غیره که هر کدام یا خودشان کاربردهای علمی پدیده‌اند و یا مکانیزم عملشان این حرکت را در خود دارد و جهت کنترل و داشتن سیستمی پایدار با بازده بالا از مفاهیم و معادلات این حرکت در آنها استفاده می‌شود .

حرکت پرتابی

حرکت پرتابی یکی از انواع حرکت با شتاب ثابت است که در یک مسیر خمیده انجام می‌شود. در این حرکت جسم پرتاب شده پس از طی مسیری روی منحنی فرضی در فاصله‌ای دورتر از محل پرتاب به زمین می‌رسد.

در حالت کلی هر حرکتی با شتاب و نوع مسیر حرکت مشخص می‌شود. به عنوان مثال ، در یک حرکت یکنواخت در امتداد خط راست که اصطلاحا *حرکت مستقیم‌الخط یکنواخت* گفته می‌شود، شتاب صفر بوده و مسیر حرکت یک خط راست می‌باشد. در تشریح انواع حرکت‌های شتابدار ، به دلیل سادگی ، حرکت با شتاب ثابت بیشتر مورد توجه است.

حرکت پرتابی یکی از انواع حرکت با شتاب ثابت است که در یک مسیر خمیده انجام می‌شود. حرکت ایده‌آل توپ چوگان یا توپ گلف نمونه‌ای از حرکت پرتابی است .

حرکت پرتابی در غیاب مقاومت هوا

اگر از مقاومت هوا صرف‌نظر کنیم، تنها نیرویی که بر جسم وارد می‌شود، نیروی گرانش است. این نیرو به خاطر میدان گرانش زمین ، شتاب ثابت و رو به پایین) g شتاب گرانشی (را بر جسم وارد می‌کند .بنابراین شتاب تنها یک مولفه قائم خواهد داشت و مولفه افق شتاب صفر خواهد بود .البته لازم به ذکر است که جهت سادگی شتاب گرانشی را ثابت اختیار می‌کنیم. چون نیروی گرانشی یک نیروی پایستار خواهد بود، بنابراین می‌توانیم یک نیروی پایستار تعریف کرده و هر جا که لازم شد، از قانون بقای انرژی استفاده کنیم.

اگر در فضای سه بعدی جهت g را در امتداد محور z ها اختیار کنیم، چون در امتداد محورهای x و y شتابی وجود ندارد، لذا حرکت در این دو امتداد یکنواخت خواهد بود و تنها در جهت محور z حرکت شتابدار خواهیم داشت. به این ترتیب می‌توانیم معادلات حرکت را تشکیل داده و در مورد مسیر حرکت و سایر پارامترهای دیگر که در امر حرکت دخالت دارند، پیشگویی کنیم. اگر معادلات حرکت را با استفاده از روشهای حل معادلات دیفرانسیل حل کنیم، معادله مسیر مشخص می‌شود. بنابراین ملاحظه می‌کنیم که مسیر حرکت یک سهمی خواهد بود .

حرکت پرتابی در حضور مقاومت هوا

در این حالت که تقریبا حالت واقعی‌تر حرکت یک پرتابه است، فرض می‌کنیم که مقاومت هوا به‌صورت یک نیروی تلف کننده بر پرتابه عمل کند. در این صورت حرکت پایا نبوده و در اثر آن اصطکاکی ناشی از مقاومت هوا ، انرژی کل بطور مداوم در حال کاهش می‌باشد. اگر برای سادگی فرض کنیم که نیروی مقاومت هوا به‌صورت خطی با سرعت تغییر کند، در این صورت دو نیرو بر پرتابه اثر می‌کند که یکی نیروی مقاومت هوا و دیگری نیروی گرانشی زمین است. بنابراین اگر معادلات حرکت را بنویسیم، در اینصورت در راستای سه محور مختصات شتاب خواهیم داشت.

حال اگر با استفاده روشهای حل معادلات دیفرانسیل ، معادلات حرکتی را حل کنیم، در این صورت به جوابهایی خواهیم رسید که توابعی نمایی از زمان هستند. در این حالت مسیر حرکت به‌صورت یک سهمی نیست، بلکه این مسیر به صورت منحنی است که زیر مسیر سهمی متناظر (حالت بدون مقاومت هوا) قرار دارد. البته لازم به ذکر است که در حرکت واقعی یک پرتابه در جو زمین ، قانون مقاومت هوا به صورت خطی نیست، بلکه به صورت تابع پیچیده‌ای از تندی است. با استفاده از روشهای انتگرال گیری عددی به کمک کامپیوترهای با سرعت بالا ، می‌توان محاسبات دقیق مسیر حرکت را انجام داد .

برد حرکت پرتابی

اصطلاحا واژه برد به مسافت افقی اطلاق می‌شود که پرتابه طی می‌کند تا به زمین برسد. بعد از حل معادلات حرکت و مشخص نمودن مولفه‌های حرکت در راستاهای مختلف ، در مؤلفه z حرکت $z = 0$ قرار داده و مقدار t را محاسبه می‌کنیم.

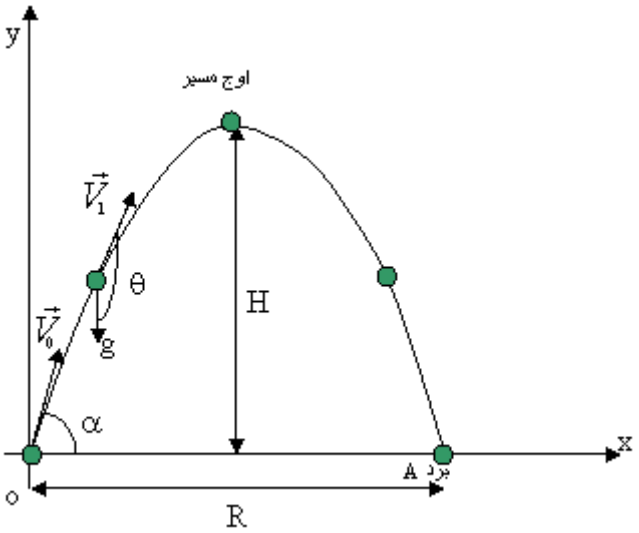
حال این مقدار t را در مولفه‌های x و y جایگذاری می‌کنیم. طبیعی است که جذر مربع مجموع مولفه‌های x و y حرکت ، برابر برد پرتابه خواهد بود .

کاربرد حرکت پرتابی

کاربرد حرکت پرتابی معمولا در موارد نظامی بیشتر از موارد دیگر است. به عنوان مثال ، دیدبان با استفاده از قوانین حرکت پرتابه مختصات محلی را که می‌خواهند بوسیله توپخانه هدف قرار دهند، تهیه می‌کند و آن را در اختیار افرادی که در کنار توپ قرار دارند، می‌دهد. سپس افراد دیگری این مختصات با تنظیم لوله توپ پیاده می‌کنند، حال اگر توپ شلیک شود، به هدف مورد نظر اصابت خواهد نمود .بنابراین حرکت پرتابی در امور نظامی و جنگی کاربرد فوق‌العاده مهمی دارد .

بررسی حرکت پرتابی و معادلات آن:

برای بررسی این حرکت محور ox رادر راستای افق ومحور ox رادر راستای g درنظر می گیریم.درنتیجه حرکت پرتابی رامیتوان به صورت ترکیب دو حرکت , یکی در راستای افق ودیگری درراستای قائم درنظرگرفت.راحت تراست که محل پرتاب جسم رانیز مبدا مختصات (x=۰ و y=۰)وجهت مثبت محور را به طرف بالا انتخاب کنیم. شکل زیرمسیر حرکت پرتابه راروی صفحه مختصاتxoy ,همراه بابردارشتاب $\vec{g}$ و نیزبردارسرعت اولیه جسم $\vec{V}_0$ که باافق زاویه a می سازد. نشان می دهد.دراین شکل مولفه های بردارشتاب $\vec{g}$ بارابطه های زیرداده می شوند:



a_x= ۰ , a_y=-g

مولفه های سرعت اولیه $\vec{V}_0$ نیز برابرندبا:

$V_{.x}$=v. cos a , $V_{.y}$=v. sin a

a_x=۰ است یعنی حرکت درراستای افقیx باسرعت ثابت V_x=v. cos a انجام می شود.بنابراین باتوجه به معادلات حرکت باشتاب ثابت خواهیم داشت:

x=(v. cos a)t

ثابتV_x=v. cos a =

شتاب درراستای قائم نیز برابرg – است نتیجه می شود:

$$y = -\frac{1}{2}gt^2 + (V_0 \sin\alpha)t$$

$$V_y = -gt + V_0 \sin\alpha$$

باحذفt بین معادلات حرکتxوyمعادله مسیر حرکت نیز به دست می أید:

$$t = \frac{x}{V_0 \cos\alpha}$$

$$y = -\frac{1}{2}g\left(\frac{x}{V_0 \cos\alpha}\right)^2 + (V_0 \sin\alpha)\frac{x}{V_0 \cos\alpha}$$

رابطه بالانشان می دهدکه مسیر حرکت پرتابی درشرائط خلا'سهمی است.(معادله فوق رابامعادله سهمی $y = Ax^2 + bx + c$ مقایسه کنید که درآ ن ثابت $A = \frac{g}{2V^2{}_0 \cos^2\alpha}$ و B=tan a ثابت هستند).درحرکت پرتابی فاصله افقی ای راکه پرتابه طی می کندتا دوباره به ارتفاع اولیه پرتاب برگردد , برد پرتابه می نامند و آنرابا نماد R نشان می دهند.مختصات نقطه بازگشت به ارتفاع اولیه باتوجه به این که (X=R و Y=۰)است,بااستفاده ازمعادله مسیربرابر خواهدبودبا:

$$O = \frac{-gR^2}{2V^2{}_0 \cos^2\alpha} + R\tan\alpha$$

$$R = \frac{V^2{}_0 \sin 2\alpha}{g}$$

نقطه اوج نیزدرحرکت پرتابی,بالاترین نقطه ایست که پرتابه به أن می رسد.سرعت درراستای محور درنقطه اوج صفر است زیرابردارسرعت که همواره برمسیرمماس است دراین نقطه افقی است ومولفه ای درراستای قائم ندارد.خواهیم داشت : (با توجه به معادله y)

زمان رسیدن به تقطه اوج زمان $t = \frac{V_0 \sin\alpha}{g}$ باجایگذاری این زمان درمعادله y ,ارتفاع نقطه اوج نیزبه دست می أید:

$$H = \frac{V_0^2 \sin^2\alpha}{g}$$

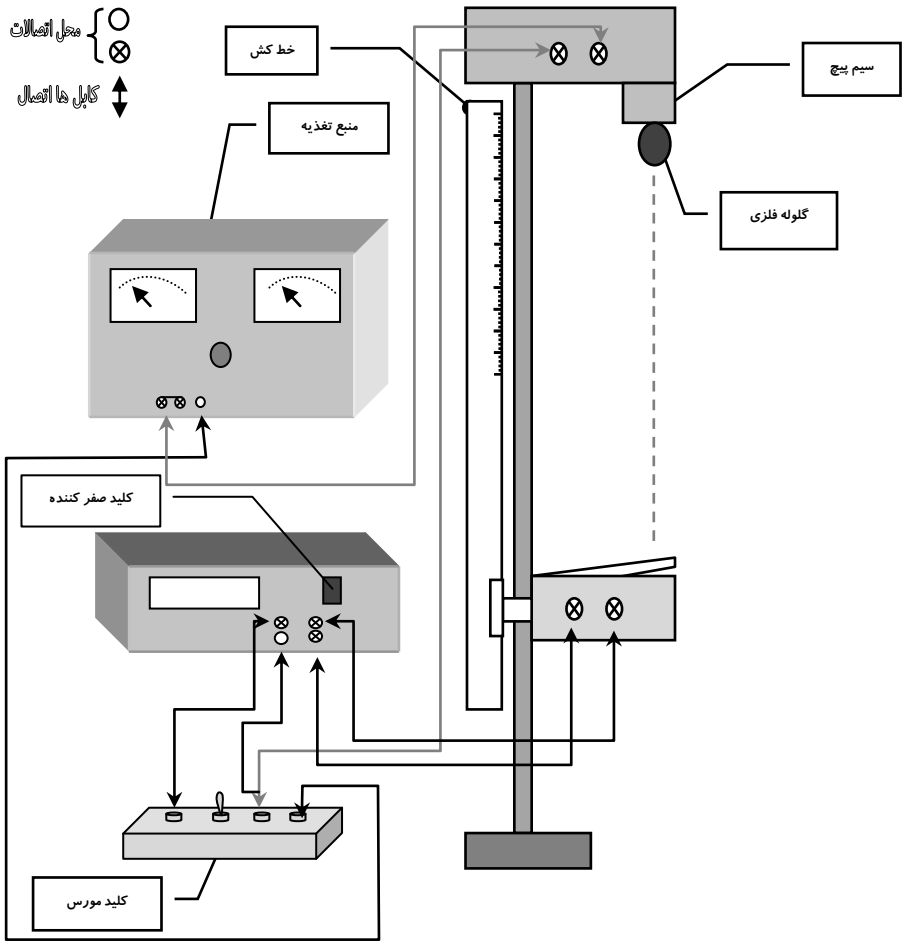
اگرمعادلات حرکت پرتابی مایل رابامعادلات حرکت پرتابی درراستای قائم مقایسه کنید شباهت کامل أنها راملاحظه خواهیدکردبااین تفاوت که درحرکت پرتابی مایل به مقدار V۰ ضریب sina نیزاضافه می شود.

اگر پرتاب افقی و به زیر سطح باشد برد پرتابه از رابطه ی زیر حاصل می شود : $R = V_0\sqrt{\frac{2h}{g}}$

وسایل آزمایش:

دستگاه سقوط آزاد ، کلید مورس ، کرنومتر الکتریکی ، منبع تغذیه ، خط کش قائم و شاخص، گلوله فلزی ، متر فلزی، دستگاه حرکت پرتابه ای، کاربن

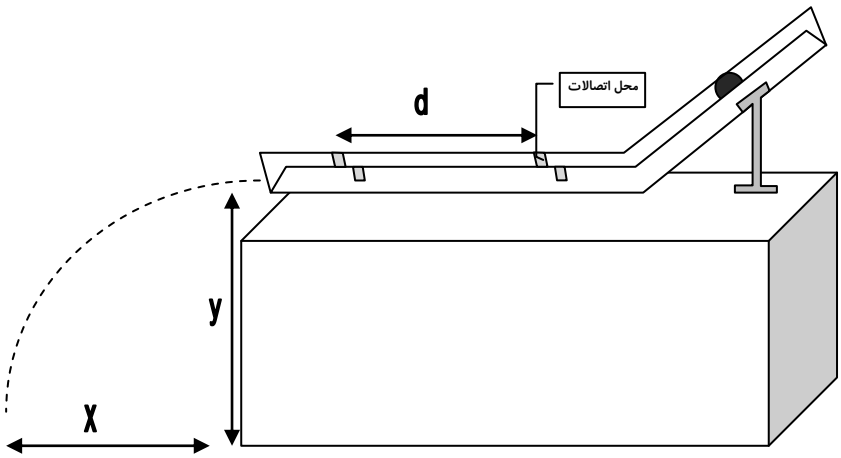
شرح عملی آزمایش:



قسمت ۱)سقوط آزاد:

ابتدا دستگاه سقوط آزاد و کرنومتر مانند شکل مقابل بسته شد سپس مقدار ولتاژ منبع در حدی قرار داده شد که گلوله ، لغزشی برای جدا شدن انجام دهد. سپس کلید مورس زده می شود تا علامتی به کرنومتر داده شود و در همین لحظه نیز گلوله رها می شود و با برخورد با حسگر محل فرود ، علامتی دیگر به کرنومتر ارسال می شود و با عث توقف آن می گردد. حال زمان سقوط و ارتفاع سقوط را در جدول (۱) یادداشت شد.این مرحله برای چهار ارتفاع متفاوت و برای هر ارتفاع سه بار اندازه گیری شد.

قسمت۲)حرکت پرتابه افقی:



ابتدا دستگاه مطابق شکل روبرو بسته شد. سپس گلوله روی سطح شیب دار قرار گرفت وسپس رها شد. گلوله با رسیدن به اولین اتصالات به کرنومتر علامت داده و کرنومتر شروع به کار می کند و رسیدن به اتصال دوم کرنومتر متوقف شد که این زمان و فاصله d در جدول (۲) ثبت شد. گلوله بعد از عبور از اتصال دوم به لبه میز می رسد و یک حرکت پرتابه

افقی انجام می دهد که مقدار برد و ارتفاع میز نیز اندازه گیری و در همان جدول به ثبت رسید .این مرحله نیز چهار مرتبه انجام شد.

جداول:

y(mm)	۸۲۸	۷۹۱	۶۹۱	۴۹۱
Δy(mm)	۱	۱	۱	۱
t_1(ms)	۴۰۹	۴۰۰	۳۷۳	۳۱۷
t_2(ms)	۴۱۱	۳۹۵	۳۷۳	۳۱۸
t_3(ms)	۴۱۰	۳۹۸	۳۷۴	۳۱۴
t_m(ms)	۴۱۰	۳۹۷.۷	۳۷۳.۳	۳۱۶.۳
$t^2_m(s)^2$	۰.۱۶۸۱	۰.۱۵۸۰۸۵۸	۰.۱۳۹۳۵۲۹	۰.۱۰۰۰۴۵۷
Δt_m(ms)	۲	۳.۷	۱.۷	۳.۳
$\Delta t^2_m(ms^2)$	۱.۶۴	۲.۹۴۲	۱.۲۶۹	۲.۰۸۷

جدول (۱)

d(cm)	t'(ms)	v=d/t'(m/s)	y(cm)	x(cm)	$g = \frac{2v_0^2 y}{x^2}(m/s^2)$
۶۳.۵	۵۲۵	۱.۲۱	۹۱.۸	۵۰.۲	۱۰.۶۶
۶۳.۵	۵۶۴	۱.۱۳	۹۱.۸	۴۶.۵	۱۰.۷۶
۶۳.۵	۴۸۷	۱.۳۰	۹۱.۸	۵۴.۷	۱۰.۴۳
۶۳.۵	۱۲۴۵	۰.۵۱	۹۱.۸	۱۹.۵	۱۲.۵۶

جدول (۲)

محاسبات و خطاها:

قسمت ۱)

برای مقدار زمان میانگین داریم:

$$t_{m۱} = \frac{t_۱ + t_۲ + t_۳}{۳} = \frac{۴۰۹ + ۴۱۱ + ۴۱۰}{۳} = ۴۱۰ \text{ ms}$$

$$t_{m۲} = \frac{t_۱ + t_۲ + t_۳}{۳} = \frac{۴۰۰ + ۳۹۵ + ۳۹۸}{۳} = ۳۹۷.۶۶ \text{ ms}$$

$$t_{m۳} = \frac{t_۱ + t_۲ + t_۳}{۳} = \frac{۳۷۳ + ۳۷۳ + ۳۷۴}{۳} = ۳۷۳.۳۳ \text{ ms}$$

$$t_{m۴} = \frac{t_۱ + t_۲ + t_۳}{۳} = \frac{۳۱۷ + ۳۱۸ + ۳۱۴}{۳} = ۳۱۶.۳ \text{ ms}$$

که برای مجذور زمان نیز داریم:

$$t^۲_{m۱} = (۴۱۰ \times ۱۰^{-۳})^۲ = ۰.۱۶۸۱ \text{ s}^۲ \qquad t^۲_{m۲} = (۳۹۷.۷ \times ۱۰^{-۳})^۲ = ۰.۱۵۸۰۸۵۸ \text{ s}^۲$$

$$t^۲_{m۳} = (۳۷۳.۳ \times ۱۰^{-۳})^۲ = ۰.۱۳۹۳۵۲۹ \text{ s}^۲ \qquad t^۲_{m۴} = (۳۱۶.۳ \times ۱۰^{-۳})^۲ = ۰.۱۰۰۰۴۵۷ \text{s}^۲$$

با توجه به اینکه برای رسم نمودار به خطای مجذور زمان نیازمندیم در جدول ردیف دیگری به آن اختصاص می دهیم و آنرا نیز محاسبه می کنیم.

حال کافی است از $t^۲_m$ دیفرانسیل بگیریم که خواهیم داشت:

$$d(t_m^۲) = ۲t_m dt_m \Longrightarrow \Delta t_m^۲ = ۲t_m \Delta t_m$$

برای خطای Δt_m داریم:

$$\delta t_{m۱} = max\{|t_i - t_m|\} = max\{|۴۰۹ - ۴۱۰|, |۴۱۱ - ۴۱۰|, |۴۱۰ - ۴۱۰|\} = max\{۱,۱,۰\} = ۱ \; ms$$

$$\delta t_{m۲} = \max\{|t_i - t_m|\} = \max\{|۴۰۰ - ۳۹۷.۷|, |۳۹۸ - ۳۹۷.۷|, |۳۹۵ - ۳۹۷.۷|\} = \max\{۲.۳,۰.۳,۲.۷\} = ۲.۷ \text{ ms}$$

$$\delta t_{m۳} = \max\{|t_i - t_m|\} = \max\{|۳۷۳ - ۳۷۳.۳|, |۳۷۳ - ۳۷۳.۳|, |۳۷۴ - ۳۷۳.۳|\} = \max\{۰.۳,۰.۳,۰.۷\} = ۰.۷ \text{ ms}$$

$$\delta t_{m۴} = \max\{|t_i - t_m|\} = \max\{|۳۱۷ - ۳۱۶.۳|, |۳۱۸ - ۳۱۶.۳|, |۳۱۴ - ۳۱۶.۳|\} = \max\{۰.۷,۱.۷,۲.۳\} = ۲.۳ \text{ ms}$$

$$\Delta t_m = \text{خطای آزمایشگر} + \text{خطای دستگاه اندازه گیری}$$

$$\Delta t_{m۱} = ۱ \text{ ms} + ۱\text{ms} = ۲ \text{ ms} \qquad \Delta t_{m۲} = ۱ \text{ ms} + ۲.۷\text{ms} = ۳.۷ \text{ ms}$$

$\Delta t_{m۳} = ۱\ \text{ms} + ۰.۷\text{ms} = ۱.۷\ \text{ms}$ $\Delta t_{m۴} = ۱\ \text{ms} + ۲.۳\text{ms} = ۳.۳\ \text{ms}$

$\Delta t_{m۱}^{۲} = ۲t_{m۱}\Delta t_{m۱} = ۲ \times ۴۱۰m \times ۲m = ۱.۶۴\ ms^{۲}$ $\Delta t_{m۲}^{۲} = ۲t_{m۲}\Delta t_{m۲} = ۲ \times ۳۹۷.۷m \times ۳.۷m = ۲.۹۴۲\ ms^{۲}$

$\Delta t_{m۳}^{۲} = ۲t_{m۳}\Delta t_{m۳} = ۲ \times ۳۷۳.۳m \times ۱.۷m = ۱.۲۶۹\ ms^{۲}$ $\Delta t_{m۴}^{۲} = ۲t_{m۴}\Delta t_{m۴} = ۲ \times ۳۱۶.۳m \times ۳.۳m = ۲.۰۸۷\ ms^{۲}$

مقدار g از روی بهترین، کمترین و بیشترین شیب به شرح زیر است(نمودار به صورت ضمیمه پیوست شده است.)

(نکته: چون نمودار برحسب $t^{۲}$ به y است پس شیب دو برابر نسبت عکس آن است پس به صورت ظاهری در این نمودار شیب بیشتر مقدار g کمتر وشیب کمتر مقدار g بیشتری را دربر می گیرد)

$$g = \frac{۲y}{t^{۲}}$$

بهترین شیب $g = \frac{۲(y_۲ - y_۱)}{(t_۲^{۲} - t_۱^{۲})} = \frac{۲(۰.۹۵ - ۰.۴)}{(۱۸۰ - ۷۳.۳) \times ۱۰^{-۳}} = ۱۰.۳۰\ m/s^{۲}$

کمترین شیب $g = \frac{۲(y_۲ - y_۱)}{(t_۲^{۲} - t_۱^{۲})} = \frac{۲(۰.۹۰۱ - ۰.۴۸۱)}{(۱۶۶.۴۶ - ۱۰۲.۱۳۲) \times ۱۰^{-۳}} = ۱۳.۰۵\ m/s^{۲}$

بیشترین شیب $g = \frac{۲(y_۲ - y_۱)}{(t_۲^{۲} - t_۱^{۲})} = \frac{۲(۰.۶۹ - ۰.۴۹۲)}{(۱۴۰.۶۲۱ - ۹۷.۹۷۵۸) \times ۱۰^{-۳}} = ۹.۲۸\ m/s^{۲}$

$$g_m = \frac{g_۱ + g_۲ + g_۳}{۳} = ۱۰.۸۸\ m/s^{۲}$$

$$\delta_g = max\{|g_i - g_m|\} = max\{|۱۰.۳۰ - ۱۰.۸۸|, |۱۳.۰۵ - ۱۰.۸۸|, |۹.۲۸ - ۱۰.۸۸|\} = max\{۰.۵۸, ۲.۱۷, ۱.۶\}$$
$$= ۲.۱۷\ m/s^{۲}$$

قسمت ۲)

برای محاسبه سرعت داریم:

$$v = \frac{d}{t} \Longrightarrow v_۱ = \frac{۶۳.۵ \times ۱۰^{-۲}}{۵۲۵ \times ۱۰^{-۳}} = ۱.۲۱ m/s \quad v_۲ = \frac{۶۳.۵ \times ۱۰^{-۲}}{۵۶۴ \times ۱۰^{-۳}} = ۱.۱۳\ m/s \quad v_۳ = \frac{۶۳.۵ \times ۱۰^{-۲}}{۴۸۷ \times ۱۰^{-۳}} = ۱.۳۰\ m/s$$

$$v_۴ = \frac{۶۳.۵ \times ۱۰^{-۲}}{۱۲۴۵ \times ۱۰^{-۳}} = ۰.۵۱\ m/s$$

و برای مقدار g داریم:

$$g = \frac{۲v^{۲}y}{x^{۲}} \Longrightarrow g_۱ = \frac{۲(۱.۲۱)^{۲} ۹۱.۸ \times ۱۰^{-۲}}{(۵۰.۲ \times ۱۰^{-۲})^{۲}} = ۱۰.۶۶\ m/s^{۲} \qquad g_۲ = \frac{۲(۱.۱۳)^{۲} ۹۱.۸ \times ۱۰^{-۲}}{(۴۶.۵ \times ۱۰^{-۲})^{۲}} = ۱۰.۷۶ m/s^{۲}$$

$$g_۳ = \frac{۲(۱.۳۰)^{۲} ۹۱.۸ \times ۱۰^{-۲}}{(۵۴.۷ \times ۱۰^{-۲})^{۲}} = ۱۰.۴۳\ m/s^{۲} \qquad g_۴ = \frac{۲(۰.۵۱)^{۲} ۹۱.۸ \times ۱۰^{-۲}}{(۱۹.۵ \times ۱۰^{-۲})^{۲}} = ۱۲.۵۶\ m/s^{۲}$$

$$g_m = \frac{g_۱ + g_۲ + g_۳ + g_۴}{۴} = ۱۱.۱۰\ m/s^{۲}$$

$$\delta_g = max\{|g_i - g_m|\} = max\{|۱۰.۶۶ - ۱۱.۱۰|, |۱۰.۷۶ - ۱۱.۱۰|, |۱۰.۴۳ - ۱۱.۱۰|, |۱۲.۵۶ - ۱۱.۱۰|\}$$
$$= max\{۰.۴۴, ۰.۳۴, ۰.۶۷, ۱.۴۶\} = ۱.۴۶\ m/s^{۲}$$

نتیجه گیری:

همانطور که مشخص شد می توان به کمک دو نوع حرکت پرتابی و سقوط آزاد مقدار شتاب گرانش را بدست آورد که کم و بیش در هردو آزمایش این مقدار برابر است.

پرسشها:

۱. آیا جنس و اندازه گلوله در سقوط آزاد تاثیری دارد؟ توضیح دهید.

خیر. در هیچ کدام از موارد بالا نه به جنس گلوله اشاره ای شد و نه به اندازه آن . بلکه آنچه مهم بود زمان سقوط و یا مسافت طی شده است که رابطه ای با جنس یا اندازه آن ندارد.(هرچند اگر گلوله بزرگتر و یا سبک تر گردد نیروی مقاومت هوا موثر تر خواهد شد).

۲. کار کلید مورس در سقوط آزاد چیست؟

هرگاه ولتاژ به قدری کم می شد که گلوله در آستانه حرکت قرار می گرفت کلید مورس به سمت چپ کشیده می شدو بااین کار همان لحظه گلوله رها شده و همچنین هم زمان یک علامت به دستگاه کرنومتر ارسال می شود که باعث شروع به کار انداختن آن می شود و هنگامی که گلوله به حسگر پایین برخورد میکرد مجددا علامتی به کرنومتر ارسال می شد که باعث توقف کرنومتر می گردید. پس کار کلید مورس فرستادن علامت جهت شروع حرکت سقوط آزاد است.

۳. جنس و اندازه گلوله در حرکت پرتابه افقی چه تاثیری دارد؟

در این حرکت چون جسم با سطح شیب دار تماس دارد پس عامل مهم دیگری در این آزمایش باعث ایجاد خطا می شود و آن اصطکاک است که هم به اندازه سطح تماس بستگی دارد و هم به جنس گلوله.(همچنین هنگام پرتاب نیز مقاومت هوا مانند سقوط آزاد موثر خواهد بود).

۴. آیا در قسمت اول حرکت پرتابه ای استفاده از فرمول $V=d/t'$ صحیح است؟

اگر شرای ایده آل باشد می توان از این فرمول استفاده کرد . ولی در حالت کلی باید مقدار اصطکاک نیز در این فرآیند محاسبه می شد.(اگر اصطکاک حساب بشود دیگر حرکت یکنواخت نخواهد بود و شتابدار با شتاب منفی خواهد بود(در سطح مستقیم d))

۵. کدامیک از دو روش آزمایش برای تعیین g دقیقتر است؟چرا؟

در هردو آزمایش خطاهایی موجود می باشد مثلاً در آزمایش اول تنظیم دقیق ولتاژ برای اینکه گلوله در حدی قرار گیرد که در آستانه حرکت قرار گیرد و یا در نظر نگرفتن مقاومت هوا و همچنین حساس نبودن حسگر و.. و هم چنین در آزمایش دوم وجود اصطکاک سطحی ودر قسمت بعد آن اصطکاک هوا و حتی تراز نبودن دقیق افقی حرکت گلوله و... .

ولی در حالت کلی به دلیل کم بودن اصطکاک و نبودن خطای تنظیم افقی می توان گفت آزمایش اول دقیقتر از آزمایش دوم می باشد.