

آزمایش ۴: بررسی قوانین نیوتون با استفاده از ماشین آتوود

هدف: بررسی حرکت‌های با سرعت ثابت و شتاب ثابت.

طبق قانون اول نیوتون، اگر برآیند نیروهای وارد به یک جسم در حال حرکت صفر باشد، جسم با سرعت

ثابت به حرکت خود ادامه خواهد داد.

رابطه‌ی مربوط به قانون دوم نیوتون به صورت زیر است:

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (1)$$

بر اساس قانون دوم نیوتون اگر به یک جسم نیروی ثابتی (\vec{F}) اعمال شود، آن جسم در جهت نیرو با شتاب ثابت

(\vec{a}) حرکت خواهد کرد و اندازه‌ی شتاب متناسب با اندازه‌ی نیروی وارد شده به جسم بوده و با جرم جسم (m)

رابطه‌ی عکس دارد.

معادله‌ی حرکت یک جسم که با شتاب ثابت a ، مکان y_0 تا y را با سرعت اولیه‌ی v_0 در مدت زمان t

طی می‌کند، به صورت زیر است:

$$y = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + y_0 \quad (2)$$

در صورتی که جسم با یک سرعت ثابت (شتاب صفر) حرکت کند، معادله‌ی حرکت آن به صورت زیر خواهد بود:

$$y = v_0t + y_0 \quad (3)$$

در این آزمایش برای بررسی حرکت با سرعت ثابت و شتاب ثابت از ماشین آتوود استفاده می‌کنیم. همان‌طور

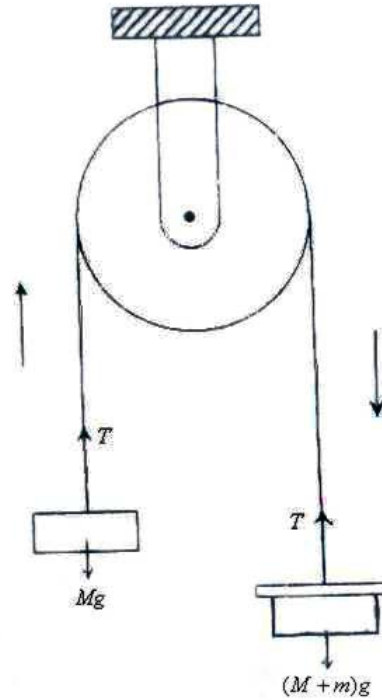
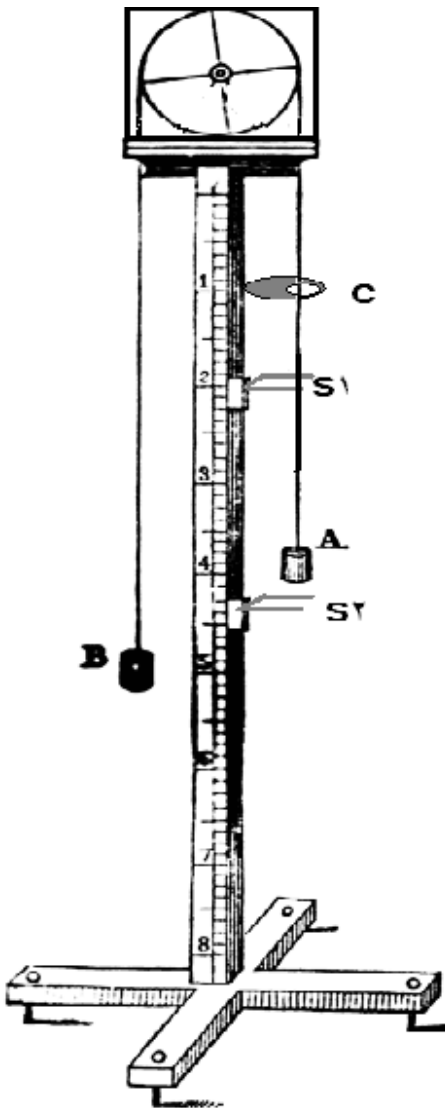
که در شکل نشان داده شده است، دو جرم یکسان M توسط نخ سبکی که از روی یک قرقره می‌گذرد، به

یکدیگر متصل شده‌اند و دستگاه در حالت تعادل قرار دارد. اگر سرباری به جرم m را بر روی یکی از جرم‌ها قرار

دهیم، آن جرم در اثر نیروی وزن این سربار، با شتابی که متناسب با جرم سربار است، شروع به حرکت می‌کند.

فرض می‌کنیم که قرقره و نخ بدون جرم هستند و قرقره آزادانه حرکت می‌کند و هیچ مقاومتی در مقابل حرکت

نخ ایجاد نمی‌کند. در این شرایط، نخ، صرفاً نیرو را از یک طرف قرقره به طرف دیگر منتقل می‌کند. در نتیجه، دو نیروی کشش نخ T با هم برابر خواهند بود.



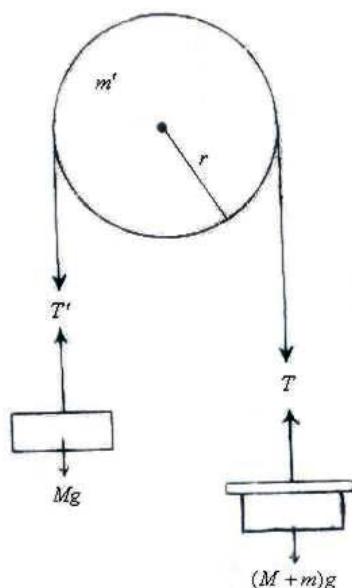
با توجه به یکسان بودن شتاب هر دو جسم که یکی به طرف بالا و

دیگری به طرف پایین حرکت می‌کند، می‌توان معادلات حاکم بر حرکت این جرم‌ها را به صورت زیر نوشت:

$$\begin{cases} (m + M)g - T = (m + M)a \\ T - Mg = Ma \end{cases}$$

$$\Rightarrow a = \frac{mg}{2M + m}$$

(۴)



حال اگر از جرم قرقره (m') صرف نظر نکنیم، نیروی کشش نخ در دو طرف قرقره با هم برابر نخواهند بود و شتاب حرکت از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$a = \frac{mg}{2M + m + \frac{1}{2}m'} \quad (5)$$

آزمایش اول: بررسی حرکت با سرعت ثابت

برای ایجاد یک حرکت با سرعت ثابت غیرصفر ابتدا باید یک حرکت شتابدار ایجاد کرده و در ادامه شرایط را برای حرکت با سرعت ثابت فراهم کنیم. برای این منظور، از تعدادی چوب دایره‌ای شکافدار به عنوان سرباره بر روی یکی از جرم‌ها استفاده می‌کنیم. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، جرم A و B یکسان خواهند بود و سرباره‌ای که روی جرم A قرار می‌گیرد، بعد از عبور جرم A از دایره‌ی c ، جدا شده و بعد از آن جرم A با همان سرعتی که تا قبل از جدا شدن از سرباره پیدا کرده است، به حرکت خود ادامه خواهد داد. مقدار این سرعت به جرم سرباره و همچنین به فاصله‌ی رها کردن جسم تا جدا کننده‌ی سرباره (دایره‌ی c) بستگی دارد. بعد از جدا کننده‌ی سرباره دو سنسور قرار داده می‌شود که به یک زمان‌سنج متصل می‌باشند. این زمان‌سنج از نوع $start - stop$ است که در آن سنسور اولی به $start$ و سنسور دومی به $stop$ متصل می‌شود، تا زمان حرکت جسم بین دو سنسور اندازه‌گیری شود.

روش انجام آزمایش اول:

- ۱- ماشین آتوود را تراز کنید.
- ۲- دو وزنه‌ی ۱۰۰ گرمی را به دو سر نخ‌ی که از قرقره‌ی ماشین آتوود عبور کرده است، متصل کنید.
- ۳- سرباره‌ها را به یکی از جرم‌ها اضافه کرده و دستگاه را به گونه‌ای تنظیم کنید که جرم همراه با سرباره، بالای دایره‌ی c و در همان راستای سنسورها قرار گیرد.
- ۴- جرم دیگر را در یک نقطه‌ی مشخصی نگه دارید و بعد آن را رها کنید، تا یک حرکت با سرعت ثابت بین دو سنسور ایجاد شود.
- ۵- زمان ثبت شده توسط دستگاه را همراه با فاصله‌ی بین دو سنسور یادداشت کنید.
- ۶- با تغییر موقعیت سنسور دوم و قرار دادن آن در فواصل ۴۰، ۶۰ و ۸۰ سانتی‌متری از سنسور اول آزمایش را تکرار کنید.
- ۷- با توجه به رابطه‌ی مربوط به معادله‌ی حرکت با سرعت ثابت، سرعت را در هر حالت به دست آورید و میانگین‌گیری کنید.
- ۸- میزان خطای اندازه‌گیری سرعت را برای هر یک از حالتها به دست آورید و میانگین‌گیری کنید.
- ۹- میانگین سرعت به دست آمده را همراه با میانگین خطای آن بنویسید.

| $(y \pm \Delta y) m$ | $(t \pm \Delta t) s$ | $v (m / s)$ | $\Delta v = v \left(\frac{\Delta y}{y} + \frac{\Delta t}{t} \right)$ |
|--------------------------------------|----------------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 0.4 ± 0.005 | | | |
| 0.6 ± 0.005 | | | |
| 0.8 ± 0.005 | | | |
| $(\bar{v} \pm \bar{\Delta v}) m / s$ | | | |

- ۱۰- نمودار y (فاصله‌ی بین دو سنسور) برحسب t را رسم نموده و از روی شیب نمودار، سرعت را همراه با خطای آن به دست آورید.

آزمایش دوم: بررسی حرکت با شتاب ثابت

در این حالت از دو وزنه‌ی متفاوت استفاده کرده و نیازی به جدا کننده‌ی سرباره نخواهیم داشت.

روش انجام آزمایش دوم:

- ۱- دو وزنه‌ی ۱۰۰ گرمی و (۱۰۰+۲۵) گرمی را به دو سر نخ‌ها متصل کنید.
- ۲- دستگاه را به گونه‌ای تنظیم کنید که جرم ۱۲۵ گرمی در آستانه‌ی سنسور اول قرار گیرد.
- ۳- جرم دیگر را در یک نقطه‌ی مشخص نگه دارید و بعد آن را رها کنید تا یک حرکت با شتاب ثابت بین دو سنسور ایجاد شود.
- ۴- زمان ثبت شده توسط دستگاه را همراه با فاصله‌ی بین دو سنسور یادداشت کنید.
- ۵- با تغییر موقعیت سنسور دوم و قرار دادن آن در فواصل ۴۰، ۶۰ و ۸۰ سانتی‌متری از سنسور اول آزمایش را تکرار کنید.
- ۶- با توجه به رابطه‌ی مربوط به معادله‌ی حرکت با شتاب ثابت، شتاب را در هر حالت به دست آورید و میانگین‌گیری کنید.
- ۷- با استفاده از فرمول (۴) شتاب را در حالت تئوری به دست آورده و با مقداری که از طریق آزمایش به دست آورده‌اید، مقایسه کرده و درصد اختلاف را تعیین کنید.
- ۸- نمودار y (فاصله‌ی بین دو سنسور) بر حسب $\frac{1}{2}t^2$ را رسم نموده و از روی شیب نمودار، شتاب را همراه با خطای آن مطابق روش مطرح شده در ابتدای دستور کار به دست آورید.

| $y(m)$ | $t(s)$ | $a_{\text{exp}}(m/s^2)$ | $\bar{a}_{\text{exp}}(m/s^2)$ | $m(gr)$ | $M(gr)$ | $a_{\text{Theory}}(m/s^2)$ |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------|-------------------------|-------------------------------|---------|---------|----------------------------|
| 0.4 | | | | | | |
| 0.6 | | | | | | |
| 0.8 | | | | | | |
| $\frac{ a_{\text{Theory}} - \bar{a}_{\text{exp}} }{a_{\text{Theory}}} \times 100$ | | | | | | |

سؤالات

۱- رابطه‌ی (۵) را به دست آورید؟

۲- با فرض اینکه از جرم قرقره صرف نظر نکنیم، مقدار شتاب تئوری را با توجه به رابطه‌ی (۵) به دست

آورید، و آن را با مقدار تجربی مقایسه کنید؟