آزمایش شماره ۲ : ماشین آتوود

هدف آزمایش : تحقیق اصول دینامیک در حرکت یک بعدی ($\sum F = ma$).

وسایل مورد نیاز ماشین آتود – وزنه ها مختلف – دو عدد چشم نوری – کرنومتر الکترونیکی و سیم ها رابط – صفحه مانع – صفحه جذف کننده سربار (سربار گیر) .

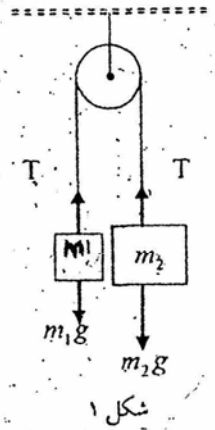
قوانین نیوتن ، سنگ بنای فیزیک کلاسیک و از مبناهای پیشرفت امروزی بشر محسوب می شوند . سه قانون نیوتن به طور مختصر در زیر بیان شده اند :

- **قانون اول نیوتن** بیان می کند چنانچه به جسم ، نیروی خالص خارجی وارد نشود ، جسم وضعیت خود را حفظ می کند یعنی اگر ساکن است ، ساکن باقی می ماند و اگر در حال حرکت مستقیم الخط با سرعت ثابتی مثل V است با همین سرعت به پیش می رود . به همین دلیل به قانون اول نیوتن ، قانون لختی یا اصل ماند نیز گفته می شود .
- **قانون دوم نیوتن** عنوان می کند هرگاه به نقطه ای مادی ♣ به جرم m نیروی خالص $\vec{F}$ وارد شود ، آن جرم شتابی می گیرد که مقدار و راستای آن از رابطه $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ بدست می آید . قانون دوم نیوتن بصورت $\sum \vec{F} = m\vec{a}$ بیان می شود .
- **قانون سوم نیوتن** (قانون عمل و عکس العمل) بیان می کند چنانچه به جسم ، نیروی $\vec{F}$ وارد شود ، جسم نیز نیرویی به همان اندازه و در خلاف جهت آن ، به عامل نیرو وارد می کند .

آزمایش ۱- بررسی صحت قانون دوم نیوتن

در آزمایش زیر می خواهیم درستی رابطه $\sum \vec{F} = m\vec{a}$ را با استفاده از ماشین آتوود تحقیق کنیم . شکل مقابل نمایی از سیستم ماشین آتوود رانشان میدهد که از قرقره ، محور ، ریسمان و جرم های متصل به آن تشکیل شده است .

بر جرمهای m_1 و m_2 نیروی mg از طرف زمین و کشش ریسمان (T) وارد می شود . این نیروها که از مرکز جرم اجسام می گذرند در شکل نشان داده شده اند . در حالت یک بعدی با استفاده از قانون دوم نیوتن ($\sum \vec{F} = m\vec{a}$) می توان نوشت :



شکل ۱

m_1 برای جرم : $T - m_1 g = m_1 a$ ①

m_2 برای جرم : $m_2 g - T = m_2 a$ ②

از روابط ۱و۲ خواهیم داشت :

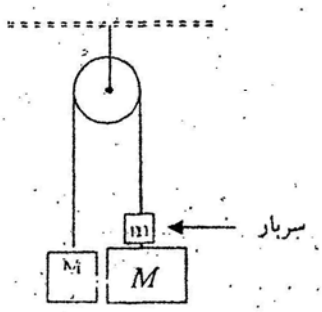
$$a = \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2}\right) g \quad ③$$

♣ در عالم واقعیت ، جرم نقطه ای وجود ندارد ولی میتوان فرض کرد تمام جرم جسم در نقطه ای که مرکز جرم جسم نامیده می شود قرار دارد . مرکز جرم جسم را با محاسبه یا آزمایش می توان مشخص کرد .

از رابطه ۳ مشاهده می شود که همواره a<g است یعنی m_2 با شتابی کمتر از شتاب در حالت سقوط آزاد به سمت پائین حرکت می کند . علت این مسئله ، لختی جرم m_1 است که مانع از سقوط آزاد جرم m_1 می شود .

اگر در شکل ۱ ، $m_1 = M$ و $m_2 = M + m$ باشد (یعنی وزنه سمت راست به اندازه m سنگین تر از چپی باشد) ، رابطه ۳ می توان به صورت زیر نوشت :

$$a = \frac{mg}{2M + m} \quad (4)$$



شکل ۲

به جرم m اصطلاحاً سربار گفته می شود .

بامعلوم بودن g ، اگر بتوانیم a را باآزمایش انداز بگیریم و مقداز به دست آمده در رابطه ۴ صدق کند ، رابطه $\sum \vec{F} = m\vec{a}$ محقق می شود .

نکته :

رابطه ۴ به شرطی با واقعیت موافق خواهد بود که شرایط کاملاً ایده آل باشد . در عمل هیچ وقت شرایط ایده آل و آرمانی وجود ندارد . در زیر به مواردی اشاره خواهیم کرد که در سیستم ماشین آتوود واقعی وجود دارند ، اما در محاسبات ابتدائی بالا منظور نشده اند :

۱) قرقره دارای جرم است و انرژی جنبشی دورانی آن بخشی از انرژی جنبشی سیستم است در محاسبات بالا نادیده گرفته شده است .

۲) ریسمان دارای جرم است که باعث می شود کشش ریسمان (T) در طول ریسمان ثابت نباشد و در ضمن انرژی جنبشی ریسمان نیز وارد مسئله می شود .

۳) بین قرقره و محور دوران ، اصطکاک وجود دارد که باعث اتلاف ، انرژی به صورت حرارتی می شود . وجود اصطکاک بین قرقره و محور باعث می شود که کشش ریسمان در دو طرف قرقره یکی نباشد .

۴) بین وزنه ها و هوا اصطکاک وجود دارد که باعث اتلاف انرژی می شود .

در تمامی آزمایشات ، نکاتی از این قبیل وجود دارند که باید کشف شوند و مورد تجزیه تحلیل قرار گیرند :

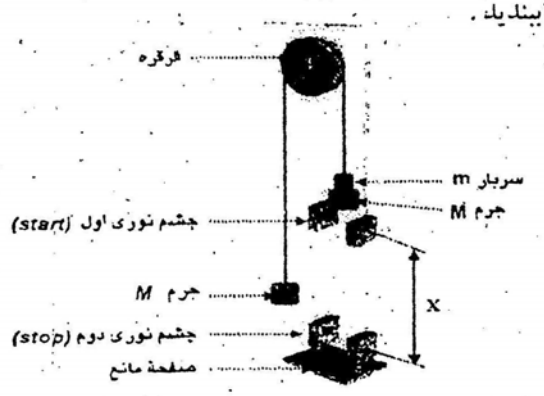
- برخی از این موارد بسته به دقت آزمایش قابل صرف نظر کردن هستند . مثلاً می توان از اصطکاک هوا صرف نظر کرد . یا ریسمان را بدون جرم فرض کرد .
- اما بعضی موارد ممکن است خطای قابل ملاحظه ای در محاسبات ایجاد کنند که در اینصورت باید در فرمول منظور شوند به عنوان مثال نمی توان وجود اصطکاک بین قرقره و محور را نادیده گرفت .
- می توان اثر برخی از این موارد را کم کرد مثلاً قرقره را از جنس سبک ساخت .

آزمایش ۱ را به دو فرم انجام می دهیم :

- در آزمایش ۱- الف با صرف نظر کردن از تمام موارد فوق ، به تحقیق رابطه ۴ می پردازیم .(یعنی فرض می کنیم شرایط کاملاً ایده آل است) .
- در آزمایش ۱- ب اصطکاک بین قرقره و محور را منظور می کنیم .(یعنی یکی از موارد واقعی را وارد مسئله می کنیم).

آزمایش ۱- الف

۱- مطابق شکل مقابل ، وزنه های یکسان M را به دو طرف ریسمان ببندید .



۲- برای خود مبدأ حرکتی مشخص کنید و چشم نوری اول را در این مکان طوری قرار دهید تا وزنه بتواند به راحتی از میان آن عبور کند .

۳- چشم نوری دوم را به فاصله x از اولی قرار دهید .

۴- توسط سیم های رابط ، چشم اول را به ورودی start کرنومتر متصل کنید و چشم دوم را به ورودی stop کرنومتر متصل کنید.

۵- بعداز چشم دوم صفحه مانع را قرار دهید تا وزنه بعداز عبور از چشم دوم متوقف شود.

۶- یک وزنه اضافی (m) که اصطلاحاً سربار نامیده می شود ، به وزنه سمت راستی اضافه کنید .

۷- می خواهیم حرکت از مبدأ و با سرعت اولیه $V_0 = 0$ آغاز شود، لذا وزنه سمت راستی را با دست در محل مبدأ و درست قبل از چشم نوری نگه دارید . با رها کردن وزنه ، حرکت با سرعت اولیه $V_0 = 0$ آغاز می شود .در نخستین گام چشم نوری اول تحریک شده وکرنومتر شروع به کار می کند . وزنه ، پس از پیمودن مسافت x ، چشم دوم را متأثر می کند که باعث توقف کرنومتر می شود . مدت زمان سقوط را از روی کرنومتر خوانده و یادداشت کنید .

۸- با استفاده از رابطه $x = \frac{1}{2}at^2$ مقدار a را بدست آورید $a = \frac{2x}{t^2}$.

۹- آزمایش را به ازاء طولهای مختلف انجام دهید و برای دقت بیشتر به ازاء هر x ، سه بار زمان را اندازه بگیرید و نتایج را در جدول زیر یادداشت کنید :

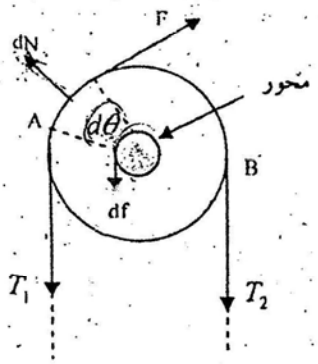
$X(cm)$	$t_1(\text{sec})$	$t_2(\text{sec})$	$t_3(\text{sec})$	$\bar{t} = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3}$	$\bar{t}^2$

۱۰- منحنی X بر حسب t^2 را رسم کرده (شیب خط برابر $\frac{1}{2}a$ خواهد بود) سپس a بدست آورید.

۱۱- مقدار اندازه گیری شده برای a را با رابطه ۴ مقایسه کنید ، در صورت برابر بودن ، درستی قانون دوم $\left(\sum \vec{F} = m\vec{a}\right)$ محقق می شود .

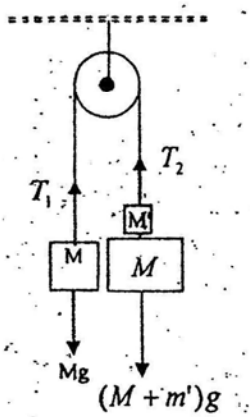
چون شرایط آزمایش واقعاً ایده آل نیست لذا مقدار اندازه گیری شده در توافق با رابطه ۴ نخواهد بود .

بررسی آزمایش الف با در نظر گرفتن نیروی اصطکاک



آزمایش الف را این بار با در نظر گرفتن نیروی اصطکاک بین قرقره و محور بررسی می کنیم . المان کوچکی از قرقره را مطابق شکل مقابل در نظر بگیرید بر این المان ،نیروهای $\vec{T}_1$ و $\vec{F}$ از طرف ریسمان ، نیروی عمودی dN ازطرف محور و نیروی اصطکاک df (بین قرقره و محور) وارد می شود . اگر المان در حال تعادل باشد . و $d\theta \to 0$ ، آنگاه $F \approx T_1 + df$ و اگر جزء به جزاز نقطه A تا کشش ریسمان را حساب کنیم ، $T_2 \approx T_1 + f$ خواهند بود .دراین رابطه f ، کل نیروی اصطکاک وارد شده بر قرقره از A تا B است .

در آزمایش ، نخست مقدار نیروی اصطکاک (f) را بدست آورده و سپس با داشتن f ، مقدار a در آزمایش الف را محاسبه کنید .

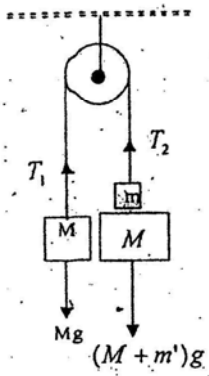


مطابق شکل مقابل ، دو طرف ریسمان جرم یکسان M را بیاویزید و مقدار سربار m' را آنقدر تغییر دهید تا با یک ضربه انگشت به وزنه حرکت یکنواخت انجام شود . دراین حالت ، سیستم در حال تعادل دینامیک است و خواهیم داشت :

$$T_1 = Mg$$
$$T_2 = (M+m')g$$
$$T_2 = T_1 + f \Rightarrow (M+m')g = Mg + f \Rightarrow f = m'g \quad ⑤$$

با کمک این روش ، مقدار f را اندازه بگیرید و یاداشت کنید .

حالا آزمایش الف را با در نظر گرفتن نیروی اصطکاک بررسی می کنیم . نیروهای وارد شده بر وزنه ها در شکل نشان داده شده اند .



برای وزنه سمت چپ : $T_1 - Mg = Ma$ ⑥

برای وزنه سمت راست : $(M+m)g - T_2 = (M+m)a$

$T_2 = T_1 + f \Rightarrow (M+m)g - (T_1 + f) = (M+m)a$ ⑦

از روابط ۶ و ۷ داریم :

$$a = \frac{mg - f}{2M + m}$$ ⑧

مقدار اندازه گیری شده a که در آزمایش الف بدست آوردیم را با رابطه ۸ مقایسه کنید . این مقادیر باید به هم نزدیکتر شده باشند ، بنابراین قانون دوم نیوتن درست است .(رابطه ۸ در واقع فرم کاملتر رابطه ۴ است) .