

Ověření zákona zachování mechanické energie na nakloněné rovině

Vítězslav Nečas

Výstup RVP: žák měří vybrané veličiny vhodnými metodami, zpracuje a vyhodnotí výsledky měření, analyzuje zákon zachování mechanické energie na nakloněné rovině

Klíčová slova: rychlost, výška, potenciální energie, rotační kinetická energie, translační kinetická energie, celková mechanická energie

Laboratorní práce

Doba na přípravu:

5 min

Doba na provedení:

90 min

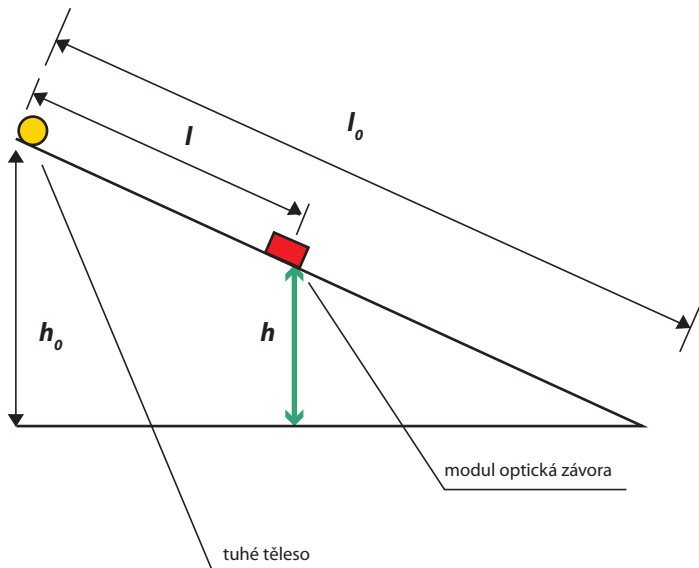
Obtížnost:

střední

Úkol Sestrojte graf závislosti potenciální (E_p), kinetické (E_k) a celkové mechanické (E_c) energie na dráze, kterou urazí ocelová kulička při pohybu na nakloněné rovině. Na základě získaných závislostí ověřte platnost zákona zachování mechanické energie. Data zpracujte v MS Excel.

Pomůcky Posuvné měřidlo, ocelová kulička, nakloněná rovina, experimentální měřicí systém Vernier – optická závora (Photogate), LabQuest, digitální váhy.

Teoretický úvod Umístěním kuličky do horní části nakloněné roviny kulička získá potenciální energii. Po uvolnění kuličky se zvyšuje její kinetická energie na úkor energie potenciální (kulička se valí dolů). Pokud platí zákon zachování mechanické energie, musí být ve kterémkoliv místě na nakloněné rovině součet potenciální, kinetické rotační a kinetické translační energie konstantní.



Celková energie E_c :

$E_c = E_p + E_{kt} + E_{kr}$, kde E_p je potenciální energie, E_{kt} kinetická translační a E_{kr} kinetická energie rotační. Pro moment setrvačnosti koule J platí vztah $J = \frac{2}{5} mr^2$, kde r je poloměr koule a m její hmotnost.

$$E_{kt} = \frac{1}{2} mv^2,$$

$$E_{kr} = \frac{1}{2} J\omega^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{5} mr^2 \cdot \left(\frac{v}{r}\right)^2 = \frac{1}{5} mv^2,$$

Ověření zákona zachování mechanické energie na nakloněné rovině

Okamžitou rychlost v získáme z doby zakrytí paprsku u optické závory, kterou vložíme kuličku do cesty v místě, kde chceme okamžitou rychlost měřit. Ze získaných hodnot času můžeme vypočítat okamžitou rychlost kuličky:

$v = \frac{d}{t}$, kde d je průměr kuličky a t doba zatmění paprsku u optické závory (hodnoty znamenají v LabQuestu). Snadno tak můžeme získat hodnotu kinetické energie kuličky v kterémkoliv místě na nakloněné rovině.

Potenciální energii získáme následujícím výpočtem (použité veličiny viz obrázek výše):

$$E_p = mgh = m \cdot g \cdot h_0 \cdot \left(1 - \frac{l}{l_0}\right)$$

Připravíme si nakloněnou rovinu, změříme její výšku a délku. Určíme hmotnost a průměr kuličky.

Vypracování Kuličku při každém měření pouštíme z nejvyššího bodu. Její rychlost pak měříme v deseti místech nakloněné roviny (optickou závoru posouváme po 15 cm). Hodnoty doby zatmění paprsku vyčteme po ukončení všech měření z tabulky v LabQuestu.

Optickou závoru připojíme k LabQuestu do kanálu DIG 1. V případě použití počítače připojíme LabQuest k počítači za pomoci USB kabelu.

Před měřením ověříme, že je okénko pro paprsek v optické závoře otevřené, a ověříme funkčnost závory (*blocked* při zatemnění, *unblocked* při odtemnění).

Není třeba nic nastavovat (v LabQuestu ani v počítači), zajímat nás budou pouze časové údaje v tabulce. Doba zatemnění paprsku při daném měření určíme odečtením hodnoty času, kdy byla závora blokována (*blocked*) a odblokována (*unblocked*). Tyto hodnoty přeneseme do tabulky (viz níže). Další výpočty a tvorba grafů probíhají standardním způsobem v Excelu.

Výsledky a výpočty

$h_0 =$ m

$l_0 =$ m

$d =$ m

$m =$ kg

n	l (m)	h (m)	Δt (s)	v (m.s ⁻¹)	E_p (J)	E_{kt} (J)	E_{kr} (J)	E_k (J)	E_c (J)
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

Sestrojte grafy E_{kr} , E_p , E_c v závislosti na délce l .

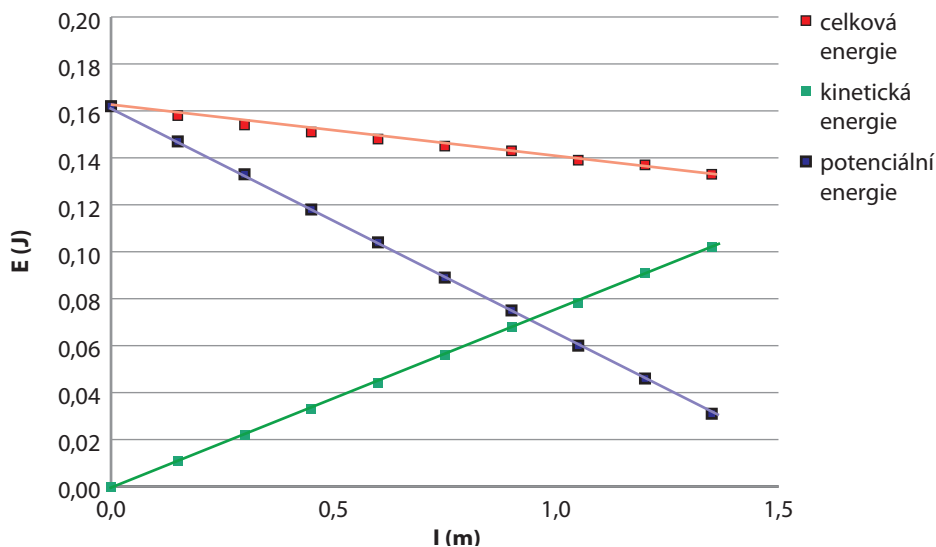
Ověření zákona zachování mechanické energie na nakloněné rovině

Vítězslav Nečas

Ukázka výsledků $h_0 = 0,25$ m, $l_0 = 1,67$ m
 $d = 0,0223$ m, $m = 0,095$ kg

l (m)	t (s)	v (m.s ⁻¹)	E_p (J)	$E_{kr} + E_{kt}$ (J)	E_c (J)
0	0	0	0,162	0	0,162
0,15	0,046	0,482	0,147	0,011	0,158
0,3	0,033	0,685	0,133	0,022	0,154
0,45	0,026	0,844	0,118	0,033	0,151
0,6	0,023	0,981	0,104	0,044	0,148
0,75	0,02	1,099	0,089	0,056	0,145
0,9	0,018	1,213	0,075	0,068	0,143
1,05	0,017	1,303	0,06	0,078	0,139
1,2	0,016	1,405	0,046	0,091	0,137
1,35	0,015	1,487	0,031	0,102	0,133

Graf energie kuličky na nakloněné rovině



Pozor při měření délky l_0 . Pokud je h_0 výška horního okraje desky, nejde pouze o délku samotné desky! Studenti zapomínají, že ve spodní části musíme měřit délku získanou prodloužením desky až na podložku, nikoliv pouze *délku* desky.

Poznámky Ideální je, pokud má kulička stejný poloměr, jako je vzdálenost paprsku optické závory od podložky (8,5 mm). Ukazuje se však, že drobná odchylka má na výsledky měření pouze malý vliv, je tedy možné tuto nepřesnost někdy zanedbat.

Například při použití kuličky o poloměru 13 mm je ve výšce 8,5 mm nad nakloněnou rovinou vzdálenost, která zatmívá paprsek optické závory, 24,4 mm ($2 \cdot \sqrt{13^2 - 4,5^2}$) namísto chybně uvažovaných 26 mm. V tomto případě je chyba již 6 %, je tedy vhodné použít tuto již vypočtenou hodnotu, nikoliv pouze průměr. S šikovnými studenty je možné při výpočtu uvažovat i tuto skutečnost a měření tak zpřesnit. Je třeba si však uvědomit, kterým směrem tato chyba výsledek posouvá – celková energie se touto korekcí ještě sníží, tedy úbytek celkové mechanické energie je ve skutečnosti ještě větší, než vyplývá z měření (viz výše).