23. ročník, úloha IV . 4 ... *Terka skáče* *!!! chybí statistiky !!!*

Terka skáče z metrové zídky. Na začátku má ruce natažené zvednuté nad hlavu, během pádu ruce ale spouští. O kolik takto zmenší svou rychlost při dopadu? Kvalifikovaně odhadněte hmotnost, zrychlení a rychlost Terčiných rukou, jakožto i další potřebné parametry jejího těla, a úlohu vyřešte. *Honilo se hlavou Terce při seskoku padákem.*

Bez ohledu na to, zda Terka hýbe či nehýbe rukama, její těžiště se pohybuje směrem dolů se zrychlením g, protože gravitace je jedinou vnější silou (odpor vzduchu jako tradičně zanedbáváme). Pohybem rukou dolů způsobíme, že se trup i nohy pohybují směrem vzhůru vůči těžišti těla a dopad je tak zmírněn.

Zkoumejme Terku ve volně padající soustavě S'. V této soustavě nepozorujeme žádné vnější síly a situace se jeví jako v beztížném stavu. Poloha těžiště vůči S' je proto stálá a musí platit

$$m_\mathrm{r} v'_\mathrm{r} + m_\mathrm{T} v'_\mathrm{T} = 0\,,$$

kde v'_r a v'_z jsou po řadě rychlosti těžiště rukou a zbytku těla v S' a m_r, m_z hmotnosti rukou a zbytku těla. Rychlost rukou v'_r budeme pro jednoduchost považovat za konstantní. Odtud máme

$$v'_\mathrm{z} = -\frac{m_\mathrm{r}}{m_\mathrm{z}} v'_\mathrm{r}\,,$$

přičemž polohová souřadnice přibývá ve směru pádu.

Rychlost těžiště celého těla v momentě dopadu na zem je

$$v_\mathrm{T} = \sqrt{2g(h+\Delta)}\,,$$

kde h je výška zídky a Δ je rozdíl polohy těžiště před skokem a po dopadu vyplývající ze spuštění rukou.

Rychlost v_z zbytku těla bez rukou, v soustavě spojené se zemí, je dána vztahem

$$v_\mathrm{z} = v_\mathrm{T} + v'_\mathrm{z} = \sqrt{2g(h+\Delta)} - \frac{m_\mathrm{r}}{m_\mathrm{z}} v'_\mathrm{r}\,.$$

Poměr rukama „ztlumené“ rychlosti dopadu vůči neztlumené rychlosti $v_\mathrm{n} = \sqrt{2gh}$ je po malých úpravách

$$\frac{v_\mathrm{z}}{v_\mathrm{n}} = \sqrt{1+\frac{\Delta}{h}} - \frac{\frac{m_\mathrm{r}}{m_\mathrm{z}} v'_\mathrm{r}}{\sqrt{2gh}}$$

Nyní již stačí dosadit vhodné realistické hodnoty, například $h = 1\,\mathrm{m}$, $\Delta = 5\,\mathrm{cm}$, $v'_\mathrm{r} = 3\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$, $m_\mathrm{r}/m_\mathrm{z} = 0{,}1$, a vypočítat

$$\frac{v_\mathrm{z}}{v_\mathrm{n}} \approx 0{,}95\,.$$

Zbrždění není úplně zanedbatelné. Pro ztlumení nárazu je výhodné minimalizovat Δ a maximalizovat v'_r, tedy krátce a rychle mávnout rukama ve chvíli dopadu. Vetšina řešitelů uvádí řádově podobné hodnoty zpomalení, které samozřejmě silně závisí na zvolených parametrech.

Marek Scholz
`mara@fykos.mff.cuni.cz`

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty UK MFF. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci UK MFF a podporován Ústavem teoretické fyziky UK MFF, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.