

Impuls síly

Vojtěch Beneš

Výstup RVP: žák měří vybrané veličiny vhodnými metodami, zpracuje a vyhodnotí výsledky měření, určí v konkrétních situacích síly působící na těleso, určí výslednici sil, využívá Newtonovy pohybové zákony k předvídání pohybu těles

Klíčová slova: síla, hmotnost, Newtonovy zákony, hybnost, impuls síly

Příprava na hodinu

Doba na přípravu:

5 min

Doba na provedení:

20 min

Obtížnost:

střední

Úkol Na základě měření průběhu síly při odrazu zjistěte, do jaké výšky člověk vyskočí.

Pomůcky Počítač s programem Logger Pro připojený na dataprojektor, LabQuest, plošný siloměr (Force Plate)

Teoretický úvod Podle 2. Newtonova zákona je výslednice sil působících na těleso rovna změně hybnosti za čas $\sum \vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$.

Změnu hybnosti při odrazu vypočítáme podle vztahu $\Delta \vec{p} = \sum \vec{F} \cdot \Delta t$.

Výraz $\sum \vec{F} \cdot \Delta t$ se nazývá *impuls síly*, má jednotku N·s a vyjadřuje časový účinek síly. Není-li síla konstantní, určíme impuls síly jako integrál $\int \vec{F} \cdot dt$ (plocha pod křivkou).

Aktivita si klade za cíl ukázat praktické použití 2. NZ ve tvaru $\sum \vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$. Bylo by výborné diskutovat studenty přivést k tomu, aby jeden z nich položil následující základní otázku:

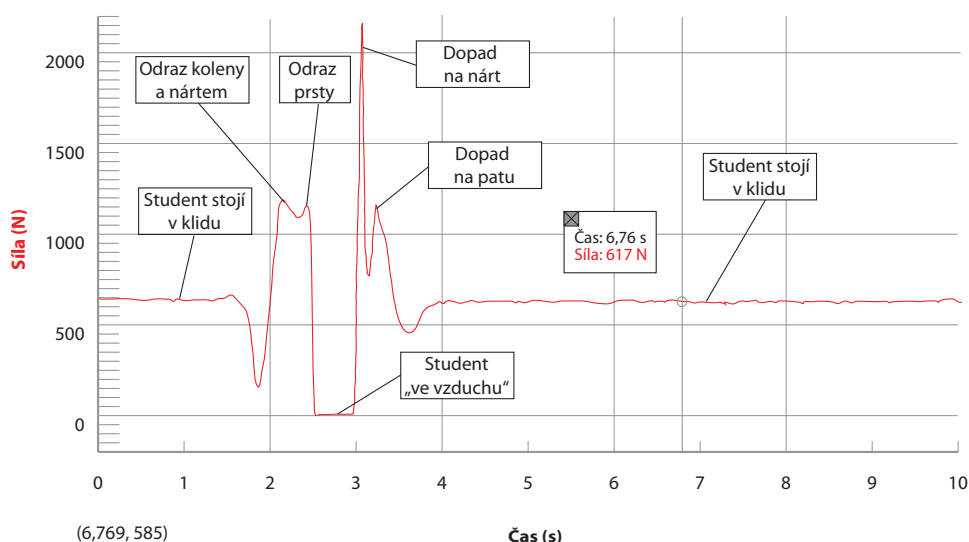
Víme-li, jakou silou se člověk odrazí od země, je možné předpovědět, do jaké výšky vyskočí?

Vypracování Zjištění síly při odrazu

Plošný siloměr zapojíme do LabQuestu, ten propojíme s USB portem počítače. V programu Logger Pro v menu **Experiment** → **Sběr dat** nastavíme dobu měření 10 s a vzorkovací frekvenci 50 Hz. Siloměr před měřením vynulujeme (**Experiment** → **Nulovat...**).

Dobrovolníka z řad studentů požádáme, aby se postavil na siloměr a asi 3 s po spuštění měření se odrazil a vyskočil snožmo co nejvyš.

Průběh síly při výskoku snožmo



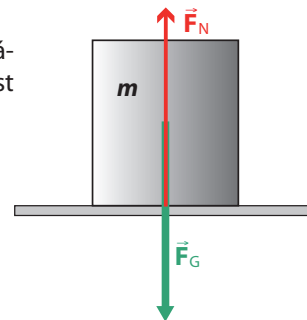
Impuls síly

Analýza sil

Během odrazu působí na studenta dvě síly: tíhová F_G a normálová F_N . Plošný siloměr ukazuje velikost normálové síly. Velikost výslednice sil $F = |F_N - F_G|$.

Stojí-li student v klidu, $F_G = F_N = 617$ N (viz graf).

Jeho hmotnost je $m = 63$ kg.



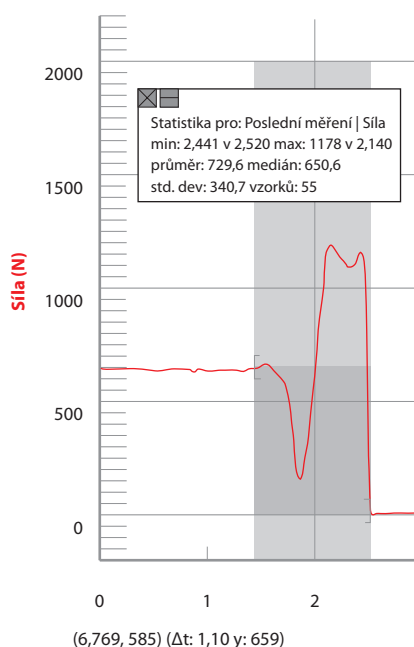
Hybnost po odrazu

Hybnost těsně po odrazu $\Delta p = (\vec{F}_N + \vec{F}_G) \cdot \Delta t$.

Pro velikosti $\Delta p = p - 0 = (F_N - F_G) \Delta t$, takže $p = (F_N - F_G) \Delta t$.

Normálová síla F_N se během odrazu mění, do vzorce dosadíme průměrnou hodnotu (integrální průměr).

V grafu (viz níže) označíme myší oblast odpovídající odrazu a v menu **Analýza** zvolíme **Statistika**.

Určení
průměrné
normálové
síly odrazu

Celková doba odrazu $\Delta t = 1,10$ s,

maximální normálová síla při odrazu $F_{Nmax} = 1178$ N,

průměrná normálová síla během odrazu $F_{Nstř} = 730$ N,

hybnost po odrazu $p = (730 - 617) \cdot 1,10 = 124$ kg·m/s.

Výška výskoku

Platí $p = m \cdot v$, takže rychlost těžiště po výskoku je $v = 124/63 = 1,97$ m/s.

Z kinematických vztahů snadno odvodíme, že výška výskoku je

$$h = \frac{v^2}{2g} = \frac{1,97^2}{2 \cdot 9,81} = 0,20 \text{ m} = 20 \text{ cm}.$$

Poznámky Během výskoku není lidské tělo tuhé těleso; poloha těžiště se mění v závislosti na tom, co dělají ruce a nohy. Navíc výskok snožmo z klidu není energeticky nejvýhodnější způsob, jak se dostat co nejvýš. Získaný výsledek není v rozporu s tím, že basketbalista dosáhne na koš (rozběh, natažení rukou).

Výšku výskoku lze (snadněji) určit i z doby, po kterou je člověk ve vzduchu. Toto ovšem není pedagogickým záměrem.