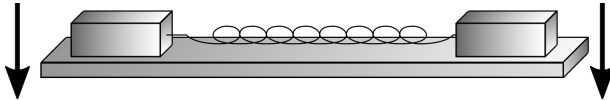


## Úloha IV.3 ... Padající pružinka

5 bodů; průměr 3,73; řešilo 45 studentů

Eva jednou potkala Petra a chtěla mu ukázat nejnovější pokus demonstrující třecí sílu. Na desku s nalepeným brusným papírem položila dva kvádry, mezi kterými napnula pružinku bez toho, aby se kvádry na desce pohnuly.

Eva ale nepatří mezi ty nejšikovnější a deska s kvádry jí vypadla z rukou a začala padat k zemi (viz obrázek 1). K Evinu překvapení se ale kvádry na desce začaly během pádu pohybovat. Popište, jakým směrem se kvádry rozpochovaly a vysvětlete, jak je něco takového možné.



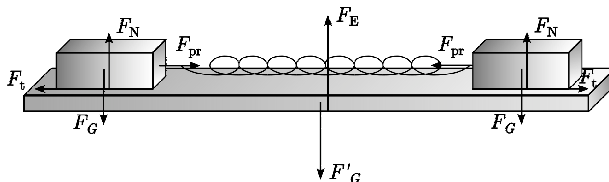
Obr. 1: Nákres padající desky s kvádry

V této úloze uvažujeme pouze posuvný pohyb, tzn. předpokládáme, že deska ani kvádry na ní se nebudou otáčet kolem žádné osy. Zásadní je rozbor vlivu gravitace na působící tření mezi deskou a kvádry. Nejdříve rozebereme případ před pádem, pak při pádu se zanedbáním odporu vzduchu, a nakonec bez zanedbání odporu vzduchu. Takto podrobný rozbor sice nebyl nutný, my si jej ale proberme pro úplnost našeho řešení.

*Působící síly před pádem*

Před pádem je deska s kvádry držena ve vodorovné poloze. Na desku tedy svisle dolů působí v součtu její vlastní tíha a tíha obou kvádrů. Proti tomu všemu působí nahoru síla Evy, která desku podpírá, aby deska nespada (viz obrázek 2).

Na každý z kvádrů zase působí čtyři síly: jeho vlastní tíha  $F_G$  směrem kolmo dolů, proti ní směrem kolmo nahoru reakční síla od desky  $F_N$ . Ta je stejně velká jako  $F_G$ , ale opačně orientovaná a brání kvádru, aby prošel skrz desku. Dále na kvádr působí tahová síla pružiny  $F_{pr}$  ve vodorovném směru v místě uchycení pružiny a v opačném směru stejně velká třecí síla  $F_t$ . Stejná velikost sil  $F_{pr}$  a  $F_t$  je nutnou podmínkou toho, aby se kvádry nepohnuly, neboť součet všech sil působících na nepohyblivé se těleso je vždy nulový.



Obr. 2: Síly působící na kvádry a na desku. Na každý z kvádrů působí ve svislém směru síly  $F_G$  a  $F_N$  a ve vodorovném směru síly  $F_{pr}$  a  $F_t$ . Na desku působí směrem dolů obě síly  $F_G$  a také její vlastní tíha  $F'_G$ . Směrem nahoru působí síla  $F_E$ , kterou Eva desku s kvádry podepírá.

Síla  $F_t$  ale nemůže být neomezeně velká. Její maximální hodnotu určuje součin  $fF_N$ , kde  $f$  nazýváme koeficient smykového tření, který je daný kombinací materiálu kvádry a desky. Například pokud by kvádry byly ze dřeva, koeficient  $f$  pro tření mezi dřevem a brusným papírem by byl asi 0,7<sup>1</sup>.

Kdyby Eva natáhla pružinu moc, mohlo by se stát, že by  $F_{pr} > fF_N$  a kvádry by se k sobě přitahovaly, dokud by pružina nepovolila dost na to, aby se z uvedené nerovnosti stala rovnost a kvádry by se zastavily. Tažná síla pružiny je totiž úměrná tomu, o kolik ji Eva natáhne.

### *Pád desek*

Nyní dovolme desce, aby Evě vypadla z rukou a padala jako na obrázku ze zadání. Zanedbáme-li nejdříve odpor vzduchu, tak kvádry i deska padají oba okamžitě volným pádem směrem k zemi se stejným zrychlením. Kvádry tím přestanou na desku tlačit, protože vůči sobě navzájem mají nulové zrychlení a vzhledem k tomu, že v systému žádné další síly přítomny nejsou, kvádry a deska na sebe nemohou navzájem již nijak působit. Vzpomeňme si totiž, že síla je úměrná zrychlení.

Síla  $F_N$  je tedy nulová a stejně tak je nulová i třecí síla. Na kvádry tedy zůstane působit jen síla pružiny a pružina kvádry k sobě začne *přitahovat*. Bude v tom pokračovat, dokud deska nedopadne na zem, nebo dokud ona pružina nedosáhne své původní neprodloužené délky. Kdyby deska mohla padat dostatečně dlouho, kvádry by začaly kmitat podobně jako závaží na pružině v beztlížném stavu, protože rychlost, kterou kvádry během přitahování získají, jim umožní pružinu stlačit více, než jaká byla její klidová délka.

Pokud zanedbáme odpor vzduchu, výsledek bude podobný, jen se k sobě kvádry přitáhnou pomaleji, protože deska klade vzduchu výrazně větší odpor. Proto již deska padá pomaleji a kvádry do desky slabě tlačí. Tím se bude vytvářet zbytkové  $F_t$ , i když síla  $F_{pr}$  bude větší. Opět: padala-li by deska dostatečně dlouho, kvádry by mohly také začít kmitat. Za přítomnosti tření se však kvádry budou brzdit a nakonec se zastaví. Každý z nich se pak může zastavit před i za rovnovážnou polohou, ve které by byl při nenatažené pružině, přesně to však závisí na velikosti zbytkového tření a míře původního prodloužení.

*Daniel Slezák*

dans@vyfuk.mff.cuni.cz

---

Korespondenční seminář Výfuk je organizován studenty a přáteli MFF UK. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci MFF UK a podporován Katedrou didaktiky fyziky MFF UK, jejími zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.  
Pro zobrazení kopie této licence navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.

<sup>1</sup>[https://is.muni.cz/th/199446/pedf\\_b/Fyzika\\_treni.pdf](https://is.muni.cz/th/199446/pedf_b/Fyzika_treni.pdf)