

1.2.7 3. Newtonův pohybový zákon I

Předpoklady: 1201

Pedagogická poznámka: V klasickém pojetí se dá 3. Newtonův zákon probrat během 15 minut. Proti jeho znění se studenti bouřit nebudou. Teprve na příkladech se odhalí, že jeho správné používání je pro studenty obtížné a nesamozřejmé. I při posledním pokusu s 8O2012 měli studenti velké problémy a podařilo se nám odhalit spoustu nejasností a nedůsledností ohledně předchozích dvou Newtonových zákonů. Více než jindy je nutné, aby studenti dostali příležitost začít s příklady samostatně, nadělat chyby a společně je potom řešit. Při klasické frontální výuce odkývají všichni všechno, ale i Ti nejlepší se budou orientovat pouze matně.

3. Newtonův zákon už ve skutečnosti známe. Pro každá sílu musíme najít:

- původce
- cíl
- partnerskou sílu se stejnou velikostí, opačným směrem a prohozenou dvojicí původce-cíl.

Poslední podmínka (síly se vyskytují pouze ve dvojicích) se ve skutečnosti jmenuje:

3. Newtonův pohybový zákon:

Dvě tělesa na sebe navzájem působí stejně velkými silami opačného směru. Tyto síly vznikají a zanikají současně.

Silám ve dvojici se často říká akce a reakce. Je to poměrně nešťastné pojmenování, protože vzbuzuje dojem, že jedna ze sil vzniká až jako reakce na existenci druhé. To není pravda. Obě síly vznikají najednou a proto nemůžeme ani jednu z nich považovat za reakci na druhou.

Platnost zákona můžeme demonstrovat pomocí dvou spojených siloměrů. Ať taháme za jeden z nich (nebo za oba najednou) libovolnou silou, oba vždy ukazují ve stejném okamžiku stejnou sílu (sílu, kterou dotyčný siloměr působí na druhý). V domácích podmínkách můžeme tento pokus nasimulovat pomocí dvou stejných gumiček (nebo pružinek), které svážeme a můžeme sledovat, že se natahují stejným způsobem.

Pedagogická poznámka: Při předvádění ve škole doporučuji vyzkoušet vždy konkrétní dvojici siloměrů před hodinou. Školní siloměry obecně nejsou příliš přesná zařízení a může se stát, že budou ukazovat značně rozdílné hodnoty. Což samozřejmě není vyvrácení 3. Newtonova zákona, ale demonstrace jejich nepřesnosti. Studentům to však těžko vysvětlíte.

Podobně můžeme zákon demonstrovat pomocí dvou stejných magnetů položených na stole. Když je přiblížíme dostatečně blízko nesouhlasnými póly k sobě, zvětší se magnetická síla natolik, že překoná tření a oba magnety se začnou pohybovat k sobě (z toho, je vidět, že silové působení je vzájemné).

Př. 1: Pokud přiblížíme magnet k těžkému kovovému předmětu (například jádru cívky), dá se do pohybu pouze magnet. Můžeme tento pokus považovat za důkaz toho, že magnetickou silou působí pouze jádro na magnet a partnerská síla magnetu na jádro buď vůbec neexistuje nebo není stejně velká?

Na jádro cívky působí kromě přitažlivé síly od druhého magnetu i další síly, hlavně tření mezi jádrem a podložkou. Protože jádro je podstatně těžší než magnet je větší i třecí síla mezi jádrem a podložkou. Tuto větší sílu, která brání pohybu jádra, nemusí přitahování druhého magnetu překonat. U magnetu má magnetické přitahování díky menšímu tření podstatně snazší práci.

Větší hmotnost jádra navíc způsobuje při stejně velké přitažlivé síle od magnetu menší zrychlení a tedy i méně viditelný pohyb.

Předchozí úvahu si můžeme dokázat tím, že snížíme tření mezi jádrem a stolem například tak, že jádro podložíme válečky. Za této situace se do pohybu dá i jádro. Bude se pohybovat pomaleji, což je pochopitelné, protože na něj působí stejná síla na daleko větší hmotnost a způsobí tak menší zrychlení než u daleko lehčího magnetu.

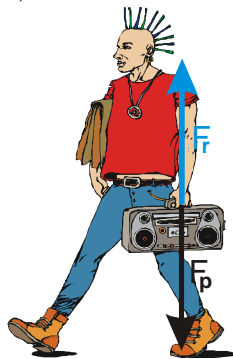
Pedagogická poznámka: Pokus je nutné odladit, ale technicky nejde o nic těžkého, pouze o nalezení vhodně těžkých předmětů a vzdálenosti na stole. Pokus je možné provést i pomocí souhlasných pólů a odpuzování, ale je třeba magnety umístit (například pomocí drážky) tak, aby držely směr od sebe.

Př. 2: Najdi u následujících situací dvojici partnerských sil z 3. Newtonova zákona. Existenci obou sil dokumentuj pomocí jejich účinků.

a) V ruce držíme těžký předmět.

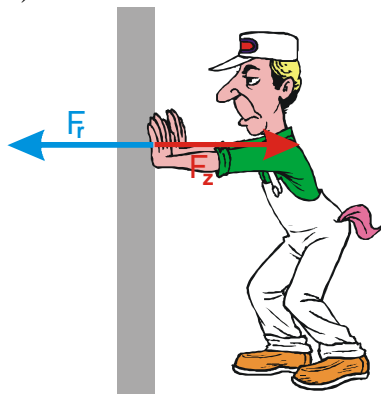
b) Ruka tlačí do zdi.

a) V ruce držíme těžký předmět.



- Síla ruky působí kolmo vzhůru na předmět a zabraňuje tomu, aby předmět padl na zem.
- Síla předmětu působí kolmo dolů na ruku a způsobuje únavu ruky.

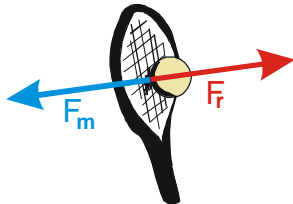
b) Ruka tlačí do zdi.



- Síla ruky působí kolmo do zdi, její účinek není vidět, pouze „zed“ z překližky by se prohnula, v čerstvě nahozené omítce by se objevil otisk ruky...
- Síla zdi, působí kolmo doprava na ruku (a tím i tělo) a drží nás, abychom nespadli (když ruku skrčíme, začneme padat na zed').

Pedagogická poznámka: Oba body předchozího příkladu jsou pro studenty zcela odlišné od dvou následujících. Jde o statické situace, proto studentům nevádí špatné pochopení, které se projeví až u dalších dvou příkladů.

Př. 3: Tenisový míč se odrazí od rakety. Najdi dvojici partnerských sil z 3. Newtonova zákona. Jaké jsou jejich účinky.



- Síla rakety působí doprava na míček, zabrzdí ho v pohybu doleva a odrazí ho zpět doprava.
- Síla míčku působí kolmo doleva raketu, prohne výplet rakety, raketa tuto sílu přenesne na ruku, ve které musíme raketu pevně držet, aby nám ji míček nevyrazil z ruky.

Pedagogická poznámka: S problémem, který vysvětlujeme níže přijdou vždy nejchytřejší studenti (pokud dotaz nikdo nevznese, je nepravděpodobnější, že výuku buď nikdo nesleduje nebo ji nikdo nerozumí). Dotaz zopakují třídě, aby ho kdokoliv mohl vysvětlit, většinou to pak musím udělat sám.

Proč nemusí být síla rakety na míček větší než síla míčku na raketu, když výsledná síla na míček musí směřovat doleva (a musí být značně velká) zatímco součet obou nakreslených sil je nulový? Jak je možné, že se míček za této situace zastaví a odrazí se doprava?

Předchozí dotaz je častý, ale je z něj vidět nepochopení situace.

Ještě jednou si probereme síly nakreslené v obrázku:

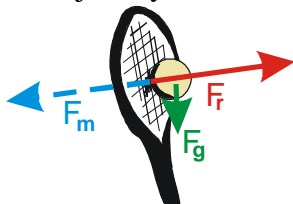
- Doprava směřuje síla **rakety na míček**.
- Doleva směřuje síla **míčku na raketu**.

⇒ Modře nakreslená síla nepůsobí na míček (působí na raketu) a žádným způsobem neovlivňuje jeho pohyb. Nemůžeme ji sčítat se silou, která působí na raketu.

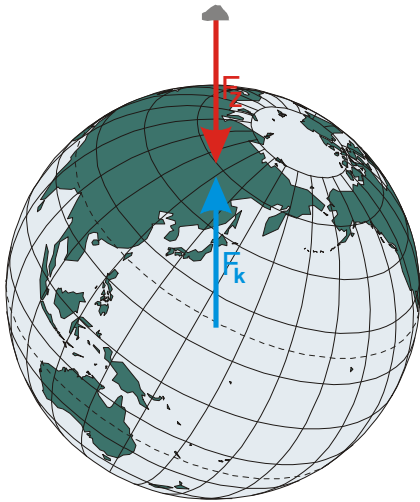
Na míček působí pouze:

- Doprava směřující síla **rakety na míček**.
- Dolů směřující **gravitační síla Země na míček**.

⇒ Jejich výslednice směřuje doprava a bez problémů míček nejen zastaví, ale i odrazí zpět.



Př. 4: Puštěný kámen začíná volně padat k Zemi. Najdi dvojici partnerských sil z 3. Newtonova zákona. Jaké jsou jejich účinky?



- Gravitační síla Země na kámen působí dolů, způsobuje a zrychluje jeho pád k zemi. Partnerskou silou musí být působení kamene na Zemi \Rightarrow musíme změnit měřítko obrázku.
- Gravitační síla kamene na Zemi působí nahoru a způsobuje pohyb Země vzhůru ke kameni.

Př. 5: Najdi co nejvíce důvodů, proč nemůže být partnerskou silou pro gravitační sílu v předchozím příkladu odpor vzduchu.

- Partnerská síla nemůže působit na stejný předmět jako síla, ke které ji hledáme (původní síla působí na kámen \Rightarrow její partnerská síla na kámen působit určitě nebude. Půjde o sílu, kterou působí kámen na jiný předmět).
- Partnerská síla musí mít prohozeného původce a cíl \Rightarrow ke gravitační síle Země na kámen musí být partnerskou silou síla, kterou působí kámen a Zemi.
- Partnerská síla musí mít v každém okamžiku stejnou velikost jako její partner. Gravitační síla Země na kámen se během pádu podstatně nemění, naopak odpor vzduchu je na počátku pádu velmi malý a s rychlostí kamene rychle roste.

Pedagogická poznámka: Při řešení následujících příkladů (týkajících se příkladu 4), nepoužívám exponenciální tvar čísel zcela záměrně. Studenti si čísla do sešitů opisovat nemají a proto nevdají, že ani není dobře vidět kolik nul je v čísle napsáno, hlavně když si studenti uvědomí, že jde opravdu o čísla velmi malá (velmi velká). U studentů samozřejmě nepředpokládám, že budou žonglovat s čísly, ale kdyby sami dokázali zformulovat vysvětlení pomocí slov velmi malá, velmi velká byl by to úspěch.

Př. 6: Jak je možné, že vůbec nepozorujeme pohyb Země vzhůru?

Zrychlení předmětu závisí na působící síle a hmotnosti předmětu, gravitační síly Země na kámen i kamene na Zemi jsou stejně velké. \Rightarrow

- Zrychlení kamene (hmotnost například 1 kg): $a = \frac{F}{m} = \frac{10}{1} \text{ m/s}^2 = 10 \text{ m/s}^2$.

- Zrychlení Země: $a = \frac{F}{m} = \frac{10}{6000000000000000000000000} \text{ m/s}^2 = 0,000000000000000000000017 \text{ m/s}^2$

Ve stejném poměru se liší i vzdálenosti, které kámen a Země během pádu urazí:

- Kámen (při pádu například z výšky 2 m): 2 m.
- Země: 0,000000000000000000000003 m.

Velikost vodíkového atomu: 0,0000000005 m (pro porovnání).

Př. 7: Jak je možné, že na Zemi působí gravitační síla o velikosti pouze 10 N, když ji počítáme pomocí vzorce $F_g = m \cdot g$ a hmotnost Země je daleko větší než hmotnost kamene?

Gravitační síla, kterou studujeme je gravitační síla způsobená kamenem o hmotnosti 1 kg \Rightarrow pro její výpočet musíme používat místo gravitačního zrychlení Země ($g_Z = 10 \text{ m/s}^2$)

gravitační zrychlení kamene o hmotnosti 1 kg ($g_k = 0,000000000000000000000017 \text{ m/s}^2$). Pro gravitační sílu kamene na Zemi pak vychází:

$$F_k = m_k \cdot g_k = 6000000000000000000000000 \cdot 0,000000000000000000000017 \text{ N} = 10 \text{ N}$$

Že gravitační působení kamene je ve srovnání s působením Země daleko menší je vidět i z toho, že křída puštěná vedle kamene se nikdy nepřitáhne k němu, ale k Zemi, která je dál.

Př. 8: Proč Země nepadá ke kameni se zrychlením $g_Z = 10 \text{ m/s}^2$, když s tímto zrychlením padají v gravitačním poli Země při zanedbání odporu vzduchu všechny předměty?

Země nepadá v gravitačním poli Země, ale v gravitačním poli kamene. V gravitačním poli kamene padají předměty s podstatně menším zrychlením

$$g_k = 0,000000000000000000000017 \text{ m/s}^2.$$

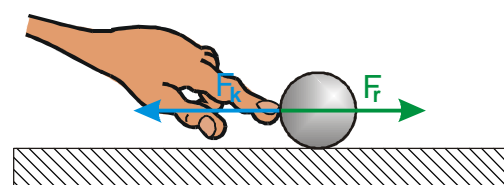
Př. 9: Dokumentuj 3. Newtonův zákon na příkladu chytání medicinbalu. Proč člověk při chytání tohoto míče ustupuje dozadu.

- Síla, kterou člověk brzdí medicinbal, způsobí zatavení míče.
- Síla, kterou medicinbal působí na člověka, je při chytání cítit, menšího nepřipraveného člověka může i porazit.

Ustupování má dva významy:

- Umožňuje chytajícímu lépe udržet rovnováhu (síla míče se ho snaží porazit).
- Prodlužuje dobu, kterou člověk míč chytá a brzdí ho. Tím se zmenšuje síla, kterou musí člověk působit na míč (aby ho zastavil), a tím se zmenší i síla, kterou míč působí na člověka (není to taková rána).

Př. 10: Nakresli do obrázku ruky a kuličky dvojici partnerských sil z 3. Newtonova zákona.



Dvojici partnerských sil tvoří:

- Síla F_r , kterou působí ruka na kuličku. Tato síla uvede kuličku do pohybu.
- Síla F_k , kterou působí kulička na ruku. Tato síla způsobuje bolení nehtu, když je kulička těžká a hodně cvrnkneme.

Př. 11: Jak je možné, že se kulička dá do pohybu, když jsou v obrázku nakresleny dvě síly stejné velikosti a opačného směru?

Stejný problém jako u příkladu s míčkem a tenisovou raketou. Nakreslené síly jsou sice stejně velké a mají opačný směr, ale každá působí na jiný předmět a tudíž se nemohou sčítat dohromady.

Na kuličku z nich působí pouze zeleně nakreslená síla F_r , která uvede kuličku do pohybu směrem doprava.

Shrnutí: Dvojice partnerských sil působí na různé předměty a proto ji nemůžeme sčítat dohromady.