

Úloha II.3 ... Kolotoč

6 bodů; průměr 2,63; řešilo 49 studentů

Kačka jednou stála na pouti u řetízkového kolotoče a přemýšlela, co by se stalo, kdyby se některá ze sedaček utrhl. Pomozte Kačce a nakreslete, jak by se sedačka pohybovala z pohledu Kačky stojící vedle kolotoče a z pohledu dítěte, které se právě na kolotoči veze (na jiné sedačce, která naštěstí vydržela). Stačí přibližný náčrt, nemusíte pohyb přesně počítat. Svě řešení okomentujte.



Na daný problém se máme podívat ze dvou perspektiv – Kačky mimo kolotoč a dítěte, které se otáčí spolu s kolotočem. Každému z těchto pohledů přísluší jiná *vztažná soustava*. Ty obecně rozdělujeme na *inerciální* a *neinerciální*. Za inerciální vztažnou soustavu považujeme takovou, v níž platí 1. Newtonův zákon, tedy že těleso, na které nepůsobí žádná síla, je z pohledu této soustavy v klidu nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu. Za takovou soustavu můžeme považovat například vztažnou soustavu spojenou se Zemí.¹ Každá vztažná soustava, která je vůči jiné inerciální vztažné soustavě v klidu, je také inerciální. Je tedy jasné, že inerciálním pozorovatelem situace bude Kačka stojící mimo, zatímco dítě na kolotoči se na situaci dívá z pohledu neinerciálního pozorovatele.

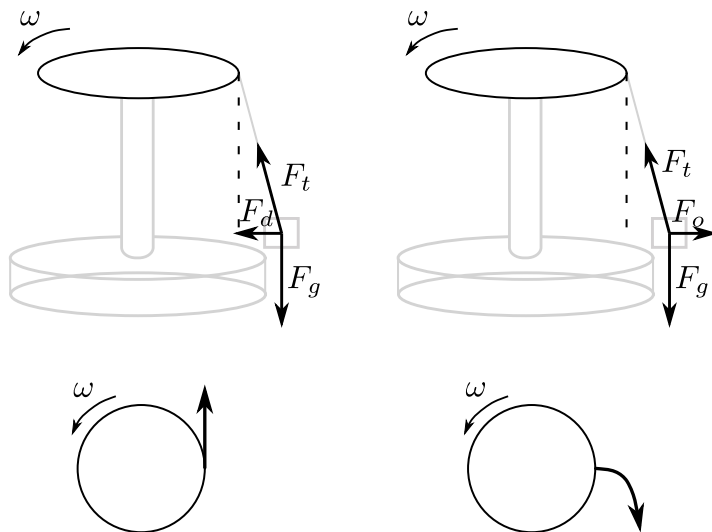
Teď se zaměříme na síly, které na dítě na kolotoči působí. Začneme pohledem inerciální vztažné soustavy – kolotoč se otáčí po kružnici, což znamená, že zde musí být kromě všudypřítomné tíhové síly také nějaká síla, která zakřivuje trajektorii – tou je síla dostředivá, která je výslednicí tíhové síly a síly tahové, která napíná závěs kolotoče. Dostředivá síla míří do středu, jak bychom podle názvu odhadli. Jejím důsledkem je pak zakřivení pohybu – musíme si uvědomit, že zrychlení nemusí nutně měnit velikost rychlosti, ale třeba jen směr, jako je tomu u rotačního pohybu. Přehledné shrnutí sil nabízí obrázek 1.

Dítě na kolotoči – neinerciální pozorovatel – pozoruje novou sílu, *setrvačnou odstředivou sílu*. Odstředivá síla vzniká v rotujících soustavách právě proto, že by se tělesa chtěla pohybovat rovnoměrně přímočaře vzhledem k inerciálním pozorovatelům (v důsledku zákona setrvačnosti). Směr této síly je proto směrem ven z rotující soustavy (kolmo na rotační pohyb). Abychom tedy tělesa v rotující soustavě udrželi, musíme působit nějakou dodatečnou silou. V případě dítěte na kolotoči je touto silou právě tahová síla závěsu kolotoče. Ze znázornění těchto sil na obr. 1 vidíme, že z pohledu dítěte je výslednice sil působící na sedačku skutečně nulová a sedačka je proto pro něj v klidu.

Když jsme si rozebrali silové působení z jednotlivých pohledů, můžeme rozhodnout, co se stane v případě, že se sedačka utrhne, a rozebrat si pohyb, který tak nastane. Při utržení sedačky přestane působit tahová síla závěsu. Z pohledu Kačky – tedy inerciálního pozorovatele – přestane působit dostředivá síla, a tak se bude sedačka s dítětem pohybovat v horizontálním směru rovnoměrně přímočaře, tedy po tečně ke kružnici, po níž se sedačka pohybovala před utržením. Jelikož tíhová síla působí stále, je zřejmé, že ve vertikálním směru bude sedačka padat volným pádem, jako to známe z běžné praxe. Tomuto pohybu, který se skládá z většího množství rovinných pohybů (například vertikálního a horizontálního) říkáme složený. Z pohledu dítěte na kolotoči – tedy neinerciálního pozorovatele – se pak po utržení sedačky bude sedačka pohybovat ve směru setrvačné odstředivé síly, tedy přímo ven z kruhu. Taková bude situace bezprostředně po utržení. Jak se bude sedačka vzdalovat, její rychlost bude zůstávat stejná, ale vzdálenost od středu se bude zvětšovat, a tak se její úhlová rychlost ($\omega = v/r$) bude zmenšovat, a tedy

¹Ve skutečnosti soustava spjatá se Zemí není úplně inerciální, neboť se Země otáčí kolem své osy. Toto ovlivňuje například velikost tíhového zrychlení g , u větších měřítek pozorujeme tzv. *Coriolisovu sílu*, která způsobuje stáčení bouřek. Pro účely naší úlohy se však se soustavou Země spokojíme

bude „zatačet“ proti směru otáčení kolotoče. Samozřejmě i zde bude pohyb ovlivňovat tíhová síla. Ten tak bude ve vertikálním směru volným pádem. Graficky pak daný popis znázorňuje obrázek níže.



Obrázek 1: Rozložení sil pro inerciální vztažnou soustavu (vlevo) a neinerciální vztažnou soustavu (vpravo). Dole vidíme jednotlivé trajektorie, jak je vidí maminka (vlevo) a dítě na kolotoči (vpravo). Připomeňme, že zde znázorňujeme jen pohyb v horizontálním směru.

Lukáš Linhart
lukasl@vyfuk.org

Korespondenční seminář Výfuk je organizován studenty a přáteli MFF UK. Je zastřešen Oddělením propagace a mediální komunikace MFF UK a podporován Katedrou didaktiky fyziky MFF UK, jejími zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků. Realizace projektu byla podpořena Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy.

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