

Aleš Trojánek  
MACHŮV PRINCIP A STŘEDOŠKOLSKÁ MECHANIKA  
Mach's Principle and the Mechanics at Secondary Schools

When explaining the inertial forces to secondary school students, one can expect to be asked questions about their origin. The paper attempts to formulate an answer to such questions.



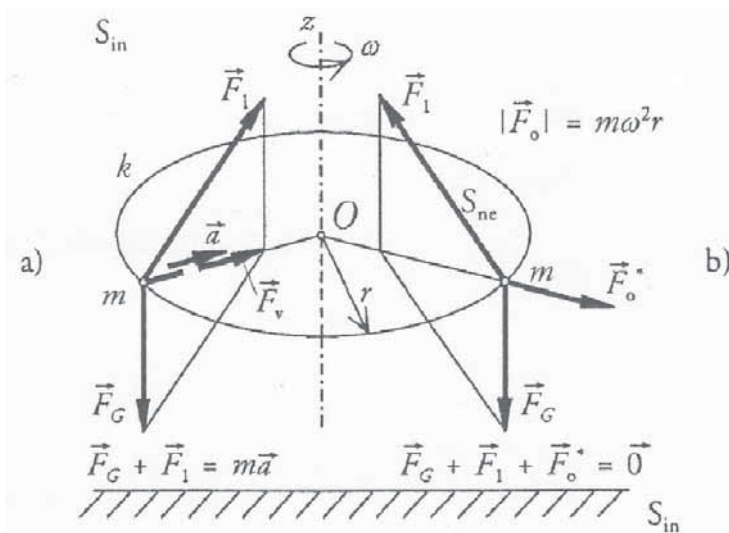
TROJÁNEK, Aleš. Machův princip a středoškolská mechanika. In: DUB, Petr a Jana MUSILOVÁ. *Ernst Mach – Fyzika – Filosofie – Vzdělávání*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2010, s. 235–238. ISBN 978-80-210-4808-9. DOI: 10.5817/CZ.MUNI.M210-4808-2011-235.

# Machův princip a středoškolská mechanika

Aleš Trojánek

Při vyšetřování a popisu dějů v mechanice je někdy vhodné použít neinerciální vztažnou soustavu. Přitom se na střední škole (gymnáziu) většinou omezíme jen na nejjednodušší případy: soustavy konající nerovnoměrný posuvný pohyb a rovnoměrně se otáčející soustavy.

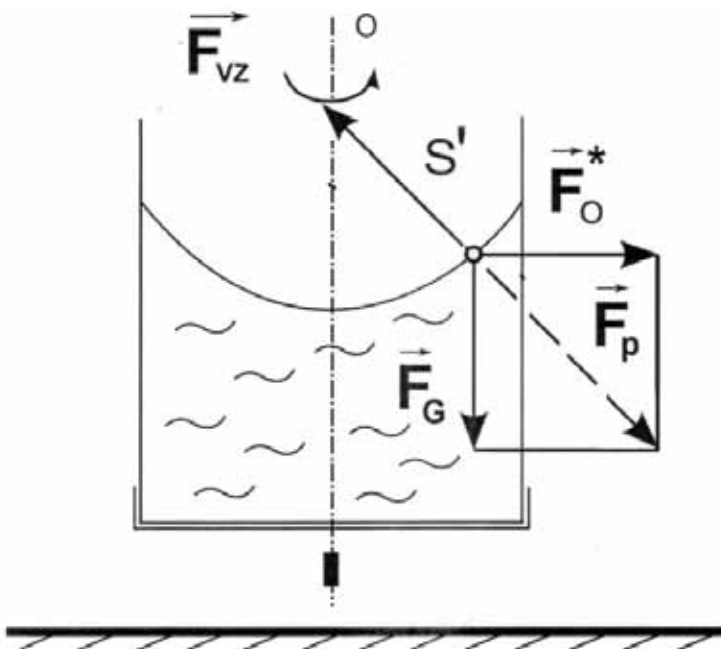
V následujícím případě malé kuličky přilepené na horní straně rovnoměrně rotujícího kotouče napíšeme pohybové rovnice v inerciální vztažné soustavě  $S_{in}$ , např. v laboratorní soustavě (levá část obr. 1), a také v neinerciální soustavě  $S_{ne}$  (pravá část obr. 1).



Obrázek 1: Malá kulička přilepená na horní straně rovnoměrně rotujícího kotouče (obr. je převzat z [1]).

a) V inerciální soustavě  $S_{in}$  působí na kuličku Země tíhovou silou  $\vec{F}_G$  a kotouč silou  $\vec{F}_1$  tak, že jejich výslednice  $\vec{F}_v$  je silou dostředivou. (Jedná se o rovnoměrný pohyb po kružnici.)

b) V neinerciální soustavě  $S_{ne}$  působí na kuličku stejné objekty silami  $\vec{F}_G$  a  $\vec{F}_1$ . Protože je však kulička v soustavě spojené s rotujícím kotoučem v klidu a protože jsme zvyklí užívat druhý pohybový zákon, přidáme k reálným silám ještě jednu: setrvačnou odstředivou sílu  $\vec{F}_o^*$ , (pro její velikost platí:  $F_o^* = m\omega^2 r$ ) tak, že výslednice těchto tří sil je nulová.



Obrázek 2: Odstředivka (obr. vznikl úpravou obr. z [2]).

Přirozené otázky, které mohou přemýšlivé studenty napadnout, jsou tyto: Kde se bere setrvačná síla? Co je na neinerciální soustavě zvláštního, privilegovaného? Pokusíme se naznačit odpověď na otázky rozбором slavného Newtonova experimentu s vědrem (1689).<sup>1</sup> Místo Newtonova vědra si můžeme představit odstředivku podle obr. 2. Na něm je zachycen případ, kdy se voda otáčí vzhledem k laboratorní vztažné soustavě. Síly, které působí na elementy vody v soustavě spojené s otáčející se vodou, jsou na obr. 2

<sup>1</sup>Podrobné rozборы tohoto experimentu je možno nalézt v [4], [5], [6].

zakresleny. Jedná se o tíhovou sílu  $\vec{F}_G$ , setrvačnou odstředivou sílu  $\vec{F}_o^*$  a vztlakovou sílu  $\vec{F}_{vz}$ . Výsledná síla je nulová. (Hladina zaujme takový stabilní povrch, že element jejího povrchu je kolmý na výslednici  $\vec{F}_p = \vec{F}_o^* + \vec{F}_G$ .)

I. **Newton** se při pokusech s vědrem nezajímal o působící síly, ale hledal vhodnou vztažnou soustavu pro popis dějů. Kládl si tuto otázku: Když se voda točí, tak vzhledem k čemu? Podrobnými úvahami vyloučil vědro jako vhodnou vztažnou soustavu a došel k názoru, že důležitou vztažnou soustavou je prostor sám. Zavedl pojem absolutní prostor jako všudypřítomné prázdné jeviště, ve kterém se odehrávají veškeré děje, ale blíže ho nedefinoval. Veškeré pohyby je pak nutné vztahovat k absolutnímu prostoru.

E. **Mach (1883)** byl první, kdo se ptal po původu odstředivých (setrvačných) sil. Ty (podle něj) vznikají při zrychleném pohybu vzhledem ke vzdáleným hvězdám, odstředivé síly pocházejí ze společného přispění celé hmoty vesmíru. Jedno z možných vyjádření **Machova principu**<sup>2</sup> pak může být: **Setrvačné vlastnosti těles jsou určeny rozložením hmoty v celém vesmíru.**

Je všeobecně známo, že Machovy myšlenky měly velký vliv na **A. Einsteina** při vzniku obecné teorie relativity, zejména při formulaci principu ekvivalence gravitace a zrychlení. Např. v publikaci [3] je možno najít řadu Einsteinových pochvalných vyjádření zejména z období formulace myšlenek OTR. Není účelem tohoto příspěvku (ani v silách jeho autora) hodnotit, nakolik jsou Machovy ideje v soulase s OTR.<sup>3</sup> Jako velmi výstižné se mi jeví vyjádření J. Novotného v *Úvodním slově* k Einsteinově populární knížce [5]:



Obrázek 3: Isaac Newton, Ernst Mach a Albert Einstein (obr. převzaty z [7], [8], [9]).

*„Otázka, nakolik jsou Machovy ideje zahrnuty v obecné teorii relativity, je dodnes diskutována. Lze říci, že ve shodě s tím, co očekával Mach, mají gravitační a setrvačné síly podle obecné teorie relativity společnou povahu (takže ani nelze odlišit, jaká část*

<sup>2</sup>Termín zavedl A. Einstein.

<sup>3</sup>Mach např. předpokládal, že v „prázdném“ vesmíru se při rotaci vědra setrvačné síly neprojeví, což je v rozporu s OTR.

výsledné síly je ‚setrvačná‘ a jaká ‚gravitační‘), tato společná podoba je však bezprostředně dána lokálními vlastnostmi prostoročasu, a nikoliv relativními pozicemi a pohyby hmot vyplňujících vesmír (jak by tomu mělo být v Machově duchu). Rozhodně však nelze Machovi upřít roli porodníka, který pomohl obecné relativitě na svět.“

## Seznam odkazů

- [1] I. Šantavý, A. Trojánek: *Fyzika. Příprava k přijímacím zkouškám na vysoké školy*. Prometheus, Praha 2000.
- [2] I. Šantavý: *Mechanika*. SPN, Praha 1993.
- [3] A. Fölsing: *Albert Einstein*. Volvo Globator, Praha 2001.
- [4] B. Greene: *Struktura vesmíru. Čas, prostor, a povaha reality*. Paseka, Praha a Lito-myšl 2006.
- [5] A. Einstein: *Teorie relativity*. VUTIUM, Brno 2005.
- [6] J. Novotný: Machův princip a obecná teorie relativity. V: *Pocta Ernstu Machovi, pracovní materiály seminářů Odborné skupiny Pedagogická fyzika Fyzikální vědecké sekce Jednoty čs. matematiků a fyziků* (Ed.: M. Černožský, M. Fojtíková). Jednota čs. matematiků a fyziků, Brno 1988, 73–86.
- [7] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Isaac\\_Newton](http://cs.wikipedia.org/wiki/Isaac_Newton).
- [8] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Ernst\\_Mach](http://cs.wikipedia.org/wiki/Ernst_Mach).
- [9] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Albert\\_Einstein](http://cs.wikipedia.org/wiki/Albert_Einstein).