



# Foucaultovo kyvadlo

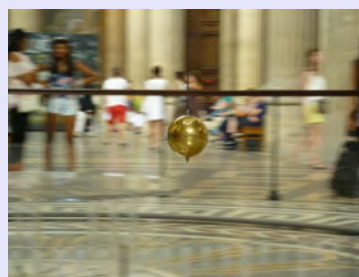


... a přece se točí!

Obíhají hvězdy, Měsíc a Slunce Zemí, nebo se spíše Země otáčí kolem své osy? V Galileiho době (16. a 17. století) byla druhá myšlenka převratná a málokdo ji bral vážně. Protože ale s její pomocí bylo možné vysvětlit mnoho astronomických jevů, mezi učenci nakonec zvítězila. Je ale možné se o rotaci Země přesvědčit přímo na Zemi, aniž bychom letěli do vesmíru podívat se „zvenčí“, nebo zkoumali astronomické výpočty?

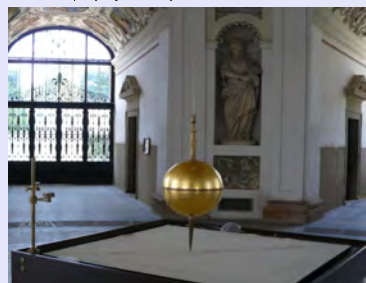
První takovýto důkaz provedl francouzský fyzik Léon Foucault. Všiml si, že rozhoupané kyvadlo má tendenci udržovat svou rovinu kyvu. Zkuste držet rozhoupané závaží na niti, sednout si s ním na otočnou židli a pomalu se otáčet: kyvadlo se bude kývat stále stejným směrem vůči místnosti, i když vy budete mířit jinam. Podobně je to se Zemí: pokud byste zavěsili kyvadlo nad severním pólem, Země by se pod ním za den otočila o 360 stupňů, ale kyvadlo by se ve vůči okolním hvězdám kývalo ve stejné rovině. Pozemskému pozorovateli by ale přišlo, že se vůči němu rovina kyvu otáčí, a to každou hodinu o 15 stupňů.

Dělat takovýto experiment na pólu by bylo nepraktické, ale podobně to funguje i na jiných místech na Zemi. Pouze je nutné zkombinovat tendenci kyvadla udržovat svou rovinu kyvu s podmínkou, že rovina kyvu je svislá. Vede to k tomu, že rychlost stáčení směru kyvadla se zmenšuje čím blíže jsme k rovníku. Foucault poprvé předvedl svůj experiment veřejnosti v pařížském Pantheonu v roce 1851; v Paříži se rovina kyvu vůči Zemi stáčí o 11°20' každou hodinu. Olomouc je více na sever a stáčení je zde tedy nepatrně rychlejší: 11°27' za hodinu. Zkuste to — odečtete na úhloměru pod kyvadlem směr kývání, porozhlédněte se pak po zdejší budově a třeba za hodinu se vraťte. Pokud poté odečtete směr kývání, můžete zkontrolovat, zda se pod námi Země otáčí správnou rychlostí.



Foucaultovo kyvadlo v pařížském Pantheonu prošlo v posledních letech rekonstrukcí. Má délku 67 m a nemá pohon: přibližně každou hodinu jej kurátoři rozhoupávají. Originální Foucaultovo kyvadlo je uloženo v Musée des arts et métiers, kde se také odehrává finále stejnojmenného románu Umberto Eca.

Nejstarší Foucaultovo kyvadlo u nás bylo zkonstruované Františkem Nábělkem v roce 1908 a nachází se v Rotundě Květné zahrady v Kroměříži. Rozhoupává se původním způsobem - přepálením vlákna - tak, aby se zamezilo eliptickému pohybu. O tom, že se Země točí, pak svědčí stopa v jemném písku zanechaná pohybujícími se kyvadlem.



Olomoucké kyvadlo je zavěšeno na žebro střešní konstrukce; horní snímek ukazuje horolezce připevňující závěs v létě 2014. Lanko pak prochází tzv. Charronovým prstencem (1 m pod ukotvením) o průměru 5 cm. Ten má za úkol tlumit případnou elipticitu pohybu kyvadla (částečně „kroužení“), která by narušovala řádné stáčení trajektorie způsobené rotací Země. Ztráty energie způsobené zejména třením o vzduch jsou nahrazovány elektromagnetem pod skleněnou podlahou (na snímku dole). Elektromagnet sepe krátce před tím, než se kyvadlo vrátí do rovnovážné polohy a mírně jej postrčí vpřed. Protože je magnet umístěn středově symetricky, nemá vliv na stáčení roviny kyvu.



**Jean Bernard Léon Foucault**  
(1819–1868)

Léon Foucault byl francouzský fyzik, který k rozvoji vědy přispěl zejména přesným měřením rychlosti světla, objevem vířivých proudů, novou metodou testování zrcadel pro hvězdářské dalekohledy či vynálezem gyroskopu. V roce 1851 demonstroval rotaci Země pomocí kyvadla zavěšeného v pařížském Pantheonu.



## Mozky kolem kyvadla

Problematika Foucaultova kyvadla zaměstnávala řadu významných mozků. K nejvýznamnějším patřil např. Heike Kamerlingh Onnes, objevitel supravodivosti, který v roce 1913 dostal Nobelovu cenu za výzkum v oblasti nízkých teplot vedoucím mj. ke zkapaní helia. Aby kyvadlo fungovalo správně, mělo by být co nejpřesněji symetrické. Různé asymetrie (u nás například různá pružnost ukotvení ve směru střešního žebra a kolmo na tento směr) mohou vést k tomu, že se z rovinné trajektorie stane eliptická a její směr se mění zdánlivě paradoxním způsobem. Kamerlingh Onnes ve své disertační práci „Nové důkazy rotace Země“ z roku 1879 detailně prozkoumal vliv asymetrií na Foucaultovo kyvadlo a novátorsky zavedl poruchový počet - mocný nástroj později využívaný v mnoha oblastech fyziky.

Dalším nobelistou byl Maurice Allais, který v 50. letech minulého století prováděl velmi pečlivě experimenty s Foucaultovým kyvadlem a publikoval zjištění, podle kterého došlo k anomálnímu chování kyvadla během zatmění Slunce v roce 1954. Tento jev se dosud nepodařilo přesvědčivě zreprodukovat a ani pro něj není ve vědecké komunitě přijatelné vysvětlení. Allais změnil pole působnosti a v roce 1988 získal Nobelovu cenu za ekonomii za své průkopnické práce v teorii trhů a efektivního využití zdrojů.

Nejčerstvějším nobelistou je Kip S. Thorne, oceněný v roce 2017 za přínos k detekci gravitačních vln. Thorne v roce 1984 spolu s V. Braginským a A. Polnarevem navrhli způsob detekce zemského gravitomagnetického pole (důsledek Einsteinovy obecné teorie relativity) pomocí Foucaultova kyvadla umístěného na jižním pólu. Tento experiment dosud uskutečněn nebyl.

**Parametry kyvadla na PrF UP**

Kyvadlo vzniklo v letech 2014-2018 v rámci diplomové práce Mgr. Tomáše Schmiedta.

- Délka: 25,5 m
- Perioda: 10,1 s
- Závaží: 37 kg, ocel
- Závěs: Dyneema,  $\varnothing$  3 mm
- Rychlost stáčení roviny kyvu: 11°27' / hod
- Pohon: elektromagnet, 1700 závitů měděného drátu  $\varnothing$  1 mm na ocelovém jádře (pod skleněnou podlahou)
- Sledování pohybu: dva páry paralelních laserových svazků ve vzdálenosti 42 mm, fotorezistory
- Řídící jednotka: Arduino Due

Bližší informace podá prof. Tomáš Opatrný z Katedry optiky (opatrny@optics.upol.cz).