

Měření výchylek gravitačního zrychlení s použitím magnetické levitace

K. Voženílková*, J. Zeman**

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1

*vozenilkova.kristyna@gmail.com, **J.de.Z@email.cz

Abstrakt

Tématem tohoto projektu je měření výchylky v gravitaci planety Země, způsobené působením ostatních kosmických těles, pomocí magnetické levitace. V hlavním zájmu bylo pozorování vlivu gravitační síly Měsíce na orbitě na tu Země. Měření bylo konkrétně prováděno na principu pozorování pozice diamagnetické látky, v našem případě semínka čočky jedlé, v paramagnetickém roztoku, čtyř molárním vodném roztoku chloridu manganatého, umístěného do magnetického pole dvou NdFeB magnetů v opozici. Výchozí aparát byl navržen ve výzkumné laboratoři Dr. Whitesides' Research Group na Harvardské univerzitě, odkud ho přebíráme s vlastními úpravami. Také přebíráme základní matematické vztahy pro výpočet pozice diamagnetika v paramagnetickém roztoku.

Klíčová slova: magnetická levitace, paramagnetikum, diamagnetikum, NdFeB magnety, chlorid manganatý, Dr. Whitesides' Research Group

1 Úvod

Proč stojíme nohama pevně na Zemi? Už malí kojenci Vám budou schopni dát odpověď, a tou je samozřejmě gravitace. Její projevy nás provází každodenním životem a vypadá to, že je snad všude stejná a rozhodně v nejbližší době nehodlá pěkně po anglicku zmizet, ale první praskliny v tomto monolitu se nám objevují už v posledních ročnících základní školy.

Nás šťastných pár, kteří žijeme v „srdci Evropy“ to nemusí příliš trápit. Na rybnících se slapové síly zrovna pozorovat nedají a kosmodrom nám taky příliš nehrozí. Pravdou je ale to, že se mění neustále. Země má daleko k homogenní kouli, a navíc gravitací působí jakékoliv předměty na všechny ostatní. Nelze říct, že nás létající talíře zelených mužíčků nad námi nadlehčují, ale o Měsíci a ostatních kusech většího kosmického smetí, jako je například Slunce, se to říci dá. Když si to zjednodušíme, tak se krom Slunce a Měsíce dají ostatní věci vypustit. Co je pro většinu lidí Slunce? Malý svítící kotouček na obloze, tak proč bychom se jím zabývali. Zbývá tedy Měsíc. Ten darebák je každou noc trochu jinde, nezdá se Vám? Působí bezesporu vlastní gravitační silou, tak jak bychom si to jenom mohli změřit?

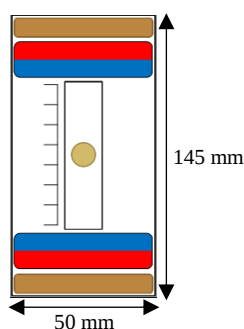
Nejprve odbočku. Ve výzkumné laboratoři Dr. Whitesides' Research Group na Harvardské univerzitě vyvinuli metodu na měření hustoty drobných diamagnetických těles podle okamžité výchylky v paramagnetickém roztoku v přítomnosti několika silných magnetů v opozici. Tady se zrodil nápad. Co kdybychom to zkusili naopak, a pokusili se pomocí stejného aparátu, jaký využívá tato metoda, změřit výchylku v gravitačním zrychlení?

Po vášnivě diskuzi, hádce a občerstvení bylo rozhodnuto. Příště namísto kávy čaj a zkusíme to provést. Ve sklepě stačilo najít kus staré PVC trubky, oříznout pátou nohu u stolu, sehnat magnety ze starých reproduktorů, vyhodit je, koupit normální magnety, sehnat chemikálie a najít fotoaparát a čočku.

2 Aparatura a experiment

Základem celého aparátu je tubus z PVC. Horní a spodní otvor byly ucpány dřevěnými zátkami, na které jsou akrylátovým lepidlem připevněny po dvojicích NdFeB magnety N42 válcovitého tvaru o rozměrech 33 x 10 mm.

V boku tubusu je vyříznuto okno pro manipulaci se vzorkem a jeho pozorování. Mezi magnety je umístěna standardní křemičitá zkumavka, naplněná paramagnetickým vodným čtyř molovým roztokem chloridu manganatého. Do roztoku je vkládáno diamagnetické semínko čočky jedlé (*Lens culinaris*).



Obr. 1 Pokusná aparatura

V původním experimentu je hustota semínka určována pomocí vztahu [1] pro výšku, na které se semínko v roztoku ustálí

$$h = \frac{(\rho_s - \rho_m)g\mu_0 d^2}{(\chi_s - \chi_m)4B_0^2} + \frac{d}{2}. \quad (1)$$

V tomto vztahu h představuje onu výšku, ρ_s hustotu diamagnetického semínka, ρ_m hustotu paramagnetického roztoku, g je samozřejmě gravitační zrychlení, μ_0 magnetická konstanta, d je vzdálenost mezi magnety, χ_s a χ_m jsou susceptibility semínka a roztoku a B_0 magnetický tok na povrchu magnetů.

Aby pomocí stejného vztahu bylo možné měřit výchylku gravitačního zrychlení, musí být vše kromě g a h konstantní. Pak lze odvodit vztah, pomocí kterého se vypočítá změna v g

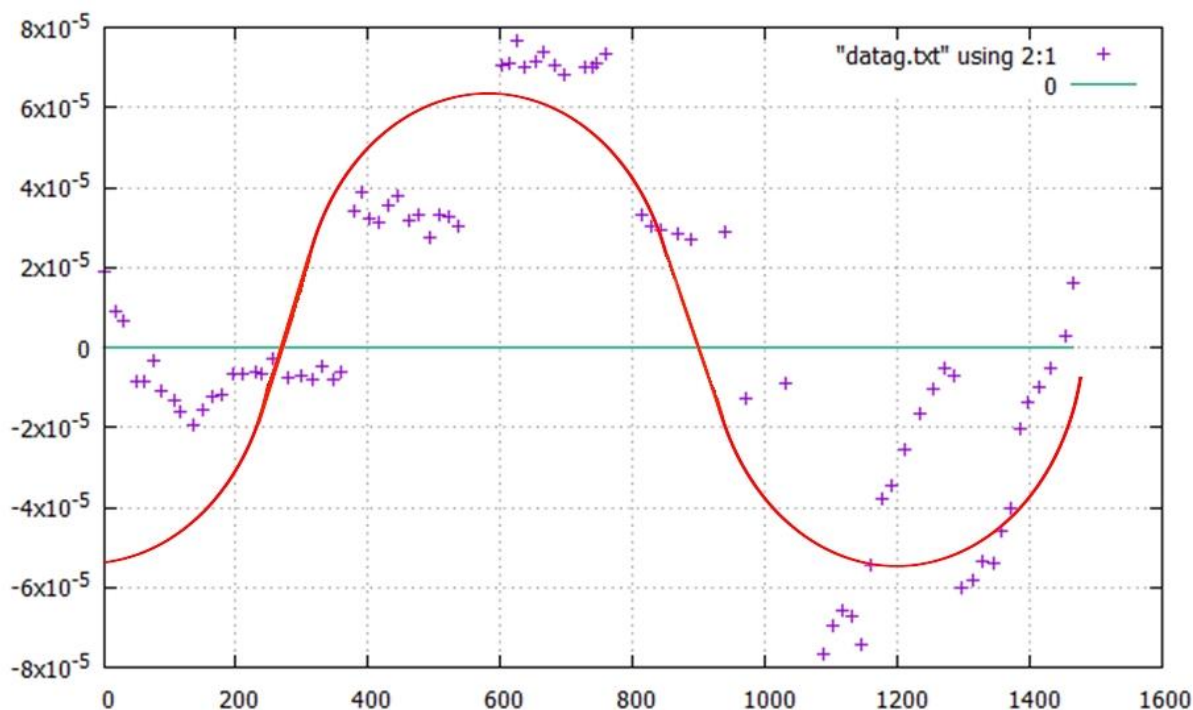
$$\Delta h = \Delta g \frac{\Delta \rho \mu_0 d^2}{\Delta \chi^4 B_0}. \quad (2)$$

Samotné měření výchylky ve výšce ustálení semínka čočky se ukázalo problematické, neboť čočka nasakovala roztok a tím se měnila její hustota. Tento problém byl řešen pravidelným měněním semínek, čímž se ovšem, jak se později ukázalo, měření stalo méně přesným.

Výchylka ve výšce ustálení byla měřena v pravidelných intervalech 15-ti minut a semínko čočky bylo vyměňováno každých 5 hodin. Při každém měření byla vyfocena aparatura a následně byla změřena výchylka ve výšce ustálení pomocí počítačového softwaru ImageJ. Jako nulová výchylka byl zvolen průměr těchto hodnot. Následně byla pomocí vztahu (2) vypočítána výchylka gravitačního zrychlení.

3 Výsledky

Výsledné hodnoty byly vloženy do grafu na obrázku 2, kde vertikální osa představuje velikost výchylky gravitačního zrychlení v metrech za sekundu a horizontální osa čas v minutách.



Obr. 2 Závislost výchylky g na čase

Červená křivka na obrázku 2 představuje, jak by vypadala změna gravitačního zrychlení za ideálních podmínek, kdy by na výchylku gravitačního zrychlení nemělo kromě Měsíce vliv například Slunce. Maximum této křivky bylo umístěno ve tři hodiny odpoledne (600 minut od začátku měření), kdy byl v den měření Měsíc tak blízko naší zeměpisné poloze, jak jen je to na naší rovníčce možné.

Jak lze vidět na obrázku 2, experimentálně naměřená výchylka vyšla, když nic jiného, ve stejných řádech ($10^{-5} m/s^2$) jako výchylka předpokládaná. Dále její maximální hodnota vyšla přibližně ve stejné chvíli, kdy byl Měsíc v zenitu nad Prahou.

Některá použitá semínka měla ovšem defekt v podobě vzduchových kapslí, jak můžeme vidět na dvou vzorcích v rozmezí 1100-1500 minut. Ze semínek zde nejspíše unikl vzduch, a tudíž v roztoku klesala, aniž by tato výchylka závisela na gravitačním zrychlení.

4 Závěr

Experiment ukázal, že touto metodou, pokud je provedena přesně a precizně, lze měřit výchylku v gravitačním zrychlení. Toto konkrétní měření nebylo dostatečně přesné v hned několika krocích, a to při měření výchylky výšky ustálení semínek z fotografií, při kterém bylo měřítko umístěno o zhruba půl centimetru k objektivu blíže než samotná aparatura, a také díky proměnlivé hustotě mezi jednotlivými semínky čočky.

Tyto problémy by se dali snadno odstranit nahrazením čočky například kuličkou diamagnetického kovu či plastu, a použitím lepšího fotoaparátu nebo kamery. Přesnost měření by se dále dala zvýšit opakováním experimentu.

Reference

[1] Whitesides G. M. a kol., *Measuring Densities of Solids and Liquids Using Magnetic Levitation: Fundamentals*, Journal of the American Chemical Society (2009) 10049-10058