

Experimentální úloha celostátního kola 61. ročníku FO

SLANÝ 2020

Síla při odpuzování magnetů

Teorie

Síla při odpuzování dvou magnetů závisí na jejich vzdálenosti. V této úloze bude Vaším úkolem rozhodnout, jakým způsobem. Možností je několik:

Při odpuzování elektrických nábojů nebo pólů dlouhých magnetů (jejichž délka je násobně větší než průměr) platí

$$F \sim \frac{1}{r^2}. \quad (1)$$

Při odpuzování elektrického náboje od elektrického dipólu nebo magnetického dipólu od pólu dlouhého magnetu platí

$$F \sim \frac{1}{r^3}. \quad (2)$$

Při odpuzování dipólu od dipólu (elektrického i magnetického) platí

$$F \sim \frac{1}{r^4}. \quad (3)$$

Reálně je situace složitější: Magnety nejsou elementární dipóly, síla se značně mění se vzdáleností a pro obvyklé magnety je velmi malá (stovky mikronewtonů až milinewtony). Malé síly budete měřit pomocí vahadla, tedy stejným způsobem, jakým John Robison v roce 1769 zjistil, že elektrická síla mezi dvěma náboji je úměrná $r^{-2,06}$ (před Coulombem a přesněji...).

Pokud máme množinu datových bodů (x, y) a chceme zjistit, jaká mocninná funkce nejlépe odpovídá funkční závislosti, provedeme substituci $\xi = \ln y$, $\eta = \ln x$, čímž funkční závislost přejde na tvar

$$\xi = k \cdot \eta + q,$$

kde směrnice přímky k je hledaný exponent. K vyhodnocení přesnosti regrese můžeme odhadnout absolutní odchylku jako

$$\Delta k \approx \sqrt{S_e},$$

kde S_e je *součet čtverců reziduí*. Jako *reziduum* označujeme rozdíl mezi hodnotou $\xi = \ln y$ určenou měřením a hodnotou vypočtenou z regresní rovnice $\xi = k\eta + q$. Součet čtverců reziduí je pak součtem druhých mocnin těchto rozdílů pro celou tabulku hodnot.

Úkoly

- Pro každou vzdálenost magnetů d v pracovním listu vypočtete působící sílu F , která způsobí vyvážení vahadla (vizte část Provedení úlohy).
- Zaznamenejte do tabulky hodnoty $\ln r$ a $\ln F$, vynesete do grafu ve vhodném měřítku. Určete směrnici grafu k , která má význam exponentu v závislosti síly

na vzdálenosti. Určete rovněž konstantu q , abyste mohli zapsat regresní rovnici ve tvaru

$$\ln F = k \cdot \ln r + q. \quad (4)$$

- c) Do předposledního sloupce tabulky vyplňte hodnoty $\ln F$ vypočtené podle rovnice (4) a do posledního sloupce tabulky vypočtete rezidua.
- d) Vypočtete a do pracovního listu zapište součet čtverců reziduí. Vypočtete absolutní odchylku směrnice k a zaokrouhlete ji na jednu platnou číslici. Výsledek Vašich výpočtů ve tvaru

$$k = (k \pm \Delta k)$$

zapište do pracovního listu.

- e) Na základě výsledku úkolu d) rozhodněte, která z rovnic (1), (2), (3) nejlépe popisuje odpuzování dvou reálných magnetů.
- f) Dokažte výpočtem, proč je vhodné použít právě substituci $\xi = \ln F$, $\eta = \ln r$.
- g) Vysvětlete, proč musí být vahadlo umístěno na špendlících.

Provedení úlohy

Před prvním měřením je zapotřebí vahadlo vyvážit. Použijte jedno z připravených závaží, které umístíte pinzetou na vodorovné rameno vahadla tak, aby bylo vahadlo v rovnováze. K určení vodorovné polohy vahadla můžete využít např. toto zadání nebo přiložené papírové měřítko. Vahadlo je umístěno na špendlících, jejichž špičky jsou v důlcích stojánku. Pro samotné měření však doporučujeme špendlíky postavit mimo důlky. Při vyvažování by měl být pohyblivý magnet nejméně jeden metr od magnetu na vahadle!

Následně budete přibližovat pohyblivý magnet k vahadlu, což způsobí jeho rozvážení (vahadlo již nebude na obou stranách stejně vysoko). Orientace pohyblivého magnetu musí být taková, aby se zvedala levá strana vahadla (ta se stupnicí) Pro každou hodnotu vzdálenosti z pracovního listu budete pomocí závaží vahadlo vyvažovat. Stupnice na vahadle umožňuje určit působící moment síly. Vzdálenost pohyblivého magnetu určete přiloženým měřítkem.

Vzdálenost středu magnetu od osy otáčení vahadla je 95 mm. Hmotnost magnetu i vahadla samotného při výpočtech zanedbejte. Oba magnety musí při řešení ležet v téže rovině kolmé na osu otáčení vahadla. Závaží máte k dispozici nejmenší o hmotnosti 0,45 g, větší o hmotnosti 1,0 g a největší o hmotnosti 1,5 g.