



14. úloha: Magnetická pružina

I. Zadání

Two magnets are arranged on top of each other such that one of them is fixed and the other one can move vertically. Investigate oscillations of the magnet.

II. Úvod

Postavíme na sebe dva magnety tak, že jeden je upevněný a druhý se může volně hýbat jen ve vsmřelém směru. Máme vyzkoumat oscilace.

III. Teorie

Magnet, nebo-li magnetický dipól má severní a jižní pól. Obecně známý fakt, jsou-li souhlasné poli k sobě, magnety se odpuzují. Kolem každého magnetu je magnetické pole, které je elastické, tzn. je stačitelné.

Porušíme-li rovnovážnou polohu dvou magnetů, dotyk magnetických poli nebude tečnový, aktivujeme odpudivou sílu. Tuto sílu lze vypočítat přes teorii poli, ale to by vyžadovalo složité matematické znalosti a vztahy pro střední školu nepřijatelné. Nicméně sílu, která působí v nějakém okamžiku lze zjistit pomocí jednoduchého experimentu, který dále rozvedeme.

Získáme-li magnetickou odpudivou sílu F . A jelikož v našem případě vidíme analogii s mechanickým oscilátorem, můžeme využít rovnic pro kmity harmonického oscilátoru s tlumením.

Rovnice pro výpočet síly ideálního oscilátoru bez tlumení a tření vypadá následovně,
$$F_{\text{res}} = -b v$$

kde, b je pozitivní konstanta a v je rychlost oscilace. Můžeme si přestavit, co nám tato rovnice udává. Odpudivá síla, zpomaluje pohyb a zároveň amplitudy oscilace se budou zmenšovat. Můžeme uvažovat, že pokles bude exponenciální.



Nyní uvažujme náš případ, kdy je přítomna třetí síla. Rovnice bude vypadat následovně:

$$ma(t) = -kx(t) - b v(t) \quad (1)$$

kde levá strana rovnice je odporová síla, a první člen pravé strany rovnice je třetí síla, a druhý člen síla pružiny.

Dále se rovnice (1) může upravovat derivacemi a tak dále, až bychom získali složitý vztah pro výpočet odporové síly. My jsme se rozhodli danou sílu zjistit experimentálně. Budu postup popisovat dále.

Dá se opět očekávat, že kmity budou nesinusové, protože síla F res není lineární funkce. Nazveme odporovou sílu, kterou jsme naměřili, NE vypočítali, jako F_1

Pak můžeme uvažovat pohybovou rovnici pro naši pružinu jako:

$$m a = F_1 - mg - Ft$$
$$m a = F_1 - mg - F - kv$$

Po uvolnění magnetu z původní polohy, má nulovou rychlost, proto značíme $x(t_0) = x(t_1) = 0$

Použili jsme program k vykreslení grafu oscilace.

IV. Experimenty

Vertikální stabilita je dána, protože když se magnety přiblíží, tak se odpuzování zvětší, avšak horizontálně je nestabilní. Magnety se snaží sklouznout po sobě, to znamená, že se horní magnet vyhodí a snaží se přetočit tak, aby byli nesouhlasnými poli k sobě. Jak tomu zabránit? Nejjednodušší způsob je mechanicky.

Nastává problém, jak tedy upevnit horní magnet tak, aby mohlo lehce kmitat a zároveň nevyklouzával z osy. Je jasné, že tření se nezbavíme, takže to bude v roli tlumícího efektu.

Způsobů jak zajistit kmitání po ose, je několik, mohli jsme použít skleněnou rouru, která bude mít přesný průměr, jako mají magnety. Nevýhoda takového pokusu bude obrovské tření způsobené faktem, že se horní magnetka bude snažit otočit se => velká tlaková síla, a zároveň vzduch, který obtéká kolem, brzdí kmitání.

Další možný způsob tedy je, že provrtáme do magnetu díru přesně ve středu a umístíme tyč (osu). Nevýhoda je že, magnet se opět chce otočit, a zároveň je trošku nakloněn (magnety

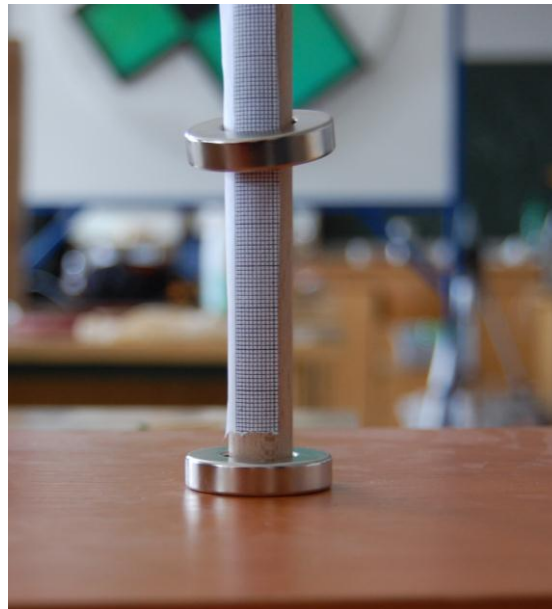


jsou na sobě položeny skrze své pole, která mají tečnový dotek a ne plošný => nikdy nebude horní magnet přesně rovnoběžný s dolním, pokud bychom to neošetřili opět mechanicky).

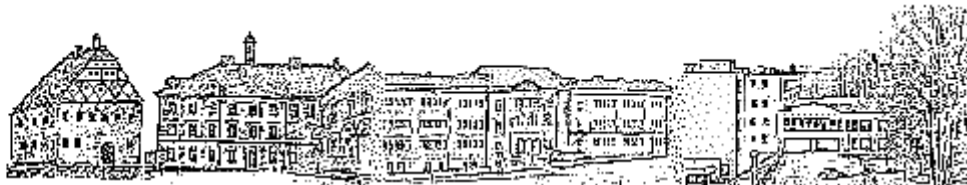
Proč si myslím, že není třeba použít například stabilizační prstenec, který by byl uchycen na tyči z horního magnetu, je takový, že při našem experimentu se snažíme minimalizovat negativní účinky.

Náš prvotní experiment vypadal následovně, měli jsme 2 magnety o síle $B = 0,4 \text{ T}$

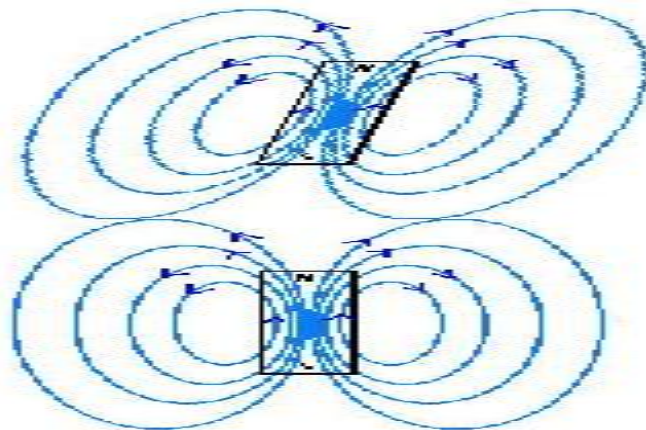
Použili jsme dřevěnou tyč a na to položili první a na něj druhý magnet, souhlasnými póly k sobě.



Problém v tomto experimentu je, jak vidno na fotce, že poloha magnetu byla šikmo, neboť pole na sobě ležela v takovém to případě (viz. obr).



7.11.2012



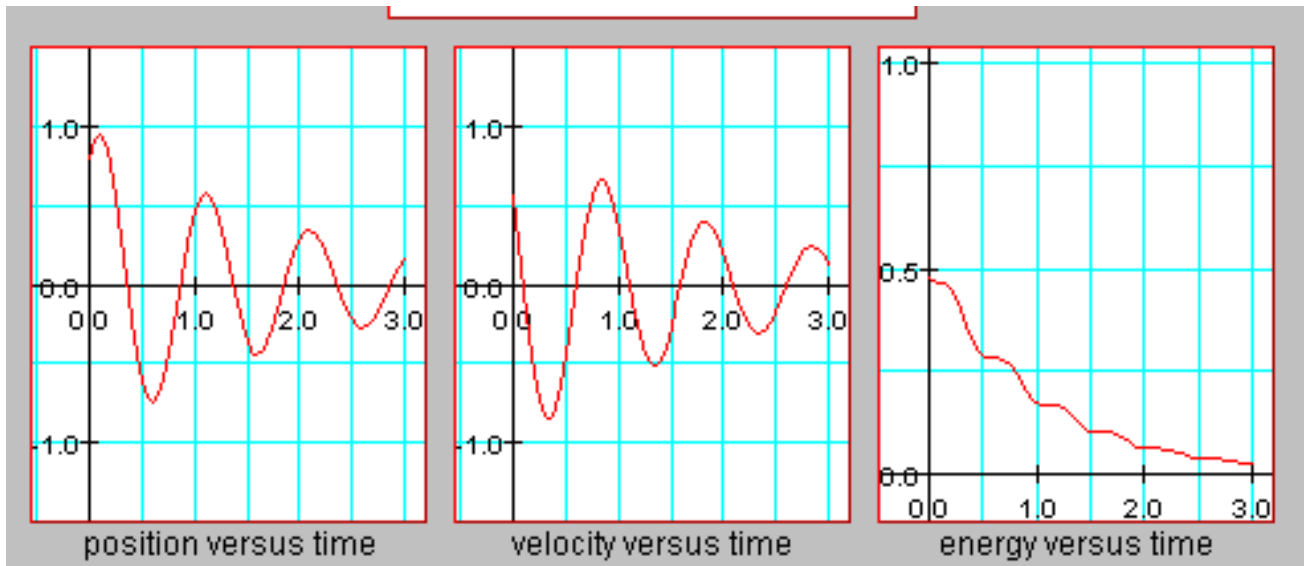
Tento experiment byl velmi neefektivní, protože nakloněný magnet se hodně třel o tyč.

Oscilace trvaly kolem 2 sekund, stěží pozorovatelné.

Jak tedy minimalizovat naklonění horního magnetu? Použít delší magnet, naklonění bude už méně patrné. Použili jsme tedy 5 menších magnetů spojených. 5 magnetů dole a pouštěli jsme dalších 5 magnetů volným pádem z 15 cm výšky. Pokus vypadal následovně.

Pokus jsme natáčeli rychlokamerou s rychlostí 800 FPS. Analyzovali jsme video a vytvořili graf oscilace.

Zjistili jsme, že jsou oscilace tlumené. A graf vypadá následovně.



První graf ukazuje polohu magnetu. Hodnota 1 na ose y je ve skutečnosti maximální vzdálenost magnetů od sebe což je v našem případě 15 cm.

Druhý graf ukazuje rychlost oscilace za čas, graf je obecně zadán obecně. Nicméně počáteční rychlost se dá vypočítat jako rychlost volného pádu.

Třetí graf je grafy energie oscilace v závislosti na čase. Opět zadáno obecně. Jde jenom o ilustrativní křivku.

V. Závěr

Oscilace, které jsme vyšetřovali, jsou tlumené, a to kvůli následujícím faktorům. Tření. Tření vzniká za každý situace, neboť horní magnet se snaží přetočit. Dále princip minima energie. Když necháme magnet padat volným pádem, magnetická pole se budou překrývat, to znamená, že se magnety budou snažit dostat se do stabilní polohy, kdy mají minimální vzájemnou energii působení. To nastává v okamžiku, kdy se magnet dostane do vzdálenosti 10 cm od sebe.

Celý problém se dá aproximovat na klasický mechanický oscilátor se zvětšením tlumením (tření).