

# Magnetická levitace

J. Weiss, J. Roman

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

[weissji1@fjfi.cvut.cz](mailto:weissji1@fjfi.cvut.cz)

## Abstrakt

Naším cílem bylo zkonstruování funkčního elektromagnetického zařízení (tzv. levitronu), díky němuž bychom mohli studovat průvodní jevy magnetické levitace. Mohlo by se zdát, že tyto průvodní jevy nejsou nikterak složité a není jich mnoho, avšak jak již tomu při studiu fyzikálních jevů bývá, tyto doprovodné jevy složité jsou a málo jich také není.

Prozkoumali jsme působení magnetického pole na levitující těleso, elektromagnetickou indukci (Lenzův zákon) a další průvodní jevy.

Náš článek Vám tedy pomůže lépe se zorientovat v problematice magnetické levitace a poskytne Vám základní informace a rady k sestavení svého vlastního levitronu.

## 1 Úvod

Levitace je vznášení hmotných objektů (u nás na Zemi - většinou ve vzduchu) za překonání účinků gravitačních sil. Těleso se při levitaci nachází v rovnovážné poloze, kde výsledná síla (jako součet všech sil působících na těleso) je rovna nule. Kdyby nebyla nulová, těleso by opustilo rovnovážnou polohu, což by každopádně vedlo k jeho zřícení k Zemi, resp. jinému „působivějšímu“ tělesu vstupujícímu do interakce. Vzpomínaná rovnovážná poloha má tu vlastnost, že jemné (mechanické) vychýlení tělesa z rovnovážné polohy, vyústí k návratu tělesa zpět do rovnovážné polohy.

Existuje celá řádka způsobů, jak udržet něco „ve vzduchu“. Mezi jinými vzpomeňme akustickou levitaci: Výhodou akustické levitace je, že levitované vzorky nevyžadují žádné speciální vlastnosti (elektrický náboj, index lomu, apod.). Vzorky mohou být jak z pevné tak kapalné látky. Jedinou podmínkou úspěšného experimentu s akustickou levitací je mít prostředí, ve kterém se šíří zvuk. Což bohatě splňuje vzduch. Levitující těleso se pohybuje na polštáři hustšího vzduchu pod ním, zatímco nad tělesem je tlak vzduchu menší. Zvuk se totiž šíří jako mechanická podélná (longitudinální) vlna. Při podélném kmitání dochází ke změnám hustoty molekul vzduchu po směru šíření vlny, vzduch se stlačuje a zředňuje, dochází ke změnám tlaku vzduchu. Z dalších typů levitace vzpomeňme levitaci optickou, aerodynamickou nebo hybridní.

## 2 Magnetická levitace

Do této kategorie levitací se zvyknou zahrnovat kromě „ryzé“ magnetické levitace i levitace elektrostatická a „levitační působení“ elektromagnetických sil.

Earnshawův teorém nám ukazuje, že je nemožné dosáhnout vzpomínané rovnovážné

polohy jenom za pomoci elektrických interakcí. Existují však podmínky, kdy dosáhneme spor s předpoklady Earnshawova teorému a tím přestává teorém nabývat platnosti – je možné dosáhnout levitace. Patří tam případy kdy:

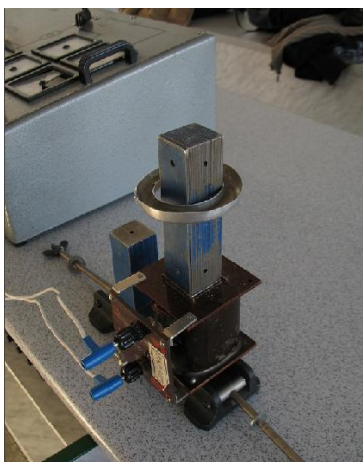
- použijeme diamagnetická tělesa (diamagnetizmu supravodičů se užívá v maglevech, což jsou vysokorychlostní vlaky, které se vznášejí na magnetickém polštáři),
- k elektromagnetům přiinstalujeme kontrolní mechanismus, který nám bude on-the-fly regulovat intenzitu magnetického pole,
- necháme rotovat levitovaný předmět (rotací stabilizujeme orientaci magnetického momentu v prostoru – vytvoříme vlastně magnetický gyroskop – a pak předmět jen vložíme do pole permanentního magnetu, čeho je využíváno v komerčních Levitronech®),
- užijeme oscilujících elektromagnetických polí.

Z kategorie magnetické levitace tak v klidu můžeme kupříkladu vyřadit použití jenom soustavy permanentních magnetů. Řešení problému by mohlo kupříkladu spočívat v umístění magnetu a tělesa, které chceme nechat levitovat do zkoumavky, což by ale už nebyli levitování jenom za pomoci elektrických sil.

S přihlédnutím na důsledky Earnshawova teorému a zvážení dostupnosti materiálů (součástek) jsme tedy k našemu experimentu zvolili oscilující elektromagnetické pole, vyvolané elektromagnetem připojeným na zdroj střídavého napětí.

### 3 Experiment

Abychom mohli detailněji prozkoumat magnetickou levitaci, museli jsme postavit vhodné zařízení, které by nám to umožnilo. Při stavbě levitronu jsme použili následující součástky: cívku (600 závitů), listové feromagnetické jádro a zdroj napětí (transformátor s regulovatelným napětím). Jako levitující těleso jsme použili ocelový kroužek (prsteneček).



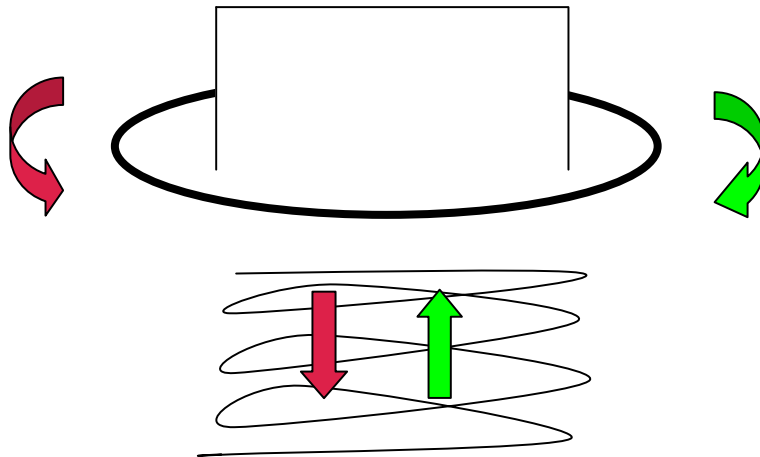
Obrázek č. 1: Levitace

Po sestavení aparatury jsme cívku nejdříve zapojili ke zdroji stejnosměrného proudu. Podle očekávání byl prsteneček vymrštěn do vzduchu. Vysvětlení je jednoduché: proud, který jsme pustili do obvodu, byl příliš silný a magnetické pole vytvořené v prstenci indukovaným napětím bylo taktéž příliš silné. Vzniklá odpudivá síla mezi cívkou a prstencem, která katapultovala onen nešťastný kus železa. Pro pokus se navíc nehodilo použít stejnosměrného proudu, jelikož pouze změna magnetického toku indukuje elektrický proud a tuto vlastnost stejnosměrný proud nemá.

Probíhá-li cívkou stejnosměrný proud, cívka sice vytváří magnetické pole, no v prstenci se po delší dobu žádné napětí neindukuje (indukovalo by se pouze v momentě zapojení cívky) a nevznikala by žádná odpudivá síla – experiment by skončil nezdarem.

Proto jsme pro náš experiment použili jako zdroj napětí střídavý proud, ten zajišťuje, že ke změně magnetického pole dochází několikrát za sekundu. Tato změna indukuje napětí v prstenci. Elektrický proud začne protékat prstencem a vytvoří tak kolem sebe magnetické pole. Podle Lenzova zákona magnetické pole vytvořené tímto indukovaným proudem působí proti změně, která toto pole vyvolala. A opravdu, teoreticky předpovězené chování prstence se experimentálně potvrdilo. Prstenec levitoval.

Cívka vytvářela magnetické pole, které působilo nejdříve jedním, potom opačným směrem. Docházelo tedy ke změně magnetického pole v okolí cívky. Tato změna indukovala v prstenci elektrický proud. To pohýbalo prstencem následovně:



Obrázek č. 2: Schéma pole

Pokud orientace intenzity magnetického pole směřovala dolů, indukované napětí probíhalo v prstenci zleva do prava (viz obrázek č. 2). A naopak. Tím docházelo k nepřetržitému vytváření odpudivé síly mezi cívkou a prstencem a ten levitoval.

Během experimentu jsme si povšimli, že prstenec nezůstává v klidu, ale pohybuje se na feromagnetickém jádře nahoru a dolů. Došli jsme k závěru, že je to způsobeno ne zcela perfektní souměrností a homogenitou prstence. Avšak zaujala nás představa, že pokud by naše těleso bylo co do tvaru a jednoduše perfektní, zda-li by také vykonávalo takovýto pohyb.

Jedním z vysvětlení, proč se toto dělo, mohla být frekvence střídavého proudu. Magnetické pole vytvářené cívkou se měnilo 50-krát za sekundu. Střídavě sílilo a sláblo, takže prstenec byl odpuzován se střídavou silou. To mohlo vyvolat onen pohyb.

Dalším vysvětlením bylo časové posunutí změny orientace magnetického pole vyvolaného indukovaným napětím v prstenci. Pokud uvědomíme, že jakékoli pole se sice šíří do nekonečna, avšak konečnou rychlostí, rychlostí světla  $c = 2,997\,924\,58 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , dojdeme k závěru, že mezi prstencem a cívkou musela na chvíli působit přitažlivá síla. Přesně na  $6,671\,281\,904 \cdot 10^{-10} \text{ s}$ .

## Závěr

Během experimentu s magnetickou levitací jsme zjistili, že náš typ levitronu opravdu nebude fungovat na stejnosměrný proud. Museli jsme použít střídavý proud (Lenzův zákon).

Popsali jsme působení odpuzivých sil magnetických polí cívky a prstence, jak se tato pole mění v závislosti na sobě a také pohyb prstence, jež se neočekávaně pohupoval po feromagnetickém jádře. Vysvětlili jsme, proč se tak děje a vznесли jsme hypotézy, proč by se tak mělo dít i v případě perfektního tělesa.

Výsledky experimentu byli zpracováni i v posteru „Magnetická levitace“, který byl prezentován na hodině FyzSemu v posterové sekci.

## **Poděkování**

Děkujeme všem, kteří nás během pokusu podporovali a vedli. Takže: DĚKUJEME!!!!!!

## **Reference**

- [1] T. V. Wilson, How Acoustic Levitation Works, <http://science.howstuffworks.com/acoustic-levitation.htm>
- [2] Kol. autorů, Magnetic Levitation, [http://en.wikipedia.org/wiki/Magnetic\\_levitation](http://en.wikipedia.org/wiki/Magnetic_levitation)
- [3] P. Gibbs and A. Geim, Is Magnetic Levitation Possible?, <http://www.resonancepub.com/magphen.htm>
- [4] Kol. Autorů, The Frog That Learned to Fly, <http://www.hfml.ru.nl/froglev.html>
- [5] M. D. Simona, L. O. Heflinger, S. L. Ridgway, Spin stabilized magnetic levitation, <http://www.physics.ucla.edu/marty/levitron/spinstab.pdf>
- [6] CyberElectronics, Levitron, <http://www.electronics.extra.hu/movie/levitron.pdf>
- [7] R. Jandora, Elektromagnetická indukce, <http://www.sweb.cz/radek.jandora/f16.htm>