

Lebdeča vrtavka



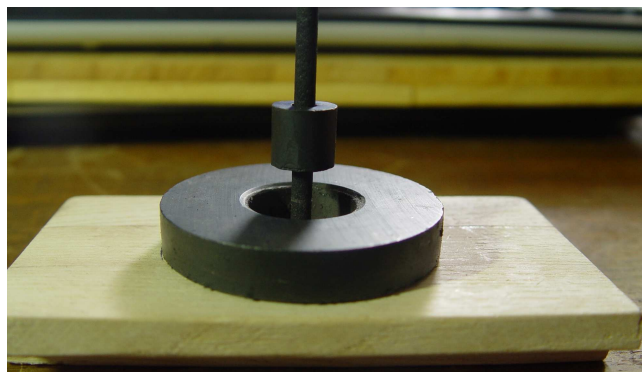
ANDREJ LIKAR

→ Magneti so znani že iz pradavnine, najstarejše omembe so kitajskega izvora in segajo kakšnih 2500 let nazaj. Drug na drugega delujejo, ne da bi se dotikali, kar nas še danes prevzame. Sicer tudi teža deluje tako, le da je tako vsakdanja, da se ji ne čudimo več. Magneti pa se ne le privlačijo, temveč se tudi odbijajo, in to z znatnimi silami, ki jih jasno začutimo že z golimi rokami. Pri elektrostatiki so te lahko tudi odbojne, a so mnogo manj izrazite.

Hitro pomislimo, da bi razpostavili magnete tako, da bi njihova odbojna sila na izbrano postavljeni magnet izničila njegovo težo. Magnet bi tedaj lebdel. Lebdenje pač preseneča. Pomislimo na nekatere ptice in žuželke, tu so največji junaki kolibriji, pa na drone in helikopterje.

Poskusi v tej smeri se nikoli ne posrečijo. Nepritrjeni magnet, ki naj bi lebdel, vedno nekam pobegne ali pa se zasuče in trešči v druge magnete. Na leseno paličico natakneni magnet pa ne more pobegniti in lebdi nad močnim obročastim magnetom (glej sliko 1). Ne tako dolgo nazaj, v sedemdesetih letih prejšnjega stoletja, pa se je posrečilo brez opore obdržati v zraku vrtečo se magnetno vrtavko. Na sliki 2 je vidna postavitev spodnjega obročastega magneta in lega lebdeče vrtavke. Odkritje je bilo patentirano in je osnova priljubljeni igrachi, ki jo lahko kupimo pod imenom Levitron (glej sliko 3). Na spodnji magnet, ki leži na mizi, postavimo tanko vodoravno ploščo, na njej pa na sredini zavrtimo vrtavko. To se posreči, ker je pod vrtavko luknja. Potem počasi dvigamo ploščo, dokler vrtavka ne obvisi v zraku. Pri tem moramo poskrbeti, da ima vrtavka ravno pra-

všno maso. To najdemo z dodajanjem priloženih drobnih uteži, ki jih natikamo na vrtavko. Na spletu najdemo vrsto navodil, kako si tako igracho izdelamo sami. Izdelava pa ni prav preprosta, ker potrebujemo kar nekaj stvari, ki jih ni lahko dobiti, terja pa tudi precej potrpljenja pri iskanju pravih lastnosti vrtavke.

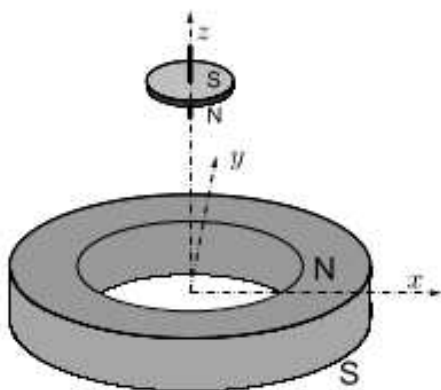


SLIKA 1.

Lebdeči magnet, napeljan na palico, ki poskrbi, da se magnet ne more obrniti in pobegniti. Teža zgornjega magneta je enaka odbojni sili med magnetoma.

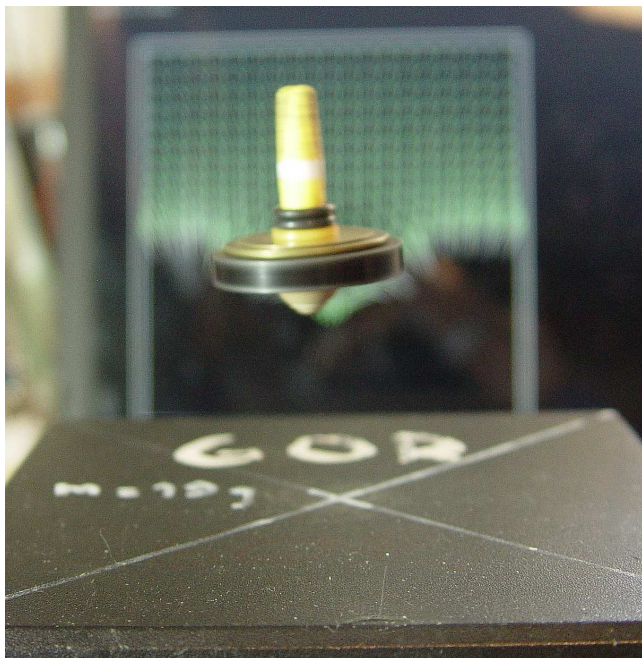
Zakaj vrtavka lebdi? Prijavitelj patenta je imel velike težave, preden je prepričal uradnike, da je njegov predlog mogoče uresničiti. Kot bomo videli, je lebdenje sicer izvedljivo, vendar le za las. Hkrati ga omogočata posebna zgradba magnetnega polja obročastega magneta in dinamika vrtavke.

Najprej si oglejmo magnetno polje spodnjega obročastega magneta. Zgornja ploskev obroča naj bo severni pol (N), spodnja pa južni (S). V magnetu si lahko zamislimo množico drobnih magnetnih dipolov, vsak je sestavljen iz magnetnega monopola N (sever) in prav tako velikega monopola S (jug). Pri tem monopole N in S postavimo navpično enega nad



SLIKA 2.

Lebdeča vrtavka nad obročastim magnetom – zasnova igrافة Levitron

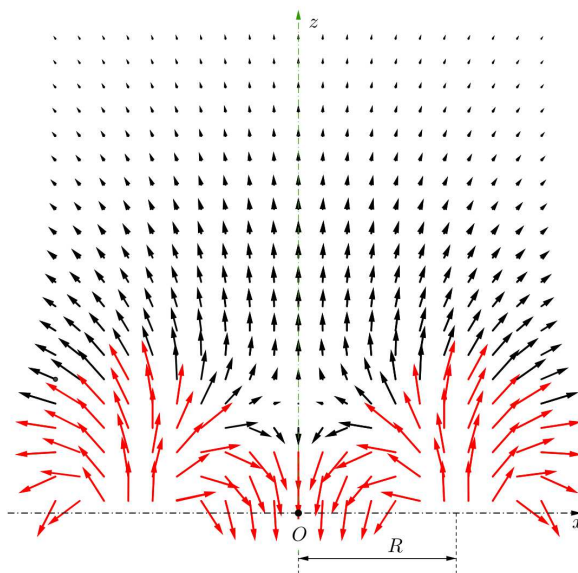


SLIKA 3.

Posnetek lebdeče vrtavke pri Levitronu

drugim. S to zamislijo pridemo do pravega magnetnega polja stran od monopolov, čeprav dobro vemo, da magnetnih monopolov v naravi ne najdemo. Vendar tako zamišljeni magnetni dipoli verno odražajo magnetno polje drobnih tokovnih zank, ki pa jih je znotraj magnetna vse polno.

Gostoto magnetnega polja $\vec{B}$ prav preprosto izračunamo tako, da množico magnetnih dipolov porazdelimo v obroč in seštejemo njihove prispevke k polju v prostoru. Tako dobljeno polje je predstavljeno z vektorji na sliki 4 in silnicami na sliki 5. Polje smo izračunali numerično z ustreznim računalniškim programom v dovolj gosto posejanih točkah v prostoru nad magnetom.



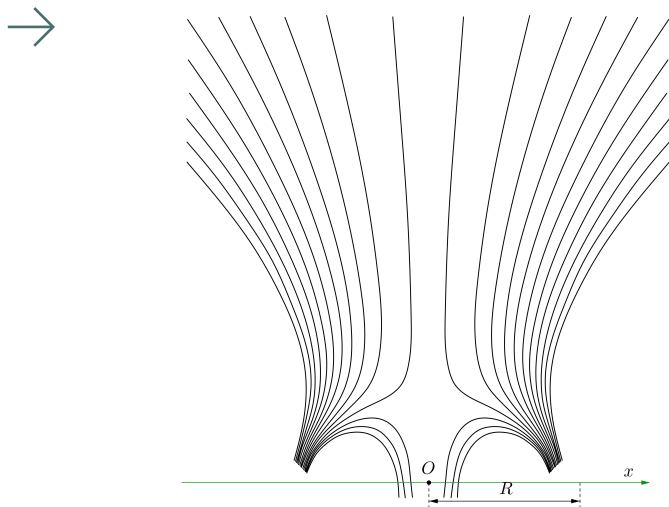
SLIKA 4.

Magnetno polje obročastega magnetna v ravnini, ki jo določa simetrijska os. Vektorji magnetne poljske gostote $\vec{B}$ so prikazani v izbranih točkah ravnine. Vektorji, prikazani z rdečo barvo, so zaradi preglednosti po velikosti zmanjšani.

Ko v magnetno polje spodnjega magnetna postavimo obročasti magnet vrtavke, nas zanimajo predvsem sile nanjo. Polje sil pa ne sovпада z magnetnim poljem. To hitro uvidimo, če si spet zamislimo magnetni dipol, sestavljen iz magnetnih monopolov. Na posamezna monopola deluje sila

$$\vec{F}_m = e_m \vec{B},$$





SLIKA 5.

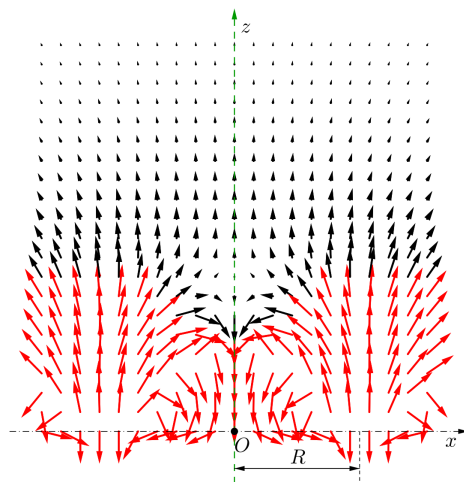
Magnetno polje obročastega magneta, predstavljeno s silnicami.

kjer je e_m magnetni naboj monopola. Na celotni dipol deluje vsota sil na posamezna monopola. Če sta monopola v magnetnem polju z enako gostoto $\vec{B}$, sile na dipol ni, ker sta magnetna naboja e_{mN} in e_{mS} nasprotna. Če pa je monopol N v drugačnem polju kot S, je sila na dipol od nič različna. Magnetna sila na dipol bo torej

$$\vec{F}_{mD} = e_m (\vec{B}_N - \vec{B}_S),$$

kjer sta $\vec{B}_N$ in $\vec{B}_S$ magnetni polji na mestih monopolov N in S. Za silo je odločilna sprememba magnetnega polja $\vec{B}$ vzdolž veznice med poloma N in S v dipolu vrtavkega magneta. Ker poznamo gostoto magnetnega polja $\vec{B}$ v poljubni točki nad osnovnim magnetom, hitro pridemo do polja sil na vrtavko (glej sliko 6). Z znano lego vrtavke pa pridemo do sile nanjo z vektorskim seštevanjem sil posameznih dipolov v njenem magnetu.

Navpično silo na vrtavko smo predstavili na sliki 7. Ko je vrtavka dovolj visoko nad spodnjim magnetom, jo le-ta odbija navzgor. Sila z višino narašča, potem pa začne padati. Če je teža vrtavke primerna in jo postavimo v del, kjer magnetna sila nanjo pada, bi vrtavka našla točko, kjer bi bila vsota njene teže in magnetne sile enaka nič. Vrtavka bi tam lebdela, če bi bilo njeno težišče natančno na geometrijski osi. Pri rahlem dvigu bi prevladala teža navzdol, pri spu-

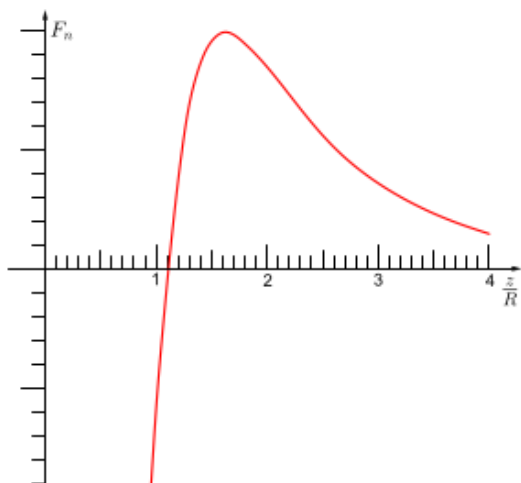


SLIKA 6.

Polje sil na magnetni dipol, ki ga postavimo v navpični smeri.

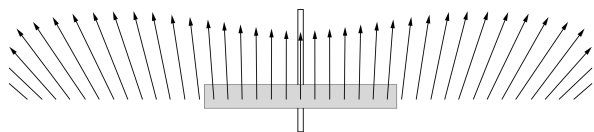
stu pa magnetna sila navzgor. Zaradi teže in sile magneta bi bila vrtavka v navpični smeri v stabilnem ravnovesju.

Za lebdenje pa mora biti vrtavka v stabilnem ravnovesju tudi v vodoravni ravnini. Ne moremo namreč pričakovati, da bo vrtavkina os vedno natančno sovpadala s simetrijsko osjo spodnjega magneta. Tu pa je glede stabilnega ravnovesja ravno obratno kot v navpični smeri. Vrtavka je v vodoravni ravnini stabilna le na višinah pod maksimumom magnetne odbojne sile. Tam pa vrtavka ni stabilna v navpični smeri. Torej lebdenje ni možno. To so odkritelju zatrjevali mnogi fiziki ter tudi uradniki patentnega zavoda in imeli so skoraj prav. Skoraj zato, ker so privzeli, da je os vrtenja povsem navpična tudi, ko je vrtavka izmaknjena od simetrijske osi spodnjega magneta. Pri zmernem vrtenju pa se os vrtenja zaradi navora na vrtavko v magnetnem polju in posledično njene precesije nagne ter sledi smeri gostote magnetnega polja $\vec{B}$. Zaradi tega majhnega nagiba se vodoravna magnetna sila kvalitativno spremeni. Na sliki 8 so prikazane sile na vrtavko, ko je njena os povsem navpična, na sliki 9 pa, ko je rahlo nagnjena v smeri magnetnega polja v njeni, po osi x, izmaknjeni legi. Vidimo, da se vodoravna sila spremeni, in sicer tako, da potisne vrtavko nazaj k simetrijski osi spodnjega magneta.



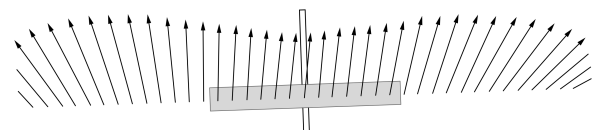
SLIKA 7.

Navpične sile na vrtavko, ki jo postavimo v magnetno polje obročastega magneta. Os vrtavke je postavljena navpično.



SLIKA 8.

Sile na dele vrtavke, ko simetrijska os obročastega magneta in vrtilna os vrtavke sovpadata.

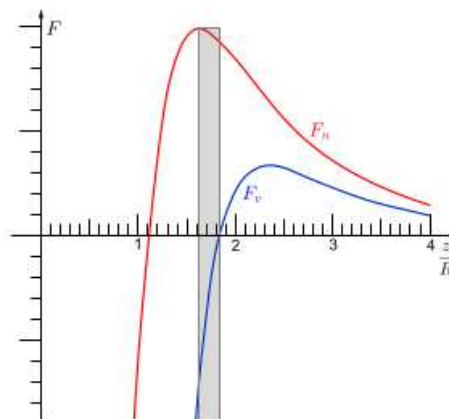


SLIKA 9.

Ko se vrtavka oddalji od simetrijske osi in hkrati nagne, ker njena os sledi magnetnemu polju obročastega magneta, se sile nanjo spremenijo tako, da jo potiskajo nazaj v izhodiščno lego.

Slika navpične in vodoravne magnetne sile je sedaj nekoliko drugačna (glej sliko 10). V zelo ozkem, le kakih 5 mm širokem pasu višin blizu vrha navpične sile, je vrtavka v stabilnem ravnovesju, tako v navpični smeri kot v vodoravni ravnini (sivi pas na sliki 10). Vrtavka torej lahko lebdi, le zelo natančno moramo ujeti njeno težo, da smo tik nad vrhom navpične magnetne sile. To storimo z okroglimi ploščicami različnih polmerov, debelin in iz različnih snovi, ki jih nameščamo na vrtavko. Prilagoditev mase moramo opraviti sami, ker sta moči magnetov nekoliko odvisni od njune temperature in železnih predmetov v okolici.

Z nekaj vaje obvladamo zagon na dvizni plošči in previdno dviganje do lebdenja. Čeprav je opisana igrača zahtevna, smo z lebdečo vrtavko obilno nagrajeni, saj jo lahko opazujemo kar nekaj minut. Izpopolnjene igrače te vrste imajo vgrajeno vezje, ki poganja vrtavko, da le-ta lebdi poljubno dolgo časa. A to že po malem posega v aktivno nadzorovano lebdenje, kjer lebdeči magnet obdržimo v ravnovesju s krmilnimi tuljavicami. O tem pa kdaj prihodnjič.



SLIKA 10.

Vodoravna F_v in navpična F_n magnetna sile na vrtavko, ki je malo izmaknjena iz ravnovesne lege in nagnjena tako, da je njena os v smeri magnetnega polja spodnjega magneta. V sivem pasu je vrtavka v stabilnem ravnovesju. Na vodoravno os grafa nanašamo višino, merjeno od srednje vodoravne ravnine obročastega magneta. Merilo je relativno glede na srednji polmer magneta.

× × ×