

Levitacija oziroma lebdenje po fizikalno



LUKA ČMOK, VID SERAŽIN, MILOŠ BOROVSŠAK IN IRENA DREVENŠEK OLENIK

→ **Levitacijo oz. lebdenje ljudje večinoma povezujejo z magijo, hipnozo, ezoteričnimi stanji in podobnimi temami [1]. V pričujočem sestavku pa bomo pokazali, da je levitacija lahko tudi povsem razložljiv fizikalni pojav, ki ga je mogoče realizirati na več načinov [2].**

Kot je v fiziki navada, se moramo pri vpeljavi novega pojma najprej dogovoriti za njegovo definicijo. Pri levitaciji je definicijska zgodba naslednja: Na vsa telesa na površju Zemlje deluje teža. Teža je sila, ki poskuša telesa potegniti v središče Zemlje. Zaradi teže predmeti, ki jih vržemo v zrak ali pa spustimo z rok, čez nekaj časa padejo na tla. Če želimo, da telo miruje v izbrani legi kot, denimo, knjiga, ki stoji na

knjižni polici, ali pa lesteneč, ki visi s stropa, mora nanj poleg teže delovati še neka druga sila, ki deluje v nasprotni smeri sile teže in je enako velika kot sila teže. Takšni sili sta sila police, ki knjigo tišči od spodaj navzgor, in sila vrvice, ki lesteneč vleče proti stropu. V obeh primerih sta telesi (knjiga oz. lesteneč) v stiku z drugim objektom (polica oz. vrvica), ki povzroča silo (slika 1). Kadar pa telo miruje v zemeljskem težnostnem polju, čeprav ni postavljeno na nobeno podlago ali obešeno oz. fizično vpeto na ogrodje, govorimo o levitaciji. Tudi pri levitaciji je, podobno kot v vseh drugih situacijah mirovanja, sila teže telesa uravnotežena z neko drugo nasprotno enako silo. Razlika je le v tem, da pri levitaciji te nasprotnne sile ne posreduje kontakt s podlago ali ogrodjem.

Levitacija na osnovi vzgona

Preprosti primer levitacije je vzgon. Pojavi se vedno, ko neko telo potopimo v tekočino. Če žogo, napolnjeno z zrakom, potopimo pod vodno gladino in nato spustimo, ne pade na dno, ampak splava navzgor na površje vode. Sila, ki žogo poriva na površje, je sila vzgona. Dokler je žoga potopljena, je vzgon večji od teže in žogo potiska navzgor, če je žoga napolnjena s snovjo, ki ima manjšo gostoto kot voda, kar za zrak seveda velja.

Tudi v vsakdanjem življenju smo ves čas potopljeni v morje tekočine. Ta tekočina je zrak. Če žogo ali njeno manj masivno različico - balon - napolnimo s snovjo, ki ima manjšo gostoto kot zrak, ju zaradi vzgona vleče navzgor proti gladini zračnega morja, se pravi proti vrhu zemeljske atmosfere. Do tovrstnega pojava pride pri balonu, napolnjenim s helijem. Helijev balon sila vzgona vleče navzgor, sila



SLIKA 1.





SLIKA 2.

teže pa navzdol. Ker je prva sila večja od druge, balon, če ga spustimo iz rok, odnese navzgor. Če pa težo balona povečamo, tako da nanj obesimo nekaj lističev papirja, lahko dosežemo, da sta obe sili nasprotno enaki. Balon lebdi oz. levitira na izbranem mestu (slika 2). Opisani pojav obteževanja izkoriščajo balonarji pri vzletu in pristanku potovalnih balonov. V potovalnih balonih namesto helija uporabljamo vroči zrak, ki ima ravno tako manjšo gostoto od hladnejšega zraka v zračnem »morju«, po katerem se giblje balon.

Levitacija na osnovi zračnega upora

Če balon napolnimo z zrakom, ki ima enako ali pa le malo višjo temperaturo, kot je temperatura okoljškega zraka, in ga nato spustimo, balon pade proti tlu. Razmere pa se močno spremenijo, kadar piha veter. Veter lahko balon odnese s seboj v smeri ve-



SLIKA 3.

tra daleč stran od začetne lege. Če je veter usmerjen navzgor, balon ne bo več padal, ampak se bo začel dvigati. To dviganje povzroča zračni upor. Upor se pojavlja v vseh tekočinah, ki se gibljejo glede na neko telo in ga občutimo, ko npr. drvimo s kolesom po ravni cesti ali pa stojimo v deročem potoku. Upor deluje tudi na žogico, ki jo postavimo v curek zraka, ki piha navpično navzgor iz fena za lase. Ko žogico postavimo na ustje fena, se žogica najprej nekaj časa dviga, potem pa se njena lega ustali in začne lebdeti. To se zgodi v položaju, v katerem je sila zračnega upora nasprotno enaka sili teže. Sila zračnega upora je odvisna od hitrosti gibanja zraka. Hitrost zraka, ki prihaja iz fena, je največja tik ob ustju, z oddaljevanjem od ustja pa se curek izpihanega zraka širi in zato hitrost pojema. Zaradi tega žogica pri svojem gibanju slej ko prej pride v območje hitrosti, v katerem je upor enako velik kot teža; tam se njen položaj ustali. Zanimivo je, da žogica lahko lebdi, tudi če curek zraka usmerimo postrani glede na navpičnico (slika 3). Lebdenje preneha šele pri dokaj velikem



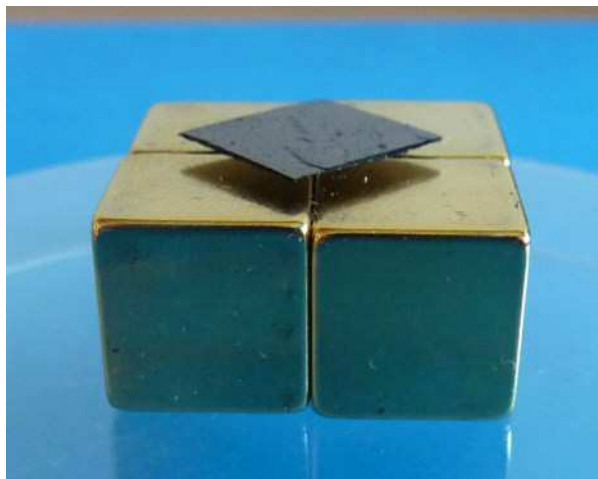
SLIKA 4.

nagibnem kotu. Dodatna sila, ki vpliva na lebdenje v takih situacijah, izvira iz podtlaka, ki nastane na območjih z večjo hitrostjo zraka. Navedeni podtlak ustvari neke vrste past iz hitrega zraka, v katero se ujame žogica.

Tako pri zračnem uporju kot pri vzgonu v resnici ne gre za pravo brezkontaktno interakcijo. Balon oz. žogica morata namreč v obeh primerih biti v stiku z okoliškim zrakom. Če tega stika ne bi bilo, levitacija ne bi bila možna. Če bi npr. iz sobe, v kateri lebdi helijev balon, izčrpali zrak, bi sila vzgona prenehala delovati in balon bi padel na tla. Podobno tudi fen, če v sobi ne bi bilo zraka, ne bi mogel povzročiti zračnega toka in zato tudi ne bi bilo sile zračnega upora.

Levitacija na osnovi odbojne sile med dvema magnetoma

V naravi obstajajo snovi, ki so same po sebi magnetne ali pa jih lahko namagnetimo mi. Tovrstne snovi uporabljamo za kompase ter za ploščice, s katerimi pritrdimo razglednice na hladilnik in druge železne dele pohištva. Vsak magnet ima dva pola, ki ju imenujemo južni in severni pol. Istovrstna pola se odbijata, nasprotna pa privlačita. Če magnet prelomimo na polovico, ne dobimo ločenih polov, ampak dobimo dva manjša magneta, ki imata spet vsak svoj južni in severni pol. Če en magnet postavimo na pod-



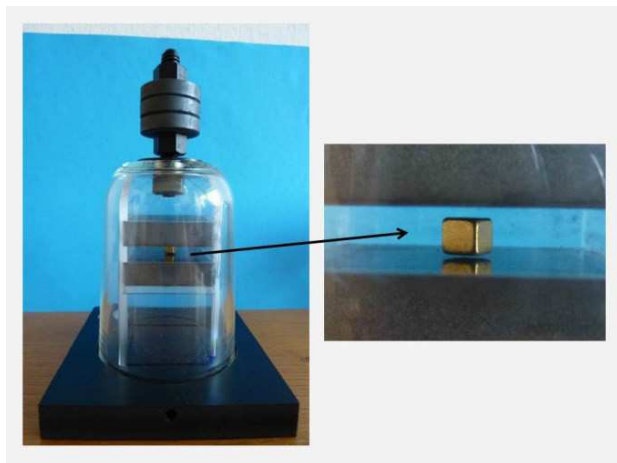
SLIKA 5.

lago, tako da je, denimo, njegov severni pol obrnjen navzgor, nad njim pa postavimo drugi magnet, katerega severni pol obrnemo navzdol, pričakujemo, da bomo s pomočjo odbojne sile med magnetoma lahko dosegli lebdenje zgornjega magneta. Žal pa vsa stvar ni tako preprosta, ker je opisana lega zgornjega magneta nestabilna. To pomeni, da se zgornji magnet, takoj ko njegovo gibanje sprostimo, vedno zasuče v stran od navpičnice ter se slej kot prej postavi v lego, v kateri se magneta privlačita, namesto da bi se odbijala. Stabilizacijo lahko dosežemo, če zgornji magnet, preden ga sprostimo, spravimo v hitro vrtenje okoli navpične osi [3]. V ta namen ga vgradimo v notranjost vrtavke. Zaradi vrtenja ima magnet vrtilno količino oz. spin. Zaradi spina postane lega zgornjega magneta z navzdol obrnjenim severnim polom stabilna in pojavi se levitacija (slika 4). Le-ta vztraja toliko časa, dokler se vrtenje ne upočasni in ne zmore več vzdrževati stabilnosti.

Levitacija na osnovi magnetne sile na diamagnetno snov

Vemo, da magneti privlačijo nekatere kovine, kot je, denimo, železo. Železna sponka za papir, ki jo približamo magnetu, se »prilepi« na magnet. Za železo in nekatere druge snovi, ki se v bližini magnetov obnašajo podobno kot železo, pravimo, da so feromagnetne. Na številne materiale, kot so, denimo, aluminij,





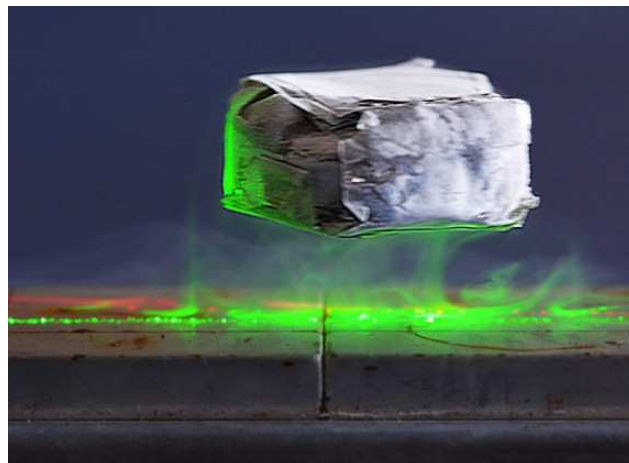
SLIKA 6.

plastika in papir, pa magneti na videz nimajo učinka. Vendar to ni res. Magneti vplivajo tudi na druge snovi, a dosti šibkeje kot na feromagnetne materiale. Nekatere snovi, kot je aluminij, magneti šibko privlačijo. Take snovi so paramagnetne. Nekatere snovi pa magneti odbijajo, namesto da bi jih privlačili. Take snovi so diamagnetne. Med diamagnetne snovi spadajo voda, les in številne druge organske snovi.

Snov z izjemno močno izraženimi diamagnetnimi lastnostmi je pirolitični grafit [4]. To je umetno pridobljena vrsta grafita, ki se med drugim uporablja tudi za moderatorje v jedrskih reaktorjih. Če ploščico iz tovrstnega grafita postavimo nad površino močnih magnetov, ploščica lebdi nad magnetno podlago (slika 5). Odbojna magnetna sila ploščico odriva navzgor, teža pa jo vleče navzdol. Ploščica se ustali na tisti višini od podlage, na kateri sta si omenjeni sili nasprotno enaki. Podobna vrsta lebdenja se pojavi tudi, če majhen magnet v obliki kocke postavimo nad podlago iz grafita ali pa v režo med dvema grafitnima ploščama (slika 6). Tokrat mirujeta plošči in se magnet odbija od njiju.

Levitacija na osnovi magnetne sile na superprevodno snov

Superprevodniki so snovi, po katerih lahko teče električni tok, tudi ko niso priključeni na električno na-



SLIKA 7.

petost. Superprevodniki so hkrati tudi idealni diamagnetni materiali, saj magnetno polje sploh ne more prodreti v njihovo notranjost (superprevodniki tipa I) ali pa lahko v njo prodre le delno (superprevodniki tipa II) [5]. Materiali, ki jih poznamo pod imenom visokotemperaturni superprevodniki, so keramični materiali na osnovi bakrovega oksida (kuprati) z dodatkom itrija in barija (YBCO) ali sorodnih elementov (stroncij, bizmut). Da tak keramični material postane superprevoden, ga moramo najprej ohladiti na temperaturo pod določeno vrednostjo. Dovolj nizko temperaturo dosežemo, če disk iz tovrstne keramike potopimo v tekoči dušik, ki ima (pri vrenju) temperaturo $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$. Če disk med ohlajanjem postavimo na podlago iz magnetov, ob prehodu iz navadnega prevodnega v superprevodno stanje v njegovi površinski plasti nastanejo električni tokovi, ki praktično povsod, razen v nekaj ozkih linijah, izničijo magnetno polje v njegovi notranjosti (YBCO je superprevodnik tipa II). Zaradi teh tokov ohlajeni disk, potem ko ga vzamemo iz tekočega dušika in postavimo nazaj nad magnetno podlago, lebdi nad podlago na isti višini, kot jo je imel v času ohlajanja (slika 7). Tudi tokrat silo teže kompenzira magnetna sila. Če disk porinemo proti robu magnetne podlage, kjer je magnetno polje drugačno kot v osrednjem delu, se disk pri robu obrne in se poskuša vrniti v prejšnjo lego. Svojo lego poskuša disk obdržati tudi, če podlago dvignemo iz mize in jo zavrtimo za 180° . Potem disk lebdi pod namesto nad

podlago. Lebdenje traja toliko časa, dokler se disk ne segreje na temperaturo, pri kateri preide iz superprevodnega nazaj v navadno prevodno stanje. Takrat se magnetna sila močno zmanjša in disk pade na podlago.

Zaključek

Če sestavimo skupaj zelo veliko število magnetov, je možno doseči lebdenje tudi za večja telesa. Največji objekti te vrste, ki jih lahko srečamo v vsakdanjem življenju, so superhitri vlaki, ki jih uporabljajo na Kitajskem (Maglev Transrapid) in Japonskem (SCMaglev) [6]. Ker pri lebdenju ni trenja s podlago, lahko lebdeči vlaki dosegajo zelo velike hitrosti (nad 500 km/h). S takim vlakom bi za pot iz Prekmurja do slovenske obale potrebovali manj kot 30 minut. Žal pa, vsaj za enkrat, Slovenske železnice superhitrih vlakov še ne načrtujejo, zato kar zaprite oči in pomislite na letečo preprogo iz pravljic. Hm, kaj smo že rekli na začetku članka? Da ljudje lebdenje vse prepogosto povezujemo z nadnaravnimi silami.

Literatura

- [1] [http://en.wikipedia.org/wiki/Levitation_\(paranormal\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Levitation_(paranormal)), ogled 7. 6. 2015.
- [2] <http://en.wikipedia.org/wiki/Levitation>, ogled 7. 6. 2015.
- [3] <http://en.wikipedia.org/wiki/Levitron>, ogled 7. 6. 2015.
- [4] <http://en.wikipedia.org/wiki/Diamagnetism>, ogled 7. 6. 2015.
- [5] <http://en.wikipedia.org/wiki/Superconductivity>, ogled 7. 6. 2015.
- [6] <http://en.wikipedia.org/wiki/Maglev>, ogled 7. 6. 2015.

× × ×

www.dmfa-zaloznistvo.si

www.presek.si

Janez Strnad

↓↓↓

ALEŠ MOHORIČ

→ **Novembra se je poslovil najplodovitejši sodelavec naše revije, kolega fizik, zaslužni profesor *Univerze v Ljubljani*, dr. Janez Strnad. Njegov članek je izšel še v predzadnji številki revije.**

Profesorja sem spoznal, ko sem prestopil prag univerze. Brucom nam je predaval *Fiziko*, osrednji predmet našega študija. S svojim resnim in zavzetim pristopom, pripravljenostjo odgovoriti na vsa vprašanja, poštenostjo ter odličnostjo ocenjevanja, je pustil pečat generacijam fizikov. Na predavanjih smo lahko slutili, da ve mnogo več, kot pove. Izvrstno je poznal tako učno snov, kot težave, ki spremljajo njeno razumevanje. To plat svoje razgledanosti je pokazal v predavanjih *Razvoj fizike* in v pisanju po-



SLIKA 1.

Foto: Marjan Smerke

