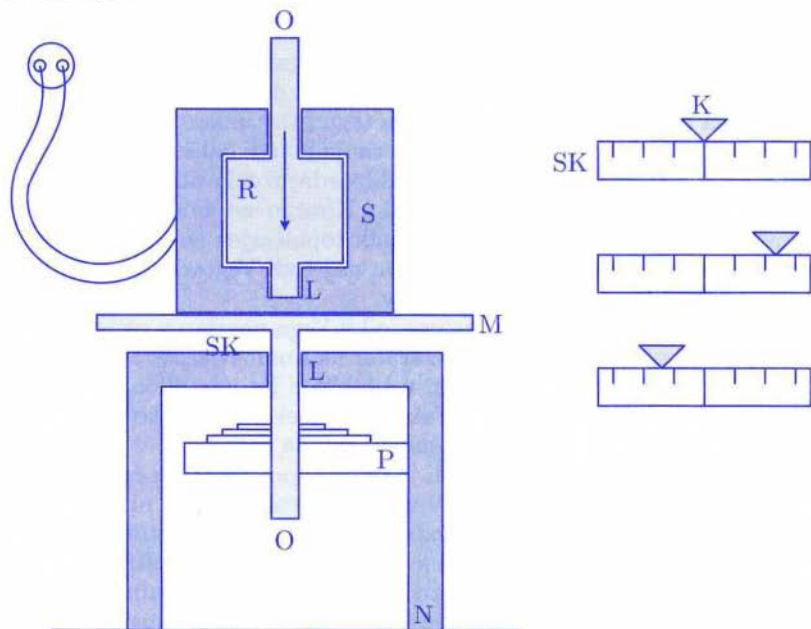




## O HELIKOPTERJIH

Članek Mojce Čepič o podmornici na vzmet v Preseku me je spomnil na poskus, pri katerem je vodoravna mizica vrtljiva okoli navpične osi in je preko polžaste vzmeti povezana z ohišjem. Eno krajišče vzmeti je privito na ohišje, drugo na os mizice, tako da mizica lahko sučno niha. Na mizico je pritrjen majhnen elektromotor, vrtljiv okoli navpične osi, ki leži v osi mizice (slika 1). Elektromotor priključimo na izvir napetosti z lahkima ohlapnima žicama. Ko se začne elektromotor vrteti, se mizica odkloni iz začetne lege. Čez čas se motor vrti s konstanto kotno hitrostjo in mizica ni več odklonjena. Ko motor izključimo in se začne zaustavljati, se mizica odkloni na nasprotno stran. Čez čas motor obmiruje in mizica je zopet v začetni legi.



Slika 1. Okvirna risba motorja, mizice in ohišja v prvem delu poskusa: O os, L ležaj, R vrtljivi in S mirujoči del motorja, M mizica, K kazalec, pritrjen na mizico, SK skala, pritrjena na ohišje, P polžasta vzmet, N ohišje. Pri poskusu se pri pogledu od zgoraj vrtljivi del vrte v smeri urnega kazalca. Tako vrtenje zaznamujemo s puščico navpično navzdol; v to smer bi lezel desni sveder, če bi ga vrteli, kakor se vrte opazovano telo. Pred poskusom in dolgo časa po njem mizica ni odklonjena (zgoraj desno), pri pospeševanju, ko motor priključimo, se odkloni na eno stran (v sredini) in pri zaviranju, ko motor izključimo, na drugo (spodaj).

Vrtljivi del motorja na mirujoči del deluje z navorom, ki je enako velik kot navor mirujočega dela na vrtljivi del, a ima nasprotno smer. Tako pravi tretji Newtonov zakon ali zakon o vzajemnem učinku za napore. Mislimo na vrtljivi del motorja. Ko elektromotor priključimo, magneti v mirujočem delu začnejo z navorom delovati na vrtljivi del, ki se zaradi tega pospešeno vrti. Vrtljivi del deluje z nasprotnim navorom na "mirujoči" del, ki se zaradi tega skupaj z mizico odkloni v nasprotno smer, dokler ohišje preko polžaste vzmeti ne uravnovesi tega navora. Čez čas se vrtljivi del enakomerno vrti in mirujoči del nanj ne deluje več z navorom. Tedaj tudi vrtljivi del ne deluje z navorom na mirujoči del in mizica ni več odklonjena iz začetne lege. Na navor trenja v ležajih se nismo ozirali.

Potem ko motor izključimo, začne navor trenja v ležajih zavirati vrtljivi del. Vrtljivi del deluje na mirujoči del z nasprotno enakim navorom in mizica se odkloni v smer, v katero se vrti vrtljivi del. Čez čas se vrtljivi del zaustavi, nanj ne deluje več navor ležajev in zato ni nasprotnega navora. Mizica zopet ni več odklonjena od začetne lege. Poskus je opisan v prvem delu srednješolskega učbenika *Fizika I.* Kuščerja in A. Moljka.

Poskus lahko nadaljujemo. Na os vrtečega se dela pritrdimo majhen vijak (propeler). Izid poskusa je zdaj drugačen. Mizica je odklonjena tudi, ko se vrtljivi del vrti s konstantno kotno hitrostjo (slika 2). Mislimo na motor kot celoto, h kateri sodi tudi vijak, ne samo na vrtljivi del. Del motorja miruje in del se vrti s konstantno kotno hitrostjo, zato je vsota vseh navorov, ki delujejo na motor, enaka nič. Navor ohišja preko polžaste vzmeti je nasprotno enak navoru zraka na vijak. Kaj se primeri, če polžasto vzmet odvijemo od osi, da mizica z motorjem ni več povezana z ohišjem in se prosto vrti? "Mirujoči" del, to je motor z mizico, se začne vrteti v nasprotno smer kot vijak. A poskus moramo kmalu prekiniti, ker bi se zapletle dovodne žice.

Bralec je že sam ugotovil, da poskusi z motorjem na mizici ustrezajo poskusom s podmornico. Poskus na prosto vrtljivi mizici ustreza poskusu s podmornico v vesoljski ladji, poskus z mizico s pritrjeno polžasto vzmetjo pa poskusu s podmornico v vodi. Navor teže in vzgona na zračni mehur ustreza navoru polžaste vzmeti in nagib podmornice, o katerem priča nagib periskopa, odklonu mizice.

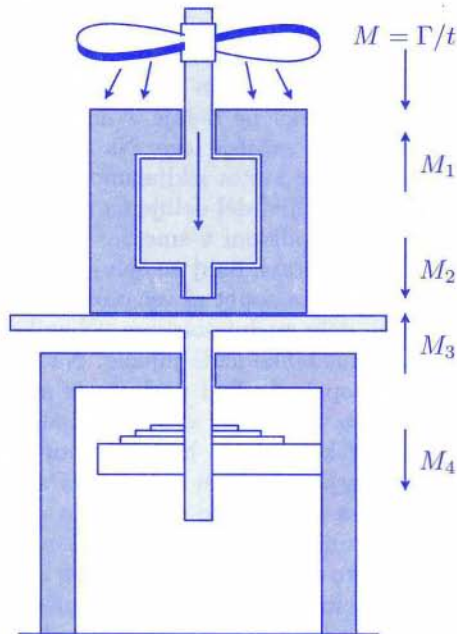
Na poskuse navežemo razmišljanje o *helikopterjih*, ki navpično vzletijo in pristanejo. Vrtljivi del motorja z vijakom ustreza vijaku helikopterja z vrtljivim delom, mirujoči del motorja pa ohišju motorja s trupom helikopterja. Helikopter je bilo veliko težje izdelati kot letalo. Rešiti so morali več tehničnih problemov, od katerih imajo nekateri zanimivo fizikalno ozadje. Med drugim so morali izdelati motor z dovolj veliko močjo in dovolj majhno težo. Krila vijaka poskrbijo za dinamični vzgon ali prečno

silo, ki uravnovesi težo. Za razliko od običajnih letalskih kril, ki so toga povezana s trupom letala, se krila helikoptrskega vijaka gibljejo glede na zrak, četudi helikopter miruje. Helikopter ustreza motorju na mizici, ki je polžasta vzmet ne povezuje s ohišjem. Kako preprečijo, da se trup helikopterja ne vrti okoli navpične osi v nasprotno smer kot vijak?

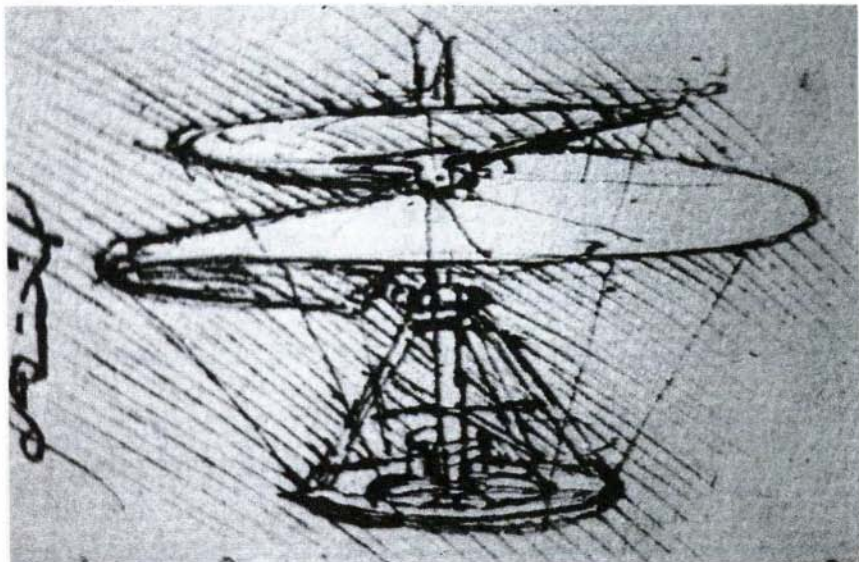
Slika 2. Okvirna risba za drugi del poskusa, pri katerem na os motorja pritrđimo vijak. Krila vijaka so zasukana tako, da zrak potiskajo navzdol. Helikoptski vijaki imajo od dve do pet kril z dolžino od 5 do 12 metrov in več. Vijaki evropskih helikopterjev se vrtijo večinoma v smeri urnega kazalca, če jih gledamo navzdol, ameriški pa v nasprotni smeri. Tu smo se odločili za evropsko smer.

Poučno je pojav podrobneje razčleniti. Sunek sile kril na zrak je po izreku o gibalni količini enak spremembi gibalne količine zraka:  $Ft = G - G_0 = G$ , če je  $G$  končna komponenta gibalne količine zraka v smeri navpično navzdol. Sila zraka na krila  $F_1$ , je po zakonu o vzajemnem učinku nasprotno enaka sili kril na zrak  $F$  in enaka negativnemu toku gibalne količine zraka  $F_1 = -F = -G/t$ . Tok spremenimo z nagibom kril proti vodoravni ravnini in tako uravnavamo gibanje helikopterja v navpični smeri.

Sunek navora kril je po izreku o vrtilni količini glede na nepremično os enak spremembi vrtilne količine zraka  $Mt = \Gamma - \Gamma_0 = \Gamma$ , če je  $\Gamma$  končna vrtilna količina zraka. Navor zraka na vijak (vrtljivi del)  $M_1$  je po zakonu o vzajemnem učinku nasprotno enak navoru vijaka (vrtljivega dela)  $M$  na zrak in enak negativnemu toku vrtilne količine zraka  $M_1 = -M = -\Gamma/t$ . Vrtljivi del se vrti s konstantno kotno hitrostjo, zato je po izreku o ravnovesju vsota navorov enaka nič in je navor zraka na vijak (vrtljivi del)  $M_1$  nasprotno enak navoru mirujočega dela na vrtljivi del  $M_2$ . Po zakonu o vzajemnem učinku je navor vrtljivega dela na mirujoči del  $M_3$  nasprotno enak navoru mirujočega dela na vrtljivi del  $M_2$ . Po izreku o ravnovesju je navor ohišja (polžaste vzmeti) na mirujoči del  $M_4$  nasprotno enak navoru vrtljivega dela na mirujoči del  $M_3$ . Zakon o vzajemnem učinku povezuje navor prvega telesa na drugo telo z navorom drugega telesa na prvo telo, izrek o ravnovesju pa zagotavlja, da je enaka nič vsota navora drugega in navora tretjega telesa na prvo telo, ki miruje ali se enakomerno vrti. Na motor kot celoto delujeta kot edina zunanja navora navor zraka  $M_1$  in navor ohišja (polžaste vzmeti)  $M_4$ . Izrek o ravnovesju se za motor glasi  $M_1 + M_4 = 0$ . To sledi tudi iz zveze  $M_1 + M_2 + M_3 + M_4 = 0$ , ker sta notranja navora  $M_2$  in  $M_3$  po zakonu o vzajemnem učinku nasprotno enaka in ne vplivata na gibanje motorja.



Iz 14. stoletja je znana kitajska vrtavka v obliki trikrilnega vijaka, ki ga zavrtimo in se dvigne v zrak. V tem primeru navor zraka samo zavira vrtenje vijaka, sestavljenega iz enega kosa. Leonardo da Vinci je leta 1483 narisal načrt za letalno napravo, ki jo imajo nekateri za prvo zamisel helikopterja (slika 3). V tem primeru bi se trup vrtel v nasprotno smer kot "vijak". Leta 1907 so poskusi s francosko napravo s štirimi vijaki, ki sta se po dva in dva vrtela v nasprotnih smereh, zbudili upanje, da bo mogoče izdelati helikopter. Leta 1923 je španski konstruktor naredil velik korak z letalom z običajnim vijakom, a brez krila, ki bi bilo togo povezano s trupom. Namesto tega je imelo štirikrilni vijak, ki se je vrtel okoli navpične osi prosto, ne da bi ga poganjal motor. Letalo je varno pristalo, ko so v veliki višini izključili motor. Vrteči se vijak z navpično osjo je poskrbel, da ni padalo prehitro. Podobno padajo tudi vrteča se semena javora ali črnega bora, ki pa so iz enega kosa. Leta 1936 je nemški konstruktor izdelal helikopter z dvema vijakoma, ki sta se vrtela v nasprotnih smereh. Nekateri mislijo, da je bil to prvi pravi helikopter. Po podobnih načrtih drugega nemškega konstruktorja iz leta 1940 so izdelali že tisoč helikopterjev.



Slika 3. Ena od najznamenitejših risb Leonarda da Vincija kaže načrt za letalni stroj, v katerem je mogoče videti prvo zamisel helikopterja. Na kovinsko ogrodje z radijem 4,8 metra je napeto platno v obliki vijajne ploskve. Vijak naj bi preko vzvodov poganjali ljudje, ki bi hodili po ogrodju, ali z vrvjo, navito na os. Ob risbi je besedilo: "Mislim, da se bo vijajna naprava v zraku [...] dvignila, če bo dobro narejena, to je iz poškrbljenega platna (da bodo zaprte vse pore), in se bo hitro vrtela."



Slika 4. V šestdesetih letih so uporabljali ruski tovorni helikopter MI-10 z enim glavnim vijakom in z manjšim vijakom z vodoravno osjo na repu po zamisli I. Sikorskega (zgoraj) in helikopter Boeing Vertol 107 za prevoz potnikov z dvema glavnima vijakoma, ki se vrtita v nasprotnih smereh (spodaj).

Dotlej so imeli vsi helikopterji dva vijaka na eni osi ali dveh vzporednih oseh, ki sta se vrtela v nasprotnih smereh, tako da je bil skupni navor zraka na vijaka glede na težišče helikopterja enak nič in se zaradi tega trup ni vrtel. Leta 1941 pa se je Rus Igor Sikorsky v ZDA prvič dvignil s svojim helikopterjem z enim glavnim vijakom z navpično osjo. Na repu je imel helikopter manjši vijak z vodoravno osjo. Prečna sila zraka

na manjši vijak povzroči navor glede na težišče helikopterja, ki uravnovesi navor zraka na večji vijak. Z nagibom kril manjšega vijaka glede na navpično ravnino uravnavaajo prečno silo in dosežejo, da trup helikopterja miruje ali se okoli navpične osi vrti v eno ali drugo stran. Sikorsky je prve poskuse delal s tremi manjšimi vijaki na repu, ker je mislil, da je treba uravnovesiti navore okoli treh osi. Potem je uvidel, da zadostuje en sam manjši vijak in da je tak helikopter celo stabilnejši. Večina današnjih helikopterjev sledi zamisli Sikorskega, samo manjši del helikopterjev ima dva glavna vijaka (slika 4). Helikopterji so pomembni za transport ljudi in tovora, posebno na težko dostopne kraje, in pri reševanju ljudi ob raznih nesrečah. Uporabljajo jih – žal – tudi v vojaške namene.

Janez Strnad

## O MOJSTRU IN ORODJU

*Za devetimi gorami in devetimi vodami je živel mizar Janez. Ker so bili njegovi izdelki res lepi in dobro narejeni, je slovel daleč naokoli. Tudi iz daljnjih dežel so prihajali k njemu naročat omare, skrinje, mize in druge najrazličnejše izdelke. Ni je bilo stvari, ki je ne bi znal narediti. V isti vasi pa je živel še en mizar, Polde po imenu. Ker mu je šel posel slabo, je bil ljubosumen na Janezovo slavo in uspeh. Kar naprej je tuhtal, v čem neki je Janez boljši od njega. Tako se je nekega večera pritihotopil pod okno mizarske delavnice in prisluškoval. Zaslíšal je Janeza, ki je govoril: “No, moj čudežni oblič, še tole desko zgladiva, pa bo dovolj za danes. Kaj bi brez tebe, ti moje čudežno orodje!” “Aha, tu je Janezova skrivnost! Saj sem vedel, da ni nič boljši mizar kot jaz, le čudežni oblič ima!” si je mislil Polde. Sredi noči se je ponovno priplazil do Janezove delavnice in mu ukradel oblič. Toda nič ni pomagalo. Janezovi izdelki so bili še vedno lepi, Poldetovi pa skrpučala. . .*

Na to zgodbico sem se spomnil pred kratkim, ko sem v roke dobil novo računalo podjetja Texas Instruments TI-89. Pripomoček, ki po velikosti ni večji od običajnega računala, “obvlada” zelo veliko matematike, skratka je nekakšno čudežno orodje. A svojo pravo veljavo pokaže le v rokah pravega mojstra. Še vedno je potrebno vedeti, kdaj in kako uporabiti določen postopek, ki je v računalo vgrajen. Razmišljati namesto nas verjetno na srečo (ali smolo) noben pripomoček ne bo nikoli znal.

Računala, priprave, ki omogočajo, da brez zapletenih postopkov, brskanja po tablicah ali zamudnega računanja “peš”, ugotovimo, koliko je  $1132 \cdot 234$ ,  $64/578$ ,  $\sin(34.89)$  . . . so že tako prisotni v vsakdanjem življenju,