

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 23 (1995/1996)

Številka 6

Strani 330-333

Andrej Likar:

FIZIKA LETENJA

Ključne besede: fizika, sila curka, lebdenje, letenje.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/23/1278-Likar.pdf>

© 1996 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2010 DMFA - založništvo

Vse pravice pridržane. Razmnoževanje ali reproduciranje celote ali posameznih delov brez poprejšnjega dovoljenja založnika ni dovoljeno.

FIZIKA LETENJA

Let ptic gledamo z občudovanjem in zavistjo. Kaj bi morali narediti, da bi tudi sami lahko leteli? Na misel nam pridejo umetna krila, morda taka, ki sta jih v pravljici uporabila Dedal in Ikar. Kljub mnogim poskusom pa se tako še nikomur ni posrečilo dvigniti v zrak. S padali in zmaji jadrajo izurjeni letalci v doline, z vzgonskim vetrom se lahko tudi dvigajo. Z zelo lahkim letalom se je celo posrečil let preko Rokavskega preliva in to le z lastno močjo letalca. Kaže, da tako kot ptice človek ne more leteti.

Kaj pravi o letenju fizika? Omejili se bomo na lebdenje v zraku, ki ga je v približku lahko obravnavati. O lebdenju je Presek že pisal v sestavku Čebela na paši (Presek 20 (1992/1993), str. 322 - 324). Na kratko ponovimo tamkajšnje razmišljanje.

- - -

Pri lebdenju mora ptica s krili ustvariti curek zraka s hitrostjo v navzdol, nasprotna sila zraka na krila pa pri tem uravnovesi njeno težo. Silo izračunamo iz enačbe

$$F = \rho S v^2.$$

Tu je S presek curka, ρ gostota zraka, v pa hitrost zraka v curku. Sila je pri lebdenju enaka teži ptice mg

$$F = mg,$$

kjer smo z m označili maso ptice, g pa je pospešek prostega pada. Za hitrost zraka v curku dobimo

$$v = \sqrt{\frac{mg}{\rho S}}.$$

Mehanično moč, potrebno za lebdenje, dobimo tako, da izračunamo spremembo kinetične energije zraka v curku v danem času t . Zrak najprej miruje, na koncu pa se giblje s hitrostjo v . Kinetična energija zraka z maso m_z se torej spremeni za

$$\Delta W_{kin} = m_z \frac{v^2}{2}.$$

Maso zraka m_z dobimo tako, da pomnožimo prostornimo zraka, ki jo je ptica v času t potisnila navzdol, z gostoto zraka ρ

$$m_z = Svt\rho.$$

Tako je

$$\Delta W_{kin} = Svt\rho \frac{v^2}{2}$$

in iz tega mehanična moč $P = \frac{\Delta W_{kin}}{t}$:

$$P = \frac{1}{2}S\rho v^3.$$

— — —

Človek lahko kratek čas dela z mehanično močjo 1 kW. Za ptice dobro velja ocena, da je mehanična moč sorazmerna z njihovo maso m , in sicer bomo privzeli:

$$P^* = \frac{P}{m} = 10 \text{ Wkg}^{-1}.$$

Količino P^* imenujemo specifična moč. Tako bomo človeka in ptice obravnavali hkrati. Pri dolgotrajnejšem delu je mehanična moč, ki jo zmore človek, manjša. Športnik z maso 80 kg zmore moč 300 W, če dela eno uro, pri celodnevnem naporu pa pade moč pod 100 W.

V enačbo, ki povezuje moč P in hitrost v , vstavimo hitrost, ki omogoča lebdenje, $v = \sqrt{\frac{mg}{\rho S}}$ in dobimo:

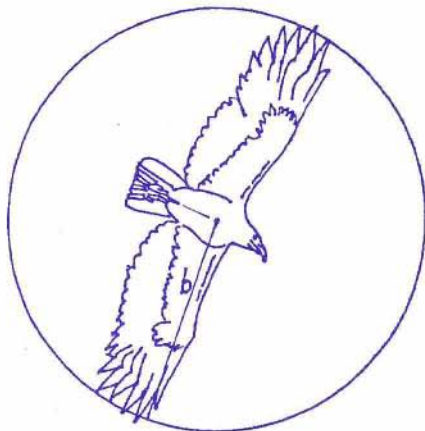
$$\frac{m}{S} = \frac{4P^{*2}\rho}{g^3}.$$

Količino $\frac{m}{S}$ imenujemo specifična obremenitev kril. S privzeto vrednostjo za P^* velja:

$$\frac{m}{S} = 0,5 \text{ kgm}^{-2}.$$

V naslednji preglednici lahko vidimo nekaj izmerjenih vrednosti za specifično obremenitev kril. Presek curka S so izračunali po enačbi za ploščino kroga s polmerom, ki je enak dolžini krila b : $S = \pi b^2$ (glej sliko 1).

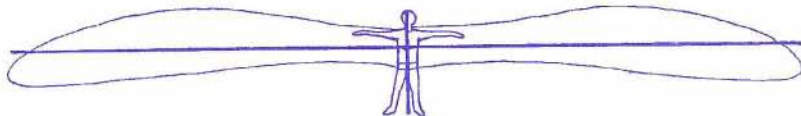
žival	$\frac{m}{S}$ [kgm ⁻²]
netopir	0,15
čigra	0,21
kraljiček	0,43
kolibri	0,46
postovka	0,56
čmrlj	0,92
golob	1,0
divja raca	1,7
fazan	2,9



Slika 1. Presek zračnega curka je kar ploščina kroga, ki ima polmer z dolžino krila b .

Naš račun kar dobro oceni razmerje m/S . Rekorder je fazan, ki kar 6 krat presega oceno. V izrazu za m/S nastopa kvadrat P^* . Vse kaže, da lahko nekatere vrste ptic za nekaj sekund razvijejo tudi več kot dvojno specifično moč od privzete 10 W/kg. Če prestrašimo fazana, se dvigne navpično v zrak s hitrostjo blizu 1 m/s, kar terja še dodatno moč. Vemo pa, da fazan ne more lebdeti dlje časa. Človek z maso 80 kg bi za lebdenje potreboval krila, ki bi ustvarila curek zraka s presekom 160 m². Orjaška krila bi morala biti trdna in brez teže. Dolžino b enega krila izračunamo iz enačbe $\pi b^2 = 160 \text{ m}^2$ in dobimo $b = 7 \text{ m}$. Razpon kril, to je razdalja od konca enega krila do konca drugega je torej kar 14 m.

V primeri s pticami ali žuželkami bi bil obris letalca nesorazmeren (glej sliko 2). Krilo ptic je tako dolgo kot njihovo telo, pri letalcu pa je



Slika 2. Ptica in letalec nista sorazmerna, če pri obeh privzamemo enako specifično moč $P^* = 10 \text{ Wkg}^{-1}$.

to razmerje 1:4. Ker je velikost krila b obratno sorazmerna s specifično močjo, bi moral letalec, ki bi bil sorazmeren pticam, razviti 4 krat večjo moč od privzete, to je 4 kW. Te pa ne zmorejo niti najbolj trenirani športniki.

Ni verjetno, da bi kmalu izdelali krila takšnih razsežnosti. Lebdenje tudi ne bi bilo udobno, saj delati z močjo blizu 1 kW ni prijetno. Kril ne bi mogli pritrditi le na roke, ker z njimi takšne moči ne bi mogli razviti. Imeti bi morali nerodno napravo, ki bi jo nekako poganjali z rokami in nogami, neke vrste helikopter brez motorja. Poleg vseh nevšečnosti ne smemo pozabiti na nevarnosti, ki bi nam pretile v zraku, na primer na nevarne vrtince in veter.

Andrej Likar