PRESEK
List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652
Letnik **23** (1995/1996)
Številka 3
Strani 129–132

Andrej Likar:

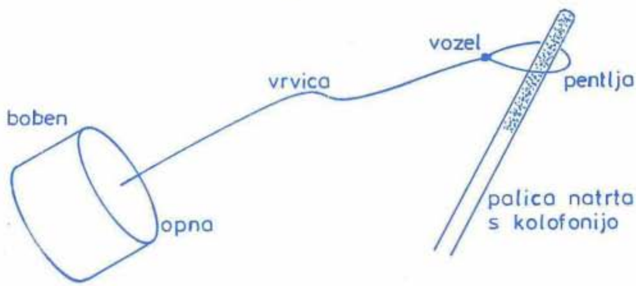
NAREDIMO ŠKRŽATA

Ključne besede: fizika, popularizacija fizike, trenje, lepenje, igrače.

Elektronska verzija: http://www.presek.si/23/1265-Likar.pdf

NAREDIMO ŠKRŽATA

Škržate poslušamo poleti na morju. Njihovo oglušujoče cvrčanje je del počitniškega vzdušja. V zimskih dneh pa si bomo pomagali s škržati, ki jih naredimo sami. Igračo na sliki 1 sestavlja majhen lesen boben s polmerom nekaj centimetrov in prav tolikšno višino. Opno bobna naredimo iz močnejšega papirja, ki ga prepojimo z lakom. Skoznjo na sredi s šivanko prepeljemo vrvico in jo na drugi strani opne privežemo na drobno trsko. S tem vrvico pripnemo na opno bobna. Na drugem krajišču vrvico oblikujemo v pentljo in jo nataknemo na palico, natrto s kolofonijo. To smolo uporabljajo violinisti, da z njo mažejo lok. Pri vrtenju bobna okrog palice zaslišimo zvok, ki spominja na "petje" škržatov.



Slika 1. Škržat-igrača.

Kako pride do zvoka, najlaže pojasnimo, če primemo boben z eno roko in pri napeti vrvici nekoliko zavrtimo palico. Zaslišimo pok, ko na palico zalepljena vrvica v trenutku zdrsne in s tem sprosti napeto opno. Pri vrtenju bobna okrog palice slišimo rafal takih pokov, ki se zlijejo v hreščav zvok.

Za stik med vrvico in palico je značilno, da je koeficient lepenja večji od koeficienta trenja. Tudi pri stiku avtomobilskih pnevmatik s cesto je tako. Zato je zaviranje z blokiranimi kolesi, ko guma drsa po cesti, manj učinkovito kot pri vrtečih se kolesih. Posebna naprava v sodobnih avtomobilih uravnava prijem zavor tako, da kolesa ne drsijo.

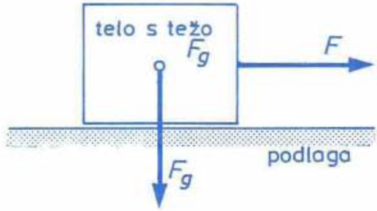
Poskusov, s katerimi uvedemo koeficienta trenja in lepenja, se prav dobro spomnimo. Na podlago postavimo telo z znano težo in ga vlečemo z vzmetno tehtnico v vodoravni smeri (slika 2). Nekaj časa se telo ne premakne kljub sili, ki deluje nanj. Ko silo povečujemo, telo nenadoma zdrsne. Poskusi kažejo, da je sila F_l, pri kateri pride do zdrsa, sorazmerna s težo telesa. Zato zapišemo:

$$F_l = k_l F_g ,$$

pri čemer smo z F_g označili težo telesa, s k_l pa koeficient lepenja. Ko telo enakomerno drsa po podlagi, ga moramo vleči s silo F_t, ki je prav tako sorazmerna s težo telesa:

$$F_t = k_t F_g \, .$$

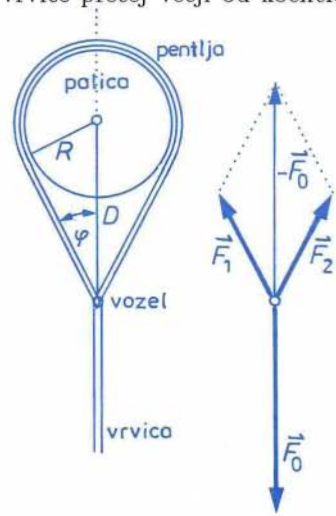
Sorazmernostni faktor k_t imenujemo v tem primeru koeficient trenja. Pri podlagi, prevlečeni s plastjo kolofonije, je koeficient lepenja vrvice precej večji od koeficienta trenja.



Slika 2. Poskus, pri katerem izmerimo sili lepenja in trenja.

Da bomo laže računali, zanemarimo trenje v primeri z lepenjem, torej naj bo $k_t = 0$, koeficient lepenja pa naj bo zelo velik. Zanima nas pogostost pokov, ko se boben z dano frekvenco vrti okrog palice. Podrobneje si oglejmo pentljo na palici (slika 3). Na vozel delujejo tri sile: sila vrvice ter sili obeh krakov pentlje. Vozel ima zelo majhno maso, zato je vsota teh sil nanj vedno enaka nič. Vrvica v srednji legi leži na premici, ki gre skozi središče palice. Takrat sta velikosti sil obeh krakov na vozel enaki, in sicer

$$F_1 = F_2 = \frac{F_0}{2\cos\varphi} \, ,$$



Slika 3. Pentlja v srednji legi. Sili F_1 in F_2 obeh krakov pentlje sta po velikosti enaki.

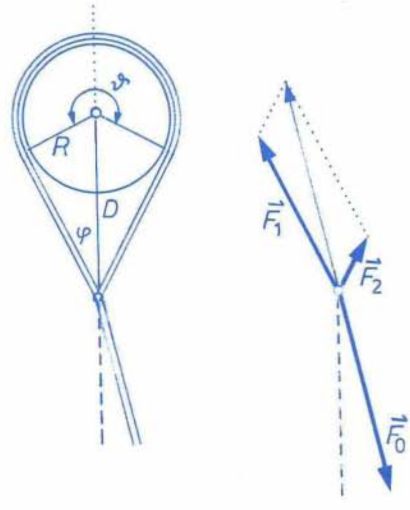
kjer je F_0 velikost sile vrvice, φ pa polovični kot med krakoma pentlje. Pentlja naj v srednji legi ne drsa po palici. Ker se vrvica vrti, postaja sila F_1 vse večja, sila F_2 pa se manjša (slika 4). V trenutku, ko je vrvica vzporedna z levim krakom pentlje, je sila F_1 kar nasprotno enaka sili vrvice, sila F_2 pa enaka nič in je zato desni krak pentlje ohlapen. V tem trenutku vrvica zdrsne, pentlja se spet postavi v srednjo lego in vse se ponovi. Čas med zaporednima pokoma je kar enak času, ki ga potrebuje vrvica, da se premakne za kot φ. Velja zveza:

$$\varphi \approx \frac{R}{D} \, ,$$

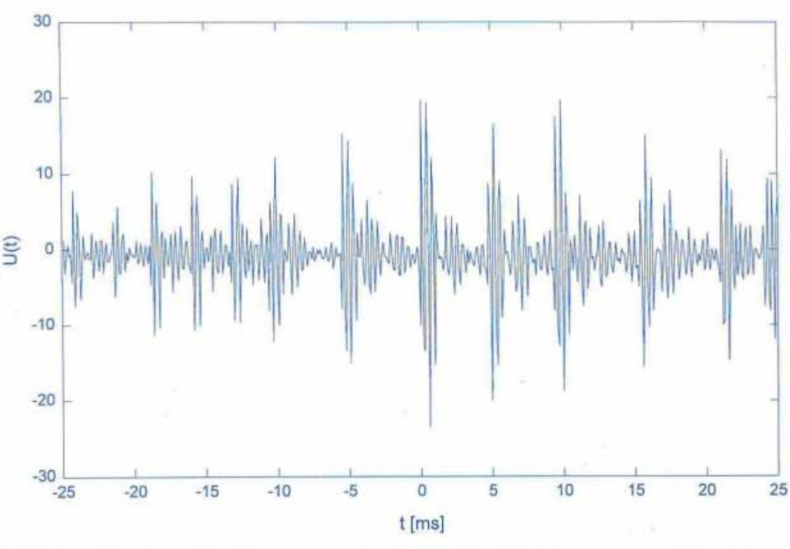
kjer je R polmer palice, D pa razdalja med vozlom in središčem palice. Če se vrvica vrti s frekvenco ν, opravi v času $\frac{1}{\nu}$ polni kot 2π in zato v času $\Delta t = \frac{\varphi}{2\pi}\frac{1}{\nu}$ kot φ. Frekvenca pokov je potem

$$\nu_p = \frac{1}{\Delta t} = 2\pi\nu\frac{D}{R},$$

torej obratno sorazmerna s polmerom palice. V resnici so razmere bolj zapletene, kar potrjuje tudi časovni potek signala iz kapacitivnega mikrofona (slika 5), s katerim smo snemali zvok. Vidimo, da pri zdrsu pentlje opna bobna zaniha s frekvenco blizu 1 kHz in da si zdrsi sledijo v času okrog 5 ms in da niso povsem enakomerni. Koeficient lepenja ni neskončno velik in



Slika 4. Sili krakov F_1 in F_2 se s časom spreminjata, prva se povečuje, druga pa zmanjšuje. Ko je vrvica desnega kraka ohlapna, pentlja zdrsne.



Slika 5. S kapacitivnim mikrofonom posnet zvok igrače. Ob zdrsu opna zaniha, potem pa se njeno nihanje duši do naslednjega zdrsa.

tudi koeficienta trenja ne smemo zanemariti. Podrobnejši račun pokaže, da je razmerje velikosti sil F_1 in F_2 v trenutku, ko pentlja zdrsne, odvisno le od koeficienta lepenja in objemnega kota pentlje ϑ:

$$\frac{F_1}{F_2} = e^{k_l \vartheta} \, .$$

Tudi v tem primeru je zveza med frekvenco ν_p, radijem R in razdaljo D taka kot prej, v njej pa se pojavi še koeficient lepenja. Morali bi tudi upoštevati koeficient trenja, ki smo ga tu zanemarili. Pri zelo visoki frekvenci pokov bi morali upoštevati še gibanje vrvice in opne, kar ni preprosto.

Tako igračko lahko naredimo tudi iz prazne konzervne škatle tako, da je opna kar kovinsko dno. Njen zvok pa ni več podoben škržatovemu.

Andrej Likar