

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik **6** (1978/1979)

Številka **1**

Strani 17-23

Andrej Likar:

OPAZOVALNI SISTEMI

Ključne besede: fizika.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/6/348-Likar.pdf>

© 1978 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.

OPAZOVALNI SISTEMI

Ko govorimo o *legi*, *hitrosti* ali *pospeških* kakega telesa, moramo povedati, na kaj se te količine nanašajo. Najlažje to opravimo tako, da si zgradimo nepremični *pravokotni koordinatni sistem* in glede nanj opredelimo omenjene količine. Pravokotni koordinatni sistem v prostoru tvorijo tri med seboj pravokotne usmerjene premice, ki se v neki skupni točki sekajo. Sečišču pravimo *koordinatno izhodišče*, premicam pa *osi*. Lego telesa podamo tako, da povemo pravokotne razdalje telesa od ravnin, ki jih tvorijo koordinatne osi. Postavimo pravokotni koordinatni sistem v sobi! Koordinatno izhodišče si izberemo v enem od spodnjih oglov, robovi sobe pa ponazarjajo koordinatne osi. Lego telesa v sobi lahko potem povemo tako, da sporočimo njegovo oddaljenost od tal in od dveh sten, ki se stikata v izbranem oglu.

Poleg koordinatnega sistema moramo imeti še *uro* za merjenje časa. Tako opremljeni pravimo, da smo *opazovalci* v *opazovalnem sistemu*. Opazovalnih sistemov je poljubno mnogo, saj se različni opazovalci v svojih opazovalnih sistemih lahko med seboj gibljejo na poljubno mnogo različnih načinov.

Dva opazovalca, ki se gibljeta drug proti drugemu, vidita isti fizikalni pojav v svojih opazovalnih sistemih različno. Potnik v enakomerno drvečem vlaku vidi, da se hiše premikajo glede na njegov koordinatni sistem, ki je pripet na vagon. Avto, ki vozi vzporedno z enako hitrostjo kot vlak, pa zanj miruje. Drugače opazuje te pojave prometnik, ki stoji ob progi. Zanj se vlak in avto premikata v isto smer z enako hitrostjo, hiše pa so pri miru.

Opazovani sistem prometnika je pri ljudeh splošno v rabi. Saj je razumljivo, pravimo, da hiše mirujejo, vlak pa se giblje, ne pa obratno. Toda ta "razumljivost" je posledica globoke navade, ki se je ne zavedamo več. Tudi ko smo rekli: "enakomerno drveči vlak" in "avto, ki vozi vzporedno s tirom...", smo se

postavili v opazovalni sistem, kjer površje Zemlje miruje.

Povezava med istimi količinami v različnih opazovalnih sistemih je odvisna od medsebojnega gibanja opazovalcev. Spet vzemimo za primer opazovalna sistema potnika v vlaku in prometnika, ki opazujeta hitrost avtomobila. Vzemimo, da vozi vlak s hitrostjo 100 km/h glede na prometnika. Medsebojna hitrost obeh opazovalcev je torej 100 km/h. Prometnik izmeri hitrost avtomobila, ki vozi vzporedno z vlakom in dobi rezultat 120 km/h. Zanj je avto za 20 km/h hitrejši od vlaka, se pravi, v eni uri bi prišel avto 20 km dlje kot vlak, če merimo čas od trenutka, ko sta oba na istem mestu. Kolikšno hitrost avta izmeri tedaj potnik v vlaku? Le-ta vidi, da se je po eni uri vožnje avto oddaljil od njega za 20 km, torej ima hitrost 20 km/h. Hitrost avta v opazovanem sistemu potnika je torej enaka razliki med hitrostma avta in vlaka, kot ju izmeri prometnik. Bolj splošno ugotovimo, da je hitrost v prvem opazovalnem sistemu enaka razliki med hitrostjo v drugem opazovalnem sistemu in medsebojno hitrostjo sistemov. Do podobnih zaključkov pridemo tudi za druge količine, ki jih merimo v različnih sistemih.

Pri opisovanju gibanja si vedno izberemo tak opazovalni sistem, v katerem je opis najpreprostejši. Izbor sistema je torej odvisen od pojava, ki ga opazujemo in od načina opazovanja.

Oglejmo si opazovalna sistema, ki sta v rabi pri opisovanju *jedrskih reakcij*. Prvi sistem je *laboratorijski* opazovalni sistem. Koordinatni križ je pritrjen v prostoru, kjer delamo poskuse, se pravi nekje v laboratoriju. S curkom pospešenih delcev obstreljujemo tarčo, ki v tem sistemu miruje. Reakcijske produkte, delce, ki nastanejo ob tem obstreljevanju, zaznavamo z detektorji, ki jih namestimo okrog tarče. Eksperimentalci torej najbolj preprosto pokažejo rezultate svojih merjenj v laboratorijskem opazovalnem sistemu.

Drugo stališče imajo tisti fiziki, ki skušajo teoretično pojasniti eksperimentalne rezultate. Ti imajo raje *težiščni* opazovalni sistem. V tem sistemu miruje *težišče* projektila in tarče-

nega jedra. Zato se gibljeta v tem sistemu projektil in tarčno jedro drugo proti drugemu.

Zakaj je težiščni sistem bolj prikladen od laboratorijskega, če kaj računamo? Tudi v mikrosvetu atomskih jeder in osnovnih delcev velja zakon o ohranitvi *gibalne količine*. To pomeni, da tudi težišče delcev, ki nastanejo pri trku, sovpada s težiščem projektila in tarče. Namesto podatkov o legi vsakega delca (laboratorijski sistem) shajamo tukaj le s podatki o medsebojnih legah delcev.

Za primer si oglejmo trk enakih trdih prožnih krogel. Računi, ki jih bomo naredili, bodo zelo preprosti. Kljub temu bomo videli, da bo opis trka v težiščnem opazovalnem sistemu preprostejši kot v laboratorijskem.

Najprej si oglejmo, kako opišemo središčni trk dveh takih krogel v laboratorijskem opazovalnem sistemu. Sprva tarčna krogla miruje, projektil pa drvi proti njej s hitrostjo v_0 (Sl. 1). Po trku ima projektil hitrost v_1 , tarča pa hitrost v_2 . Ker med trkom na krogli ne delujejo zunanje sile, ostane konstantna skupna gibalna količina krogel.* To zapišemo z enačbo

$$mv_1 + mv_2 = mv_0 \quad (1)$$

Iz enačbe izračunamo hitrost v_2 in uvidimo, da sta spremembi hitrosti krogel pri trku nasprotno enaki: tarča se pospeši, projektil pa zavre:

$$v_2 = v_0 - v_1 = -(v_1 - v_0) \quad ** \quad (2)$$

Ker je trk krogel idealno prožen, ostane nespremenjena skupna kinetična energija krogel:

$$mv_1^2/2 + mv_2^2/2 = mv_0^2/2 \quad (3)$$

Od tod dobimo za hitrost krogel po trku še eno enačbo

$$v_1^2 + v_2^2 = v_0^2 \quad (4)$$

* Gibalno količino imenujemo produkt iz mase in hitrosti telesa: $G = mv$.

** Sprememba hitrosti tarče je $v_2 - 0 = v_2$, sprememba hitrosti projektila pa je $v_1 - v_0$

Iz enačbe (2) izračunamo v_1 , izraz kvadriramo:

$$v_1^2 = v_0^2 - 2v_0v_2 + v_2^2$$

in vstavimo v enačbo (4), pa dobimo:

$$v_2^2 = v_0v_2 \quad (5)$$

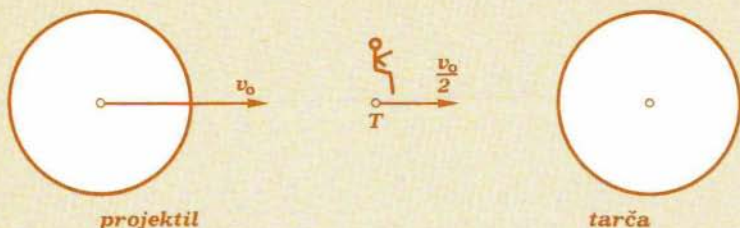
To preprosto kvadratno enačbo lahko na obeh straneh krajšamo z v_2 , saj vemo, da hitrost tarčne kroglice po trku ni enaka nič. Dobimo torej:

$$v_2 = v_0 \quad (6)$$

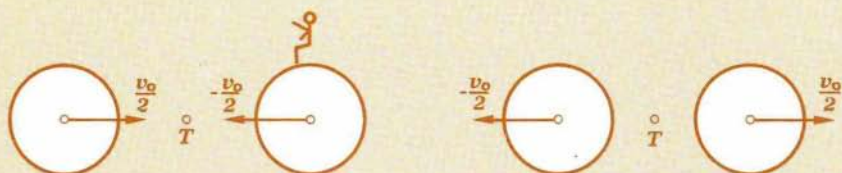
Hitrost tarče po trku je enaka začetni hitrosti projektila; hitrost projektila po trku mora biti torej nič. O tem se lahko prepričaš tudi, če v enačbo (2) ali (3) vstaviš za v_2 rezultat iz enačbe (5). Hitrosti tarče in projektila se torej zamenjata.

Kako opišemo trk v težiščnem sistemu? Na Sl. 1 vidimo razmere v laboratorijskem sistemu. Težišče krogel se giblje v isto smer kot projektil vendar s polovično hitrostjo. Težišče je namreč v poljubnem trenutku v razpolovišču daljice, ki veže središči krogel. Težiščni opazovalec se vozi na težišču. Ker je medsebojna hitrost težiščnega in laboratorijskega opazovalca $v_0/2$, je hitrost projektila v težiščnem sistemu po prejšnjem enaka $v_0 - v_0/2 = v_0/2$, hitrost tarče pa $0 - v_0/2 = -v_0/2$. Krogli se gibljeta s hitrostjo $v_0/2$ v nasprotnih smereh. Skupna gibalna količina je torej 0. Tudi po trku morata imeti krogli po velikosti enaki hitrosti, saj ostane gibalna količina nespremenjena. Ker se ne spremeni kinetična energija, mora biti hitrosti po trku enaki hitrostma pred trkom (zapiši enačbo za kinetično energijo in se o tem prepričaj). Krogli pri trku le zamenjata hitrosti (Sl. 2b). To je isti zaključek, kot pri opazovanju v laboratorijskem sistemu, do njega pa smo prišli bolj preprosto.

Za konec si oglejmo *enakomerno se vrteči* opazovalni sistem. V tem sistemu ne bomo opazovali jedrskih reakcij ali trkov - slutimo, da bi si brez potrebe nakopali težave. Sistem pa je zelo pripraven za opazovanje krožnega gibanja. Oglejmo si enakomerno kroženje kamna, privezanega na vrvici. Opazovalec naj



Slika 1: Enaki prožni krogli pred trkom, kot ju vidi opazovalec v laboratorijskem opazovalnem sistemu. Težišče krogel je označeno s T. Na težišču sedi težiščni opazovalec.



Slika 2a: Krogli pred trkom, ki ju vidi opazovalec v težiščnem sistemu. Laboratorijski opazovalec se pelje na tarčni krogli.

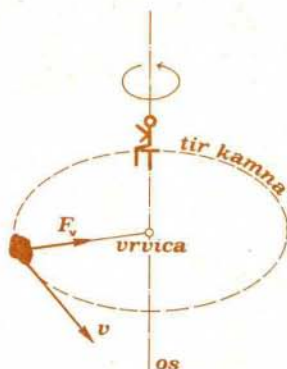
Slika 2b: Krogli v težiščnem sistemu po trku.

sedi na osi vrtenja in se vrti tako, da zanj kamen ves čas miruje. V tem primeru je opazovalec v vrtečem se opazovalnem sistemu.

Ta sistem pa je bistveno drugačen od opazovalnih sistemov, ki smo jih omenili prej. V prejšnjih opazovalnih sistemih se je telo gibalo enakomerno in premo ali pa je mirovalo, če je bila vsota sil drugih teles na to telo enaka nič. V vrtečem se opazovalnem sistemu pa izmeri opazovalec silo, s katero je napeta vrvica, ko vleče kamen. Kamen miruje kljub temu, da ni drugih sil. V prej opisanih sistemih bi se začel gibati enakomerno pospešeno v smeri pritezajoče vrvice. Če bi vrvica popustila, bi se začel kamen v vrtečem se opazovalnem sistemu zamotano pospešeno gibati, kljub temu, da je prepuščen sam sebi in nanj ne deluje nobeno telo.



Slika 3a: Kamen v vrtečem se opazovalnem sistemu miruje. Nanj delujeta dve sili, katerih vsota je enaka nič: sila vrvice F_v in centrifugalna sistemska sila F_c .



Slika 3b: Kamen s slike 3a, ki ga vidi inercialni opazovalec. Kamen kroži okrog osi s hitrostjo v , za kroženje pa poskrbi sila vrvice F_v . Na osi je narisana opazovalna vrstica v vrtečem se opazovalnem sistemu.

Opazovalne sisteme, kjer se telesa gibljejo pospešeno kljub temu, da nanje ne delujejo druga telesa, imenujemo *pospešene* ali *neinercialne* sisteme.

Vajeni nepospešenih (inercialnih) sistemov, imamo v pospešenem sistemu občutek, da delujejo na nas in na druga telesa sile, ne najdemo pa povzročitelja. Takim silam pravimo *sistemske sile*. Sistemske sile v vrtečem se opazovalnem sistemu pravimo *centrifugalna sila* (glej sliko 3a).

Zelo znan primer pospešenega opazovalnega sistema je tudi sistem potnika v zavirajočem vozilu. Lahko rečemo, da so varnostni pasovi zato, da kljubujejo sistemski sili, ki nas skuša pospešiti v sprednji del vozila.

Strogo vzeto opazovalni sistem potnika v enakomerno vozečem vlaku ni inercialen, ker vagon ves čas premetava zaradi neide-

alne proge. Tudi sistem opazovalca ob progi ni strogo inercialen - pripet je na površje Zemlje, ki se vrti okrog svoje osi. Sistemske sile v teh opazovalnih sistemih pa so tako majhne, da jih večinoma lahko zanemarimo. Še posebej velja to za sile zaradi vrtenja Zemlje.

Poglejmo še, kako razlaga kroženje opazovalec v nepospešenem opazovalnem sistemu, v katerem se kamen giblje po krožnici. Na kamen mora ves čas delovati zunanja sila. Če bi ta sila popustila, bi se začel kamen gibati premo. Silo oskrbi vrstica, na katero je privezan kamen. Opazovalec v inercialnem sistemu torej nič ne ve o centrifugalni sili - zanj te sile ni (glej sliko 3b).

Kako pa vidi opazovalec v nepospešenem opazovalnem sistemu zavirajoče vozilo in stvari v njem? Skušaj sam najti odgovor!

Andrej Likar
