

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 6 (1978/1979)

Številka 3

Strani 145-151

Andrej Likar:

VRTEČI SE OPAZOVALNI SISTEM

Ključne besede: matematika.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/6/368-Likar.pdf>

© 1979 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.

VRTEČI SE OPAZOVALNI SISTEM

V enem od prejšnjih prispevkov smo govorili o *opazovalnih sistemih* v fiziki. Rekli smo, da si vsak opazovalec zgradi svoj opazovalni sistem tako, da si naredi koordinatni križ. Gibanje v svojem opazovalnem sistemu potem opisuje tako, da podaja lego teles v tem koordinatnem križu ob izbranih trenutkih, čas pa meri z uro. Videli smo, da so opazovalni sistemi dveh vrst in to *inercialni* opazovalni sistemi, kjer ni *sistemskih* sil in ostali sistemi, ki jim pravimo *neinercialni*. Z upoštevanjem sistemskih sil ima *drugi Newtonov zakon* enako obliko v vseh opazovalnih sistemih in sicer: "Vsota vseh zunanjih sil, ki delujejo na opazovano telo, je enaka masi telesa krat njegov pospešek". V inercialnih sistemih izvirajo vse sile od drugih teles. V neinercialnih sistemih poleg takih sil obstajajo sistemske sile, ki so posledica pospešenega gibanja opazovalnega sistema, ne pa medsebojnega delovanja teles.

Bežno smo omenili *enakomerno se vrteči opazovalni sistem*. Oglejmo si sedaj ta neinercialni sistem podrobneje! Najlažje bomo razumeli razmere v vrtečem se opazovalnem sistemu na primeru.

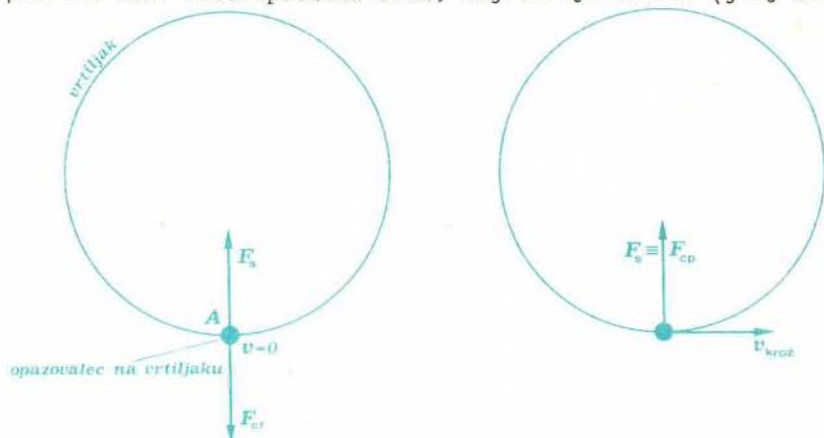
Vzemimo, da se peljemo na majhnem otroškem vrtiljaku, ki se enakomerno vrti. Če gledamo z vrtiljaka, se cel svet vrti, mi pa z vrtiljakom vred mirujemo. Koordinatni križ, ki nam bo pomagal pri opisu gibanja, pripnemo na vrtiljak - najbolje tako, da ena od osi sovpada z navpično osjo vrtenja. Tako smo si zgradili enakomerno se vrteči opazovalni sistem, v katerem smo opazovalci.

Tovariši, ki so ostali na igrišču, tudi opazujejo. Zanje se vrtimo mi skupaj z vrtiljakom in s koordinatnim križem, igrišče, drevesa, hiše ... pa z njimi vred mirujejo. Opazujejo pač z drugega opazovalnega sistema. Gibanje opisujejo s koordinatnim križem, ki zanje miruje.

Kateri sistem je boljši, oziroma pravilnejši? Pravilna sta seveda oba, vprašanje je le, kateri je bolj prikladen pri opazova

nju izbranega gibanja. Opazovanje žogice, ki se v opazovalnem sistemu vrtiljaka zelo počasi giblje, je z igrišča nerodno, ker moramo ves čas vrteti oči. Še bolj nerodno pa je z vrtiljaka opazovati žogico, ki skače po igrišču. Če človek ni previden, si lahko še zlomi vrat.

Oba opazovalna sistema se med seboj bistveno ločita, saj je vrtiljakov sistem neinercialen, sistem tovarišev na igrišču pa je inercialen. Na nas, ki sedimo na vrtiljaku, deluje *centrifugalna sistemska sila*, ki nas potiska stran od središča vrtenja. Tej sistemski sili se upira sedež, ki prepreči, da bi padli z vrtiljaka. Centrifugalna sila in sila sedeža se uravnotežata, saj v opazovalnem sistemu vrtiljaka mirujemo. Centrifugalna sila je res sistemska sila, saj je posledica pospešenega opazovalnega sistema, ne pa delovanja kakega telesa na nas. Tovariši na igrišču seveda centrifugalne sile ne priznajo. Zanje ne mirujemo, temveč krožimo. Za kroženje pa je potrebna sila, ki nas potiska ves čas proti središču. To silo, ki ji pravimo tudi *centripetalna sila*, zagotovijo sedeži (glej Sl.1).



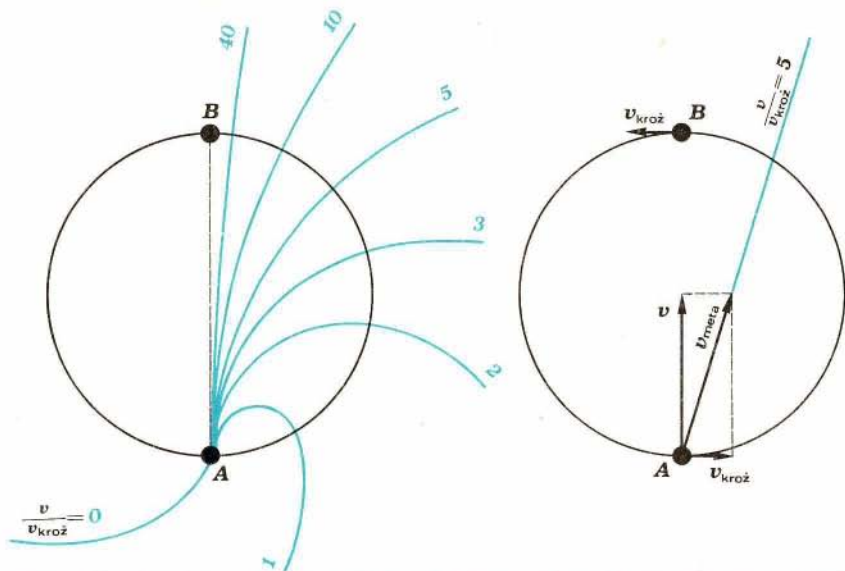
Sl. 1: Na mirujoča telesa v vrtečem se opazovalnem sistemu deluje centrifugalna sistemska sila F_{cf} . Ker telo A miruje, je vsota vseh sil nanj enaka nič. Sedež se centrifugalni sili upira z enako veliko a nasprotno usmerjeno silo (1a). V inercialnem opazovalnem sistemu igrišča telo A kroži, za kar je potrebna radialna centripetalna sila, ki jo zagotovi sedež (1b). Sliki sta narisani s ptičje perspektive.

Centrifugalna sila ni edina sistemska sila vrtečega se opazovalnega sistema. V to se prepričamo, če skušamo podati žogico tovarišu, ki sedi na nasprotni strani vrtiljaka. Vsakdo, ki prvič poskuša kaj takega, osupne! Žogica, ki bi "normalno" vedno pri letela k tovarišu, se odkloni od poti, ki smo je vajeni. Centrifugalna sila žogice ne more odkloniti, ker ima radialno smer, ki je tudi smer meta. Na žogico mora delovati sila, ki ima glede na hitrost prečno komponento. Tej novi sistemski sili pravi mo *Coriolisova sila*. Coriolisova sila je zelo zamotana. Vedno je pravokotna na vektor hitrosti in na vrtilno os. Njena velikost je sorazmerna s komponento hitrosti, ki je pravokotna na vrtilno os. Torej ne deluje na telesa, ki se gibljejo vzdolž vrtilne osi ali pa mirujejo.

Kako pa opazujejo gibanje vržene žogice tovariši na igrišču? Zanje se giblje žogica "popolnoma normalno". Pravijo, da žogica pač zgreši zato, ker jo je metalec slabo nameril. Poglejmo, kako je s tem z njihovimi očmi! Opazujmo vrtiljak navpično navzdol. Navpičnega gibanja žogice torej ne bomo gledali. Žogica v metalčevi roki kroži. Metalec ji podeli radialno hitrost. Celotna hitrost žogice je vektorska vsota krožilne in radialne hitrosti. Žogica krene v smeri rezultante hitrosti in se giblje enakomerno in premo (navpičnega gibanja ne gledamo). Sedaj je jasno, da bo žogica zgrešila tovariša na nasprotni strani, saj že namerjena ni bila dobro. Poleg tega pa se tovariš še oddalji od mesta, kjer je bil v trenutku meta, ker kroži skupaj z vrtiljakom (glej Sl. 2).

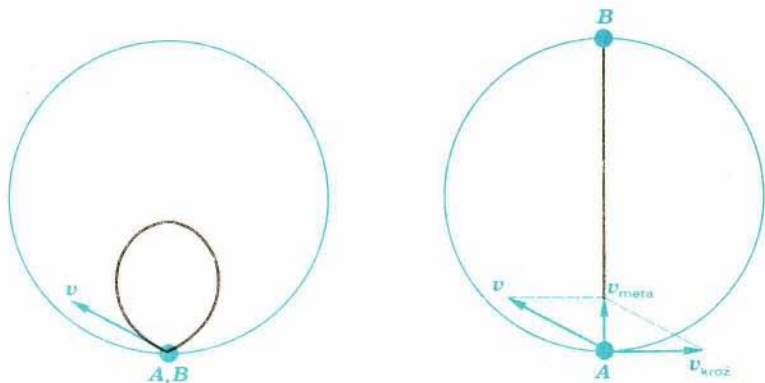
Če metalec spretno vrže žogico, jo lahko spet ulovi. Primer takega bumerang-meta je predstavljen na sliki 3. Če gledamo z igriščnega opazovalnega sistema, se žogica in metalec spet srečata. V vrtečem se opazovalnem sistemu pa je tir žogice sklenjen.

Poglejmo še, kako opisuje opazovalec z vrtiljaka gibanje žogice, ki mirno leži na igrišču. Zanj taka žogica kroži. Nanjo delujeta obe sistemski sili - Coriolisova in centrifugalna, poleg teže in nasprotne sile podlage, ki se uravnovešata. Ker



Sl. 2: Žogica, ki jo podamo iz A v B, se odkloni. Različne krivulje ustrezajo različnim začetnim hitrostim meta. (2a) Za tovariše na igrišču se giblje žogica "normalno", vendar z začetno hitrostjo, ki je vektorska vsota krožilne in metne hitrosti.

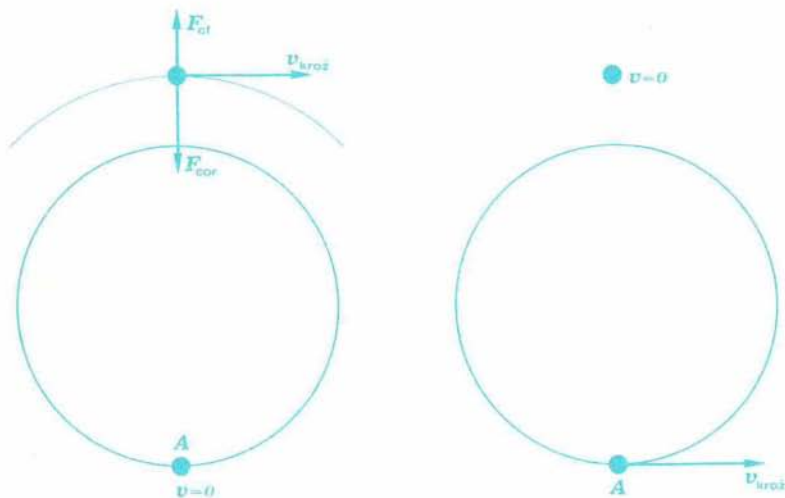
Sl. 3: V vrtečem se opazovalnem sistemu je lahko žogica bumerang, če jo metalec dovolj spretno vrže (3a). V inercialnem opazovalnem sistemu se žogica in metalec spet srečata v točki B (3b).



žogica kroži, mora biti vsota vseh sil usmerjena proti središču kroženja. Vsota Coriolisove in centrifugalne sile mora biti torej centripetalna sila. Opazovalec na igrišču seveda nič ne ve o teh silah, tudi o centripetalni ne, saj žogica zanj miruje. Opazovalni sistem vrtiljaka je v tem primeru res zelo ne prikladen (glej Sl. 4).

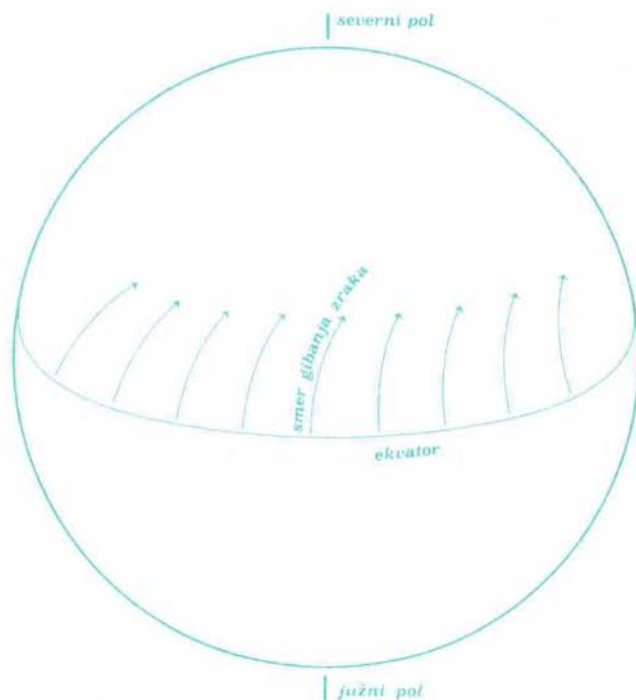
Oglejmo si še nekaj primerov, kjer gibanje ugodno opazujemo iz vrtečega se opazovalnega sistema.

Če boste kdaj zalivali vrt z vodnim curkom, lahko lepo vidite, kako Coriolisova sila odklanja vodni curek. Šobo, iz katere brizga voda, moramo držati v roki in se zavrteti okrog navpične osi. Ko se vrtimo, opazujemo curek v vrtečem se opazovalnem sistemu. Na curek delujeta obe sistemski sili in teža. Coriolisova sila povzroči odklanjanje curka iz navpične ravnine. Kako pa si inercialni opazovalec razlaga to ukrivljenost? Na curek deluje le teža, ki ne more kriviti curka iz navpične ravnine! Skušaj sam razložiti!



Sl. 4: Žogica, ki miruje na igrišču (4b), gledano z vrtiljaka, kroži. Vsota obeh sistemskih sil obdrži žogico na krožnem tiru (4a).

Zemlja se vrti okrog svoje osi in napravi en obrat v 24 urah. Opazovalni sistemi, ki mirujejo glede na površino Zemlje, so vrteči se opazovalni sistemi. Torej smo delali napako, ko smo trdili, da je opazovalni sistem tovarišev na igrišču inercialen. No, napaka le ni bila prehuda. Vrtenje Zemlje okrog osi je namreč tako počasno, da lahko skoraj vedno zanemarimo obe sistemski sili, ki delujeta na njeni površini. Zato lahko govorimo, da je vsak opazovalni sistem, ki je pritrjen na površino Zemlje, skoraj inercialen, ker sta sistemski sili skoraj vedno zanemarljivi v primerjavi z drugimi silami, ki delujejo na opazovana telesa.



Sl. 5: Zračne gmote, ki se prvotno gibljejo od ekvatorja proti severnemu polu, se zaradi Coriolisove sile odklonijo proti vzhodu.

Sistemskih sil v opazovalnem sistemu Zemlje pa kljub temu ne moremo vedno zanemariti. Pri gibanju atmosfere na primer, je zelo pomembna Coriolisova sila. Zrak, ki se prvotno giblje od ekvatorja proti severnemu polu, se zaradi Coriolisove sile odkloni in se začne gibati proti vzhodu (glej sliko 5). Tudi na gibanje morskih tokov ima Coriolisova sila podoben učinek.

Zanimivo je, da Coriolisova sila nekoliko vpliva na oblikovanje rečnih strug. Vzemimo, da je struga v smeri sever-jug, voda pa teče proti severu. Podobno kot na zračne gmote deluje Coriolisova sila tudi na vodo v strugi, ki zato ves čas bolj gloda desni breg.

Zaradi centrifugalne sile, ki deluje na telesa na Zemlji, se spreminjata velikost in smer *pospeška prostega pada*. Pospešek je na polih večji kot na ekvatorju. Na mestih med polom in ekvatorjem pa centrifugalna sila povzroči, da teža ne kaže proti središču Zemlje. Vse to opazimo kljub temu, da poleg centrifugalne sile vpliva na pospešek prostega pada tudi nehomogenost Zemlje.

Vesoljske plete na Luno načrtujejo v opazovalnem sistemu, v katerem središču Zemlje in Lune mirujeta. Tak opazovalni sistem se seveda vrtili, saj Zemlja in Luna enakomerno krožita okrog skupnega težišča. Pri izračunih gibanja morajo upoštevati vpliv obeh sistemskih sil na gibanje vesoljske ladje.

Andrej Likar
