

Staatika

Sõnaga "staatika" (kr. *statos* -- tasakaal) tähistatakse füüsikas tasakaaluõpetust. Tasakaaluseisundid on matemaatiliselt lihtsamalt kirjeldatavad, kuna ajaline sõltuvus (muutumine) puudub. Seepärast kasutatakse staatika valemeid ka keerulisemates süsteemides (näiteks automootoris) toimivate protsesside uurimisel, kujutades neid protsesse tasakaaluseisundite ajalise järgnevusena.

Staatika jaguneb alaliikideks vastavalt uuritavale objektile. Nii kirjeldab hüdrostaatika (kr. *hydor* -- vesi) vedelike tasakaalu, elektrostaatika elektriliselt laetud kehade tasakaalu jne. Kui lisandit pole, mõeldakse tavaliselt tahkete makrokehade tasakaaluseisundi uurimist.

Tasakaalu tingimused. Staatika on lihtne ka sellepärast, et ta koosneb ühest ainsast seadusest:

Keha on tasakaalus parajasti siis, kui:

- a) temale mõjuvate jõudude summa on null;**
- b) temale mõjuvate jõumomentide summa on null.**

Alustame keeleõppest.

- **Jõud** on suurus, mille abil kirjeldatakse kehade vastasmõju.
- **Keha** on üldnimi kõiksugu asjade kohta juhul, kui nende eripära meid ei huvita (näiteks liikumise seisukohalt).
- **Vastasmõju** ei tähenda midagi enam kui vastastikust ("sina mulle - mina sulle") mõjustamist. Füüsikas on vastasmõju tagajärjeks oleku muutus, ja
- **oleku** all mõistame keha kirjeldavate parameetrite väärtuste (täielikku) komplekti
- "Täielikkku" on sulgudes sellepärast, et enamuse ülesannete korral ei muutu korraga kõik parameetrid - seega võime oleku muutuse uurimisel mittemuutuvad parameetrid vaatluse alt välja jätta.

Mehaanikas tähendab oleku muutus liikumise muutust:

- paigalseisev keha hakkab liikuma,
- liikuv keha muudab oma kiirust või liikumissuunda.

Liikumist ennast on kahte tüüpi:

- **kulgev** liikumine, kui vabalt liigutatav keha muudab oma *asukohta* ja
- **pöörlev** liikumine, kui keha on kinnitatud (pöörlemisteljele) ja võib seetõttu vaid pöörduda, muutes oma ruumilist orientatsiooni (*asendit ruumis*).

Ehkki mõlemat tüüpi liikumised toimuvad samaaegselt, võib neid tavaliselt eraldi kirjeldata: auto liikumine maanteel loetakse

Staatika uurib olukorda, kus keha (süsteemi) olek ei muutu.

Definitsioonid meelde jätta!

Asukoht:
toas
laual
tänaval

Kulgev liikumine on asukoha muutus

Asend:
püsti
külili
kummuli

Pöörlev liikumine on asendi muutus

kulgevaks ja sellest lähtuvalt ehitatakse välja nii tema kere ja vedrustus kui maantee profiil; samal ajal töötab kogu jõuseade ning ülekanded pöörlevas liikumises, mistõttu nende konstrueerimisel võib kulgliikumise seadused arvestamata jätta.

Tasakaalus keha ei tohi hakata ei "kulgema" ega pöörlema. Ülaltoodud seaduse kaks tingimust käivadki kahe liikumise tüübi kohta.

Tasakaal pöörlemise suhtes. Kui kehale mõjuvate jõudude summa on null, ei saa ta muuta oma kulgliikumist. Aga ta võib hakata pöörlema - juhul, kui kaks vastassuunalist jõudu moodustavad **jõupaari**, st. mõjuvad keha erinevatesse punktidesse nii, et tekib pöörlemine. Sellise mõjustuse mõõtmiseks kasutatakse mõistet "**jõumoment**" - suurust, mis kirjeldab pöörlemise muutuse põhjuseks olevat vastasmõju liiki.

Arvutamise seisukohalt on oluline, et jõumomendi määrab lisaks jõu suurusele ka see, kui kaugel pöörlemisteljest ta keha mõjutab.

Jõumomendiks $M = F \cdot l$ nimetatakse jõu F ja tema õla pikkuse l korrutist; jõu õlg on võrdne jõu mõjumissihi kaugusega pöörlemisteljest.

Nüüd on selge ka tasakaalutingimuse teise poole mõte. Kui kaks jõudu mõjuvad kehale vastassuunas piki samat sirget, on summa igal juhul null. Aga summa on null ka siis, kui sirged on erinevad, kuid paralleelsed. Kuid sellised jõud on suutelised keha *pöörama* - kuni saab nulliks ka nende jõudude *momentide* summa.

Õpikutes kasutatakse mõnikord väljendit "algebraalne summa". Sellega tahetakse öelda, et ei piisa, kui jõudusid väljendavad numbrid tuimalt kokku liita. Tuleb arvestada jõudude **märke** ja kontrollida, kas pole tegu **vektoritega**.

Kui jõud mõjuvad piki sama sirget, piisab märkidest. Kui mitte, tuleb kasutada vektoreid. Jõumomendid - juhul, kui keha on teljele *kinnitatud*, võivad teda pöörata kas ühes või teises suunas; niisiis piisab ka siin märkidest. See, kumba pööret lugeda positiivseks ja kumba negatiivseks, on kokkuleppe asi, tavaliselt loetakse positiivseks pöörde **vastu** kellaosuti liikumise suunda - nii, et pöörde suurendaks pöördenurka.

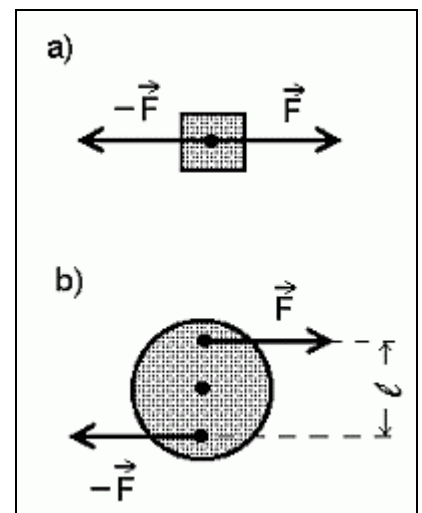
Staatikas, st. tasakaaluolukorras, pole sel loomulikult tähtsust, valida võib mõlemat pidi ja oluline on vaid see, et erisuunalised pöörded oleks ka erimärgilised.

Staatika pole lihtne, ja esseeisvas teoreetilise mehaanika kursuses õpitakse seda põhjalikult. Meie piirdume kahe (lihtsa?) valemiga. Neist esimene (ühedimensionaalne) annab **pöörlemistasakaalu valemi**:

$$M_{\text{res}} = \sum_i F_i l_i \equiv F_1 l_1 + F_2 l_2 + \dots = 0$$

NB! Paljud füüsikalised suurused - nagu siin jõumoment - defineeritakse algebraalse seose (valemi) abil.

Suunatud suuruse -- **vektori** -- märgi muutmine tähendab suuna muutumist vastupidiseks.



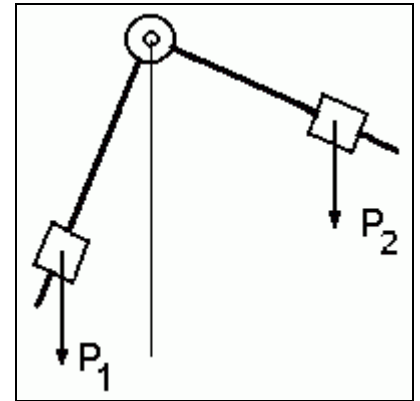
a) jõudude tasakaal;
b) jõupaar

Tasakaal kulgeva liikumise suhtes. Teine - vektorvalem (kahe- või kolmedimensionaalne)

$$\sum_i \vec{F}_i \equiv \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots = 0$$

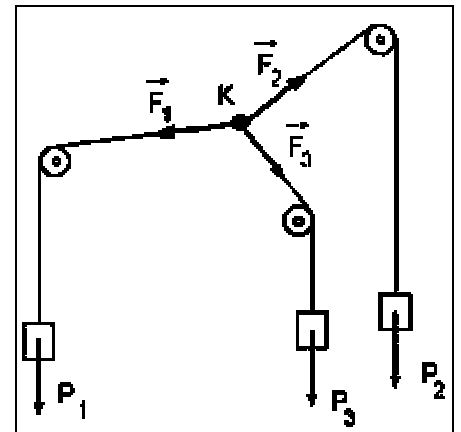
paneb tasakaalu lõplikult paika. Kehtima peavad need kaks valemit loomulikult samaaegselt, muidu poleks ju tasakaalu.

Vaadelda (matemaatilist mudelit teha) võib aga eraldi. Pakun välja kaks "masinat", esimese pöörlemis-, teise kulgemistasakaalu jaoks:



Ülemisel pildil on ratas, mida pööravad täisnurga all olevatele varrastele kinnitatud raskused. Ratas võib teljel pöörelda ning kui tal on tasakaaluasend, peab ülaltoodud tingimus olema täidetud. Arvutuse teeb raskemaks see, et lihtne on määrata koormise kaugust pöörlemisteljest, mitte aga jõu mõjumissihi kaugust, st. jõu õlga. Viimane sõltub seadeldise orientatsioonist (ratta pöördenurgast), mis muutub ratta pöördumise käigus.

Alumisel pildil on mudel, kus proovikehale **K** mõjuvad koormiste P_1, P_2, P_3 poolt tekitatud jõud F_1, F_2, F_3 . Kus on proovikeha tasakaaluasend?



Mõlemal probleemil on geomeetiline lahend. Jõumomentide korral on selleks nn. *Archimedese kangi valem*:

Kang on tasakaalus siis, kui tema õlgadele riputatud koormiste kaugus toetuspunktist on pöördvõrdeline koormise kaaluga.

See tähendab, et kui joonisel on vasakpoolse koormise P_1 mass kaks korda suurem kui P_2 mass, pöörab seadeldis end nii, et kaugus koormisest P_1 kuni pöörlemisteljest tõmmatud vertikaalini on kaks korda väiksem kui koormise P_2 kaugus. Muidugi ei tohi nad olla samal pool seda vertikaali. Aga miks?

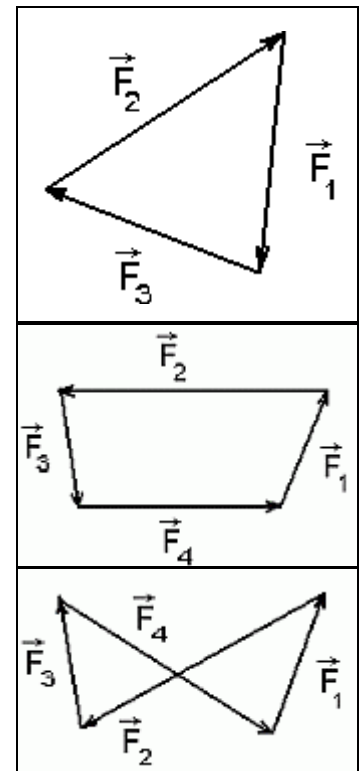
Alumise "masina" lahend on samuti geomeetiline:

et kolme vektori summa oleks null, peavad nad üksteise otsa tõstetuna moodustama suletud joone - hulknurga.

Antud juhul siis kolmnurga. Kui sellise kolmnurga joonistamine on võimalik, on võimalik ka tasakaal.

Aga kui ei ole? Ja millisel juhul ei ole?

Veel üks probleem: Kolmest lõigust annab kokku panna ainult ühe kolmnurga, ja sedagi mitte alati. See-eest rohkema arvu jõudude korral on võimalike kinniste murdjoonte arv suurem. Näiteks võime neljast lõigust kokku panna juba kaks kinnist joont:



Mida see tähendab tasakaalu koha pealt? Pingutage ajusid!

Kinemaatika

"Kinemaatika" tuleneb kreeka keelsest sõnast *kinema* ehk lühemalt kino. Täheleb see liikumist; ja vastav mehaanika osa uuribki liikumist - mitte niivõrd selle põhjusi kui just liikumise matemaatilise kirjeldamise võimalusi.

Aeg. Liikumine tähendab asukoha ning asendi (orientatsiooni) muutumist. Muutumine, erinevalt püsivast seisundist (staatika!) nõuab vähemalt kaht parameetrit, millest üks on argumendiks (muutub sõltumatult liikuvast kehast), teine aga väljendab liikumist ennast. Kui argumenti pole täpsustatud (näiteks lausega "rõhu sõltuvus temperatuurist"), on sõltumatuks argumendiks **aeg**.

Aja muutumine pole meie poolt kontrollitav, aeg muutub iseenesest (nagu tihti öeldakse - voolab) ja seetõttu kulgeb enamus looduslikke protsesse nagunii olekute ajalise järgnevusena. Seejuures pole aeg ise ühegi protsessi põhjustajaks. Aeg pole ka mõõdetav, vähemalt mitte nii, nagu me mõõdame tavalisi suurusi. See, mida me nimetame "aja mõõtmiseks" on tavaliselt mingi ajas kulgeva protsessi võrdlemine teise, lihtsama (perioodilise) protsessiga, nagu Maa pöörlemine või kellapendli võnkumine.

Veel räägitakse, et aeg voolab ainult ühes suunas (minevikust tulevikku) ja seepärast on kõik põhjuslikku laadi seosed võimalikud vaid sel kujul, et põhjus eelneb (ajaliselt) tagajärjele. Mida selline aeg endast kujutab, selle üle on filosoofid vaieldud aastatuhandeid. Matemaatika vaatepunktist on aeg universaalne ja väga kasulik vahemuutuja, mille abil saab siduda üsnagi erinevate protsesside võrrandeid.

Kogu see jutt ei tohiks häirida meie igapäevaseid suhteid ajaga. Kell on hea riist, pole tähtis, miks ja kuidas ta töötab. Peasi, et aega näitab.

Ruum ja koordinaadid. Niisiis on liikumine keha asukoha muutus, mis väljendub sel viisil, et mingil ajamomendil oli keha ühes, mingil teisel momendil aga teises kohas. Seda "kohta" saame määrata vaid teiste kehade suhtes; matemaatiliselt on asukohta kõige parem väljendada **kohavektoriga** \vec{r} , mis algab ühe ja lõpeb teise keha juures. Seda keha, kust vektor lähtub, nimetatakse **taustkehaks** ja nii peab kohavektori muutumine väljendama uuritava keha **liikumist taustkeha suhtes**.

Füüsikud tavatsevad ütelda, et liikumine toimub *kolmemõõtmelises eukleidilises ruumis*. Matemaatiliselt on **ruum** mitmeparameetriliste muutujate hulk, millest igäüht kirjeldab korruga kaks või rohkem arvu. Tegelikult on ruumi mõiste tulnud matemaatikasse just füüsikast, kus ta tähistab "kohta, kus liiguvad kehad". Eestikeelne termin on tulnud saksa keelest (*Raum* - tuba), inglise keel kasutab siin mõistet "tühjus" (*space*), vene keel mõistet "ulatus" (*prostranstvo*).

Aja mõiste sisse toomine annab võimaluse võrrelda erinevaid liikumisi.

- ehk liikumisi võrreldakse aja mõiste abil.

Kas saite aru? Mõelge hoolega!

Aja nool: põhjus t_1 peab eelnema tagajärjele t_2 , st

$$t_1 < t_2$$

Ruum on koht, kus liiguvad kehad.

Kohavektor on suunatud lõik taustkehast uuritava kehani.

Ta näitab uuritava keha **asukohta taustkeha suhtes**

Selle igapäevase ruumi matemaatiliseks kirjeldamiseks töötasid vanad kreeklased välja erilise teaduse - geomeetria, mis rajanes deduktiivsetel järeldustel Eukleidese poolt kirja pandud viiest aksioomist.

Alles möödunud sajandil leidsid matemaatikud, et Eukleidese ruum polegi ainuvõimalik, vaid kujutab erijuhtu, üleminekuvormi kahe kõvera ruumi - avatud (hüperboolse) meetrikaga Lobatševski ruumi ning suletud (elliptilise) Riemanni ruumi vahel.

Küll on aga Eukleidese ruum neist kõige lihtsam ja kuna ta on tavafüüsika tarbeks ka piisavalt täpne, kasutatakse teda endistviisi. Ainult väga tugevate jõuväljade ning ülisuurte mastaapide korral kasutatakse ka mitte-eukleidilisi ruume.

Koordinaadid. Termin *kolmemõõtmeline* väljendab vektori kirjapanekuks vajalike sõltumatute muutujate - koordinaatide - hulka. Igapäevakogemus kinnitab, et keha asukoha määramiseks piisab kolmest arvust (tinglikult pikkus, laius ja kõrgus). Nende kolme arvu saamiseks tuleb konstrueerida **koordinaatsüsteem** - reeglistik nimetatud arvude leidmiseks.

Lihtsaim ja sagedamini kasutatav on **ristkoordinaadistik** (ka *Descartes'i* või *Cartesiuse* koordinaadid):

kolm üksteisega risti olevat ühikvektorit, mille suunale projekteeritakse kirjeldatav kohavektor.

Neid nn. *baasivektoreid* tähistatakse tähtedega \vec{i} , \vec{j} ja \vec{k} ning nad koos moodustavad *ortonormaalset reeperi* ("orto" tähendab siin ristseisu e. ortogonaalsust, "normaalne" aga seda, et vektorite pikkus on normeeritud väärtusega üks pikkusühik).

Kui selline reeper on konstrueeritud, saab iga vektori kirja panna kui kolme teljesuunalise vektori summat:

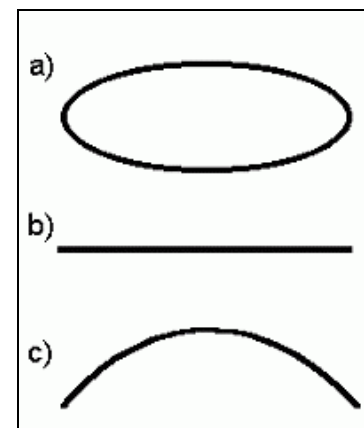
$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$$

asendades raskestimõistetava kujundi \vec{r} arusaadava tavaarvude kolmikuga x, y, z .

Kuhu jäi taustkeha? Pole ta kuhugi kadunud - meie "reeperi" moodustabki taustkeha. Telgede suunad, ehkki suvaliselt valitud, jäävad edaspidi taustkeha suhtes paigale.

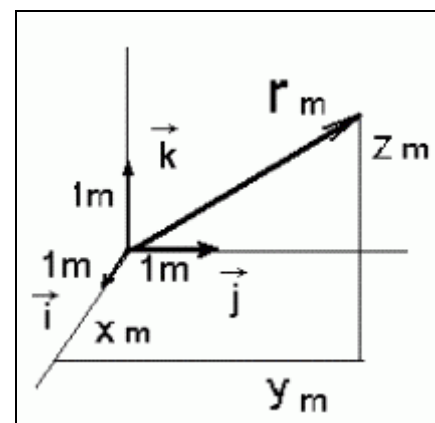
Muidugi kulgeb kohavektor "punktist punkti" ja kirjeldab seega vaid uuritava keha kindla punkti liikumist taustkeha mingi kindla punkti suhtes. Aga kulgliikumise tarbeks sellest piisab: et liikumise määrab mitte kohavektor ise, vaid selle muutus ("nihe"), siis liiguvad samal kombel ka kõik uuritava keha ülejäänud punktid - ning seejuures taustkeha ükskõik millise punkti suhtes.

Täpsuse huvides tasuks viimase lause üle järele mõelda.



Ühemõõtmelised ruumid:

- a. elliptiline;
- b. tasane;
- c. hüperboolne.



Reeper ja koordinaadid

Kulgeval liikumisel liiguvad keha kõik punktid ühesugust teed mööda. Seepärast piisab ühe punkti liikumise kirjeldamisest.

Aja ja ruumi ühikud. Siin on paras aeg meenutada füüsikas kasutatavat ühikute süsteemi. Praegu enamlevinud mõõtühikute rahvusvaheline süsteem **SI** lähtub neljast põhiühikust, millest esimesed ongi ajavahemike pikkuse (kestuse) hindamiseks kasutatav **sekund** ja ruumilist ulatust väljendav pikkusühik **meeter**. Seejuures on ajaühik üldse "kõige põhilisem", ta on määratud loodusliku standardi - aatomisese kvantülemineku energia - kaudu:

Sekund on ajavahemik, mis on võrdne tseesiumi isotoobi ^{133}Cs põhiseisundi kahe peenstruktuuri nivoo vahelise ülemineku 9 192 631 770 perioodiga.

Kus on siin energia? Aga tänapäeva (kvant)füüsikas määrabki sagedus energia(kvandi) suuruse. Ja samuti: aatomisese ülemineku energia annab alati ühesuguse sageduse. See, miks on valitud just tseesium ja miks just kirjeldatud üleminek, on määratud tehnikaga: toodud skeemi on lihtsalt kõige odavam realiseerida.

Pikkusühiku **meetri** saab määrata juba ajaühiku kaudu. Teades (relatiivsusteooriast!), et valguse kiirus on ühesugune kõigil planeetidel ja kõigis taustsüsteemides, määrataksegi meeter kui kindla aja jooksul valguse poolt läbitud tee:

Meeter on vahemaa, mille valgus läbib vaakumis 1/299 792 458 sekundiga.

Ja jälle on definitsiooni taga tehniline lahendus: kõige täpsemini saamegi pikkust määrata valguse lainepikkusega võrdlemise teel. Aga lainepikkus on tuletatav sagedusest ja valguse kiirusest.

Meie jaoks on nii sekund kui meeter olemas vastavates erilaborites kontrollitud ning reguleeritud mõõteriistade kujul. Nii me kasutamegi mõõdulinti ja kella ning ei mõtle rohkem **etaloonide** (ühikuid määravate eeskirjade) peale.

Liikumisvõrrand. Keha asukoha sõltuvus ajast tähendab seda, et ülal toodud kohavektor tuleb anda sõltuvana ajast. Milline see sõltuvus täpselt on, tuleneb liikumise iseloomust. Oluline on see, et kui paneme liikumisvõrrandis argumendiks oleva aja tähise t asemele mingi (positiivse või negatiivse) reaalarvu, peab võrrand andma meile keha asukoha (koordinaadid) sellele reaalarvule vastaval ajamomendil. "Liikumisvõrrand" kõrvale:

Seega on liikumisvõrrandiks vektorvõrrand

$$\vec{r}(t) = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k},$$

kus $x(t)$, $y(t)$ ja $z(t)$ on kolm sõltumatut funktsiooni.

Nii võiks liikumisvõrrandit käsitleda ka kui kolmest tavalisest võrrandist koosnevat võrrandisüsteemi.

Aja ühik määratakse aatomisese võngete kestuse kaudu

Pikkuse ühiku määrab (aja kaudu) looduse universaalkonstant - valguse kiirus.

Liikumisvõrrand väljendab keha asukoha (kohavektori, st. selle kolme koordinaadi) sõltuvust ajast.

Klassikalises (Newtoni) mehaanikas antakse liikumisvõrrand tavaliselt kas teist järku diferentsiaalvõrrandi või ruutpolünoomi kujul. Neist esimene

$$\vec{r} \equiv \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = \frac{1}{m} \vec{F}$$

kujutab Newtoni II seadust, teine

$$\vec{r}(t) = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 \cdot t + \frac{\vec{a}}{2} \cdot t^2$$

tavalist koolifüüsika "ühtlaselt muutuva liikumise valemit", kus algasend \vec{r}_0 , algkiirus \vec{v}_0 ning kiirendus \vec{a} on antud vektorkujul.

Et temast saaks tavaline võrrand, tuleb ta koordinaate pidi lahti kirjutada. Proovige.

Mis vahe on neil kahel võrrandil? Kui on tegu "ühtlaselt muutuva liikumisega", st. kui kiirendus \vec{a} on konstantne - siis ei mingit. Ainult et tavaliselt kiirendus ei ole konstantne, kuna kehale mõjuv jõud pole peaaegu kunagi konstantne. Siis tuleb lahendada esimene võrrand. Või panna teise võrrandisse ajast sõltuv kiirendus, mis teeb sama välja ega pole ka lihtsam.

Liikumisvõrrandi lahendamine kuulub **dünaamikasse**. Ja ega kinemaatika polegi mingi iseseisev mehaanika osa.

Pöörlemise võrrand. Staatika ülesandes rääkisime *ratta pöördumisest*. Ka seda pöördumist saab mõõta, kasutades **pöördenurka**, mida mõõdab nurk pöörleva keha mistahes punkti pöördeteljega ühendava ristlõigu (nn. pöörlemisraadiuse) kahe eri ajamomendil määratud asendi vahel.

Kui pöörleb tahke keha, on selle kõigi punktide pöördenurgad samad. Nii saame keha pöört kirjeldada üheainsa, pealegi veel skalaarse suurusega.

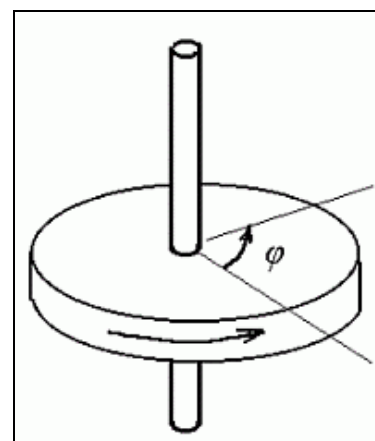
Tähistades pöördenurga φ , nurk-kiiruse ω ning nurk-kiirenduse ε , saame kulgliikumisega analoogilise võrrandi:

$$\varphi(t) = \varphi_0 + \omega_0 \cdot t + \frac{\varepsilon}{2} \cdot t^2.$$

Pöördenurga φ ühikuna võib kasutada kõiki nurgamõõdu ühikuid, nagu kraad, radiaan, täispööre.

Punkt muutujat tähistava tähe kohal märgib tuletist aja järgi; kaks punkti - teist järku tuletist aja järgi jne.

NB! See on Teile antud ülesanne. Lahendage!



Pöörlev keha

SI-süsteemi ühikuks on radiaan:

Radiaan on nurgamõõdu ühik, mis on võrdne ringjoone raadiuse pikkusele kaarele toetuva kesknurgaga. Üks täispööre võrdub 2π radiaaniga.

See on väga mugav ühik, kui meil on tarvis leida pöörleva keha mistahes punkti joonkiirust.

Kui pöördenurka mõõta radiaanides, tuleb nurkkiiruse ühikuks "radiaani sekundi kohta" (rad/s või lihtsalt 1/s - radiaan kui kaare pikkuse ja raadiuse pikkuse suhe on tegelikult dimensioonita suurus).

Et saada joonkiirust (kiirust, millega liigub pöörleva keha mingi punkt), tuleb nurkkiirus korrutada vaadeldava punkti kaugusega pöördeteljest.

Pöördenurga märgist. Keha saab teljel pöörata kas ühele või teisele poole. Üht neist pöördeist tuleks lugeda positiivseks, teist negatiivseks. See tuleb jällegi **kokku leppida**.

Ja kokkulepe on nii, et

positiivseks loetakse pööre vastu kellaosuti liikumise suunada.

See on lihtne vaid paberile joonistatult. Kui vaadata pöörlevat keha **ruumis** ühelt poolt, näeme teda pöörlevana üht, teiselt poolt vaadatuna aga teistpidi. See, kummalt poolt vaadatakse, määratakse teljele kantud suuna -- pöörlemisvektori -- abil. Aga sellest hiljem, tahke keha liikumist kirjeldavas osas.

Liikumisvõrrandi diferentseerimine. Liikumisvõrrandis on antud keha asukoht (kohavektor) sõltuvalt ajast. Newtoni järgi on see funktsioon pidev, järelikult võib liikumisvõrrandit diferentseerida.

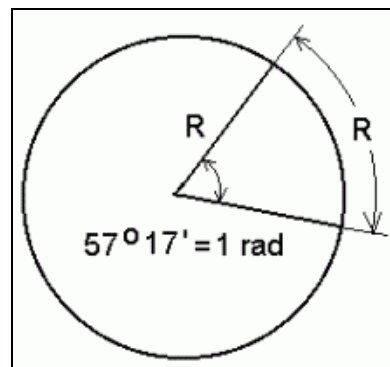
Liikumisvõrrandi esimest tuletist aja järgi nimetatakse **kiiruseks**. See näitab, kui kiiresti liigub keha antud ajahetkel.

Liikumisvõrrandi teist tuletist aja järgi (kiiruse esimest tuletist) nimetatakse **kiirenduseks**. Kiirendus näitab kiiruse muutumise kiirust antud ajahetkel.

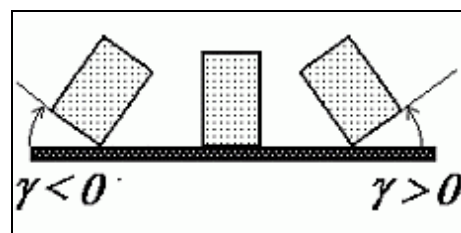
Joont, mis ühendab keha asukohti järjestikustel ajamomentidel, nimetatakse keha **trajektoorigiks**.

Keha liigub ruumis piki trajektoori. Trajektoor on sile joon; temas ei ole katkevusi ja muid iseäralikke punkte.

Kiirusvektor on trajektoorige alati puutujaks, ta näitab liikumissuunda. Kiirendusvektor seevastu võib olla trajektoorige suhtes ka nurga all. Ta on seda alati kui keha liigub niki



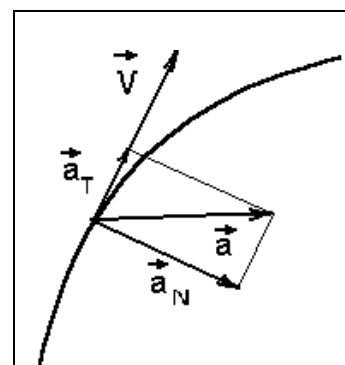
Radiaan on ringjoonele joonistatud kesknurk, millele vastava kaare pikkus on võrdne selle ringjoone raadiusega.



Pöördenurga märk sõltub pöörde suunast

Keha liikumissuunda näitab kiirusvektor.

Kui kiirusvektorige suund liikumise käigus muutub, nimetatakse liikumist **kõverjooneliseks**.



Trajektoorige ja kiirusvektorige komponendid

kõverjoont.

Et kõverjooneline liikumine tähendab liikumissuuna muutust, peab sellega kaasnema kiirusvektori muutumine isegi siis, kui kiiruse väärtus (vektori moodul) ei muutu.

Liikumissuuna muutust põhjustavat kiirenduse komponenti nimetatakse **normaalkiirenduseks** ja ta on alati kiirusvektoriga (seega ka trajektooriga) risti.

Kiirenduse liikumissuunalist (kiirusvektoriga samas sihis olevat) komponenti nimetatakse **tangentsiaalkiirenduseks** (ingl.,lad., *tangent* -- puutja).

Ülesanne: püüdke kirjeldada suurusi, mis tekivad pöördliikumise võrrandi diferentseerimisel.