J. LANG ja A. MITT

FÜÜSIKA

KESKKOOLI VIII KLASSILE

RK
„PEDAGOOGILINE KIRJANDUS“
TALLINN 1946

2-25109

J. LANG ja A. MITT

FÜÜSIKA

KESKKOOLI VIII KLASSILE

RK
„PEDAGOOGILINE KIRJANDUS"
TALLINN 1946

I. Sissejuhatus.

1. Füüsika ülesanne ning jaotus. Vana-kreeka teadusmehed (A r i s t o t e l e s, 384—322 e. u. a., jt.) nimetasid f ü ü s i k a k s kogu teadust loodusest (kreeka keeles *physis* tähendab loodust). Seepärast kuulusid tol ajal füüsikasse teadmised astronoomia, geograafia, meteoroloogia, bioloogia jt. aladelt. Sellisena käsiteldi füüsikat kuni uue aja alguseni (XVI saj.).

Teadmiste hulga suurenemisega igal looduse tundmaõppimise alal hakkasid üksikud loodust käsitlevad teadusharud füüsikast järk-järgult eralduma ning iseseisvaks kujunema. Esimesena eraldus füüsikast laiemas mõttes b i o l o o g i a, s. o. teadus elavatest olevustest (inimene, loomad, taimed). Samuti muutusid järk-järgult iseseisvateks teadusharudeks mitmed elutut loodust käsitlevad teadused, nagu a s t r o n o o m i a, g e o g r a a f i a, m e t e o r o l o o g i a, k e e m i a, g e o l o o g i a jt.

Mainitud suurte alade eraldumisega jäi füüsika valdkonda ainult e l u t u a i n e k õ i g e ü l d i s e m a t e o m a d u s t e n i n g n ä h t u s t e u u r i m i n e. Sellisteks nn. f ü ü s i k a l i s t e k s n ä h t u s t e k s on l i i k u m i s e, s o o j u s e, h ä ä l e, v a l g u s e, m a g n e t i s m i ja e l e k t r i n ä h t u s e d.

Et füüsikalised nähtused kuuluvad kõige üldisemate nähtuste hulka, siis ei pääse neist mööda nii elutu kui ka elusa looduse nähtuste lähemal tundmaõppimisel. Seetõttu on teadmised füüsikast üldiseks aluseks paljude teiste teadusharude käsitlusel, eriti aga tehnikas. On ju meie moodsa tehnika hiigelsaavutised suurel määral osutunud võimalikuks ainult tänu füüsikaliste nähtuste põhjalikule tundmisele ning rakendamisele.

Füüsikalisi nähtusi on väga palju. Nende lähemaks tundmaõppimiseks on otstarbekohane korraldada nad suuremateks rühmadeks või aladeks, nõnda et iga ala nähtused moodustaksid läbimõeldud ühtlase terviku. Sellisteks suuremateks aladeks, milleks füüsika jaguneb, on järgmised: mehaanika (õpetus tahkete, vedelate ja gaasiliste kehade liikumisest ning tasakaalust), õpetus soojusest, häälest (akustika), valgusest (optika), magnetismist ja elektrist.

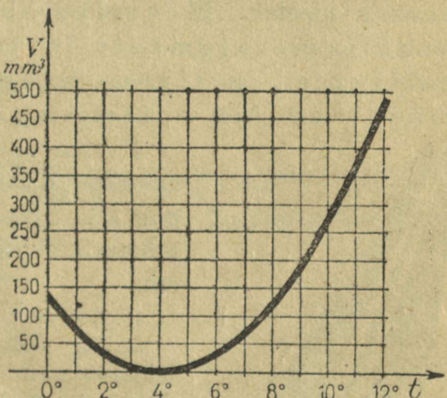
2. Füüsikaliste nähtuste tundmaõppimise viise. Füüsikaliste nähtuste tundmaõppimisel püüame selgusele jõuda, **kuidas** need nähtused toimuvad ja **mispärast** nad nõnda toimuvad. Vahendina selleks kasutab uurija nähtuste otsest **vaatlust** looduses, kui see osutub võimalikuks, eeskätt aga nähtuste kunstlikku esilekutsumist **katse** näol, mis pole õieti muud kui küsimuse seadmine loodusele. Saadud tähelepanekute põhjal loob uurija endale kujutluse nähtuse üksikasjalisest käigust ja sõnastab selle mõne korrapärasuse kujul, näiteks valguse peegeldumise seadused, või teeb mõne oletuse (hüpoteesi), millest püüab matemaatilisel teel tuletada nähtuse üksikasju. Viimasel juhul on meil tegemist küsimuse deduktiivse (teoreetilise) käsitlusega.

Kogu loodusteadusliku uurimistöö eelduseks ja aluseks on kindel veendumus, et samade eelduste puhul toimuvad kõik elutu looduse nähtused alati üheviisi, s. o. sama põhjus kutsub alati esile sama tagajärje.

Tahame näiteks selgusele jõuda, kuidas vee ruumala oleneb temperatuurist, siis võtame teatud hulga, näiteks 1 dm^3, vett 0° juures ja hakkame seda soojendama. Seejuures märgime üles iga kraadi järel ruumala muutuse V mm^3-tes, võrreldes algruumalaga (4°). Sel teel saame kaks arvude rida, mis võime korraldada tabelina järgmiselt:

t°	V mm^3	t°	V mm^3
0	132	8	124
1	73	9	191
2	33	10	272
3	8	11	367
4	0	12	475
5	8	13	596
6	32	14	729
7	71	15	874

Esitatud tabel annab meile seose temperatuuri ja vee ruumala muutuste vahel ning seda mitte üksnes katse korraldamise ajal, vaid ka hiljem. Me oleme veendunud, et samasugune seos nende kahe suuruse vahel püsib a l a t i, kui kõik tingimused, milledes katse toimus, jäävad endiseks. Ilma sellise veendumuseta puuduks üldse võimalus kasutada endiste mõõtmiste tulemusi.



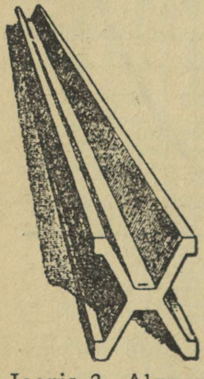
Joonis 1. Vee paisumise graafik.

Seosed üksikute mõnd nähtust iseloomustavate suuruste vahel väljendatakse võimalikult m a t e m a a t i l i s e v a l e m i n a, nagu näiteks ühtlasel liikumisel käidud tee pikkus: $s = vt$. Alati aga pole see võimalik, nagu näites vee ruumala muutuse ja temperatuuri vahelise seose kohta. Niisugusel juhul kasutame andmete esitamist t a b e l i k u j u l. Saadud tabeli põhjal võime joonestada g r a a f i k u (joon. 1), mis annab meile tabeli andmete muutumise käigust selge ja ülevaatliku kujutluse.

Niisiis on füüsikalise nähtuse käik täiesti teada, kui oleme suutnud teda iseloomustavad suurused esitada kas tabeli, graafiku või, mis kõige parem, matemaatilise valemi kujul. Selleks aga on igal juhul vaja osata füüsikalisi suurusi mõõta.

3. **Mõõtmisest üldse.** Mõõtmine on antud suuruse, näiteks toa pikkuse, **võrdlemine** mõne teise sama liiki suurusega, näiteks 1 meetriga, mida nimetame ühikuks. Otstarbekohasus nõuab, et mõõduühikud oleksid muutumatud, kõigil tarvitajail samad, oma suuruselt mitmekesised, kuid üksteisega lihtsas seoses. Kõige suuremal määral rahuldab neid nõudeid XVIII sajandi lõpul prantslaste loodud meetermõõdustik.

4. **Meeter.** Meetermõõdustiku põhiühikuks on pikkusühik **meeter.** Meetriks nimetatakse rahvusvahelisele algmeetrile tõmmatud kahe paralleelse kriipsu kaugust teineteisest, mõõdetud jää sulamise temperatuuris.



Joonis 2. Algmeeter.

Rahvusvaheline algmeeter on valmistatud plaatina ja iriidiumi sulamist ning hoitakse alal Rahvusvahelises Mõõtude Büroos Sèvres'is, Pariisi lähedal.

1. Kui pikk on Maa ekvaator?
2. Kui pikk on Maa meridiaan Maa põhjapoolusest lõunapooluseni? Tallinnast ekvaatorini (59° 26')?
3. Mispärast on rahvusvahelisel algmeetril 2. joonisel antud kuju?

5. **Pikkusühikud.** Meetermõõdustik on üles ehitatud kümnendsüsteemi alusel. **Meeter (m)** jaguneb 10 detsimeetriks **(dm)**, detsimeeter 10 sentimeetriks **(cm)**, sentimeeter 10 millimeetriks **(mm)**; 0,001 mm = 1 mikron (μ); 0,001 μ

$= 1$ millimikron ($m\mu$). Meetrist suurema pikkusühikuna tarvitatakse kilomeetrit. 1 kilomeeter (km) = 1000 m. Nii siis:

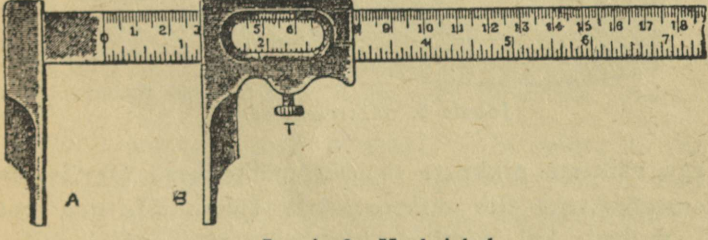
$$1 \text{ m} = 10 \text{ dm} = 100 \text{ cm} = 1000 \text{ mm}$$
$$1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$$
$$1 \text{ mm} = 1000\ \mu = 10^6 \text{ m}\mu$$

Pind- ja ruumalaühikud tuletatakse vastavatest pikkusühikutest, näiteks 1 cm^2, 1 m^3, 1 km^2, 1 mm^3 jt.

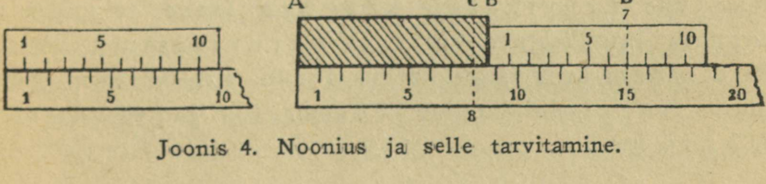
Mõõtarvu väljendamisel mõne teise ühiku abil on lühiduse ja ülevaatlikkuse otstarbel soovitav kasutada ülemineku-koefitsientidena 10-ne vastavaid astmeid. Nii näiteks $5 \text{ km} = 5 \cdot 10^3 \text{ m} = 5 \cdot 10^5 \text{ cm} = 5 \cdot 10^6 \text{ mm}$; $6 \text{ cm} = 6 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 6 \cdot 10^{-5} \text{ km}$; $3 \text{ cm}^2 = 3 \cdot 10^2 \text{ mm}^2 = 3 \cdot 10^8\ \mu^2 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ jne.

1. Väljendada selle raamatu rea pikkus mikronites ja millimikronites!
2. Väljendada enda pikkus kilomeetrites; Tallinna—Tartu vaheline kaugus mööda raudteed (191 km) mm-tes!
3. Väljendada oma keha ruumala $m\mu^3$-tes!

6. Pikkuse mõõtmine. Pikkuse mõõtmiseks tarvitatakse mitmesuguseid riistu, nagu mõõdupuud, -paela ning -ahelat, varbsirklit (joon. 3) ja mikromeetrit.



Joonis 3. Varbsirkel.



Joonis 4. Noonius ja selle tarvitamine.

Mõõtarvu murrulise osa määramiseks tarvitatakse pikkuse mõõtmisel sagedasti abimõõtu, **nooniust**, mille ehitus ja tarvitamine selgub 4. joon.

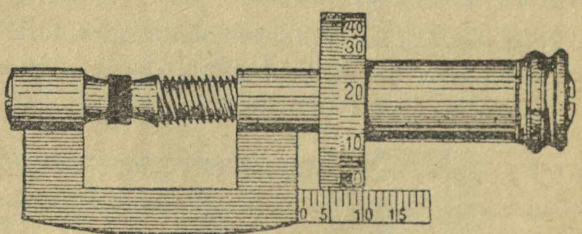
Mõõdu 9 jaotist (kriipsuvahet) võrdub nooniuse 10 jaotisega, seega on siis mõõdu iga jaotis 0,1 võrra pikem nooniuse vastavast jaotisest. Nagu joon. näha, on eseme AB pikkus 8 mõõdujaotist pluss pikkus CB. Et 7-mes nooniuse kriips mõõdu kriipsuga ühte langeb, siis on pikkus CB = 7 mõõdujaotist — 7 nooniusejaotist, s. o. 0,7 mõõdujaotist, ja kogu eseme pikkus 8,7 mõõdujaotist.

Üldse on seda liiki nooniuse tarvitamisel *eseme pikkust mõõtva arvu murruline osa nii mitu kümnendikku, kui mitmes nooniuse kriips mõõdu kriipsuga kõige rohkem ühte langeb.*

1. Teha noonius (papist, puust jne.), millega saab mõõta veaga alla 1 mm! Harjutada selle riista tarvitamist ja kontrollida tulemusi, mõõtes samu pikkusi mõnel teisel viisil!

2. 19 mõõdupuu kriipsuvahet võrduvad 20 nooniuse kriipsuvahega. Missuguse täpsusega on võimalik mõõta?

3. 3. joon. põhjal seletada varbsirkli ehitust ja tarvitamist!



Joonis 5. Mikromeeter.

Väga väikeste pikkuste täpseks mõõtmiseks tarvitatakse **mikromeeterkruvi** ehk **mikromeetrit** (joon. 5), mis pole muud midagi kui kindlas klambris edasi-tagasi liikuv kruvi. Kui kruvipea teeb ühe täispöörde, siis nihkub kruvi edasi ühe *kruvikäigu kõrguse* (kahe teineteisele järgneva kruvikeerme vahe) ehk *kruvisammu* võrra. Olgu näiteks kruvikäigu kõrgus 1 mm, siis 0,2 täispöörde juures on edasinihkumine 0,2 mm, 0,02 juures vastavalt 0,02 mm, jne.

Mikromeetri kruvikäigu kõrgused võivad olla mitmesugused, harilikult aga 1 või 0,5 mm. Seepärast tuleb enne mikromeetri tarvitamist alati selgusele jõuda, kui palju nihkub kruvi edasi pöördumisel ühe kruvipea peal märgitud jaotise võrra.

Seletada 5. joonise põhjal, kuidas tuleb mikromeetrit mõõtmisel tarvitada!

7. **Mass ja kaal.** Meil on igapäevases elus alatasa tegemist mitmesuguste esemete ehk füüsiliste kehadega, nagu laud, raamat, vesi, õhk, sulg, kivi jt. Kõik need füüsilised kehad ehk lihtsalt kehad koosnevad ühest või teisest ainest. Aine hulka, millest keha koosneb, nimetatakse keha **massiks**, keha tungi Maa poole aga keha **raskuseks** ehk raskustungiks. Raskus on iga massi oluliseks omaduseks.

Keha raskuse suuruse ehk **kaalu** üle otsustame kõige lihtsamalt selle rõhumise põhjal, mida keha avaldab meie lihastele. Et niisugune keha kaalu üle otsustamise viis on väga ebatäpne, siis tarvitatakse keha kaalu täpsemaks määramiseks sellekohaseid riistu — kaalusid. Lihtsaim neist on vedrukaal, kus terasvedru tema otsa riputatud kehade raskuse mõjul korrapäraselt pikemaks venib ja pikenemise suurus antud keha kaalu üle otsustada lubab.

8. **Side massi ja raskuse vahel.** On selge, et samast täiesti ühtlasest ainest, näit. veest, seatinast jne., koosnevad kehad, kui nad on võrdsed ruumalalt, peavad olema võrdsed ka oma massilt. Nii on iga liitri vee ainehulk ehk mass sama — 1 kg. Katse näitab, et sel juhul on kehad võrdsed ka kaalult. Võrdmassilisi kehi kaaludes näeme, et keha massi suurenedes 2, 3 ... korda suureneb ka tema kaal vastavalt 2, 3 ... korda, s. o. **kehade kaal on võrdeline massiga.** Siit järgneb, et kaalult võrdsed kehad on ka võrdmassilised. See kehade omadus võimaldab masse

kaalumise abil võrrelda, mis on väga tähtis, sest **kaalud mõõdavad ainult kehade tungi Maa poole.**

Keha massi ja kaalu vahel tuleb kindlasti vahet teha. Kuna keha mass on jääv, sõltub keha kaal kaugusest maapinnast ja väheneb kauguse suurenedes. Ka on pooluse lähedal Maa pöörlemise ja lapikuse tõttu kehade kaal veidi suurem kui ekvaatori lähedal (umbes 5 grammi 1 kg massi kohta).

Vees kaalub keha vähem kui õhus (Archimedese seadus), Kuu pinnal 6 korda vähem ja Päikese pinnal 28 korda rohkem kui Maa pinnal. Kuidas on lugu sel juhul massiga?

9. Massi- ja kaaluühikud. Massi mõõtmise põhiühikuks meetermõõdustikus on **kilogramm** ehk **kilo (kg)**, mis on plaatina ja iriidiumi sulamist valmistatud keha (vihi) — rahvusvahelise algkilogrammi — mass. 1 dm^3 puhta vee mass 4° temperatuuris võrdub ligikaudu ühe kiloga (27 mg vähem).

Kilost suuremad ja väiksemad massiühikud on:

1 tonn (t) = 1000 kilogrammi (kg)

1 kilogramm (kg) = 1000 grammi (g)

1 gramm (g) = 1000 milligrammi (mg)

Et meetermõõdustikus, samuti ka teistes mõõtude süsteemides, **kaaluühikuks on võetud ühe massiühiku kaal** (1 kg massi kaalub 1 kG), siis väljenduvad keha mass ja kaal, vastavais ühikuis mõõdetud, alati sama arvuga; näiteks keha, mille mass on 5 kg, kaalub 5 kG, jne.

Vahe tegemiseks gramm-kaalu ja gramm-massi vahel tähistame kaalu sümboliga G, massi aga endiselt sümboliga g, samuti vastavalt kilogramm-kaalu sümboliga kG ja kilogramm-massi endiselt sümboliga kg.

1. Mitu milligrammi sina kaalud? Väljendada enda mass tonnides!

2. Väljendada veetilga (15 mm^3) mass tonnides, 3 m^3 vee mass grammides!

10. Tihedus. Keha **tiheduseks** nimetatakse selle keha ühe kuupsentimeetri **massi** grammides. Kui näiteks keha mass on m grammi ja ruumala V cm³, siis selle keha tihedus $d = \frac{m}{v} \left(\frac{g}{cm^3}\right)$.

Nagu teame, nimetatakse keha **erikaaluks** selle keha 1 cm³ **kaalu** grammides. Et keha mass ja kaal on arvuliselt võrdsed, siis ka keha tihedus ja erikaal on samuti arvuliselt võrdsed. Nii on vee tihedus 1 $\frac{g}{cm^3}$, raua tihedus 7,8 $\frac{g}{cm^3}$ jne. Tiheduse määramine toimub samal viisil kui erikaalu määraminegi.

Toome alljärgnevas tabelis mõne enamtuntud aine tiheduse $\frac{g}{cm^3}$-tes.

Plaatina	21,4 $\frac{g}{cm^3}$	Tammepuu	0,8 $\frac{g}{cm^3}$
Kuld	19,3 ,,	Kuusepuu	0,5 ,,
Seatina (plii)	11,3 ,,	Kork	0,2 ,,
Hõbe	10,5 ,,	Elavhõbe	13,6 ,,
Vask	8,9 ,,	Vesi (4° C)	1,0 ,,
Raud	7,8 ,,	Petrooleum	0,8 ,,
Alumiinium	2,7 ,,	Piiritus	0,79 ,,
Graniit	2,5 ,,		
Jää	0,9 ,,	Õhk	0,0013 ,,

1. 5 l piima kaalub 5,15 kG. Leida piima tihedus!
2. Määrata klassitoas oleva õhu mass kg-des!
3. Mitme kuupmeetri jää mass on 4,5 tonni?
4. Mitu meetrit 1 mm²-lise läbilõikega vasktraati on keras, mis kaalub 3 kG?
5. Maa keskmine tihedus on 5,5 $\frac{g}{cm^3}$. Kirjutada avaldis, mis väljendab Maa massi tonnides (kg-des, g-des)!

11. Aja mõõtmine. Ajamõõtmise ühikuks on **sekund** (sek), mis võrdub $\frac{1}{86\,400}$ keskmisest päikese ööst-päevast.

Sekundilisi ajavahemikke saame kaunis õieti tekitada pendli abil, mille pikkus on 1 m (õigemini 99,4 cm). Niisugune pendel tarvitab ühest äärmisest asendist teise liikumiseks ühe sekundi ja teda nimetatakse seetõttu sekundipendliks.

Mitu sekundit on tunnis? öös-päevas?

12. Põhiühikud. Pind- ja ruumalaühikuid on võimalik tuletada pikkusühikute abil (cm^3, m^2 jne.), samuti tihedusühikut massi- ja ruumalaühikute abil. Ühikuid, millede abil saab väljendada kõiki füüsikaliste suuruste mõõduühikuid, nimetatakse põhiühikuiks. Niisuguseiks põhiühikuiks füüsikas on võetud pikkusühik sentimeeter, massiühik gramm ja ajaühik sekund. Nagu edaspidi näeme, saab kõiki teisi füüsikalisi ühikuid, peale temperatuuriskaala kraadi, väljendada nende kolme põhiühiku abil. Seepärast nimetatakse neile kolmele põhiühikule rajatud füüsikaliste mõõduühikute süsteemi sentimeeter-gramm-sekund- (lühidalt CGS-) ehk absoluutseks mõõduühikute süsteemiks. Tehnikas tarvitatakse eeskätt nn. tehnilist mõõduühikute süsteemi, kus põhiühikuteks on võetud pikkusühik 1 m, raskustungiühik 1 kG ja ajaühik 1 sekund.

II. Mehaanika.

Ühtlane sirgjooneline liikumine.

13. Mehaanika ja selle jaotus. M e h a a n i k a k s nimetatakse õpetust kehade liikumisest ja tasakaalust.

See osa mehaanikast, kus õpitakse tundma kehade liikumise nähtusi ja püütakse neid sellekohaste mõistete abil võimalikult lühidalt ning täpselt kirjeldada, kannab k i n e m a a t i k a nime (kreeka keeles *kinema* — liikumine). Kinemaatika vaatleb kehade liikumist vastava a j a s u h t e s, kuid jätab hoopis kõrvale nende p õ h j u s t e k ä s i t l e m i s e, millest liikumine sõltub; viimase küsimusega tegeleb d ü n a a m i k a (kr. k. *dynamis* — tung, jõud). Seda mehaanika osa, kus käsitellakse kehasse mõjuvate tungide t a s a k a a l u - t i n g i m u s i, nimetatakse s t a a t i k a k s (kr. k. *statikos* — paigalseisev, tasakaalus).

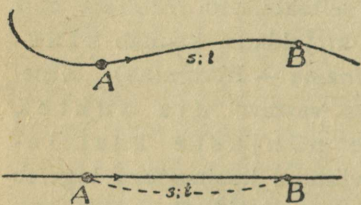
14. Liikumine ja paigalolek. K e h a, m i s o m a a s e n d i t **mõne teise keha suhtes** m u u d a b, **liigub** s e l l e t e i s e k e h a s u h t e s. K e h a, m i s m õ n e t e i s e k e h a s u h t e s o m a a s e n d i t e i m u u d a, o n s e l l e k e h a s u h t e s **paigal.**

Sama keha võib ühe keha suhtes liikuda, teise keha suhtes aga paigal olla. Nii näiteks reisija võib raudteevagunis paigal olla vaguni suhtes, kuid liikuda Maa suhtes, jne. Liikumisest ja paigalolekust rääkides peame alati küsima, m i s s u g u s e k e h a s u h t e s toimub antud liikumine või paigalolek, sest me tunneme ainult s u h t e l i s t ehk r e l a t i i v s e t liikumist ja suhtelist paigalolekut. Väljendil „absoluutne liikumine“ pole mingit füüsikalist sisu.

Ükski liikumine kui keha asendi muutumine ruumis ei toimu silmapilkselt, vaid nõuab selleks teatavat aega. Tähendab, täpseks liikumise kirjeldamiseks peame tarvitama ruumi ja aja mõõtmise ühikuid (cm ja sek). Et kõik füüsikalised nähtused on seotud liikumisega, siis kuuluvad ka ruumi ja aja mõiste füüsika põhimõistete hulka.

1. Tuua näiteid suhtelise liikumise ja paigaloleku kohta!
2. Mispärast ei kõnelda absoluutsest paigalolekust?
3. Nimetada meile tuttavaid Maa liikumisi!

15. Liikumiste liigitelu. Looduses ja igapäevases elus paneme tähele mitmesuguste kehade (Päike, inimene, sõiduk, kivi, püssikuul jne.) liikumist.



Joonis 6. Sirg- ja kõverjooneline liikumine.

Et keha kui terviku liikumine on võrdlemisi keeruline nähtus, siis on kasulik alustada liikumise tundmaõppimist nn. ainepunkti liikumisega. Ainepunkti all mõeldakse ruumalalt niivõrd väikest keha, et võime tegelikult loobuda selle keha ruumala arvestamisest, kuna tema ainehulk võib olla suuruselt missugune tahes. Lühidalt: lõplik mass mõõtmata väikeses ruumalas. Iga keha võime enesele kujutleda koosnevana üksikuist ainepunktidest. Teades keha üksikute punktide liikumist, võime otsustada kogu keha liikumise üle.

Ainepunkti nimetatakse teisiti ka mass- ehk materiaalseks punktiks.

Iga liikumise tundmaõppimisel tuleb tähele panna: 1) liikumise tee kuju, 2) liikumise suunda, 3) läbitud teepikkust ja 4) sellele vastavat aega.

Kuidas liigitatakse liikumised tee kuju ja suuna suhtes? Tuua näiteid!

Liikumine on täiesti määratud, kui teame tee kuju, liikumise suunda ja seost ehk valemit, mille abil võime kindlaks määrata iga momendi kohta liikuva keha kauguse teatavast punktist, milles keha asus meie vaatluse alguses.

Kui näiteks (joon. 6) keha liigub mööda sirget noole suunas ja tema kaugus s punktist A on määratud valemiga $s = 3\ t$, siis võime kergesti määrata keha asendi igal momendil.

1. Olgu kaugus s mõõdetud cm-tes, kui aeg t mõõtub sek-tes. Kus kohal asetseb keha 1., 5., 8., 10. jne. sekundi lõpul?
2. Määrata täiesti enese liikumine kodunt kooli!

Arvestades liikumisel läbitud tee pikkust ja sellele vastavat aega, võime kõik liikumised jagada ühtlasteks ja ebaühtlasteks. Liikumist, kus keha mistahes võrdseis ajavahemikes, näiteks sekundeis, läbib võrdsed teeosad, nimetatakse **ühtlaseks** liikumiseks. Liikumist aga, kus keha võrdseis ajavahemikes läbib mittevõrdsed teeosad, nimetatakse **ebaühtlaseks** liikumiseks.

Inimesel on võimata tekitada kauemat aega kestvat ühtlast liikumist. Parimadki kellad ei käi kauemat aega õieti. Looduses on ühtlastest liikumistest meile kõige enam tuntud Maa pöörlemine ümber telje. See liikumine peegeldub meile taevaskera näivas ööpäevases pöörlemises, mis ongi meile aluseks õige kellaaja saamisel.

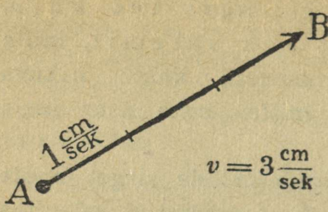
Tuua näiteid ühtlase ja ebaühtlase liikumise kohta!

16. Ühtlase liikumise kiirus. Kui keha ühtlaselt liikudes näiteks 5 sek jooksul liigub edasi 15 m, siis ütleme, et selle keha kiirus on $^{15}/_{5}$ ehk 3 meetrit sekundis. Üldse kiiruse suurus võrdub tee pikkusega, mis keha läbib ühe ajaühiku jooksul.

Sellest järgneb, et ühtlaselt liikuva keha

$$\textbf{kiirus} = \frac{\text{läbitud tee pikkus}}{\text{vastav aeg}} \quad \text{ehk } v = \frac{s}{t},$$

kui tähistame vastavais ühikuis mõõdetud kiiruse



Joonis 7. Kiiruse graafiline kujutamine.

suuruse tähega **v** (ladina keeles *velocitas* — kiirus), läbitud tee pikkuse tähega **s** (l. k. *spatium* — ruum, kaugus) ja aja tähega **t** (l. k. *tempus* — aeg).

Ainult kiiruse suuruse põhjal ei saa otsustada, kus kohal asub liikuv keha liikumise aja lõpul; selleks on vaja veel teada, missugust teed (trajektoori) mööda ja mis suunas (kuhu poole) liigub keha. Keha liikumise suund loetakse ühtlasi ka kiiruse suunaks.

Kiiruse suuna ja suuruse näitlikult kujutamiseks tarvitatakse noolt (joon. 7), kus noole suund (AB) näitab kiiruse suunda ja noole pikkus on võrdeline kiiruse suurusega, näiteks kiirus AB ehk $v = 3\,\frac{cm}{sek}$.

17. Kiiruse ühikud ja nimetus. Olgu kiiruse suuruse määramisel kaugus s mõõdetud cm-tes ja aeg t sekundites, siis mõõtub kiirus $\frac{cm}{sek}$-tes, see tähendab kiiruse mõõtmisel on sel juhul ühikuks võetud niisuguse keha kiirus, kus keha iga sekundi jooksul ühe cm võrra edasi liigub. Kiirusühik $1\frac{m}{sek}$ tähendab niisuguse keha kiirust, kus keha ühes sekundis liigub edasi 1 m võrra. Üldse kiirusühikuks võetakse alati niisuguse keha kiirus, kus keha ühe ajaühiku jooksul liigub edasi ühe kaugusühiku võrra.

Selline kiirusühikute valik osutub väga otstarbekohaseks, sest ta võimaldab meil uue suuruse — kiiruse — mõõduühikut tuletada juba varem tuntud suuruste — kauguse ja aja — mõõduühikute abil. Kiirusühikute nimetustena kasutatakse liitsümboleid $\frac{cm}{sek}$, $\frac{m}{sek}$, $\frac{km}{h}$ jt., sest kiirusühikutele pole antud erilisi nimesid. Vahel $\frac{cm}{sek}$ asemel tarvitatud *kin* pole siiski laiemaulatuslikku kasutamist leidnud.

18. Ühtlase liikumise võrrand. Ühtlase liikumise kiiruse arvutamise valemit $v = \frac{s}{t}$ nimetatakse ka ühtlase liikumise võrrandiks. Ta sisaldab kolm suurust: kiiruse — *v*, kauguse — *s* ja aja — *t*, ning võimaldab arvutada igaühte neist, kui kaks teist on teada. Nii võime kirjutada:

$$v = \frac{s}{t}, \quad s = vt \text{ ja } t = \frac{s}{v}.$$

Nende ühtlase liikumise võrrandite lahendamisel tuleb silmas pidada, et *s*, *t* ja *v* oleksid väljendatud vastavates ühikutes, nimelt: kui näiteks *s* on väljendatud cm-tes, *t* — sek-tes, siis *v* väljendub $\frac{cm}{sek}$-tes; kui *v* on väljendatud $\frac{m}{sek}$-tes ja *t* sek-tes, siis *s* väljendub m-tes, jne. Ei ole andmete ja vastuse nimetus kooskõlastatud, siis tuleb seda teha enne arvutamisele asumist.

Näide 1. Mitme sekundiga liigub keha ühtlaselt edasi 4 m, kui liikumise kiirus on 40 $\frac{cm}{sek}$? Küsimuse lahendamiseks peame ühtlustama kaugusühikud, s. o. väljendama mõlemad kas m-tes või cm-tes. 4 m = 400 cm; $t = \frac{s}{v} = \frac{400}{40} = 10$ sek.

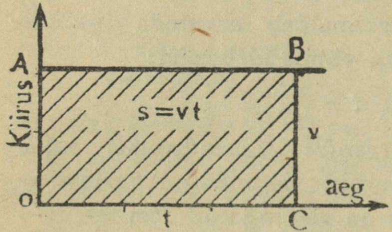
Näide 2. Mitu meetrit liigub 5 min jooksul edasi keha, mille kiirus on 15 $\frac{cm}{sek}$?

Et saada kaugust m-tes, tuleb väljendada kiirus $\frac{m}{sek}$-tes ja aeg sek-tes. Nii siis: $v = 15\frac{cm}{sek} = 0{,}15\frac{m}{sek}$; $t = 5$ min $= 5.60$ sek $=$ $= 300$ sek ja $s = vt = 0{,}15 . 300 = 45$ m.

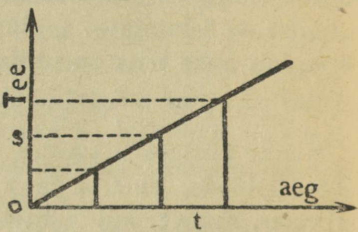
Näide 3. Jalgrattur sõidab kiirusega 18 $\frac{km}{h}$. Väljendada see kiirus $\frac{m}{min}$-tes ja $\frac{cm}{sek}$- tes.

$$v = 18\frac{km}{h} = \frac{18.1000}{60}\frac{m}{min} = 300\frac{m}{min} = \frac{300.100}{60}\frac{cm}{sek} = 500\frac{cm}{sek}.$$

19. Kiiruse ja läbitud tee graafiline kujutamine. Tähistades rõhtteljel aja ja püstteljel vastavad kiiruse suuruse väärtused, saame ühtlasel liikumisel kiiruse suuruse muutumist kujutava graafikuna sirge *(AB)*, mis on rööpne aja teljega (joon. 8), sest ühtlasel liikumisel on kiiruse suurus jääv.



Joonis 8. Kiiruse ja tee graafik ühtlasel liikumisel.



Joonis 9. Tee graafik ühtlasel liikumisel.

Läbitud tee pikkusele vastab sel juhul aja telje, kiiruse muutumist kujutava sirge ja alg- ning lõppordinaadiga piiratud ristküliku pindala *(OABC)*.

Teisiti võime ühtlasel liikumisel läbitud tee pikkust kujutada sirge abil (joon. 9). Kui näiteks $v = 0{,}5 \frac{m}{sek}$, siis $s = 0{,}5\ t$ ja igale aja teljel võetud t väärtusele vastab tee pikkuse teljel s väärtus, mis mõlemad kokku annavad punkti tasapinnal. Kõik need punktid asuvad sirgel, mis kujutab tee pikkuse muutumise käiku ja tõuseb seda järsumalt, mida suurem on kiirus.

Mõningaid kiirusi.

Jalakäija	1,4 $\frac{m}{sek}$	Torm	kuni 50 $\frac{m}{sek}$
Hobune kõndides . .	1,2 „	Mürsk	300—1000 „
„ sõites . . .	2,3 „	Hääl	340 „
Auto	10—20 „	Valgus	$3 \cdot 10^8$ „
Ookeaniaurik . .	kuni 12 „	Maa ümber Päikese	$30 \cdot 10^3$ „
Kiirrong . . .	25—40 „	Kuu „ Maa	$1 \cdot 10^3$ „
Lennuk . . .	50—170 „	Vesiniku aatom	$1{,}8 \cdot 10^3$ „

1. Võrrelda eelmisi kiirusi omavahel! Väljendada nad $\frac{cm}{sek}$-tes ja $\frac{km}{h}$-des!

2. Jalamees käib ühtlaselt 12 minutiga 1,2 km. Kui suur on ta kiirus $\frac{km}{h}$, $\frac{m}{min}$ ja $\frac{cm}{sek}$-tes?

3. Mitu km liigub edasi 2 tunniga raudteerong, mille sõidukiirus on 15 $\frac{m}{sek}$?

4. Mitu km liigub edasi 6 tunniga laev, mille sõidukiirus on 20 sõlme (1 sõlm = 1852 $\frac{m}{h}$)?

5. Milline on ekvaatoril asetseva punkti kiirus tema öö-päevasel pöörlemisel ümber Maa telje? Lahendada sama küsimus Tallinna laiuse (59°26′) kohta!

6. Hääle kiirus on 340 $\frac{m}{sek}$. Millal kuuldub müristamine, kui välk sähvatas 3 km kaugusel?

Ebaühtlane sirgjooneline liikumine.

20. Keskmine kiirus. Ebaühtlasel liikumisel läbib keha võrdsetes ajavahemikkudes (sek) mittevõrdsed teeosad. Selle liikumise iseloomustamiseks leiame nn. **keskmise kiiruse**, jagades kogu läbitud tee pikkuse tema läbimiseks tarvitatud ajaga. Kui näiteks kiirrong Tallinnast Tartusse (191 km) sõitmiseks tarvitab 3 tundi, siis on kiirrongi keskmine kiirus $\frac{191}{3}$ ehk 63,7 $\frac{km}{h}$. Üldisel kujul võime kirjutada: keskmine kiirus

$$v_k = \frac{s}{t}, \text{ millest } s = v_k t \text{ ja } t = \frac{s}{v_k}.$$

On selge, et keskmine kiirus iseloomustab liikumist ainult antud kauguse (Tallinn—Tartu) või antud aja (3 tundi) vahemikus. Ta näitab meile, missuguse kiirusega peaks liikuma keha ühtlaselt, et sama ajaga läbida sama kaugust.

1. Nimetada mõne meile tuntud liikumise keskmine kiirus (jalakäija, auto, lennuk, kahurikuul jt.)!

2. Ülemaailmne rekordaeg 100 m jooksus on praegu 10,2 sek. Leida sellele vastav keskmine kiirus $\frac{m}{sek}$-tes! Võrrelda seda jalakäija keskmise kiirusega!

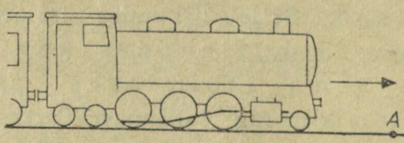
3. Leida oma tasku- või seinakella tunni- ja minutiosuti otsa liikumise keskmine kiirus!

4. Mitu korda liigub jalakäija ($5 \frac{km}{h}$) teost ($1{,}5 \frac{mm}{sek}$) kiiremini?

5. Kui palju liigub edasi tuul tormis ($20 \frac{m}{sek}$) 1 tunni jooksul?

6. Millise keskmise kiirusega jõuaks 80 päevaga korra ümber Maa sõita (mööda ekvaatorit)?

21. Kiirus antud punktis. Tahame iseloomustada ebaühtlast liikumist mõnes tee osas, siis peame arvutama keskmise kiiruse tee selle osa kohta. Kiiruse all tee antud punktis mõeldakse liikumise keskmist kiirust selle punkti vahetus läheduses. Näiteks rongi kiirus punktis *A* (joon. 10) tähendab seda kiirust, millega rong punkti *A* läbides edasi liiguks, kui rongi liikumine sellest punktist alates muutuks ühtlaseks.



Joonis 10. Rongi kiirus antud punktis.

Liikumist, kus kiirus järjest kasvab, nimetatakse k i i r e n e v a k s, liikumist, kus kiirus järjest kahaneb — a e g l u s t u v a k s liikumiseks.

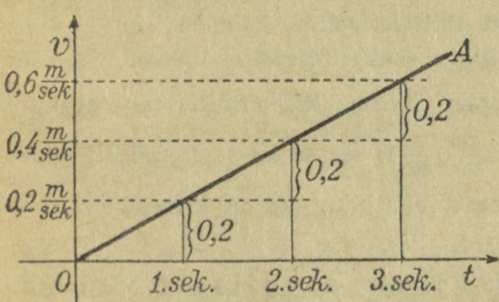
Tuua näiteid kiireneva ja aeglustuva liikumise kohta!

22. Ühtlaselt kiirenev ja ühtlaselt aeglustuv sirgjooneline liikumine. Kiirendus. Ebaühtlastest sirgjoonelistest liikumistest on tähtsaim nn. **ühtlaselt kiirenev ja ühtlaselt aeglustuv sirgjooneline liikumine**, s. o. niisugune, kus k e h a kiirus mistahes võrdsetes ajavahemikkudes **võrdselt** kasvab või kahaneb.

Kui näiteks rongi kiirus jaamast väljudes on 1. sek lõpul $0{,}2\,\frac{m}{sek}$, 2. sek lõpul $0{,}4\,\frac{m}{sek}$, 3. sek lõpul $0{,}6\,\frac{m}{sek}$ jne., siis on see liikumine ühtlaselt kiirenev, sest kiirus kasvab iga sekundi jooksul sama suuruse, antud juhul $0{,}2\,\frac{m}{sek}$ võrra. Graafiliselt on see kujutatud 11. joonisel.

Ühtlaselt aeglustuva sirgjoonelise liikumise näitena võiksime tuua rongi liikumist jaama sissesõidul.

Ühtlaselt kiirenevat (vst. aeglustuvat) sirgjoonelist liikumist iseloomustab nn. **kiirendus**, milleks nimetame kiiruse juurdekasvu (vst. kahanemist) ühe ajaühiku jooksul.



Joonis 11. Ühtlaselt kasvava kiiruse kujutamine.

Eelmises näites kasvas rongi kiirus jaamast välja sõites iga sekundi jooksul $0{,}2\,\frac{m}{sek}$ võrra, tähendab, kiirendus oli sel juhul $0{,}2\,\frac{m}{sek}$ sekundis. Lühiduse otstarbel kirjutatakse kiirenduse nimetus „$\frac{m}{sek}$ sekundis" nõnda: $\frac{m}{sek^2}$ ja loetakse: „meeter sekund ruudus". Samuti tähendab kiirendus $10\,\frac{cm}{sek^2}$, et keha liikumise kiirus igas sekundis $10\,\frac{cm}{sek}$ võrra kasvab; kui kiirendus on $3\,\frac{km}{min^2}$, siis kasvab kiirus igas minutis $3\,\frac{km}{min}$ võrra, jne. Edaspidi tähistame kiirenduse suurust üldisel kujul a-tähega (lad. k. *acceleratio* — kiirendus).

Kiireneva liikumise kiirenduse loeme positiivseks, aeglustuva liikumise kiirenduse negatiivseks.

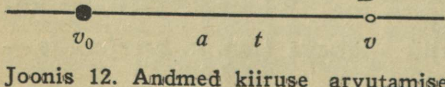
1. Kas on antud ühtlaselt kiireneva liikumise definitsioon õige, kui sellest sõnast „mistahes" välja jätta?

2. Väljendada kiirendus $10\,\frac{m}{sek^2}$ ühikutes: $\frac{cm}{sek^2}$, $\frac{cm}{min^2}$ ja $\frac{m}{sek\,.\,min}$!

23. Kiirenduse ühikud. Kiirendus iseloomustab kiiruse muutumist. Kui näiteks öeldakse, et liikumise kiirendus on $5\,\frac{cm}{sek^2}$, siis tähendab see, et liikumise kiirus muutub igas sekundis $5\,\frac{cm}{sek}$ võrra. Nagu kiiruse mõõtmisel on võetud ühikuks sellise keha kiirus, kus keha ühes ajaühikus (sek) liigub edasi ühe kaugusühiku (cm) võrra, samuti on kiirenduse mõõtmisel võetud ühikuks sellise keha kiirendus, kus keha kiirus ühes ajaühikus (sek) kasvab (või kahaneb) ühe kiirusühiku $\left(\frac{cm}{sek}\right)$ võrra. Selle järgi, millistes ühikutes on mõõdetud kiirus $\left(\frac{cm}{sek}, \frac{m}{sek}\right)$, saame ka vastavad kiirendusühikud $\left(\frac{cm}{sek^2}, \frac{m}{sek^2}\right)$, sest ajaühikuteks on kiirenduse puhul harilikult ikka sekundid.

Olgugi et kiirenduse suurus a r v u l i s e l t võrdub kiiruse juurdekasvuga ühes sekundis, ei tohi me siiski samastada kiirendust kiirusega. Kaugus, aeg, kiirus ja kiirendus on kõik omaette ja erinevad füüsikalised suurused ning igaühe mõõtmiseks neist peame kasutama erinevaid mõõduühikuid.

24. Kiiruse valemi tuletamine. Asugu vaatluse alguses ühtlaselt kiirenevalt liikuv keha teepunktis A (joon. 12) ja olgu tema kiirus selles punktis, nn. a l g k i i r u s, $v_0\,\frac{cm}{sek}$. Sama keha kiiruse t sek hiljem, nn. l õ p p k i i r u s e, tähistame v-ga. Kui



Joonis 12. Andmed kiiruse arvutamiseks.

liikumise kiirendus on $a \frac{cm}{sek^2}$, siis kasvab keha kiirus igas sekundis a kiirusühiku võrra, t sek jooksul aga at võrra, järelikult lõppkiirus

$$v = v_0 + at \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1).$$

Saadud valem annab võimaluse leida ühtlaselt kiireneva liikumise kiiruse suurust igal hetkel pärast liikumise algust, kui on teada algkiirus ja kiirendus. Ühtlaselt aeglustuva liikumise puhul tuleb kiirendus a võtta negatiivne.

Juhul, kui keha algkiirus $v_0 = 0$, saame valemi (1) jaoks lihtsama kuju:

$$v = at \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2).$$

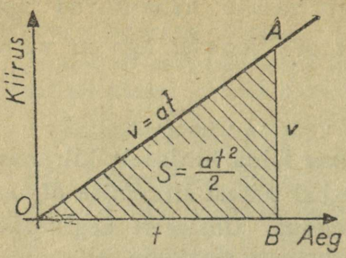
1. Rong sõidab jaamast välja ühtlaselt kiirenevalt kiirendusega $a = 30 \frac{cm}{sek^2}$. Leida rongi kiirus 5., 10., 15. ja 30. sekundi lõpul pärast liikumise algust! Mitme sekundi pärast on rongi kiirus $15 \frac{m}{sek}$?

2. Rong liigub kiirusega $17 \frac{m}{sek}$. Piduri mõjul saab ta jääva kiirenduse $-80 \frac{cm}{sek^2}$. Leida rongi kiirus 5 sek pärast pidurdamise algust!

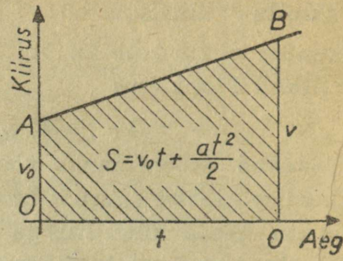
3. Keha liikumise algkiirus on $30 \frac{m}{sek}$, lõppkiirus 12 sek pärast $6 \frac{m}{sek}$. Leida kiirendus!

4. Keha kiirendus on $10 \frac{m}{sek^2}$ ja lõppkiirus 25 sek pärast $150 \frac{m}{sek}$. Leida algkiirus!

25. Ühtlaselt kiireneva liikumise kiiruse ja tee graafik. Analoogiliselt ühtlase liikumisega võime kujutada graafiliselt ka ühtlaselt kiireneva liikumise kiirust ja tee pikkust (joon. 13 ja 14). Märgime rõhtteljel aja, püstteljel vastavad kiiruse väärtused. Siis juhul, kui algkiirus $v_0 = 0$, saame kiiruse muutuse käigu kujutamiseks (joon. 13) sirge *OA*, mis lõikub koordinaatide alguspunktiga. Mida suurem on kiirendus, seda järsumalt tõuseb kiiruse muutust kuju-



Joonis 13. Ühtlaselt kiireneva liikumise kiiruse ja tee graafik, kui algkiirus $v_0 = 0$.



Joonis 14. Ühtlaselt kiireneva liikumise kiiruse ja tee graafik, kui algkiirus v_0 ei võrdu nulliga.

tav sirge OA. Sirge OA, aja telje (OB) ja lõppordinaadi (AB) vaheline pindala S mõõdab t sek jooksul läbitud tee pikkust. Nagu $\triangle\ OAB$ nähtub, on $S = \frac{at^2}{2}$.

Juhul, kui algkiirendus $v_0 \neq o$ (joon. 14), siis kujutab kiiruse muutumise käiku sirge AB ja läbitud teed S trapetsi $OABC$ pindala.

Joonestada ühtlaselt aeglustava liikumise kiiruse ja tee graafik!

26. Tee valemi tuletamine. Ühtlaselt kiireneval või aeglustuval liikumisel läbitud tee pikkuse võime arvutada selle liikumise keskmise kiiruse abil. Kui algkiirus on $v_0\ \frac{cm}{sek}$ ja lõppkiirus t sek pärast $v\ \frac{cm}{sek}$, siis on ühtlaselt kiireneva liikumise korral keskmine kiirus alg- ja lõppkiiruse aritmeetiline keskmine, s. o.

$$v_k = \frac{v_0 + v}{2} = \frac{v_0 + v_0 + at}{2} = v_0 + \frac{at}{2}.$$

Teades keskmise kiiruse suurust, arvutame ühtlaselt kiireneval liikumisel läbitud tee pikkuse järgmiselt:

$$s = v_k t = (v_0 + \frac{at}{2})t = v_0 t + \frac{at^2}{2} \quad . \quad . \quad (3).$$

Eelmises paragrahvis nägime, et graafiliselt kujutab tee pikkus s trapetsi pindala, mis on ühelt poolt alg- ja lõppkiiruse, teiselt poolt rõhttelje ning kiiruse muutumist kujutava sirge vahel. Tuletada sellest tee valem!

Erijuhul, kui $v_0 = 0$, saame valemist (3):

$$s = \frac{at^2}{2} \quad \ldots\ldots \quad (4)$$

Kokku võttes on meil ühtlaselt kiireneva ja ühtlaselt aeglustuva liikumise määramiseks kasutada valemid:

a) üldjuhul:

$$\left.\begin{aligned} v &= v_0 + at \\ s &= v_0 t + \frac{at^2}{2} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad (5)$$

b) erijuhul, kui $v_0 = 0$:

$$\left.\begin{aligned} v &= at \\ s &= \frac{at^2}{2} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad (6)$$

Sõnastada valemid (5) ja (6)! Kuidas olenevad kiirus ja läbitud tee pikkus ajast ning kiirendusest juhul, kui $v_0 = 0$?

Mõlemal korral tuleb meeles pidada, et ühtlaselt aeglustuva liikumise korral kiirendus on negatiivne.

Valemeid (5) võime käsitada kui 2 võrrandit 5 tundmatuga (v_0, v, t, a, s). Sellepärast on alati võimalik 3 antu põhjal leida teised 2.

Valemite (5) ja (6) kasutamisel tuleb hoolega tähele panna, et neis esinevad suurused oleksid väljendatud vastavates ühikutes. Kui näiteks t on mõõdetud sekundites, v_0 — $\frac{\text{cm}}{\text{sek}}$-tes ja s — cm-tes, siis v peab väljenduma $\frac{\text{cm}}{\text{sek}}$-tes ja a — $\frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}$.

Näide 1. Püssiraua pikkus on 75 cm. Kuul jookseb rauast välja kiirusega 500 $\frac{\text{m}}{\text{sek}}$. Leida kuuli kiirendus ja liikumisaeg raua sees, oletades, et liikumine on ühtlaselt kiirenev!

Valemite (6) abil saame: $500 = at$ ja $0{,}75 = \frac{at^2}{2} = \frac{at \,.\, t}{2} = \frac{500 \,.\, t}{2}$,

millest $t = 0{,}003$ (sek); $a = \frac{500}{0{,}003} = 167000 \left(\frac{\text{m}}{\text{sek}^2}\right)$ ehk 167 $\frac{\text{km}}{\text{sek}^2}$.

Vastus: $t = 0{,}003$ sek; $a = 167 \frac{\text{km}}{\text{sek}^2}$.

Näide 2. Rong sõidab jaamast välja jääva kiirendusega 20 $\frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}$. Mitme minuti järel saab rong endale normaalkiiruse 16 $\frac{\text{m}}{\text{sek}}$? Kui kaugel on siis rong jaamast?

Asendades saame: $16 = 0{,}2 \cdot t$, millest $t = \frac{16}{0{,}2} = 80$ (sek); $s = \frac{0{,}2 \cdot 80^2}{2} = 640$ (m). Vastus: $t = 80$ sek $= 1^1/_3$ min; $s = 640$ m.

1. Koostada valemite (5) ja (6) põhjal v ja s graafiline kujutis, kui $v_0 = 3 \frac{\text{cm}}{\text{sek}}$ ja $a = 0{,}5 \frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}$! Võrrelda saadud resultaate!

2. Mitu isesugust tüüpi ülesannet võib koostada ühtlaselt kiireneva (vst. aeglustuva) liikumise kohta, silmas pidades valemite kui ka neis esinevate suuruste arvu?

3. Keha algkiirus on $10 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$, lõppkiirus $40 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$ ja kiirendus $6 \frac{\text{m}}{\text{sek}^2}$. Leida kaugus ja aeg!

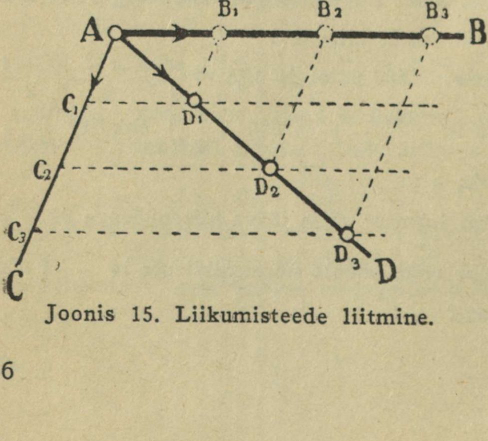
4. Sõnastada ja lahendada järgmised ülesanded: a) $v_0 = 2$, $a = 3$, $t = 6$; $v = ?$ ja $s = ?$ b) $a = -10$, $t = 25$, $v = 150$; $v_0 = ?$ $s = ?$ c) $v_0 = 30$, $v = 6$, $s = 216$; $a = ?$ $t = ?$ d) $v_0 = 400$, $a = -10$, $s = 6875$; $t = ?$ $v = ?$ Ühikud valida vastavalt!

5. Keha liigub ühtlaselt kiirenedes ja läheb edasi kahe teineteisele järgneva 4-sekundilise ajavahemiku jooksul vastavalt kaugused: 24 m ja 64 m. Leida algkiirus ja kiirendus!

6. Kahuritoru on 2 m pikk. Määrata mürsu kiirendus ja liikumise aeg kahuritorus, kui mürsk lendab torust välja kiirusega $700 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$!

Liikumiste liitmine ja lahutamine.

27. Liikumisteede liitmine ja lahutamine. Kriiditükk liigub ühtlaselt mööda jooneli AB äärt (joon. 15): joonel omakorda aga nihkub ühtlaselt edasi mööda tahvlit rööpselt esialgse asendiga, nii et ta ots A kogu aeg püsib sirgel AC. Missugune on kriiditüki tee tahvli suhtes? Käsitella seda küsimust geomeetrilise joonise 15 põhjal!

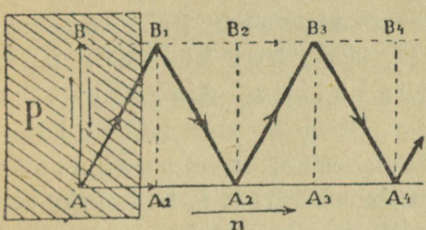


Joonis 15. Liikumisteede liitmine.

Reisija jalutab parvel ühtlaselt edasi-tagasi joonel AB (joon. 16). Parv liigub ühtlaselt noole n suunas. Leida reisija tee jõekallaste (maa) suhtes!

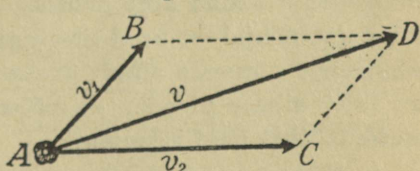
Katsed näitavad, et kahe ühtlase sirgjoonelise liikumise puhul on liitliikumise tee liidetavate liikumiste kui külgede põhjal joonestatud **rööpküliku diagonaal.**

Kui on võimalik kaks antud liikumist liita üheks liit- ehk resultantliikumiseks, siis ümberpöördult on samuti võimalik antud liikumist lahutada kaheks liidetavaks ehk komponentliikumiseks. Nii näiteks võime (joon. 15) liikumise AD_3 lahutada kaheks komponentliikumiseks AB_3 ja AC_3, liikumise AB_1 (joon. 16) komponentliikumisteks AB ja AA_1.



Joonis 16. Liikumisteede liitmine liikuval parvel.

Üldse, et antud ühtlast sirgjoonelist liikumist lahutada kaheks komponendiks, selleks joonestame rööpküliku, mille diagonaal (joon. 17, AD) kujutaks antud liikumist. Diagonaaliga samast tipust lähtuvad küljed (AB ja AC) ongi otsitavad komponentliikumised, millega võime asendada antud liikumise (AD).



Joonis 17. Kiiruste rööpkülik.

1. Tuua näiteid liikumiste liitmise ja lahutamise kohta!

2. Missugusteks komponentliikumisteks võib lahutada liikumise tee kodunt kooli?

3. Analoogiliselt arvude liitmisega tuletada reegel kolme, nelja jne. liikumise liitmise kohta!

4. Reisija jalutab risti mööda liikuvat vagunit edasi-tagasi. Missugune on reisija tee raudtee suhtes?

5. Näidata, et ühtlaste sirgjooneliste liikumiste liitmisel saadud resultantliikumine on samuti ühtlane ja sirgjooneline!

28. Kiiruste liitmine ja lahutamine. Kiirus näitab ühe ajaühiku jooksul liikumisel läbitud teed oma suuna ja suuruse poolest; järelikult on liikumisteede liitmise juhis kehtiv ka kiiruste liitmisel, s. o. liit- ehk resultantliikumise kiirus (v) võrdub alati oma suuruse ja suuna poolest liidetavate ehk komponentliikumiste kiiruste (v_1 ja v_2) kui külgede põhjal joonestatud rööpküliku diagonaaliga (joon. 17).

Ümberpöördult liitmisele on vahel tarvis lahutada antud kiirus (v) kaheks komponendiks, s. o. leida kaks niisugust kiirust (v_1 ja v_2), mille resultant oleks antud kiirus (joon. 17). Nagu liitmise juhisest selgub, tuleb kiiruse lahutamisel kui liitmisele vastupidisel tegevusel ehitada rööpkülik antud diagonaali AD põhjal. Tipust A väljuvad küljed AB ja AC ongi otsitavad komponentkiirused. Et antud diagonaali põhjal, kui pole teisi lisatingimusi, saab ehitada lõpmata palju rööpkülikuid, siis tuleb ülesande üheselt lahendamiseks anda ka komponentide kohta mõned lisatingimused, näiteks: 1) mõlema komponendi suund; 2) ühe komponendi suund ning suurus, jne. Näidata kolmnurkade ehitamise põhjal, et need lisatingimused on piisavad kiiruse lahutamise ülesande ainult üheselt lahendamiseks! Seejuures tuleb silmas pidada, et mõlemad komponendid ei saa asetseda ühel pool resultanti.

1. Mispoolest erineb kiiruste liitmine ning lahutamine samanimelistest tehetest aritmeetikas?

2. Kuidas tuleks kolm, neli jne. kiirust liita? Näidata, et resultantkiirus ei olene komponentkiiruste liitmise järjekorrast!

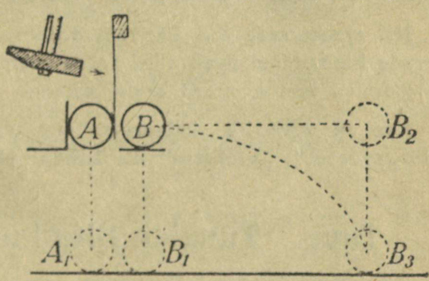
3. Kõva läänetuulega ($v_1 = 15 \frac{m}{sek}$) sõidab lennuk lõuna suunas kiirusega $v = 40 \frac{m}{sek}$. Leida lennuki omaliikumise suund ja kiirus!

4. Kas on võimalik ujuda otse risti üle jõe, kui voolu kiirus on $5 \frac{km}{h}$, ujuja kiirus seisvas vees aga $4 \frac{km}{h}$?

5. Jõe laius on 72 m, voolu kiirus $1{,}2 \frac{m}{sek}$, sõudja kiirus seisvas vees $1{,}5 \frac{m}{sek}$. Kui palju tarvitab sõudja aega, et kõige lühemat teed mööda üle jõe ja tagasi sõita? Mis suunas tuleks hoida lootsik, et kõige kiiremini (mitme sekundiga?) jõuda teisele kaldale? Missugune on viimasel juhul sõudja tee kalda suhtes?

6. Lahutada antud kiirus kaheks komponendiks nõnda, et need oleksid suuruselt antud kiirusega ühesugused!

29. Liikumiste sõltumatuse printsiip. Võtame kaks ühesugust (puust) kera (*A* ja *B*) ning laseme neil mõlemal samast kõrgusest põrandale langeda (joon. 18). Kera *A* laseme vabalt püsti alla langeda, kuna kerale *B* anname langemise alguse momendil rõhtsuunalise tõuke, mille mõjul kera *B* liigub mööda kõverjoont BB_3. Katse näitab, et mõlemad kerad jõuavad põrandale samal momendil. Sellest järeldame, et keha liikumine püstsihis (langemine) ei sõltu sama keha liikumisest rõhtsihis, üks liikumine *ei sega teist*. Ka liikumiste (kiiruste) liitmisel rööpküliku juhise põhjal on aluseks sama nn. *liikumiste sõltumatuse põhimõte ehk printsiip*, mille järgi *keha liikumine mõne teise keha suhtes ei sõltu sellest, missugustest teistest liikumistest see*



Joonis 18. Liikumiste sõltumatus.

keha osa võtab. Näiteks ühtlaselt liikuval laeval (rongil) võib niisama hästi palli mängida, märki lasta jne. kui seisvalgi. Samuti ei sõltu liikumised meie Maa suhtes praktiliselt viimase liikumisest.

30. Skalaarsed ja vektorilised suurused. Füüsikalised suurused võime jagada kahte liiki: skalaarsed ja vektorilised suurused. Esimeste hulka kuuluvad näiteks: ruumala, mass, temperatuur, valgustustugevus jne. Nende väärtuste täpseks määramiseks on küllalt vastusest küsimusele: kui palju? Keha ruumala on 2 m^3, mass on 5 kg, temperatuur 25°, pinna valgustustugevus 10 luksi jne. Teiste, s. o. vektoriliste suuruste väärtuste täpseks määramiseks on vähe vastusest küsimusele „kui palju?“, vaid peame sellele lisaks veel andma vastuse küsimusele „millises suunas?“. Niisuguste suuruste hulka kuuluvad kiirus, kiirendus, tung jt. Tõepoolest, sellest on veel vähe, kui teame, et tuule kiirus on $5 \frac{m}{sek}$, tarvis on ka teada, mis suunas tuul puhub; samuti ei olene tungi mõju kehasse mitte ainult tungi suurusest, vaid ka tungi mõjumise suunast.

Skalaarsete suuruste väärtuste täpne tähistamine toimub vastavate mõõtarvude abil, vektoriliste suuruste väärtuste tähistamiseks kasutatakse nooli ehk nn. vektoreid. Seejuures võetakse noole pikkus võrdeline antud vektorilise suuruse arvsuurusega, kuna noole suund vastab antud vektorilise suuruse suunale.

Nii skalaarsete kui ka vektoriliste suuruste mõõtmisel saadud arvude hindamisel peab alati teada olema, milliste mõõduühikutega võrdlemise teel on need arvud saadud.

Kas on võimalik skalaarsete suuruste kohta tarvitatavaid mõisteid „suurem“, „väiksem“ üle kanda vektorilistele suurustele?

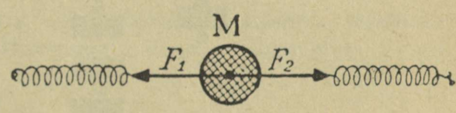
Tung. Tungide liitmine ja lahutamine.

31. Inerts. Ükski paigalolev keha ei hakka liikuma ilma põhjuseta — iseendast; samuti ükski liikuv keha ei jää iseendast, ilma põhjuseta seisma ega muuda oma liikumise suunda või kiirust.

Need kaks kehade omadust võttis Newton kokku järgmises lauses, mida nimetatakse inertsi ehk Newtoni esimeseks seaduseks: **iga keha püsib kas paigal või ühtlases sirgjoonelises liikumises, seni kui mingi põhjus, mida me tungiks nimetame, seda olekut ei muuda.**

Seda üldist kehade omadust säilitada oma liikumise olekut, nimetatakse **inertsiks.** Tuua näiteid inertsi kohta!

32. Tung ja selle mõõtmine. Inertsiseaduse järgi nimetame tungiks põhjust, mis paigaloleva keha liikuma paneb või juba olemasolevat liikumist suuna või kiiruse suuruse poolest muudab.

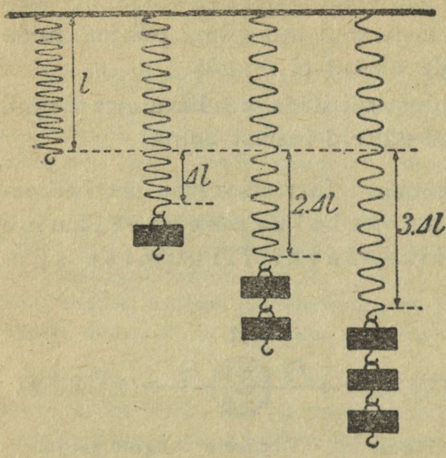


Joonis 19. Võrdsete tungide mõju.

Säärasteks keha liikumise oleku muutumise põhjusteks võivad olla: inimeste ja loomade lihastetung, raskustung, hõõrdumistung, elastsustung jt.

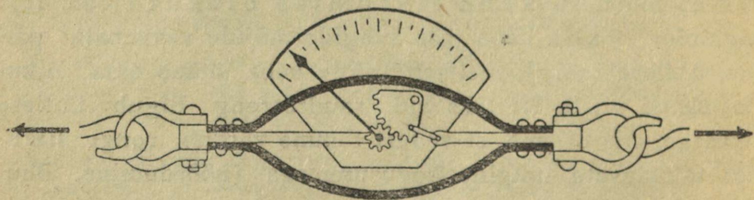
Kaks tungi F_1 ja F_2 on suuruselt võrdsed, kui nad ei muuda keha liikumise olekut (joon. 19): paigalolev vaba keha jääb tungide mõjule vaatamata paigale, ühtlaselt sirgjooneliselt liikuv keha jätkab oma liikumist samal viisil. Näiteks kui raudteerong liigub ühtlase kiirusega, siis ütleme, et veduri tõmme võrdub rongi liikumist takistavate tungide kogusummaga (hõõrdumine, õhutakistus).

Kuid tung ei muuda ainult keha liikumise olekut, vaid ta võib muuta ka keha kuju, s. o. tekitada kehas deformatsiooni. Nii näiteks võime tungi mõjul keha pikemaks venitada, kokku suruda, painutada või mõnel muul viisil talle hoopis teise kuju anda. Teatud piirides on keha deformatsiooni suurus, näiteks vedru pikenemine, võrdeline deformeeriva tungi suurusega. Sellel kehade omadusel põhjenebki tungide mõõtmine, näiteks raskustungi mõõtmine vedrukaalu abil.



Joonis 20. Vedru pikenemine on võrdeline deformeeriva tungi suurusega.

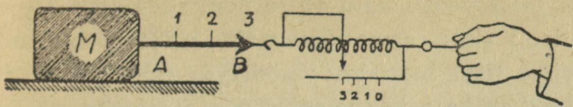
Samuti võime vedrukaaluga mõõta ka kõiki teisi tunge, näiteks lihaste- või magnetitungi, ning väljendada nende suurust raskusühikutes (kG, G). See nn. s t a a t i l i n e t u n g i d e m õ õ t m i s e v i i s on üldiselt tarvitusel igapäevases elus kui ka tehnikas. Liikumise oleku muutumisel põhineva tungide mõõtmise viisiga (d ü n a a m i l i n e v i i s) tutvume hiljem (§ 39).



Joonis 21. Dünamomeeter.

Riistu, millede abil saab tungi suurust mõõta, nimetatakse d ü n a m o m e e t r e i k s (joon. 21). Selleks otstarbeks võib tarvitada ka iga kaalu.

33. Tungi graafiline kujutamine. T u n g o n t ä i e s t i t e a d a, k u i o n a n t u d t e m a **rakenduspunkt, suund** ja

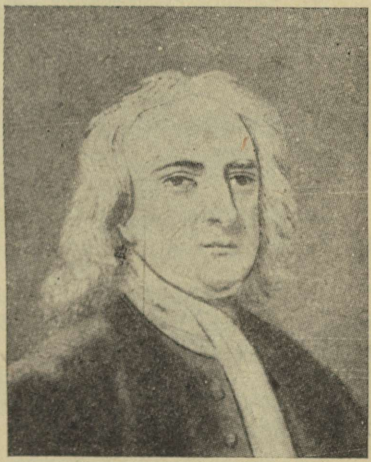


Joonis 22. Tungi graafiline kujutamine.

suurus. Kõiki neid kolme tungi tunnust on võimalik graafiliselt näitlikult kujutada noole abil. Noole (AB) algus on antud tungi rakenduspunktis (A), suund näitab antud tungi suunda ja pikkus mahutab enesesse nii mitu võrdset osa, kui mitu tungiühikut on antud tungi suuruses.

Eelöeldust järgneb, et tung on vektoriline suurus, järelikult peab ka tungide liitmine ja lahutamine toimuma rööpküliku reegli põhjal.

Isaac Newton, 1643—1727, kuulus inglise matemaatik ja füüsik, õppis Cambridge'i ülikoolis matemaatikat, oli pärast 30 aastat matemaatikaprofessoriks sealsamas, hiljem kuni surmani Kuningliku Rahapaja ülem Londonis ja Kuningliku Seltsi (Royal Society) president. Newtoni peateos *„Philosophiae naturalis principia mathematica"* ilmus aastal 1687. Selles teoses Newton liikumisseadustega põhjendab mehaanika ja gravitatsiooniseadusega paneb aluse taeva mehaanikale. Peale selle on Newton valguse emanatsiooniteooria ja diferentsiaal- ning integraal-arvutuse põhjendaja, peegelteleskoobi ja sekstandi leiutaja.



Joonis 23.

34. Newtoni mõju ja vastumõju seadus. Päkaga vastu lauda rõhudes (teha seda!) tunneme, et laud rõhub päkka.

Vedrukaalu abil teist vedrukaalu välja venitades näeme, et mõlemad vedrud on alati samatugevuselt välja venitatud. Kui lootsikus olles teist lootsikut nööriga esimese poole tõmmata, siis hakkab ka esimene teise poole liikuma. Kõik katsed ja tähelepanekud näitavad, et me e i s a a a i n u l t ü h t e t u n g i t e k i t a d a. Iga kord, kui mõnesse kehasse hakkab mõjuma mingisugune tung (aktsioon), siis tingimata peab kuski leiduma mõni t e i n e keha, millesse mõjub teine tung, mis on suuruselt esimesega ühesugune, kuid suunalt vastupidine (reaktsioon). Lühidalt kokku võttes võime

Joonis 24. Mõju ja vastumõju.

öelda: **igale mõjule (aktsioon) on alati olemas vastassuunaline ja võrdne vastumõju (reaktsioon).**

See tungide üldine omadus kuulub mehaanika põhilausete hulka ja on tuntud N e w t o n i III seaduse nime all.

1. Kumb tõmbab tugevamini teist enda poole: kas Maa kivi või kivi Maad? Vastata samale küsimusele Päikese ja Maa ning Maa ja Kuu kohta!

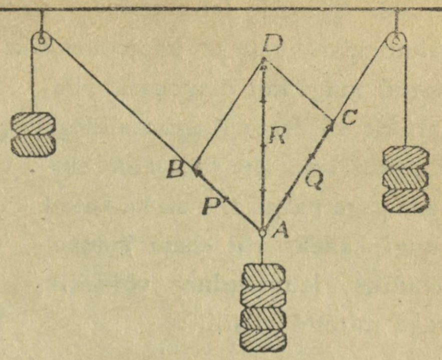
2. Kas võib mõni keha anda teisele tugevama hoobi kui ta ise suudab välja kannatada?

3. Kas on aktsioon ja reaktsioon rakendatud samas punktis või mitte?

4. Kui lootsikust kaldale hüpata, hakkab lootsik liikuma vastassuunas. Millest see tuleb?

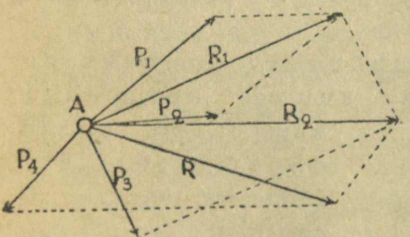
5. Jälgida aktsiooni ja reaktsiooni kelgu ning koorma vedamisel!

35. Tungide liitmine. Katse näitab, et samas punktis (A) rakendatud tungide (komponentide) P ja Q resultant R oma suuna ja suuruse poolest on P ja Q kui külgede põhjal joonestatud rööpküliku diagonaal (joon. 25). Resultant mõjub üksinda samasuguselt kui kõik antud tungid ühtekokku.

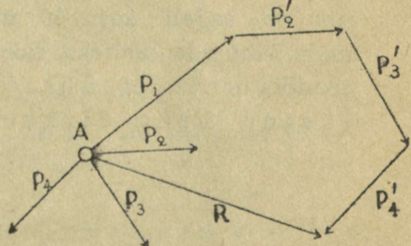


Joonis 25. Tungide rööpkülik.

Jälgida tähelepanelikult, kuidas on liidetud 26. ja 27. joonisel antud tungid P_1, P_2, P_3 ja P_4!



Joonis 26.



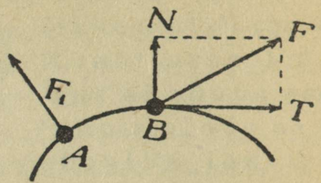
Joonis 27.

1. Leida graafiliselt järgmiste komponentide P ja Q resultandid, kui komponentide ja nende vahel oleva nurga A suurused on: a) $P = 3$ kG, $Q = 4$ kG, $A = 90°$; b) $P = Q = 10$ kG, $A = 120°$; c) $P = 9$ G, $Q = 12$ G, $A = 90°$; d) $P = 3$ kG, $Q = 4$ kG, $A = 60°$.

2. Rakenduspunktis A mõjuvad 4 tungi: põhjasuunas $P_1 = 15$ kG, idasuunas $P_2 = 10$ kG, lõunasuunas $P_3 = 11$ kG ja läänesuunas $P_4 = 7$ kG. Leida suuna ja suuruse poolest nende resultant P!

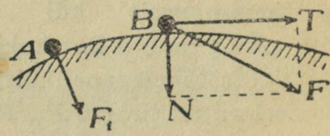
3. Jälgida, kuidas muutub samas punktis rakendatud kahe võrdse komponendi resultant nende vahel oleva nurga muutudes!

36. Tungide lahutamine. Antud tungi kui resultandi lahutamisel kaheks komponendiks tuleb ehitada rööpkülik antud tungi kui diagonaali põhjal. Et võrdsete diagonaalidega rööpkülikuid on võimalik ehitada väga palju, siis on ka antud tungi kaheks või enam komponendiks lahutamine võimalik väga mitmel viisil.

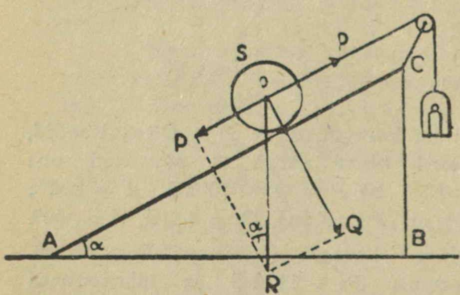


Joonis 28. Tasakaal varval.

Kui keha liigub tungi mõjul, kuid mitte selle tungi mõjumissuunas, näiteks 28. joonisel kujutatud juhul, kus keha saab liikuda ainult mööda varba AB, siis on sageli kasulik antud tung lahutada kaheks komponendiks nõnda, et ühe komponendi suunaks on võetud keha liikumise suund, kuna teise komponendi suund on sellega risti. Liikumist mõjutab ainult liikumissuunas mõjuv tungi komponent, kuna sellega risti olev komponent liikumist ei soodusta.

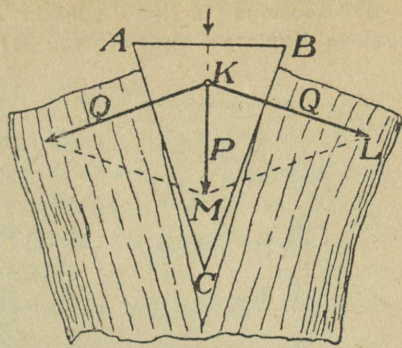


Joonis 29. Tasakaal pinnal.



Joonis 30. Kaldpind.

Oletame näiteks, et 28. joonisel kujutatud keha võib liikuda ainult mööda varba AB. Asendis A on tung liikumissuunaga risti, järelikult keha ei saa liikuda, ta on tasakaalus. Asendis B lahutame mõjuva tungi BF komponentideks: liikumise suunas — BT (tangentsiaalne) ja sellega risti — BN (normaalne). Arusaadav, et sel juhul komponendi BT mõjul keha hakkab liikuma. Samaladiliselt tuleb käsitleda keha tasakaalu liikumisel mööda pinda, nagu näha 29. joonisel.



Joonis 31. Kiil.

Rakendame tungide lahutamise reeglid mõne meile tuntud nähtuse seletamiseks.

a) **Kaldpind** AC (joon. 30) moodustab rõhttasapinnaga AB nurga α. Näidata, et kaldpinnaga rööbitine komponent $P = R.\frac{BC}{AC}$, kui R on kaldpinnal lasuva silindri S raskus ja BC kaldpinna kõrgus ning AC kaldpinna pikkus. Millega võrdub komponent Q? Mis tasakaalustab neid komponente?

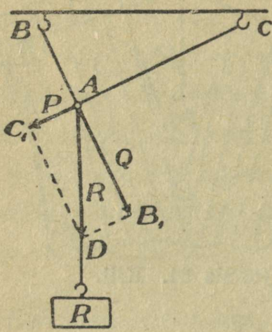
b) **Kiil** (joon. 31) koosneb kahest kaldpinnast. Lahutame kiilu silmasse mõjuva tungi P kaheks komponendiks (Q) risti kiilu külgpindadega. Et

$$\triangle ABC \sim \triangle KLM, \text{ siis } \frac{P}{Q} = \frac{AB}{BC}, \text{ millest } Q = P.\frac{BC}{AB},$$

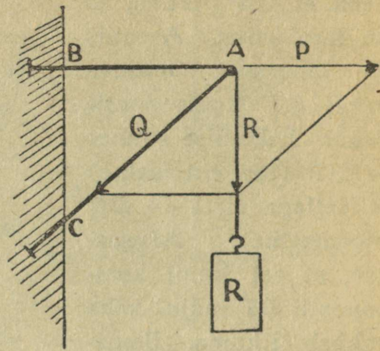
s. o. kiilu külje rõhumine (Q) on nii mitu korda suurem rõhumisest kiilu silmale (P), kui mitu korda kiilu külje pikkus (BC) on suurem silma paksusest (AB).

c) Leida graafiliselt, kui tugevasti on pingule tõmmatud 32. joon. kujutatud niidid AB ja AC, mille otsas ripub koormus $R = 13$ kG!

d) Koormus R ripub punktis A kahest varvast AB ja AC koosneva kandetoe otsas (joon. 33). Lahutame tungi R kaheks



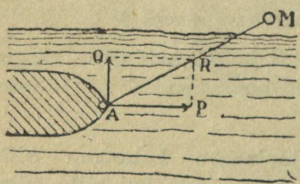
Joonis 32. Tungi lahutamine.



Joonis 33.

komponendiks P ja Q varbade AB ja AC sihis. Sel teel saadud komponendid tasakaalustuvad varbade tõmbe ja rõhumisega.

1. Lodjamees veab lotja vastuvett üles (joon. 34). Selleks tõmbab ta kaldal (M) nöörist. Lahutame lodjamehe tõmbetungi R komponentideks P ja Q.



Joonis 34. Lodjavedu.

Kuidas sõltub komp. P suurus Q-ga võrreldes lodja liikumise suuna ja nööri suuna vahel olevast nurgast? Mis suunas oleks kõige kasulikum tõmmata?

Leida graafiliselt komponentide P ja Q suurus, kui $R = 30$ kG!

2. Kiilu külje pikkus on 30 cm, silma paksus 5 cm. Kui tugevasti tuleb kiilu silma rõhuda, et rõhumine küljele oleks 240 kG?

3. Lahutada tung 10 kG kaheks vastastikku risti komponendiks, millest üks oleks 6 kG!

4. Pilt ripub vertikaalselt kahe niidi abil seinal naela otsas. Leida niidi pinevus, kui pilt kaalub 2 kG ja niidid moodustavad pildi ülemise äärega võrdkülgse kolmnurga!

5. Lahutada tung 8 kG kaheks vastastikku risti komponendiks, millest üks oleks teisest 3 korda suurem!

Newtoni II seadus.

37. Side tungi, kiirenduse ja massi vahel. Inertsi mõjul püsib keha kas paigal või liigub ühtlaselt ja sirgjooneliselt, s. o. ilma kiirenduseta. Keha liikumise kiirus võib muutuda ainult tungide mõjul. Keha kiiruse muutumist iseloomustab liikumise kiirendus, järelikult kiirendus tekib tungi mõjul, tung on kiirenduse tekkimise põhjuseks. Tõuseb küsimus: kuidas on seotud üksteisega tung (põhjus) ja kiirendus (järeldus)? Kiirenduse sõltuvuse tungist väljendab nn. Newtoni II seadus järgmiselt:

Keha liikumise kiirendus on võrdeline ja samasuunaline sellesse kehasse mõjuva tungiga.

Kiirendus kui kiiruse juurdekasv ühe ajaühiku jooksul on suunaga ehk vektoriline suurus. Tungi suund Newtoni II seaduse järgi on ühesugune kiirenduse suunaga, tähendab, ka tung on suunaga ehk vektoriline suurus.

Newtoni II seadus näitab kehasse mõjuva tungi olenevust kiirendusest, kui keha mass ei muutu. Katsed näitavad, et sama kiirenduse andmiseks läheb suuremale massile tarvis suuremat tungi, nimelt: sama kiirenduse puhul on tungi suurus võrdeline massiga.

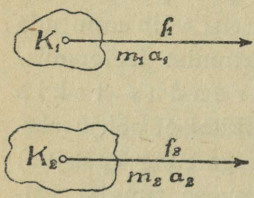
Tähistades tungi suuruse f-ga (prantsuse keeles *force* — tung), massi m-ga ja kiirenduse a-ga, võime tungi suuruse olenevuse massist ja kiirendusest kokku võtta valemisse

$$f = ma \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (1),$$

s. o. **tungi suurus** (f) **mõõtub massi** (m) **ja kiirenduse** (a) **korrutisega.**

Valem (1) seob kolme suurust: f, m ja a. Kahte suurust teades on võimalik leida kolmandat.

38. Liikumine jääva tungi mõjul. Kui kehasse mõjub jääv tung, siis keha liigub ühtlaselt kiirenevalt. See järgneb valemist $f = ma$, millest $a = \frac{f}{m}$. Kui f ja m on jäävad, siis peab ka kiirendus a olema jääv, s. o. keha (mass m) liigub ühtlaselt kiirenevalt.



Joonis 35. Võrdsete tungide mõju kiirendusse.

Teiselt poolt järgneb valemist $f = ma$, et sama tung annab erisugustele massidele kiirendused, mis on pöördvõrdelised masside suurustega. Olgu kahe keha massid m_1 ja m_2 ning vastavad tungi suurused ja kiirendused f_1, a_1, f_2 ja a_2 (joon. 35). Siis võime valemi $f = ma$ põhjal kirjutada:

$$\left.\begin{array}{l} f_1 = m_1 a_1 \\ f_2 = m_2 a_2 \end{array}\right\} \text{kui } f_1 = f_2, \text{ siis } m_1 a_1 = m_2 a_2, \text{ millest } \frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2}{a_1}.$$

Tuua näiteid tõestatud tungi omaduste illustreerimiseks!

Arvutada Maa kiirendus Kuu poole, kui Maa mass on Kuu massist 80 korda suurem ja Kuu kiirendus Maa poole on 0,27 $\frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}$.

39. Tungiühikud. Newtoni II seaduse valem $f = ma$ on väga tähtis, sest ta võimaldab mõõta tungi suurust massi ja kiirenduse abil. Valemist $f = ma$ järgneb: kui $m = 1$ ja $a = 1$, siis ka $f = 1$, s. o. tungimõõtmise ühikuks on otstarbekohane võtta niisugune tung, mis mõjudes ühte massiühikusse annab temale ühe ühiku kiirendust. Olgu $m = 1$ g ja $a = 1 \frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}$, siis $f = 1 \frac{\text{g} \cdot \text{cm}}{\text{sek}^2}$ ehk **düün**, s. o. tung, mis massile 1 g annab $1 \frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}$ kiirendust.

Et düün on väga väike tungiühik, siis tarvitatakse suurema ühikuna megadüüni, mis on düünist miljon korda suurem: 1 megadüün $= 10^6$ düüni.

Kirjeldatud tungimõõtmisviisi nimetame d ü n a a m i l i s e k s vastandina § 32 esitatud s t a a t i l i s e l e tungimõõtmisviisile. Üleminek ühelt viisilt teisele on väga lihtne gramm-raskuse abil. Me teame, et

tung 1 G raskust annab massile 1 g kiirendust $981 \frac{cm}{sek^2}$, kuna

„ 1 düün „ „ „ 1 „ „ 1 „

Esimesel juhul on kiirendus 981 korda suurem, järelikult niisama palju korda peab olema suurem ka vastav tung, sest mass on mõlemal juhul sama. Seega:

1 G raskust = 981 düüni.

1. Kui suur tung annab massile 3 g kiirenduse $4 \frac{cm}{sek^2}$?

2. Missugusele massile annab tung 240 düüni kiirenduse $20 \frac{cm}{sek^2}$?

3. Kui suure kiirenduse annab tung 480 düüni massile 16 g?

4. Leida kiirendus, mille annab tung 1 megadüün massile 1 tonn!

5. Milline tung annab massile 0,25 kg $40 \frac{m}{sek^2}$ kiirendust?

6. Kui suure jääva tungi mõjul liigub mass $m = 10$ g $t = 40$ sek jooksul edasi maa $s = 0{,}48$ km, kui see mass oli liikumise algul paigal?

7. Leida mass, mis jääva tungi $f = 1$ megadüün mõjul liigub $t = 10$ sek jooksul edasi maa $s = 1$ km, kui massi algkiirus $v_0 = 0$!

8. Sagedasti imetellakse putukate (rohutirts, kirp jne.) hüppamise kõrgust ja avaldatakse kahetsust, et inimene võrreldes oma suurusega hüppamise suhtes putukatega sugugi ei suuda võistelda. Kas on see arvamine põhjendatud?

40. Massi tehniline ühik. Mõõduühikute süsteem, mille aluseks on p i k k u s ü h i k 1 c m, m a s s i ü h i k 1 g ja a j a ü h i k 1 s e k, nimetatakse s e n t i m e e t e r - g r a m m - s e k u n d - (lühidalt CGS-) ehk a b s o l u u t s e k s mõõduühikute süsteemiks. Kõik teised vajalikud ühikud tuletatakse nende kolme põhiühiku abil. Tehnikas tarvitatakse mõõduühikute süsteemi, kus p i k k u s ü h i k u k s o n 1 m, a j a ü h i k u k s 1 s e k j a m a s s i ü h i k u asemel on k o l m a n d a k s p õ h i ü h i k u k s v õ e t u d 1 kG-t u n g. Seega pole tehnilises mõõduühikute süsteemis tungiühik tuletatav nagu absoluutses mõõduühikute süsteemis, vaid põhiühikuna antud. Selle eest aga on tuletatav teiste ühikute abil massiühik. Et saavutada Newtoni II seaduse lihtsat rakendust, on tehnilises mõõduühikute süsteemis võetud massiühikuks niisugune mass, millele 1 tungiühik (kG-raskus) annab 1 ühiku kiirendust $\left(\frac{m}{sek^2}\right)$. Määrame selle uue massiühiku, nn. tehnilise massiühiku suuruse kg-des.

Me teame, et

1 kG raskust annab massile 1 kg kiirendust 9,81 $\frac{m}{sek^2}$, siis
1 „ „ „ „ x „ „ 1 „

Millisele massile x annab tung 1 kG kiirendust 1 $\frac{m}{sek^2}$? Sama tungi puhul on kiirendused pöördvõrdelised massidega, järelikult $x \cdot 1 = 1 \cdot 9{,}81$ ehk $x = 9{,}81$ kg. Järelikult tehnilises süsteemis tuleb massiühikuks võtta 9,81 kg. Kahjuks puudub sel ühikul oma erinimetus. Seega massi väljendamiseks tehnilistes ühikutes tuleb arv, mis väljendab massi kg-des, jagada 9,81-ga, sest tehniline massiühik on kg-st 9,81 korda suurem. Ülesannete lahendamisel võib 9,81 asemel võtta 9,8.

Näide. Missugune tung annab massile 49 kg kiirendust 3 $\frac{m}{sek^2}$?

$$f = ma = \frac{49}{9{,}8} \cdot 3 = 5 \cdot 3 = 15 \text{ (kG-tungi)}.$$

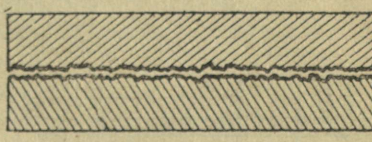
1. Milline tung annab massile 1 kg kiirendust 1 $\frac{m}{sek^2}$?
2. Kui suure kiirenduse annab tung 2 kG massile 5 kg?
3. Missugusele massile annab tung 3 tonni kiirendust 0,2 $\frac{m}{sek^2}$?

41. Tungide mõju sõltumatus. Liikumiste liitmisest teame, et siin on kehtiv nn. liikumiste sõltumatuse printsiip, s. o. üks liikumine ei sega teist. Et tung on alati samasuunaline ja võrdeline kiirendusega, siis kehtib tungide kohta sama sõltumatuse printsiip, nimelt: tungi mõju kehasse ei sõltu keha esialgsest liikumise olekust. Sama tung annab kehale alati sama kiirenduse, hoolimata sellest, kas keha on esialgu paigal või liigub. Näiteks (§ 29) vabal langemisel liigub keha teatava aja jooksul sama palju allapoole, ükskõik kas keha oli liikumise alguses paigal või omas mõnesugust rõhtsat kiirust.

42. Mehaanika põhiseadused. Newtoni kolm seadust (inertsi-, tungi ja kiirenduse võrdelisuse ning mõju ja vastumõju seadus) on mehaanika põhiseadusteks, millele on rajatud kogu mehaanika ehitus. Me võime neid põhiseadusi üksikutel näidetel demonstreerida, mitte aga üldisel kujul tõestada. Nende seaduste kõige suuremaks tõestuseks on asjaolu, et kõik nendest põhiseadustest tuletatud järeldused on kokkukõlas katse ja vaatluse teel saadud tulemustega. Juba Galilei ja Huygens olid enam-vähem tuttavad nende seadustega. Newtoni suureks teeneks tuleb lugeda seda, et ta oma töös „*Philosophiae naturalis principia mathematica*“ (Loodusteaduse matemaatilised printsiibid), mis ilmus aastal 1687, esimesena nad selgesti väljendas ja kaugeleulatuvalt arendas.

Hõõrdumine.

43. Hõõrdumistung. Igapäevase elu tähelepanekuist teame, et ükski liikuma pandud keha ei liigu ühtlaselt iseendast, vaid liikumise kiirus kahaneb järjest ja keha jääb varsti seisma. Nii näiteks tasast maapinda mööda visatud kivi, rõhtsal pinnal rööpmeil liikuma pandud vagun, uisutaja jääl, pöörlev hooratas, veepinnal liikuma tõugatud paat jne. kaotavad kõik varsti oma liikumiskii-



Joonis 36. Hõõrdumist tekitavad pinnakonarused.

ruse ning jäävad lõpuks seisma, kui liikuma panev tung neisse enam ei mõju. Raudteerong liigub ühtlaselt ainult seni, kuni vedur teda järjest tõmbab.

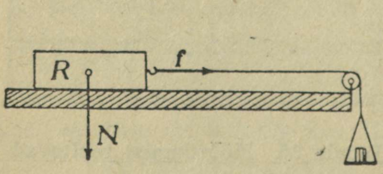
Inertsiseaduse järgi võib keha liikumise olekut muuta ainult tung. Mis takistas siis eelmisis näiteis kehade liikumist? — Keha pind pole kunagi päris sile, vaid ikka konarlik, nagu näha joonisel 36. Liikumisel jäävad ühe keha pinna konarused teise keha pinna konaruste vahele ja takistavad sedaviisi liikumist. Ütleme sel puhul lühidalt: liikumist takistab **hõõrdumine** ehk **hõõrdumistung.** Kui tahame, et keha, mis mööda teise keha pinda liugub või veereb, liiguks järjest edasi ühtlaselt, siis peame kogu aeg ületama selle keha liikumist takistavat hõõrdumistungi. Tuleb silmas pidada, et hõõrdumistung tekib ainult kehade liikumisel ja on alati suunatud vastu liikumissuunale.

1. Mida ületab hobune koormavedamisel rõhtsal teel ühtlaselt liikudes? Tuua veel samalaadilisi näiteid!

2. Kas oleks võimalik liikuma hakata, seisma jääda, asju nööriga kokku siduda, naelu ja kruvisid tarvitada jne., kui puuduks hõõrdumine?

3. Millal on hõõrdumistung talvel väiksem: kas kõva külmaga või pehme ilmaga, ja mispärast?

44. Hõõrdumisseadused liugumisel. Asetame ühtlasele rõhtsale pinnale rööptahuka (R), mille raskus on N, ja vaatame, kui suurt tungi (f) läheb tarvis, et rööptahukas väikese tõuke mõjul hakkaks ühtlaselt liiguma mööda aluspinda (joon. 37). Kui rööptahukas liigub ühtlaselt inertsi mõjul, siis järelikult tung f tasakaalustab liikumistakistused ehk hõõrdumistungi ning on suuruselt viimasega võrd-



Joonis 37. Hõõrdumine liugumisel.

ne. Katse tingimusi (kokkupuute-pindala suurust ja pindade iseloomu, liikumise kiirust, normaalrõhumise suurust) mitut viisi muutes leidis Coulomb (1736—1806) katseliselt hõõrdumise kohta liugumisel järgmised seadused:

Hõõrdumistungi suurus liugumisel:

1) **ei sõltu** hõõrduvate kehade **kokkupuutepindade suurusest** ega liikumise **kiirusest**, küll aga on liikumise kestel hõõrdumistung väiksem kui liikuma hakkamise momendil;

2) **sõltub kokkupuutepindade iseloomust** (aine, siledus, määrimine) ja **normaalrõhumisest** (rõhumine risti alusele) ning on sellega **võrdeline.**

Viimasest seadusest järgneb, et hõõrdumistungi (f) ja normaalrõhumise (N) suhe on jääv, kui kõik teised tingimused jäävad samaks. Selle jääva suhte suurust (k) nimetatakse **hõõrdumiskoefitsiendiks** ehk **-teguriks,** s. o.

$$\frac{f}{N} = k, \text{ millest } f = kN.$$

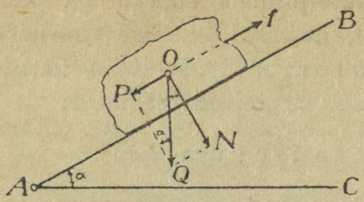
Kui näiteks $N = 2$ kG ja $f = 0,5$ kG, siis hõõrdumiskoefitsient

$$k = \frac{f}{N} = \frac{0,5}{2} = 0,25.$$

Toome siin mõned hõõrdumiskoefitsiendid liugumisel:

Teras	mööda	terast	0,17
Raud	„	rauda	0,3
Raud	„	malmi või pronksi	0,18
Nahkrihm	„	puud	0,4
Teras	„	jääd	0,02
Puu	„	jääd	0,035

Eelmised korrapärasused ja andmed on kehtivad kuivade (õlitamata) pindade ja mittesuurte kiiruste puhul. Uurimised näitavad, et suurte kiiruste puhul liugumishõõrdumine



Joonis 38.

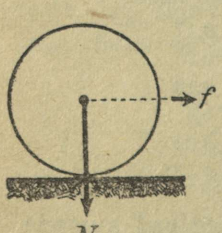
väheneb, sest siis ei suuda liikumise suure kiiruse tõttu pinnakonarused nii sügavasti üksteise vahele tungida.

Hõõrdumiskoefitsienti on kerge määrata nn. **hõõrdumisnurga** α abil (joon. 38). Olgu hõõrduv pind AB asetatud kaldu horisondiga nurgi α. Lahutame keha raskuse Q kaldpinna AB suhtes kaheks komponendiks: normaalseks (N) ja paralleelseks (P). On selge, et $N = Q \cos \alpha$ ja $P = Q \sin \alpha$. Nurga α suurenedes suureneb ühtlasi komponent P. Suurendame nurka α seni, kuni keha mööda kaldpinda hakkab ühtlaselt alla liuguma. Sel juhul on hõõrdumistung $f = P = Q \sin \alpha$ ja hõõrdumiskoefitsient

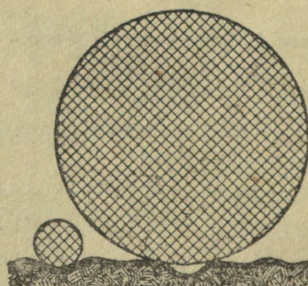
$$k = \frac{f}{N} = \frac{Q \cdot \sin \alpha}{Q \cdot \cos \alpha} = \tan \alpha.$$

Nurka α, mille juures $\tan \alpha = k$, nimetatakse **hõõrdumisnurgaks**.

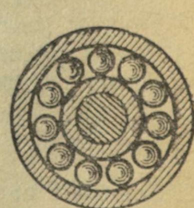
45. Hõõrdumine veeremisel. Veeremisel (joon. 39) on hõõrdumistung (f) **võrdeline normaalrõhumisega** (N) ja **pöördvõrdeline veereva keha raadiusega** (r). Mida suurem on ratta raadius, seda vähem jälgib ta tee konarusi (joon. 40) ning seda väiksem on ka hõõrdumine.



Joonis 39. Hõõrdumine veeremisel.



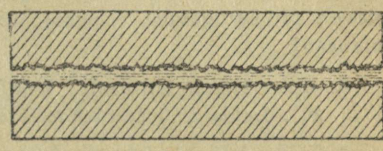
Joonis 40. Suurel rattal on hõõrdumistakistus väiksem.



Joonis 41. Kuullaagri läbilõige risti teljega.

Üldiselt on hõõrdumistung liugumisel märksa suurem kui veeremisel. Seepärast püütaksegi kõikjal, kus see vähegi võimalik, liugumist asendada veeremisega (kuullaagrid autodel, jalgratastel; rattad klaveri või voodi jalgade otsas; palkide, vaatide veeretamine jne.).

46. Määrimine. Kokkupuutepindade siledakstegemise ja määrimise abil on võimalik hõõrdumist tublisti vähendada. Siledatel pindadel on vähem konarusi, mis liikumist takistavad. Määrimise abil täidame hõõrduvate pindade vahe määrdega (õliga) ning sellega nagu eraldame nad üksteisest. Sel viisil asendame ühe keha pinnakonaruste liikumise vastu teise omi eeskätt määrdekihtide liikumisega üksteise suhtes, mis on palju väiksem (8—10 korda). Määrdevahend peab olema suure nn. sisehõõrdumisega (viskoosne), sest muidu ei püsi ta hõõrduvate pindade vahel, vaid surutakse sealt välja. Sel põhjusel näiteks ei sobi määrdeks vesi, sest ta sisehõõrdumine võrreldes määrdeõliga on väga väike (umbes 80 korda väiksem).



Joonis 42. Määrimine eraldab hõõrduvad pinnad üksteisest.

Ka on tähele pandud, et hõõrdumine erisugustest ainetest pindade vahel on väiksem kui samast ainest pindade vahel. Seepärast tehaksegi näiteks masinates laagrid (võllitoed) teisest materjalist kui võll ise.

1. Mis liiki hõõrdumine tekib vankritelje ja rattapussi vahel?

2. Hõõrdumisel tekib alati soojust. Mille arvel see soojus tekib?

3. Kuullaagrid vähendavad hõõrdumist ligi 50 korda, võrreldes hariliku laagriga. Mida võiksime sellest järeldada näiteks jalgrattasõidu kohta?

4. Põrandal lebab koormus 3 kg. Koormuse hõõrdumiskoefitsient vastu põrandat on 0,25. Kui palju tuleb koormust mööda põrandat edasi tõmmata, et teha 3 kGm tööd?

5. Lauatükk, mille raskus 1,8 kG, on surutud lapiti vastu seina. Kui tugevasti tuleb seda lauatükki vastu seina rõhuda, et ta alla liuguma ei hakkaks? Lauatüki hõõrdumiskoefitsient vastu seina on 0,3.

6. Keskmise kiiruse puhul ($\sim 40 \frac{km}{h}$) on raudteerongi liikumise kogutakistus 0,003—0,005 rongi kogu raskusest. Kui rasket rongi jõuab sel puhul enda järel tõmmata vedur, mille tõmbetugevus on 6 tonni?

7. Kelk ühes kelgutajaga kaalub 80 kG. Kui tugevasti tuleb tasasel siledal teel ühtlaselt edasi liikudes vedada, kui $k = 0{,}025$? Kas oleneb tõmbetugevus nurgast, mille moodustab nöör liikumissuunaga?

8. Keha liigub ühtlaselt kaldlauda mööda alla, kui kaldenurk $\alpha = 20°$. Leida hõõrdumiskoefitsient!

9. Liiva hõõrdumiskoefitsient vastu liiva on umbes 0,8. Kui järsku liivahunnikut saab sellest teha (leida moodustaja kaldenurk!)?

Keha liikumine raskustungi mõjul.

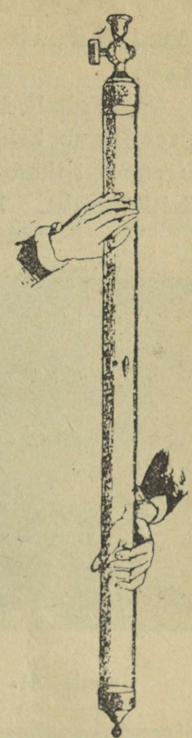
47. Keha vaba langemine. Galilei seadused. Vanaaja teadusmehed (Aristoteles, 384—322) arvasid, et rasked kehad langevad kiiremini kui kerged. Sellele otsusele tuldi igapäevastest tähelepanekutest, milledest teame, et näiteks kivitükk langeb kiiremini kui paberileht, paberileht kiiremini kui udusulg jne. Kuid siin jäeti arvestamata õhu mõju langemisse, mis kergeid, võrdlemisi suure pinnaga kehi (paberileht) palju suuremal määral langemisel takistab kui väikesi ja raskeid kehi (kivitükk). Kõrvaldanud õhu takistava mõju, näeme, et nii kerged kui ka rasked kehad langevad täiesti ühteviisi. Esimesena tuli sellele otsusele kuulus Galilei (1564—1642), kes avastas kehade vaba langemise seadused.

Teeme mõned katsed, mis näitavad, et õhutakistuse kõrvaldamisel kõik kehad langevad ühteviisi.

a) Katame metallraha (3-kopikase) paberist ringiga, nii et paberi ääred üle rahatüki äärte ei ulatuks. Üheskoos langevad rahatükk ja paber ühteviisi, lahus langedes jõuab rahatükk paberist ette. Mispärast?

b) Võtame kaks ühesuurust paberilehte, näiteks poolpoognat, ja laseme nad langeda. Nad langevad enam-vähem ühteviisi. Nüüd lõikame ühe paberitüki näiteks 16-ks võrdseks osaks, paneme nad kõik ühte ja võrdleme jälle mõlema poolpoogna langemist. Katse näitab, et kokkupandud paberitükk langeb palju kiiremini, hoolimata sellest, et mõlemad raskused on ühesugused. Kuidas seda seletada?

c) Kõige selgemini võime näha õhu takistavat mõju kehade langemisel järgmises katses, mille korraldas esimesena I. N e w t o n. Pikas klaastorus on tinakuulike, korgitükk ja udusulg (joon. 43). Toru äkki ümber pöörates näeme, et korgitükk ja udusulg jäävad langemisel tinakuulist maha. Hõrendame õhupumba abil torus oleva õhu. Nüüd võime tähele panna, et mahajäämine muutub seda väiksemaks, mida suurem on torus oleva õhu hõrendus. On hõrendus küllalt suur, siis langevad tinakuulike, korgitükk ja udusulg täitsa ühteviisi. Õhu uuesti torusse laskmisel saame jällegi udusule ja korgitüki mahajäämise.



Joonis 43. Kõik kehad langevad tühjas ruumis ühteviisi.

Kõigist neist katseist võime järeldada, et **tühjas ruumis langevad kõik kehad ühteviisi** (G a l i l e i I s e a d u s).

Keha langemise põhjuseks on raskustung. Et keha raskuse võime lugeda maapinna lähedal tegelikult jäävaks, siis liigub vabalt langev keha jääva tungi mõjul. Eespool nägime (§ 38), et jääva tungi mõjul liigub keha ühtlaselt kiirenevalt, järelikult ka **vabalt langev keha liigub ühtlaselt kiirenevalt** (G a l i l e i II s e a d u s).

Eelmised vaba langemise seadused võime kokku võtta üheks lauseks järgmiselt: **tühjas ruumis langevad kõik kehad ühtlaselt kiirenevalt sama jääva kiirendusega (ühteviisi).**

48. Vabalt langemise valemid. Teades, et vabal langemisel liigub keha ühtlaselt kiirenevalt, võime kõik ühtlaselt kiireneva liikumise valemid rakendada ka vaba langemise käsitlemiseks. Tähistades nagu harilikult vaba langemise

Joonis 44.

G a l i l e o G a l i l e i, 1564—1642, kuulus itaalia füüsik, astronoom ja matemaatik, katselise loodusteaduse põhjendaja. Sündis Pisa linnas kaupmehe pojana. Õppis Pisa ülikoolis isa soovil arstiteadust, selle kõrval aga eraviisil loodusteadust ja matemaatikat. Oli pärast füüsika- ja astronoomiaprofessoriks Pisa ja Padova ülikoolis. Avastas vaba langemise ja pendli võnkumise seaduse, inertsiseaduse ja tungide rööpküliku. Ehitas termoskoobi ja pikksilma, millega avastas Päikese laigud, Jupiteri kaaslased, Veenuse faasid ja Kuu mäed. Kopernikuse õpetuse pooldamise eest inkvisitsioonikohtu poolt mitmeti vintsutatud.

kiirenduse tähega g (ladina keeles *gravitas* — raskus), saame vaba langemise jaoks valemid:

$$\left.\begin{aligned} v &= v_0 + gt \\ s &= v_0 t + \frac{gt^2}{2} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Juhul, kui $v_0 = 0$, siis

$$\left.\begin{aligned} v &= gt \\ s &= \frac{gt^2}{2} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Sõnastada valemites (2) väljendatud vaba langemise seadused!

Valemid (1) on kehtivad ka algkiirusega v_0 püsti ülesvisatud keha liikumise määramiseks. Siis on liikumine ühtlaselt aeglustuv ja kiirendus g tuleb võtta negatiivne (—).

Muidugi, saadud valemid kehtivad ainult keha liikumise kohta tühjas ruumis. Mitmesugused liikumise takistused muudavad liikumise iseloomu ja sellepärast on näiteks õhus liikumisel eespooltoodud valemid ainult ligikaudselt õiged. Edaspidisel valemite (1) ja (2) rakendamisel oletame, et õhk liikumist tunduvalt ei takista.

Ligikaudselt võime g suuruse määrata valemist $s = \frac{gt^2}{2}$ järgmiselt. Kui $t = 1$ sek, siis $s = \frac{g}{2}$ ja $g = 2s$, s. o. arvuliselt raskuse kiirendus võrdub langemisel esimese sekundi jooksul läbitud tee kahekordse pikkusega. Laseme langeda keha (seatinakuuli) nii kõrgelt, et langemisaeg võrduks 1 sekundiga; sel juhul, nagu katse näitab, $s \approx 5$ m, järelikult $g \approx 10 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{sek}^2}$.

Keha raskustungi suurust tähistatakse harilikult p-ga (ladina keeles *pondus* — raskus, kaal). Selle väljendamiseks düünides kasutame Newtoni II seaduse valemit, mille järgi

$$p = mg,$$

kui m on mõõdetud grammides ja g $\frac{\mathrm{cm}}{\mathrm{sek}^2}$-tes.

Täpsed mõõtmised näitavad, et g suurus muutub geograafilise laiusega (φ) ja kõrgusega merepinnast. Nii on merepinnal, kui

$\varphi =$	0^0	30^0	50^0	60^0	90^0
$g =$	978,05	979,34	981,08	981,92	983,22

Ligikaudseteks arvutamisteks on küllalt võtta $g = 10 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{sek}^2}$; täpsemate arvutuste puhul võtame $g = 9{,}8 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{sek}^2}$ või $981 \frac{\mathrm{cm}}{\mathrm{sek}^2}$.

1. Leida interpoolimisel eelmise tabeli abil g suurus Tallinnas ($\varphi = 59^0 26'$) ja Tartus ($\varphi = 58^0 23'$)!
2. Mitu düüni on 1 G, 1 kG, 200 G?
3. Väljendada enda kaal düünides ja mass tehnilistes ühikutes!
4. Võrrelda mG-raskust düüniga!

5. Missugune tung (kG-des) annab massile 1 kg kiirenduse $1 \frac{m}{sek^2}$?

6. Kui suure kiirenduse annab tung 1 kG massile 1 tonn?

49. Vaba langemise valemite rakenduse näiteid. 1. Kui palju liigub vabalt langev keha allapoole 10-nda sekundi jooksul?

Selleks lahutame langemisel 10 esimese sekundi jooksul läbitud teest 9 esimese sekundi jooksul läbitud tee pikkuse. Saame:

$$\frac{g \cdot 10^2}{2} - \frac{g \cdot 9^2}{2} = \frac{g}{2}(10^2 - 9^2) = \frac{g}{2} \cdot 19 \approx 5 \cdot 19 = 95 \text{ m}.$$

Eeltoodud viisil näidata, et vabal langemisel üksikutel sekunditel läbitud teede pikkused suhtuvad kui sekundite arvule vastavad paaritud arvud.

2. Keha visati püsti üles algkiirusega $v_0 = 30 \frac{m}{sek}$. Kui kõrgele tõuseb see keha? Tõusu lõppkiirus on 0, järelikult $v_0 - gt = 0$, millest tõusu aeg $t = \frac{v_0}{g}$. Asetame tõusu aja tee valemisse, saame:

$$s = v_0 t - \frac{gt^2}{2} = v_0 \cdot \frac{v_0}{g} - \frac{g}{2} \cdot \left(\frac{v_0}{g}\right)^2 = \frac{v_0^2}{2g} = \frac{30^2}{2 \cdot 10} = 45 \text{ (m)}.$$

3. Püsti ülesvisatud keha tõusuaeg (t) võrdub tema uuesti mahalangemise ajaga (t_1).

Eelmises ülesandes leidsime, et tõusuaeg $t = \frac{v_0}{g}$ ja tõusukõrgus $s = \frac{v_0^2}{2g}$. Oletame, et kõrguselt s keha langeb alla t_1 sek, siis $s = \frac{gt_1^2}{2} = \frac{v_0^2}{2g}$, millest $t_1 = \frac{v_0}{g} = t$.

Et tõusuaeg $t = \frac{v_0}{g}$, siis $v_0 = gt$. Sama valemiga $v = gt$ väljendub ka lõppkiirus langemisel t sek jooksul, järelikult püsti ülesvisatud keha jõuab tagasi sama lõppkiirusega, millega ta oli visatud.

4. Leida vabalt langeva keha kiirus 1., 2., 3., 10. sekundi lõpul, kui $v_0 = 0$!

5. Kui kõrgelt peaks keha alla langema, et langemise lõppkiirus oleks $20 \frac{m}{sek}$?

6. Kui palju tarvitab keha aega Oleviste kiriku tornist (124,5 m) alla langemiseks? Vastata samale küsimusele Eiffeli torni (300 m) kohta!

7. Mitme sekundiga langeks vihmapiisk 1 km kõrgusel olevast pilvest maapinnale, kui õhk langemist ei takistaks?

8. Vabalt alla langedes liikus keha viimasel sekundil 24,5 m edasi. Kui kõrgelt ja kui kaua langes see keha?

9. Vabalt langedes jõuab keha 4 sek pärast maapinnale. Kui ruttu jõuaks keha samalt kõrguselt langedes maapinnale, kui ta maha tõugata algkiirusega 29,4 $\frac{m}{sek}$?

10. Keha visati püsti üles algkiirusega $v_0 = 60 \frac{m}{sek}$. Leida keha kiirus 4 sek pärast liikumise algust! Kui kõrgel on siis keha?

11. Kui kõrgele tõuseks püsti üles lastud kahurikuul, mille algkiirus $v_0 = 600 \frac{m}{sek}$, kui õhk liikumist ei takistaks?

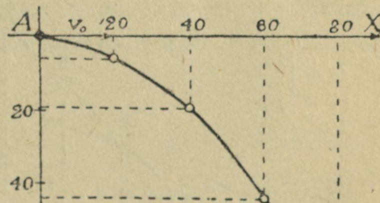
12. Missuguse püsti-algkiiruse juures on meil võimalik 1 m kõrgusele hüpata? Kas sõltub hüppe kõrgus sama algkiiruse puhul massist?

13. Püsti ülesvisatud keha langes 10 sek pärast uuesti maapinnale tagasi. Kui kõrgele tõusis see keha ja kui suur oli tema kiirus 20 m kõrgusel?

14. Langevarjuri lõppkiirus maa peale langemisel on $6 \frac{m}{sek}$. Millisest kõrgusest tuleks ilma langevarjuta alla hüpata, et saavutada sama lõppkiirus maapinnal?

50. Visatud kehade liikumine. a) Teatava algkiirusega püsti üles või alla visatud keha liikumise määravad ühtlaselt kiireneva või aeglustuva liikumise valemid.

Olgu keha visatud punktist A rõhtsalt horisondiga (joon. 45), algkiirusega $v_0 = 20 \frac{m}{sek}$. Kui keha raskuse mõjul allapoole ei langeks, liiguks ta esialgse tõuke mõjul sirge AX suunas kogu aeg ühtlaselt, kiirusega $20 \frac{m}{sek}$. Üldkujul määrab keha kauguse (x) punktist A valem: $x = 20\,t$. Samuti kui keha ei oleks saanud esialgset tõu-



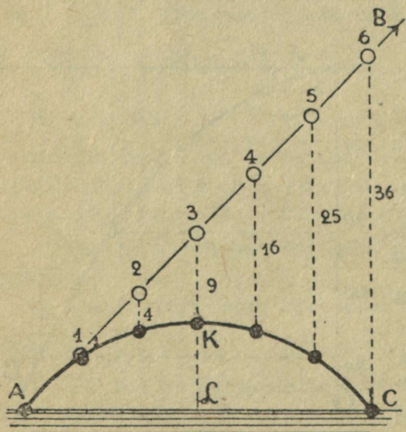
Joonis 45. Rõhtsalt horisondiga visatud keha liikumine.

get suunas AX, vaid langeks vabalt, siis liiguks ta püstjoone AY suunas, ja keha kauguse (y) punktist A määraks valem $y = \frac{gt^2}{2}$. Arvutades x ja y väärtused 1., 2., 3. jne. sek lõpul pärast liikumise algust, saame:

t sek	0	1	2	3	4	5
x m	0	20	40	60	80	100
y m	0	4,9	19,6	44,1	78,4	122,5

Ehitame saadud koordinaatide abil vastavad punktid ja ühendame nad ladusa joonega. Niiviisi saadud kõver (parabool) AB näitab meile rõhtsalt horisondiga visatud keha liikumist.

Kui keha on visatud kaldu horisondiga (joon. 46), siis saame selle keha liikumisteena kõvera (parabooli), mis on sümmeetriline keskasendist (K) läbimineva telje KL suhtes. Selle kõvera üksikute punktide leidmine toimub samuti kui rõhtsalt visatud keha liikumise puhul (vt. joon. 45).



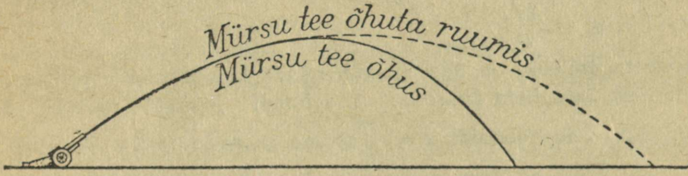
Joonis 46. Kaldu horisondiga visatud keha liikumine.

1. Kuidas mõjuvad algkiiruse suurus ja suund langemiskõvera kujusse? Teha vastavad joonised!

2. Teha joonisele 46 vastav ja punkti A ümber pöörduv mudel, mille abil on võimalik näidata lii-

kumistee kuju olenevust algkiiruse suunast! Tarvisminev materjal: sirge liist, tinakuulikesed, niit.

Visatud keha liiguks joonisel 47 kujutatud parabooli mööda, kui õhk liikumist ei takistaks. Tegelikult aga muudab õhutakistus tunduvalt visatud keha liikumistee kuju,

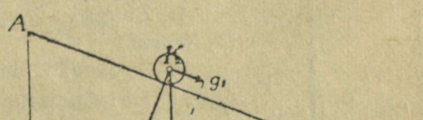


Joonis 47. Mürsu tee õhus ja õhuta ruumis.

nagu see nähtub 47. joonisest. Nimelt toimub õhu takistuse tõttu kehade langemine palju järsumalt kui tühjas ruumis.

Keha viskekaugus sõltub algkiirusest ja viskenurgast. Tühjas ruumis viskekaugus suureneb viskenurga suurenemisega kuni 45°-ni, siis hakkab vähenema. Järelikult sama algkiirusega visatud keha lendab kõige kaugemale, kui viskenurk on 45°.

51. Liikumine kaldpinnal. Et vaba langemise kiirendus (g) on võrdlemisi suur ja keha seetõttu liigub liiga kiiresti, siis kasutame langeva keha kiiruse ja kiirenduse vähendamiseks kaldpinda. Sile kera liigub mööda kaldrenni, mille kaldenurk on α (joon. 48). Lahutame kiirenduse vabal langemisel (g) kaheks komponendiks g_1 ja g_2, millest esimene (g_1) on rööpne liikumise suunaga, teine (g_2) sellega risti. Muidugi, mööda kaldpinda allaliikumisel mõjub kerale ainult kiirendus g_1, kuna g_2 mõju hävib kaldpinna vastupanuga. Jooni-



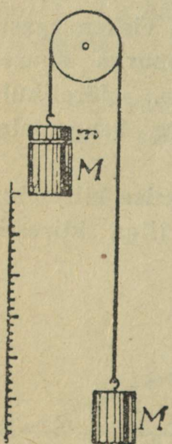
Joonis 48. Langemine kaldpinnal.

sest näeme, et $g_1 = g \frac{AC}{AB}$, järelikult kiirendus on jääv suurus ja keha veereb ühtlaselt kiirenevalt. Määrame katsest g_1 ja selle abil arvutame pärast g, sest $g = \frac{g_1 \cdot AB}{AC}$. Olgu kaldrenni pikkus s, liikumise aeg t, siis saame: $s = \frac{g_1 t^2}{2}$, millest $g_1 = \frac{2s}{t^2}$ ja $g = \frac{2s \cdot AB}{t^2\, AC}$.

Katsetegemisel on kasulik vähendada kaldenurka α niikaua, et keha mööda kaldpinda langedes 1. sekundi jooksul näiteks 5 cm edasi liiguks. Siis valemist $s = \frac{g_1 t^2}{2}$ saame $g_1 = 2s = 2 \cdot 5 = 10 \left(\frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}\right)$ ja $g = \frac{g_1 \cdot AB}{AC} = \frac{10 \cdot AB}{AC} \left(\frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}\right)$.

1. Missugune on mööda kaldpinda ülesvisatud keha liikumine?

2. Kaldpinna pikkus on 1 m, kõrgus 10 cm. Leida kiirendus ja aeg!



Joonis 49. Atwood'i masina skeem.

3. Mitme sekundiga veereb kera alla mööda kaldpinda, mille pikkus on 5 m ja kaldenurk $\alpha = 30°$?

4. Näidata, et mööda kaldpinda langeva keha lõppkiirus oleneb ainult kaldpinna kõrgusest ja raskuse kiirendusest!

5. Kui suur peaks olema kelgumäe kõrgus h, et temast allasõidu lõppkiirus oleks $v = 20 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$?

6. Liumäe kõrgus on 6 m. Leida kelgutaja lõppkiirus!

52. **Atwood'i masin.** Keha langemise kiirenduse vähendamiseks võib tarvitada ka nn. Atwood'i masinat, mille ehituse põhimõte selgub skemaatiliselt joonisest 49. Üle plokiratta käiva nööri abil on tasakaalustatud võrdsed massid M. Kui näiteks vasakpoolset massi suurendada lisamassi m võrra, siis kaob tasakaal ja vasak pool hakkab alla langema ning parem tõusma jääva kiirendusega g_1.

Selle määramiseks arvutame järgmiselt.

Lisamassi m raskus annab massile m kiirenduse g;
Lisamassi m raskus annab massile $2M+m$ kiirenduse g_1.

Et sama tung annab erisugustele massidele kiirendused, mis on pöördvõrdelised massidega (§ 38), siis võime kirjutada:

$$mg = (2M + m)\, g_1, \text{ millest}$$

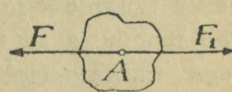
$$g_1 = \frac{mg}{2M + m}.$$

Saadud valemist näeme, et lisamassi m suurust sellekohaselt valides võime langemise kiirendust Atwood'i masinal tarvilikult vähendada. Liikumistakistuste mõjul erinevad ühtlaselt kiireneva liikumise valemite põhjal arvutatud suurused teatud määral katsete tulemustest.

1. Missuguse lisamassi mõjul toimub langemine Atwood'i masinal kiirendusega 10 $\frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}$, kui mass $M = 291$ g?

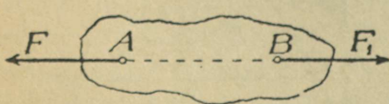
Tungide liitmine ja lahutamine mitteühise rakenduspunkti puhul.

53. Kindlasse kehasse mõjuva tungi tasakaalustamine. Mehaanikas mõeldakse kindla keha all niisugust keha, mille kuju ega suurus ei muutu kuitahes suurte tungide mõjul. Tegelikult on meile tuntud nn. tahked kehad (kivi, teras jne.) ainult enam-vähem kindlad. Absoluutselt ehk päris kindlat keha mehaanika mõttes tegelikult ei ole.



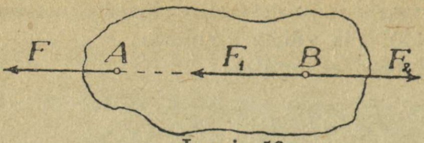
Joonis 50.

Kindla keha ehk lihtsalt keha tasakaalutingimuste tundmaõppimisel edaspidi kasutame järgmisi lihtsaid lauseid.



Joonis 51.

a) Keha tasakaal ei muutu **samas punktis** rakendatud võrdsete vastassuunaliste (võrdvastupidiste) tungide mõjul, sest nende summa on null (joon. 50).



Joonis 52.

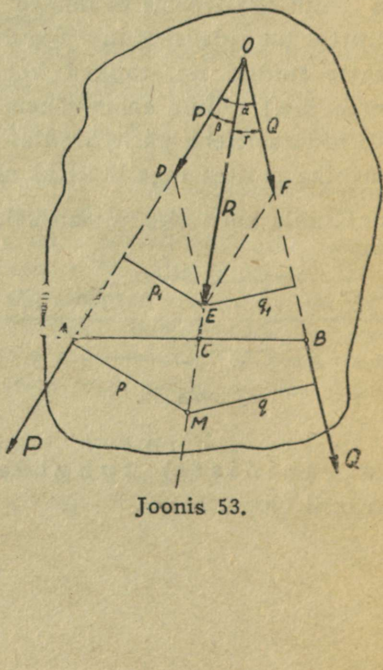
b) *Keha tasakaal ei muutu* **samal sirgel** *rakendatud võrdvastupidiste tungide mõjul* (joon. 51), sest need püüavad keha liikuma panna vastassuunas.

c) *Tungi mõju kehasse ei muutu, kui tungi* **rakenduspunkt kehas ümber asetada tungi sihil** (joon. 52). Olgu antud tung F rakendatud punktis A. Rakendame tungi sihis punktis B kaks võrdvastupidist tungi F_1 ja F_2, mis suuruselt on võrdsed F-ga. Lause b) põhjal tasakaalustuvad F ja F_2, jääb järele ainult tungi F_1 mõju tungi F asemel.

Tegelikult tasakaalustame tungi mõju kehasse sellega, et kinnitame paigale kas tungi rakenduspunkti või mõne teise punkti tungi sihil (lööme näiteks naela läbi).

Kuidas on tegelikult võimalik tungi rakenduspunkti edasi kanda tungi sihis?

54. Kindlasse kehasse mõjuvate tungide liitmine juhul, kui tungi sihid on ühes tasapinnas. Punktides A ja B rakendatud tungide P ja Q suunad moodustavad teineteisega nurga α (joon. 53). Pikendame tungide sihte kuni lõikumiseni punktis O ja kanname tungide rakenduspunktid ühisesse lõikepunkti. Nüüd võime kasutada tungide P ja Q liitmiseks rööpküliku reeglit; saame resultandi R, mille suuruse võime leida kas graafiliselt või arvutades.



Joonis 53.

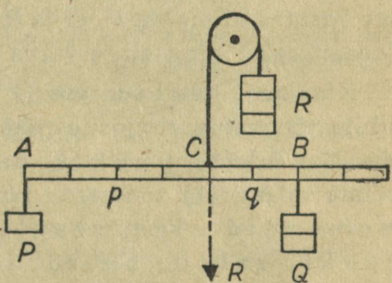
See mõttekäik kölbab ka siis, kui tungide sihid peaksid lõikuma väljaspool keha. Viimasel juhul kujutleme, et lõikepunktid on ühendatud kehaga „kaalutu“ varva või keha abil, mis tasakaalu ei muuda.

Joonisest 53 nähtub: mida väiksemaks muutub komponentide P ja Q vaheline nurk α, seda kaugemale nihkub nende lõikepunkt O ja seda piklikumaks muutub rööpkülik $ODEF$. Juhul, kui $P \| Q$, siis $\alpha = 0$ ning P ja Q suunad ühtuvad resultandi R suunaga. Sel juhul rööpkülik $ODEF$ muutub sirglõiguks OE ja resultant

$$R = P + Q, \qquad (2)$$

s. o. *samasuunaliste rööptungide resultant võrdub komponentide summaga.*

Eelmise lause katseliseks tõestamiseks võtame ühtlase sirge varva ja rakendame temasse tungid, nagu on kujutatud joonisel 54. Katse näitab, et varb on tasakaalus ainult siis, kui $P + Q = R$. Seejuures peavad kaugused $AC = p$ ja $BC = q$ olema võetud pöördvõrdeliselt tungide P ja Q suurustega, s. o. $P : Q = BC : AC = q : p$, millest $Pp = Qq$.



Joonis 54. Rööptungide liitmine.

Katsetegemisel tuleb muidugi arvestada ka varva AB raskust.

Leidnud resultandi R, võime tema rakenduspunkti edasi kanda tungi sihil mistahes keha punkti sellel sihil, näiteks punkti C või M (joon. 54). Järelikult, kinnitades paigale mistahes punkti resultandi R sihil tasakaalustame resultandi, ehk mis on sama — tema komponentide P ja Q mõju.

55. Tungi moment. Tõestame nii matemaatiliselt kui ka katseliselt, et resultandi sihil võetud mistahes punkti (M) suhtes kehtib seos:

$$Pp = Qq, \qquad (1)$$

kus p ja q on selle punkti (M) kaugused vastavatest komponentide (P ja Q) sihtidest.

Et $\triangle$ ODE ja $\triangle OFE$ on pindvõrdsed, siis $\frac{1}{2} Pp_1 = \frac{1}{2} Qq_1$ ja $Pp_1 = Qq_1$, millest $\frac{P}{Q} = \frac{q_1}{p_1}$. Edasi võime kolmnurkade sarnasuse põhjal näidata, et $\frac{q_1}{p_1} = \frac{q}{p}$, sest $\frac{q_1}{q} = \frac{OE}{OM} = \frac{p_1}{p}$, millest $\frac{q_1}{p_1} = \frac{q}{p}$. Asendades saame: $\frac{P}{Q} = \frac{q}{p}$, millest $Pp = Qq$.

Rööptungide puhul tõestasime seose (1) juba joon. 54 kirjeldatud katses, millest nägime, et tasakaalu korral $Pp = Qq$. Kuna P, Q ja R sihid on omavahel rööpsed, siis p ja q suurus ei sõltu sellest, millise resultandi sihil võetud punkti suhtes me nad määrame.

Eelmise seose katseliseks tõestamiseks üldjuhul on soovitav kasutada tungide P, Q ja R tekitamiseks dünamomeetreid (vedrukaale) ning sirge varva asemel ketast.

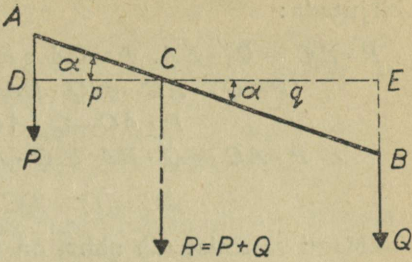
Nimetame tungi suuruse (P) ja antud punktist (M) tungi sihile tõmmatud ristjoone pikkuse (p) korrutise **tungi momendiks selle punkti suhtes.** Momendi mõiste abil võime valemi (1) sõnastada järgmiselt: komponentide momendid iga resultandi suhtes võetud punkti suhtes on võrdsed.

Tungi moment mõõdab tungi mõju suurust keha pöörlema panemisel. Seepärast nimetataksegi tungi momenti teisiti veel pöördemomendiks.

Olgu näiteks joonisel 53 kujutatud juhul kinnitatud paigale resultandi sihil võetud punkt M. Siis tung P püüab pöörata antud keha punkti M ümber vastupäeva, tung Q aga päripäeva. On mõlemad tungimomendid võrdsed, siis on keha tasakaalus ja ta ei pöördu ühele ega teisele poole.

Momentide lausest järgneb, et samasuunaliste rööptungide resultandi siht jagab komponentide rakenduspunktide vahe pöördvõrdeliselt komponentide suurustega, s. o. $P : Q = BC : AC$ ehk $P \cdot AC = Q . BC$.

Olgu P ja Q antud rööpsed tungid (joon. 55) ja C nende resultandi R rakenduspunkt. Siis momentide lause põhjal $Pp = Qq$.



Joonis 55.

Et aga täisnurksetest kolmnurkadest ACD ja BCE $\frac{p}{AC} = \frac{q}{BC}$, siis jagades esimese võrduse teisega saame: $P \cdot AC = Q \cdot BC$ ehk $P : Q = BC : AC$.

1. Kindlasse kehasse punktides A ja B mõjuvad samas suunas vastavalt tungid $P = 3$ kG ja $Q = 5$ kG. Leida resultandi suurus ja rakenduspunkti C asukoht, kui $AB = 40$ cm!

2. Veekandja kannab kaelkookudega vett, täis pang kummaski otsas. Leida rõhumise suurus õlale, arvestades ka tühjade pangede ja kookude raskust!

3. Isa ja poeg kannavad vahepuus, mille pikkus on 1,8 m, koormust raskusega 48 kG. Mitu kG tuleb kanda isal ja mitu pojal, kui koormuse kaugus pojapoolsest otsast on 135 cm?

56. Vastassuunaliste rööptungide liitmine. Vastassuunalised rööptungid P ja Q on rakendatud vastavalt punktides A ja B (joon. 57). Nende liitmiseks lahutame suurema tungi, s. o. P, kaheks rööpseks komponendiks Q_1 ja R nõnda, et komponent Q_1 oleks võrdvastupidine Q-ga. Tungid Q ja Q_1 tasakaalustuvad kui võrdvastupidised. Jääb järele ainult tung R, mis ongi otsitavaks resultandiks.

Et $Q_1 + R = Q + R = P$, siis

$$R = P - Q \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1),$$

s. o. vastassuunaliste rööptungide resultant võrdub komponentide vahega.

Resultandi R rakenduspunkti C asendi määramiseks võime samasuunaliste rööptungide rakenduspunkti omaduse põhjal kirjutada:

$R \cdot AC = Q_1 \cdot BA$. Asetades $R = P—Q$ ja $Q_1 = Q$, saame:

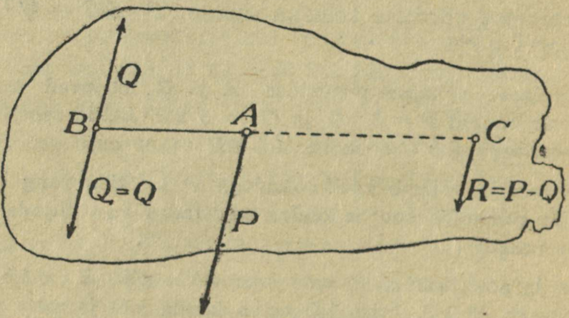
$$(P—Q) \cdot AC = Q \cdot BA \quad \ldots\ldots \quad (2);$$

$$P \cdot AC—Q \cdot AC = Q \cdot BA;$$

$$P \cdot AC = Q \cdot BA + Q \cdot AC = Q \cdot (BA + AC);$$

$$P \cdot AC = Q \cdot BC \quad \ldots\ldots \quad (3)$$

Nagu valemist (3) näha, on vastassuunaliste rööptungide resultandi rakenduspunktil sama omadus kui samasuuna-



Joonis 57. Vastassuunaliste rööptungide liitmine.

listelgi, s. o. vastassuunaliste komponentide rakenduspunktide kaugused resultandi rakenduspunktist on pöördvõrdelised komponentide suurustega.

§ 54 kirjeldatud katse on ühtlasi ka vastassuunaliste rööptungide liitmise tõestuseks. Tõepoolest, tasakaalu korral (joon. 54) $P+Q = R$ ja $P \cdot AC = Q \cdot BC$. Võttes R ja P antud komponentideks, on $Q = R—P$ resultandiks.

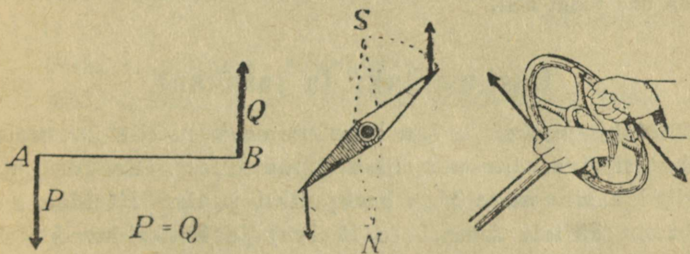
Hulga rööptungide liitmisel talitame samuti kui hulga mitterööpsete tungide liitmisel, s. o. liidame kaks tungi, saadud osaresultandiga liidame kolmanda tungi ja sedaviisi edasi kuni lõpuni. Lõplik resultant võrdub kõigi komponentide summaga ja ei olene liitmise järjekorrast.

1. Kindla keha punktides A ja B mõjuvad vastassuunalised tungid $P = 10$ kG ja $Q = 15$ kG. Leida resultandi R suurus ja rakenduspunkti C asukoht, kui $AB = 24$ cm!

2. Lahutada antud tung $R = 3$ kG kaheks rööpseks vastassuunaliseks komponendiks P ja Q, mille rakenduspunktide kaugused on vastavalt 20 cm ja 60 cm!

3. Kolmnurga tippudes mõjuvad järjest samas suunas rööpsed tungid 2 kG, 2 kG ja 4 kG. Leida resultandi suurus ja rakenduspunkt!

57. Tungipaar. Kui kehasse on rakendatud kaks võrdset, rööpset ja vastassuunalist tungi (joon. 58), siis ütleme,



Joonis 58. Tungipaarid.

et sellesse kehasse on rakendatud **tungipaar.** Nii on magnetnõelasse rakendatud Maa magnetismi tungipaar, mis püüab teda asetada magnetimeridiaani sihis, samuti kui autojuht rakendab roolirattasse oma lihaste tungipaari autojuhtimisel (vt. joon. 58).

Tungipaari iseärasuseks on see, et temale ei leidu resultanti, s. o. ühte niisugust tungi, millega võiks asendada kaks antud tungi tungipaaris. Seetõttu tungipaar ei mõju edasiviivalt, küll aga pöörlemapanevalt.

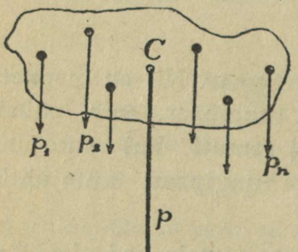
Vastassuunaliste rööptungide liitmisel (§ 56, valem 2) saime valemi: $(P—Q) \cdot AC = Q \cdot BA$, millest resultandi rakenduspunkti C kaugus komponendi P rakenduspunktist A, s. o.

$$AC = \frac{Q \cdot BA,}{P-Q} = BA \cdot \frac{Q}{P-Q} \quad \ldots\ldots (1).$$

Et BA kui antud komponentide P ja Q rakenduspunktide kaugus on jääv, siis sõltub AC suurus tegurist $\frac{Q}{P-Q}$. Viimane aga suureneb järjest Q suuruse lähenedes P-le, sest murru nimetaja sel juhul väheneb. Piirväärtuses, kui $Q = P$, on $\frac{Q}{P-Q} = \infty$, samuti on siis ka $AC = \infty$. Järelikult, vastassuunaliste võrdsete rööptungide resultant on suuruselt null ($P - Q = 0$, sest $P = Q$) ja tema rakenduspunkt asub lõpmatuses. Teiste sõnadega, vastassuunalistel võrdsetel rööptungidel ei ole resultanti, järelikult ei ole meil ka võimalik kahte niisugust tungi tasakaalustada ühe tungi abil.

Raskuspunkt ja tasakaal.

58. **Raskuspunkt.** Iga keha võime kujutella koosnevana üksikutest aineosakestest ehk ainepunktidest. Raskuse mõjul tungib iga aineosake Maa keskpunkti poole. Et Maa keskpunkt on küllalt kaugel (6371 km) ja käsiteldavad kehad võrdlemisi väikesed (ainult mõned meetrid), siis võime sama keha aineosakeste Maa poole tungi suunad lugeda tegelikult rööpseiks. Keha raskus P pole seega muud midagi kui üksikute aineosakeste raskuste p_1, $p_2 \ldots$ resultant (joon. 59). Selle rakenduspunkti nimetatakse keha raskuspunktiks ehk raskuskeskmeks.



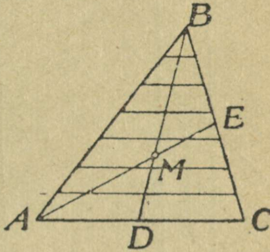
Joonis 59. Raskuspunkt.

Keha raskuspunkti asukoht ei sõltu keha asendist ega kaugusest maapinnast, vaid on igal kehal jääv. Kinnistades keha raskuspunktis, tasakaalustame seega tema raskuse. Et meil ainult „raskete“ kehadega tuleb tegemist teha, seepärast on raskuskeskme asukoha teadmine tegelikult väga tähtis.

59. Kehade raskuspunkti määramine. Allpool on mõeldud ainult ühtlased kehad, s. o. niisugused, mille tihedus igas punktis on ühesugune. Tõestada, et:

1) ühtlase peenikese sirge varva raskuspunkt on varva keskel;

2) ühtlase õhukese rööpkülikukujulise tasase plaadi raskuspunkt asetseb diagonaalide lõikepunktis (tõestuseks lahutada rööpseteks varbadeks);



Joonis 60. Kolmnurga raskuspunkt.

3) ühtlase õhukese kolmnurkse plaadi raskuspunkt on mediaanide lõikepunktis (joon. 60). Lahutame plaadi alusele AC tõmmatud rööpjoontega rööpseteks varbadeks. Iga varva raskuspunkt on varva keskel, tähendab, kogu plaadi raskuspunkt asub mediaanil BD, millel asetsevad kõikide varbade keskpunktid. Samuti arutades külje BC suhtes leiame, et raskuspunkt peab olema mediaanil AE, järelikult ta asub nende lõikepunktis M.

4) Ühtlase rõnga, ringi ja korrapärase hulknurga raskuspunkt on nende geomeetrilises keskpunktis.

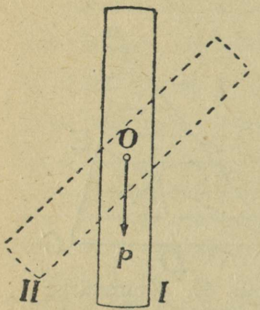
5) Ühtlase kera raskuspunkt on kera keskpunktis, silindril — telje keskkohas.

Üldse, kui ühtlane keha on oma ehituse poolest sümmeetriline mõne punkti suhtes, siis asub selle keha raskuspunkt alati sümmeetria keskpunktis, näiteks keral, kuubil jne.

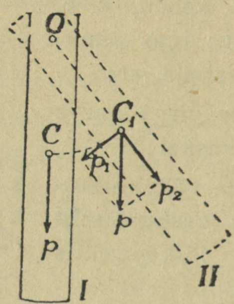
1. Leida geomeetriliselt ühtlase nelinurkse plaadi raskuspunkt (lahutada kolmnurkadeks)!

2. Ühtlane sirge varb on 1 m pikk ja kaalub 60 G. Otsast 2 cm kaugusel on kinnitatud koormus 12 G. Leida varva raskuspunkt!

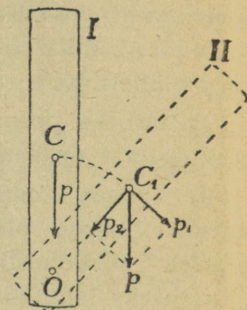
60. Ühes punktis toetatud raske keha tasakaal. Me teame, et tungi mõju kehasse on võimalik tasakaalustada,



Joonis 61. Üksköikne tasakaal.



Joonis 62. Püsiv tasakaal.

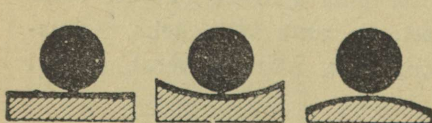


Joonis 63. Mittepüsiv tasakaal.

kui kinnistada kas tungi raskuspunkt või mõni teine punkt tungi sihil. Keha raskus on rakendatud raskuspunktis ja mõjub alati püst- ja vertikaalsihis. Sellepärast on keha raskuse tasakaalustamiseks küllalt, kui toetada kas raskuspunkt või mõni teine punkt püstsihil, mis läheb läbi raskuspunkti. Toetus- ja raskuspunkti vastastikustest asenditest olenevad keha mitmesugused tasakaalu juhud.

a) Kui keha on toetatud raskuspunktis, siis on tasakaal **üksköikne**, sest keha jääb tasakaalu igas asendis pöördumisel toetuspunkti (*O*) ümber (joon. 61).

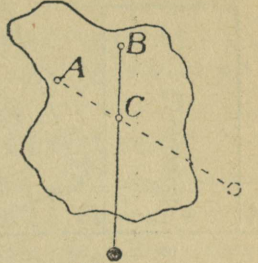
b) Kui toetuspunkt asetseb püstjoonel ülalpool raskuspunkti, siis on keha tasakaal **püsiv**, sest tasakaalust väljaviidud keha tuleb ise jälle endisse tasakaaluasendisse tagasi. Olgu õhukese



Joonis 64. Tasakaal pinnal.

plekiriba (papi- või lauatüki) toetuspunkt O ja raskuspunkt C (joon. 62). Asendis I on plekiriba püsivas tasakaalus. Lahutame asendis II raskuse p kaheks komponendiks p_1 ja p_2, millest p_1 paneb plekiriba liikuma tasakaaluasendi poole, kuna p_2 tasakaalustub toetuspunkti O vastumõjuga.

c) Kui toetuspunkt asub allpool raskuspunkti, siis on tasakaal **mittepüsiv**, sest kui keha tasakaaluasendist pisut välja viia, ei tule ta ise sinna enam tagasi, nagu 63. joon. tehtud raskustungi lahutamisest näha, vaid kaldub veel enam kõrvale püsiva tasakaalu asendi suunas.

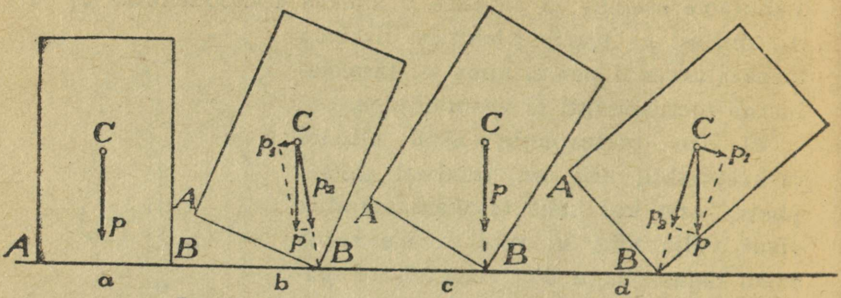


Joonis 65.

Kõiki kolme tasakaalujuhtu võime tähele panna kera toetumisel pinnale, nagu näha joonis 64. Huvitav on siin märkida, et ükskõikse tasakaalu puhul raskuspunkti kaugus toetuspinnast e i m u u t u, püsiva tasakaalu korral asub raskuspunkt k õ i g e m a d a l a m a l ja mittepüsiva tasakaalu korral k õ i g e k õ r g e m a l.

61. Raskuspunkti määramine katseliselt. Eespool seletatud püsiva tasakaalu juhu põhjal on kerge keha raskuspunkti määrata katseliselt. Selleks võtame antud keha, näiteks papitüki (joon. 65), ja toetame teda punktis A nõnda, et ta selle punkti ümber vabalt pöörduda annaks; nüüd laseme keha asuda püsiva t a s a k a a l u a s e n d i s s e ja märgime ära vertikaaljoone AC, millel asub püsiva tasakaalu asendis raskuspunkt (C). Teises punktis B keha rippu lastes saame vertikaaljoone BC, millel samuti peab asuma raskuspunkt. Tähendab, otsitav raskuspunkt, mis asub ühtlasi mõlemal sirgjoonel AC ja BC, peab olema nende joonte lõikepunktis C.

62. Rõhtsale pinnale toetuva raske keha tasakaal. Rõhtsale pinnale toetuv keha, näiteks püstprisma, on tasakaalus, kui raskuspunktist tõmmatud vertikaaljoon läheb läbi toetuspinna, sest siis on keha raskus tasakaalustatud (joon. 66 *a*).



Joonis 66. Toetuva keha tasakaalu juhud.

Asetame nüüd prisma lauale kaldu servale *B* (joon. 66 *b*) ja lahutame tema raskuse *p* kaheks komponendiks: komponent p_2, mis on suunatud toetusservale *B*, ja komponent p_1 — temaga risti. Esimene komponent rõhub prismat servapidi vastu lauda, kuna teine komponent prismat ta endisse asendisse tagasi liikuma paneb. Prismat veel rohkem paremale poole kaldu pöörates (joon. 64 *c*) saame asendi, milles raskuspunktist *C* tõmmatud vertikaaljoon otse toetusservast läbi läheb. Tasakaal on küll olemas, kuid ta on mittepüsiv, sest sellest asendist veidi ühele või teisele poole kõrvale kaldudes ei tule keha enam oma endisse asendisse tagasi.

Viimases joonisel kujutatud asendis (*d*) on komponent p_1 suunatud endisest asendist väljapoole ja keha kukub ümber.

Nagu neist juhtudest näha, tuleb keha, mis on püsiva tasakaalu asendist välja viidud, ainult siis oma endisse asendisse tagasi, kui raskuspunktist tõmmatud püstjoon läheb seespool toetus-piirjoont.

Töö ja energia.

63. Töö ja selle mõõtmine. Töötegemisel ületame alati mõnesugust takistust, nagu raskustungi asjade tõstmisel, hõõrdumist koorma vedamisel jne. Seejuures on töö hulk võrdeline ületatava takistuse suurusega. Näiteks 6 kg tõstmiseks 1 m võrra kõrgemale kulub tööd 3 korda rohkem kui 2 kg tõstmiseks samale kõrgusele. Teiselt poolt tehtud töö hulk oleneb tee pikkusest, millel takistus ületatud, ja on sellega võrdeline. Tuua näiteid selle kohta!

Kui keha ei liigu, siis tung tööd ei tee.

Kokkuvõttes võime öelda: töö hulka (A) mõõdetakse tungi suuruse (f) ja tungi rakenduspunkti poolt läbitud tee pikkuse (s) korrutisega, s. o.

töö = tung × tee, ehk lühidalt

$$A = f \cdot s,$$

kui tungi rakenduspunkt nihkub edasi tungi suunas.

Eelmisest võrdusest järgneb: kui $f = 1$ ja $s = 1$, siis ka $A = 1$, s. o. tööühikuks võetakse niisugune tööhulk, mille teeb 1 tungiühik, kui tema rakenduspunkt edasi liigub tungi suunas 1 pikkusühiku võrra.

Selle põhjal **kilogramm-meeter** (kGm) ehk meeterkilogramm (mkG) on töö hulk, mis teeb tung 1 kG, kui ta rakenduspunkt liigub tungi suunas edasi 1 m võrra. Samuti nimetame **ergiks** töö hulka, mis teeb tung 1 düün, kui ta rakenduspunkt liigub tungi suunas edasi 1 cm võrra. Nii siis:

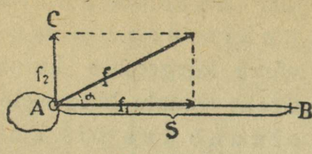
1 kilogramm-meeter (kGm) = 1 kilogramm × 1 meeter

1 erg = 1 düün × 1 cm

1 džaul (J) = 10^7 ergi.

Kui näiteks 5 kg tõsta püsti 2 m võrra kõrgemale, siis teeme $5 \cdot 2$ ehk 10 kilogramm-meetrit tööd; kui 30-düünise tungi rakenduspunkt nihkub edasi tungi suunas 20 cm võrra, siis on tehtud töö hulk sel juhul $30 \cdot 20$ ehk 600 ergi jne.

Sagedasti on tungi *(f)* suuna (joon. 67) ja rakenduspunkti edasiliikumise suuna vahel *(AB)* teatav nurk *(α)*, näiteks lodja vedamisel



Joonis 67.

nööriga kaldalt. Niisugusel juhul lahutame antud tungi f kaheks komponendiks: rakenduspunkti A edasiliikumise (AB) ja sellega risti (AC) suunas. Keha paneb liikuma ainult komponent f_1 (k a s u l i k t ö ö), komponent f_2 mõjub aga edasiliikumise suunaga risti ja sellepärast ei aita kaasa liikumisele suunas AB, küll aga suurendab külje hõõrdumist (k a h j u l i k t ö ö). Et $f_1 = f \cos \alpha$, siis loeme sel juhul tungi f tööks.

$$A = f_1 s = fs \cos \alpha \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2).$$

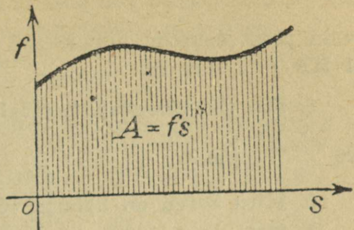
Valem (2) väljendab töö suurust üldjuhul. Eritelles A olenevust nurgast α näeme, et t ö ö t u l e b l u g e d a p o s i t i i v s e k s, kui $\alpha \leqslant 90°$, n e g a t i i v s e k s, kui $90° \leqslant \alpha \leqslant 180°$. Käega kivi üles tõstes teeb käe lihastetung positiivset, Maa raskustung aga negatiivset tööd, alla langedes ümberpöördult.

Kui aga tungi suund on kogu aeg r i s t i tungi rakenduspunkti edasiliikumise teega, siis on t u n g i t ö ö n u l l, sest $\cos 90° = 0$.

1. „Liikumata" paigal seistes, kätt kõrvale välja sirutatult hoides, vastu lauda rõhudes jne. väsime siiski, sellest hoolimata, et füüsika mõttes me seejuures tööd ei tee. Mispärast?
2. Mispärast ei tarvitata väsimustunnet tööhulga mõõtmisel?
3. Kui palju teeme tööd, tõstes 5 kg 80 cm võrra kõrgemale?
4. Kui palju teeme tööd, tõmmates 3 kg mööda rõhtsat lauda 80 cm võrra edasi, kui hõõrdumiskoefitsient on 0,2?
5. Kuidas oleks võimalik mõõta tööd, mida teeb hobune koorma vedamisel (laps kelgu vedamisel jne.)?
6. Mitu kGm tööd teeb inimene (70 kg) esimeselt korralt teisele minnes, kui kordade vahe on 4 m?
7. Väljendada kGm ergides ja võrrelda teda džauliga!
8. Kumb on suurem: kas mG · cm või erg?

64. Tungi töö graafiline kujutamine. Töö võrdub tungi suuruse ja läbitud tee pikkuse korrutisega. Et kahe mistahes arvu korrutist võime geomeetriliselt kujutada ristküliku pindalana, siis võime ka tööd graafiliselt kujutada pindalana. Jääva tungi puhul on selleks pindalaks ristküliku pindala, analoogiliselt ühtlasel liikumisel läbitud tee pikkuse kujutamisega.

Üldjuhul, kui tungi suurus järjest muutub (joonis 68), siis kujutab tungi suuruse muutumise käiku mõnesugune kõver, tööd aga selle kõveraga, s-teljega ja alg- ning lõpp-ordinaatidega piiratud pindala.



Joonis 68. Töö graafik.

1. Kujutada graafiliselt töö (kGm), mida teeb raskustung 5 kG vabal langemisel 2 esimese sekundi jooksul!

2. Ehitada töö graafik liikumisel juhul, kui $f = 0{,}5 \cdot s$, s. o. tungi suurus f on võrdeline tema rakenduspunkti poolt läbitud tee pikkusega s. Määrata graafiliselt tehtud töö hulk tee vahemikus $s = 0$ kuni $s = 10$, kui f mõõtub kG-des ja s meetrites!

65. Võimsus. Masinate kui ka iga teise tööjõu tarvitamisel peame teadma, kui suur on antud masina või tööjõu **võimsus**, milleks nimetame töö hulka, mis masin teeb ühe ajaühiku jooksul. Lühidalt võiksime nimetada võimsust töö kiiruseks. Kui näiteks t sek jooksul masin teeb A kGm tööd, siis on selle masina keskmine võimsus $N = \frac{A}{t} \frac{\text{kGm}}{\text{sek}}$. Saadud valemist järgneb, et $A = Nt$, s. o. tehtud töö hulk võrdub võimsuse ja aja korrutisega.

Võimsust 75 $\frac{\text{kGm}}{\text{sek}}$ nimetatakse **hobujõuks (hj.)**, sest tugeva hobuse võimsus pikemat aega töötades on $\sim$ 1 hj., inimese võimsus aga on $\sim 8 \frac{\text{kGm}}{\text{sek}}$.

Võimsust 1 $\frac{\text{džaul}}{\text{sek}}$ nimetatakse **vatiks (W)**. Tuhat vatti on **1 kilovatt (kW)**.

Töö hulka, mis masin võimsusega 1 kilovatt teeb ühe tunni jooksul, nimetatakse **kilovatt-tunniks (kWh)**.

Inglased märgivad hobujõudu lühidalt HP (horse-power), sakslased PS (Pferdestärke). Tuleb silmas pidada, et HP ei võrdu

PS-ga, sest inglise HP pole mitte täpselt 75 $\frac{\text{kGm}}{\text{sek}}$ nagu sakslaste PS, vaid pisut suurem, nimelt 550 inglise jalgnaela sekundis. Seetõttu 1 HP = 1,0139 PS.

1. Mis see tähendab, kui öelda: keha võimsus on 5 $\frac{\text{erg}}{\text{sek}}$, 3 $\frac{\text{kGm}}{\text{min}}$, 20 $\frac{\text{džaul}}{\text{h}}$ jne.?

2. Mitu korda on hobuse võimsus inimese omast suurem?

3. Väljendada võimsus 1 hj. vattides ja kilovattides!

4. Mitu kGm-it on 1 kilovatt-tund?

5. Mitu kGm-it tööd teeb tööline keskmiselt 8-tunnise tööpäevaga?

6. Mitme inimese tööjõu aset täidab vahetpidamata töötamisel aurukatel, mille võimsus on 6 hj?

7. Narva kose võimsus on 75 000 HP. Mitu töömeest suudab ööpäeva jooksul teha 8-tunnise tööpäevaga niisama palju tööd kui Narva kosk?

8. Arvesse võttes kohalikke inimese tööjõu (näit. 2 rbl. tund) ja elektrienergia (näiteks 25 kopikat kilovatt-tund) hindu, arvutada, kumb tööjõud on odavam!

9. Omnibus sõidab 50 min. keskmise võimsusega 15 HP ja tarvitab ära selle aja jooksul 8 kg bensiini. Leida: a) tehtud töö hulk kilovatt-tundides; b) mitu % energiast muundus tööks, kui bensiini kütteväärtus on 11 000 $\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$?

10. Kui palju aega kuluks keskmise võimsusega inimesel V.-Munamäe otsa tõusmiseks (rel. kõrgus 65 m)?

11. Imatra kose võimsus on 117 000 hj. Mitu m^3 vett jookseb igas sekundis keskmiselt läbi kose läbilõike, kui kose üldine langemine on 19 m?

12. Dneprogessi koguvõimsust hinnatakse 810 000 hj. Mitme inimese tööjõu aset suudaks täita see jõujaam?

66. Hoog. Paigalolevasse kehasse, mille mass on m g, mõjub kogu aeg jääv tung f düüni. Selle mõjul hakkab keha liikuma ühtlaselt kiirenevalt kiirendusega $a \frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}$ ja nihkub t sek jooksul edasi s cm võrra (joon. 69). Tungi f töö s cm ulatusel on

$$A = fs = mas \quad (1),$$

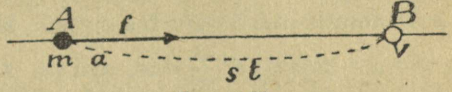
sest $f = ma$. Ühtlaselt kiireneva liikumise valemitest

$$v = at \text{ ja } s = \frac{at^2}{2} \text{ saame:}$$

$as = \frac{a^2t^2}{2} = \frac{(at)^2}{2} = \frac{v^2}{2}$. Asendades valemis (1) korrutise as temaga võrdse suurusega $\frac{v^2}{2}$, saame

$$fs = \frac{mv^2}{2} \quad (2),$$

s. o. tungi töö takistusvaba keha liikumapanemisel piki teed s võrdub massi m ja lõppkiiruse ruudu(v^2) korrutise poolega. Avaldist $\frac{mv^2}{2}$ nimetatakse keha **hooks** ehk **kineetiliseks energiaks**. Seega keha hoog $\frac{mv^2}{2}$ mõõdab töö hulka, mis teeb jääv tung f, et vaba keha paigalolekust liikuma panna jääva kiirendusega a, kuni keha omandab lõppkiiruse v.



Joon. 69.

Hoo valem $\left(\frac{mv^2}{2}\right)$ ei sisalda aega (t), järelikult ei olene tungi töö ajast, vaid ainult lõppkiirusest (v) ja keha massist (m). Suur tung võib kehale lühikese aja jooksul anda sama kiiruse kui väiksem tung pikema aja jooksul. Tuua näiteid!

Olgu asendis A keha kiirus v_0, asendis B v $\frac{\text{cm}}{\text{sek}}$ (joon. 69). Siis on asendis A keha hoog $\frac{mv_0^2}{2}$ ja asendis B $\frac{mv^2}{2}$. Et hoog näitab töö hulka, mille on tung teinud liikumise algusest kuni antud momendini, siis on tungi f töö vahemikus AB lõpp- ja alghoo vahe, s. o.

$$fs = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} \quad (3).$$

Viimane valem näitab, et üldjuhul tungi töö teatavas teevahemikus võrdub hoo juurdekasvuga selles vahemikus.

Me tuletasime hoo valemi erijuhul, kui tung f on jääv. Mehaanikas tõestatakse, et valemid (2) ja (3) on õiged igasuguse tungi puhul. Hoo valem on oma rakenduse poolest mehaanikas üks viljakamaid.

Keha hoog mõõdab selle keha liikumapanemiseks kulutatud töö hulka, sellepärast mõõdetakse hoogu tööühikutes: ergides, kGm-tes jne. Valemist (2) selgub, et hoog väljendub ergides, kui massi mõõdetakse grammides ja kiirust $\frac{cm}{sek}$-tes.

Tahame mõõta hoogu kGm-tes, siis tuleb kiirus mõõta $\frac{m}{sek}$-tes, mass aga nn. tehnilistes ühikutes, mis on 9,8 korda kilogrammist suuremad, sest tung 1 kG annab massile 9,8 kg kiirenduse 1 $\frac{m}{sek^2}$. (Vt. § 40.)

67. Mõned hoo valemi rakendused. a) Keha suudab teha oma hoo arvel alati nii palju tööd, kui palju tööd on kulunud selle hoo tekitamiseks.

Olgu keha hoog $\frac{mv_0^2}{2}$. Kui kehasse hakkab mõjuma liikumisele vastassuunas jääv tung f, siis teeb see tung kogu aja negatiivset tööd ja keha liikumine muutub ühtlaselt aeglustuvaks. Lõpuks jääb keha seisma ja $v = 0$. Rakendades hoo üldvalemi saame: $-fs = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}$. Lõpphoog $\frac{mv^2}{2} = 0$, seepärast siis $-fs = -\frac{mv_0^2}{2}$ ehk $fs = \frac{mv_0^2}{2}$. Et kehasse mõjuv tung ületatakse hoo arvel, siis näitab viimane valem, et keha suudab teha hoo arvel alati nii palju tööd, kui palju tööd on kulunud selle hoo tekitamiseks.

b) Raudteerong, mille mass on m, liigub ühtlaselt kiirusega v. Leida side veduri tõmbe (f) ja hõõrdumistungi (f_1) vahel!

Rongi liikuma panev tung peab võrduma veduri tõmbe ja takistuste vahega, s. o. $f - f_1$. Järelikult

$$(f - f_1)\, s = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} \quad \ldots\ldots (1).$$

Et $v = v_0$, siis $(f - f_1)\, s = 0$, millest $f - f_1 = 0$ ja $f = f_1$, sest $s \neq 0$. Järelikult rongi ühtlasel liikumisel võrdub veduri tõmme takistuste kogusummaga.

Eritleda valemit (1) juhul, kui $v > v_0$ ja $v < v_0$!

c) Kui kõrgele tõuseb keha, mis on püsti üles visatud algkiirusega v_0?

Olgu tõusu kõrgus h ja keha mass m, siis $f = mg$ ning $-mgh = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}$. Et $v = 0$, siis $\frac{mv^2}{2} = 0$ ja $-mgh = -\frac{mv_0^2}{2}$, millest $h = \frac{v_0^2}{2g}$, s. o. sama tulemus, mille varem (§ 49) leidsime teisel teel.

1. Tennispalli mass $m = 50$ g ja kiirus $v = 10 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$. Leida hoog ergides! Missugune jääv tung peaks mõjuma 5 cm ulatusel, et pall saaks selle hoo?

2. Uisutaja (60 kg) sõidab kiirusega $4 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$. Leida hoog kGm-tes!

3. Kuuli mass on $m = 49$ g ja kiirus $v = 400 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$. Leida hoog kGm-tes!

4. Raudteerong liigub kiirusega $60 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Kui palju maad läheb rong edasi rõhtsal teel ainult endise hoo arvel, kui üldine takistuse koefitsient on 0,004?

5. Kui suure algkiirusega on võimalik 1,5 m kõrgusele hüpata? Kas sõltub tarvisminev algkiirus hüppaja massist?

6. Vasarahoobi mõjul läks nael 2 cm puu sisse. Leida puu takistus, kui vasara mass on 0,8 kg ja lõppkiirus $2 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$, oletades, et puu takistus on kogu aja ühesugune!

7. Raudteerong, mille mass on 300 tonni, sõidab jaama kiirusega $10 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$ ja jääb piduri mõjul seisma 10 sek jooksul. Leida pidurite takistus!

8. Leida iga kg-massi (enese) hoog Maaga ümber Päikese liikudes!

68. Energia. Töö tegemisel ületame keha liikumise takistusi, nagu raskustungi, hõõrdumist, keskkonna takistust jne. Ilma takistuste ületamiseta ei ole tööd, samuti kui ei ole tööd ilma liikumiseta. Iga liikuv keha võib teha tööd oma hoo arvel (§ 66), näiteks aurukatla hooratas masinaid ümber vedades, liikuv kahurikuul kindlustist lõhkudes jne. Hoo valemist $\frac{mv^2}{2}$ järgneb, et liikuva keha võime tööd teha on võrdeline keha massiga ja kiiruse ruuduga. Tuua näiteid selle kohta!

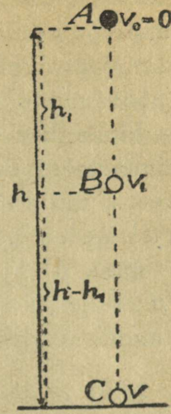
Kuid võime tööd teha pole mitte ainult liikuvail kehadel, vaid ka inimese- ja loomakeha lihastel, ülestõstetud koormustel (kellapommid), kokkukeeratud vedrul (kellavedru), kokkusurutud aurul katlas, lõhkeainetel (püssirohi, dünamiit) jne.

Keha võimet tööd teha nimetatakse keha **energiaks.** Kehas olevat energiat mõõdetakse selle tööhulga abil, mida keha teha suudab. Nii siis on energia kehas olev töövaru.

Tuua näiteid kehast, milles on energiat!

69. Kineetiline ja potentsiaalne energia. Mitmesugused energia liigid jagatakse harilikult kahte rühma: kineetiline ja potentsiaalne energia. Kineetiline ehk liikumisenergia on seotud liikumisega ühel või teisel kujul. Siia kuuluvad: liikuva keha energia (hoog), soojus, üldse igasuguste kiirte energia (hääle, valguse, soojuse jne. kiired) ja elektrivoolu energia. Potentsiaalne ehk asendi energia sõltub kehade või kehaosade vastastikusest asendist, näiteks Maa — kivi jne. Siia kuuluvad raskuse-, vetruvuse-, keemiline, elektrilaengu-, magneti- ja muskli-energia.

70. Energia muundumine. Keha, mille mass m grammi, on tõstetud h cm Maa pinnast kõrgemale. On tehtud mgh ergi tööd. Kui ülestõstetud keha on paigal, siis temal kineetilist energiat ei ole, sest hoog on null, küll aga omab ülestõstetud keha potentsiaalset energiat, mille hulka mõõdetakse keha raskuse ja tõstmise kõrguse korrutisega (mgh). Tõepoolest, ülestõstetud ja lahtilastud keha langeb raskustungi mõjul Maa peale ja võib sellejuures teha niisama palju tööd, kui palju tööd kulutati selle keha ülestõstmiseks. Kui näiteks 5 kg tõsta 2 m kõrgusele, siis teeme raskustungi ületamiseks $5 \cdot 2$ ehk 10 kGm tööd. Lahtilastud keha *raskustung* teeb langemisel samuti 10 kGm tööd. Mida madalamale jõuab seejuures keha, seda väiksemaks muutub tema potentsiaalne energia (mgh), kuna kineetiline energia langemisel järjest suureneb.



Joonis 70.

Hoo valemi abil on kerge näidata, et *langeva keha potentsiaalse ja kineetilise energia summa on alati jääv ning võrdub ülestõstmiseks kulutatud tööga.*

Olgu keha kiirus asendis A $v_1 = 0$, asendis B — v_0 ja asendis C — v (joon. 70). Rakendades hoo valemi keha langemisele B-st C-sse, saame, kui $p = mg$:

$$p(h-h_1) = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2},$$

millest $p(h-h_1) + \frac{mv_1^2}{2} = \frac{mv^2}{2} = ph$, sest $ph = \frac{mv^2}{2}$.

Siit näeme, et keha langemisel toimub alaline potentsiaalse energia muundumine kineetiliseks ja kogu aeg on mõlema energialiigi summa jääv. Püsti üles visatud keha puhul ilmneb ümberpöördud nähtus: kineetiline energia muundub potentsiaalseks.

Tõestada, et ka sel puhul on mõlema energialiigi summa jääv ja võrdub keha hooga liikumise alguses!

71. Energia jäävus. Eelmises paragrahvis käsitletud näidetes võisime tähele panna, et keha potentsiaalne energia (ülestõstetud keha) võib muunduda kineetiliseks (kiirus) ja ümberpöördult, nii et mõlema energia kogusumma on alati jääv. Eeltingimuseks on, et liikumisel ei ole takistust (hõõrdumine, keskkonna takistus). Leitud side potentsiaalse ja kineetilise energia vahel mehaanikas on üldine ja seda nimetatakse *mehaanilise energia jäävuse seaduseks*, mille võime üldkujul sõnastada järgmiselt: *nii palju kui keha kaotab potentsiaalset energiat, niisama palju peab ta kineetilist energiat juurde saama*, ehk: **potentsiaalse ja kineetilise energia summa on jääv.**

Meil ei ole võimalik tekitada liikumist ilma takistuseta (hõõrdumiseta), seetõttu puudub meil võimalus mehaanilise energia jäävust tegelikult nii-öelda puhtal kujul demonstreerida. Arvesse võttes teisi meile tuntud energialiike (soojuse-, elektri- jne. energia) on võimalik näidata, et *energia jäävuse seadus on kehtiv kõigi füüsikaliste nähtuste kohta.*

Töötamisel kulutatud energia ei hävi. Iga töö tulemusena ilmub kuskil uus energia-tagavara, kas sama või mõnd teist liiki; näiteks keha liikuma panemiseks kulutatud töö tulemusena saame ülestõstetud keha potentsiaal-energia, hõõrdumise ületamise tulemusena soojusenergia jne.

Kui võrrelda töötegemisel äratarvitatud energia hulka selle töö hulgaga, mis ilmub töö tulemusena, siis leiame, et mõlemad energia hulgad on võrdsed, s. o. mõlemate nende energia hulkade täielikul tööks muundumisel saaksime ühepalju tööd. Selles seisnebki nn. **energia jäävuse seadus:** *niivõrra kui loodusnähtusi on uuritud, pole seni kuskil tähele pandud energia hävimist, vaid ainult tema ekvivalentset muundumist ühest liigist teise.*

Täpsed mõõtmised näitavad, et mehaaniliste energia soojuseks muutumisel annab iga 427 kGm ühe kilokalori soojust ja ümberpöördult. Selle põhjal võime alati arvutada, kui palju tööd on võimalik saada antud soojushulga arvel. Seetõttu nimetatakse tööhulka 427 kGm ka soojuse mehaaniliseks ekvivalendiks.

Juba vene teadlase M. V. Lomonossovi (1711—1765) töid läbib punase niidina energia muundumise ning jäävuse põhimõte. Seega on M. V. Lomonossov üks suurimaid energia jäävuse seaduse teerajajaid. Soojuse mehaanilise ekvivalendi esimesena määras saksa teadlane Robert Mayer (1842).

1. Nimetada meile tuntud energiaallikaid!

2. Mispärast lähevad vasar ja alasi tagumisel soojaks, samuti saeleht saagimisel, puur puurimisel, traat painutamisel jne.?

3. Jälgida energia muundumist Päikese kiirte energiast kuni elektervalguseni!

4. Mis juhtuks siis, kui Maa oma liikumisel ümber Päikese jääks äkki seisma? Mitu kilokalorit soojust vabaneks iga 1 kg massi hoo arvel?

5. Kui suur peaks vähemalt olema seatinakuuli kiirus, et ta äkki seisma jäädes ära sulaks?

6. Kui palju soojeneb vesi Narva joast (7 m) allalangemisel? Vastata samale küsimusele Niagara (50 m) joa kohta.

72. **Energia hajumine.** Energia jäävuse seadus ütleb, et energia ei hävi, vaid looduses energia ainult muundub ühest liigist teise. Nüüd tõuseb küsimus, kas energia muundumine on igas suunas ühteviisi võimalik või mitte. Kas näiteks saame niisama kergesti muundada tööd soojuseks kui soojust tööks, elektrivoolu energiat soojuseks kui soojust elektrienergiaks jne? Vaatlus ja katsed näitavad, et kõik energia muundumised ei toimu mitte ühteviisi kergesti. Me võime kõik need nähtused (energia muundumised) jagada kahte liiki: loomulikud, s. o. niisugused, mis tekivad nii-öelda iseenesest, näiteks: töö muundumine soojuseks, soojuse liikumine kuumalt kehalt külmemale, difusioon jne. ning mitteloomulikud, kus energia muundumine ei teki nii-öelda iseenesest, nagu soojuse muundumine tööks. Sellest järeldame, et looduses on valitsemas teatav tendents, milles nähtused toimuvad. Mitteloomuliku

nähtuse tekitamine (soojuse muundumine tööks aurumasina abil) on võimalik ainult siis, kui sellega vastutasuks kaasas käib loomulik nähtus (soojuse liikumine kuumalt kehalt jahedamale, aurumasinast jahutajasse).

Selle kõigi loodusnähtuste üle valitseva tendentsi sõnastas lord Kelvin (surn. 1907) järgmiselt: **Kõik energialiigid püüavad muunduda soojuseks, viimane aga püüab levida igale poole ühtlaselt ja lõpuks kiirguda maailmaruumi laiali. Kõik energia pinevuste vahed püüavad tasanduda.**

Et meil tegelikult on tähtis töö, iga energia liik aga mitte ühteviisi kergesti tööks ei muutu, seepärast pole kasutamise mõttes mitte ükskõik, missugusel kujul teatav energia hulk meile on antud. Meie veekogud näiteks sisaldavad väga suurel hulgal soojusenergiat, kuid me ei saa seda kasutada.

73. **Perpetuum mobile** all mõeldakse masinat, mis ilma ühegi energia juurdetulekuta, nii-öelda iseenesest, igavesti **liiguks** ja mitte ainult et liiguks, vaid ka **tööd teeks**. Perpetuum mobile ehitamine oli väga moes ajal, kus ei tuntud veel energia jäävuse seadust. Meiegi päevil leidub lihtinimesi, kes enesele perpetuum mobilet püüavad ehitada, et siis temast lõpmata tööd ammutada. Perpetuum mobile käib energia jäävuse seaduse vastu, sest tööd võime teha ainult mõne teise töö-tagavara arvel, mitte aga ei millestki. Seepärast on perpetuum mobile ehitamine võimatu.

74. **Mehaanika mõõduühikute tabel.**

Nimetus		Tähistus	Absoluutne süsteem	Tehn. süsteem
Põhi-ühikud	Pikkus	l	1 cm	1 m
	Mass	m	1 g	1 tehn. m.-ü. = 9,8 kg
	Aeg	t	1 sek	1 sek
Kiirus		v	$1\ \frac{\text{cm}}{\text{sek}}$	$1\ \frac{\text{m}}{\text{sek}}$
Kiirendus		a	$1\ \frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}$	$1\ \frac{\text{m}}{\text{sek}^2}$
Tung		f	1 düün	1 kG
Töö, energia		A	1 erg $1\ \text{J} = 10^7$ ergi	1 kGm = 9,81 J
Võimsus		N	$1\ \text{W} = 1\ \frac{\text{J}}{\text{sek}}$ $1\ \text{kW} = 10^3\text{W} =$ $= 1{,}36$ hj.	1 hj. (PS) $= 75\ \frac{\text{kGm}}{\text{sek}} =$ $= 736$ W

Lihtmasinad.

75. Energia edasiandmine. Energiat antakse ühest kohast teise edasi väga mitmel viisil. Üheks lihtsamaks viisiks on energia edasikandmine ehk konvektsioon, kus energia antakse edasi koos energiat sisaldava ainega. Näiteks koorem puid või mõnda teist kütteainet sisaldab hulga keemilist energiat. Puukoormat ühest kohast teise viies viime ühest kohast teise ka temas sisalduva keemilise energia. Samuti kannab edasi mehaanilist kui ka keemilist energiat liikuv granaat, püssikuul, kivi, jalgpall jt.

Tehnikas kasutatakse energia edasiandmiseks harilikult tõmmet või põrget (lööki). Nii annab masinarihm hõõrumise teel aurukatla hooratta energia edasi masinale, samuti kirves oma hoo puuhalule jne.

Viimasel ajal kasutatakse järjest enam energia edasiandmist elektrivoolu ja lainelise võnkumise abil (valgustus, mootorid, raadiotehnika).

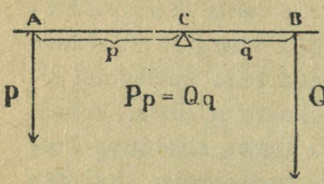
Masinad on vahendid energia edasiandmiseks (kang) või energia muundamiseks (aurumasin). Lihtsamad neist on kang, plokk, pöör, kaldpind, kiil, kruvi.

Vaatleme lähemalt lihtmasinate tasakaalutingimusi ning töö edasiandmist.

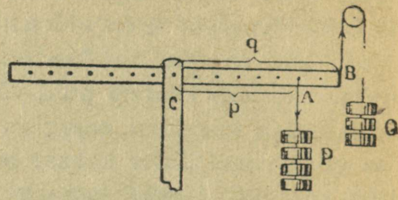
76. Ühe- ja kahepoolne kang. Harilikult nimetame kangiks varba, mis võib pöörduda toetuspunkti ümber samas tasapinnas ja millesse on rakendatud pöördumistasapinnas kaks tungi; need püüavad kangi pöörata teine teises suunas (joon. 72). Tasakaalu korral peavad tungide momendid olema võrdsed, s. o.

$$Pp=Qq.$$

Kangi nimetatakse sirgeks, kui tungide rakenduspunktid ja toetuspunkt asetsevad samal sirgel, vastasel korral on meil tegemist kõvera või murtud kangiga. Kui tungid on rakendatud mõlemal pool toetuspunkti, siis nimetatakse kangi *kahepoolseks* (joon. 72), on aga tungid rakendatud ühel pool toetuspunkti, siis on kang *ühe-*



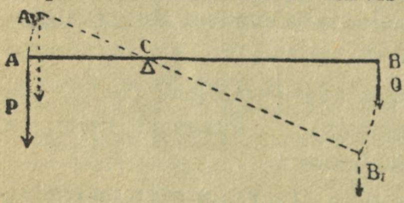
Joonis 72. Kangi tasakaal.



Joonis 73. Ühepoolne kang.

poolne (joon. 73). Kõikide kangiliikide kohta kehtib sama tasakaalutingimus, nimelt *tungide momentide võrdsus.*

Kangi tasakaalu tingimustest näeme, et kangi abil on võimalik tasakaalustada väikese tungiga suurt tungi ja ümberpöördult. Selleks on tarvis vastavalt valida kangi õlgade pikkused. Nagu joonisest 74 näha, läbib kangi AB pöördumisel tungi P rakenduspunkt nii mitu korda lühema tee, kui mitu korda tungi P õlg (AC) on lühem tungi Q õlast (BC), sest $\smile AA_1 : \smile BB_1 = AC : BC$.



Joonis 74. Teepikkused kangil.

Tähendab, kui mitu korda võidame kangi abil tungi suuruse poolest, nii mitu korda kaotame tungi rakenduspunkti poolt läbitud tee pikkuse poolest.

Vahel nimetatakse tungi rakenduspunkti kaugust toetuspunktist *kangi õlaks*. Sirge kangi ja rööpsete tungide puhul on võimalik väljendada kangi tasakaalu tingimusi ka kangi õlgade abil. Kuidas? Otstarbekohasem üldsuse mõttes on aga selle asemel kõnelda *tungi õlast* kui toetuspunkti kaugusest tungi sihist (p, q) ja väljendada kangi tasakaalu tingimus alati momentide lause abil. Juhul, kui kang on sirge ja rõhtsas asendis ning tungid mõjuvad vertikaalselt, langevad mõlemad tasakaalutingimused ühte.

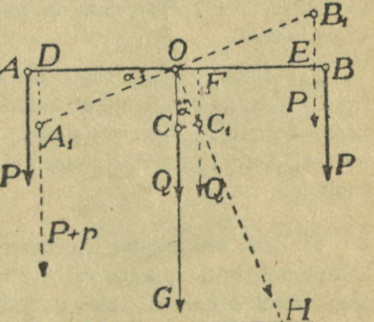
1. Tuua näiteid kangi tarvitamise kohta igapäevases elus! Nimetada mõned meile tuntud kangi põhimõttel ehitatud riistad!

2. Kahepoolse kangi õlgade pikkused on 15 cm ja 20 cm ning lühema õla otsas ripub koormus 2 kg. Missugune koormus tuleb tasakaalu korral suurema õla otsa riputada ja kui suur on rõhumine toetuspunktis.

3. Kahepoolse kangi õlgade pikkused on 50 cm ja 70 cm, rõhumine toetuspunktis 78 kG. Missugused tungid on tasakaalustatud?

4. Ühepoolse kangi abil, mille pikkus on 52 cm, on tasakaalustatud kaks vastassuunalist rööptungi: 4 kG ja 2,5 kG. Leida kangi õlgade pikkus!

77. **Kangkaal.** Kangkaal on sirge võrdõlgne kang kehade raskustungi mõõtmiseks. Kangi raskuspunkt peab olema allpool toetuspunkti nõnda valitud, et kang oleks püsivas tasakaalus rõhtasendis. Siis on kang rõhtasendis ka koormamisel võrdsete koormustega (momendid on võrdsed). Kangi rõhtasendi üle otsustame risti kangi külge kinnitatud rao näitamisega. Kaal on õige, kui võrdsete koormustega koormamisel kaalukang on rõhtne. Peale õige näitamise on kaalu juures väga tähtis nn. tundlikkus, s. o. rao võimalikult suur kõrvalekaldumine tasakaaluasendist õige väikese lisakoormuse mõjul.



Joonis 75. Kaalu tundlikkus.

Olgu joonisel 75 AB kaalu kang, O — toetuspunkt, C — kangi raskuspunkt ja Q — kangi raskus. Võrdsete koormuste P mõjul on kang AB tasakaalus rõhtasendis. Vasaku poole koormust lisakoormuse p võrra suurendades kaob endine tasakaal ja kang võtab uue tasakaaluasendi A_1B_1. Et tungide momendid, mis kangi vastassuunas püüavad pöörata, peavad olema võrdsed, siis saame: $(P+p) \cdot OD = P \cdot OE + Q \cdot OF$; $P \cdot OA_1 \cos \alpha +$

$+ p \cdot OA_1 \cos \alpha = P \cdot OB_1 \cos \alpha + Q \cdot OC_1 \sin \alpha$. Et $OA_1 = OB_1 = OA$, saame pärast lihtsustamist.

$$p \cdot OA \cos \alpha = Q \cdot OC_1 \sin \alpha, \text{ millest}$$

$$\tan \alpha = \frac{p \cdot OA}{Q \cdot OC} \quad \ldots\ldots \quad (1).$$

Korrutades valemi (1) mõlemat poolt rao pikkusega OG = L ja asetades OA = l ning OC = d, saame rao otsa kõrvalekaldumise suuruse $GH = OG \cdot \tan \alpha$ jaoks valemi:

$$GH = \frac{p \cdot l \cdot L}{Q \cdot d} \quad \ldots\ldots \quad (2).$$

Valemist (2) näeme, et k a a l u   t u n d l i k k u s o n:

1) v õ r d e l i n e k a n g i õ l a (l) j a r a o (L) p i k k u s e g a;

2) p ö ö r d v õ r d e l i n e k a n g i r a s k u s e g a (Q) j a r a s k u s p u n k t i k a u g u s e g a t o e t u s p u n k t i s t (d).

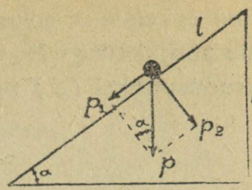
Nende tingimuste teostamine ei ole sugugi kerge, sest näiteks õlgade pikkuste suurendamine suurendab ühtlasi ka kangi raskust jne. Varemalt ehitati kaalud pikemate õlgadega kui viimasel ajal. Ka on tähtis, et tundlikkus ei muutuks koormuse muutumisega. Selleks on tarvis, et toetuspunkt oleks tungide rakenduspunkte ühendava sirge keskel.

Tegelikus elus on väga suure tähtsusega nn. k ü m n e n d k a a l. Nimi on tulnud sellest, et kaalutav raskus tasakaalustatakse kümme korda kergemate vihtidega, mis on eriti tähtis suurte raskuste kaalumisel. Samal põhimõttel on ehitatud ka neljakümnend-, sajand- jne. kaalud.

78. Töö kaldpinnal. Arvutame raskustungi p töö keha liikumisel kaldpinnal, mille pikkus on l, kõrgus h ja kaldenurk α. Selleks lahutame tungi p kaheks komponendiks p_1 ja p_2 vst. pikuti ja risti kaldpinnaga. Komponendi p_1 töö kogu kaldpinna ulatuses võrdub $p_1 l = (p \sin \alpha) \cdot l = p \cdot (l \sin \alpha) = ph$. Komponendi p_2 töö võrdub nulliga, sest siin on kogu aeg nurk tungi ja tema rakenduspunkti liikumise suuna vahel 90°. Seega võrdub tungi p töö ainult komponendi p_1 tööga, nimelt:

$$p_1 l = ph,$$

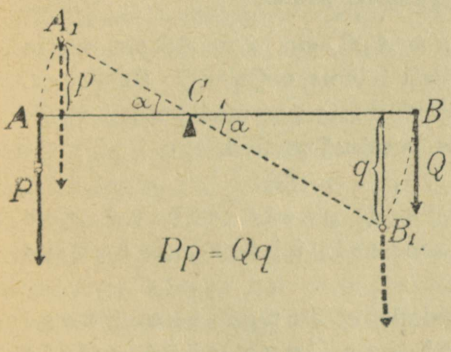
s. o. k a l d p i n n a l t e h t u d t ö ö v õ r d u b k a l d p i n n a k õ rguse ja kaldpinnal lasuva keha raskuse korrutisega. Muidugi, siin on arvestatud ainult raskustungi töö, eeldades, et teisi tunge (hõõrdumine) kehasse ei mõju.



Joonis 76. Töö kaldpinnal.

Et kaldpinna kõrgus on kaldpinna pikkuse projektsiooniks vertikaalsihile, siis võime eelmise tulemuse sõnastada ka järgmiselt: suuruselt ja suunalt jääva tungi (raskus) töö võrdub tungi suuruse ja tee projektsiooni korrutisega, kusjuures tungi rakenduspunkti poolt käidud tee (kaldpinna pikkus) projekteeritakse tungi suunale.

1. Suusataja tõusis mööda mäekallakut kõrgemale 20 m võrra. Leida suusataja töö raskustungi suhtes, kui suusataja raskus koos suuskadega oli 80 kG!



Joonis 77. Töö kangil.

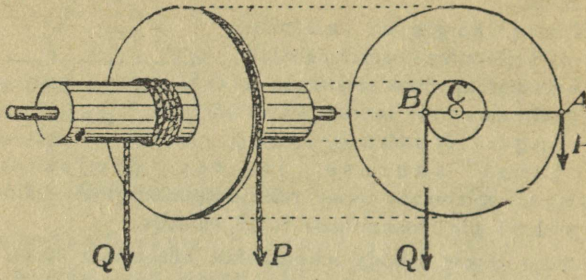
2. Millega võrdub gravitatsioonitungi töö Maa liikumisel ümber Päikese, Kuu liikumisel ümber Maa jne.?

3. Pendel, mille pikkus 1 m ja mass 20 g, on viidud tasakaaluasendist kõrvale 60°-se nurga võrra. Leida raskustungi töö pendli massi liikumisel antud asendist tasakaaluasendini!

79. Töö kangil ja teistel lihtmasinatel. Olgu meil kang AB tasakaalus rõhtasendis (joon 77). Siis

$$P \cdot AC = Q \cdot BC \quad . \; . \; . \; . \quad (1).$$

Õige väikese ülekaalu mõjul nihkub kang asendisse A_1B_1. Seejuures teeb tung Q positiivset, tung P aga negatiivset tööd. Võrdleme neid toöhulki absoluutse suuruse poolest. Et kangi nihkumisel tungi suund ega suurus ei muutu, siis võime rakendada eelmises paragrahvis saadud tulemusi. Selle põhjal tungi P töö võrdub tungi suuruse (P) ja tema rakenduspunkti (A) poolt läbitud tee $(\smile AA_1)$ projektsiooni



Joonis 78. Tasakaal pööral.

(p) korrutisega, s. o. Pp. Et $p = A_1C \cdot \sin\, \alpha = AC \sin \alpha$, siis $Pp = P \cdot AC \cdot \sin \alpha$. Samal viisil leiame, et $Qq = Q \cdot BC \cdot \sin \alpha$. Valemi (1) alusel on saadud võrduste paremad pooled võrdsed, järelikult on võrdsed ka vasakud pooled, s. o.

$$Pp = Qq \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2).$$

Tähendab, tungide P ja Q poolt tehtud töö hulgad kangi nihkumisel ühest asendist teise on võrdsed.

Tuleb kindlasti meeles pidada, et kangi ega ühegi teise masina abil ei saa luua tööd mitte millestki, vaid ainult edasi anda olemasolevat töötagavara ühest kehast teise. **Töötava tungi töö võrdub alati takistuse tööga.** See mehaanika põhiprintsiip on kehtiv iga mehaanilise seadise kohta.

Rakendame saadud printsiibi pööra tasakaalu tingimuste tuletamiseks (joon. 78). Pöördugu pööra võll õige väikese nurga α võrra, siis tungide P ja Q rakenduspunktid A ja B nihkuvad edasi vastavalt kaare pikkuse p ja q võrra. Tasakaalu korral peab töötava tungi töö võrduma takistuse tööga, järelikult

$$Pp = Qq \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1).$$

Et aga samale kesknurgale vastavad kaare pikkused on võrdelised raadiustega, siis

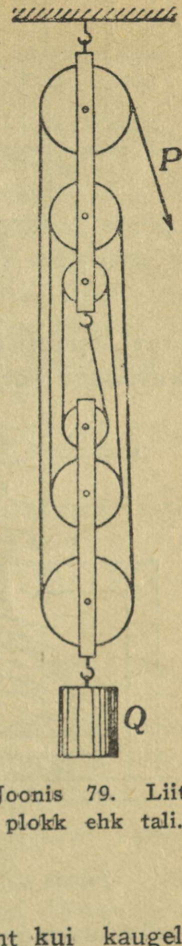
$$\frac{p}{AC} = \frac{q}{BC} \quad . \; . \; . \; . \quad (2).$$

Jagades võrduse (1) võrdusega (2) saame:

$$P \cdot AC = Q \cdot BC, \text{ s. o.}$$

p ö ö r o n t a s a k a a l u s, k u i r a t t a s s e j a v õ l l i s s e m õ j u v a d t u n g i d o n p ö ö r d v õ r d e l i s e d p ö ö r a v õ l l i j a r a t t a r a a d i u s t e g a.

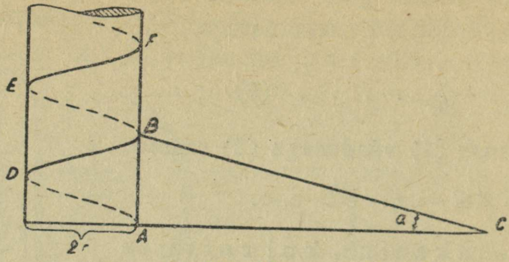
Tuletada eeltoodud viisil liitploki (joon. 79) tasakaalu tingimused!



Joonis 79. Liitplokk ehk tali.

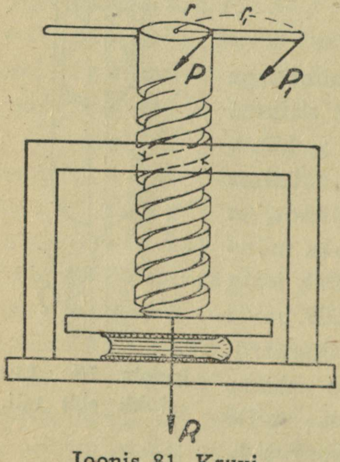
80. Kruvi. Olgu täisnurkse kolmnurga ABC (joon. 80) alus AC võrdne silindri ümbermõõduga, s. o. AC = 2 π r, kus r on silindri ristlõike raadius. Mähime kolmnurga ABC ümber silindri nõnda, et kolmnurga kõrgus AB = h ühtuks mõne silindri moodustajaga. Siis kujutab külg BC silindri pinnal kõverjoone ADB, mida nimetatakse k r u v i j o o n e k s. Ühekordse kolmnurga ümber mähkimisega saame kruvijoonest ainult ühe k ä i g u, mille k õ r g u s e k s on kolmnurga kõrgus h. Jätkates sedaviisi kolmnurga mähkimist, alates samast moodustajast, võime kruvijoont kui kaugele tahes pikendada.

Tehes silindrile mööda kruvijoont ühtlase väljalõike ehk soone, saame k r u v i (joon. 81). Kui õõnsas silindris tehtud sooned vastavad kruvi omadele, siis on see mutter.



Joonis 80. Kruvijoone tekitamine.

Kruvi, samuti mutter, nihkub ühe täispöördega edasi ühe kruvikäigu kõrguse võrra.



Joonis 81. Kruvi.

Kruvi tasakaalu tingimuste leidmiseks kasutame energia jäävuse lauset. Nii palju, kui teeb tööd tung P_1 kruvi pööramisel, sama palju tööd peab tegema ka tung R kruvi edasiliikumisel, oletades, et puudub energiakadu hõõrdumise näol. Ühe täispöörde kohta võime kirjutada:
$P_1 \cdot 2\pi r = Rh$, millest

$$P_1 = R_1 \frac{h}{2\pi r_1}$$

Siit näeme, et kruvi telje sihis mõjuva takistuse (R) tasakaalustamiseks minev tung P_1 on võrdeline kruvikäigu kõrgusega (h) ja pöördvõrdeline rakenduspunkti kaugusega (r_1).

Kruvi tarvitatakse asjade ühendamisel, samuti nn. lõpmatu kruvina vee- ja õhulaevade liikumapanemisel (p r o p e l l e r), võlli liikumise edasiandmisel hammasratastele jne.

1. Kui suure rõhumise annab tungraud, mille kruvikäigu kõrgus on 1,2 cm ja mida pööratakse 24 cm kauguselt 40 kG tugevuselt?

2. Kui tugevasti tuleb pöörata kruvi, mille käigu kõrgus on 4 mm, 12 cm kaugusel teljest, et saavutada telje sihis rõhumist 30 kG?

81. **Kasutegur.** Lihtmasinate tasakaalutingimused ja töötamisseadus on kehtivad juhul, kui need masinad töötaksid ilma hõõrdumiseta. Parema väljatöötamise ja määrimise abil me saame küll hõõrdumist vähendada, kuid hõõrdumist tegelikest mehaanilistest protsessidest hoopis kõrvaldada on võimatu. Seetõttu osa masinasse kulutatud tööst läheb hõõrdumise ületamiseks ja m a s i n a s t s a a d u d k a s u l i k t ö ö on a l a t i v ä i k s e m m a s i n a g a t ö ö t a m i s e l k u l u t a t u d t ö ö s t.

Iga masinat või seadist iseloomustab tema k a s u t e g u r, m i l l e k s n i m e t a t a k s e m a s i n a s t s a a d u d k a s u l i k u t ö ö s u h e t k o g u m a s i n a s s e k u l u t a t u d t ö ö s s e, s. o.

$$\text{kasutegur} = \frac{\text{saadud kasulik töö}}{\text{kogu kulutatud töö}}$$

Kasutegur väljendatakse harilikult %-des. Kui näiteks pööra kasutegur on 95%, siis tähendab see seda, et pööraga 95 kg-se koormuse ülesvinnamisel peab rakendama tungi 100 kG ja kulutatud 100 kGm tööst saame tagasi kasuliku tööna vaid 95 kGm.

Mida suurem on kasutegur, seda paremini töötab masin. Ideaaljuhul, ilma hõõrdumiseta töötamisel, oleks kasutegur 100%.

III. Laboratoorseid töid.

Laboratoorne töö nr. 1. Tungide rööpkülik (§ 35).

Töövahendid: kindla raami külge kinnitatud 2 plokki, peenikest nööri, võrdseid, näiteks 100-grammiseid, koormusi, papitükk, valget paberit, mall ja joonel.

Töökäik. Vastavalt joonisel 25 kirjeldatud katserakendusele võtame P = 300 G, Q = 400 G ja R = 500 G, rakendame nad joonisel näidatud viisil nööri külge ning seame tasakaalu. Et tasakaal oleks täpsem, tuleb koormus R pisut võnkuma tõmmata, samuti on kasulik plokkidele koputades nende hõõrdumist vähendada.

Saavutanud tasakaalu, märgime ära rakenduspunktis A mõjuvate tungide P, Q ja R suunad. Selleks asetame valge lehe papitükile ja hoiame teda nööri lähedal nõnda, et lõikepunkt A oleks enam-vähem paberi keskkohas. Nööride sihid paberil märgime kahe punkti abil: üks hästi punkti A läheduses, teine võimalikult eemal sellest.

Nüüd asetame paberi lauale ja saadud andmete põhjal ehitame rööpküliku ABDC. Tõmbame diagonaali AD ja võrdleme tema sihti katsest saadud resultandi R sihiga. — Määrata graafiliselt diagonaali suurus ja võrrelda seda koormuse R suurusega.

Mõõta joniselt malliga nurk A ja võrrelda seda külgede põhjal teoreetiliselt arvutatud nurga suurusega.

Korraldada samalaadselt katse juhul, kui: a) P = Q = R = = 300 G ja b) P = Q = 200 G ning R = 300 G.

Mida võime järeldada eelmistest katsetest resultandi suuruse ja suuna kohta?

Märkus. Kui on kasutada 3 vedrukaalu, siis on hõlpsam eelmisi katseid korraldada vedrukaalude abil.

Laboratoorne töö nr. 2. Hõõrdumiskoefitsiendi määramine hõõrdumisnurga abil (§ 44).

Töövahendid: ühtlaselt siledaks tehtud lauatükk 60—100 cm pikk, risttahukas või sileda põhjaga puust kastike, mõõtjoonel, mitmesuguses suuruses koormusi, nurklaud ja vedrukaal.

T ö ö k ä i k. Asetame kasti (risttahukad) rõhtsalt lauale pandud lauatükile AB (joon. 38) ja tõstame lauatüki otsa B pikkamisi ülespoole seni, kui kast mööda lauda ühtlaselt alla liuguma hakkab. Et vähendada hõõrdumist liikuma hakkamisel, tuleb lauatükile koputada. On ühtlase allaliugumise olukord saavutatud, mõõdame kõrguse BC ja aluse AC. Mõõtjooneli püsti seadmiseks kõrguse mõõtmisel kasutame nurklauda (või ristkülikukujulist papi- või paberitükki). Kõrguse (BC) ja aluse (AC) suhe annabki meile hõõrdumisnurga α tangensi, mis omakorda võrdub hõõrdumiskoefitsiendiga.

Muutes liuguva keha raskust, näiteks lisakoormusi kasti pannes või sealt ära võttes, määrame vastava hõõrdumiskoefitsiendi. Võtame saadud hõõrdumiskoefitsiendi väärtustest aritmeetilise keskmise ja võrdleme seda otsese mõõtmise teel (vedrukaaluga) rõhtsal pinnal saadud hõõrdumiskoefitsiendiga.

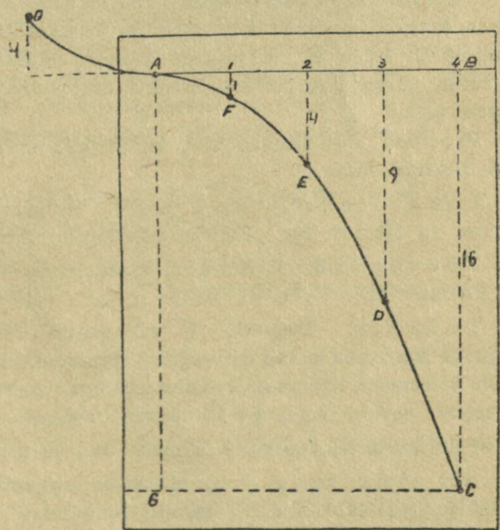
Võimaluse korral muuta kokkupuute pindala, määrata hõõrdumiskoefitsiendi sõltuvus sellest, samuti kokkupuute pindade siledusest.

Tulemused koos katse skeemiga kirjutada oma töövihikusse.

L a b o r a t o o r n e t ö ö nr. 3. Vaba langemise ja rõhtsa liikumise liitmine (§ 50).

T ö ö v a h e n d i d: vertikalselt alusele kinnitatud vineer- või papptahvel (joon. 82), sellega ühendatud kaldrenn, kuulike, suurem leht valget paberit, mõõtjoonel ja rõhknaelu.

T ö ö k ä i k: Kaldrenn on kinnitatud alusele nõnda, et tema alumine ots (A) oleks rõhtus. Siis kaldrenni ülemisest otsast (O) veerema lastud kuulike saab rennist väljudes (punkt A) mõnesuguse rõhtsalt sihis AB suunatud kiiruse. Selle kiiruse suurust



Joonis 82. Riist vabalt langeva keha tee määramiseks.

saame reguleerida kuulikese langemiskõrguse h abil: mida suurem on langemiskõrgus, seda suurem on ka langemise lõppkiirus.

Rõhtsalt liikudes langeb kuulike ühtlasi ka allapoole vaba langemise seaduste kohaselt. Nende kahe liikumise resultandiks on trajektoor AC.

Käesoleva töö ülesandeks on: katseliselt määrata mõni langemistee punkt, näiteks C, selle abil rõht- ja püstliikumiste liitmise põhjal määrata mõned vahelmised tee punktid ja siis katseliselt kontrollida, kas kuulike langemisel tõepoolest läbib need punktid. Seejuures loomulikult tuleb hoolitseda, et kuulikese langemiskõrgus h oleks kogu aeg sama, sest muidu muutub liikumise rõhtkiirus.

Kinnitame rõhknaeltega valge paberi vertikaalalusele ja valime kuulikese langemiskõrguse selliselt, et trajektoor mööduks paberipinnast võimalikult suures ulatuses. Pliiatsi või mõne teise varda risti vastu paberit asetamisega leiame proovimisega punkti (C), millest kuulike läbi läheb. Nüüd võtame paberi ära, tõmbame rõht- (AB) ja püstsihi (BC), jagame AB neljaks võrdseks osaks ja arvutame 1., 2. ja 3. jaotisele vastavad vaba langemise kaugused, võttes BC pikkuse võrdseks 16-ga. Märkinud paberil sedaviisi punktid D, E ja F, asetame paberi tagasi täpselt endisele kohale, laseme kuulikese langeda endiselt kõrguselt ja kontrollime, kas kuulike läbib punktid D, E ja F. Kuulikese mõnest punktist läbimise tunnuseks on tema põrkamine sellesse punkti asetatud pliiatsi või mõne teise eseme vastu.

Proovida, mis ilmneb siis, kui kuulikest kõrgemalt või madalamalt liikuma lasta.

L a b o r a t o o r n e t ö ö nr. 4. Ühtlaselt kiireneva liikumise kiiruse ja läbitud tee pikkuse määramine Atwoodi masinal (§ 52).

T ö ö v a h e n d i d: Atwoodi masin koos vastavate koormustega, sekundomeeter.

T ö ö k ä i k. Tutvuda § 52 antud Atwoodi masina teooriaga ja kasutada oleva riistaga. Harjutada lisamassi m abil ühtlaselt kiireneva liikumise tekitamist. On paras lisamass välja valitud, arvutada selle järgi § 52 antud valemi põhjal kiirendus g_1. Edasi ühtlaselt kiireneva liikumise tee- ja kiirusvalemi ($s = \frac{at^2}{2}$; $v = at$) põhjal, kus $a = g_1$, arvutada langemisel ühe, kahe jne. sekundi jooksul läbitud tee, samuti langemise kiirus esimese, teise jne. sekundi lõpul.

Saadud arvutustulemuste kontrollimiseks seada tõke vastavale kaugusele ja mõõta sekundomeetriga nende teepikkuste läbimiseks kulunud ajad. Arvutatud kiiruse kontrollimiseks tuleb antud ajavahemiku lõpul lisamass ära võtta, siis toimub liikumine ühtlaselt kiirusega, mis oli kehal selle ajavahemiku lõpul. Tõke seada kaugusele, mille võrra keha antud ajavahemiku jooksul edasi liiguks ühtlasel liikumisel. Arvutus- ja mõõtmistulemused kirjutada tabelisse töövihikusse.

Järje nr.	Arvutustulemused			Katsest saadud aeg	
	Aeg	Läbitud tee	Lõppkiirus	Kiireneval liikumisel	Ühtlasel liikumisel
1.	1 sek	$s_1 = \frac{g_1 l^2}{2}$	$v_1 = g_1 l =$	. . . . sek	. . . . sek
2.	2 sek	$s_2 = ...$	$v_2 = ...$	. . . . sek	. . . . sek
—	—	— —	— —	—	— —

Võrrelda arvutamisel aluseks võetud ajavahemikke vastavate katsest saadud ajavahemikega. Millest on tingitud vahed?

Atwoodi masina puudumisel kasutada raskuskiirenduse vähendamiseks kaldpinda. Muus osas toimub töö sarnaselt tööga Atwoodi masinal. Ainult kiiruse valemi kontrollimine tuleb ära jätta, sest kaldpinnal puudub võimalus ühtlase liikumise saamiseks, n. ö. lisamassi ära võtta.

L a b o r a t o o r n e t ö ö nr. 5. Momentide lause katseline tõestamine tungide tasakaalu puhul (§ 76).

T ö ö v a h e n d i d : sirge ühtlane varb cm-jaotistega kuni 1 m pikk, konksukestega niidist aasad koormuste riputamiseks, võrdseid koormusi, statiiv.

T ö ö k ä i k. Riputame varva (pikk mõõtjoonel) keskelt statiivile nõnda, et ta oleks tasakaalus rõhtasendis. Selleks on soovitav raskuspunktist ääre poole teha naaskliga auk ja panna sellest nöör või traadist aas läbi. Tasakaalu reguleerimiseks lühendada otsast raskemat poolt.

Niidist aasade abil riputame mõlemale poole varvale erinevad koormused ja aasade edasi-tagasi nihutamisega saavutame tasakaalu. Märgime koormuste rakenduspunktide kaugused varva toetuspunktist (tungiõlad) ja kirjutame saadud tulemused tabelisse järgmiselt:

Järje nr.	Vasak pool			Parem pool		
	Koormus	Õlg	Korrutis	Koormus	Õlg	Korrutis
1	—	—	—	—	—	—

Milline korrapärasus nähtub vasaku ja parema poole korrutise võrdlemisel? Sõnastada see ja kirjutada oma töövihikusse. Teisendada katset nõnda, et kangi mõlemal poolel oleks tasakaalustatud mitu koormust.

L a b o r a t o o r n e t ö ö nr. 6. Tali tasakaalu, töö ja kasuteguri määramine (§ 79 ja 81).

T ö ö v a h e n d i d: tali, mõõtjoonel, statiive, mitmesuguses suuruses koormusi või kaks plekktoosi (kotti) liivaga, laualkaal.

T ö ö k ä i k. Riputame tali statiivile või mõnele kõrgele raamile ja tema otsa koormuse Q (joon. 79). Nööri vaba otsa rakendame koormuse P, mis tasakaalustaks koormuse Q nii, et koormus Q ei hakka üles- ega allapoole liikuma, kui hõõrdumise vähendamiseks vastu tali koputada. Registreerime P ja Q suuruse. Siin tuleb Q suuruseks arvata mitte üksi otsa riputatud koormuse, vaid ka tali enda liikuva (alumise) osa raskus, sest sedagi peab tasakaalustama tung P.

Nüüd suurendame tungi P lisatungiga p, nii et koormus Q hakkaks aeglaselt ü h t l a s e l t kõrgemale tõusma. Registreerime p suuruse, samuti Q ning P rakenduspunktide poolt läbitud tee pikkused h ja s. Kõik saadud andmed korraldame tabelisse järgmiselt:

Järje nr.	Q	h	P	P+p	s	Plokkide arv	$\frac{Q}{P}$	Qh	(P+p)s	$\frac{Qh}{(P+p)s}$
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Leida eelmised andmed kolme erineva Q puhul ja kanda tabelisse. Mida võime eelmistest andmetest järeldada tali tasakaalu, töö ja kasuteguri kohta?

IV. Vastuseid.

I. SISSEJUHATUS.

§ 4.

1. 40 000 km.
2. 20 000 km; 6 600 km.

§ 5.

2. $191 \cdot 10^6$ mm.
3. 60-kilogrammise kaalu puhul $60 \cdot 10^{24}\ m\mu^3$

§ 6.

2. $^1/_{20}$ mõõdu kriipsuvahet.

§ 9.

2. $15 \cdot 10^{-9}$ t; $3 \cdot 10^6$ g.

§ 10.

1. $1{,}03 \frac{g}{cm^3}$.
3. 5 m^3.
4. 337 m.
5. $^4/_3\ \pi\ (6371 \cdot 10^3)^3 \cdot 5{,}5$ t.

II. MEHAANIKA.

§ 19.

2. $6 \frac{km}{h}$; $100 \frac{m}{min}$; $167 \frac{cm}{sek}$.
3. 108 km.
4. 222,24 km.
5. $463 \frac{m}{sek}$; $235 \frac{m}{sek}$.
6. 9 sek pärast.

§ 20.

2. $9{,}8 \frac{m}{sek}$.
4. 920 korda.
5. 72 km.
6. $6 \frac{m}{sek}$.

§ 24.

2. $13 \frac{m}{sek^2}$.
3. $2 \frac{m}{sek^2}$
4. $-100 \frac{m}{sek}$.

§ 26.

2. 10 tüüpi.
3. 125 m ja 5 sek.
5. $v_0 = 1 \frac{m}{sek}$; $a = 2{,}5 \frac{m}{sek^2}$.
6. $t = \frac{1}{175}$ sek; $122\,500 \frac{m}{sek^2}$.

§ 28.

3. Kiirus $42{,}7 \frac{m}{sek}$ lõuna-kagu suunas.
4. Ei ole, sest ujuja oma kiirus on väiksem jõevoolu kiirusest.
5. 160 sek; risti vooluga — 48 sek.

§ 35.

1. a) 5,8 kG; b) 10 kG; c) 15 kG; d) 6,1 kG.
2. 5 kG, kirde suunas.

§ 36.

2. 40 kG.
3. 8 kG.
4. $\frac{1}{3}\sqrt{12}$ kG.
5. 2,5 kG ja 7,5 kG.

§ 39.

1. 12 düüni.
2. 12 g.
3. 30 $\frac{cm}{sek^2}$
4. 1 $\frac{cm}{sek^2}$
5. $\sim$ 1 kG.
6. 600 düüni.
7. 0,5 kg.

§ 40.

1. 1,02 kG.
2. $\sim$ 4 $\frac{m}{sek^2}$.
3. $\sim$ 150 t.

§ 46.

4. 4 m.
5. Vähemalt 6 kG.
6. $\sim$1500 t.
7. 2 kG.
8. 0,36.
9. $\sim$ 38,5°.

§ 48.

1. Tallinnas g = 981,87 ja Tartus 981,78 $\frac{m}{sek^2}$
2. 981 dn; 981 000 dn; 981 · 200 dn.
4. 1 mG = 0,981 dn.
5. (1:9,81) kG.
6. 0,981 $\frac{cm}{sek^2}$.

§ 49.

5. $\sim$ 20 m.
6. 5 sek; 8 sek.
7. 15 sek.
8. 44 m; 3 sek.
9. 2 sek.
10. 20,8 $\frac{m}{sek}$; 161,6 m.
11. 18,4 km.
12. 4,4 $\frac{m}{sek}$.
13. 122,5 m; 63 $\frac{m}{sek}$.
14. 1,8 m.

§ 51.

1. Ühtlaselt aeglustuv.
2. 98,1 $\frac{cm}{sek^2}$; 1,4 sek.
3. 1,4 sek.
5. $\sim$ 20 m.
6. $\sim$ 11 $\frac{m}{sek}$.

§ 52.

1. 6 g.

§ 55.

1. 8 kG; 25 cm otsast A.
2. $\sim$ 27 kG.
3. 36 kG ja 12 kG.

§ 56.

1. R = 5 kG; AC = 72 cm.
2. P = 4,5 kG; Q = 1,5 kG.
3. 8 kG; suurema tungi rakenduspunktist tõmmatud mediaani keskkohas.

§ 59.

2. 8 cm varva keskkohast.

§ 63.

3. 4 kGm.
4. 0,48 kGm.
6. ~ 280 kGm.
7. 1 kGm = $9{,}81 \cdot 10^7$ ergi.
8. 1 mG . cm = 0,981 ergi.

§ 65.

3. 1 hj. = 736 W = 0,736 kW.
4. 1 kWh = $3{,}7 \cdot 10^5$ kGm.
5. 8 . 8 . 3600 kGm.
6. ~ 170 inimest.
7. 2 109 000 töölist.
8. Elektrienergia on ligi 100 korda odavam
9. 9,2 kWh; 9%.
10. Ligi 9,5 min.
11. ~ 450 m^3.
12. ~ 22,8 miljonit inimest.

§ 67.

1. $25 \cdot 10^6$ ergi; $5 \cdot 10^6$ düüni.
2. ~ 48 kGm.
3. 400 kGm.
4. ~ 3,5 km.
5. ~ 5,4 $\frac{m}{sek}$; massist ei olene.
6. ~ 8 kG.
7. ~ $31 \cdot 10^3$ kG.
8. $45 \cdot 10^6$ kGm iga kg-massi kohta.

§ 71.

4. ~ 10^5 kcal.
5. ~ 320 $\frac{m}{sek}$.
6. ~ 0,02°.

§ 76.

2. 1,5 kG; 3,5 kG.
3. 32,5 kG ja 45,5 kG.
4. 32,5 cm ja 52 cm.

§ 78.

1. 1600 kGm.
2. See töö võrdub nulliga.
3. 981 000 ergi.

Nimede ja mõistete juhataja.

(Arvud nimede ja mõistete taga tähendavad lehekülgi)

SISUKORD.

I. Sissejuhatus.

II. Mehaanika.

Ühtlane sirgjooneline liikumine.

Ebaühtlane sirgjooneline liikumine.

II täiendatud trükk.

Vastutav toimetaja M. Usai.

Ladumisele antud 8. V 1946. Trükkimisele antud 7. IX 1946. Trükiarv 10400. Paber 56 : 79, 1/16. Trükipoognaid 6,5. Trükitähti trükipoognas 38.976. Arvutuspoognaid 6,1. MB 04647. Tellimise nr. 1371. Trükikoda „Tartu Kommunist", Tartu, Ülikooli 21/23.

На эстонском языке.

И. Ланг и А. Митт: Физика для VIII класса.

Rbl. 5.—

Rbl. 5.—

J. LANG ja A. MITT — FÜÜSIKA KESKKOOLI VIII KL.

J. LANG ja A. MITT

FÜÜSIKA

KESKKOOLI VIII KLASSILE

RK
„PEDAGOOGILINE KIRJANDUS“
TALLINN 1946