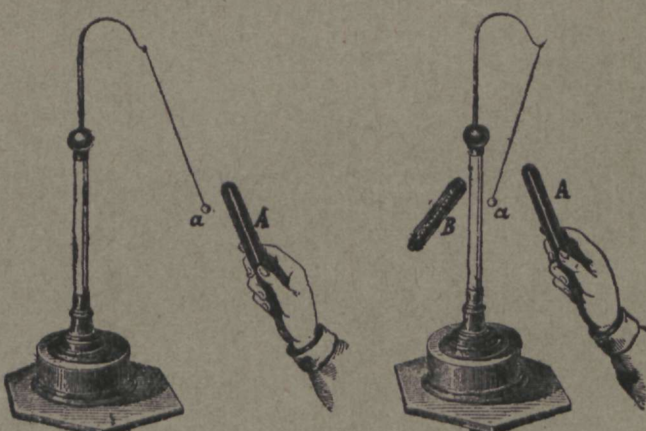
Hind 1 rbl.

J. Sarw.

Füſika ôpetus.

I.



Tallinnas, 1910.
Auguſt Buſch'i raamatukaupluſe kirjastus.

: : J. Sarw : :

Füsika õpetus

Selle tähe ettenäitaja saab J. Sarwe „Füsika õpetuse“ I. osa lõpupoognate ilmumise järele tähendatud poognad kui ka papist kaaned minu kirjastuseärist ilma maksuta.

August Busch.

Tallinnas,
18. nowembril 1910.

J. & A. Paalmann'i trükk,
□ □ □ Tallinnas. □ □ □

Eesti Kirjanduse Selts.

Koolikirjandus nr. 3a.

J. Sarw.

Fűſika ôpetus.

I.

Tallinnas, 1910.
Auguſt Buſch'i raamatukaupluſe kirjastus.

Eesſõna.

Selle raamatu kokkuſeadmiſel olen ma püüdnud nende juhtmõtete järele käia, mis ma „Eesti Kirjanduſes“ 1908 a. (lhk. 370—372) awaldaſin: 1) Ma ei ole ühtegi wõõrakeelſet õperaamatut otſekohe järele aimanud. 2) Ma olen mitmel kohal hariliku ſeletuſe wiiſi aſemel teiſt tarwitanud. Näituſeks olen ma liikumiſe õpetuſe aluſeks liikumiſe hulga jäädawuſe lauſe wõtnud ja ka teiſi jäädawuſe lauſeid rohkem tarwitanud, kui ſeda harilikult on tehtud. 3) Mõisteid вещество (Stoff), сила (Kraft) ja энергія (Energie) nimetan ma aine, tung ja jõud. Aine ja jõuu aſemel wõiks küll wõõrakeelſeid ſõnu materia ja energia tarwitada, kuid ſeda ei näe ma wähemalt ſugugi tarwis olewat, et meie teiste keelte eeskujul tungi aſemel jõud ütleme ja ſellega tähtſamateſt füſika mõisteteſt aruſaamiſt raskendame.

Trükitud on ſee raamat kahe iſeſuuruſe kirjaga: wähema kirjaga matematiliſed kokkuwõtted ja tõenduſed ja mõneſuguſed täienduſed, ſuurema kirjaga kõik muu. Peale hariliku kirja on weel ſõredat ja jämedat kirja tarwitatud. Sõreda kirjaga on igas tükis tähtſamad ſõnad ja lauſed trükitud, aga jämedama kirjaga need ſõnad ja lauſed, mis terwes füſikas tähtſamad on. Wähemates tükkides on ka need ſõnad jämedalt trükitud, mis nende tükkide pealkirja aſet täidawad.

Praegu ilmub sellest raamatust ainult esimese osa esimene wihk, sest ma ei ole weel jaksanud muud osa lõpulikult walmis kirjutada. Sellepärast paluksin küll selle raamatu tarwitajaid, et nad kõiki neid puudusi, mis tema tarwitamisel ilmsiks tulewad, lahkeste otsekohe mulle teada annaksiwad. Wahest wõiksin juba järgnewates osades mõnda parandada.

J. Sarw.

Eesti tütarlastekool, Tartus, 13. nowember 1910.

Sissejuhatus.

I. Füsik. II. Lihtsamad nähtused. III. Teadus. IV. Füsika sisu jaotus. V. Füsika peatähtsus.

I. Füsik.

1. Sõna **f ü s i k** tuleb Greeka keelest. Ta tähendab seal loodusteadust. Praegu on loodusteadus nii laialine, et ühest ainsast loodusteadusest kõneledagi ei saa. Kõneldakse mitmest loodusteadusest, ja nende teaduste hulka käib ka see teadus, mida praegu füsikaks nimetatakse. **Füsikaks nimetatakse praegu lihtsamate nähtuste teadust.**

Selles raamatus tahame meie praeguse füsika sisu tundma õppida. Aga enne kui meie füsika sisu üksikute osade juurde läheme, katsume terwet füsika sisu pealiskaudselt üle waadata. See pealiskaudne ülewaade peaks meile selgitama: m i s o n l i h t s a m a d n ä h t u s e d, m i s o n t e a d u s ja missugustest osadest seisab terwe füsika sisu koos.

II. Lihtsamad nähtused.

2. **Nähtus.** M e i e n ä e m e päikest ja pilwi, puid ja loomi, inimesi ja nende tegusid jne. jne. M e i e k u u l e m e tuule mühinat ja lindude laulu ja inimeste kõnet jne. jne. M e i e t u n n e m e soolast ja haput, magusat ja mõrudat ja palju teisi m a i k u s i d; meie tunneme petroleumi lõhna, sibula lõhna, roosi lõhna ja palju teisi l õ h n a s i d; meie tunneme walu ja p i g i s t u s t, tunneme s o o j a ja k ü l m a ja palju muud weel. Kõige rohkem on seda, mida meie näeme. Sellepärast o n h a k a t u d i g a t ü k s i k u t a s j a, m i d a m e i e n ä e m e w õ i k u u l e m e w õ i w e e l t e i s i t i t u n d a s a a m e, **nähtuseks** h ü ü d m a. Päike on nähtus ja pilw on nähtus ja puud ja loomad ja inimesed oma tegudega on nähtused. Aga niisama nimetatakse nähtusteks ka igat häält ja maiku ja lõhna ja pigistust jne. jne.

3. **Lihtsam nähtus.** Wihm on nähtus. Aga iga weepiisk, mis wihma ajal langeb, on ka nähtus; ja weepiisa langemine ise on jälle nähtus. Wihm on wäga suure hulga

weepiiskade langemine. Wihm on ſiis wäga paljude teiste nähtuste kogu. Wihma loetakſe *keeruliſemaks* nähtuſeks, ühe weepiiſa langemiſt *lihtſamaks* nähtuſeks. — Kui meie kõikide kandlekeelte üle korraga tõmbame, ſiis hakkawad kõik keeled korraga heliſema. Kui meie ühte keelt ükſi tõmbame, ſiis hakkab üks keel ükſi heliſema. Kõikide keelte heliſemine üheskoos on keeruliſem nähtus kui ühe keele heliſemine ükſi. Eſimeſel puhul kuuleme meie palju mitmeſuguſeid hääli korraga, teiſel puhul ainult ühte häält. Kui kõik kandle keeled nii olekſiwad ſeatud, et nad kõik ükſikult ühte ja ſedaſama häält annakſiwad, ſiis kuulekſime ka ühte ainuſt häält, kui meie korraga kõik keeled heliſema panekſime. Ühe keele heliſemine on lihtſam kui mitme keele heliſemine. Mitme keele heliſemine on lihtſam ſiis, kui need mitu keelt ühte ja ſedaſama häält teewad, aga ta on keeruliſem ſiis, kui need mitu keelt igaüks iſemoodi heliſewad.

Nii loetakſe ikka ühte nähtuſt, mis mitmeſt teiſeſt nähtuſeſt koos on, keeruliſemaks, aga neid teiſi nähtuſi, milleſt ta koos on, loetakſe lihtſamateks. Kui kahel nähtuſel mõlemal wäga palju oſaſid on, ſiis loetakſe ſeda nähtuſt lihtſamaks, mille oſad rohkem üheſuguſed on, aga ſeda nähtuſt keeruliſemaks, mille oſad rohkem iſeſuguſed on. **Lihtſamad** *on need nähtuſed, millel wähem oſaſid on wõi mille oſad rohkem üheſuguſed on.* — Keeruliſemad nähtuſed on lihtſamateſt koos. Keeruliſemaid nähtuſi ei ſaa enne täieste tundma õppida, kui lihtſamad nähtuſed tuttawad ei ole. Sellepäraſt on füſik [1]*) teiste looduſeteaduste põhi.

Järgnewates tükikestes tutwustame ennaſt lihtſamate nähtuste tähtſamate liikidega.

4. Kehad. Sõnale *keha* on füſikas laiem tähendus antud kui tal igapäewaſes keeles on. Inimeſel on keha ja loomal on keha. Nii kõneldakſe igapäewaſes keeles. Sealt on edaſi mindud ja teaduſes ka taime kehaſt kõnelema hakatud. Kaswawa puu keha ſeiſab püsti. Alumine oſa on puu kehal harudeſt ja harukesteſt koos, mis mulla ſiſſe laiali lähewad; meie nimetame neid juurteks. Ülemine oſa on puu kehal ka harudeſt ja harukesteſt koos, mis õhu ſiſſe laiali lähewad; meie nimetame neid oksteks. — Weelgi on edaſi mindud ja ka kiwi kehaſt kõnelema hakatud. Wälja peal ſeiſab kiwi. Tema keha alumine oſa on mulla ſees, ülemine oſa on tuule ja wihma käes lahti, lõunapooliſt oſa ſoojendab tal päikeſepaiste, kuna

*) Nummer nurgelistes klambrites mõne ſõna wõi lauſe järel on tüki nummer, kus ſelleſt ſõnaſt wõi lauſeſt pikemalt on kõneldud.

põhjapoolne oſa ſelle juures külmemaks jääb. — Loomade ja inimeste juures on wahet tehtud keha ja elu wahel. Kuni loom elab, on temal keha ja kehas elu. On loom ſurnud, ſiis on elu kadunud ja loomaſt on ainult keha järele jäänud. Taime juures ei ole elu enam nii ſilmapaistew ja kiwi juures ei kõneldagi eluſt: kiwil ongi paljalt keha. Loom on elaw keha, aga kiwi on lihtſalt keha. Kuidas kiwi kehaks nimetatakſe, nii nimetatakſe kehaks ka iga mullatükki, rauatükki, puutükki, weepiiska jne. Pea igas keeruliſemas nähtuſes leiame kehaſid. Wihma juures on weepiiſad kehad ja wihmapilwed on kehad. Kandle heliſemiſe juures on kannel ſee keha, mis häält teeb. Kannel iſe on paljudeſt lihtſamateſt kehadeſt koos; need lihtſamad kehad kandle juures on kandle keeled.

Kehad on üks liik lihtſamaid nähtuſi. Aga kehad iſe wõiwad ka keeruliſemad wõi lihtſamad olla. Iga keha juures wõib otſatu palju oſakeſi tähele panna. Mida rohkem üheſuguſed need oſakeſed on, ſeda lihtſam on keha [3]. Pilw on wäikeste weepiiſakeste kogu. Need weepiiſakeſed wõiwad täieste üheſuguſed olla. Siiski ei wõi weel ütelda, et pilw kõige lihtſam weekogu on, ſeſt ta on ükſikuteſt weepiiskadeſt kui iſeſeiswateſt oſadeſt koos. Kui pilwe weepiiſakeſed kokku üheks ſuureks weepiiſaks wõi weeloiguks ühenewad, ſiis ſaab lihtſam keha, ſeſt weepiiſal wõi weeloigul ei ole mitte iſeſeiswaid oſaſid. — Kiwitükk on keha. Kui meie kiwitüki puruks pekſame, ſiis ſaame huniku liiwa — uue keha. Kiwitükk on lihtſam keha kui temaſt ſaadud liiwahunik, kuigi liiwaterakeſed kõik üheſuguſed olekſiwad, ſeſt liiwahunik on iſeſeiswateſt kehakesteſt koos, kuna kiwitükk üksainus keha on. Kiwitükki, weeloiku ja teiſi kehaſid, mis mitte iſeſeiswateſt kehadeſt koos ei ſeiſa, nimetame l i h t k e h a d e k s. Liiwa, pilwe wõi teiſi kehaſid, mis iſeſeiswateſt kehadeſt — liiwateradeſt, weepiiſakesteſt wõi muuſt — koos on, nimetame k o g u k e h a d e k s. Mõnede kehade ſees, nagu koheda leiwatüki ſees, wammi ſees jne., leidub tühje kohtaſid. Neid kehaſid nimetame a u k l i s t e k s, ja kui augud wäga wäikſed on, nagu kriiditükil, paberil jne., ſiis p i ſ i a u k l i s t e k s kehadeks. Muid kehaſid nimetame t ä i s k e h a d e k s. T ä i s k e h a d o n l i h t ſ a m a d k u i a u k l i ſ e d k e h a d.

Kui meie harilikku põllukiwi ligemalt ſilmitſeme, ſiis leiame, et ta oſakeſed wäga mitmeſuguſed on: ühed oſakeſed on punakat wärwi, teiſed ſinakat wärwi, kolmandad walget jne.; ühed oſakeſed on pehmemad, teiſed kõwemad jne. Kui meie niiſama puhta hõbeda tükki wõi puhta wee loiku ſilmitſeme, ſiis ei ſaa meie ſeal mitte ükſikute hõbeda-oſakeste wõi üksikute weeosakeste wahel wahet teha; puhta hõbeda tükis ja puhta wee loigus on kõik osakesed täieste ühesugused. Nimetame puhta hõbeda tükki ja puhta wee loiku ja teisi kehasid, millel kõik osakesed täieste ühesugused on, ü h t l a s t e k s k e h a d e k s, aga harilikku põllukiwi ja teisi kehasid, mille üksikud osakesed isesugused on, m i t m e k e s i s t e k s k e h a d e k s. Ü h t l a s e d k e h a d o n l i h t s a m a d k u i m i t m e k e s i s e d k e h a d.

Waatame kiwi wälja peal. Seda kiwi piirab ülewalt ja igast küljest õhk, aga alt muld. Õhk ja muld on selle keha ümber; õhku ja mulda nimetatakse selle kiwi ü m b r u s e k s. Kiwi, mis jõe põhjas seisab, piirab ülewalt ja igast küljest wesi, aga alt maa. Selle kiwi ümbrus on wesi ja maa. Wettinud puutükki, mis täieste wee sees ujub, piirab igalt poolt wesi. Selle keha ümbrus on wesi. — Piiri, mis keha ja tema ümbruse wahel on, nimetatakse k e h a p i n n a k s. Keha pind wõib ühes kohas tasane, teises kohas konarlik, kolmandas kohas terawate kantidega ja tippudega jne. olla. Põllukiwi pind on enamiste konarline. Lõhutud kiwi tükkidel on terawate kantidega ja terawate tippudega pind. Weeloigu ülemine pind on tasane. Pinna poolest on lihtsamad need kehad, mille pind rohkem ühesugustest osadest koos on. On looduses leida kehasid, mida igalt poolt tasased pinna osad piirawad. Neid kehasid nimetatakse kristallideks. Kristallid on juba pinna poolest lihtsamad kehad, aga kõige lihtsam pinna poolest oleks see keha, mille pinna osad kõik täieste ühesugused on. Niisugune keha on sile kera. Sileda kera pind on igas kohas täieste ühesugune. Kerakujuline keha on pinna poolest kõige lihtsam.

K õ i g e l i h t s a m k e h a ü l e ü l d s e o n k e r a k u j u l i n e ü h t l a n e t ä i s k e h a. Haawliterad, wäiksed weepiisad, hõbedast wõi wasest walmistatud kerakujulised kuulid ja muud sarnased kehad on kõige lihtsamad.

5. **Aine.** Iga keha juures wõime iseäraldi tema pinda ja sisu tähele panna. Haawlitera ja wäike jalgratta laagri kuul on pinna poolest ühesugused, aga sisuks on haawliteral seatina ja jalgratta laagri kuulil teras. Keha sisu nimetatakse a i n e k s. Seatina on üks aine, teras on teine aine. — Haawlitera suurune weepiisk kusagil rohu lehe peal suwisel hommikul on ka pinna poolest haawliteraga täieste ühesugune, aga tema sisu on teistsugune — tema sisu on wesi. Wesi on ka aine. — Kui üks keha, näituseks haawlitera, õhu sees langeb, siis on langemise ajal tema ümbruseks [4] õhk. Kui seesama keha wee sees langeb, siis on langemise ajal tema ümbruseks wesi. Aga wõib sedasama keha ka klaastorus langeda lasta, kust õhk on wälja pumbatud. Siis on selle keha ümb-

ruſeks langemiſe ajal tühjus (tema ümber on tühi). Kui keha ümbrus mitte tühjus ei ole, ſiis nimetatakſe ſelle ümbruſe ſiſu ka aineks. Nii on ka õhk aine. Meie ei leia teda mitte kergeste mõne keha ſiſuna, aga ta on enamiste ikka meie eneste ja teiste kehade ümbruſe ſiſuks.

Aineks nimetatakſe keha ſiſu wõi keha ümbruſe ſiſu, kui ſee ümbrus mitte tühjus ei ole. Nagu tina ja hõbe, waſk ja teras, weſi ja õhk ained on, nii on ka ſawi, klaas, ſüſi ja aur ained. Meie tunneme wäga palju aineid. — Peaaegu igas nähtuſes leiame aineid. Wihmapiiſk langeb. Selle nähtuſe juures leiame kahte ainet: weſi on wihmapiiſa ſiſu, õhk on tema ümbruſe ſiſu.

Aine on lihtſam nähtus kui keha, ſeſt aine on kehale oſaks — tema ſiſuks. Aga ained iſe wõiwad weel lihtſamad wõi keeruliſemad olla. Kui meie õhku ligemalt järele katſume, ſiis leiame, et ſee aine mitmeſt teiſeſt aineſt koos on. Kõige rohkem leiame õhus kahte ainet; ühte nimetatakſe hapnikuks, teiſt lämmastikuks. See aine, mida hapnikuks nimetatakſe, on meil hingamiſeks ja tule põlemiſeks tingimata tarwilik. Niiſama leiame ligema järelekatſumiſe juures, et ka weſi mitmeſt teiſeſt aineſt koos on. Ta on nimelt ſelleſtſamaſt tähtſaſt aineſt — hapnikuſt ja üheſt teiſeſt aineſt koos, mida weſinikuks nimetatakſe. Klaas on jälle õige mitmeſt aineſt koos, mille hulgas ka hapnik on. Niiſama leiame ka ſawis hapnikku ja peale ſelle ſeda hõbedaſarnaſt ainet — aluminiummi, milleſt rohkesti ſupi- ja theeluſikaid tehtakſe. Hapnik, lämmastik, weſinik, ſüſi, aluminium, raud, waſk, hõbe, tina ja hulk teiſi aineid on ſiiamaani kõige lihtſamad ained olnud, — ei ole leitud, et ükski nende ſeaſt mitmeſt teiſeſt aineſt koos ſeiſaks. Wõib olla, et tulewikus mõni nende lihtſamate ainete hulgas leitakſe teisteſt koos olewat.

6. Energia ehk jõud. Enamiste iga nähtuſe juures leiame meie kehaſid wõi aineid. Aga on ſiiski mõned nähtuſed, kus meie ei kehaſid ega aineid ei leia. Nii tuleb meile päikeſe juureſt ſoojuſt ja walguſt. Päike on meiſt umbes 150 miljoni kilometrit kaugel. Päikeſe ja meie wahel, ſeal kus õhk lõpeb, ei ole ſiiamaani ainet leitud. Midagi aga woolab ühtewiiſi ſealt tühjaſt ruumiſt läbi; meie nimetame ſeda, mis ſealt meie juurde tuleb, oſalt ſoojuſeks, oſalt walguſeks. Soojus ja walgus ei ole ained. Nendele ja mitmele teiſele nähtuſele on ühine wõõrakeelne nimi antud — energia. See nimi on Greeka keeleſt wõetud ja tähendab ſeal umbes ſeda, mis Eesti keeles jõud tähendab. Inimeſel ja loomal on jõud. Et ſoojuſt jõuuks wõib nimetada, ſee ſelgub küll ſelleſt, et ſoojendamisega wabrikute masinad ja raudtee rongid liikuma pandakse, aga et walgus ka jõud on, see ei ole mitte nii silmanähtaw. Siiski leiame ligema järelekatsumise läbi, et walgust tõeste niisama hästi wõib jõuuks nimetada kui soojustki.

Walgus on üks jõud, soojus on teine jõud. Aga palju tuttawam on meile tuule jõud ja ülestõstetud kiwi jõud wõi ülessulutud wee jõud. Tuul paneb tuuleweskid käima, ülestõstetud kiwi wõib langedes wäikest masinat käima panna ja ülessulutud wesi paneb wesiweskid käima. Tuul on liikuw õhk. Sellepärast nimetatakse ka tuule jõudu liikumise jõuuks. Seda jõudu, mis ülestõstetud kiwil wõi ülessulutud weel on, nimetatakse raskuse jõuuks. Nii wõib palju teisi jõudusid üles lugeda.

Igas nähtuses leiame meie mõnda jõudu. Nii on weepiisa langemise juures weepiisal liikumise jõudu, raskuse jõudu ja ka soojust (kuigi wihmapiisad harilikult jahedad on, on nendel siiski, nagu ligem järelekatsumine näitab, weel rohkeste soojust sees). Jõuud on üks liik lihtsamaid nähtusi. Aga jõuud ise wõiwad weel lihtsamad wõi keerulisemad olla. Nii on inimese wõi looma jõud keerulisem nähtus, sest ta on paljudest teistest jõududest koos. Ka walgus on wist keerulisem nähtus kui soojus, sest siiamaalsed katsed tahawad näidata, et ta paarist lihtsamast jõuust koos on. Aga soojust, liikumise jõudu, raskuse jõudu ja hulgakest teisi jõudusi peab siiamaani kõige lihtsamateks jõududeks lugema, sest ühtegi nende seast ei ole teisteks lahutada saadud.

Ei saa mitte ühe lausega ütelda, mida jõuuks nimetatakse. Jõuust kõneldakse seal, kus töötegemist näha on. Sellepärast on wahel jõudu tööwõimuks nimetatud, aga jõud ei ole mitte weel tööwõim. Kusagil kohal wõi mõnes kehas wõib palju jõudu olla, aga tööd ei saa see jõud teha. Nii on igal kehal meie ümber palju liikumise jõudu, sest maakera keerleb oma telje ümber ja selle tagajärjel liiguwad kõik kehad kiireste lääne poolt ida poole. Meie ei näe seda liikumist sellepärast, et meie ise ühes liigume. Aga seda liikumise jõudu ei saa meie mitte tööd tegema panna, nagu meie tuule liikumise jõuu oleme tuuleweskit ümber ajama pannud. — Meie ümber õhu sees on wäga palju soojust — ka talwel külma ilmaga, aga meie ei saa seda soojust mitte nii tööle panna, kuidas aurumasina ahju soojuse tööle paneme.

Meie näeme jõuu muutumist: ühes kohas näib jõud kahanewat, teises kohas juurde tulewat. Jõudu saab mõõta. Alati siis, kui jõudu tema muutumise juures on mõõdetud, ei ole ühtegi jõudu jäljeta kadunud, ega iseenesest tekkinud, waid kui ühte jõudu kusagil wähemaks on jäänud, ſiis on otſe ſelle wõrra kuſagil kas ſedaſama wõi mõnda teiſt jõudu juurde tulnud. Aurumaſina ahjus tekkib ſoojuſt. See ſoojus tekkib nii nimetatud keemia jõuuſt, mis ſütes wõi puudes on ja mida otſe ſelle wõrra wäheneb, kui palju ſoojuſt ſüte wõi puude põlemiſe juures tekkib. Aurumaſina ahju ſoojus teeb tööd ja kaob, aga ſee töötegemine ſeiſabki ſelles, et ſoojus liikumiſe jõuuks muutub: otſe ſelle wõrra kui aurumaſina ahjus ſoojuſt kaob, otſe ſelle wõrra tuleb rehepekſu maſinas, wabriku maſinates wõi raudtee rongis, mida aurumaſin liikuma paneb, liikumiſe jõudu juurde. — Ülespoole wiſatud kiwi kaotab oma liikumiſe jõudu, aga otſe ſelle wõrra tuleb temasſe raskuſe jõudu juurde. Kui kiwi kõige kõrgemale on jõudnud, ſiis on kõik liikumiſe jõud raskuſe jõuuks muutunud. Siis hakkab kiwi tagaſi alla langema ja tema raskuſe jõud läheb tagaſi liikumiſe jõuuks. — Jõud ei kao, ega tekki, waid läheb ainult üheſt kehaſt teiſe wõi muutub teiſeks jõuuks. Seda öeldakſe lühedalt nii: **jõud on jäädaw.**

7. **Muutuſed.** Pea igas nähtuſes leiame kehaſid, aineid ja jõuduſid, aga pea igas nähtuſes leiame ka muutuſi. Langewa wihmapiiſa juures m u u t u b tema kaugus maapinnalt: ühel ſilmapilgul oli ta otſe meie akna kohal, teiſel ſilmapilgul on ta juba allpool akent — maapinnale hästi ligemal. Ka üleswiſatud kiwi juures m u u t u b tema kaugus maapinnalt. Aga ſiin tuleb ſeda kauguſt ſeni juurde, kuni kiwi kõrgemale tõuſeb. Päraſt hakkab kiwi kaugus maapinnalt niiſama muutuma kui wihmapiiſa kaugus: kiwi hakkab langema — maapinnale ligimema. Peale ſelle muutuſe leiame üleswiſatud kiwi juures weel teiſi muutuſi. Kiwi tõusmiſe ajal k a o b tema liikumiſe jõudu ja i l m u b ſelle aſemel raskuſe jõudu. Kiwi langemiſe ajal k a o b tema raskuſe jõudu ja i l m u b ſelle aſemel liikumiſe jõudu. Kui kiwi maha langeb, ſiis k a o t a b ta wastu maad põrgates oma liikumiſe jõuu, aga ſelle aſemel i l m u b ſoojuſt: kiwi ja ſee koht, mille wastu ta põrkas, lähewad natuke ſoojaks. Wihma ajal k a o b wett pilwedeſt, aga ſelle aſemel i l m u b teda maapinnal. — Iſeäraliſt muutuſt näeme jões, kus weſi ühetaſaſelt w o o l a b. Kui meie ſeal jões ühte kohta ſilmas peame, ſiis näeme, et weſi a l a t a ſ a ſealt kohalt k a o b ja niiſama a l a t a ſ a uus weſi aſemele i l m u b.

Muutuſed on lihtſamad nähtuſed. Otſatu palju on iſeäralikka muutuſi, aga nad kõik on kolme liiki lihtſamateſt muutusteſt koos. Need kolm liiki lihtſamaid muutuſi on: k a d u m i n e, i l m u m i n e ja w o o l. Nendeſt lihtſamateſt muutusteſt on weel kadumine ja ilmumine lihtſamad, kuna wool alataſane kadumine ja ilmumine on. — Wäga keeruline muutus on inimeſe elamine; ta on wäga paljudeſt iſeäralisteſt kadumisteſt, ilmumisteſt ja wooludeſt koos.

Kadumiſed, ilmumiſed ja woolud wõiwad olla kas kehade, ainete wõi jõudude omad, wõi weel mõned muud. Üleswiſatud kiwi juures näeme jõudude kadumiſt ja ilmumiſt; wihma ajal näeme pilwedes aine — wee — kadumiſt ja maapinnal ſelleſama aine ilmumiſt; jões näeme wee woolu; ſelles ruumis, mis päikeſe ja meie wahel on, näeme walguſe woolu: walgus woolab päikeſeſt meie juurde; telegrafi traadis leiame elektri woolu jne. Langewa wihmapiiſa ja maapinna wahel kaob kaugus; niiſama kaob kaugus ka langewa kiwi ja maapinna wahel. Siin ei kao keha, ega ainet, ega jõudu, waid midagi muud — kauguſt.

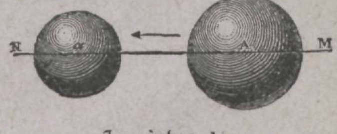
8. **Tungid.** Wiimane tähtſam liik lihtſamaid nähtuſi on tungid. Kui meie oma elu järele nähtuſi hindame, ſiis on tungid kõige tähtſamad nähtuſed. Meie elule on nimelt muutuſed tähtſad: meile on tarwis, et taimed ja loomad kaswawad; meile on tarwis, et terad jahuks muutuwad; meile on tarwis, et puud ſöeks ja tuhaks muutuwad ja ſelle juures meil ſupi keema panewad wõi toa ſoojaks teewad, jne. Meile on muutuſi tarwis, aga muutuſi toowad alles *tungid*. Wäga paljuid muutuſi nimetame meie tööks. Töö on meile tarwilik ja tööks kulub jõudu, aga jõud iſe ei ole weel mitte tööwõim [6]. Selleks, et jõud tööd teeks, on weel *tungi* tarwis. Kui meie niiſuguſt keeruliſt jõudugi tähele paneme kui inimeſe jõud, ſiis näeme, et mitte iga inimene ſelle wõrra rohkem tööd ei tee, mille wõrra tal jõudu rohkem on. Inimeſel wõib jõudu tööks olla, aga ta ei *taha* tööd teha. Inimeſe jõuu juures on *tahtmine* ſee *tung*, mis jõuu alles tööle paneb. Tahtmine on niiſama wäga keeruline tung, kuidas inimeſe jõud wäga keeruline jõud on ja inimeſe elu wäga keeruline muutus.

On otſatu palju iſeäralikka tungiſid, aga ſuurem oſa neiſt tungideſt on meie praeguſe teadmiſe järele kümneſt kõige lihtſamaſt tungiſt koos. Need *kümme kõige lihtſamat tungi on*: a) *liikumiſe tung*; b) *raskuſe tung*; c) *ſoojuſe tung*; d) *kehapõnewus*; e) *pinnapõnewus*; f) *ſeganemiſe tung*; g) *aine muutumiſe tung*; h) *aine teiſenemiſe tung*; i) *magnedi tung*, ja j) *elektri tung*. Wõib muidugi olla, et tulewikus nendele kümnele kõige lihtſamale tungile weel mõni juurde leitakſe. Niiſama wõib ka olla, et mõni nendeſt tungideſt leitakſe teisteſt koos olewat. Niiſugune tung tuleks ſiis kõige lihtſamate tungide ſeaſt wälja heita ja kõige lihtſamate tungide arw jääks ſiis wähemaks. Praegu on need kümme lihtſamat tungi meile kõige lihtſamad.

Pea iga tungi juures wõib kõneleda lihttungiſt, ſiis weel kogutungiſt ja tungi waheſt. Mida nimetame meie lihttungiks, mida kogutungiks ja mida tungi waheks, kõik ſee ſaab meile ſelgemaks, kui meie need kümme lihtſamat tungi ükſikult üle waatame.

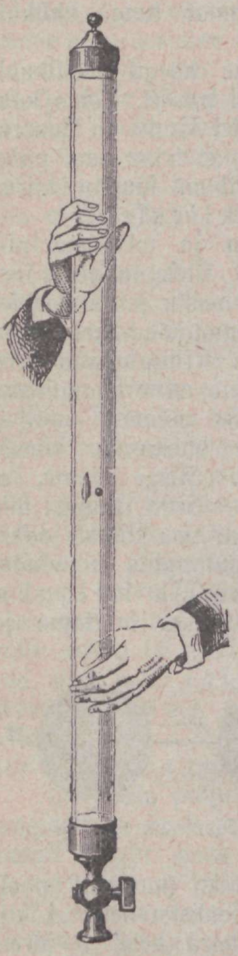
a) L i i k u m i ſ e t u n g. Wiskame käega püsſikuuli jooksma ja laſeme teiſe niiſamaſuguſe kuuli püsſiſt. Teine kuul jookſeb palju tungiwamalt kui eſimene, teiſel kuulil on ſuurem tung kui eſimeſel. Aga harilikult öeldakſe, et teine kuul palju kiiremalt jookſeb kui eſimene, teiſel kuulil on ſuurem kiirus kui eſimeſel. Liikumiſe tungi nimetatakſe k i i r u ſ e k s.

Wiskame ühe haawlitera wastu pihku ja wiskame niiſama kiirelt mitu haawlitera wastu pihku. Meie tunneme ſiis, et mitu haawlitera palju ſuurema tungiga wastu pihku jookſewad kui üks haawlitera, mitu haawlitera annawad meie peole palju ſuurema hoobi kui üks haawlitera. Ühte haawlitera wõib julgesti wastu aknaklaaſi wiſata, kuna mitu haawlitera, niiſama kiirelt wiſatud, aknaklaaſi purustada wõiwad. — Ühel haawliteral ja mitmel haawliteral ütleſime üheſuuruſe kiiruſe olewat; nendel on ſiis lihttung üheſuurune. Siisgi leiame, et mitmel haawliteral kokku ſuurem tung on. Seda tungi, mis mitmel haawliteral kokku ſuurem on kui niiſama kiiresti jookswal ühel haawliteral, wõime liikumiſe kogutungiks nimetada. Liikumiſe kogutungi nimetatakſe ka l i i k u m i ſ e h u l g a k s. Kui meie mitu haawlitera kokku üheks kuuliks ſulatame ja ſeda kuuli niiſama kiiresti wiskame kui enne haawliteri, ſiis annab kuul meie pihku wastu niiſama ſuure hoobi kui enne mitu haawlitera koos. Sellel kuulil on ſiis ka ſelleſama kiiruſe juures liikumiſe hulk ſuurem kui ühel haawliteral.



Joonistus 1.

Olgu meil kaks keha [4] A ja a, mis paremalt poolt pahemale poole jookſewad (joonistus 1). Jooksku keha A kiiremalt kui keha a. Keha A jõuab ſiis kord keha a järele ja lükkab teda ka kiiremalt jooksma. Kui teine kord keha a kehaſt A kiiremalt jookſeb, ſiis tõmbab ta ka keha A kiiremale jookſule, kui meie need kaks keha mõne ſidemega ühendame. Kui aga mõlemad kehad üheſuguſe kiiruſega jookſewad, ſiis ei ſaa üks teiſe jookſu muuta. Eſimeſel ja teiſel puhul oli nende kahe keha juures liikumiſe tungi wahe: eſimeſel puhul oli kehal A liikumiſe tung ehk kiirus keha a omaſt ſuurem, teiſel puhul oli kehal a liikumiſe tung ehk kiirus keha A omaſt ſuurem. Kolmandal puhul ei olnud nende kahe keha juures liikumiſe tungi wahet: mõlema liikumiſe tung ehk kiirus oli üheſuurune. Meie näeme, et ainult ſiis wõib üks keha liikumiſe tungi läbi teiſe liikumiſt muuta, kui nende kahe keha juures liikumiſe tungi wahe on.



Joonistus 2.

b) Raskuſe tung. Meie teame, et enamiste kõik kehad maa poole tungiwad, nad tungiwad langema. Selle juures langewad ühed kehad (haawliterad) kiiremalt kui teiſed (uduſuled). Aga niiſugune wahe langemiſe kiiruſe wahel tuleb ſelleſt, et õhk langemiſt takistab. Kui meie klaastoruſt õhu wälja pumpame, ſiis langewad ſeal tühjas torus uduſulg ja haawlitera üheſuguſe kiiruſega (joon. 2). Seda kehade tungi maa poole nimetatakſe raskuſe tungiks. Kui meie ſeda tungi ſelle pooleſt tähele paneme, kui kiireste ſee tung kehad langema paneb, ſiis nimetame teda raskuſe lihttungiks ehk raskuſe kiirestuſeks. Raskuſe lihttung ehk raskuſe kiirestus on tühjas ruumis kõigil kehadel üheſuurune, aga nimelt ühel ja ſellel ſamal kohal: ekwatori peal on raskuſe kiirestus wähem, kui meie juures, poluste peal ſuurem kui meie juures ja kõrgel pilwede all wähem kui ſiin maapinnal. Ekwatori peal ja kõrgel pilwede all langewad kehad aeglaſemalt kui meie juures maapinnal, aga poluste peal langewad nad kiiremalt. On wahe raskuſe tungi ja raskuſe jõuu wahel: mida kõrgemal üks keha on, ſeda rohkem on tal raskuſe jõudu [6] (ſeda kauemat aega wõib ta oma langemiſega mõnda maſinat ümber ajada), aga ſeda wähem on tema raskuſe tung.

Üks haawlitera langeb raskuſe tungi mõjul tühjas ruumis niiſama kiireste kui mitu haawlitera koos. Kui meie aga ühte haawlitera peo peal hoiame ja mitut haawlitera, ſiis tunneme, et mitmel haawliteral koos suurem tung on maa poole kui ühel haawliteral. Seda tungi, mida meie nii mitme haawlitera juures suurema leiame kui ühe haawlitera juures, nimetame raskuse kogutungiks wõi lihtsalt r a s k u s e k s. Mitme haawlitera raskus on suurem kui ühe haawlitera raskus.

Kehade langemine tuleb raskuse tungist. Raskuse tung ise on muutuse sünnitaja. Aga mitte alati ei saa raskuse tung ise muutust sünnitada. Kui meie kaalu kaussíde peale üheraskused kehad paneme, siis jääwad kaalu kausid oma kohale seisma. Kaalu peale pandud kehadel on raskuse tung, aga muutust ei sünni, sest mõlemal kehal on ühesuurune tung. Aga kui meie ühe kaalu kausi peale raskema keha paneme ja teise peale kergema, siis ilmub muutus: kaal hakkab raskema keha poolt alla wajuma. Esimesel puhul ei olnud kaalu peale pandud kehadel raskuse wahet, teisel puhul oli raskuse wahe: üks keha oli teisest raskem. Nii näeme, et kaalu juures nimelt r a s k u s e w a h e muutust sünnitab.

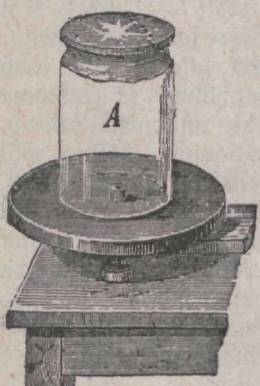
c) S o o j u s e t u n g. Paneme ühe keha, näituseks ukse wõtme, sooja ahju külge. See keha — wõti — läheb seal soojaks. Niisama läheb sooja ahju küljes ka iga teine keha, näituseks klaas wett, soojaks. — Olgu meil talwel toas laua peal klaas wett. Toome wäljast külma wõtme ja pistame klaasi wee sisse. Wõti läheb seal soojemaks, aga wesi jahtub. — Meie ütleme selle kohta, et ahjust läks soojust wõtme wõi wee sisse ja wee seest läks soojust wõtme sisse. Meie näeme, et ikka soojus soojemast kehast külmemasse t u n g i b, kui need kehad kokku puutuwad. Kui külm ka üks keha on, temast tungib weel soojust wälja, kui meie tema külge weel külmema keha paneme: see külmem keha läheb soojemaks kui ta oli. Nii leiame igas kehas soojuse tungi. Seda soojuse tungi nimetatakse ka t e m p e r a t u r i k s. Soojemaks nimetame meie seda keha, millel suurem soojuse tung on.

Igas kehas on soojuse tung, aga soojuse üleminekut ühest kehast teise leiame ainult seal, kus s o o j u s e t u n g i d e w a h e on, kus üks keha teisest soojem on.

d) K e h a p õ n e w u s. Kokkupigistatud wedrus näeme laienemise tungi ja wäljawenitatud kummis kokkutõmbamise tungi. Neid kahte tungi nimetatakse kehapõnewuseks, sest kokkupigistatud wedru on põnewil ja wäljawenitatud kumm on ka põnewil. Kummis ja wedrus on kehapõnewus siis, kui meie nad oleme kokku pigistanud wõi wälja wenitanud. Ka toobi täit wett, petroleumi, alkoholi ja teisi wedelaid kehasid wõib kokku pigistada, ja siis tungiwad nad tagasi laienema, siis on nendes kehapõnewus.

On üks liik kehaſid, millel ühtewiiſi laienemiſe tung on. Neid kehaſid nimetatakſe gaaſilisteks kehadeks ehk gaaſideks. Selterſi pudelis näeme ſelterſi wett, mis pudelit mitte korgini täis ei täida. Wee peal on nähtawasti tühi ruum. Aga ſee ruum ei ole mitte tühi, waid gaaſiga täidetud. Meie näeme ju, et ſelterſi pudeli kork pudeli kaelaſt wälja tungib. Kork ei tungi iſe, waid teda lükkab ſee gaas, mis ſeal korgi all nähtawalt tühjas ruumis kokkupigistatud on. See gaas tungib laienema. — Meil on ſelterſi pudeli juures õieti kolm keha: pudel ühes korgiga on *kindel keha*; ſelterſi weſi pudelis on *wedel keha* ja gaas wee ja korgi waheliſes ruumis on *gaaſiline keha*. Sellel gaaſiliſel kehal on ſeal ſuur kehapõnewus.

Kui ſelterſi pudeli kork kergesti pudeli kaelas edaſi libiſeda ſaab, ſiis lükkab põnewil olew gaas tema kohe ſealt wälja. Korgi wäljatulekut ſaaks ſelle läbi takistada, et tema peale mõni raskus pandakſe. Selle raskuſe ſuuruſega, mis korki parajaste peal hoiab, wõib gaaſi laienemiſe tungi wõrrelda: mida ſuurem gaaſi laienemiſe tung on, ſeda ſuurem raskus kulub korgi hoidmiſeks.

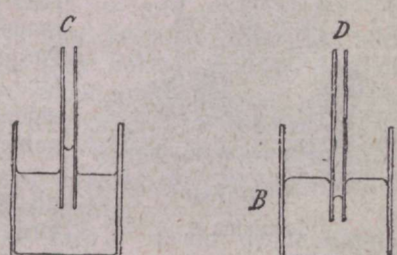


Joonistus 3.

Meie ümber olew ruum on ka gaaſiga täidetud, mida meie *õhuks* nimetame. See gaas tungib laienema, aga tema oma raskus takistab ſeda laienemiſt: raskuſe mõjul tungiwad kõik õhu oſad maa poole; ſelle juures pigistawad ülemiſed oſad oma raskuſega maa ligi olewat õhku kokku. Meie ümber on õhk hästi põnewil. — Olgu meil laia kaelaga pudel A (joon. 3). Seome ſelle pudeli kaela põiega kinni. Pudeli ſees on õhk niiſama põnewil kui wäljas. Olgugi et õhul pudeli ſees ja wäljas hästi ſuur laienemiſe tung on, ſiiski ei ilmu ſiin muutuſt. Aga kui meie pudeliſt ühe toru läbi, mis pudeli põhjaſt on läbi pandud, oſa õhku wälja pumpame, ſiis jääb pudeli ſees õhu põnewus wähemaks. Meie näeme ſiis, kuidas wäljaſt õhk põit ſiſſepoole wajutab. Põis wõib wiimaks wälimiſe õhu rõhumiſe all katki rebeneda, nagu meie joonistuſe peal näha on. Siin ſündis muutus, aga ſee muutus ſündis alles ſiis, kui õhu laienemiſe tung pudeli ſees wähemaks oli tehtud, — ſiis kui wälimiſe ja ſiſemiſe tungi wahel wahe oli. *Tungi wahe* alles tõi muutuſt.

e) P i n n a p õ n e w u s. Kindlate ja wedelate kehade juures leiame, et nad otſe pinna lähedal teiſt laadi on kui ſeeſtpoolt; nad on nagu iſeäraliſe koorega kaetud. See kehade koor tungib alataſa koomale, nii et keha pind wähemaks ſaaks. Seda tungi wõime pinna wähenemiſe tungiks wõi p i n n a - p õ n e w u ſ e k s nimetada. Pinnapõnewuſt näeme iſeäranis ſelgeste wedelikkude juures. Iga wedeliku piiſk püüab endale kera kuju wõtta, kui ta mitte teiste kehadega kokku ei puutu wõi nendega wähe kokku puutub. Nii on kastetilgad kõige peenemate rohutippude otſas päris kerakujuliſed. Kerakujuliſeks tungib kastetilk ſellepäraſt, et tema pind wähenema tungib, ſeſt kerakujuliſelt ongi ühel kehal kõige wähem pind.

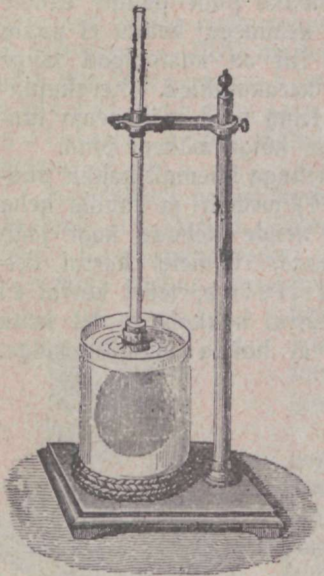
Kui wedel keha mõne kindla kehaga laiemalt kokku puutub, ſiis wõib kaks juhtumiſt olla: 1) wedela ja kindla keha wahel kaob nende koor ära wõi 2) nende kehade koor jääb ka ſeal alale, kus nad kokku puutuwad. Eſimeſel korral öeldakſe, et wedel keha kindlat keha n i i ſ u t a b, teiſel korral e i n i i ſ u t a ta teda mitte. Eſimeſel korral hakkab wedel keha kindlale kehale külge, teiſel korral ei hakka ta mitte külge. Eſimeſel korral ühineb wedela keha pind kindla keha pinnaga ja nende ühine pind tungib wähenema, teiſel korral ei ühine mitte wedela keha pind kindla keha omaga ja wedela keha pind tungib iſeſeiswalt wähenema. Weſi niiſutab klaaſi, aga elaw hõbe ei niiſuta mitte klaaſi. Joonistus 4. peal on kriipſudega kaks klaaſi ära tähendatud: klaas A ja klaas B. Klaaſis A on weſi, klaaſis B elawhõbe. Mõlema wedeliku ſiſſe on peenikeſed klaastorud C ja D pistetud. Wedeliku raskuſe mõjul peaks wedelik klaaſis ja torus ühekõrguſel ſeisma, aga weſi ſeiſab torus kõrgemal kui klaaſis ja elawhõbe madalamal. See tuleb pinna wähenemiſe tungiſt. Toru C ſees ühineb wee pind toru ſeesmiſe pinnaga üheks kotikeſeks, mille ſuuks toru ülemine ots on ja põhjaks wee pind toru ſees. See kotike tungib lühenema ja tõmbab oma põhja ülespoole, kuni ülestõstetud wee raskus kotikeſe lühenemiſe tungiga üheſuuruſeks ſaab. Toru D ſees ei ühine mitte elawhõbeda pind klaaſi pinnaga. Seal on elawhõbeda pind ükſi kotikeſe ſarnane, millel põhi ülewal ja ſuu allpool on. See kotikene tungib



Joonistus 4.

lühenema ja tõmbab oma põhjaga elawhõbedat torus alla. Seesama pinna wähenemise tung on ka wee serwad klaasis *A* ülespoole tõmmanud ja elawhõbeda serwad klaasis *B* allapoole wajutanud.

f) S e g a n e m i s e t u n g. Kui meie klaasi wee sisse piima walame, siis wajub piim esiotsa suuremalt osalt klaasi põhja, aga aegamööda seganeb piim täieste weega, nii et klaasis ühtlane walkjas wedelik saab. Piimal on tung weega seganeda. Meie wõime seda tungi näha ja teda raskuse tungiga wõrrelda. Joonistus 5. peal näeme meie klaasi weega. Wee sisse on klaastoru pistetud, mille alumisesse otsa pergamendipaberist kotike on seotud. Läbi klaastoru on kotikese sisse piima walatud. Kui piim toru alumisest otsast wabalt wälja pääseks, siis seisaks ta oma raskuse mõjul torus madalamal kui ümberolew wesi. Pergamendipaberist pääseb ka piim läbi, aga sealt pääseb ta alles aegamööda. Wesi pääseb pergamendipaberist kiiremine läbi kui piim.



Joonistus 5.

Piimaga täidetud kotike pandi nii klaasi wee sisse, et piim klaastorus parajaste niisama kõrgele ulatas kui wesi wäljaspool klaastoru. Aga nüüd näeme, et wedelik klaastorus kõrgemale on tõusnud. Wesi tungis piimaga seganema ja piim weega. Et aga piim pergamendipaberist küllalt kiireste läbi ei pääsenud, siis pigistas wesi piima sisse tungides piima toru mööda ülespoole. Seganemise tung on wedelikku klaastorus raskuse tungi wastu üles tõstnud. Mida kõrgemale wedelik on torus tõusnud, seda suurem pidi seganemise tung olema.

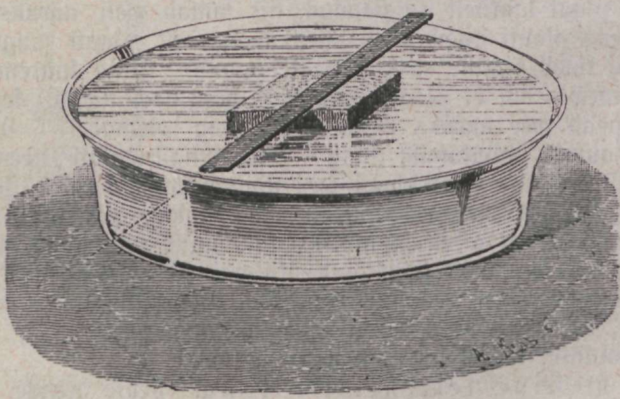
g) A i n e m u u t u m i s e t u n g. Wesi muutub kindlaks kehaks, kui ta küllalt jahtunud on. Meie nimetame wett kindlas olekus jääks. Wesi muutub gaasiks — keeb ära — kui ta küllalt kuumaks on aetud. Meie nimetame wett gaasilises olekus auruks. Aur muutub tagasi weeks, kui teda ühel kohal palju koos on ja kui ta küllalt külmaks on jahtunud. Seda näeme seal, kus udu, pilw wõi kaste tekkib. Jää sulab weeks, kui ta küllalt soojaks on tehtud. — Kuidas wee juures näeme *aine muutumiſt kindlaſt olekuſt wedelasſe ja gaaſiliſesſe olekusſe* ja ka tagaſi gaaſiliſeſt olekuſt wedelasſe ja kindlasſe olekusſe, nii näeme ſeda ka teiste ainete juures. Tina läheb wedelaks, kui ta küllalt kuumaks on aetud, ja kui meie wedelat tina weel kuumemaks ajame, ſiis hakkab ta wiimaks keema — muutub tina auruks. Neid muutuſi nimetamegi lihtſalt aine muutumisteks. Ainel on tung üheſt olekuſt teiſe muutuda. Seda tungi nimetame *aine muutumiſe tungiks.* Meie wõime ſeda tungi näha ja teda raskuſe tungiga wõrrelda. Aurumaſinate juures on katel, mis pealt täieste kinni on kaetud. Kui ſee katel wett peaaegu täis on ja meie teda küllalt kütame, ſiis tungib weſi auruks muutuma ja ſee tung wõib katelt lõhki kiskuda. Kui katla kaanes auk on, mille katteks mõni plaat lahtiſelt on pandud, ſiis püüab weſi auruks tungides ſeda plaati augu pealt üles tõsta. Et plaati augu peal hoida, tuleb temale raskuſt peale panna. Mida ſuuremat raskuſt tarwis on, et plaati parajaste augu peal hoida, ſeda ſuurem peab wee auruks muutumiſe tung olema. — Weel on alati auruks muutumiſe tung — ta tungib alati keema. Et weſi ſiiski laua peal klaaſi ſees ilma keemiſeta ſeiſab, ſee tuleb ſelleſt, et õhk oma rõhumiſega teda kokku pigistab. Küllalt kuumaks aetud weel on auruks muutumiſe tung juba nii ſuur, et ta õhu rõhumiſeſt jagu ſaab. Külmal weel on auruks muutumiſe tung wäike, aga kui meie õhu rõhumiſt küllalt wähendame, ſiis hakkab ka külm weſi keema, ſee on: ta hakkab auruwulliſid ſuurel mõõdul wälja ajama.

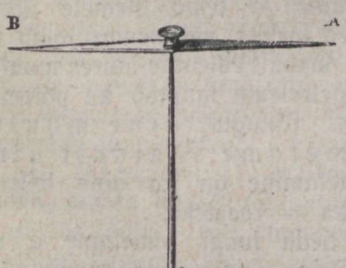
h) *Aine teiſenemiſe tung.* Peale nende muutumiste, mida meie lihtſalt aine muutumisteks nimetame, näeme ainete juures weel teiſtſuguſeid muutumiſi. Nende teiſtſuguste muutumiste juures kaob üks aine ja tema aſemele ilmub koguni teiſtſugune aine. Puu põleb ſöeks; petroleumi wõib nii põletada, et temaſt palju tahma ſaab. Põlemiſe juures muutub puu teiſeks aineks — ſöeks, ja petroleum muutub ka põlemiſe juures teiſeks aineks — tahmaks. Niiſuguſt *aine muutumiſt teiſeks aineks* nimetame lühidalt *aine teiſenemiſeks.* Raua roostetamine on ka aine teiſenemine: raud muutub teiſeks aineks — roosteks.

Ainel on tung teiſeneda. Seda tungi nimetame *aine teiſenemiſe tungiks.* Meie wõime ſeda tungi näha ja teda liikumiſe tungiga wõrrelda. Puu tungib põlema, kui ta küllalt kuumaks on aetud. Niiſama tungib põlema ka petroleum ja iſeäranis püsſirohi. Püsſis wõi ſuurtükis ſüüdetakſe püsſirohi põlema. Ta tungib ſiis teiſeks aineks muutuma ja wiskab ſelle juures püsſiſt wõi ſuurtükiſt kuuli ſuure hooga wälja. Mida ſuurem liikumiſe tung kuulil on, ſeda ſuurem pidi püsſirohu teiſenemiſe tung olema.

i) Magnedi tung. Iga teraſetükki wõib nii muuta, et ligidal olewad rauatükikeſed tema otſade poole tungima hakkawad. Joonistus 6. peal näeme niiſuguſt teraſetükki. Ta on wiilipuru ſiſſe pandud ja ſeal on rauakibemekeſed tema otſade külge nii tunginud, kuidas joonistuſe peal näha on. Seda teraſetükki nimetatakſe terasmagnediks. Rauatükikeste tungi magnedi otſade poole nimetatakſe magnedi tungiks. — Magnedi otſad ei ole mitte täieste üheſuguſed. Kui magnet ujuwa puutüki peale on pandud (joon. 7) wõi terawa nõela otſa ſeatud (joon. 8), ſiis keerab ta ikka ühe otſa põhja poole ja teiſe otſa lõuna poole. Eſimeſt

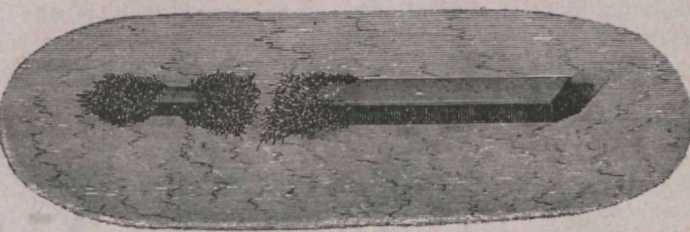

Joonistus 6.


Joonistus 7.



Joonistus 8.

otſa nimetatakſe *põhja otſaks*, teiſt *lõuna otſaks*. Iga magnedi *põhja ots tungib teiſe magnedi lõuna otſa poole* ja niiſama ka lõuna ots põhja otſa poole. See ongi ſee *päris magnedi tung*. Rauatükikeſed tungiwad magnedi otſade poole ſellepäraſt, et nad mag-

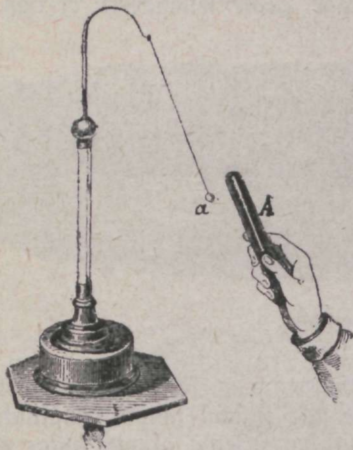


Joonistus 9.

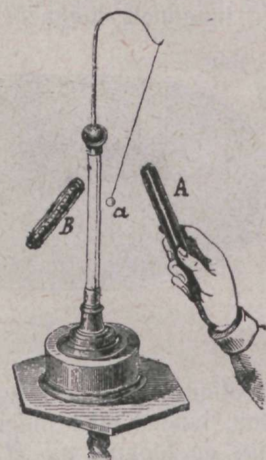
nedi otſade ligidal iſe ka magnediteks ſaawad. Joonistus 9. näitab, kuidas pika magnedi otſa ligidal lühike rauatükk magnediks on ſaanud, nii et wiilipuru tema otſade külge tungib.

j) *Elektri tung*. Iga keha wõib nii muuta, et ligidal olewad kerged kehakeſed tema poole tungima hakkawad. Klaaſitükki ſaab willaſe riidega hõõrudes nii muuta. Joonistus 10. peal näeme willaſe riidega hõõrutud klaaſitükki A. Meie näeme, kuidas nüüd ſiidiniidi otſas rippuw wäike kerge kehake a klaaſi poole tungib. Harilikult ei tungi kerged kehad mitte klaaſi poole. Nüüd on ſiis klaas iſeäraliſes olekus. Seda klaaſi iſeäraliſt olekut nimetatakſe *elektri olekuks*: willaſe riidega hõõrutud klaas on *elektrine*. Kergete kehakeste tungi elektriſe keha poole nimetatakſe *elektri tungiks*. Kui kehake a (joon. 10) klaaſi A külge on tunginud, ſiis hakkab ta warsti klaaſiſt A eemale tungima, nagu joonistus 11. peal näeme. Ka ſeda eemaletungi nimetatakſe elektri tungiks. Ligem järelekatſumine näitab, et kehake a keha A külge puutudes iſe elektriſeks on ſaanud. Elektrine kehake a tungib ſiis elektriſeſt kehaſt A eemale, kuna teiſed kerged kehakeſed keha A poole tungiwad. — Kui meie waigutükki willaſe riidega hõõrume, ſiis ſaab ſee ka elektriſeks: kerged kehakeſed tungiwad tema poole ja kui nad temaga kokku on puutunud, ſiis hakkawad nad temaſt eemale tungima. Aga kui meie elektriſe waigutüki B (joon. 11) ſelle kehakeſe a ligidale wiime, mis klaaſi A-ga kokku puutudes elektriſeks on ſaanud, ſiis tungib kehake a iſeäranis ſuure hooga waigutüki B poole. Waigu elektri olek on iſeſugune ja klaaſi elektri olek jälle iſeſugune:

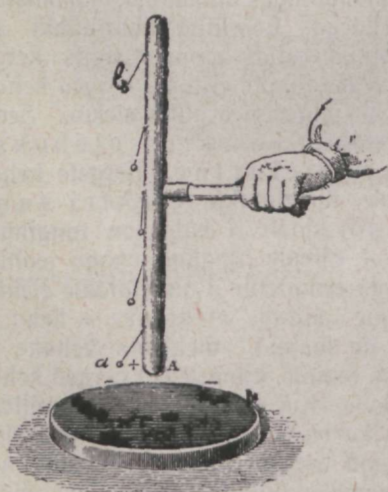
elektrine kehake *a* tungib elektriſeſt klaaſiſt *A* eemale ja elektriſe waigu *B* poole. Klaaſi elektri olekut nimetatakſe poſitiwſeks elektri olekuks ja tähendatakſe märgiga „+“, aga



Joonistus 10.



Joonistus 11.



Joonistus 12.

waigu elektri olekut negatiwſeks ja tähendatakſe märgiga „—“. Kehake *a* on klaaſiga kokku puutudes ka poſitiwſelt elektriſeks ſaanud. Kui ta waigutüki *B*-ga oleks kokku puutunud, ſiis oleks ta negatiwſelt elektriſeks ſaanud ja tungiks waiguſt *B* eemale ja klaaſi *A* poole. Iga elektrine keha tungib ſelleſt kehaſt eemale, mis ſedaſama laadi elektrine on ja ſelle keha poole, mis teiſtlaadi elektrine on. See ongi ſee päris elektri tung. Kerged kehad tungiwad elektriſe keha poole ſellepäraſt, et nad elektriſe keha ligidal iſe ka elektriſeks ſaawad. Joonistus 12. näitab, kuidas elektriſe ratta *M* ligidal keha *AB* elektriſeks on ſaanud, nii et tema küljes ſiidi niitide otſas rippuwad kuulikeſed a ja b temaſt eemale taganewad, kuna nad kehaga AB kokku puutudes temaga ühtlaadi elektriſeks on ſaanud. — Kui kehake a (joon. 10) keha A-ga kokku puutub, ſiis tungib oſa elektri olekut keha A ſeeſt kehakeſe a ſisſe. Keha A elektri olek wäheneb ſelle juures. Siin näeme meie elektri oleku tungi üheſt kehaſt teiſe. Ligem järelekatſumine näitab, et ſee ſeeſama elektri tung on, milleſt eespool on kõneldud: *elektri olekul on tung ſealt kohaſt laiale minna kus ta on; ſee laialeminek wõib ſündida kas ſellel teel, et mõni keha ſealt eemale tungib ja elektri olekut kaaſa wiib, wõi ſellel teel, et elektri olek iſe ſealt kohalt ära teiſe kohta tungib.*

III. Teadus.

9. Teadus. Füüſik on lihtſamate nähtuste teadus. Millegi asja teaduſeks nimetatakſe nende teadmiste kogu, mis ſelle asja kohta käiwad. Aga mitte iga teadmiste kogu ei nimetata weel teaduſeks. Teaduſeks hakatakſe ühte teadmiste kogu alles ſiis nimetama, kui kokkukogutud teadmiſed 1) wõimalikult täielikud on, ja kui nad 2) wõimalikult lihtſalt on kokku wõetud. **Teadus on teadmiste kogu, kuhu wõimalikult täielikud teadmiſed wõimalikult lihtſalt on kokku wõetud.** See lühike lauſe ütleb küll ära, mis teadus on, aga ſelle lauſe ſiſu ſaab alles ſiis ſelgemaks, kui meie enam ſelguſt ſelle kohta ſaame, mis on täielikud teadmiſed ja mis on lihtſalt kokkuwõetud teadmiſed.

10. Teadmiſed. Teadmiſi ſaame meie kas ſellel teel, et meie iſe asju tähele paneme, wõi oma tähelepanekute üle järele mõtleme, wõi jälle teiste käeſt ſeda kuuleme, mis nemad on tähele pannud wõi järelemõteldes leidnud. Meie oleme tähele pannud, et enamasti kõik kehad maa poole tungiwad; ſellega *teame* meie, et kehadel on tung maa poole. Paljud tähelepanejad on leidnud, et ſee tung kehadel mitte igal kohal üheſuurune ei ole [8 b]; ſelle järele *teame* meie, et ſee tung ekwatori peal wähem on kui meie juures. Meie ſaame maakera ümber käia ja paneme ſelle juures tähele, et ta kerakujuline on, aga tema läbimõõdu ſuuruſt ei ſaa meie mitte otſekohe tähele panna. Maakera ümbermõõdu leiame 40000 kilometrit olewat. Järelemõteldes tuleme otſuſele, et ſiis maakera läbimõõt 12732 kilometrit peab suur olema. Järelemõtlemise põhjal teame siis ka maakera läbimõõtu.

Kõige esimene teadmine ühe asja kohta on teadmine, et see asi olemas on. Selle olemise teadmisega ühes käib harilikult ka asja nime teadmine. Kui meie ühte asja ligemalt waatame, siis paneme tema osasid tähele. Kui sellel asjal osasid otsekohe näha ei ole, siis püüame seda tähele panna, mille poolest see asi teistest asjadest iseäralik on — meie püüame tähele panna, mis on wahet selle asja ja teiste asjade wahel. Kui meie öösel langewaid tähti tähele paneme, siis ei paista ühe langewa tähe juures meile otsekohe mingisuguseid osasid silma. Aga kahe langewa tähe juures wõime tähele panna, et nende wahel wahet on hiilguse poolest, wärwi poolest, langemise koha poolest, langemise sihi poolest jne. — üks täht wõib suure hiilgusega olla, teine wäikse hiilgusega; üks wõib sinikas olla, teine punakas; üks wõib põhjapoolses taewas ida poole langeda, teine läänepoolses taewas lõuna poole jne. Peale osade ja wahede wõime ühe asja juures weel seda tähele panna, et ta mõnede teiste asjadega ühenduses on. Nii oleme wälgu ja müristamise kohta tähele pannud, et nad üksteisega ühenduses on: wälgule järgneb müristamine ja müristamise eel käib wälk. — Ligem järelkatsumine näitab, et kõik meie teadmised kas asjade olemise ja nime, wõi nende osade ja wahede, wõi ühenduste teadmised on.

Teadmiste kohta wõib siis lühidalt kokkuwõttes ütelda: Teadmised saadakse tähelepanekutest wõi tähelepanekute üle järelemõtlemisest, ja nad on oma sisu poolest kas asjade olemise ja nime, wõi nende osade ja wahede, wõi ühenduste teadmised.

11. Täielikud teadmised. Ühe asja kohta käiwad teadmised oleksiwad täielikud, kui kõik selle asja osad oleksiwad tähele pandud ja niisama ka kõik wahed, mis selle ja teiste asjade wahel on, kui ka kõik ühendused, milles see asi teiste asjadega seisab. Enamasti on asjad nii keerulised, et kõiki nende osasid, wahesid ja ühendusi wõimata on tähele panna. Päris täielikud teadmised on enamasti wõimata, sellepärast peame wõimalikult täielistega teadmistega leppima.

Füsikas paneme lihtsamaid nähtusi ja nende lihtsamaid ühendusi [2] tähele. Nendel nähtustel on wähe osasid ja nende wahed on enamasti suuruste wahed. Wäheseid osasid aab juba kõiki tähele panna ja ſuuruste wahede jaoks on iſeäraliſed tähelepanemiſe ja järelemõtlemiſe wiiſid wälja töötatud, mille kaudu nende kohta wäga täielikka teadmiſi ſaab. Sellepäraſt on füſikas palju wäga täielikka teadmiſi.

See iſeäraline tähelepanemiſe wiis, mille kaudu ſuuruſe wahede kohta wäga täielikka teadmiſi ſaab, on *mõõtmine*, ja ſee iſeäraline järelemõtlemiſe wiis, mille abil meie mõõtmiſeſt ſaadud teadmiſi rohkendame, on *rehkendamine*.

12. Mõõtmine. Mõõta ſaab ainult ſuuruſi.

a) *Suuruſed.* Kui mina Tallinnas elan, kuna üks minu ſõber Wiljandis elab ja teine Walgas, ſiis on wahed minu ja mu ſõprade elukohtade wahel: on wahe Tallinna ja Wiljandi wahel ja teine wahe Tallinna ja Walga wahel. Wõib otſatu palju teiſi ſedaſama laadi waheſid tähele panna, näituſeks waheſid Tallinna, Rakwere, Narwa, Haapſalu jne. wahel. Kõiki neid ühtelaadi waheſid nimetame meie *kaugusteks*. Kui meie kahte kauguſt tähele paneme, ſiis leiame kas 1) ſeda, et need kauguſed täieste üheſuguſed on, wõi jälle 2) ſeda, et üks kaugus ainult teiſe oſaga täieste üheſugune on. Nii on Tallinna Walga ja Tallinna Narwa wahed täieste üheſuguſed ja niiſama ka Tallinna Rakwere ja Tallinna Haapſalu wahed; aga Tallinna Haapſalu wahe on ainult Tallinna Narwa wahe ühe oſaga (Tallinna Rakwere wahega) täieste üheſugune. Täieste üheſuguſeid kauguſi nimetatakſe *üheſuurusteks*; ſeda kauguſt, mis ainult teiſe kauguſe ühe oſaga üheſuurune on, nimetatakſe teiſeſt *wähemaks*, aga teiſt iſe nimetatakſe *ſuuremaks*. Tallinna Haapſalu wahe on wähem, Tallinna Narwa wahe ſuurem. — *Kauguſi nimetatakſe ſuurusteks, ſellepäraſt et iga kahe kauguſe juures kas ſeda wõib leida, et nad üheſuuruſed on, wõi jälle ſeda, et üks teiſeſt ſuurem on.*

On weel teiſi ühtlaadi waheſid, kus iga kahe wahe kohta ſedaſama wõib leida. Niiſuguſed on *ajawahed*. On wahe praeguſe aja ja minu ſündimiſe aja wahel; on teine wahe praeguſe aja ja minu ſõbra ſündimiſe aja wahel. Wõib kõikide teiste inimeste kohta ſedaſama laadi aja waheſid tähele panna. Meie nimetame ſedalaadi ajawaheſid inimeste wanadusteks. Kahe inimeſe wanaduſed on kas üheſuuruſed wõi ühe wanadus on teiſe omaſt ſuurem. Niiſama on lugu ka teiste ajawahedega. Sellepäraſt nimetatakſe ka wanaduſi ja teiſi *ajawaheſid ſuurusteks*.

Niisama on ka rõhumised suurused. Ma wõtan tühja klaasi kätte ja täidan ta siis esiteks hernestega ja pärast haawlitega. On wahe tühja klaasi ja hernestega täidetud klaasi wahel ja on teine wahe tühja klaasi ja haawlitega täidetud klaasi wahel: nad mõlemad rõhuwad minu käe peale, aga haawlitega täidetud klaasi rõhumine on suurem. Nagu klaasi täis herneid wõi haawlid, nii rõhuwad ka kõik teised kätte wõetud asjad käe peale. Meie nimetame seda rõhumist asjade raskuseks. Kahe asja raskused on kas ühesuurused wõi ühe raskus on teise omast suurem. Raskused on siis suurused. — Peale raskuste tunneme weel palju teisi rõhumisi: tuul rõhub kõige selle peale, mis tal ees on; niisama rõhub woolaw wesi; käes hoitud kerge rauatükk rõhub suure magnedi ligidal käe peale, kuna ta magnedi poole tungib, jne. Iga kaks rõhumist on kas ühesuurused wõi üks on teisest suurem. Sellega on kõik rõhumised suurused.

Ka soojuse põnewused ehk temperaturid on suurused. On wahe talwel õuest toodud jääse wee ja soojas toas seisnud wee wahel; on teine wahe jääse wee ja keewa wee wahel: toas seisnud wesi on soojem — tema temperatur on suurem, ja keew wesi on weel soojem — tema temperatur on weel suurem. Nii wõib iga keha soojuse põnewust ehk temperaturi tähele panna. Iga kaks keha on kas ühesoojused wõi üks on teisest soojem — iga kahe keha temperaturid on kas ühesuurused wõi ühe temperatur on teise omast suurem. Temperaturid on suurused.

Kaugused on üks liik suurusi, ajawahed on teine liik, rõhumised kolmas ja temperaturid neljas. On weel otsatu palju teisi suuruste liikisid, aga need neli on kõige lihtsamad: kõikide teiste suuruste juures leiame juba osana mõnda nendest neljast. Teisi suurusi mõõdetakse enamasti nende nelja liiki suuruste abil, aga neid nelja liiki suurusi ise püütakse kõiki kauguste abil mõõta. Sellega on kauguste mõõtmine kõige tähtsam.

Ühte tundmata kaugust mõõta tähendab: tähele panna, missuguse tuttawa kaugusega see kaugus ühesuurune on. Ühte tundmata ajawahet, rõhumist wõi temperaturi mõõta tähendab: tähele panna, missuguse tuttawa ajawahega, rõhumisega wõi temperaturiga see ajawahe, rõhumine wõi temperatur ühesuurune on. **Ühte tundmata suurust mõõta tähendab: tähelepanna, missuguse sedasamaliiki tuttawa suurusega see suurus ühesuurune on.** Et ühteliiki suurusi mõõta saaks, selleks peab meil terwe rida sedaliiki tuttawaid suurusi olema. Et kauguſi mõõta, ſelleks peab meil terwe rida tuttawaid kauguſi olema.

b) Mõõdud ja arwud. Neid kauguſi, mis kõikidele tuttawad olekſiwad, on omal ajal inimeſe keha liikmeteſt wõetud. Üks niiſugune kaugus on jala ſuure warba otſa kaugus jala kannataguſeſt. Seda kauguſt nimetatakſe jala pikkuſeks wõi lihtſalt jalaks. Teine ſeeſugune kaugus on wäljaſirutatud käe ſõrmeotſade kaugus õlaſt. Seda nimetatakſe arſſinaks. Et terwet rida tuttawaid kauguſi ſaada, ſelleks on endale kauguſi ette kujutatud, mis jalaſuurusteſt tükkideſt koos on. Neid kauguſi wõib otſatu palju ette kujutada, kui meie jalaga algame ja iga järgmiſe kauguſe jala wõrra ſuurema ette kujutame. Meie nimetame neid kauguſi rida mööda: üks jalg, kaks jalga, kolm jalga, neli jalga jne. Siin kujutame endale iga kauguſe juures jalga ette ja weel midagi muud, mida meie ſõnadega üks, kaks, kolm neli jne. tähendame. See muu meie ettekujutuſes nimetatakſe arwuks; üks, kaks, kolm, neli jne. on arwude nimed. — Nii ſaab ühe ainſa tuttawa kauguſe — jala — ja arwude abil terwet rida tuttawaid kauguſi ette kujutada. Selle juures nimetatakſe jalga kauguſe mõõduks. Üleüldſe nimetatakſe mõõduks ühte täieste tuttawat ſuuruſt, milleſt mõttes arwude abil otſatu palju tuttawaid ſuuruſi tehtakſe. — Nagu jalaſt, nii tehtakſe ka arſſinaſt arwude abil mõttes otſatu palju tuttawaid kauguſi. Ka arſſin on kauguſe mõõt. Peale jala ja arſſina on weel toll, werſok, ſüld ja werſt meile tuttawad kauguſe mõõdud. Kõiki neid mõõtuſid nimetatakſe wäga ſagedaste pikkuſe mõõtudeks, ſeſt pikkuſed on ſee kauguste liik, mida meil kõige ſagedamine mõõta tuleb.

c) Mõõtude eeskujud ehk etalonid. Inimeſed ei ole mitte üheſuuruſed. Kui igaüks oma kehaliikmete pikkuſt mõõduks tarwitab, ſiis on igalühel iſeſuurune mõõt. Et ſelleſt mõõtude ſegaduſeſt peaſeda, ſelleks on mõõdupulgad tarwituſele wõetud: kes mõõta tahab, ſee wõtab mõõdupulga ja mõõdab ſellega. Need mõõdupulgad peawad riigiwalitſuſe nõudmiſe järele kõik üheſuuruſed olema. Riigiwalitſuſe poolt on lastud hästi kindlaſt aineſt — harilikult platinaſt — pikkuſe mõõdu eeskuju teha, mida kindlas kohas alal hoitakſe. Selle eeskuju järele peawad kõik mõõdupulgad tehtud olema. Wõõrakeelſe ſõnaga nimetatakſe ſarnaſt eeskuju etaloniks.

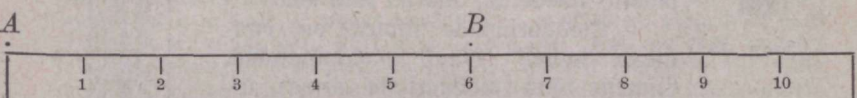
Igas riigis on omad mõõtude eeskujud ja nad on enamaste igas riigis iſeſuuruſed. Nii on mõõtude ſegadus küll ühe riigi piirides kadunud, aga üle ilma on ta weel olemas. Ka seda segadust püütakse kaotada: üksikud riigid tunnistawad üksteise järel Parisis alalhoitawa pikkusemõõdu eeskuju ka omaks. See mõõdu eeskuju on walmistatud aastal 1799; tema peal on kiri „pour tous les temps, pour tous les peuples“, see tähendab: igaweseks ajaks kõigile rahwastele; tema nimeks on pandud **meter,** mis Greeka keeles mõõtu tähendab, ja ta pidi olema $\frac{1}{40000000}$ maakera ümbermõõdust. Parisis alalhoitawa metri eeskuju järele on ka meie riigi jaoks kaks metri eeskuju walmistatud. Meie riigi ärielus ei ole meter weel üleüldiselt tarwitusele wõetud, aga teaduses tarwitatakse ainult metrit pikkuse mõõduks. Ka selles raamatus on ainult meter pikkuse mõõduks tarwitatud. 1 meter on ligikaudu 39,37 tolli. Kui suuremaid mõõtusid tarwis on, siis wõetakse 10, 100 wõi 1000 metrit. Nende tähendamiseks tarwitatakse Greekakeelseid sõnu deka (kümme) hekto (sada) ja kilo (tuhat): 10 metrit on dekameter, 100 metrit — hektometer, 1000 metrit — kilometer. Kui metrist wähemaid mõõtusid tarwis on, siis wõetakse $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{100}$ wõi $\frac{1}{1000}$ metrit. Nende tähendamiseks, tarwitatakse ladinakeelseid sõnu detsi (kümme), tsenti (sada) ja milli (tuhat): $\frac{1}{10}$ metrit on detsimeter, $\frac{1}{100}$ metrit — tsentimeter $\frac{1}{1000}$ metrit — millimeter. Wäga sagedaste tarwitatakse tsentimetrit. Rohkem tarwitatawate mõõtude nimed tähendatakse lühendatult: m tähendab meter, km — kilometer, dm — detsimeter, cm — tsentimeter, mm — millimeter.

Metriga ühes walmistati Prantsusmaal ka raskusemõõdu eeskuju ehk etalon. Tema nimeks pandi kilogramm, see tähendab: tuhat grammi. Päris raskuse mõõt on siis **gramm** (ladinakeelsest sõnast gravis — raske); ta pidi nimelt ühe kubiktsentimetri wee raskus olema. Parisis alalhoitawa kilogrammi eeskuju järele on ka meie riigi jaoks kaks kilogrammi eeskuju walmistatud. 1 kilogramm on ligikaudu 2,44 naela. 10 grammi on dekagramm, 100 grammi — hektogramm, $\frac{1}{10}$ grammi on detsigramm, $\frac{1}{100}$ grammi — tsentigramm, $\frac{1}{1000}$ grammi — milligramm. Rohkem tarwitatawate mõõtude nimesid tähendatakse lühendatult: g tähendab gramm, kg — kilogramm, dg — detsigramm, cg — tsentigramm, mg — milligramm.

Ajawahede ja temperaturi wahede mõõdud on otsekohe loodusest wõetud. Ajawahede mõõduks tarwitatakse **tundi.** Tund on $\frac{1}{24}$ keskmisest ööpäewa pikkusest. Suuremaks mõõduks tarwitatakse ööpäewa; wähemateks mõõtudeks on $\frac{1}{60}$ tundi ehk minut ja $\frac{1}{60}$ minutit ehk sekund. Wäga sagedaste tarwitatakse sekundit ja tähendatakse lühendatult s. — Temperaturiwahede mõõduks tarwitatakse kas $\frac{1}{80}$ wõi $\frac{1}{100}$ wõi $\frac{1}{180}$ sellest waheſt, mis keewa wee ja jääſe wee temperaturide wahel on. Kõiki neid mõõtuſid nimetatakſe **kraadideks** ja nimelt eſimeſt Reaumur'i (reomüri) kraadiks, teiſt Celſius'e (tſelſiuſe) kraadiks ja kolmandat Fahrenheit'i (faarenheiti) kraadiks. Meie igapäewaſes elus tarwitatakſe Reaumur'i kraadiſid, aga teaduſes ja ſiin raamatus — Celſius'e kraadiſid. Lühendatult tähendatakſe kraadi — ^{0}, nii et 5^0 on wiis kraadi.

Kui meil mõõt tuttaw on, ſiis on tuttawad meile ka üks mõõt, kaks mõõtu, kolm mõõtu, neli mõõtu ja üleüldſe *mitu* mõõtu. Tahame nüüd ühe tundmata ſuuruſe kohta täielikku teadmiſt ſaada, ſiis paneme tähele, *mitme* mõõduga ſee tundmata ſuurus üheſuurune on. See on harilik mõõtmine. Mõõtes leiame harilikult *arwu*, mis ütleb mitme mõõduga mõõdetaw ſuurus üheſuurune on.

d) *Mõõduriistad.* On iſeäraliſed riistad kokku ſeatud, *mis mõõtmiſt wõimalikuks ja hõlpſaks peawad tegema; need on mõõduriistad.* Kõige lihtſam mõõduriiſt on mõõdupulk wäikeste kauguste jaoks (joon. 13). Selle pulga ühte otſa nimetatakſe tema alguſeks ja ſelleſt otſaſt alates on tema külje ühele ſerwale kriipſud nii tõmmatud, et eſimene kriips alguſeſt ühe tſentimetri kauguſel on, teine kriips kahe cm kauguſel, kolmas kolme cm kauguſel jne. Kriipſudele on järgemööda arwud juurde kirjutatud.

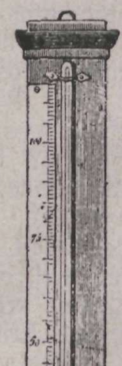


Joonistus 13.

Et nüüd kahe punkti A ja B kauguſt üksteiſeſt mõõta, ſelleks ſeadime mõõdupulga nende punktide juurde nii, et mõlemad punktid kriipſuliſe ſerwa küljes on ja üks otſe alguſes (joon. 13), ſiis leidub teiſe punkti kohal üks kriips ja arw ſelle kriipſu juures ütleb, mitu cm meie kahe punkti wahe ſuur on. Kõikide teiste ſuuruste mõõduriistad on keeruliſemad. Aga enamasti on neil kõigil üheks peaoſaks joon, milleſt numbritega märgitud kriipſud ülekäiwad. Seda joont nimetatakſe *numbrijooneks* ehk *ſkalaks.* — Kell on ajawahede mõõduriiſt. Tema numbrijoon on ringjoon, mida mööda „*näitaja*" ots edaſi liigub. Arw, mis näitaja otſa kohal on, ütleb, mitu tundi keſkööſt wõi keſkpäewaſt tähelepaneku ſilmapilguni mööda on läinud. — Wedrukaal on raskuste mõõduriiſt. Tema numbrijoon on püſti wedru kõrwal ja näitajaks on tal wedru otſa külge kinnitatud terawa otſaga metallitükikene *a* (joon. 14). Kui kaal raskuſt ei kanna, ſiis ſeiſab tema näitaja numbrijoone alguſel, kus arw 0 on. Kui kaal raskuſt kannab, ſiis on näitaja numbrijoont mööda edaſi läinud ja nummer näitaja kohal ütleb, mitu kilogrammi raskus ſuur on. — Soojamõõtja ehk termometer on temperaturide mõõduriiſt. Tema numbrijoon on tema torukeſe kõrwal ja näitajaks on tal elawhõbeda wõi mõne teiſe wedeliku ülemine ots toru ſees (joon. 15). Kui termometer jääſes wees on, ſiis ſeiſab ſee wedeliku ots ſeal, kus nummer 0 on. Kui termometri ümber mõni teine temperatur on, ſiis ſeiſab ka wedeliku ots toru ſees teiſel kohal ja nummer ſelle otſa juures ütleb, mitu kraadi ſee teine temperatur jääſe wee omaſt ſoojem on (kui nummer nulliſt kõrgemal ſeiſab) wõi külmem (kui nummer nulliſt madalamal on). — Nii on ka teiste mõõduriistade numbrijoont mööda näitaja liikumas. Mõõtmiſe ajal on näitaja ühe numbri kohal, mis ütleb mitu mõõtu mõõdetaw ſuurus ſuur on.

Joon. 14.

Mõõduriistade nimed on enamaste kaheſt ſõnaſt kokkupandud. Eſimene ſõna mõõduriista nimes ütleb, misſuguſeid ſuuruſi ſelle riistaga mõõdetakſe. Teiſeks ſõnaks on üks järgmiſeſt kolmeſt greekakeelſeſt ſõnaſt: m e t e r, g r a f, ſ k o p; need ſõnad tähendawad: mõõtja, kirjutaja, waataja. Nii on kronometer — ajamõõtja, termograf — ſoojakirjutaja, elektroſkop — elektriwaataja. Kronometer on õige kell, millega teaduſemehed aega mõõdawad. Niiſama on teiſed riistad, mille nimed metriga lõpewad, päris mõõduriistad. — Termograf on riiſt, mis igal ſilmapilgul üles kirjutab, kui ſuur ſoojus tema ümber on. Niiſama on teiſed riistad, mille nimed grafiga lõpewad, nii kokku ſeatud, et nad iſe oma mõõtmiſe otſuſe üles tähendawad. — Elektroſkop on riiſt, mille abil järelewaadata ſaab, kas mõnes kehas elektrit on wõi kas ühe keha elektri-põnewus teiſe omaſt ſuurem on.



Joon. 15.

Niiſama tarwitatakſe ka teiſi riistu, mille nimed ſkopiga lõpewad, ſelleks, et mõnda nähtuſt waadelda ja ainult oſalt mõnda ſuuruſt tähele panna. Need ei olegi juba päris mõõduriistad.

e) *Mõõtmiſe peenſus.* Seda tuleb ainult juhtumiſi ette, et mõõduriista näitaja otſe ühe kriipſu kohale ſeisma jääb. Harilikult jääb ta kahe kriipſu wahele. Nii on joonistus 15. peal termometri näitaja 23 ja 22 wahel. Termometer ei näita meile ſiis arwu, mis ütleks otſe mitu kraadi ſoojus termometri ümber ſuur on; tema näitab meile ainult, et ſee ſoojus ſuurem on kui 22 kraadi ja wähem kui 23. Nagu meie ſiin kaks temperaturi leiame, mille wahel mõõdetaw temperatur on, nii leiame iga mõõtmiſe juures kaks ſuuruſt, mille wahel mõõdetaw ſuurus on. Neid kahte ſuuruſt nimetatakſe mõõdetawa ſuuruſe *piirideks*, ſuuremat ülemaks piiriks ja wähemat alamaks. Mida wähem wahe nende kahe piiri wahel on, ſeda *peenemaks* loetakſe mõõtmiſt. Kui ma ühe ſuure tinakuuli raskuſt niiſuguſe kaaluga mõõdan, mis ainult kilogrammiſid näitab, ja leian, et ſee kuul 6-ſt kilogrammiſt raskem ja 7-ſt kergem on, ſiis on 6 kg ſelle kuuli raskuſe alam piir ja 7 kg tema ülem piir ja ſellepäraſt öeldakſe wahel, et minu *mõõtmiſe peenſus 1 kg-ni ulatab.* Kui minu kaal grammiſid näitab ja ma leian, et ſee kuul 6234 g-ſt raskem ja 6235 g-ſt kergem on, ſiis on 6234 g ſelle kuuli raskuſe alam piir ja 6235 g tema ülempiir ja mõõtmiſe peenſus ulatab 1 g-ni.

Nii on mõõtmine ſiis peenem, kui mõõduriiſt wähemaid mõõtuſid näitab. Aga ſagedaste tuleb wahet teha mõõtmiſe nähtawa peenſuſe ja tõſiſe peenſuſe wahel. Mõõduriiſt näitab ſagedaste ühe ja ſelleſama ſuuruſe jaoks *mitmeſuguſed piirid*, kui ſeda ſuuruſt mitu korda mõõdetakſe *Seda juhtub iſeäranis ſiis, kui ſuurt ſuuruſt wäikſete mõõtudega mõõdetakſe.* Kui ma endiſt tinakuuli ſelle ſama kaaluga teine kord mõõdan, wõin ma tema raskuſe piirideks leida 6232 g ja 6233 g; kolmas kord mõõtes wõin leida 6235 g ja 6236 g; neljas kord 6230 g ja 6231 g; wiies kord 6233 g ja 6234 g; kuues kord 6231 g ja 6232 g jne. Kui ma edaſi mõõtes juba uuſi piiriſid ei leia, waid ikka mõned nendeſt ſamadeſt, ſiis wõin ma ſelle tinakuuli raskuſe kohta ainult ſeda ütelda, et ta raskus ſuurem on kui 6230 g ja wähem kui 6236 g, ja minu mõõtmiſe peenſus ulatab ainult 6 g-ni.

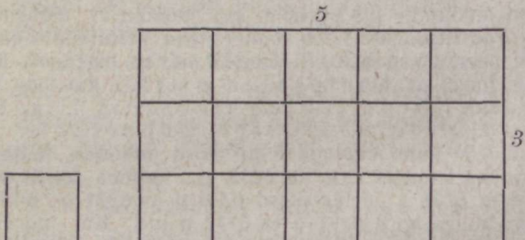
Nii määratakſe ühe ſuuruſe piirid ikka alles mitmekordſe mõõtmiſe põhjal ära. Kui meie ühte nendeſt piirideſt mõõdetawa asja ſuuruſeks loeme, ſiis teeme wea, aga ſee wiga ei ole mitte ſuurem kui wahe nende piiride wahel: 6230 g on wähem, kui tinakuuli tõſine raskus, aga wahe 6230 g ja ſelle tõſiſe raskuſe wahel ei ole mitte ſuurem kui 6 g.

Harilikult loetakſe mõõdetawa asja ſuuruſeks tema piiride keſkmiſt, nagu ſiin 6233 g on. Ma ei tea, kas tinakuul otſe 6233 g raskune wõi ſelleſt raskem wõi kergem on, aga ma tean, et wahe tinakuuli tõſiſe raskuſe ja 6233 g wahel mitte ſuurem ei ole kui 3 g. Selle kohta öeldakſe harilikult, et mõõtmiſe peenſus ſiin 3 g-ni ulatab. Nii loetakſe ſiis harilikult *mõõtmiſe peenſuſe ulatuſeks poolt mõõdetawa ſuuruſe piiride waheſt.* — Wahel pannakſe ka ſeda tähele, mitu protſenti mõõdetawaſt ſuuruſeſt ſee poolwahet on. 3 g on umbes 0,05% 6233 g-ſt. Sellepäraſt öeldakſe, et ſiin mõõtmiſe peenſus 0,05%-ni ulatab.

Üksgi mõõtmine ei ole täieste õige; iga mõõtmine ulatab ainult mõne peenſuſeni.

13. Rehkendamine. On palju ſuuruſi, mida otſekohe mõõta ei ſaa wõi mida otſekohe mõõta hõlbus ei ole. Nii ei ole wõimalik maakera läbimõõtu otſekohe mõõta, kuna maakera ümbermõõtu küll otſekohe mõõta ſaab, aga mitte hõlbus ei ole. Sarnaſeid ſuuruſi mõõdetakſe teiste kaudu: mõõdetakſe ſellekohaſeid teiſi ſuuruſi ja ſaadud arwude järele rehkendatakſe tarwilik arw wälja. Rehkendamine on järelemõtlemine, mille abil ühede arwude järele teiſi leitakſe. Tema alles teeb kaudſe mõõtmiſe wõimalikuks.

a) Pinnaſuurus. Pinnaſuuruſt mõõdetakſe ikka kaudſelt. Pinnamõõduks loetakſe neljanurgeliſt ja ſirgeküljeliſt taſaſe pinna tükki, mille nurgad kõik üheſuuruſed on ja küljed kõik ühe pikkuſemõõdu pikkuſed. Seda mõõtu nimetatakſe ruut- ehk kwadratmetriks, kui ta küljed metripikkuſed on, — ruut- ehk kwadrattſentimetriks, kui ta küljed tſentimetri pikkuſed on jne. Lühidalt tähendatakſe kwadratmeter — □ m,



Joonistus 16.

kwadrattſentimeter — □ cm jne. Joonistus 16. peal näeme pahemal pool ühte □ cm. — Kõige lihtſam on neljanurgeliſt ja ſirgeküljeliſt taſaſe pinna tükki ſiis mõõta, kui ta nurgad kõik üheſuuruſed on. Niiſuguſt pinna tükki nimetatakſe üleüldſe ruuduks, tema nurkaſid nimetatakſe õigeteks nurkadeks, tema üksteiſe wastu ſeiswaid külgeſid — parallelſeteks joonteks, aga ühte nurka kokkutulewaid külgeſid — perpendikularſeteks. Ruudu parallelſed küljed on ühepikkuſed. Kui ta perpendikularſed küljed ka ühepikkuſed on, ſiis nimetatakſe teda täisruuduks ehk kwadradiks, — muidu pikkruuduks. Ruudu pinnaſuuruſe mõõtmiſeks on tarwis tema perpendikularſed küljed ära mõõta. Kui üks külg 3 cm ja teine 5 cm pikk on, ſiis on ruudu pind kolm wiit ehk wiis kolme, ſee on 15 □ cm (joon. 16).

b) *Produkt, kwadrat, kwotſient ja kwadratradiks.* Kolm wiit ehk wiis kolme nimetatakſe kolme ja wiie *produktiks* ja kirjutatakſe nii: 3 . 5 ehk 5 . 3. Nii on ruudu pinnaſuuruſe arw ikka tema perpendikularſete küljede pikkuſe arwude produkt. Kui need küljed näituſeks 125 m ja 34 m pikad on, ſiis on pind ſada kakskümmend wiis kolmekümmend nelja (125 . 34) □ m ſuur. Meie oskame mõttes ſeda arwu leida, mille ſuurune kahe arwu produkt on: 3 . 5 = 15 ja 125 . 34 = 4250 jne. — Kahe üheſuuruſe arwu produkti nimetatakſe *kwadradiks.* Kaks kahte on kahe kwadrat, kolm kolme on kolme kwadrat, neli nelja — nelja kwadrat, wiis wiit — wiie kwadrat jne. Märkidega tähendatakſe ſeda nii: $2 . 2 = 2^2$; $3 . 3 = 3^2$; $4 . 4 = 4^2$; $5 . 5 = 5^2$ jne. Meie leiame mõttes, et kahe kwadrat on neli. $3^2 = 9$; $4^2 = 16$; $5^2 = 25$; $10^2 = 100$; $20^2 = 400$ jne. Nimi „kwadrat“ on ſelleſt wõetud, et meil üheſuuruste arwude produkti ſiis tarwis on, kui meie kwadradi ehk täisruudu pinnaſuuruſe arwu otſime, ſeſt kwadradi perpendikularſed küljed on ühepikkuſed. Ühe arwu kwadradi kohta wõime kergeste järgmiſt tähele panna: kui ſee arw kaheſt oſaſt koos on, ſiis on tema kwadrat 1) eſimeſe oſa kwadradiſt, 2) kahe eſimeſe oſa ja teiſe oſa produktiſt ja 3) teiſe oſa kwadradiſt koos. Nii on 12 kümneſt ja kaheſt koos. Tema kwadrat on ſiis 1) kümne kwadradiſt (10^2), 2) kahe kümne ja kahe produktiſt (20 . 2) ja 3) kahe kwadradiſt (2^2) koos. $10^2 = 100$; $20 . 2 = 40$; $2^2 = 4$. Sellega on $12^2 = 144$. 25 on 20-ſt ja 5-ſt koos. Tema kwadrat on ſiis 1) 20-e kwadradiſt, 2) kahe kahekümne (ſee on neljakümne) ja wiie produktiſt ja 3) wiie kwadradiſt koos. $20^2 = 400$; $40 . 5 = 200$; $5^2 = 25$. Sellega on $25^2 = 625$. — Kahe arwu produkti ſuuruſe ja ühe arwu järele oskame meie mõttes teiſt arwu leida. Nii oskame meie mõttes 15-e ja 3-e järele ſeda arwu leida, mis ütleb, mitu kolme 15 on; ſee arw on 5, ſeſt 15 on wiis kolme. Seda arwu nimetatakſe *kwotſiendiks.* 5 on wiieteiſtkümne ja kolme kwotſient, kolm on 15-e ja 5-e kwotſient, 125 on 4250-e ja 34-a kwotſient, 34 on 4250-e ja 125-e kwotſient jne. Märkidega tähendatakſe ſeda nii: $5 = \frac{15}{3}$; $3 = \frac{15}{5}$; $125 = \frac{4250}{34}$; $34 = \frac{4250}{125}$ jne. Kahe wäikſe arwu produkti ja kahe wäikſe arwu kwotſienti oskame otſekohe mõttes leida. Suurte arwude produktiſid ja kwotſientiſid leiame järkjärgult ja enamasti kirjutamiſe abil. — Wõib leida niiſuguſt arwu, mille kwadrat nelja, ühekſa, kuueteiſtkümne wõi mõne teiſe arwu ſuurune on. Seda arwu nimetatakſe nelja, üheksa, kuueteiſtkümne wõi ſelle teiſe arwu *kwadratradikſiks.* 2 on nelja kwadratradiks, kolm on ühekſa, neli kuueteiſkümne, wiis — 25-e, kümme — ſaja, 20 — neljaſaja kwadratradiks jne. Märkidega tähendatakſe ſeda nii: $2 = \sqrt{4}$; $3 = \sqrt{9}$; $4 = \sqrt{16}$; $5 = \sqrt{25}$; $10 = \sqrt{100}$; $20 = \sqrt{400}$ jne. Täisruudu külje pikkuſe arw on ruudu pinnaſuuruſe arwu kwadratradiks. Märk $\sqrt{}$ on radikſi eſimiſeſt täheſt r ſündinud.

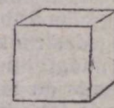
c) Kwadratradikſi leidmine. Kwadratradikſi leidmine on keeruliſem, kui produktide ja kwotſientide leidmine. Kõige pealt tuleb äramäärata, mitmekohaline kwadratradiks ſaab. (Kui arwu numbril üks märk on, ſiis hüütakſe arwu ühekohaliſeks; kui tal kaks märki on, — kahekohaliſeks, kui kolm — kolmekohaliſeks jne. Nii on 125 kolmekohaline arw, 4025 — neljakohaline, 708192 — kuuekohaline jne.) Olgu meil tarwis 1623076 kwadratradikſit leida. Paneme ſelle numbri märkide wahele paremalt poolt alates iga kahe märgi taha kommad ja nimetame iga komma wahed jätkuks. Ligem järelemõtlemine näitab, et meie arwu kwadratradikſil niipalju märkiſid on, kuipalju jätkuſid meie arwul, nimelt 4. Nüüd otſime kõige ſuuremat arwu, mille kwadrat meie arwu eſimeſeſt jätkuſt, pahemalt poolt, mitte ſuurem ei ole. See arw on üks. See on otſitawa radikſi numbri eſimene märk. Arwame tema kwadradi eſimeſeſt jätkuſt maha ja wiime ülejäägile, mis ſiin 0 on, teiſe jätku juurde: ſiis ſaame 62. Nüüd otſime kõige ſuuremat arwu, mille kwadrat kaheſt eſimeſeſt jätkuſt 162-ſt mitte ſuurem ei ole. See arw on kahekohaline. Tema üks oſa on 10, ſeſt meie leidſime juba eſimeſe märgi 1. Selle ühe oſa kwadrat 100 on meil juba 162-ſt maha arwatud. Meie peame ſiis teiſeks oſaks kõige ſuurema arwu otſima, nii et kahe eſimeſe oſa (20) ja teiſe oſa produkt ühes ſelle teiſe oſa kwadradiga ülejäägiſt 62-ſt ſuurem ei ole. See arw on kaks. 2 on ſiis otſitawa radikſi numbri teine märk. Arwame $20 . 2 + 2^2$ praeguſeſt ülejäägiſt 62-ſt maha ja wiime ülejäägile, mis ſiin 18 on, kolmanda jätku juurde; ſiis ſaame 1830. Nüüd otſime kõige ſuuremat arwu, mille kwadrat kolmeſt eſimeſeſt jätkuſt 1,62,30-ſt mitte ſuurem ei ole. See arw on kolmekohaline. Tema üks oſa on 120, ſeſt meie leidſime juba kaks eſimeſt märki 1 ja 2.

$$
\begin{array}{rr}
 & \sqrt{1{,}62{,}30{,}76} = 1274 \\
 & 1 \\
\hline
 & 62 \\
20 . 2 + 2^2 = & 44 \\
\hline
 & 18\;30 \\
240 . 7 + 7^2 = & 17\;29 \\
\hline
 & 101\;76 \\
2540 . 4 + 4^2 = & 101\;76 \\
\hline
\end{array}
$$

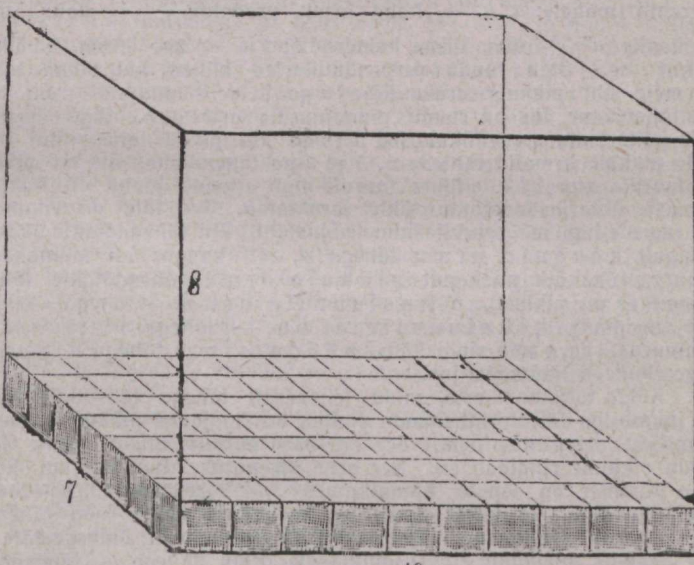
Selle ühe oſa kwadrat (14400) on meil juba 16230-ſt maha arwatud. Meie peame ſiis teiſeks oſaks kõige ſuurema arwu otſima, nii et kahe eſimeſe oſa (240) ja teiſe oſa produkt ühes ſelle teiſe oſa kwadradiga ülejäägiſt 1830-ſt mitte ſuurem ei ole. See arw on 7. 7 on ſiis otſitawa radikſi numbri kolmas märk. Otſe niiſama leiame ka neljanda märgi (4), kui meie praeguſeſt ülejäägiſt 1830-ſt $240 . 7 + 7^2 = 1729$ maha arwame ja nagu enne otſimiſt edaſi jätkame. Niiſama leitakſe ka kõikide teiste arwude kwadratradikſid. Kümnikmurdude juures tuleb jatkude kommaſid murru kommaſt alates pahemale ja paremale poole üle kahe märgi ſeadida ja kui paremalpool märkiſid mitte paaris arw ei ole, ſinna üks 0 juurde kirjutada. Kui päraſt wiimaſe jätku äratarwitamiſt weel ülejääk jääb, ſiis on radiks lõputa kümnikmurd, mille märkiſid kui palju tahes wõib leida, kui wiimaſele ülejäägile ikka uueks jätkuks kaks nulli juurde kirjutada. Nii leiame, näituſeks, wiie kwadratradikſi

$$
\begin{array}{rr}
 & \sqrt{5} = 2{,}236\ldots \\
 & 4 \\
\hline
 & 100 \\
40 . 2 + 2^2 = & 84 \\
\hline
 & 1600 \\
440 . 3 + 3^2 = & 1329 \\
\hline
 & 27100 \\
4460 . 6 + 6^2 = & 26796 \\
\hline
 & 304
\end{array}
$$

d) Kehaſuurus. Kehaſuuruſt mõõdetakſe ſagedaste kaudſelt. Keha mõõduks loetakſe üht keha, millel kuus külge on, igaüks ühe pinnamõõdu ſuurune täisruut; tema ſerwad on ſiis kõik üks pikkuſemõõt pikad. Seda mõõtu nimetatakſe kantehk kubikmetriks, kui ta ſerwad metripikkuſed on, — kantehk kubiktſentimetriks, kui ta ſerwad tſentimetri pikkuſed on jne. Lühidalt tähendatakſe kubikmeter — kub. m ja kubiktſentimeter — kub. cm jne. Üks kubikdetſimeter nimetatakſe weel l i t e r ja tähendatakſe lühendatult l; 4l on neli litrit. Joonistus 17. peal näeme ühte kub. cm. Kõige lihtſam on kuueküljeliſt keha ſiis mõõta, kui kõik ta küljed taſaſed ja nimelt ruudud on. Niiſuguſt keha nimetatakſe õigenurgeliſeks püſtprismaks. Tema üksteiſele wastuſeiswaid külgeſid nimetatakſe parallelſeteks (nad on igas kohas üksteiſeſt ühekauguſel), aga ühte nurka kokkutulewaid kül-



Joon. 17.



Joonistus 18.

geſid — perpendikularſeteks. Kolm ſerwa, mis ühte nurka kokkutulewad, on kõik oma wahel perpendikularſed (nad ſünnitawad üksteiſega õiged nurgad). Kui need perpendikularſed ſerwad ühepikkuſed on, ſiis on kõik püſtprisma ſerwad ühepikkuſed, ja teda nimetatakſe ſiis kubikuks, kantikuks ehk täringuks. Õigenurgeliſe püſtprisma kehaſuuruſe mõõtmiſeks on tarwis tema kolm perpendikularſet ſerwa ära mõõta. Kui üks ſerw

10 cm, teine 7 cm ja kolmas 8 cm pikk on (joon. 18), siis on kehasuurus kaheksa seitse kümmet (8 . 7 . 10), see on 560 kub. cm suur. Nii on õigenurgelise püstprisma kehasuuruse arw ikka tema perpendikularsete serwade pikkuse arwude produkt.

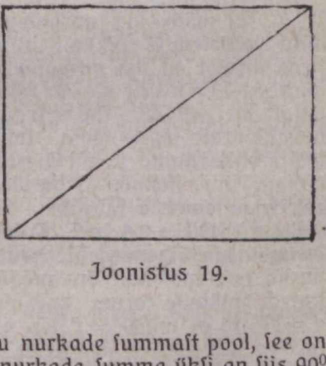
e) Tähtede tarwitamine. Sagedaste tarwitatakse numbrite asemel arwude tähendamiseks tähtesid. Seda tehtakse enamasti järgmisel neljal juhtumisel: 1) siis, kui tundmata arwust kõneldakse; 2) siis, kui arw, millest kõneldakse, missugune tahes wõib olla; 3) siis, kui ühte ja sedasama mitmekohalist arwu sagedaste tähendada tuleb, ja 4) siis, kui arwu numbriga täieste tähendada ei saagi. Kui mõnda arwu alles otsitakse, siis ei saagi ju teda weel numbriga tähendada. Otsitawaid arwusid tähendatakse enamasti ladinakeele tähestiku lõpupoolsete tähtedega x, y, z ja teised. Kui arwudest kõneldakse, mis ükskõik missugused wõiwad olla, siis tähendatakse neid enamaste tähestiku alguse tähtedega. $a+b$ tähendab kahe ükskõik missuguse arwu summat, $a-b$ tähendab kahe ükskõik missuguse arwu differentsi (wahet); $a.b$ — kahe arwu produkti; $\frac{a}{b}$ — kahe arwu kwotsienti; a^2 — ühe arwu kwadradit; $\sqrt{a}$ — ühe arwu kwadratradiksit jne. Olgu ruudu perpendikularsed küljed kui pikad tahes, kui meie üht pikkuse arwu tähe a-ga ja teist pikkuse arwu tähe b-ga tähendame, siis on ruudu pinnasuuruse arw $a.b$. Olgu õigenurgelise püstprisma perpentikularsed serwad kui pikad tahes; kui meie nende pikkuse arwusid tähtede a, b ja c-ga tähendame, siis on prisma kehasuuruse arw abc. Mõne suuruse-liigi arwude jaoks on hakatud enamaste ühte ja sedasama tähte tarwitama. See täht on enamaste selle suuruse-liigi wõõrakeelse nime algustäht. Nii tähendatakse ükskõik missugust kauguse arwu tähega d, sest kaugus on ladinakeeles *distantia*; ükskõik missugust pikkuse arwu tähendatakse tähega l (*longitudo* on pikkus), pinnasuuruse arwu — tähega s (*superficies* on pind), kehasuuruse arwu — tähega v (*volumen* on kehasuurus), kera wõi ringi läbimõõdu arwu tähega d (*diameter* on greekakeeli läbimõõt) jne.

Kõige tuttawam arw, mida sellepärast tähega tähendatakse, et teda numbriga täieste tähendada ei saa, on ringjoone pikkuse arwu ja läbimõõdu arwu kwotsient. See on siis arw, mis ütleb, mitme läbimõõdu pikkune ringjoon on. See arw on natuke suurem, kui kolm. Tema nummer on lõputa kümnikmurd 3,141592653589793238462 64..., millest siin ainult 24 märki algusest on wäljakirjutatud. Teda tähendatakse greekakeelse tähega π (περίμετρον on greekakeeli ümbermõõt) kui meie ükskõik missuguse ringi läbimõõdu arwu tähega d tähendame, siis on selle ringjoone pikkuse arw πd. Arw π on ligikaudu $3\frac{1}{7} = \frac{22}{7}$.

f) Funktsion, argument ja proportsionalsed suurused. Wõib endale kõiksuguseid ringisid ette kujutada — otsatu wäikestest, kuni otsatu suurteni. Iga ringi juures wõime ringjoone pikkust ja läbimõõtu tähele panna. Meie wõime siis otsatu palju ringjoone pikkusi ja otsatu palju läbimõõtusid endale ette kujutada, otsatu wäikeste ringide omadest kuni otsatu suurte ringide omadeni. Ringjoonte pikkused on suurused ja nimelt ühtlaadi suurused. Iga üksiku läbimõõdu jaoks on üks kindel ringjoone pikkus. Sellepärast nimetatakse ringjoonte pikkusi funktsioni-suurusteks ja läbimõõtusid ringjoonte pikkuste argumendisuurusteks. Nii nimetatakse ikka ühtlaadi suurusi siis teiste ühtlaadi suuruste funktsioni-suurusteks wõi funktsioniks, kui iga üksiku teistlaadi suuruse jaoks üks kindel esimestlaadi suurus on; teistlaadi suuruſi nimetatakſe ſiis eſimeste argumendi-ſuurusteks wõi rgumendiks. Nagu ringjoonte pikkuſed läbimõõtude funktſion on, nii on ka ümberpöördult läbimõõdud ringjoonte pikkuste funktſion. Ringide pinnaſuuruſed on läbimõõtude funktſion, läbimõõdud ringide pinnaſuuruste funktſion. Kwadradite pinnaſuuruſed on külgede pikkuste funktſion jne. Seda funktſioni-ſuuruſt, mis ühe argumendi-ſuuruſe jaoks on, nimetame ſellele argumendi-ſuuruſele kohaſeks; niiſama nimetame ſeda argumendi-ſuuruſt, mille jaoks üks funktſioni-ſuurus on, ſellele funktſioni-ſuuruſele kohaſeks. Paljude funktſionide jaoks wõib niiſuguſt rehkenduſe-wiiſi leida, mille abil iga argumendi-ſuuruſe järele tema kohaſt funktſioniſuuruſt wälja rehkendada ſaab. Mida lihtſam ſee rehkenduſe-wiis on, ſeda lihtſamaks loetakſe funktſioni. Wäga ſagedaste tuleb meil nii lihtſaid funktſioniſid ette, et iga funktſioni-ſuuruſe arw tema kohaſe argumendi-ſuuruſe arwu ja ühe ja ſelleſama teiſe arwu produkt on. Nii on iga ringjoone pikkuſe arw tema läbimõõdu arwu ja π (3,14. . .) produkt; nii on ka iga elawhõbeda hulga raskuſe (grammide) arw tema kehaſuuruſe (kub. cm-de) arwu ja ühe ja ſelleſama arwu (13,6) produkt. Selſel korral nimetatakſe funktſioni- ja argumendi-ſuuruſi oma wahel proportſionalſeteks ſuurusteks ja ſeda arwu (π; 13,6 ja muid), mille abil igaſt argumendi-ſuuruſe arwuſt kohaſe funktſioniſuuruſe arwu leiame, nimetatakſe proportſionalſuſe koeffitſiendiks. Järelemõteldes leiame kergeste, et kui proportſionalſe argumendi üks ſuurus teiſeſt mitu korda ſuurem on, ſiis on ka eſimeſe kohane funktſioni-ſuurus teiſe kohaſeſt niiſama palju kordaſid ſuurem. Mitu korda ühe ringi läbimõõt teiſe omaſt ſuurem on, nii mitu korda on ka eſimeſe ringjoone pikkus teiſe omaſt ſuurem; mitu korda ühe elawhõbeda hulga kehaſuurus teiſe omaſt ſuurem on, nii mitu korda on ka eſimeſe raskus teiſe omaſt ſuurem; mitu korda mõne traadi ühe tüki pikkus ſelleſama traadi teiſe tüki pikkuſeſt ſuurem on, nii mitu korda on ka eſimeſe tüki raskus teiſe omaſt ſuurem jne. Lühedalt öeldakſe ſeda nii: ringjoone pikkus ja ringi läbimõõt on proportſionalſed, elawhõbeda hulga kehaſuurus ja tema raskus on proportſionalſed, traadi pikkus ja raskus on proportſionalſed jne.

g) Pikkus; ſinus, koſinus ja tangens. Pikkuſt mõõdetakſe ſagedaste kaudſelt ja enamaste nurgaſuuruste ja ſarnaste kolmnurkade abil.

Nurgaſuuruſe mõõduks loetakſe ühekſakümnendat oſa õigeſt nurgaſt. Seda wäikeſt nurka nimetatakſe kraadiks ja tähendatakſe lühendatult — ^{0}. Nii on ſiis õige nurk 90^{0} ja ühe ruudu nurkade ſumma 360^{0}. Wähemateks mõõtudeks on $\frac{1}{60}$ kraadi ehk minut ja $\frac{1}{60}$ minutit ehk ſekund. Minutit tähendatakſe lühendatult — ' ja ſekundit — ". 53^{0} 7' 48" on ſiis 53 kraadi, 7 minutit ja 48 ſekundit. Kui ruudu üheſt nurgaſt ſiht wastuſeiswaſſe nurka läheb, ſiis lahutab ſee ſiht ruudu kaheks üheſuuruſeks oſaks (joon. 19). Need oſad on kolmnurgad ja nimelt õigenurgaliſed, ſeſt üks nurk on neil õige nurk. Teiſed nurgad on neil kolmnurkadel terawad, ſee on: wähemad kui õiged nurgad.

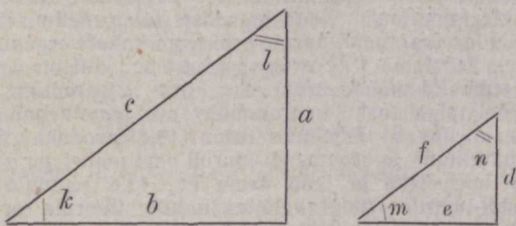


Joonistus 19.

Ühe kolmnurga nurkade ſumma on ruudu nurkade ſummaſt pool, ſee on: 180^{0}; õigenurgaliſe kolmnurga terawate nurkade ſumma üksi on ſiis 90^{0}.

Seda õigenurgaliſe kolmnurga külge, mis õigenurga wastu ſeiſab, nimetatakſe hüpotenuſeks, teiſi külgeſid katediteks.

Kõiki õigenurgaliſi kolmnurkaſid, millel üks teraw nurk üheſuurune on, nimetatakſe ſarnasteks. Nendel on ſiis ka teine terawnurk üheſuurune ja ſellega kõik nurgad järgemööda üheſuuruſed. Üheſuuruste nurkade wastu ſeiswaid külgeſid hüütakſe üksteiſele kohasteks. Joonistus 20. peal on kaks õigenurgaliſt kolmnurka. Ühe külgede pikkuſed on tähtedega a, b, c tähendatud ja tema terawate nurkade



Joonistus 20.

ſuuruſed tähtedega k ja l; teiſe külgede pikkuſed on d, e, f ja terawate nurkade ſuuruſed m ja n. Kui $k = m$, ſiis on need kolmnurgad ſarnaſed ja nende parempoolſed katedid on üksteiſele kohaſed, nagu ka alumiſed katedid ja hüpotenuſed. Järelemõteldes leiame, et ſarnaste kolmnurkade juures ühe külgede pikkuſed iga teiſe kohaste külgede pikkustele proportſionalſed on. Kui meie ſiis leiame, et ühel õigenurgaliſel kolmnurgal üks teraw nurk 30^0 on ja ſelle nurga wastuſeiſew katet poole hüpotenuſe pikkune, ſiis teame ka, et igal õigenurgaliſel kolmnurgal, millel üks nurk 30^0 on, ſelle nurga wastuſeiswa katedi pikkus $^1/_2$ hüpotenuſe pikkuſt on; kui ühel õigenurgaliſel kolmnurgal üks teraw nurk 53^0 7' 48'' on ja ſelle nurga wastuſeiswa katedi pikkus neli wiiendikku (ehk kahekſa kümnendikku) hüpotenuſe pikkuſt, ſiis on ka igal õigenurgaliſel kolmnurgal, millel üks nurk 53^0 7' 48'' on, ſelle nurga wastuſeiswa katedi pikkus 0,8 hüpotenuſe pikkuſt, jne.

Nii wõib iga nurgaſuuruſe jaoks ühte arwu leida, mis ütleb, mitu hüpotenuſe pikkuſt niiſuure nurga wastuſeiſew katet pikk on. Need arwud on ſiis nurgaſuuruste funktſion. Neid arwuſid nimetatakſe nurkade ſ i n u s t e k s ja k-kraadiliſe nurga ſinuſt tähendatakſe lühendatult nii: $sin\ k^0$. On niiſugune rehkenduſe wiis leitud, mille abil iga nurgaſuuruſe järele tema ſinuſt wälja rehkendada ſaab. Sinuſed on wäljarehkendatud ja nii üleskirjutatud, et iga nurgaſuuruſe arwu kõrwal kohane ſinus ſeiſab. Seda üleskirjutuſt nimetatakſe kolmnurga-mõõtmiſe ehk trigonometria tabeliks. Tabeliſt leiame, et $sin\ 30^0 = \frac{1}{2}$ (ehk 0,5); $sin\ 53^0\ 7'\ 48'' = 0{,}8$ jne. Kui meil trigonometria tabel käepäraſt on, ſiis on meil iga õigenurgeliſe kolmnurga juures tarwis ainult üht terawat nurka ja hüpotenuſt ära mõõta, ja meie leiame ſelle nurga wastuſeiswa katedi pikkuſe arwu kui produkti: $a = c \,.\, sin\ k$ wõi $b = c \,.\, sin\ l$; $d = f \,.\, sin\ m$ wõi $e = f \,.\, sin\ n$ (joon. 20). Olgu näituſeks $c = 1000$ m ja $k = 30^0$, ſiis on $a = 1000 \,.\, {}^1/_2 = 500$ m. Niiſama leiame hüpotenuſe pikkuſe arwu, kui ühe katedi pikkuſe ja tema wastuſeiswa nurga ſuuruſe ära mõõdame, — ta on kwotſient: $c = \frac{a}{sin\ k}$ wõi $c = \frac{b}{sin\ l}$; $f = \frac{d}{sin\ m}$ wõi $f = \frac{e}{sin\ n}$ (joon. 20). Olgu näituſeks $a = 80$ m ja m $= 53^0\ 7'\ 48''$, ſiis on $f = \frac{80}{sin\ 53^0\ 7' 48''} = \frac{80}{0{,}8} = 100$ m.

Wõib ka iga nurgaſuuruſe jaoks ühte arwu leida, mis ütleb, mitu hüpotenuſe pikkuſt niiſuure nurga juuresolew katet pikk on. Need arwud on nurgaſuuruste teine funktſion. Neid arwuſid nimetatakſe nurkade kosinusteks ja l-kraadiliſe nurga koſinuſt tähendatakſe lühendatult nii: $cos\ l^0$. Ka koſinuſed on wäljarehkendatud ja leiduwad trigonometria tabelites. Nende abil ſaab hüpotenuſe pikkuſe ja nurgaſuuruſe järele ſelle nurga juuresolewa katedi pikkuſt wälja rehkendada ($b = c\ .\ cos\ k$), wõi jälle nurgaſuuruſe ja juuresolewa katedi pikkuſe järele hüpotenuſe pikkuſt ($c = \frac{b}{cos\ k}$). Silmanähtawalt on ühes õigenurgaliſes kolmnurgas ühe terawa nurga ſinus, teiſe koſinus. Nii on $cos\ 60^0 = sin\ 30^0 = 0{,}5$ ja $cos\ 36^0\ 52'\ 12'' = sin\ 53^0\ 7'\ 48''$ jne., ſeſt kui õigenurgaliſes kolmnurgas üks teraw nurk 30^0 on, ſiis on teine 60^0; kui üks on $53^0\ 7'\ 48''$, ſiis on teine $36^0\ 52'\ 12''$ — kokku on ju mõlemad terawad nurgad ikka 90^0.

Peale ſinuste ja koſinuste leiduwad trigonometria tabelites weel tangenſid. Ühe nurga tangens on arw, mis ütleb, mitu ſelle nurga juuresolewa katedi pikkuſt tema wastuſeiſew katet pikk on; m-kraadiliſe nurga tangenſit tähendatakſe lühendatult nii: $tang\ m^0$. Tangenſite abil ſaab ühe katedi pikkuſe ja ühe terawa nurga ſuuruſe järele teiſe katedi pikkuſt wälja rehkendada ($a = b\ .\ tang\ k$ wõi $b = \frac{a}{tang\ k}$). Silmanähtawalt on ühe nurga tangens tema ſinuſe ja koſinuſe kwotſient: $tang\ k = \frac{sin\ k}{cos\ k}$.

Sinuste, koſinuste ja tangenſite abil ſaab õigenurgaliſe kolmnurga juures ühe külje pikkuſe ja ühe terawa nurga ſuuruſe järele kergeste iga teiſe külje pikkuſt wälja rehkendada. Aga iga õigenurgaliſe kolmnurga ühe külje pikkuſt ſaab ka tema teiste külgede pikkuste järele wälja rehkendada. Õigenurgaliſt kolmnurka ſaab ühe ſihi läbi, mis õigenurga tipuſt hüpotenuſe peale perpentikularſelt läheb, kaheks temale ſarnaſeks õigenurgaliſeks kolmnurgaks lahutada. Nende kolme kolmnurga kohaste külgede pikkuſed on oma wahel proportſionalſed. Selleſt leiame kergeste, et õigenurgaliſe kolmnurga juures ikka hüpotenuſe pikkuſe arwu kwadrat tema katedite pikkuſearwude kwadradite ſumma on: $c^2 = a^2 + b^2$ wõi $f^2 = d^2 + e^2$ (joon. 20). Selle põhjal leiame katedite pikkuste järele hüpotenuſe pikkuſe kui kwadratradikſi katedite kwadradite ſummaſt: $c = \sqrt{a^2 + b^2}$ wõi $f = \sqrt{d^2 + e^2}$. Olgu näituſeks $d = 80$ m. ja $l = 60$ m, ſiis on $f = \sqrt{80^2 + 60^2} = \sqrt{6400 + 3600} = \sqrt{10000} = 100$ m. Niiſama leiame katedi pikkuſe hüpotenuſe ja teiſe katedi pikkuste järele: $d^2 = f^2 - e^2$ ja ſellega $d = \sqrt{f^2 - e^2}$. — Kõigeſt ſelleſt järgneb ka, et ühe nurga (k^0) ſinuſe kwadradi ja tema koſinuſe kwadradi ſumma 1 on: $sin^2\ k + cos^2\ k = 1$.

h) Rehkendamiſe peenſus. Meie ſaame paljuid ſuuruſi wälja rehkendada, aga ſeda ſaame ainult nende arwude järele teha, mis mõõtmiſeſt on ſaadud. Kui need arwud päris õiged olekſiwad, ſiis oleks ka wäljarehkendatud arw kas päris õige, wõi teda wõiks nii wälja rehkendada, et wahe tema ja õige arwu wahel kui tahes wäike oleks. Kui ruudu perpendikularſed küljed otſe 7 m ja 10 m pikkuſed on, ſiis on tema pind otſe 7 . 10 = 70 □ m ſuurune. Aga katſume täisruudu külje pikkuſt metrites leida, kui ſelle ruudu pind otſe 5 □ m ſuurune on. Meie leiame lõputa kümnikmurru 2,236. . . [13 b ja c]. Kui meil ainult ſelle numbri eſimene märk on leitud, ſiis teame juba, et otſitawa külje pikkus 2 m ja 3 m wahel on; kui meil ainult kaks märki alguſeſt on leitud, ſiis teame, et ta 2,2 m ja 2,3 m wahel on; kolme märgi leidmiſe järele teame, et ta 2,23 m ja 2,24 m wahel on; nelja järele, — et ta 2,236 m ja 2,237 m wahel on jne. Eſimene märk (2) ütleb otſitawa külje pikkuſe ühe metri peenſuſeni ära: tema ja õige arwu wahe on wähem kui 1 m; kaks eſimeſt märki (2,2) ütlewad ſeda 0,1 m peenſuſeni: nende arwu ja õige arwu wahe on wähem kui 0,1 m; kolm eſimeſt märki (2,23) — 0,01 m peenſuſeni jne. Nii wõime otſitawat täisruudu külge ükskõik misſuguſe peenſuſeni wälja rehkendada, aga millalgi mitte päris õigeste.

Kui need arwud, mille järele meie uut arwu wälja rehkendame, iſe mitte päris õiged ei ole, ſiis ei ſaa ka wäljarehkendatud arw päris õige. Järele mõteldes leiame weel, et rehkendamiſe peenſus millalgi kaugemale ei ulata, kui nende mõõtmiste peenſus, mille põhjal rehkendatakſe. Kui meie näituſeks raudlatti mõõdame ja 0,1 cm peenſuſeni mõõtes tema pakſuſe 2,1 cm ſuuruſe ja tema laiuſe 52 cm ſuuruſe leiame olewat, ſiis ſaame rehkendades ſelle raudlati otſa pinnaſuuruſeks 5,2 . 2,1 = 10,92 □ cm. Aga ſelle numbri wiimane märk (2) on ſiin ilmaaegne: meie mõõtmiſe peenſus ei ulata ſiin üle 0,1 cm, kudas wõime ſiis ſajandikkudeſt □ ſentimetriteſt kõneleda.

Mõõtmiſe ja rehkendamiſe abil ſaame ſuuruste kohta täielikka teadmiſi. See täielikkus ei ſeiſa mitte ſelles, et meie mõõtmiste ja rehkendamiste otſuſed täieste õiged olekſiwad, waid ſelles, et 1) need otſuſed päris õigeteſt wõimalikult wähe lahku lähewad ja et 2) meie alati teame, kui ſuur wahe meie otſuste ja päris õigete otſuste wahel olla wõib; juhtumiſi wõiwad ka meie otſuſed päris õiged olla.

Täielikud teadmiſed ei ſünnita teaduſt muidu, kui nad wõimalikult lihtſalt kokku wõetud on.

14. Teadmiste kokkuwõtmine. Tähelepannes leiame otſatu palju nähtuſi ja ſaame ſellega otſatu palju teadmiſi. Igat teadmiſt ſaab ſõnadega ära ütelda, ja ſeda ütteluſt nimetatakſe lauſeks. Aga wäga palju teadmiſi on ühte laadi, nii et neid kokkuwõetult ühe lauſega ära wõib ütelda. Nende lauſete kohta, mis hulka teadmiſi kokkuwõetult ära ütlewad, ütleme meie, et nendesſe on teadmiſed kokku wõetud. Nimetame neid lauſeid ſellepäraſt teadmiste kokkuwõteteks. Wõib wahet teha kolme laadi teadmiste kokkuwõtete wahel; need on: olemiſe teadmiste kokkuwõtted, nime teadmiste kokkuwõtted ja ühenduſe teadmiste kokkuwõtted.

a) Olemiſe teadmiste kokkuwõtted. Wäga ſagedaste on wett kange külma käes tähele pandud ja ſelle juures wäga ſagedaste ſee teadmine ſaadud, et weſi ära külmeb — kindlaks kehaks muutub. Kõiki neid üksikuid teadmisi wõib üheks lauseks kokkuwõtta: külmenud wett on sagedaste, wõi: wesi on sagedaste kindel keha. Need ja kõik teised laused, kus ühtlaadi nähtuste olemist ära öeldakse, on nähtuste olemise teadmiste kokkuwõtted.

b) Nime teadmiste kokkuwõtted. Alati siis, kui wesi külmenud on, nimetame teda jääks. See ja kõik teised laused, kus kõikide ühtlaadi nähtuste nimi ära öeldakse, on nähtuste nime teadmiste kokkuwõtted. Oma täielikul kujul on kõik nime teadmiste kokkuwõtted kaheosalised; esimeses osas tähendatakse ühtlaadi nähtused ära, teises osas nende ühine nimi. Alati siis, kui on see ja see, nimetame seda nii ja nii. Aga sagedaste tarwitatakse neid lühendatud kujul, nagu: külmenud wett nimetatakse jääks; jääks nimetatakse kindlaks kehaks muutunud wett jne.

Suurem osa sõnu meie igapäewases kõnes on ühised nimed ühtlaadi nähtuste jaoks. Nii on näituseks otsatu palju ühtlaadi asju, mida kõiki ühe sõnaga „kiwi“ nimetatakse; niisama on otsatu palju ühtlaadi asju, millele sõna „rauatükk“ ühiseks nimeks on jne. Leitakse uusi nähtusi ja uusi ühtlaadi nähtusi. Nendele pandakse nimesid. Uued nimed wõetakse sagedaste ladina- ja greekakeelest; sagedaste seatakse neid omakeele sõnadest kokku ja wahel hakatakse ka uusi nähtusi mõne omakeele sõnaga nimetama, nii et see sõna osalt teise tähenduse saab. Nii on näituseks füsikas sõnadele keha ja jõud laiem tähendus antud, kui neil sõnadel igapäewases kõnes on olnud.

c) Ühenduse teadmiste kokkuwõtted. Alati siis, kui wett on soojendatud ja tähele pandud, on tema kehasuurus soojenemise juures siis kahanenud, kui soojus weel 4 kraadini ei ole jõudnud, ja siis kaswanud, kui soojus üle 4^0 on jõudnud. See ja kõik teised laused, kus ära öeldakse, et ühed ühtlaadi nähtused alati teiste ühtlaadi nähtustega ühenduses on olnud, on nähtuste ühenduse teadmiste kokkuwõtted. Siin oli meil ära öeldud, et wee soojemaks minek tema kehasuuruse kahanemisega ja kaswamisega ühenduses on olnud. Kõik ühenduse teadmiste kokkuwõtted on oma täielikul kujul kaheosalised; esimeses osas tähendatakse see nähtus ära, millega teine nähtus ühenduses on, — teises osas see nähtus, mis esimesega ühenduses on: Alati siis, kui on nähtud seda ja seda, on ka nähtud seda ja seda; esimest osa nimetatakse tingimiseks, teist otsuseks. Aga sagedaste öeldakse ühenduse teadmiste kokkuwõtteid lühendatult; näituseks: wee kehasuurus on alati kahanenud nelja kraadini soojenemise juures.

Kui kõikide siiamaalsete tähelpanemiste juures kõik ühtlaadi nähtused teiste ühte ja sedasama laadi nähtustega ühenduses on olnud, siis tekkib meil arwamine, et sedalaadi nähtused alati ühenduses on olnud ja ikka ühendusesse jääwad. Kui wee kehasuurus kõikide siiamaalsete tähelepanemiste juures on nii muutunud, kudas ülemal on öeldud, siis on ta arwatawasti alati nii muutunud ja muutub ka edespidi ikka niisama. Sarnane arwamine on otsatu tähtis, sest sarnase arwamise järele seadime kõike oma igapäewast tegewust. Kui meie näituseks järgmiseks päewaks töösid ära määrame, siis teeme seda kõige pealt selle arwamise järele, et ka järgmiseks päewaks päike tõuseb, nagu ta siiamaani iga kahekümne nelja tunni sees on tõusnud.

Meil ei ole mingit tõendust seiieks, et need arwamised, mis ühenduse teadmiste kokkuwõtetest on tekkinud, ka tõeste täide lähewad — et näituseks soojenew wesi tõeste järgmisel päewal oma kehasuuruse poolest niisama muutub kui siiamaani. Meie wõime ainult oma arwamiſt ſeda kindlamaks lugeda, mida ſuurema arwu tähelepanemiste juures ta meid millalgi petnud ei ole. Aga meil kipub arwamine tekkima, et nähtuſed *peawad* ühte ja ſedaſama laadi oma wahel ühenduſes olema. Et nüüd neid lauſeid ſeadusteks nimetatakſe, kus inimeste kohta ära öeldakſe, kuidas nad olema peawad, ſiis on ka nähtuste ühenduſe teadmiste kokkuwõtteid **ſeadusteks** nimetama hakatud. Sellepäraſt öeldakſe wäga ſagedaste ühenduſe teadmiste kokkuwõtteid niiſuguſel kujul, kui oleks ſinna juba kõik teadmiſed minewikuſt ja tulewikuſt kokku wõetud. Nii öeldakſe wee kehaſuuruſe muutumiſe ſeaduſt harilikult nii: alati ſiis, kui weſi ſoojeneb, kahaneb tema kehaſuurus, kui ſoojus weel 4 kraadini ei ole jõudnud, ja kaswab, kui ſoojus üle 4^0 on jõudnud. Aga ſee ütleluſe kuju „kui on ſee ja ſee, ſiis on ka ſee ja ſee“ on ühenduſe teadmiste jaoks ainult lühendatud kuju; täielik ütleluſe kuju peab ikka olema: kui *on nähtud* ſeda ja ſeda, *on ka nähtud* ſeda ja ſeda. Et harilikult ühenduſe teadmiste kokkuwõtet niiſuguſel lühendatud kujul ära öeldakſe, ſiis ei tehta ſagedaste wahet nende wäga tähtſate kokkuwõtete ja ühede teiste palju wähem tähtſate lauſete wahel, mille täielik kuju nii on: kui on ſee ja ſee, ſiis on ka ſee ja ſee. Nii on ühenduſe teadmiste kokkuwõtetega ſagedaste järgmiſt lauſet kõrwu ſeatud: kaks kahte ehk kaks kord kaks on neli. Selle lauſe täielik kuju on nii: kui on kaks kahte, ſiis on neli. Seda ja teiſi niiſuguſeid lauſeid nimetame *järeldusteks*.

Järelduſed on niiſama tingimiſeſt ja otſuſeſt koos, nagu ühenduſe teadmiste kokkuwõtted, ſeſt ka nemad ütlewad kahe nähtuſe ühenduſt ära. Aga järelduste otſus on kas üks oſa tingimiſeſt, wõi ſeeſama tingimine iſe teiste ſõnadega ära öeldud, ja teine nähtus, mida järeldus ütleb eſimeſega ühenduſes olewat, on kas üks oſa eſimeſeſt wõi terwe eſimene nähtus ainult teiste ſõnadega ära tähendatud: kui on neli kuuli, ſiis on ka üks kuul; kui on kaks kahte kuuli, ſiis on ka neli kuuli. Järelduſi öeldakſe enamaste lühendatud kujul: üks on nelja ſees, kaks kahte on neli jne. Kõik rehkenduſe lauſed on järelduſed, kui nad mitte nime teadmiste kokkuwõtted ei ole. Nii on järgmiſed lauſed järelduſed: kui on meil ſirgeküljeline õigenurgaline kolmnurk, ſiis on tema hüpotenuſe kwadrat katedite kwadradite ſumma ſuurune. Kui ſee mitte küllalt ſelge ei ole, et järelduſe otſus üks oſa tema tingimiſteſt on, ſiis wõib ſeda ſelgeks teha; ſeda ſelgekstegemiſt nimetatakſe *tõendamiſeks*.

Kui ühe nähtuſega alati teine ühenduſes on, ſiis nimetatakſe eſimeſt nähtuſt teiſe *põhjuſeks* ja teiſt eſimeſe *tagajärjeks*. Kui need nähtuſed ſuuruſed on, ſiis nimetatakſe eſimeſt teiſe argumendiks ja teiſt eſimeſe funktſioniks [13 f].

15. Teadmiste lihtſam kokkuwõtmine. Süstem. Nagu meie igapäewaſe kõne ſõnad ſuuremalt oſalt hulga ühtlaadi nähtuste nimed on, nii on ka juba igapäewaſe kõne lauſed ſuurelt oſalt teadmiste kokkuwõtted. Aga igapäewaſes kõnes on ſagedaste ühtlaadi asjade jaoks mitu nime, mitmet laadi asjade jaoks üks nimi ja paljude asjade jaoks ei olegi oma nime. Püütakſe *ſõnu nii wälja walida, uuſi ſõnu tarwituſele wõtta ja nendele niiſuguſt tähenduſt anda, et wõimalikult wäheste ſõnadega wõimalikult palju nähtuſi wõimalikult täieste ſaaks ära tähendada*. Nii ſaab nähtuste nime teadmiſi wõimalikult lihtſalt kokku wõtta. — Igapäewaſes kõnes on wäga palju ükſikuid ühenduſe teadmiste kokkuwõtteid — näituſeks: päike käib oma igapäewaſt käiku, kuu oma igapäewaſt käiku, iga ükſik täht oma jne., mida kõiki üheſſe lauſeſſe ſaab kokku wõtta: maakera keerleb. Püütakſe *nähtuste ühenduſe teadmiſi nii kokku wõtta*, et wõimalikult wäheste lausetega wõimalikult palju tähelepanekuid wõimalikult täieste oleks ära öeldud. See on ühenduse teadmiste wõimalikult lihtne kokkuwõtmine.

Paljudes teadmiste kokkuwõtetes wõib midagi ühist leiduda. Maakera on ümargune, maakera keerleb, maakera käib ümber päikese jne. Kõik need teadmiste kokkuwõtted käiwad ühiselt maakera kohta; teine ja kolmas lause käiwad weel ühiselt maakera liikumise kohta. Kõigis kolmes lauses on midagi ühist, aga teises ja kolmandas on rohkem ühist. Kõiki neid teadmiste kokkuwõtteid, millel midagi ühist on, püütakse mõttes üheks teadmiste kokkuwõtete koguks ühendada ja ühesse raamatusse üleskirjutada. Kui selles kogus üksikud teadmiste kokkuwõtted nii on järge seatud, et need, millel rohkem ühist on, ka wõimalikult üksteisele ligemal leiduwad, siis nimetatakse seda teadmiste kokkuwõtete kogu süstemiks. Üleskirjutamise juures jaotatakse niisugune teadmiste kogu osadeks, peatükkideks ja tükikesteks ehk paragrafideks. Ühte peatükki on need teadmiste kokkuwõtted ühendatud, millel wäga palju ühist on, kuna ühes paragrafis enamaste ühte ainust teadmiste kokkuwõtet püütakse selgeks teha. — Iga teadus on ühe asja kohta käiwate teadmiste süstem; füsik on lihtsamate nähtuste kohta käiwate teadmiste süstem.

IV. Füsika sisu jaotus.

16. Käesolew raamat on kahte osasse jaotatud: esimeses osas kõneldakse wäga lihtsatest nähtustest, teises osas wähem lihtsatest. Esimene osa on nii peatükkidesse jaotatud, et igas peatükis need teadmised koos on, mis ühesse ja sellessesamasse tungisse puutuwad. Teise osa peatükid on nii järge seatud, et ikka lihtsamatele nähtustele keerulisemad järgnewad. Terwe jaotus on järgmine.

Esimene osa. I. Liikumine. II. Raskus. III. Soojus. IV. Kehapõnewus. V. Pinnapõnewus. VI. Seganemine. VII. Aine muutumine. VIII. Aine teisenemine. IX. Magnet. X. Elekter.

Teine osa. XI. Keerlemine ja masinad. XII. Wõnkumine, pendel, laened ja hääl. XIII. Walgus ja teised kiired. XIV. Kristallid.

V. Füsika peatähtsus.

17. Need teadmised, mis füsikasse on kokku kogutud, on wäga tähtsad teadusemeestele, kes keerulisemate nähtuste kohta teadmisi otsiwad, ja inseneridele, kes mitmesuguseid tungisid ja jõudusid inimese kasuks tööle panna püüawad. Alles siis saab teadusemees wõi insener wõimalikult wähese waewaga wõimalikult palju ära teha, kui ta lihtsamaid nähtusi hästi tunneb. Aga ka kõigile teistele on füſika tundmine tähtis. Kui meie füſikat tunneme, ſiis ei oska meie küll weel teaduſemehe wiiſil nähtuſi mõõta ja ette kuulutada ega inſeneri wiiſil maſinaid ehitada, aga meie ſaame ſiis teaduſemeeste mõõtmisteſt ja ettekuulutusteſt ja inſeneride maſinateſt aru. See aruſaamine ongi füſika peatähtſus. — Kui meie maſinateſt aru ſaame, ſiis teame ka, misſuguſed oſad neil tähtſamad ja misſuguſed wähem tähtſad on. Sellepäraſt wõib ſee, kes füſikat tunneb, maſinaga paremine ja julgemalt ümber käia. Nii wõib füſika tundmine ka tegelikus elus oma jagu tähtis olla.

Esimene osa.

Wäga lihtsad nähtused.

I. Liikumine.

18. Liikumine. Liikumiſeſt kõneleme meie ſeal, kus mõni keha kõige täiega oma kohta muudab wõi kus mõne keha oſad oma kohtaſid muudawad. Sõitwa wankri kohta ütleme: wanker liigub; ümberkäiwa tuuleratta kohta ütleme, et ta liigub, ja niiſama ütleme ka, et metſa puud liiguwad tuule käes. Wanker liigub kõige täiega edaſi. Tuuleratas liigub: ta käib oma tiibadega ringi, aga jääb ühe ja ſelleſama koha peale. Puu liigub: tema okſad wõi ka terwe puu ülemine oſa kõiguwad, aga puu iſe jääb oma koha peale. — Liikumiſeks nimetatakſe mõne asja wõi tema oſade koha muutmiſt.

Liikumiſi leiame igal pool ja enamaste wäga keeruliſi. Füüſikas õpime ainult lihtſamaid liikumiſi tundma.

On kolm liiki lihtſamaid liikumiſi: edaſiliikumine, keerlemine ja wõnkumine. Wanker liigub edaſi. Niiſama liigub ka wiſatud kiwi edaſi ja lendaw lind liigub edaſi. Neid ja teiſi ſarnaſeid liikumiſi nimetatakſe edaſiliikumisteks.

Kui tuulewesķi jahwatab, ſiis käib tema tuuleratas oma koha peal ümber. Weski ſees käiwad ka mitmed wõllid ja nende külge kinnitatud hambarattad ümber. Ümberkäiwa tuuleratta ja ümberkäiwate wõllide ja hambarataste kohta öeldakſe, et nad keerlewad. Neid ja teiſi ſarnaſeid liikumiſi nimetatakſe keerlemisteks.

Puu okſad liiguwad tuule käes edaſi ja tagaſi; haawa lehed hakkawad juba wäga wäikeſe tuule käes edaſi ja tagaſi liikuma, kandle wõi klaweri keele keſkkoht liigub edaſi ja tagaſi, kui ſee keel heliſeb. Neid liikumiſi ja teiſi ſarnaſeid nimetatakſe wõnkumisteks.

Kui ſeinakell käib, ſiis näeme kellawärgis wäga mitmeſuguſeid liikumiſi. Aga kõik need liikumiſed on kas edaſiliikumiſed wõi keerlemiſed wõi wõnkumiſed: rasked pommid, mis kella liikuma panewad, liiguwad pikkamiſi allapoole; mitmeſuguſed rattad ja wõllid kella ſees ja tunni- ja minutinäitajad numbrilaual keerlewad; pendel wõngub. Nagu ſeinakella keeruline liikumine, nii on ka iga teiſe maſina keeruline *liikumine mitmeſugusteſt edaſiliikumisteſt, keerlemisteſt ja wõnkumisteſt koos.*

Nii keerlemiſe, kui ka wõnkumiſe ſees on juba edaſiliikumine. Keerlewa tuuleratta juures liiguwad tema tiiwad ringi mööda edaſi; kõikuwa puu ladew liigub kord ühele kord teiſele poole edaſi. Edaſiliikumine on igal pool nii keerlemiſele kui ka wõnkumiſele oſaks: *keerlemine ja wõnkumine on mitmeſt edaſiliikumiſeſt koos.* Sellega *on iga keeruline liikumine mitmeſuguste edaſiliikumiste kogu. Edaſiliikumine on ſiis igaſt teiſeſt liikumiſeſt lihtſam.*

Siin järgnewad tükid kõnelewad nimelt edaſiliikumiſeſt. Keerlemiſe ja wõnkumiſe kohta leiduwad mõned tähtſamad teadmiſed füſika teiſes oſas.

Ükſikute edaſiliikumiste wahel leiame waheſid. Ühed wahed on meile alati kerged tähele panna; neid nimetatakſe *kiiruſe* wahedeks. Teiſed wahed tulewad alles liikumiste muutumiſe juures ilmſiks; need on *liikumiſe hulga* ja *liikumiſe jõuu* wahed. Liikumiſe muutumiſe juures tulewad ka mõned wahed kehade wahel ſelle järele nähtawale, kuidas kehad *liikumiſt* endasſe *mahutawad* wõi teda *edaſi wiiwad.*

19. Kiiruſe ſuurus. Poſtwanker liigub edaſi ja raudtee rong liigub edaſi. On wahe nende kahe edaſiliikumiſe wahel: rong ſõidab kiiremalt kui poſt, rongi *kiirus on ſuurem* kui posti oma. Kiiruſe ſuuruſt mõõdetakſe. *Kiiruſe mõõduks loetakſe ſelle keha kiiruſt, mis ühe ajamõõdu jookſul ühe kauguſemõõdu edaſi liigub,* ja *kiiruſe ſuuruſe arwuks* ſeda arwu, *mis ütleb, mitu kauguſemõõtu liikuw keha ühe ajamõõdu jookſul edaſi liigub.* Selle juures wõetakſe wäga ſagedaste kauguſemõõduks meter ja ajamõõduks ſekund.

Kui teada on, mitme ſekundi jookſul liikuw keha üheſt kohaſt teiſe kohta on tulnud ja mitu metrit teine koht eſimeſeſt eemal on, ſiis ſaab ka teada, kui ſuur on liikuwa keha kiirus. Tähendame nimetatud ſekundite arwu tähe t-ga (ladinakeelſeſt ſõnaſt *tempus* — aeg); tähendame läbijookstud kauguſe metrite arwu tähe d-ga (lk. ſõnaſt *distantia* — kaugus), ja wiimaks kiiruſe ſuuruſt tähe v-ga (lk. ſõnaſt *velocitas* — kiirus), — ſiis leiame kiiruſe ſuuruſe järgmiſelt:

t ſekundis jookſeb liikuw keha d metrit,

1 „ „ „ „ $\frac{d}{t}$ „ .

ſellega on kiiruſe ſuurus

$$v = \frac{d}{t} \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Kiiruſe ſuuruſe arw on ühe aja jookſul läbijookstud kauguſe metrite arwu ja ſelle aja ſekundite arwu kwotſient. Kui näituſeks ſuurtüki kuul 6 ſekundi jookſul 3 kilometrit ja 600 metrit on laſkmiſe kohaſt eemale jooksnud, ſiis on tema kiirus $\frac{3600}{6} = 600 \frac{m}{s}$. — Et kiiruſe ſuuruſe mõõdu jaoks weel iſe nime ei ole tarwitama hakatud, ſellepäraſt tähendatakſe kiiruſe ſuuruſe arwu juures ikka, misſuguste mõõtudega kauguſt ja aega ſelle arwu jaoks on mõõdetud. Seda tehtakſe enamaste lühendatult: $\frac{m}{s}$ (metrit ſekundis), $\frac{km}{tund}$ (kilometrit tunnis) jne.

Aga nii leiame õige kiiruſe ſuuruſe ainult ſiis, kui liikuw keha terwe aja — t ſekundit — üheſuguſe kiiruſega edaſi jookſeb: kui ta eſimeſel ſekundil niiſama palju maad läbi jookſeb kui teiſel, kolmandal jne. ſekundil. Sel korral nimetatakſe liikumiſt ühtlaſeks. Ühtlane liikumine on lihtſam edaſiliikumine. — Kui liikuw keha eſimeſel ſekundil kõige rohkem edaſi jookſeb, teiſel ſekundil wähem, kolmandal weel wähem jne., ſiis nimetatakſe ſeda liikumiſt kahanewaks. — Selle wastu nimetatakſe liikumiſt kaswawaks, kui liikuw keha eſimeſel ſekundil kõige wähem edaſi jookſeb, teiſel ſekundil juba rohkem, kolmandal weel rohkem jne. — Kõik edaſiliikumiſed on ühtlaſteſt, kahanewateſt ja kaswawateſt liikumisteſt koos. Kui raudteerong üheſt jaamaſt teiſe ſõidab, ſiis on tal wäljaſõites kaswaw liikumine, teel ſuuremalt oſalt ühtlane ja teiſe jaama ſiſſeſõites kahanew liikumine.

Kahanewa ja kaswawa liikumiſe puhul ei anna formul (1)*) meile mitte õiget kiiruſe ſuuruſt. Laſtud kuulil on kahanew liikumine. Kui kuul 6 ſekundiga 3600 metrit edaſi jookſis, ſiis ei jooksnud ta mitte igas ſekundis 600 m, waid eſimeſel ſekundil igatahes rohkem ja wiimaſel ſekundil igatahes wähem kui 600 m. Laſkmiſe kohal oli kuulil ſuurem kiirus kui langemiſe kohal. Nii wõib kaswawa wõi kahanewa liikumiſe juures ſelleſt kõneleda, misſugune kiirus liikuwal kehal kuſagil kohal on. Kiiruſe ſuuruſe arwuks kuſagil kohal nimetatakſe ſeda arwu, mis ütleb, mitu kauguſe mõõtu liikuw keha ühe ajamõõdu jookſul läbi jookſeks, kui ta niiſama edaſi liiguks, nagu ta ſeal kohal liigub. Suurtüki kuuli kiiruſe ſuuruſe arwuks laſkmiſe kohal nimetatakſe ſiis ſeda arwu, mis ütleb, mitu metrit kuul ühe ſekundi jookſul läbi jookſeks, kui ta niiſama edaſi jookſeks, kuidas ta ſuurtüki otſaſt wälja jookſeb. See maa, mis kuul tõeste eſimeſel ſekundil läbi jookſeb, on juba wähem, ſeſt ſekundi lõpul ei jookſe kuul enam nii kiireste edaſi kui ſekundi algul.

Kui ſuur ühe edaſiliikuwa keha kiirus kuſagil kohal on, näituſeks ſuurtüki kuuli kiirus ſuurtüki ſuu juures, wõi ſada metrit ſuurtükiſt eemal, wõi tuhat metrit eemal, wõi weel mujal, ſeda ſaab iſeäraliste mõõduriistade abil mõõta. Üks ſarnane mõõduriiſt on raske pendel, mida meie füſika teiſes oſas tundma õpime. — Formul (1) järele wäljarehkendatud kiirus on kahanewa liikumiſe puhul alguskiiruſeſt

*) Formuliks nimetatakſe ühe lauſe üleskirjutuſt arwuſid tähendawate tähtede ja rehkenduſe märkide abil, nagu: $a = c \cdot \sin k$, wõi $c = \frac{a}{\sin k}$, wõi $c = \sqrt{a^2 + b^2}$ jne. [13, g].

wähem, aga lõpukiiruſeſt ſuurem; kaswawa liikumiſe puhul on ſee wäljarehkendatud kiirus alguskiiruſeſt ſuurem, aga lõpukiiruſeſt wähem. Sellepäraſt nimetatakſe formul (1) järele wäljarehkendatud kiiruſt ſiis keſkmiſeks kiiruſeks, kui edaſiliikumine mitte ühtlane ei ole. Nii oli ka ülemal wäljarehkendatud ſuurtüki kuuli kiirus nimelt keſkmine kiirus.

20. Kiiruſe ſiht. Peale kiiruſe ſuuruſe wõib liikumiste wahel ka kiiruſe ſihi pooleſt wahet olla. Rong wõib igas ſekundis 15 m põhja poole ſõita, poſtwanker igas ſekundis 3 m ida poole nihkuda ja ſuurtüki kuul igas ſekundis 600 m otſe ülespoole lennata. Siin on igal kiiruſel iſe ſuurus ja iſe ſiht. Nendel ſihtidel on oma nimed, mis neid täieste ära tähendawad: põhjaſiht, idaſiht ja püſtſiht. Sellepäraſt ongi meil ſiin kerge rongi, posti ja kuuli kiiruſt täieste ära ütelda: rongil on põhjaſihiline kiirus 15 $\frac{m}{s}$, postil idaſihiline kiirus 3 $\frac{m}{s}$ ja kuulil püſtſihiline kiirus 600 $\frac{m}{s}$. Sihtiſid on otſatu palju, ja ainult mõnedel on oma nimed. Sellepäraſt ei ole kõiki kiiruſi nii kerge ära tähendada kui põhja-, ida- ja püſtſihiliſi kiiruſi. Aga rehkenduſe märkide abil ſaab kõiki kiiruſi põhjaſihiliste, idaſihiliste ja püſtſihiliste läbi ära tähendada, nagu ſiin alamal ſelgub.

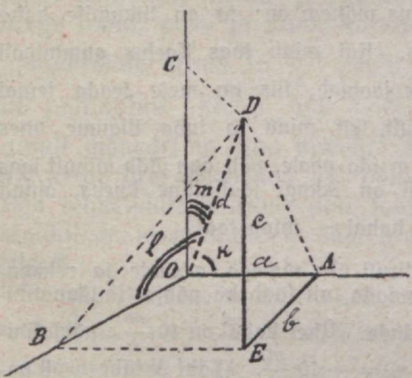
Kui üks keha 10 m ſekundis ida poole jookſeb, ſiis tähendame ſeda nii: $v_0 = +10 \frac{m}{s}$. (Kiiruſt tähendaſime tähe v-ga; idaſihiliſt kiiruſt tähendame tähe v_0-ga. Wäike o tähe v all paremal pool on ſakſakeelſeſt ſõnaſt *Ost* — ida — wõetud.) Sõnadega tuleks ſeda nii ütelda: idaſihiline kiirus on 10 $\frac{m}{s}$ ſuurem, ſeſt rehkenduſe märk + tähendab ſuurem. Milleſt ſee kiirus ſuurem on, ſeda ſelgitawad järgnewad lauſed. — Ütleme, et meie Tartus oma toas ühe keha liikumiſt tähele paneme. Meie näeme, et ſee keha (näituſeks wiſatud gummipall) 10 m ſekundis ida poole jookſeb. Aga meie iſe kõige oma toaga ja Tartu linnaga ei ſeiſa ju mitte paigal. On tuttaw, et maakera ennaſt päewa ja öö jookſul üks kord täieste ümber keerab. Maakera keerab ennaſt lääne poolt ida poole. Wõib wälja rehkendada, kui ſuure kiiruſega mingi koht maakera keeramiſe tagajärjel lääne poolt ida poole edaſi liigub. Tartu linn liigub maakera keeramiſe tagajärjel igas ſekundis umbes 240 m ida poole. Kui ſiis Tartus minu toas üks keha (wiſatud gummipall) igas ſekundis minuſt 10 m ida poole jookſeb, ſiis ei ole ſelle keha kiirus õiete mitte 10 $\frac{m}{s}$ waid 250 $\frac{m}{s}$, ſeſt mina iſe liigun ühes oma toa ja Tartu linnaga igas ſekundis 240 m ida poole, aga liikuw keha (wiſatud gummipall) läheb igas ſekundis minuſt weel 10 m ette. — Aga maakera keeramine on ainult üks maakera liikumine. Peale ümberkeeramiſe liigub maakera weel meie teada mitmet kümnet laadi. Teadmata liikumiſi wõib maakeral weel ſadaſid ja tuhandeid olla. Kui maakera liigub, ſiis liiguwad muidugi ka kõik kohad tema pinnal. Meie ei ſaa mitte kindlaste ſeda teada, kudas üks wõi teine koht liigub, aga paigalſeiswaks ei tohi meie ühtegi kohta tunnistada. — Üks keha liigub $10 \frac{m}{s}$ kiirusega ida poole, tähendab, et see keha igas sekundis 10 m rohkem ida poole jookseb kui see koht, kus see keha liigub. Sellel liikuwal kehal on idasihiline kiirus $10 \frac{m}{s}$ suurem, kui tema liikumise kohal. Seda ütlebki meie üleskirjutus: $v_0 = + 10 \frac{m}{s}$.

Kui üks keha 10 m sekundis lääne poole jookseb, siis tähendame seda nii: $v_0 = - 10 \frac{m}{s}$. Sõnadega tuleks seda nii ütelda: idasihiline kiirus on wähem $10 \frac{m}{s}$, sest rehkenduse märk „—" tähendab wähem. Meie teame nüüd, millest see kiirus wähem on: ta on liikumise koha idasihilisest kiirusest $10 \frac{m}{s}$ wähem. Kui minu toas Tartus gummipall minust 10 m sekundis lääne poole jookseb, siis on meie teada temal siiski weel $230 \frac{m}{s}$ idasihilist kiirust, sest mina ja tuba liigume ühes Tartu linnaga igas sekundis 240 m ida poole, pall aga jääb minust igas sekundis 10 m lääne poole. Pallil on ikkagi idasihiline kiirus, ainult $10 \frac{m}{s}$ wähem kui tema liikumise kohal — minu toal.

Nagu ida- ja läänesihilisi kiirusi ühe nimega, arwude ja rehkenduse märkide abil, saab ära tähendada, nii saab ka põhja- ja lõunasihilisi kiirusi ühe nimega ära tähendada. Ühel kohal on $10 \frac{m}{s}$ põhjasihilist kiirust. Seda tähendame nii $v_N = + 10 \frac{m}{s}$. (Täht N tähe v all paremal pool on saksakeelsest sõnast *Nord* — põhi — wõetud). Seda tuleks sõnadega nii ütelda: põhjasihiline kiirus on suurem $10 \frac{m}{s}$. Suurem on ta muidugi liikumisekoha põhjasihilisest kiirusest: maakera ise wõib kes teab missuguse kiirusega põhja poole jooksta, aga liikuw keha läheb temast igas sekundis 10 m ette. — Lõunasihilist kiirust $10 \frac{m}{s}$ tähendatakse nii: $v_N = - 10 \frac{m}{s}$, see on: põhjasihiline kiirus on wähem 10 m. Kui ma oma toas palli $10 \frac{m}{s}$ kiirusega lõuna poole wiskan, siis wõin ma igatahes ütelda, et pall põhjasihilises liikumises minust igas sekundis 10 m maha jääb. Ma ei tea küll mitte, kui kiireste maakera minu tuba ühes minuga põhja poole wiib, aga seda ma näen, et pall minust igas sekundis 10 m taha jääb.

Püstsihilist kiirust $10 \frac{m}{s}$ tähendame: $v_Z = + 10 \frac{m}{s}$. Niisama suurt otse alla sihitud kiirust tähendame: $v_Z = - 10 \frac{m}{s}$. (Täht z on sõnast *Zenith* wõetud, mis otse pea kohal olewat taewa punkti tähendab). Kui üks keha meie juurest otse ülespoole igas sekundis 10 m jookseb, siis on tema püstsihiline kiirus $10 \frac{m}{s}$ suurem kui see kiirus, millega maakera meid otse ülespoole wiib. Kui üks keha meie poole otſe alla igas ſekundis 10 metrit jookſeb, ſiis on tema püſtſihiline kiirus igatahes $10\frac{m}{s}$ wähem kui meie püſtſihiline kiirus. Meie ei tea küll mitte, kui kiireste meie ühes maakeraga ülespoole lendame, aga ſeda meie näeme, et meie ſellele kehale, mis meiſt kõrgemal on, igas ſekundis 10 metri wõrra ligemale jõuame. See keha ei jookſe ſiis mitte nii kiireste ülespoole kui meie, tema püſtſihiline kiirus on $10\frac{m}{s}$ wähem kui meie oma.

Kõiki teiſi kiiruſi wõib põhja-, ida- ja püſtſihiliste kiiruste abil ära tähendada. Paneme tähele, kus kohal liikuw keha ühel ſilmapilgul on, ja waatame, kuhu ta ühe ſekundi päraſt jõuab. Ütleme, et ſee keha eſimeſel ſilmapilgul punktis O oli ja ühe ſekundi päraſt punktisſe D on jõudnud. Punkt D on punktiſt O mõni meter põhja wõi lõuna pool; ütleme, et ta a metrit põhja wõi lõuna pool on. Selle juures wõib punkt D ka punktiſt O mõni meter ida wõi lääne pool olla; ütleme, et ta b metrit ida wõi lääne pool on. Peale ſelle wõib punkt D punktiſt O mõni meter kõrgemal wõi madalamal olla; ütleme, et ta c metrit kõrgemal wõi madalamal on. Kui punkt D punktiſt O nimelt põhja ja ida pool ja kõrgemal on, ſiis on ju meie liikuw keha ühe ſekundi jookſul ühtlaſi a metrit põhja poole, b metrit ida poole ja c metrit ülespoole liikunud.



Joon. 21.

Olgu joonistus 21. peal punkt O ſee koht maa pinnal, kuſt üks keha (näituſeks ſuurtüki kuul) liikuma hakkas. Tähendagu joon OA põhja ſihti ja OB ida ſihti maa pinnal, aga OC püſtſihti. Olgu punkt E ſee koht maa pinnal, mille kohal liikuw keha ühe ſekundi päraſt on E kaugus O-ſt olgu e m. Kui ſiis EA on perpendikularne OA-le, ſiis on liikuw keha ühe ſekundi jookſul ED ehk c metri wõrra maapinnaſt kõrgemale tõusnud, OA ehk a metri wõrra oma jookſu alguſe kohaſt põhja poole läinud ja AE ehk b metri wõrra ida poole jooksnud. Kõike ſeda wõime märkide abil nii ära tähendada: $v_N = +a\frac{m}{s}$, $v_0 = +b\frac{m}{s}$ ja $v_z = +c\frac{m}{s}$. Sõnadega tuleks ſeda nii ütelda: põhjaſihiline kiirus on ſuurem $a\frac{m}{s}$, idaſihiline kiirus $b\frac{m}{s}$ ja püſtſihiline kiirus $c\frac{m}{s}$.

Liikuwa keha päriskiiruſe aſemel on ſiin kolm iſeſihiliſt kiiruſt ära tähendatud. Nimetame neid kiiruſi liikuwa keha o ſ a k i i r u s t e k s ja nende ſihtiſid a l g ſ i h t i d e k s. Meie näeme warsti, et oſakiiruste ja algſihtide järele wõimalik on päriskiiruſe ſuuruſt ja ſihti wälja rehkendada. Peale põhja-, ida- ja püſtſihi wõiwad algſihtideks iga kolm meile tuttawat ſihti olla, ainult ſiis on päriskiiruſe ſuuruſe ja ſihi wäljarekkendamine kõige lihtſam, kui algſihid ükſteiſele perpendikularſed on, nagu põhja-, ida- ja püſtſiht.

Olgu meil ükskõik misſuguſed kolm perpentikularſet ſihti, mida mööda meil kerge on ühe keha liikumiſt tähele panna. Need kolm ſihti wõtame algſihtideks ja nimetame esimeſt x-ſihiks, teiſt y-ſihiks ja kolmandat z-ſihiks (joon. 21). Kui meie ſiis leiame, et liikuw keha ühe ſekundi jookſul a metrit x-i poole wõi x-iſt eemale, b metrit y-i poole wõi y-iſt eemale ja c metrit z-i poole wõi z-iſt eemale on läinud, ſiis wõime ſeda nii üles kirjutada:

$$v_x = \pm a \frac{m}{s};\ v_y = \pm b \frac{m}{s};\ v_z = \pm c \frac{m}{s} \quad . \ . \ . \quad (2)$$

Olgu liikuw keha ühe ſekundi jookſul O-ſt D-ſſe jooksnud (joon. 21) ja olgu OD d metrit pikk, ſiis on liikuwa keha päriskiirus $d \frac{m}{s}$ ſuur ja ta ſiht ſünnitab algſihtidega järgemööda nurgad k, l ja m. Aga $d^2 = e^2 + c^2$ ja $e^2 = a^2 + b^2$ [13, g]. Sellepäraſt on $d = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$. Kui meie ſiis päriskiiruſt tähe v-ga tähendame, ſiis leiame formulite kogu (2) põhjal joonistus 21. järele kolmnurkadeſt ODE, OEA, ODA, ODB ja ODC [13, g]:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \quad . \ . \ . \quad (3)$$

ja

$$\cos k = \frac{v_x}{v};\ \cos l = \frac{v_y}{v};\ \cos m = \frac{v_z}{v} \quad . \ . \ . \ . \quad (4)$$

Kui meie näituſeks leiame, et ſuurtüki kuul üks ſekund päraſt laſkmiſt 270 m kõrgel ja ſuurtükiſt 360 m ida pool ja 600 m põhja pool on, nii et $v_x = 600 \frac{m}{s}$, $v_y = 360 \frac{m}{s}$ ja $v_z = 270 \frac{m}{s}$, ſiis on kuuli päriskiirus $v = \sqrt{600^2 + 360^2 + 270^2} = 750 \frac{m}{s}$. Õieti on ſuurtüki kuul ſiis 750 m ſekundis läbi jooksnud, kui ta ennegi kõige ſelle aja ühel ja ſellelſamal ſihil on edaſi jooksnud. — Niiſama on ſiis ka $\cos l = \frac{360}{750} = 0{,}48$; $\cos k = \frac{600}{750} = 0{,}8$ ja $\cos m = \frac{270}{750} = 0{,}36$. Trigonometria tabeliteſt leiame: $l = 61^0\ 18'\ 53''$; $k = 36^0\ 52'\ 12''$ ja $m = 68^0\ 53'\ 59''$; need nurgad ſünnitab kuuli jookſu ſiht põhja-, ida- ja püſtſihiga.

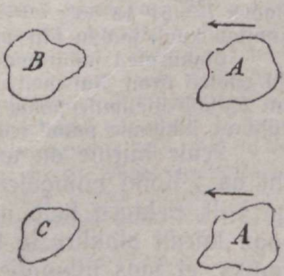
Oſakiiruſed määrawad päriskiiruſe täieste nii tema ſuuruſe kui ka ſihi pooleſt ära. Kui meil algſihid teada on, ſiis ſaame oſakiiruste ſuuruſt ühtlaſe liikumiſe puhul formul (1) järele wälja rehkendada wõi mitteühtlaſe liikumiſe puhul ſellekohaste riistade abil ära mõõta.

Peale kiiruſe on weel palju teiſi nähtuſi, millel ſuurus ja ſiht on. Kõiki niiſuguſeid nähtuſi nimetatakſe **w e k t o r i t e k s**. Iga teiſt wektorit ſaab niiſama oſawektorite abil ära määrata, nagu kiiruſt oſakiiruste läbi. Liikumiſe muutumiſe juures tuleb ilmſiks, et igas liikumiſes peale kiiruſe weel üks teine wektor leidub, mida liikumiſe hulgaks hüütakſe.

21. Liikumiſe hulk. Ma wiskan hernetera ühe kiiruſega wastu pihku ja tunnen ſelle juures wäikeſt hoopi. Aga ma tunnekſin ſuuremat hoopi, kui ma ſelle hernetera ſuurema kiiruſega wastu pihku wiskakſin. Ja weel tunnekſin ma ſuuremat hoopi, kui ma mitu hernetera niiſama ſuure kiiruſega wastu pihku wiskakſin. Selle kokta öeldakſe, et ühel herneteral ſiis rohkem liikumiſt on, kui ta kiiremalt jookſeb, ja et mitmel üheſuguſe kiiruſega herneteral rohkem liikumiſt on, kui ühel. Hoobi järele kõneldakſe *liikumiſe hulgaſt*. Hoobi juures pannakſe tähele, kui ſuur ta on ja kuſt poolt ta tuleb. Sellega on ka liikumiſe hulgal ſuurus ja ſiht.

Liikumiſe hulk on wäga tähtis nähtus. Tema ſuuruſt mõõdetakſe ſagedaste otſekohe. Selleks peab terwe rida tuttawaid liikumiſe hulkaſid olema ja peab wõimalik olema järele waadata, kas üks tundmata liikumiſe hulk ühe tuttawaga üheſuurune on [12, a]. *Tuttawateks loetakſe ühe täieste tuttawa keha liikumiſe hulkaſid. Kui ſelle keha kiirus ühe mõõdu ſuurune on, ſiis loetakſe ka tema liikumiſe hulk ühe mõõdu ſuuruſeks; kui tema kiirus kahe, kolme, nelja jne. mõõdu ſuurune on, ſiis loetakſe ka tema liikumiſe hulka kahe, kolme, nelja jne. mõõdu ſuuruſeks.* Selle juures loetakſe ſagedaste täieste tuttawaks kehaks Pariſis alalhoitawat kilogrammi eeskuju [12, c] ja kiiruſe mõõduks 1 $\frac{m}{s}$. Selle korral on liikumiſe hulga ſuuruſe mõõduks ſee liikumiſe kulk, mis Pariſi kilogrammil ſiis on, kui ta igas ſekundis ühe metri edaſi jookſeb. Selle mõõdu jaoks ei ole weel iſe nime tarwituſele wõetud; nimetame teda *liikumiſe hulga ſuureks mõõduks* [24, a]. — Kas üks liikumiſe hulk teiſega üheſuurune on, ſeda ſaab järgmiſelt järele waadata.

Jooksku üks keha A (joon. 22.) mõne kiiruſega lääne poole ja temale otſe wastu teine keha B. Kui need kehad kokku põrkawad ja kokku jääwad, ſiis wõib kolm juhtumiſt olla: 1) nad wõiwad üheskoos lääne poole edaſi liikuda; 2) nad wõiwad üheskoos ſeisma jääda, ja 3) nad wõiwad üheskoos ida poole edaſi liikuda. Eſimeſel juhtumiſel on wastutulewal kehal B kõige wähem liikumiſt: tema hoop, mille ta kehale A annab, on nii wäike, et A omal ſihil weel edaſi liigub. Teiſel juhtumiſel on kehal B juba rohkem liikumiſt: tema hoop paneb keha A ſeisma. Kolmandal juhtumiſel on kehal B weel rohkem liikumiſt: tema hoop ei pane keha A mitte ainult ſeisma, waid lükkab teda weel tagaſi ida poole liikuma.



Joon. 22.

On mitmel wiiſil wõimalik ühte keha A (joon. 22) ikka üheſuuruſe kiiruſega jooksma panna. Kui mõni wastutulew keha B ſelle keha ſeisma paneb, temaga kokku põrgates ja kokkujäädes, ja kui teinekord mõni teine wastutulew keha C ſedaſama teeb, ſiis öeldakſe, et kehal B niiſama palju liikumiſt on olnud, kui kehal C. Keha C wõib B-ſt ſuurem wõi wähem olla, ta wõib ſuurema wõi wähema kiiruſega kehale A wastu jooksta; kui ta aga niiſama keha A ſeisma paneb nagu keha B, ſiis loeme tema liikumiſe hulka niiſama ſuureks kui keha B oma. — Nii on wõimalik iga liikumiſe hulga ſuuruſt täieste tuttawa keha liikumiſe hulga ſuuruſega wõrrelda — liikumiſe hulga ſuuruſt on wõimalik ära mõõta.

Ühe keha liikumiſe hulga ſihiks loetakſe muidugi ſedaſama ſihti, miha mööda keha edaſi liigub, — tema kiiruſe ſihti. Keha B (joon. 22) liigub ida poole. Kui mõõtes leitakſe, et tema liikumiſe hulk 4 mõõdu ſuurune on, ſiis ſaab keha B liikumiſe hulka nii täieste ära ütelda: kehal B on 4-mõõduline idaſihiline liikumine.

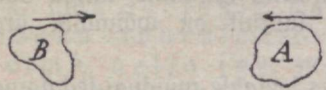
Alati ſiis, kui liikumiſe hulka on mõõdetud, on leitud, et kehad, nende kiirus ja liikumiſe hulgad järgmiſelt ühenduſes on:

a) Ühel ja ſelleſſamal kehal on ſiis, kui ta ühe ja ſelleſama kiiruſega jookſeb, ikka üks ja ſeeſama liikumiſe kulk. Nii annab hernetera wastuſeiswale pihule ikka üheſuguſe hoobi, kui ta üheſuguſe kiiruſega wastu pihku jookſeb.

b) Kui kõiki ühe keha üksikuid oſaſid niiſama kiirelt jooksma pandakſe, nagu terwe keha enne on jooksnud, ſiis on nende üksikute oſade liikumiſe hulkade ſumma terwe keha liikumiſe hulga ſuurune. Olgu näituſeks ühel tina kuulil ſiis üks mõõt liikumiſt, kui ta ühes ſekundis 10 m edaſi jookſeb. Teeme ſelleſt kuuliſt üheſuguſed haawlid ja ſaagu neid haawlid ſada. Siis on igal üksikul haawliteral $\frac{1}{100}$ mõõtu liikumiſt, kui tema kiirus ka $10 \frac{m}{s}$ on.

c) Ühe ja ſelleſama keha liikumiſe hulk on tema kiiruſega proportſionalne, ſee on: mitu korda ſelle keha kiirus ſuurem on, nii mitu korda on ka tema liikumiſe hulk ſuurem. Kui näituſeks tinakuulil 10-mõõduliſe kiiruſe juures üks mõõt liikumiſt on, ſiis on tal 100-mõõduliſe kiiruſe juures juba 10 mõõtu liikumiſt, 200-mõõduliſe kiiruſe juures 20 mõõtu liikumiſt jne.

d) *Kui kuſagil mõneſihiliſt liikumiſt wäheneb, ſiis tuleb teiſel kohal otſe niiſama palju ſelleſamaſihiliſt liikumiſt juurde, wõi kui kuſagil mõneſihiliſt liikumiſt juurde tuleb, ſiis wäheneb teda mõnel teiſel kohal otſe niiſama palju.* Kui wiſatud kiwile püsſikuul ſelleſamal ſihil järele lastakſe, ſiis lükkab kuul kiwile järele jõudes teda kiiremalt edaſi jooksma. Aga kuuli oma jooks jääb aeglaſemaks ja kuuli liikumiſe hulk wäheneb otſe niiſama palju kui kiwi liikumiſt juurde ſaab. Kui kehal B (joon. 23) neli mõõtu idaſihiliſt liikumiſt on ja ta keha A-ga kokku põrgates ſellega ühes ſeisma jääb, ſiis on mõõtmiſe järele ikka kehal A enne kokkupõrkamiſt otſe neli mõõtu lääneſihiliſt liikumiſt olnud. Siin näib, nagu oleks kaks üheſuuruſt liikumiſe hulka kadunud. Aga järelmõteldes märkame, et ka ſiin üks liikumiſe hulk wähenenud ja teine ſelleſamaſihiline niiſama palju ſuurenenud on. Meie ei wõi ju ühtegi keha täieste liikumataks pidada [20]: igal kehal on juba ſellepäraſt oma liikumiſe hulk, et ta maakeraga ühes edaſi liigub. Kui meie ütleme, et kehal B 4 mõõtu idaſihiliſt liikumiſt on, ſiis tädendab ſee nimelt, et tal idaſihiliſt liikumiſt 4 mõõtu rohkem on, kui harilikult. Kui Pariſi kilogramm Tartus minu laual ſeiſaks, ſiis oleks tal juba maakera keeramiſe tagajärjel 240 mõõtu idaſihiliſt liikumiſt. Kui ma ta $4 \frac{m}{s}$ lääne poole jooksma panekſin, ſiis oleks tal ainult 236 mõõtu idaſihiliſt liikumiſt. Olgu ſee lääne poole liikuw kilogramm keha A joonistus 23. peal. Wastutulew keha B paneb ta ſeisma, nii et tal uuesti 240 mõõtu idaſihiliſt liikumiſt on. Nii on keha B 4 mõõtu idaſihiliſt liikumiſt kaotanud, aga keha A on 4 mõõtu idaſihiliſt liikumiſt juurde ſaanud. Kõike ſeda öeldakſe kokkuwõetult nii: **liikumiſe hulk on jäädaw** — ta ei kao, ega tekki, waid wõib ainult üheſt kohaſt teiſe kohta minna. — Liikumiſe hulga jäädawuſe põhjal ei ſaa ühtegi keha muidu liikuma panna, kui teiſele kehale mitte wastupidi ſihitud liikumiſt ei anta. Kui wee peal paadiga ſõidetakſe, ſiis pandakſe paat aerudega liikuma. Aga otſe niiſama palju liikumiſt, kui paadile edaſipoole antakſe, antakſe nendele weeoſadele tagaſipoole, mis aerudel ees on. Õieti lükatakſegi ae-



Joon. 23.

rudega wett liikuma, ja ſelle juures peab paat teiſele poole liikuma hakkama. Kui ſuurtükki laſtakſe, ſiis antakſe ſuurtüki kuulile hulk liikumiſt laſkmiſe ſihi poole; aga ſelle juures ſaab ſuurtükk otſe niiſama palju liikumiſt teiſele poole: ſuurtükk hakkab laſkmiſe juures tagurpidi ſõitma, kui ta rataste peal on. Nii wõime igapäewaſes elus wäga ſagedaste tähele panna, et ühel liikumiſe muutuſel teine waſtupidine kaaſas käib. — Aga mitte alati ei ole waſtupidine liikumiſe muutus nii ſilmanähtaw. Kui kiwi üles wiſatakſe, ſiis antakſe temale püſtſihiliſt liikumiſt; aga ſee teine keha, mis ſelle wõrra omaſt püſtſihiliſeſt liikumiſeſt kaotab, ehk ſelle wõrra allapoole ſihitud liikumiſt juurde ſaab, ei ole mitte nii ſilma ees. See teine keha on maakera: kui kiwi käega ülespoole wiſatakſe, ſiis lükatakſe jalgadega maakera allapoole. Ei ſaa küll ſeda liikumiſt mõõta, mida kiwiwiskamiſe juures maakerale antakſe, aga et igal pool, kus mõõta ſaab, liikumiſe kulk ikka jäädaw on, ſiis on ju kõige lihtſam arwata, et ta ka ſeal jäädaw on, kus teda mitte mõõta ei ſaa. Kui ſiis kindla aluſe peal ſeiſtes mõnda keha liikuma lükatakſe wõi tõmmatakſe, ſiis antakſe ikka maakerale ſellewõrra waſtupidiſt liikumiſt. Kui rong üheſt jaamaſt wälja ſõidab, ſiis wõtab ta maakera ſeeſt oma liikumiſe — maakera hakkab teiſele poole taganema; aga ſeeſama rong annab wõetud liikumiſe maakerale tagaſi, kui ta teiſes jaamas peatama jääb — Et liikumiſe hulk igalpool jäädaw on, ſeda arwamiſt ütles juba teaduſemees Newton XVII aastaſajal. See arwamine on iſeäranis taewakehade tähelepanijate tööd wäga palju kergemaks teinud.

Nende nelja teadmiste kokkuwõtte [a, b, c ja d] põhjal ſaab kehade wahel aine hulga ja tiheduſe pooleſt wahet teha ja ſagedaste liikumiſe hulga ſuuruſt wäljarehkendada.

22. Aine hulk. Aineks nimetatakſe kehade ſiſu [5]. Kahe keha ſiſud wõiwad üksteiſeſt wäga mitmeti lahku minna — nende wahel wõiwad wäga mitmeſuguſed wahed olla. — Nii wõib ſooja haawlitera ja külma weepiiſa wahel wäga palju waheſid nende ſiſu pooleſt leida: ſeal on wahed ſoojuſe pooleſt, kõwaduſe pooleſt, wärwi pooleſt, läbipaiſtwuſe pooleſt jne. Kõige lihtſam nendeſt wahedeſt on küll wahe ſiſu rohkuſe — aine hulga — pooleſt. Wäga ſagedaste on ühe keha juures ainult ſeda tarwis teada, kui palju tal ſiſu on; misſugune ſee ſiſu on, — wõib ſiis koguni tähtſuſeta olla. — Ühe keha aine hulka nimetatakſe ka ladinakeeleſt wõetud ſõnaga m a ſ s.

On leitud, et aine hulka kõige lihtſam on liikumiſe hulga ja kiiruſe ſuuruſe järele mõõta. A i n e h u l g a m õ õ d u k s loetakse selle keha aine hulka, millel ühemõõdulise kiiruse juures ka üks mõõt liikumist on. Nii loetakse enamaste aine hulga mõõduks selle keha aine hulka, mis XVIII aastasaja lõpul Prantsusmaal walmistati ja praegu Parisis alal hoitakse ja mida kilogrammiks nimetatakse. See keha walmistati küll raskuse mõõduks; selle järele on ka tema nimi kokku seatud [12, c]. Aga tema aine hulka on hakatud teiste kehade aine hulga mõõduks tarwitama ja ka kilogrammiks hüüdma. Ühe keha aine hulga suuruse arwuks loetakse seda arwu, mis ütleb, mitu mõõtu liikumist sellel kehal ühe kiiruse mõõdu peale tuleb. Kui ühel tinakuulil 1 $\frac{m}{s}$ kiiruse juures 6 mõõtu liikumist on, siis on sellel tinakuulil 6 kilogrammi ainet — tema mass on 6 kilogrammi. Niisama on ühel kubikdetsimetri suurusel teraskuulil siis 7,7 kilogrammi ainet, kui tal 1 $\frac{m}{s}$ kiiruse juures 7,7 mõõtu liikumist on, — selle teraskuuli mass on 7,7 kg suurune. — Nagu seda aine hulka, mis Parisi kilogrammil on, aine hulga mõõduks tarwitatakse, niisama tarwitatakse ka teiste raskusemõõtude aine hulkasid mõõtudeks. Selle juures jäetakse aine hulga mõõtudele raskusemõõtude nimed ja ka nende nimede lühendused: kg, g, dg, mg [12, c]. — Ka käega saab kahe keha aine hulkade wahel selle järele umbkaudu wahet teha, kui suure hoobi kumbki keha käele annab, kui nad ühesuguse kiirusega kätt wastu jooksewad.

Et liikumise hulka otsekohe mõõta kaunis keeruline on, siis püütakse ka aine hulka, kus wõimalik, nii mõõta, et liikumise hulga mõõtmist tarwis ei oleks. Igapäewases elus mõõdetakse aine hulka enamaste raskuse abil, nagu järgmises peatükis näeme.

Alati siis, kui aine hulka on mõõdetud, on leitud, et kui kusagil ainet wäheneb, siis tuleb teda mõnel teisel kohal otse niisama palju juurde, wõi kui kusagil ainet juurde tuleb, siis wäheneb teda mõnel teisel kohal otse niisama palju. Olgu weega täidetud klaasi peale wamm pandud, nii et ta klaasis olewa weega kokku puutub. Wamm imeb klaasist wett endasse. Klaasist kaob siis ainet — wett, aga selle eest tuleb wammisse ainet juurde: kui kuiwa wammiga wastu pihku wiskame, siis tunneme ainult wäikest hoopi, kui aga märja wammi niisama suure kiirusega wastu pihku wiskame, siis tunneme hästi suuremat hoopi. Mõõtmine näitab, et wamm otſe niipalju ainet juurde on ſaanud, kui palju wett klaaſiſt on kadunud. Niiſama näitab ka mõõtmine, et wee ärakuiwamiſe juures weſi ainult teiſtſuguſeks — auruks muutub, kuna ſeda auru otſe niiſama palju ſaab kui wett kaob. Niiſama on lugu ka põlemiſe juures: puu wõi petroleum põleb ära, aga otſe niiſama palju ſaab teiſtſuguſeid aineid — peaasjalikult neidſamu aineid, mida inimeſed ja loomad wälja hingawad. — Kõike ſeda öeldakſe kokkuwõetult nii: **aine hulk on jäädaw** — ta ei kao, ega tekki, waid wõib ainult üheſt kohaſt teiſe kohta minna. — Sagedaste ei ole mitte wõimalik aine wähenemiſt wõi juurdetulekut teiſes kohas otſekohe mõõta, kui meie ühes kohas tema juurdetulekut wõi wähenemiſt tähele paneme. Aga et aine igal pool ſeal on jäädaw olnud, kus teda on mõõdetud, ſiis on ju kõige lihtſam arwata, et ta ka ſeal jäädaw on, kus teda mitte mõõta ei ſaa. See arwamine on aine tähelepanijate tööd wäga palju kergemaks teinud.

23. Aine tihedus. Pealiskaudſelt waadates näib, nagu oleks kõige lihtſam aine hulka kehaſuuruſe järele mõõta. Nii mõõdetakſegi igapäewaſes elus wedelikka enamaste kehaſuuruſe järele: wett, piima, piirituſt, elawhõbedat jne. mõõdetakſe litritega. Aga ſelle mõõtmiſe otſuſed ei käi mitte eelpool kirjeldatud mõõtmiſe otſustega kokku: wäga ſagedaste ei ole kahel kehal aine hulk mitte üheſuurune, kui nad iſe keha poolt üheſuuruſed on. Nii on ühe litri wee aine hulk ehk maſs 1 kg, aga ühe litri elawhõbeda aine hulk terwelt 13,6 kg ja keha pooleſt niiſama ſuure teraſetüki aine hulk 7,7 kg. Selle kohta öeldakſe, et ühes kehas aine tihedam on kui teiſes: ühes litris elawhõbedas on aine tihedam kui ühes litris wees, ja litriſuuruſes teraſetükis on ta ka tihedam kui wees, aga mitte nii tihe, kui elawhõbedas. Seda wõib ka nii ütelda: ühe keha aine tihedus wõib teiſe keha omaſt ſuurem wõi wähem olla. Aine tihedus on ſuurus, mille pooleſt kehade wahel wahet ſaab teha, kui ta teada on.

Ühe keha aine tiheduſt mõõdetakſe ſelle keha kehaſuuruſe ja aine hulga järele. Aine tiheduſe mõõduks loetakſe ſelle keha aine tiheduſt, millel ühe kehamõõdu peale ka üks mõõt ainet tuleb, näituſeks ühe kubikdetſimetri peale üks kilogramm ehk ühe kubiktſentimetri peale üks gramm. Nendes täieste puhta wee hulkades, kus ſoojus 4^0 on, tuleb peaaegu täieste iga litri peale üks kilogramm ehk ühe kub. cm peale üks g wett. See on ſellepäraſt et Pariſi kilogrammi nii walmistada püüti, et temas otſe niiſama palju ainet oleks kui ühes litris puhtas wees.

See ei läinud küll täieste korda, aga wahe Parisi kilogrammi aine hulga ja ühe litri neljakraadilise puhtawee aine hulga wahel on wäga wäike. Sellepärast tarwitatakse harilikult neljakraadilise puhta wee tihedust aine tiheduse mõõduks. Ühe keha aine tiheduse arwuks loetakse seda arwu, mis ütleb, mitu mõõtu ainet selles kehas ühe kehamõõdu peale tuleb.

Kui teada on, mitu kehamõõtu üks keha suur on ja mitu mõõtu temas ainet on, siis saab ka teada, kui suur selle keha tihedus on. Tähendame selle keha kehasuuruse arwu tähe v-ga (ladinakeelsest sõnast *volumen* — kehasuurus); tähendame tema ainehulga arwu tähe m-ga (sõnast mass), ja wiimaks tema aine tiheduse suurust tähe d-ga (lk. sõnast *densitas* — tihedus), — siis leiame tiheduse suuruse järgmiselt:

v kehamõõdu peale tuleb m mõõtu ainet,

1 " " " $\frac{m}{v}$ " "

sellega on tiheduse suurus

$$d = \frac{m}{v} \quad . \; . \; . \quad (4)$$

Kui näituseks kolme kub. cm suurusel tinatükil 34,2 g ainet on, siis on selle tinatüki aine tihedus $\frac{34{,}2}{3} = 11{,}4$ mõõtu.

Aine wõib ka mõne ümbruse sisuks olla [5]. Sellel korral ei saagi aine hulgast kõneleda, waid ainult aine tihedusest. Nii on meie ümbruses õhk, ja meie kõneleme õhu tihedusest. Et õhu tihedust mõõta, selleks lahutatakse kudagi üks tükk õhku muust õhust ja mõõdetakse selle õhutüki tihedust nagu iga teise keha tihedust. Kui õhu tihedust mere pinna ligidal ja kõrgete mägede otsas on mõõdetud, siis on leitud, et õhu tihedus mägede otsas wähem on — seal on õhk õredam. Nii ei wõi ka mitte terwe õhu tihedusest kõneleda, waid ainult õhu tihedusest kusagil kohal. Ka ühes kehas wõib aine tihedus ühel kohal suurem olla kui teisel. Kui suure mullatüki küljest ühesuuruseid tükikesi murda ja neid ühesuuruse kiirusega wastu pihku pilduda, siis wõib leida, et ühest sõrwast murtud tükike peole suurema hoobi annab kui teisest sõrwast murtud tükike; ühes sõrwas on siis mullatüki tihedus suurem.

Wäga paljudel kehadel on ühesugune sisu. Kõikide nende kehade sisu loetakse üheks aineks ja nimetatakse ühe nimega, näituseks raud. Alati siis, kui aine tihedust on mõõdetud, on kahe keha aine siis ka tiheduse poolest ühesugune olnud, kui ta kõige muu poolest — ka soojuse ja kehapõnewuse poolest — ühesugune on olnud. Selle järele wõib iga üksiku aine tihedusest kõneleda. Ühe aine tihedus muutub soojuse järele; ta muutub ka kehapõnewuse järele [IV]. Sellepärast wõib ühest tiheduse suurusest ainult ühe kindla kehapõnewuse juures kõneleda. Siin järgnewasse tabelisse on mõnede ainete kohta need tihedused üles pandud, mis neil ainetel 0^0 soojuse ja hariliku kehapõnewuse juures on. Ainult wee tihedus on 4^0 soojuse juures arwatud, sest siis on wee tihedus kõige suurem.

Mônede ainete tihedused.

(Kilogrammid ühes kubikdetsimetris wôi grammid ühes kubiktsentimetris).

Jää	0,9	Tina	11,4
Wesi	1,0	Elaw hõbe	13,6
Aluminium	2,6	Kuld	19,3
Tsink	7,1		
Inglistina	7,2	Salmijak	1,5
Teras	7,7	Keedusool	2,2
Raud	7,9	Soda	2,5
Wask	8,9	Klaas	2,6
Hõbe	10,5	Paekiwi	2,8

Sellest tabelist on näha, et jahimehed mitte ainult odawuse pärast tina haawlisi ei tarwita. Püss jaksab haawlisi ikka ühe ja sellesama kiirusega wälja wisata, olgu nad millest tahes. Kui siis püssist wälja lastud tinahaawlil 11,4 mõõtu liikumist on, siis oleks niisama suurel hõbehaawlil ainult 10,5 mõõtu ja niisamasuurel inglistina haawlil ainult 7,2 mõõtu. Need kallimad haawlid annaksiwad jahiloomale wähema hoobi. Teine lugu oleks kuldhaawlitega: need annaksiwad pea kaks kord suurema hoobi kui tinahaawlid.

Aine tiheduse järele saab ühe keha aine hulka wäljarehkendada, kui ta kehasuurus teada on, wõi kehasuurust, kui aine hulk teada on.

Formul (4)-st leiame $m = d \,.\, v$ wõi $v = \frac{m}{d}$. Olgu ühe raudlati kehasuurus 600 kub. cm. Tema aine hulk on siis $7{,}9 \,.\, 600 = 4740$ g. Oleks ta mais 4740 g enne teada olnud, *siis oleks ta kehasuurus* $\frac{4740}{7{,}9} = 600$ *kub. cm tulnud.*

Nagu aine tiheduse järele aine hulka wälja rehkendatakse, nii rehkendatakse jälle aine hulga järele liikumise hulk wälja.

24. Liikumise hulga wäljarehkendamine. Liikumise hulga wäljarehkendamist wôib üleüldse kolmel juhtumisel tarwis tulla: a) siis, kui üks keha üksi liigub; b) siis, kui kaks keha ühte ja sedasama sihti mööda liiguwad ja kokku põrkawad, ja c) siis, kui kaks keha kumbki ise sihti mööda liiguwad ja kokku pôrkawad. Selles tükis paneme ainult neid kokkupõrkamisi tähele, kus kehad kokkupõrkamise juures ka kokku jääwad.

a) Tähendame ühe keha liikumiſe hulga ſuuruſt tähe M-ga (ladinakeelſeſt ſõnaſt — *motus* — liikumine); tähendame ſelle keha kiiruſt, nagu ennemalt, tähe v-ga ja niiſama tema aine hulka tähe m-ga. Siis leiame aine hulga ſuuruſe arwu järgmiſelt [22]:

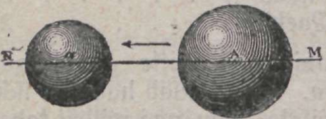
v kiiruſe mõõdu peale tuleb M mõõtu liikumiſt

1 " " " " $\frac{M}{v}$ " "

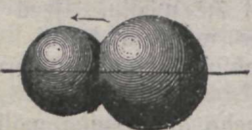
ſellega on $m = \frac{M}{v}$. Siit leiame liikumiſe hulga, kui aine kulk ja kiirus teada on, ſilmanähtawalt nii:

$$M = m \cdot v \quad . \; . \; . \quad (5)$$

Kui näituſeks püsſi kuuli masſ ehk aine hulk 0,1 kg on ja ta kiirus 400 $\frac{m}{s}$, ſiis on tema liikumiſe hulk $0{,}1 \cdot 400 = 40$ ſuurt mõõtu. Sagedaste tarwitatakſe ka liikumiſe hulga mõõduks ſeda liikumiſe hulka, mis ühegrammiliſel kehal ſiis on, kui ta igas ſekundis ühe tſentimetri edaſi jookſeb. Nimetame ſeda mõõtu liikumiſe hulga wäikeſeks mõõduks. Formul (5) järele on üks ſuur mõõt $1000 \cdot 100 = 100000$ wäikeſt mõõtu, ſeſt 1 kg on 1000 g ja 1 m 100 cm.



Joon. 24.



Joon. 25.

b) kaks keha a ja A jookſewad ühte ja ſedaſama ſihti MN mööda (joon. 24). Keha a masſ on m_1*) mõõtu ja tema kiirus v_1 mõõtu ſuur. Keha A masſ on m_2 mõõtu ja tema kiirus v_2 mõõtu ſuur. Need kehad põrkawad kokku ja jääwad kokku (joon. 25). Nende kogumasſ on muidugi $m_1 + m_2$, ſeſt masſ on jäädaw. Tähendame ſeda kiiruſt, millega need kehad päraſt kokkupõrkamiſt üheskoos edaſi jookſewad, tähe v-ga. Siis on nendel kahel kehal formul (5) järele enne kokkupõrkamiſt $M_1 + M_2 = m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2$ mõõtu liikumiſt ja päraſt kokkupõrkamiſt $M = (m_1 + m_2) \cdot v$ mõõtu. Aga et liikumiſe hulk jäädaw on [21 d], ſiis on $M = M_1 + M_2$ ehk

$$(m_1 + m_2) \cdot v = m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 \quad . \; . \; . \quad (6)$$

Formul (6) järele leiame ſelle kiiruſe, millega mõlemad kehad päraſt kokkupõrkamiſt üheskoos edaſi jookſewad, kui meil ennegi nende kehade masſid ja endiſed kiiruſed teada on. Silmanähtawalt on ſee kiirus

$$v = \frac{m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2}{m_1 + m_2} \quad . \; . \; . \quad (7)$$

Olgu näituſeks MN lääne ſiht ja olgu $m_1 = 3$ kg; $v_1 = 7 \frac{m}{s}$; $m_2 = 6$ kg ja $v_2 = 10 \frac{m}{s}$. Siis on mõlemal kehal päraſt kokkupõrka-

*) Et kahe wõi mitme keha masſide, kiiruste wõi teiste ſuuruste arwuſid ühe ja ſelleſama tähega üleskirjutada ſaaks, ſelleks pandakſe paremale poole tähtede alla wäikeſed numbrid: eſimeſe keha jaoks 1, teiſe jaoks 2, kolmanda jaoks 3 jne. Neid numbritega märgitud tähti loetakſe nii: m_1 — m eſimene, v_1 — v eſimene, m_2 — m teine, v_2 — v teine jne.

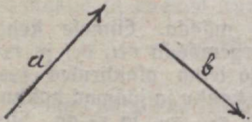
mist $v = \frac{3.7 + 6.10}{3 + 6} = \frac{81}{9} = 9\frac{m}{s}$ läänesihilist kiirust. — Olgu teinekord kõik muu niisama, ainult $v_1 = -20\frac{m}{s}$, see tähendab: kehal a on läänesihilist kiirust $20\frac{m}{s}$ wähem — temal on $20\frac{m}{s}$ idasihilist kiirust [20]. Sellel korral on kehal a $3.20 = 60$ mõõtu idasihilist ja kehal A $6.10 = 60$ mõõtu läänesihilist liikumist, ja nad jääwad pärast kokkupõrkamist seisma [21 d]. Märkisid abiks wõttes wõime ka üksi läänesihilisest liikumisest kõneleda: kehal a on -60 mõõtu läänesihilist liikumist, kehal A $+60$ mõõtu [20]; kokku on neil $-60 + 60$ mõõtu läänesihilist liikumist, ja nad jääwad seisma, see on: üheskoos ei olegi neil läänesihilist liikumist. Järelmõteldes leiame, et kaks wastupidi sihitud liikumise hulka, mis arwu poolest ühesuurused on, ühenedes alati ära kaowad [21 d]. Seda silmas pidades saame ka formul (7) järele õige wastuse: $\frac{3.-20 + 6.10}{3 + 6} = \frac{0}{9} = 0\frac{m}{s}$ läänesihilist kiirust on see kord kahel kokkupõrkanud kehal, sest nulliga tähendatakse seda, et sugugi ei ole. — Kui kolmas kord kõik muu selle kahe keha liikumise juures niisama on ja ainult $v_1 = -23\frac{m}{s}$ (kehal on $23\frac{m}{s}$ idasihilist kiirust), siis leiame formul (7) järele ühise kiiruse: $v = \frac{3.-23 + 6.10}{3 + 6} = \frac{-69 + 60}{9}\frac{m}{s}$ lääne poole. Aga iga liikumise hulka wõib mõttes kahesse osasse lahutada, nii et need osad kokku endise liikumise hulga sünnitawad. Nii wõib ka siin -69 mõõtu läänesihilist (ehk 69 mõõtu idasihilist) liikumist nii lahutada: -60 mõõtu ja -9 mõõtu läänesihilist (ehk 60 mõõtu ja 9 mõõtu idasihilist) liikumist. Seda silmas pidades wõime oma rehkendamist nii jatkata: $v = \frac{-69 + 60}{9} = \frac{-60 - 9 + 60}{9} = \frac{-9}{9} = -1\frac{m}{s}$ lääne poole (ehk $1\frac{m}{s}$ ida poole). — Olgu neljas kord jälle ainult keha a kiirus teistsugune: $v_1 = -14\frac{m}{s}$. Siis leiame formul (7) järele ühise kiiruse: $v = \frac{3.-14 + 6.10}{3 + 6} = \frac{-42 + 60}{9}\frac{m}{s}$ lääne poole. Siin wõime jälle 60 mõõtu läänesihilist liikumist nii kaheks osaks lahutada, et üks osa idasihilise liikumise ära kaotaks. Nii saame: $v = \frac{-42 + 60}{9} = \frac{+18}{9} = +2\frac{m}{s}$ ehk lihtsalt $2\frac{m}{s}$ lääne poole.

c) Kaks keha jooksewad teine teist sihti mööda. Esimese keha mass on m_1 mõõtu ja tema osakiirused [20] järgemööda v_{x1}, v_{y1} ja v_{z1} mõõtu suured. Teise keha mass on m_2 mõõtu ja tema osakiirused v_{x2}, v_{y2} ja v_{z2} mõõtu suured. Need kehad põrkawad kokku ja jääwad kokku. Tähendame nende ühise jooksu osakiirusi tähtede v_x-, v_y- ja v_z-ga. Siis on esimesel kehal x-sihti mööda $m_1.v_{x1}$ mõõtu liikumist ja teisel kehal sedasama sihti mööda $m_2.v_{x2}$ mõõtu. Kokku on nendel kahel kehal enne kokkupõrkamist $m_1.v_{x1} + m_2.v_{x2}$ mõõtu x-sihilist liikumist ja pärast kokkupõrkamist $(m_1 + m_2).v_x$ mõõtu. Aga et ühesihiline liikumise hulk jäädaw on [21 d], siis on $(m_1 + m_2).v_x = m_1.v_{x1} + m_2.v_{x2}$ ja $v_x = \frac{m_1.v_{x1} + m_2.v_{x2}}{m_1 + m_2}$. Niisama saab formul (6) ja (7) järele ka v_y ja v_z.

wäljarehkendada. Nii ſaab ſelle kiiruſe oſakiiruſi wäljarehkendada, millega need kaks keha päraſt kokkupõrkamiſt edaſi jookſewad, kui ennegi nende kehade masſid ja endiſed oſakiiruſed teada on. Aga oſakiiruste põhjal leiame formul (3) järele päriskiiruſe ſuuruſe, formul (5) järele liikumiſe hulga ſuuruſe ja formul (4) järele need nurgad, mis ſee kiirus wõi liikumiſehulk algſihtidega ſünnitab.

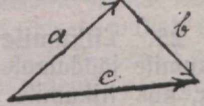
Olgu näituſeks algſihtideks põhja-, ida- ja püſtſiht; olgu eſimeſe keha maſs 2 kg ja jooksku ta igas ſekundis 20 metrit põhja poole, 4 m lääne poole ja 15 m allapoole; olgu teiſe keha maſs 4 kg ja jooksku ta igas ſekundis 8 m põhja poole, 26 m ida poole ja 30 m ülespoole. Siis on $m_1 = 2$ kg; $v_{x1} = 20 \frac{m}{s}$; $v_{y1} = -4 \frac{m}{s}$; $v_{z1} = -15 \frac{m}{s}$; $m_2 = 4$ kg; $v_{x2} = 8 \frac{m}{s}$; $v_{y2} = 26 \frac{m}{s}$, ja $v_{z2} = 30 \frac{m}{s}$. Formul (7) järele jookſewad mõlemad kehad päraſt kokkupõrkamiſt igas ſekundis $\frac{2.20+4.8}{2+4} = \frac{40+32}{6} = 12$ m põhja poole; $\frac{2.-4+4.26}{2+4} = \frac{-8+104}{6} = \frac{96}{6} = 16$ m ida poole ja $\frac{2.-15+4.30}{2+4} = \frac{-30+120}{6} = \frac{90}{6} = 15$ m ülespoole, ſee on: $v_x = 12 \frac{m}{s}$; $v_y = 16 \frac{m}{s}$; $v_z = 15 \frac{m}{s}$. Formul (3) järele on ſiis nende kahe keha ühine kiirus $v = \sqrt{12^2+16^2+15^2} = \sqrt{625} = 25 \frac{m}{s}$. Nende liikumiſe hulk on formul (5) järele $(2+4) . 25 = 6 . 25 = 150$ mõõtu ſuur. Selle liikumiſe hulga wõi ühiſe kiiruſe ſiht ſünnitab põhja-, ida- ja püſtſihiga järgemööda nurgad k, l ja m, mille koſinuſed formul (4) järele on: $\cos k = \frac{12}{25} = 0{,}48$; $\cos l = \frac{16}{25} = 0{,}64$, ja $\cos m = \frac{15}{25} = 0{,}6$. Trigonometria tabeliſt leiame nende koſinuste järele nurgad iſe: $k = 61^0\ 18'\ 53''$; $l = 50^0\ 12'\ 29''$; $m = 53^0\ 7'\ 48''$. — Needſamad otſuſed ſaame, kui ſeda ſilmas peame, et liikumiſe hulk wektor [20] on, mida oſawektorite abil wäljarehkendada ſaab. Tähendame täit liikumiſe hulka päraſt kokkupõrkamiſt tähe M-ga. Temas on põhjaſihiliſt liikumiſt $M_x = 2.20 + 4.8 = 72$ mõõtu, idaſihiliſt — $M_y = 2.-4+4.26 = 96$ mõõtu ja $M_z = 2.-15+4.30 = 90$ mõõtu. Joonistus 21. järele on formul (3) ja (4) põhjal $M = \sqrt{72^2+96^2+90^2} = 150$ mõõtu ja $\cos k = \frac{72}{150} = 0{,}48$, $\cos l = \frac{96}{150} = 0{,}64$ ja $\cos m = \frac{90}{150} = 0{,}6$.

d) Kaks keha jookſewad teine teiſt ſihti mööda edaſi, põrkawad kokku ja jääwad kokku. Tähendame ühe keha liikumiſe hulka enne kokkupõrkamiſt noole a-ga ja teiſe keha liikumiſe hulka noole b-ga (joon. 26). Sellejuures olgu noole ſiht nimelt keha liikumiſe ſiht ja noole pikkuſe arw, kui noolt mõnede wäikeste pikkuſemõõtudega mõõta, olgu keha liikumiſe hulga arw. Olgu joonistus 26. peal ülewal pool põhi ja paremal pool ida, nagu maakaartide peal, ja olgu pikkuſe mõõduks millimeter wõetud. Siis wõime noolte a ja b järele ütelda, et eſimene keha



Joon. 26.

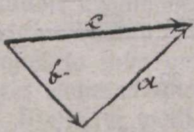
20-mõõduliſe liikumiſe hulgaga põhjaida poole jookſeb, kuna teine 15-mõõduliſe liikumiſe hulgaga lõunaida poole läheb. Joonistame need nooled uuesti nii, et *a* eesots *b* tagaotſaga kokku puutub, kuna nende pikkuſed ja ſihid endisteks jääwad (joon. 27). Järelemõteldes leiame, et liikumiſe hulga jäädawuſe põhjal [21, d] nool *c*, mille tagaots noole *a* tagaotſaga ja eesots noole *b* eesotſaga kokku puutub, otſe ſeda liikumiſe hulka tähendab, mis nendel kahel



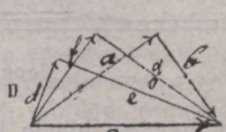
Joon. 27.

kehal päraſt kokkupõrkamiſt üheskoos on. Noole *c* järele wõib ütelda, et mõlemal kehal päraſt kokkupõrkamiſt üheskoos 25 mõõtu liikumiſt on ja et nende ühine jooks idaſihiſt natuke põhja poole kaldub. N i i ſ a a b a l a t i k e r g e s t e ſ e d a n o o l t l e i d a, m i s k a h e l i i k u m i ſ e h u l g a ü h e n d u ſ t ä r a t ä h e n d a b, k u i n e e d n o o l e d t e a d a o n, m i s ü h e n e n u d l i i k u m i ſ e h u l k a ſ i d t ä h e n d a w a d. S e l l e k s t u l e w a d n e e d n o o l e d n i i j o o n i s t a d a, e t ü h e n o o l e e e s o t s t e i ſ e t a g a o t ſ a g a k o k k u p u u t u b. S i i s t u l e b ü k s u u s n o o l n i i j o o n i s t a d a, e t t e m a t a g a o t s e ſ i m e ſ e n o o l e t a g a o t ſ a g a j a e e s o t s t e i ſ e n o o l e e e s o t ſ a g a k o k k u p u u t u b, j a ſ e e o n g i o t ſ i t a w n o o l. Wõib kergeste märgata, et ſelle juures ükskõik on, misſuguſt noolt eſimeſeks loetakſe. Nii ſaakſime otſe ſelleſama *c* (joon. 27), kui *a* aſemel *b*-t eſimeſeks loekſime, nagu joonistuſeſt 28. ſelgub.

Wõib otſatu palju liikumiſe hulkade paariſid ette kujutada, nii et iga paari ühendus ſelle liikumiſe hulgaga täieste üheſugune on, mis joonistus 27. ja 28. peal noole *c*-ga on tähendatud. Joonistus 29. peal näeme kolme paari nooleſid (*d* ja *e*, *f* ja *g*, *a* ja *b*) mis niiſuguſeid liikumiſe hulkade paariſid tähendawad. Nii wõib ühte liikumiſe hulka wäga mitmeſuguste liikumiſe hulkade ühenduſeks lugeda. Seda öeldakſe ka nii: ü h t e l i i k u m i ſ e h u l k a w õ i b m õ t t e s w ä g a m i t m e ſ u g u s t e k s l i i k u m i ſ e h u l k a d e p a a r i d e k s l a h u t a d a,



Joon. 28.

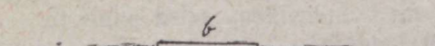


Joon. 29.

nii et *iga paari ühendus ſelle liikumiſe hulgaga täieste üheſugune on.* See lauſe on wäga tähtis, ſeſt wäga ſagedaste on ainult ſiis wõimalik ühe liikumiſe hulga kohta midagi teada ſaada, kui teda kahe liikumiſe hulga ühenduſeks loetakſe.

25. Liikumiſe üleminek kehade kokkupuutumiſe juures. Liikumiſe jäädawuſe põhjal on igal pool ſeal liikumiſe üleminek, kus liikumiſe muutumiſt leidub [21 d]. Kui liikumine terweſſe kehasſe otſekohe üle läheb, ſiis teeme ükſikute kehade wahel ſelle järele wahet, kui ſuur liikumiſe hulk terwes kehas [22] wõi ühes kehamõõdus [23] ühe kiiruſemõõdu peale tuleb. Need on wahed liikumiſe *mahtumiſe* järele: üheſſe kehasſe wõi tema üheſſe kehamõõduſſe wõib ühe ja ſelleſama kiiru ſe juures rohkem liikumiſt mahtuda kui teiſeſſe kehasſe wõi ſelle üheſſe kehamõõduſſe. Kui liikumine ainult üheſſe kehaoſasſe üle läheb, ſiis wõib ükſikute kehade wahel ſelle järele wahet teha, kudas liikumine ſealt kehaoſaſt edaſi teisteſſe oſadesſe läheb, ehk kudas kehaoſad liikumiſt edaſi wiiwad. Need wahed ei ole weel mitte küllalt läbi uuritud: neid ei ſaa nii täielikult mõõta, nagu paljuid teiſi waheſid. Tehtakſe wahet kolme liiki kehade wahel: kindlate, wedelate ja gaaſiliste kehade wahel. Aga leidub palju kehaſid, mis kindlate ja wedelate kehade wahelmiſed on. Et ſiin ka ilma mõõtmiſeta meie mõtetele rohkem peenſuſt ſaada, ſelleks on päriskindlaid, pärisWedelaid ja pärisgaaſiliſi kehaſid ettekujutatud.

a) *Päriskindlad, pärisWedelad ja pärisgaaſiliſed kehad.* Päriskindel keha oleks ſee, mis ikka terwelt liikuma hakkab, kui üks tema oſa liikuma pandakſe. Kõwaks karastatud teraskuul on rohkeste päriskindla keha ſarnane. Aga kui ſepp ta alaſi peale ſeadib ja tema ülemiſe külje peale wäga tugewaste ja kaua aega rõhub, ſiis wõib ſee kuul küll terwelt natuke allapoole nihkuda ja alaſi ſisſe wajuda, aga wiimaks läheb ta ſiiski laperguſeks wõi katki: päris kindel keha ei ole ta weel mitte. — Päriswedel keha oleks ſee, mille oſakeſed täieste wabalt üksteiſt mööda edaſi wõi teiste wahelt läbi libiſeda ſaawad, aga üksteiſeſt mitte ilma libiſemata lahkuda ei ſaa. Kui ſarnaſe keha üks oſa liikuma pandakſe, ſiis lükkab ſee oſa küll otſe enda ees ja tõmbab otſe enda järel teiſi oſaſid liikuma, aga kõrwalolewaid ei tõmba ta mitte



Joon. 30.

kaaſa. Weſi on päriswedela keha laadi. Kui taſaſe klaaſi *a* peale õhuke kord wett on walatud ja ſinna wee ſiſſe taſane klaaſitükk *b* pandud (joon. 30), ſiis wõib klaaſitükk ſeal wee peal wabalt edaſi tagaſi liikuda, aga otſe ära tõsta teda ei ſaa. Aga weſi ei ole ſiisgi weel päriswedel keha, ſeſt üks liikuma pandud weeoſa tõmbab natuke ka kõrwalolewaid oſaſid kaaſa. — Pärisgaaſiline keha oleks ſee, mille oſad täieste wabalt üksteiſeſt lahkuda ſaawad ja ſellega ka wabalt üksteiſt mööda edaſi wõi teiste wahelt läbi libiſeda. On weel teiſi waheſid pärisgaaſiliste ja teiste kehade wahel. Need teiſed wahed on tegelikus elus weel tähtſamad [IV]. Õhk meie ümber on pärisgaaſiliſe keha laadi. Siiski tõmbab liikuw õhk oſa kõrwalolewaid oſaſid kaaſa.

Ei leidu wiſt küll kuſagil ei päriskindlat, ega päriswedelat, ega pärisgaaſiliſt keha. Kehad, nagu raud, waſk, puu, kiwi jne., on rohkem päriskindla keha ſarnaſed. Neid nimetame lihtſalt kindlateks kehadeks. Teiſed kehad, nagu weſi, petroleum, piiritus, elawhõbe jne., on rohkem päriswedela keha ſarnaſed. Neid nimetame wedelateks kehadeks ehk wedelikkudeks. Kolmandad kehad on rohkem pärisgaaſiliſe keha ſarnaſed, nagu õhk, mida meie ſiſſe hingame, ſöehapu, mida meie muu ſeas wälja hingame, ſoogaas, mis ſoo tiikide põhjaſt wullidena üles tõuſeb, kui meie ſeda põhja kepiga ſegame jne. Neid kehaſid nimetame gaaſilisteks kehadeks ehk gaaſideks.

b) K i n d l a d k e h a d. Harilikkude kindlate kehade juures wõiwad ühed oſad wähehaawal teiſi mööda wõi teiste wahelt läbi edaſi libiſeda. Ühede kehade juures on ſelleks tarwis ühte oſa küllalt tugewaste lükata, teiste juures on tarwis ſeda küllalt aegamööda teha. Nii wõib raudpulka tinatüki ſiſſe wajutada ja kingſepa pigile, mis löömiſe juures katki läheb nagu klaas, wõib juba iga puutükikeſt, nagu wõile, kergeste ſiſſe wajutada, kui küllalt aegamööda wajutatakſe. Kui klaastoruke pikali olekus ainult oma otſadega mingiſuguste aluste peale toetab, ſiis wajub ta juba oma raskuſe mõjul aegamööda looka. Selle juures pidiwad ühed klaaſioſakeſed teiſi mööda edaſi libiſema. — Maſinate wõllid, wardad, kruuwid, wändad ja muud ſarnaſed oſad peawad nimelt terwelt liikuma hakkama, kui neid üheſt kohaſt liikuma pandakſe. Ainult ſiis ſaab wõll wõi warras üheſt maſina küljeſt liikumiſt teiſe wiia. Maſinate wõllideks ja warrasteks tarwitatakſe rauda ja teraſt, ja maſina käiku ſeatakſe nii, et ükſikutel wõllidel ja warrastel mitte liig palju liikumiſt igas ſekundis edaſi wiia ei tuleks. Parajat liikumiſt wiiwad kindlad kehad küllalt edaſi, aga liig ſuur lüke paenutab ka teraswõlli ja liig ſuure tõmbe juures rebeneb ka jäme teraswarras.

Rebenemine ſeiſab ſelles, et ſee kehaoſa, mida lükatakſe wõi tõmmatakſe, muuſt oſaſt lahkub. Nimetame ſeda keha kohta, kus üks kehaoſa teiſeſt lahkub, rebenemiſe kohaks. Olgu neljakandiline raudwarras keskelt katki rebenenud. Warda keſkkoht on ſiis rebenemiſe koht. Kui warras ſeal kohal mõlematpidi 1 cm paks oli, ſiis öeldakſe, et tema rebenemiſe koha läbilõige on 1 □ cm. See tähendab: kui ſealt kohalt warras oleks otſe katki lõigatud, ſiis oleks lõikamiſe pind 1 □ cm ſuur olnud. Silmanähtawalt on ühejämeduſe warda iga koha läbilõige tema otſa pinna ſuurune.

Mõõtmiſed on näidanud, et üheſt ja ſelleſtſamaſt aineſt keha nii mitu korda ſuuremat tõmmet rebenemiſeks tarwitab, kui mitu korda tema rebenemiſe koha läbilõige ſuurem on. Selle järele tarwitab ühejämedune neljakandiline raudwarras, mis mõlematpidi 2 cm paks, neli korda ſuuremat tõmmet rebenemiſeks, kui teine ſarnane warras, mis ainult üks cm paks on. — Tõmbe wõi lükke mõõduks loetakſe tegelikus elus ſeda tõmmet wõi lüket, mis ühe ſekundi jookſul 9,81 mõõtu liikumiſt tahab edaſi anda; nii tugewaste lükkab raskuſe tung Pariſi kilogrammi alla poole [ll]. Tõmmet wõi lüket loetakſe nii mitu korda ſuuremaks, kui mitu korda ta rohkem liikumiſt ühe ſekundi jookſul püüab edaſi anda. Siin järgnewaſe tabeliſe on mõnede ainete kohta nende tõmmete wõi lükete ſuuruſed üles tähendatud, mille mõjul ſelleſt aineſt keha ſiis rebenema hakkab, kui rebenemiſe koha läbilõige 1 □ cm on. Neid ſuuruſi nimetatakſe ka ainete rebenemiſele wastupaneku ſuurusteks. Selle tabeli arwud käiwad hariliku ſoojuſe kohta. Suurema ſoojuſe juures rebenewad kehad kergemine.

Rebenemiſele wastupanekud.

(Raskuſe kilogrammid ühe □ cm peale.)

Tina	207	Teras	7000
Inglistina	245		
Tſink	1280	Männapuu	248
Kuld	2700	Wahtrapuu	358
Hõbe	2900	Kuuſepuu	418
Waſk	4030	Kaſepuu	430
Raud	6100	Tammepuu	649

Olgu meil 5 cm-laiune ja 2 cm-pakſune teraslatt. Tema läbilõige on 10 □ cm. Ta rebeneb, kui ta üle 10 . 7000 = 70000 kg raskuſt peab kandma wõi üle 9,81 . 70000 = 686700 mõõtu liikumiſt ühes ſekundis edaſi wiima.

c) *Hõõrumine*. Liikumiſt läheb kehade kokkupuutumiſe juures ka ſiis üheſt kehaſt teiſe, kui üks keha mitte otſekohe teiſt ei lükka, waid ainult teiſe pinda mööda libiſeb. Seda liikumiſe üleminekut nimetatakſe *hõõrumiſeks*. Kui teine keha kindlaste maaga ühenduſes on, ſiis on hõõrumiſe juures ainult ſee ſelgeste näha, et libiſewaſt kehaſt liikumiſt kaob. Sellel korral läheb liikumine terwe maakera ſiſſe ja jääb muidugi meile nägemata. Kui näituſeks tindiklaaſi lauda mööda libiſema lükata, ſiis kaotab ta peagi oma liikumiſe — jääb ſeisma.

Kujutatakſe *päris ſiledaid* kehaſid ette, mis üksteiſe pinda mööda ilma hõõrumiſeta libiſeda ſaawad. Harilikkude kehade wahel on alati hõõrumine, kui nad üksteiſe pinda mööda libiſewad, ühede kehade wahel ſuurem, teiste wahel wähem. *Hõõrumiſe mõõduks loetakſe ſeda hõõrumiſt, kus ühe ajamõõdu jookſul libiſewaſt kehaſt üks mõõt liikumiſt kaob. Hõõrumiſe ſuuruſe arwuks loetakſe ſeda arwu, mis ütleb, mitu mõõtu liikumiſt ühe ajamõõdu jookſul libiſewaſt kehaſt kaob.*

Olgu ühe keha kiirus teiſe keha pinnal ühel ſilmapilgul v mõõtu, aga t ajamõõdu päraſt v_t mõõtu. Olgu ſelle keha maſs m mõõtu. Tähendame hõõrumiſe ſuuruſt tähe f-ga (ladinakeelſeſt ſõnaſt *frictio* — hõõrumine). Siis leiame hõõrumiſe ſuuruſe nii:

Liikumiſt oli eſimeſel ſilmapilgul $m \,.\, v$ mõõtu;
„ „ t ajamõõdu päraſt $m \,.\, v_t$ „
kaduma on läinud t ajamõõdu jookſul $(m \,.\, v - m \,.\, v_t)$ mõõtu liikumiſt;
„ „ „ ühe „ „ $\frac{m \,.\, v - m \,.\, v_t}{t}$ „
ſellega on hõõrumiſe ſuurus

$$f = \frac{m \,.\, v - m \,.\, v_t}{t} = m \,.\, \frac{v - v_t}{t} \quad . \; . \; . \quad (8)$$

Hõõrumiſe mõõtmiſed on näidanud, et *hõõrumine ſeda ſuurem on, mida tugewamalt liikuw keha ſelle pinna wastu on pigistatud, mille peal ta edaſi liigub*. Hõõrumiſe ſuurus on ka ſelle järele mitmeſugune, mis aineſt need kehad on, mis üksteiſt hõõruwad. Olgu malm malmi peal ja teinekord malm waſe peal libiſemas. Kuni malm malmi wastu ja malm waſe wastu ainult kergeste on pigistatud, ſeni on hõõrumine mõlemal korral umbes üheſugune. Aga kui libiſew keha wäga tugewaste on teiſt wastu pigistatud, ſiis on malmi hõõrumine malmi wastu mitu korda ſuurem kui malmi hõõrumine waske wastu.

Maſinate wõllid keerlewad laagrite peal. Wõllid peawad nendele antud liikumiſt wõimalikult täieste ratastele wõi wäntadele edaſi andma. Laagrite wastu hõõrudes annawad wõllid oſa liikumiſt kaſuta maakerale. Hõõrumiſe wähendamiſeks tarwitatakſe peaasjalikult kolme abinõuu: 1) Laagrid tehtakſe waſeſt. 2) Laagri ja wõlli wahele walatakſe määret, ſ. o. niiſuguſt wedelikku, mis wõlli ja laagri wahele tungib ja wõlli laagriſt lahutada püüab. Siis ei läheks juba ſugugi liikumiſt laagrisſe, kui määre pāriswedel oleks, ſeſt wõlli küljes olewad määre oſakeſed wõikſiwad wabalt laagri küljes olewate oſakeste üle edaſi libiſeda [a]. Harilikud wedelikud ei ole pāriswedelad, ſellepäraſt wiib ka määre weel oſa liikumiſt wõlliſt laagri kaudu maakerale. 3) Laagri ja wõlli wahele ſeatakſe rullid wõi kuulid weerema. Wõlli keerlemiſe juures weerewad need rullid wõi kuulid nii wõlli kui ka laagri pinda mööda. Ka ſiis läheb liikumiſt üheſt kehaſt teiſe, kui üks keha teiſe pinda mööda weereb, aga ſee liikumiſe üleminek on enamaste palju wähem kui libiſemiſe juures. Sellepäraſt ſeatakſe ka kiwi- wõi mullateel koormatele rattad alla weerema, ſeſt ſeal on weeremiſe hõõrumine palju wähem, kui libiſemiſe hõõrumine; lumeteel on juba libiſemiſe hõõrumine wähem.

Hõõrumiſeks nimetatakſe ka liikumiſe kadumiſt wedelikkude ja gaaſide ſees. On tuttaw, et ſügawale wee ſiſſe püſſiga kala lasta ei ſaa: haawlid kaotawad wee ſees palju oma liikumiſe hulgaſt ja ei jakſa ſiis enam kalale tarwiliſt hoopi anda. Wahel nimetatakſe ſeda liikumiſe kadumiſt ka ümbruſe w a s t u p a n e k u k s. Pistame lauanoa wee ſiſſe ja liigutame teda ſeal. Kui meie nuga ſerwiti liigutame, ſiis ei tundu wastupanekut, aga kohe tundub natuke wastupanekut, kui meie nuga lapiti liigutama hakkame. Palju ſuuremat wastupanekut tunnekſime ſiis, kui nuga elawhõbeda ſees lapiti liigutakſime. Sedalaadi wastupanekut tunneme ka oma ümber õhu ſees, kui ſeal laia paberilehte wõi plekitükki lapiti liigutame. See ongi üks nähtus, mis meile ſelgeks teeb, et meie ümbrus mitte tühi ei ole, waid ühe ainega täidetud, mida meie õhuks nimetame. Silmanähtawalt kaotab w e d e l a w õ i g a a ſ i l i ſ e ü m b r u ſ e ſ e e s ü k s l i i k u w k e h a t e i ſ e ſ t n i i m i t u k o r d a r o h k e m l i i k u m i ſ t, 1) k u i m i t u k o r d a t e m a ü m b r u ſ e t i h e d u s t e i ſ e k e h a ü m b r u ſ e o m a ſ t ſ u u r e m o n j a 2) k u i m i t u k o r d a r o h k e m j a 3) k u i m i t u k o r d a k i i r e m a l t t a o m a ü m b r u ſ e o ſ a k e ſ i l i i k u m a p a n e b. Selle järele kaotawad peenemad ja terawaotſadega kuulid õhus wähem liikumiſt kui jämedamad ja tömpotſadega kuulid, ja wees kaotawad nad 773 korda rohkem kui õhus, sest wee tihedus on õhu omast 773 korda suurem. Sellepärast tehtakse ka laewade ninad terawad.

d) Liikumise tung. Kiirus on tung, mis liikuwa keha juures otsekohe silma paistab. Liikumise hulk on tung mis liikuwa keha juures siis nähtawale tuleb, kui see keha teisega kokku põrkab. Need kaks liikumise tungi on, nagu meie teame, siis arwu poolest ühesuurused, kui liikuwal kehal üks ainuke mõõt ainet on. Nimetame niisuguse keha liikumise tungi lihttungiks. Iga teise keha liikumise hulk on siis arwu poolest nii mitmest lihttungist koos, kui mitu mõõtu ainet sellel kehal on. Liikumise hulka wõib siis liikumise kogutungiks nimetada. Alati siis, kui liikumise muutust on tähele pandud, on liikumise tung seda muutust sünnitanud [8] 1) ainult seal, kus kehad kokku on puutunud, ja 2) ainult seni, kuni neil kehadel kiiruse poolest wahet on olnud, ja 3) nimelt nii, et see kiiruse wahe wähenenud on. Rehkendades leiame, et liikuwad kehad niisuguse liikumise muutuse juures ikka oma liikumise jõudu kaotawad. Selle kadunud liikumise jõuu asemele ilmub otse nõndasama palju mõnda muud jõudu [6]. Suuremalt osalt on see muu jõud soojus: kokkupõrkawatel wõi üksteist wastu hõõruwatel kehadel lähewad kokkupuutumise kohad soojaks.

26. Liikumise jõud. Loomadel on jõudu. Nad kulutawad oma jõudu iseenese liigutamiseks ja teiste kehade liikuma panemiseks. Hobused weawad koormaid. Mida raskem tasasel teel koormat edasi tõmmata on ja mida kaugemale seda koormat wedada tuleb, seda rohkem kulub hobusel jõudu. Tasase tee peal tuleb koorma edasitõmbamise raskus sellest hõõrumisest [25 c], mis koorma ja tee wahel on. Hobune annab koormale liikumist, aga koormast läheb liikumine ära maa sisse, ja hobune peab ühtewiisi liikumist juurde andma. Mitu korda rohkem liikumist peab koormale iga sekundi jooksul juurde andma ja mitu korda kaugemale seda koormat wedada tuleb, nii mitu korda rohkem kulub jõudu.

Jõuu hulga mõõduks loetakse seda jõuu hulka, mis ühe keha ühe kaugusemõõdu wõrra edasiwiimiseks siis kulub, kui sellele kehale iga ajamõõdu jooksul üks mõõt liikumist juurde tuleb anda. Ühe keha edasiwiimiseks kuluwat jõuu hulka loetakse nii m i t u k o r d a s u u r e m a k s, k u i m i t u k o r d a k a u g e m a l e s e d a k e h a w i i a t u l e b j a k u i m i t u k o r d a r o h k e m l i i k u m i s t i g a a j a m õ õ d u j o o k s u l t e m a l e t u l e b j u u r d e a n d a. Selle järele saab jõuuhulka wälja rehkendada, kui kaugus teada on ja niisama ka see liikumise hulk, mis ühe ajamõõdu jooksul ära kulub.

Olgu keha edasiwiimise kaugus d mõõtu ja kulugu tema edasiwiimisel iga ajamõõdu jooksul f mõõtu liikumist. Tähendame ärakuluwat jõuuhulka tähe E-ga (sõnast *energia*).

Siis kuluks jõudu

1 kauguse mõõdu peale f mõõtu,
d „ „ „ $f.d$ „

sellega on

$$E = f.d \quad . \; . \; . \quad (9)$$

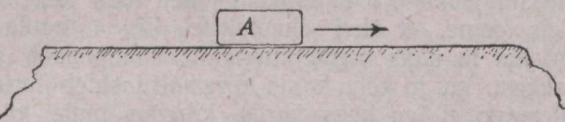
Kui kaugust cm-itega, aega s-itega ja liikumise hulka wäikeste mõõtudega mõõdetakse, siis nimetatakse jõuumõõtu **erg** (greekakeelsest sõnast *ergon* — töö).

Kui kauguse, aja ja massi mõõtudeks m, s ja kg [12 c] on, siis on jõuumõõdu nimeks **dshoul** — teadusemehe Joule (dshoul) nime järele, — ja ärakuluwa jõuu hulga arw on kauguse metrite arwu ja igal sekundil ärakuluwa liikumise hulga produkt [13 b]. Tulgu näituseks sõiduwankrile edasiminekuks igal sekundil 180 mõõtu liikumist juurde anda, sest et nii palju liikumist igal sekundil rataste kaudu maa sisse läheb. Kui siis hobune seda wankrit 10 kilometrit ehk 10000 m edasi weab, siis on ta 180 . 10000 = 1800000 dshouli jõudu ära kulutanud.

Jõudu kulub ühe keha edasiwiimiseks siis, kui see keha alatasa oma liikumist ära annab. Iga liikuma pandud keha, nagu wisatud kiwi, püssist lastud kuul jne., jookseb iseenesest tükk maad edasi, kuni kõik ta liikumise hulk ümbrusesse ära on läinud. Nende kehade edasiwiimiseks ei kulu nende jooksu ajal wälispidist jõudu, waid nende oma l i i k u m i s e j õ u d u. Kui põrandal weerew pall igal sekundil ühe mõõdu liikumist kaotab ja üleüldse 3 m edasi jookseb, siis on ju tema edasiminekuks kolm dshouli jõudu kulunud. Nii palju on pallil liikumise jõudu olnud. Muidugi on see jõud selle käest tulnud, kes palli weerema pani, aga weerewat palli waadeldes ei näe meie juba seda endist jõuu hallikat, waid ainult palli liikumise jõudu.

Rehkendades leiame, et ü h e l k e h a l l i i k u m i s e j õ u d u n i i m i t u k o r d a t e i s e s t r o h k e m o n, k u i m i t u k o r d a t e m a m a s s i a r w j a k i i r u s e a r w u k w a d r a t t e i s t e o m a d e s t s u u r e m a d o n. Kui mass kilogrammides ja kiirus metrites sekundis on ära mõõdetud, siis on liikumise jõuu dshoulide arw massi arwu ja kiiruse arwu kwadradi pool produkti.

Olgu ühe keha A (joon. 31) mafs m kg ja tema kiirus ühel filmapilgul $v \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Olgu fee keha tafafel maapinnal jooksmas ja olgu hõõrumine keha A ja maa wahel [25 c] f mõõtu fuur. Oma liikumife jõuu mõjul jooksku keha A weel t fekundit edafi ja jäägu fiis feisma. Kui meie teakfime, mitu metrit keha A weel edafi jookfeb, fiis teakfime ka kui fuur tema liikumife jõud tähelepaneku filmapilgul on olnud, fest



Joon. 31.

iga metri edafimineku peale kulub f dfhouli liikumife jõudu. Edafimimineku kaugust faame järgmifelt wälja rehkendada. Formul (8) järele on fiin

$$m \cdot v = f \cdot t \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

Siit faame keha A alguskiirust tema masfi, hõõrumife ja jookfu aja läbi järgmifelt ära tähendada: $v = \frac{f}{m} \cdot t$.

Rehkendades leitakfe, et fiis, kui kiirus igal fekundil ühewõrra kahaneb wõi kaswab, liikuw keha otfe niipalju maad läbi jookfeb, nagu oleks tal terwel jookfu ajal fee kiirus olnud, mis algufe- ja lõpukiirufele kefkmifeks on, fee on: algufe- ja lõpukiirufe fumma pool. Keha A jääb t fekundi pärast feisma, lõpukiirust temal ei olegi. Sellepärast on ta niipalju maad läbi jooksnud, kui oleks tal terwel jookfu ajal pool alguskiirust $\frac{\frac{f}{m} \cdot t}{2} \frac{\text{m}}{\text{s}}$ olnud. Nii on fiis keha A iga fekundi kohta $\frac{\frac{f}{m} \cdot t}{2}$ metrit ja t fekundi jookful $t \cdot \frac{\frac{f}{m} \cdot t}{2}$ m edafi jõudnud. Iga metri peale kulub f dfhouli jõudu. Kui meie fiis liikumife jõuu hulka tähe E-ga tähendame, fiis on

$$E = f \cdot t \cdot \frac{\frac{f}{m} \cdot t}{2} = \frac{f^2 \cdot t^2}{2 \cdot m} \quad . \quad . \quad . \quad (11)$$

Aga formul (10) järele on $f \cdot t = m \cdot v$ ja fellega $f^2 \cdot t^2 = m^2 \cdot v^2$. Selle põhjal faame meie formul (11)-st lõpulikult

$$E = \frac{f^2 \cdot t^2}{2 \cdot m} = \frac{m^2 \cdot v^2}{2 \cdot m} = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad . \quad . \quad . \quad (12)$$

Olgu ühe keha mafs 5 kg ja tema kiirus $4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Siis on tema liikumife jõud $\frac{5 \cdot 4 \cdot 4}{2} = 40$ dfhouli. Olgu ühe keha mafs 10 kg ja tema kiirus $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Siis on tema liikumifejõud $\frac{10 \cdot 5 \cdot 5}{2} = 125$ dfhouli. Efimene keha jookfeks oma liikumife jõuu kulul ſeal, kus ta igal ſekundil ühe mõõdu liikumiſt kaotab, 40 m edaſi, teine keha — 125 metrit.

Looduſes ettetulewat liikumiſe jõudu tarwitatakſe kõige rohkem tuulerataste käimapanemiſeks ja purjelaewade edaſiajamiſeks. Tuuleweski tiibade wastu jookſeb liikuw õhk ja annab oma liikumiſe jõudu nendele. Mida rohkem õhuoſakestel iſe jõudu on ja mida rohkem neid õhuoſakeſi tuuleweski tiibade wastu jookſeb, ſeda rohkem jõudu ſaab tuuleweski tuuleſt. Meie teame, et ühel õhuoſakeſel ſiis 4 korda rohkem jõudu on, kui ta kaks korda kiiremalt edaſi jookſeb ja ſiis 9 korda rohkem, kui ta kolm korda kiiremalt jookſeb [formul (12)]. Aga tuuleweski ei ſaa kaks korda kiirema tuule käeſt mitte ainult 4 korda rohkem jõudu, waid koguni 8 korda, ſeſt kaks korda kiirema tuule ajal jookſeb ka kaks korda rohkem õhuoſakeſi tuuleweski tiibade wastu. Kolm korda kiirema tuule käeſt ſaab tuuleweski juba kolm korda kolm ja weel kolm korda, ſee on 27 korda rohkem jõudu, jne.

II. Raskus.

27. Raskuſe tung. Enamaste kõik kehad, mida meie katſuda ſaame, tungiwad iſeeneſeſt allapoole: nad hakkawad allapoole liikuma ehk langema, kui nad pääſewad; kui nad langema ei pääſe, ſiis rõhuwad nad oma aluſe peale wõi wenitawad ſeda keha, mille otſas nad ripuwad. Nii hakkab ülestõstetud ja lahtilastud kiwi kohe langema, aga kui teda käes kinni hoitakſe, ſiis rõhub ta käe peale ehk wenitab kätt. Seda kehade tungi allapoole nimetatakſe *raskuſe tungiks* ehk *raskuſeks*.

Raskuſe mõjul hakkawad kehad liikuma, kui nad pääſewad; nad ſaawad raskuſe mõjul liikumiſt juurde. Selle liikumiſe hulga ſihi ja ſuuruſe järele ſaab ka ükſikute kehade raskuste wahel *ſihi* ja *ſuuruſe* pooleſt wahet teha.

a) *Raskuſe ſiht.* Raskuſe ſihiks loetakſe ſeda ſihti, mida mööda waba keha iſeeneſeſt liikuma hakkab. Alati ſiis, kui raskuſe ſihti ühel ja ſelſamal kohal on tähele pandud, on ſee ſiht kõikidel kehadel üks ja ſeeſama olnud. Seda öeldakſe lühedalt nii: *ühes ja ſellesſamas kohas on alati üks ja ſeeſama raskuſe ſiht.* Seda ſihti nimetatakſe harilikult allapoole minewaks ehk *wertikalſeks* ſihiks. On leitud, et ſee ſiht maakera ekwatori ja poluste peal otſe maakera keſkkoha poole läheb. Mujal läheb ſee ſiht küll maakera keſkkoha poole minewaſt ſihiſt lahku, aga wäga wähe. See wäike lahkuminek jäetakſe harilikult tähelepanemata ja öeldakſe: *raskuſe ſiht läheb otſe maakera keſkkoha poole.* — Taſaſt pinda, mis wertikalſele ſihile perpendikularne on, nimetatakſe *horitſontalſeks.*

b) *Raskuſe ſuurus.* Raskuſe mõjul ſaawad kehad allapoole ſihitud liikumiſt juurde. Ühe keha raskuſe mõõduks loetakſe ſeda raskuſt, mille mõjul üks keha ühe ajamõõdu jookſul ühe mõõdu allapoole ſihitud liikumiſt juurde ſaab. Ühe keha raskuſe ſuuruſe arwuks loetakſe ſeda arwu, mis ütleb, mitu mõõtu allapoole ſihitud liikumiſt ſee keha raskuſe mõjul ühe ajamõõdu jookſul juurde ſaab. Otſe niiſama mõõdetakſe kõiki tungiſid, mis kehadele mõneſihiliſt liikumiſt juurde annawad. Iga niiſuguſe *tungi ſuuruſe mõõduks loetakſe ſeda tungi, mille mõjul keha ühe ajamõõdu jookſul ühe mõõdu liikumiſt juurde ſaab, ja tungi ſuuruſe arwuks loetakſe ſeda arwu, mis ütleb, mitu mõõtu liikumiſt keha ſelle tungi mõjul ühe ajamõõdu jookſul juurde ſaab.*

Olgu ühel kehal mõneſihiliſt kiiruſt ühel ſilmapilgul v mõõtu, aga t ajamõõdu päraſt v_t mõõtu. Olgu ſelle keha maſs m mõõtu. Tähendame ſelle tungi ſuuruſt, mille mõjul keha ſelleſihiliſt liikumiſt juurde ſaab, tähe f-ga (prantſuskeele ſõnaſt *force* — tung). Siis leiame tungi ſuuruſe nii:

Liikumiſt oli eſimeſel ſilmapilgul . .	$m \,.\, v$	mõõtu;
„ „ t ajamõõdu päraſt . . .	$m \,.\, v_t$	„
juurde on tulnud t ajamõõdu jookſul	$m.v_t - m.v$	„
„ „ „ ühe „ „	$\frac{m.v_t - m.v}{t}$	„

ſellega on tungi ſuurus

$$f = \frac{m \,.\, v_t - m \,.\, v}{t} = m \,.\, \frac{v_t - v}{t} \quad . \; . \; . \quad (13)$$

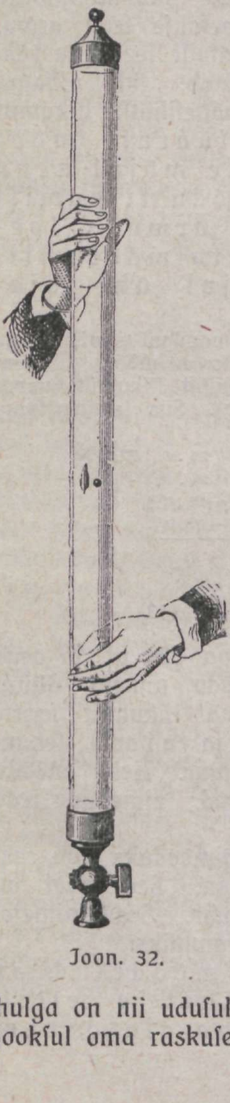
Kui liikumiſe hulka wäikeste mõõtudega [24 a] ja aega ſekunditega mõõdetakſe, ſiis on tungi mõõdu nimeks **düün,** mis greekakeeles wõimu tähendab. Kui aga liikumiſt ſuurte mõõtudega [21 ja 24 a] mõõdetakſe ja aega niiſama ſekunditega, ſiis on tungi mõõt 100000 düüni ſuur. Selle mõõdu jaoks ei ole weel iſe nime tarwituſele wõetud; nimetame teda ſuureks tungimõõduks.

Tegelikus elus loetakſe enamaste tungimõõduks ſeda raskuſe tungi, mis Pariſi kilogrammil Pariſis on. See mõõt on 9,81 ſuurt tungimõõtu wõi 981000 düüni ſuur. Seda nimetatakſe kilogrammi tungiks wõi lihtſalt kilogrammiks.

Alati ſiis, kui raskuſt on mõõdetud, on ta ühel ja ſellelſamal kehal ühel ja ſellelſamal kohal ſeni üks ja ſeeſama olnud, kuni ſelle keha aine hulk muutumata on jäänud. Nii on Pariſis ühe kg-line tinakuul ſiis, kui ta tühjas ruumis on langenud, iga ſekundi päraſt ikka 9,81 $\frac{m}{s}$ kiiremalt allapoole jooksnud (tema allapoole ſihitud liikumiſe hulk on iga ſekundi jookſul 9,81 ſuure mõõdu wõrra ſuurenenud), olgu ſee tinakuul ſoe wõi külm ja olgu ta alguſes ülespoole, wõi allapoole, wõi otſe edaſi wiſatud wõi lihtſalt langema lastud. Ei ſoojus, ega liikumine, ega muud nähtuſed ei muuda keha raskuſt, kui ennegi ſelle keha aine hulk muutumata jääb.

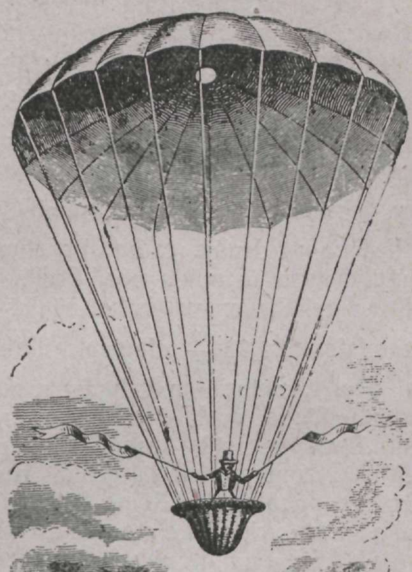
Mitmeſugustel kehadel ja mitmeſugustel kohtadel on ka raskus mitmeſugune.

28. Raskus ühel ja ſellelſamal kohal. Langewad kehad ſaawad igal ſekundil raskuſe mõjul liikumiſt juurde, aga annawad iſe ſeda liikumiſt oma ümbruſe oſakestele edaſi, kui ſee ümbrus mitte tühi ei ole. Et lihtſam oleks raskuſe mõju tähele panna, ſelleks lastakſe kehadel tühjas ümbruſes langeda. Meie ümbrus ja kõik lahtiſed anumad on õhuga täidetud, kui ſeal muud ainet ei ole. Aga kinnisteſt anumateſt on wõimalik õhku ka wälja pumbata [IV]. Niiſuguſes tühjas anumas lastakſe kehaſid langeda. Alati ſiis, kui ühel kohal kehade langemiſt tühjas ümbruſes on tähele pandud, on kiiruſe pooleſt kõik kehad täieste ühte moodi langenud. Joonistus 32. peal näeme pikka kinniſt klaastoru. Sinna on uduſulg ja haawlitera ſiſſe pandud ja õhk on ſealt wälja pumbatud. Nüüd on ſee ots, kus uduſulg ja haawlitera ſeiſiwad, ülespoole keeratud. Nad hakkaſiwad raskuſe mõjul allapoole langema ja langewad üksteiſe kõrwal, ilma et haawlitera uduſuleſt ette kipuks. Haawlitera maſs on uduſule omaſt mitu korda ſuurem, ja üheſuguſe kiiruſe juures on ſiis haawliteral ka nii mitu korda rohkem liikumiſt [24 a]. Selle liikumiſe hulga on nii uduſulg kui ka haawlitera ühe ja ſelleſama aja jookſul oma raskuſe mõjul ſaanud. Nii ſaab ikka ühe ja ſel-



Joon. 32.

lesama aja jooksul üks keha oma raskuse mõjul teisest nii mitu korda rohkem liikumist juurde, kui mitu korda tema mais teise omast suurem on. Seda öeldakse lühedalt nii: **keha raskus ja mass on ühel ja sellelsamal kohal proportsionalsed,** ehk: ühe keha raskus on teise omast nii mitu korda suurem, kui mitu korda tema mass teise omast suurem on. Selle järele wõib ühel ja sellelsamal kohal raskuse järele massi ja massi järele raskust wälja rehkendada. Kui mõlemaid kilogrammidega mõõdetakse, siis on ka massi arw raskuse arwuga täieste ühesugune. Nii on 4⁰ soojuse juures ühe litri wee mass 1 kg ja tema raskus 1 kg; niisama on 0⁰ soojuse juures ühe litri elawhõbeda mass 13,6 kg ja tema raskus 13,6 kg.


Joon. 33.

Meie ümber ei lange kehad mitte ühesuguse kiirusega allapoole. Seal annawad nad raskuse mõjul saadud liikumist õhuosakestele ära. Olgu kaks keha oma kuju ja kehasuuruse poolest ühesugused, aga üks kaks korda teisest raskem. Kui need kaks keha ühel silmapilgul ühesuguse kiirusega langewad, siis annawad nad igal sekundil umbes ühewõrra liikumist õhuosakestele ära, kuna nad neid õhuosakesi umbes ühte moodi liikuma panewad [25 c]. Aga raskem keha saab oma raskuse mõjul igal sekundil teisest kaks korda rohkem liikumist juurde. Sellepärast kaswab raskema keha kiirus, nagu see rehkendades meile silmanähtawaks saab. Nii läheb näituseks kuldkuul oma raskuse mõjul langedes niisama suurest waskkuulist ette. — Olgu kahel üheraskusel kehal teisel teine kuju. Need kehad saawad igal sekundil oma raskuse mõjul ühepalju liikumist juurde. Aga kui need kehad ühel silmapilgul ühesuuruse kiirusega langewad, siis annab see keha, mis rohkem õhuosakesi liikuma paneb, igal sekundil rohkem liikumist ära, ja tema jooks jääb sellepärast teiſe omaſt aeglaſemaks. Joonistus 33. peal näeme l a n g e - w a r j u. Laia riideſt warju all ripub nööride otſas korw, kus inimene ſees ſeiſab ja ühes warjuga kuſagilt wäga kõrgelt alla langeb. Ta langeb pikkamiſi, ſeſt lai wari paneb laialt õhku liikuma ja annab ſiis raskuſe mõjul ſaadud liikumiſt õhule ära. Sellepäraſt on langemiſe hoop, kui korw wastu maad põrkab, wäike ja ei tee korwis olejale haiget. Kui riideſt wari oleks korwi ſisſe kokku pakitud ja inimene ſiis ſelle korwiga langeks, ſiis wõiks ta juba mõnekümne metri kõrguſelt langedes ſurma ſaada.

29. Raskuſe tung mitmeſugustes kohtades. Et kõik kehad ühel ja ſellelſamal kohal tühjas ümbruſes täieste ühte moodi langewad [28] ja et ühe kg-line tinakuul Pariſis tühjas ruumis langedes iga ſekundi päraſt ikka nimelt $9{,}81 \frac{m}{s}$ kiiremalt allapoole jookſeb [27 b], ſiis wõib ütelda: **kõik kehad ſaawad Pariſis tühjas ruumis langedes oma raskuſe mõjul iga ſekundiga $9{,}81 \frac{m}{s}$ allapoole ſihitud kiiruſt juurde.** Mõõtmiſed on näidanud, et Pariſiſt ekwatori pool kehadel raskuſe tung wähem ja põhja pool Pariſi ſuurem on. Nii on leitud, et iga keha ekwatori kohal tühjas ruumis langedes iga ſekundiga ainult $9{,}78 \frac{m}{s}$ allapoole ſihitud kiiruſt juurde ſaab. Teiſel pool ekwatorit on kehadel raskuſe tung jälle ſuurem ja 49 kraadi lõuna pool ekwatorit langewad kehad otſe niiſama kui Pariſis — 49 kraadi põhja pool ekwatorit. Niiſama on leitud, et maapinnaſt kõrgemal raskuſe tung kehadel wähem on kui maapinnal. Kõige ſelle kohta wõib ütelda: m i t m e - ſ u g u s t e s k o h t a d e s o n k e h a d e l m i t m e ſ u g u n e r a s k u ſ e t u n g, ehk lühemalt: i g a s k o h a s o n o m a r a s k u ſ e t u n g.

Raskuſe tungi mõõduks tarwitatakſe tegelikus elus ſelle keha raskuſt, mille maſs üks mõõt ſuur on [27 b]. Aga ſee maſſimõõdu raskus ei ole, nagu meie teame, igal pool üheſuurune: Pariſis on kilogrammi raskus 9,81 ſuurt tungimõõtu, aga ekwatori kohal ainult 9,78 ſuurt tungimõõtu ſuur. Ühe kilogrammiline kaalupomm on ekwatori kohal 0,03 ſuurt tungimõõtu kergem kui Pariſis. Kui ſiis ühte ja ſedaſama asja Pariſis ja ekwatori kohal raskuſe abil presſida tahetakſe ja kui Pariſis ſellele asjale parajaste 1000 kg kiwa tuleb peale laduda, ſiis on ekwatori kohal juba umbes 1003 kg kiwa ſelleks tarwis, et rõhumine niiſama ſuur oleks. Selle järele ei ole ühe keha raskus weel mitte täieste teada, kui kuſagil kaaludes tema kilogrammide wõi grammide arw teada on ſaadud: peab weel teadma, kui raske ſeal kohal üks kilogramm wõi üks gramm on. Muidu teame kaalumiſe järele ainult ſelle keha masſi [28].

Olgu ühe keha maſs m mõõtu ja olgu ſeal kohal ühe masſi mõõdu raskus g tungimõõtu (täht g tuleb ladinakeelſeſt ſõnaſt *gravitas* — raskus). Tähendame ſelle keha tõſiſt raskuſt tähe p-ga (ladinakeelſeſt ſõnaſt *pondus* — raskus). Siis on

1 masſimõõdul . . g tungimõõtu,
m „ $m.g$ „

ſellega on keha tõſine raskus

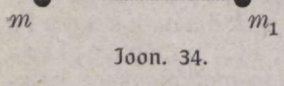
$$p = m.g \quad . \; . \; . \quad (14)$$

Ühe masſimõõdu raskuſt kuſagil kohal nimetatakſe **raskuſe tungi ſuuruſeks ſellel kohal.** Ühe keha raskuſt mõõdetakſe ſelle liikumiſe hulga järele, mis ſelles kehas raskuſe mõjul ühe ajamõõdu jookſul juurde tuleb [27 b]. Kui keha maſs üks mõõt on, ſiis on juurdetulnud liikumiſe hulga arw juurde tulnud kiiruſe arwu ſuurune [24 a, formul (5)]. Kiiruſe juurdetulekut nimetatakſe **kiirestuſeks**, kiiruſe juurdetulekut raskuſe mõjul — **raskuſe kiirestuſeks.** Kiirestuſe mõõduks loetakſe ſeda kiiruſe juurdetulekut, kus ühe ajamõõdu jookſul üks mõõt kiiiruſt juurde tuleb. Kiirestuſe ſuuruſe arwuks loetakſe ſeda arwu, mis ütleb mitu mõõtu kiiruſt ühe ajamõõdu jookſul juurde tuleb. Silmanähtawalt on raskuſe kiirestuſe ſuuruſe arw igal pool raskuſe tungi ſuuruſe arwuga üheſuurune. Sellepäraſt on lihtne raskuſe tungi kuſagil kohal ſealſe raskuſe kiirestuſe järele mõõta. Raskuſe kiirestuſt mõõdetakſe kõige lihtſamalt pendli abil [XII]. Sarnaſe mõõtmiſe põhjal ongi leitud, et raskuſe tungi ſuurus Pariſis 9,81 ja ekwatori kohal 9,78 ſuurt tungimõõtu on.

Raskuſe tungi mõõtmine mitmeſugustes kohtades wäljaspool maakera on näidanud, et ſee tung ühes kohas ſeda wähem on, mida kaugemal ſee koht maakera keſkkohaſt on. Nii on ka ekwatori kohal raskuſe tung ſellepäraſt wähem, et ſeal maapind maakera keſkkohaſt kaugemal on kui mujal, ſeſt maakera ei ole mitte täieste kerakujuline. Täielikumalt wõib mõõtmiste otſuſi nii kokku wõtta. Igal pool ſeal, kus raskuſe tungi ükſikutes kohtades on mõõdetud ja nende kohtade kauguſi maakera keſkkohaſt loetud, on wäljaspool maakera pinda ühes kohas raskuſe tung nii mitu korda raskuſe tungiſt mõnel teiſel kohal wähem olnud, kui mitu korda ſelle koha kauguſe arwu kwadrat teiſe koha omaſt ſuurem on. On kõige lihtſam arwata, et ſee ka igal pool mujal niiſama on. Sellepäraſt öeldakſe: **raskuſe tungi ſuurus kuſagil kohal wäljaspool maakera pinda on ſelle koha kauguſe arwu kwadradiga wastupidi proportſionalne.** Selle järele on kaks korda kaugemal maakera keſkkohaſt raskuſe tung $2.2 = 4$ korda wähem, kolm korda kaugemal 9 korda wähem jne. Maakera keſkkohaſt maapinnani on ligi 6400 kilometrit. Kui meie ſiis 6400 km kõrgele tõuſekſime, ſiis oleks kehadel ſeal neli korda wähem tung allapoole kui ſiin maapinna ligidal. — Maakera ſees on raskuſe tung mida ſügawamal, ſeda wähem.

30. Aine tung. Kehad ſaawad raskuſe mõjul allapoole ſihitud liikumiſt juurde. Kuſagil mujal peab ſiis otſe ſelle wõrra allapoole ſihitud liikumiſt wähenema wõi ülespoole ſihitud liikumiſt juurde tulema [21 d]. Kõige lihtſam on arwata, et ſelle juures nimelt maakera, mille poole kehad tungiwad, ülespoole ſihitud liikumiſt juurde ſaab. Kui meil wõimalik oleks maakera tungi tähele panna, ſiis peakſime leidma, et maakera iga teiſe keha poole tungib. Kehad tungiwad ſeda tugewamalt maakera poole, mida rohkem neil ainet on — mida ſuurem nende maſs on [28]. Maakera iſe on ſuur aine kogu. Sellepäraſt wõib *aine tungiſt* kõneleda: ükſikute kehade aine tungib maakera aine poole ja maakera aine tungib ükſikute kehade aine poole.

On wäga palju nähtuſi, kus aine tungi wõib tähele panna: kuu tungib maakera poole ja maakera kuu poole; maakera ja teiſed rändawad tähed tungiwad päikeſe poole ja päike nende poole; kakſikud kindlad tähed tungiwad teineteiſe poole jne. Meie wõime nimelt tähele panna, et kõik need kehad igal ſekundil teine-teiſe poole ſihitud kiiruſt juurde ſaawad, nagu iga langew keha ja maakera ſiin meie juures. Selle kiiruſe järele ſaame ka nende kehade tungi ſuuruſt mõõta. Mõõtmiſe otſuſi wõib nii kokku wõtta: *Alati ſiis, kui ainetungi on mõõdetud, on kaks aineoſakeſt ikka üheſuguſelt teineteiſe poole tunginud, olgu need aineoſakeſed ükſi wõi teistega ühenduſes, olgu nad juba ükskõik kudas liikumas wõi olgu nad weel mõnes muus olekus; ainult ſiis on nende aineoſakeste tung muutunud, kui kaugus nende wahel muutunud on, ja nimelt on ſuurema kauguſe juures tung nii mitu korda wähem olnud, kui mitu korda ſelle kauguſe arwu kwadrat ſuurem on.* Kui kaks aineoſakeſt ühe tſentimetri kauguſel teineteiſeſt on, ſiis on nendel tung teineteiſe poole. On nende wahe 2 cm, ſiis on nende tung $2 . 2 = 4$ korda wähem; on nende wahe 3 cm, ſiis on nende tung 9 korda wähem jne. Tungigu aineoſakene A (joon. 34) teiſe niiſamaſuguſe aineoſakeſe B poole. Seadime aineoſakeſele A teiſe nii-



Joon. 34.

ſamaſuguſe külge, ſiis tungiwad nad ühes B poole ja nende ühine tung on kaks korda ſuurem kui ühe oſakeſe tung ükſikult. Seadime nüüd aineoſakeſele B teiſe niiſamaſuguſe külge, ſiis tungiwad aineoſakeſed A kumbki kaks korda tugewamalt B poole, ſeſt nad tungiwad endiſe oſakeſe B poole ja peale ſelle weel ka uue juurdeſeatud oſakeſe poole. Selle järele ſaab kahe keha wahelist tungi ſiis wälja rehkendada, kui nende kehade masſid, nende kaugus ja ſee tung teada on, mis ühemõõduliſel aine hulgal teiſe ühemõõduliſe aine hulga poole ühe mõõdu kauguſelt on.

Olgu kaks keha A ja B teineteiſe poole tungimas (joon. 34). Olgu keha A maſs m masſimõõtu, keha B maſs m_1 mõõtu ja nende kehade kaugus d kauguſemõõtu. Tähendame tähe c-ga (ſõnaſt *coefficient*) [13 f] ſelle tungi ſuuruſt, mis ühel masſimõõdul teiſe masſimõõdu poole ſiis on, kui nende wahe üks kauguſemõõt on, ja tähendame tähe f-ga keha A tungi ſuuruſt keha B poole. Siis on

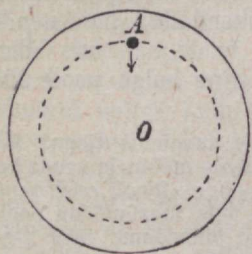
1 masſimõõdu	tung	1 masſimõõdu	poole	1	mõõdu	kauguſelt	c	mõõtu;
m	„	„ 1	„	„ 1	„	„	$c \cdot m$	„
m	„	„ m_1	„	„ 1	„	„	$c \cdot m \cdot m_1$	„
m	„	„ m_1	„	„ d	„	„	$\frac{c \cdot m \cdot m_1}{d^2}$	„

Sellega on

$$f = \frac{c \cdot m \cdot m_1}{d^2} \quad . \ . \ . \quad (15)$$

Kõike ſeda on teaduſemees Newton juba XVII aastaſajal lühedalt nii öelnud: **kõigil kehadel on tung teine teiſe poole ja ſee tung on proportſionalne nende kehade masſidega ja wastupidi proportſionalne nende kauguſe arwu kwadradiga.** Seda lauſet nimetatakſe Newtoni ſeaduſeks. Meie näeme kudas meie ümber kehad ühe ſuure keha — maakera — poole tungiwad, ja nimetame ſeda aine tungi raskuſe tungiks. Aga ühe kiwi tung teiſe kiwi poole wõi ühe haawlitera tung kiwi poole ei ole meile ſilmanähtaw, ſeſt ſee tung on wäga wäike. Haawlitera tung kiwi poole on ju haawlitera raskuſega wõrreldes ſellepäraſt wäga wäike, et ſelle kiwi maſs maakera masſiga wõrreldes wäga wäike on. Ühegrammiliſe keha tung teiſe ühegrammiliſe keha poole on ühe tſentimetri kauguſel $\frac{1}{14960000}$ düüni, kuna ühegrammiliſe keha tung maakera poole Pariſis 981 düüni on.

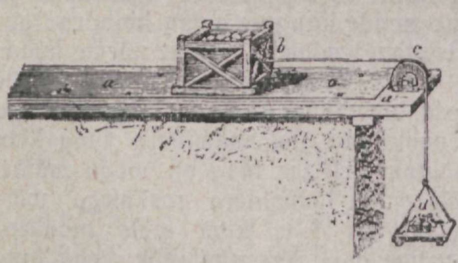
Rehkendades leiame, et üks kerakujuline keha, mille tihedus [23] igalpool üheſuurune on, otſe nii teiste poole tungib ja teiſed otſe nii tema poole, nagu oleks kõik tema aine tema keſkkohas koos. Niiſama on lugu ka ſelle kerakujuliſe kehaga, mille tihedus küll keſkkoha pool teiſtſugune on, aga nii, et ta igal pool keſkkohaſt ühekauguſel üheſugune on. Rehkendades leiame weel ſeda, et niiſuguste kehade ſees wäike keha A (joon. 35) nii keſkkoha O poole tungib, nagu oleks ſeal keſkkohas kõik ſee oſa ſuure keha aineſt koos, mis punktiliſe ringi ſeespool on, kuna ſee ümargune ainekiht, mis wäljaspool punktiliſt ringi on, keha A peale ei mõju. Sellepäraſt on ka maakera ſees kehadel wähem raskus. — Aine tung maakera poole ehk raskuſe tung ei ole ſellepäraſt otſe maakera keſkkoha poole ſihitud, et maakera mitte täieste kerakujuline ei ole.



Joon. 35.

Kõik ſee, mis eelmistes tükkides raskuſe tungi kohta on öeldud, järgneb Newtoni ſeaduſteſt. — Järgnewates tükkides kõneleme ainult raskuſe tungiſt Pariſis maapinna ligidal, kus ta 9,81 ſuure tungimõõdu ſuurune on. Kui mõõtmiſe juures mitte ſuurt peenſuſt ei nõuta, nagu ſee tegelikus elus ikka on, ſiis wõib raskuſe tungi terwel maakera pinnal ja kõigil kõrgustel ja ſügawustel, kus inimene käib, üheſuuruſeks lugeda.

31. Raskuſe jõud. Raskuſe tungi mõjul hakkawad kehad allapoole liikuma. Liikuwatel kehadel on liikumiſe jõudu [26]. Aga jõud ei ſaa mitte tekkida, waid ainult üheſt kohaſt teiſe üle minna wõi teiſtſuguſeks muutuda [6]. Seda teiſtſuguſt jõudu, mis raskuſe tungi mõjul liikumiſe jõuuks muutub, nimetatakſe r a s k u ſ e j õ u u k s. Igal raskel kehal on raskuſe jõudu. Kui kehad wabalt langewad, ſiis muutub nende raskuſe jõud ainult nende oma liikumiſe jõuuks. Aga kehad wõiwad langedes maſinaid käima panna wõi ka koormaid edaſi tasſida. Siis kulub nende raskuſe jõud oſalt ka teiste kehade liikumiſe jõuuks wõi ſoojuſeks, wõi weel mõneks teiſeks jõuuks.



Joon. 36.

Joonistus 36. peal näeme, kuidas kaalupommid d allapoole tungides nööri pidi, mis üle ratta c käib, rasket kasti b lauda a mööda edaſi tasſiwad. Pommid d wajuwad nüüd pikkamiſi allapoole, ſeſt nad annawad ſelle liikumiſe, mis nad raskuſe mõjul maakeralt ſaawad, kastile b, aga ſealt läheb liikumine laua a kaudu maakeraſſe tagaſi [25 c]. Pommid ſaawad wähe liikumiſe jõudu oma raskuſe jõuuſt, ſeſt oſa raskuſe jõudu kulub kasti liikumiſe jõuuks ja oſa läheb ſoojuſeks, mis kasti põhjas ja lauas a ilmub.

Ülespoole wiſatud kiwil on liikumiſe jõudu, mille kulul ta ſiis weel edaſi ülespoole jookſeb, kui teda enam wiskaja käſi lükkamas ei ole. Kiwi jooks jääb aeglaſemaks, kuni kiwi wiimaks ſeisma jääb ja tagaſi langema hakkab. Kui kiwi tühjas ruumis on wiſatud, ſiis wäheneb ta ülespoole ſihitud kiirus igal ſekundil 9,81 $\frac{m}{s}$, ſeſt niipalju ſaab ta raskuſe mõjul allapoole ſihitud kiiruſt juurde. Sellega kaotab ühe-kilogrammiline kiwi tühjas ruumis igal ſekundil 9,81 ſuurt mõõtu ülespoole ſihitud liikumiſt, ja ühe metri wõrra kõrgemale tõusmiſeks kulub tal 9,81 dſhouli liikumiſe jõudu [26]. Nii kulub igal ülespoole wiſatud kehal tühjas ruumis otſe nii mitu mõõtu liikumiſe jõudu ühe kauguſemõõdu wõrra kõrgemale tõusmiſeks, kui mitu tungimõõtu tema raskus ſuur on [27 b]. See liikumiſe jõud muutub keha raskuſe jõuuks. Langemiſe juures muutub jälle iga kauguſemõõdu wõrra allalangemiſel niiſama palju raskuſe jõudu liikumiſe jõuuks.

Kui ühe keha raskus p ja ſee kaugus d teada on, mille wõrra ſee keha kõrgemale on tõusnud wõi allapoole langenud, ſiis wõime tema raskuſe jõuu muutuſt E wälja rehkendada. Raskuſe jõud on tõusmiſe juures kaswanud wõi langemiſe juures wähenenud

1 kauguſemõõdu peal p mõõtu;
d „ „ $p.d$ „

ſellega on

$$E = p.d \quad . \; . \; . \quad (16)$$

Formul (16) on formul (9) ſarnane, ainult hõõrumiſe aſemel on raskus. Formul (14) põhjal wõib ka kirjutada

$$E = m.g.d \quad . \; . \; . \quad (17)$$

Ühe kilogrammi ühe metri wõrra kõrgemale tõſtmiſeks kulub 9,81 dſhouli jõudu. Seda jõuu hulka loetakſe wahel tegelikus elus jõuumõõduks; teda nimetatakſe kilogrammimeter ja tähendatakſe lühendatult kgm. Mitme kilogrammi tõſtmiſeks kulub jõudu nii mitu korda rohkem ja mitme metri kõrguſele tõſtmiſeks jälle nii mitu korda rohkem. Olgu ſajakilogrammiline kiwi 10 m kõrgele tõstetud, ſiis on tema tõſtmiſeks 100 . 10 = 1000 kgm ehk 1000 . 9,81 = 9810 dſhouli jõudu kulunud. Langedes wõiks ſee kiwi nii palju jõudu mõne töö tegemiseks kulutada. Nii wõib iga keha oma raskuſe jõuu kulul tööd teha, kui tal langemiſeks tee lahti on. Ta wõib ſiis kuni maakera keſkkohani langeda. Kui maakera tiheduſe igal pool nimelt 5,51 korda wee tiheduſeſt ſuuremaks loeme, ſiis leiame rehkendades, et üks kilogramm maapinnalt kuni maakera keſkkohani langedes umbes 31222800 dſhouli jõudu töötegemiſeks wõib kulutada. Selle järele on igal kilogrammil maapinnal umbes 31222800 dſhouli raskuſe jõudu.

Suurel mõõdul ſaab wee raskuſe jõudu ſeal töötegemiſeks tarwitada, kus weſi looduſes koſena langeb wõi kus woolawale weele nii paiſu ette teha ſaab, et ta üle paiſu langema hakkab. Kui weſi ſelle juures alataſa ja jäädawalt woolab, ſiis ei ſaa ſeda jõuu hulka mõõta, mis weſi koſes wõi üle paiſu langedes töötegemiſeks kulutada wõib: ſeda jõudu on otſatu palju. Siis tehtakſe kahe weelangemiſe wahel nende jõuu ſ u u r u ſ e pooleſt wahet. Sellel koſel, mis ühe ſekundi jookſul ainult ühe dſhouli raskuſejõudu wõib töötegemiſeks kulutada, öeldakſe jõuu ſuurus 1 w a t t (teaduſemehe Watt'i nimeſt) olewat. Kui koſk mitu dſhouli wee raskuſe jõudu wõib töötegemiſeks kulutada, ſiis loetakſe ka tema jõudu nii mitme wati ſuuruſeks. Niiſama mõõdetakſe ka teiste jõuu hallikate jõuu ſuuruſt. Tööhobuſe jõud on umbes 500 watti ſuur, ſee tähendab: hobune wõib igal ſekundil umbes 500 dſhouli jõudu töötegemiſeks kulutada. Tegelikus elus tarwitatakſe ſagedaste jõuu ſuuruſe mõõduks niiſuguſe hobuſe jõuu ſuuruſt, mis igal ſekundil 75 kilogrammimetrit ehk 736 dſhouli wõiks ära kulutada. Seda jõuu ſuuruſt — 736 watti — nimetatakſe üheks h o b u ſ e j õ u u k s. Kümne hobuſejõuline aurumaſin wõib ſiis igal ſekundil $10 . 75 = 750$ kg ühe metri kõrguſele tõsta wõi muuks tööks $10 . 736 = 7360$ dſhouli jõudu ära kulutada, ja kolmehobuſejõuline rehepekſumaſin tarwitab oma töö ajal igal ſekundil $3 . 75 = 225$ kgm ehk $3 . 736 = 2208$ dſhouli jõudu. — Weelangemiſe jõuu ſuuruſt ſaab wälja rehkendada. Selleks on tarwis teada, kui palju igal ſekundil langeb ja kui kõrgelt weſi langeb. Langegu mõne weski ſilmaſt igal ſekundil 300 litrit wett kahe metri kõrguſelt alla. Siis kaotab iga liter (1 kg) wett 2 kilogrammimetrit raskuſe jõudu ja 300 litrit kokku $300 . 2 = 600$ kgm. Nii palju jõudu wõiks ſee langew weſi igal ſekundil töötegemiſeks ära kulutada. Wee langemine on ſiis ſeal $\frac{600}{75} = 8$ hobuſejõuuline.

32. Waba langemine, ja libiſemine pärisſiledal pinnal. Nende teadmiste põhjal, mis eelmistes tükkides on kokku wõetud, wõib wäga paljude liikumiſesſe wõi tema muutumiſesſe puutuwate küſimiste peale wastuſi leida. Käesolewas tükis on näidatud, kudas mõnda küſimiſt waba langemiſe ja pärisſiledal pinnal libiſemiſe kohta ſiis otſustada ſaaks, kui ümbruſe wastupanekut [25 c] ei oleks.

a) O t ſ e ü l e s p o o l e w i ſ a t u d k i w i l a n g e b 6 ſ e k u n d i p ä r a ſ t m a h a. K u i ſ u u r o l i a l g u ſ e s ſ e l l e k i w i ü l e s p o o l e ſ i h i t u d k i i r u s?

Kiwi kiirus kahanes tõusmiſe juures ja kaswas langemiſe juures ühte moodi. Sellepäraſt kulus kiwil tõusmiſe ja langemiſe peale ühepalju aega, nimelt 3 s. Tõusmise lõpul oli kõik ülespoole sihitud kiirus kadunud. Igal sekundil kadus 9,81 $\frac{m}{s}$, kolme sekundi jooksul kadus siis $3 . 9,81 = 29,43 \frac{m}{s}$. Nii suur oli alguses ülespoole sihitud kiirus. — Silmanähtawalt on kiwil langemise lõpul niisama suur allapoole sihitud kiirus.

b) Kui kõrgele tõusis see kiwi?

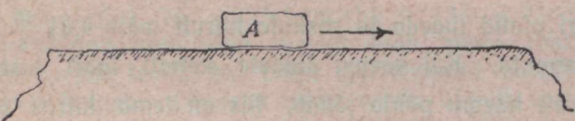
Rehkendades leitakse, et siis, kui kiirus igal sekundil ühewõrra kahaneb wõi kaswab, liikuw keha otse niipalju maad läbi jookseb, nagu oleks tal terwel jooksu ajal see kiirus olnud, mis alguse- ja lõpukiirusele keskmiseks on, see on: alguse- ja lõpukiiruse summa pool. Kiwi tõusmise alguskiirus oli $29,43 \frac{m}{s}$, lõpul kiirust ei olnudgi. Sellega on kiwi niisuguse kauguse läbi jooksnud, nagu oleks ta tõusmise ajal igal sekundil pool 29,43 m, see on: $\frac{29,43}{2} = 14,715$ m edasi jooksnud. Et ta 3 sekundit jooksis, siis on ta $14,715 . 3 = 44,145$ wõi umbes 44 m kõrgele tõusnud.

Niisama wõib ka iga keha langemise aja järele wälja rehkendada, kui kõrgelt keha langema on hakanud. Et meie selle juures harilikult sekundi osasid lugeda ei saa, siis ei maksa ka metri osasid lugeda ja raskuse kiirust wõib 9,81 $\frac{m}{s}$ asemel 10 $\frac{m}{s}$ arwata. Kui kaewu awause kohalt lahti lastud kiwi 2 s parast kaewu põhja jõuab, siis on tema kiirus langemise lõpul $2 . 10 = 20 \frac{m}{s}$. Pool 20 $\frac{m}{s}$ on 10 $\frac{m}{s}$. Kiwi on siis nii allapoole jooksnud, nagu oleks ta igal sekundil 10 m edasi jõudnud. Kahe sekundi jooksul on ta $2 . 10 = 20$ m edasi jõudnud. Nii sügaw on kaew. — Olgu kõrge kalju otsast kiwi mere poole otse edasi wisatud, nii et temal jooksu algul ei ülespoole ega allapoole sihitud kiirust ei olnud. Jõudku see kiwi 4 sekundi parast merepinnale. Siis on temal jooksu lõpul $4 . 10 = 40 \frac{m}{s}$ allapoole sihitud kiirust. Kiwi on siis oma jooksul nii allapoole wajunud, nagu oleks ta igal sekundil $\frac{40}{2} = 20$ m allapoole jõudnud. Nelja sekundi jooksul on ta $4 . 20 = 80$ m allapoole jooksnud. Nii kõrge on kalju.

c) Suurtükist on idasihti mööda kuul lastud, mille kiirus otse idapoole 300 $\frac{m}{s}$ ja ülespoole $225 \frac{m}{s}$ on. Kui kaugele jookſeb ſee kuul?

Kuuli ülespoole ſihitud kiiruſt wähendab raskuſe tung ja muudab wiimaks allapoole ſihitud kiiruſeks. Kuuli idaſihiline kiirus jääb liikumiſe hulga jäädawuſe põhjal terwel jookſu ajal muutumata. Kuul jookſeb ſiis igal ſekundil 300 m edaſi, kuni ta maha kukub. Eſiti tõuſeb kuul, päraſt hakkab ta wajuma. Mitu ſekundit kuulil tõusmiſeks kulus, niiſama palju ſekundiſi kulub tal maapinnale tagaſi wajumiſeks. Raskuſe mõjul wäheneb kuuli püſtſihiline kiirus igal ſekundil ligi 10 m. Tõusmine lõppis ſiis, kui kõik püstiſihiline kiirus otſas oli, ſee on $\frac{225}{10} = 22{,}5$ ſekundi päraſt. Kuuli jookſu aeg on ſiis: 22,5 s tõusmiſel ja 22,5 s wajumiſel, kokku 45 s. Sellega on kuul $45 \cdot 300 = 13500$ m ehk 13,5 km edaſi jooksnud.

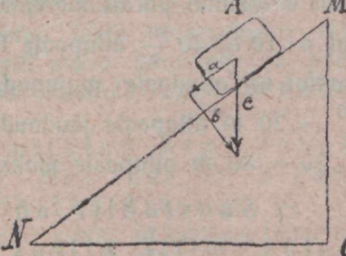
d) Olgu üks keha A jooksmas päriſſiledal horitſontalſel pinnal (joon. 37). Olgu ſee pind maa peal ſeiswa päriskindla keha pind. Kuidas mõjub raskuſe tung ſelle keha jookſu peale?



Joon. 37.

Raskuſetung ei ſaa kehale A allapoole ſihitud liikumiſt anda, ſeſt alus takistab teda. Et pind päriſſile on, ſiis ei kaota keha A ſugugi omaſt liikumiſeſt [25 c]. Nii ei muuda raskuſe tung keha A liikumiſt.

e) Olgu üks keha A päriſſiledal wiltupinnal MN (joon. 38). Olgu ſee pind maa peal ſeiswa päriskindla keha pind. Kuidas mõjub raskuſe tung ſelle keha peale?



Joon. 38.

Tähendame noole c-ga [24 d] ſeda otſe allapoole ſihitud liikumiſe hulka, mida raskuſe tung igal ſekundil kehale A anda püüab. Lahutame ſelle liikumiſe hulga mõttes kaheks [24 d], nii et üks pinnale MN parallelne ja teine temale perpendikularne on. Siis tähendab nool a parallelſet ja nool b perpendikularſet liikumiſe hulka. Liikumiſe kulk b ei ſaa ilmuda, ſeſt pind MN takistab teda. Liikumiſe hulk a ilmub igal ſekundil ja jääb täielikult kehale A, ſeſt pärisſiledal pinnal ei ole hõõrumiſt. Keha A ſaab ſiis igal ſekundil ühepalju kiiruſt juurde, nagu wabalt langew keha. Aga ſee juurdetulew kiirus on 9,81 $\frac{m}{s}$-ſt nii mitu korda wähem, kui mitu korda nool a nooleſt c lühem on [21 c]. — Kui ſiht MO wertikalne on ja ſiht NO temaga õige nurga ſünnitab, ſiis nimetatakſe kauguſt MO wiltupinna kõrguſeks, kauguſt NO — tema aluſeks ja kauguſt MN tema pikkuſeks. Joonistuſeſt ſelgub, et kolmnurk MNO nooltekolmnurgaga ſarnane on. Selle põhjal wõib lühendatult ütelda: r a s k u ſ e k i i r e s t u s w i l t u p i n n a l o n n i i m i t u k o r d a w ä h e m r a s k u ſ e k i i r e s t u ſ e ſ t w a b a s r u u m i s, k u i m i t u k o r d a w i l t u p i n n a k õ r g u s t e m a p i k k u ſ e ſ t w ä h e m o n. Olgu näituſeks $MO = 30$ metrit ja $MN = 60$ m. Olgu ſellele wiltupinnale üks keha pandud, ilma et teda kudagi oleks lükatud. See keha hakkab pinda mööda alla libiſema ja ſaab igal ſekundil $\frac{9{,}81}{2}\frac{m}{s}$ ehk ligi $5\frac{m}{s}$ kiiruſt juurde. Kolme ſekundi päraſt on ſiis ſelle keha kiirus $3 \cdot 5 = 15\frac{m}{s}$. — Libiſemiſt wiltupinnal näeme jõgedes, kus weſi jõe põhja mööda libiſeb wõi wee ülemiſed kihid alumiste kihtide üle libiſewad.

Hariliku langemiſe ja libiſemiſe kohta ei ole kõik need rehkenduſe otſuſed mitte täieste õiged, ſeſt harilikult takistab õhk wiſatud kiwi wõi ſuurtüki kuuli liikumiſt ja iga hariliku pinna peal kaotawad libiſewad kehad hõõrumiſe mõjul oma liikumiſt [25 c]. Aga mida wähem õhu takistus ja mida ſiledam libiſemiſe pind on, ſeda wähem läheb harilik kehade liikumine wäljarehkendatud liikumiſeſt lahku.

33. Tungi nähtuſed kehade ühendustes. Eelmiſe tüki wiimaſed küſimiſed käiwad juba kahe keha ühenduſe kohta: üks keha oli teiſe keha pinnal. Järgnewates tükkides leiduwad nende lihtſamate raskuſe nähtuste kirjelduſed, mis kindlate kehade ühendustes wõi wedelikkudes ja gaaſides ette tulewad. Igal pool, kus mõni keha liikuma tungib, aga ſelle juures teiste kehadega ühenduſes on, wõib kolme nähtuſt tähele panna: *rõhumiſt, tööd* ja *taſakaalu.*

a) *Rõhumine.* Kehad wõiwad mõneſihiliſt liikumiſt ſelleſt juurde ſaada, et nad iſe liikuma tungiwad. Peale ſelle wõiwad kehad weel teiste kehade tungide mõjul liikumiſt juurde ſaada. *Mõne keha liikumiſe juurdetulekut teiſe keha tungi mõjul nimetatakſe rõhumiſeks.* Tuuleweski tiiwad hakkawad ſelleſt liikuma, et tuul — liikuw õhk — nende peale rõhub, oma liikumiſe tungi mõjul neile liikumiſt juurde annab. Weſiratas hakkab ſelleſt liikuma, et weſi tema ühe külje peale rõhub, oma raskuſe mõjul temale liikumiſt juurde annab. Koorem maanteel hakkab ſelleſt liikuma, et hobune oma rinnaga rangide peale rõhub. Oma muſklite tungi mõjul annab hobune rangidele liikumiſt, aga et rangid kindlate kehade — aiſade wõi rihmade — kaudu wankriga on ühendatud, ſiis läheb liikumine rangideſt ka wankrisſe ja koormasſe. Need liikumiſe muutuſed, mida igapäewaſes elus wõib tähele panna, tulewad ſuurelt oſalt mõneſugusteſt rõhumisteſt. *Kõik tõmbamiſed, lükkamiſed jne. on rõhumiſed.*

1) Rõhumiste wahel wõib ſihi ja ſuuruſe pooleſt wahet teha. Rõhumiſe ſihiks loetakſe ſelle liikumiſe ſihti, mida kehad rõhumiſe mõjul juurde ſaawad. *Rõhumiſe ſuuruſe mõõduks loetakſe harilikult rõhumiſt, mille mõjul keha ühe ajamõõdu jookſul ühe mõõdu liikumiſt juurde ſaab; rõhumiſe ſuuruſe arwuks loetakſe ſeda arwu, mis ütleb, mitu mõõtu liikumiſt keha ſelle rõhumiſe mõjul ühe ajamõõdu jookſul juurde ſaab.* Sellega **mõõdetakſe rõhumiſt** otſe niiſama kui kõiki tungiſid, mis kehadele mõneſihiliſt liikumiſt juurde annawad, ja rõhumiſe mõõtudel on needſamad tungimõõtude nimed: düün, ſuur tungimõõt ja kilogramm [27 b]. — Suuremat rõhumiſt nimetatakſe ka tugewamaks ja wähemat nõrgemaks. Nii öeldakſe: raskemat koormat wedades rõhub hobune tugewamalt rinnaga rangide peale, kergemat koormat wedades nõrgemalt.

2) Kui mõni keha wastu teiſt keha jookſeb, ſiis öeldakſe, et ſee keha teiſele **hoobi** annab. Hoop on rõhumine, mis liikumiſe tungiſt tuleb ja lühikeſt aega kestab. Siiski mõõdetakſe hoobiſuuruſt harilikult teiſiti kui muid rõhumiſi. Hoobi ſuuruſt mõõdetakſe ilma ajamõõtmiſeta, ſeſt hoobi juures on raske ſeda lühikeſt aega ſelgeste ära mõõta, mille jookſul hoobi mõjul üheſt kehaſt liikumine teiſe kehasſe läheb. *Hoobi ſuuruſe mõõduks loetakſe harilikult ſeda*

hoopi, mille mõjul keha ühe mõõdu liikumiſt juurde ſaab; hoobi ſuuruſe arwuks loetakſe ſeda arwu, mis ütleb, mitu mõõtu liikumiſt keha ſelle hoobi mõjul juurde ſaab.

Hoopi nimetatakſe *ſilmapilkſeks rõhumiſeks.* Kui kokkupõrkawad kehad päriskindlad olekſiwad, ſiis peaks ſee liikumiſe hulk, mis hoobi juures üheſt kehaſt teiſe läheb, juba eſimeſel kokkupuutumiſe ſilmapilgul täieste üle minema. Harilikud kehad ei ole millalgi päriskindlad. Kui üks keha teiſe wastu põrkab, ſiis wajub üks keha oſalt teiſe ſisſe wõi mõlema keha oſakeſed taganewad kokkupuutumiſe kohalt ſisſepoole. See on ka joonistus 25. peal näha. Kerakujuliſed kehad a ja A on kokkupõrkamiſe kohal losſi läinud, nii et nad kaunis laialt teineteiſega kokku puutuwad. Liikumiſt hakkas kehaſt a kehasſe A ſiis minema, kui eſimeſe keha üks punkt teiſe keha külge puutus. Siis hakkaſiwad ka mõlemad kehad kokkupuutumiſe kohalt losſi wajuma. Liikumiſe üleminek lõppis ſiis, kui losſiwajumine lõppis — kui kehad nii laialt teineteiſega kokku puutuſiwad, kui laialt nad kokku jäiwadki. *Liikumiſe ülemineku aega kokkupõrkamiſe juures loetakſe ſelle hoobi kestuſeks, mille üks keha teiſele annab.* Teaduſemees Hertz rehkendas wälja, et hoobi kestus ſiis terwelt 27 tundi oleks, kui maakera ſuurune teraskuul $1 \frac{cm}{s}$ kiiruſega teiſe niiſama ſuure teraskuuli wastu jookſeks. Nii ei ole hoop wahel kaugeltgi mitte ſilmapilkne rõhumine, nagu teda nimetatakſe. — Kui hoopi rõhumiſe mõõtudega mõõdetakſe, ſiis ſelgub, et *hoop harilikult wäga tugew rõhumine on.* Kui ſepp kilogrammiliſe haamri $10 \frac{m}{s}$ kiiruſega wastu rauda wirutab, ſiis on hoobi ſuurus 10 hoobi mõõtu, ſeſt 10 mõõtu liikumiſt läheb haamriſt raua kaudu maakerasſe. Olgu ſelle juures hoobi kestus 0,01 ſekundit, ſiis on hoobi ſuurus 1000 rõhumiſe mõõtu ſeſt kui haamer 0,01 s jookſu 10 mõõtu liikumiſt edaſi annab, ſiis annaks ta terwe ſekundi jookſul 100 . 10 = 1000 mõõtu.

3) Alati ſiis, kui üks harilik kindel keha teiſe peale rõhub, taganewad nende kehade oſad kokkupuutumiſe kohalt ſisſepoole. See **kehade muutumine kokkupuutumiſe kohal** on ſeda ſuurem, mida tugewamalt üks keha teiſe peale rõhub, mida wähem keha kindlus on ja mida kitſam kokkupuutumiſe koht on. Mida kindlam keha on, ſeda ſuuremat rõhumiſt on tarwis, et ſellele kehale lohku ſisſe wajutada. Kui rauatükile

mõnda numbri märki ſiſſe rõhuda tahetakſe, ſiis tarwitatakſe ſelleks hoopi, kui wäga tugewat rõhumiſt. Et maſinate oſad wõimalikult kaua oma kuju alal hoiakſiwad, ſelleks püütakſe neid oſaſid hoopide, kui wäga ſuurte rõhumiste eeſt hoida. Kui näituſeks wõll laagri ſees logiſema — laagrile hoopiſid andma — hakkab, ſiis kulub laager ruttu ſuureks ja wõlli hõõrumiſe koht wäikſeks.

Rõhuwate kehade muutumine kokkupuutumiſe kohal tuleb ſelleſt, et kehaoſakeſed ſeal liikumiſt peawad edaſi wiima [25 b]. Sagedaste jääb liikumine, mis rõhumiſe juures üheſt kehaſt teiſe läheb, nägemataks. Sellel korral wõib rõhumiſe olemiſt kahe keha wahel ainult ſelleſt märgata, et need kehad kokkupuutumiſe kohal on muutunud. Kiwi rõhub maapinna peale. Selle juures ei ole kiwis liikumiſe kadumiſt ega juurdetulekut näha, aga ſee on näha, et kiwi oſalt maapinna ſiſſe on wajunud. Kui üks palk risti teiſe palgi peal ſeiſab, ſiis rõhub ülemine palk alumiſe peale. Liikumiſe kadumiſt ega juurdetulekut ei ole ſelle juures märgata, aga mõlema palgi küljed on kokkupuutumiſe kohal natuke ſiſſepoole wajunud. Järelemõteldes leiame, et niiſuguſe rõhumiſe juures rõhuw keha otſe niiſama palju liikumiſt teiſele kehale edaſi annab, kui palju ta oma tungi mõjul juurde ſaab, ja et teine keha oma tungi mõjul otſe niiſama palju liikumiſt kaotab, kui palju ta rõhumiſe läbi eſimeſelt kehalt juurde ſaab. Sellepäraſt jääb mõlemate kehade liikumine muutumata. Kiwi rõhumine maa peale ſeiſab ſelles, et kiwi igal ſekundil ſelle allapoole ſihitud liikumiſe hulga maakerale edaſi annab, mis ta raskuſe mõjul juurde ſaab. Aga raskuſe tungi mõjul ei ſaa kiwi muidu liikumiſt juurde, kui maakera peab otſe niiſama palju ſelleſama ſihiliſt liikumiſt kaotama [30]. Sellega kaotab maakera oma aine tungi mõjul igal ſekundil otſe nii palju allapoole ſihitud liikumiſt, kui palju kiwi ſeda liikumiſt juurde ſaab, aga kiwi rõhumiſe mõjul ſaab maakera otſe niiſama palju allapoole ſihitud liikumiſt tagaſi. Nii on liikumiſe juurdeſaamine ja kaotus nii kiwis kui ka maakeras üheſuuruſed, ja raskuſe tungi ja rõhumiſe peale waatamata jääb liikumine muutumata.

4) Järele mõteldes leitakſe, et igal pool, kus üks keha teiſe peale rõhub, teine keha eſimeſe peale **niiſama tugewaste wastu rõhub.** Hobune rõhub koormat wedades rinnaga rangide peale, aga rangid rõhuwad hobuſe rinna peale niiſama tugewaste wastu. Rõhumiſe juures on alati niiſama ſuur wasturõhumine ſellepäraſt, et ſee täieste ükskõik on, kas üheſt kehaſt mõni hulk mõneſihiliſt liikumiſt teiſe kehasſe üle läheb, wõi teiſeſt kehaſt niiſama palju otſe wastupidi ſihitud liikumiſt eſimeſesſe tuleb [21 d]. Olgu keſk Läänemerd purjulaew ſõitmas ja wiigu teda $4\frac{m}{s}$ kiiruſega idatuul Rootſimaa poole. Tuul rõhub laewa purjede peale, liikumiſetungi mõjul annab ta purjule ja ſellega ühes laewale lääneſihiliſt liikumiſt juurde. Tuul iſe kaotab lääneſihiliſt liikumiſt. Aga maakera keerab ennaſt ühes kõigi oma pinnal olewate kehadega oma telje ümber läänepoolt idapoole. Kui ſeda tähele panna, ſiis ei ole nimetatud idatuulel ſugugi weel lääneſihiliſt kiiruſt, waid temal on weel $236\frac{m}{s}$ idaſihiliſt kiiruſt, kuna Läänemere pind iſe ſeal kohal $240\frac{m}{s}$ kiiruſega idapoole jookſeb ja tuul temaſt igal ſekundil 4 metrit läänepoole maha jääb. Kuna laew ühes merepinnaga kiiremine ida poole jookſeb kui tuul, ſiis rõhub ta oma purju kaudu

temale peale, annab oma liikumise tungi mõjul tuulele idasihilist liikumist juurde. Laew ise kaotab selle juures idasihilist liikumist ja jääb merepinnast tema idasihilisel jooksul maha läänepoole. Niisama wõib järelemõteldes leida, et ka koorem rangide kaudu hobuse rinna peale rõhub, oma liikumise tungi mõjul hobusele siis tagasisihitud liikumist juurde annab, kui hobune oma musklite tungi mõjul ühes koormaga edasi liigub.

5) Üks keha wõib teise keha peale wäga mitmesugusel **sihil rõhuda.** Kahel juhtumisel on rõhumisel sihi järele oma nimi: 1) kui keha otse wastu teise keha pinda liikuma tungib, siis nimetatakse tema rõhumist n o r m a l s e k s, sest seda sihti. mis otse wastu pinda läheb nimetatakse normalseks; 2) kui keha teise pinda mööda edasi liikuma tungib ja selle juures teisele kehale liikumist juurde annab, siis nimetatakse tema rõhumist t a n g e n t s i a l s e k s, sest seda sihti, mis otse mööda pinda läheb, nimetatakse tangentsialseks. (Wagusal weepinnal nimetatakse normalset sihti wertikalseks ja tangentsialset sihti horitsontalseks). Silmanähtawalt ei saa pärissiledal pinnal tangentsialset rõhumist olla, ja harilikkude kindlate kehade pinnal ei saa tangentsialne rõhumine arwu poolest suurem olla kui hõõrumine. K u i m õ n i k e h a w i l t u t e i s e k e h a p i n n a p e a l e r õ h u b, nagu keha A (joon. 38) oma raskuse mõjul keha MNO peale, s i i s w õ i b s e d a r õ h u m i s t n i i k a h e k s o s a k s l a h u t a d a, e t ü k s o s a n o r m a l n e j a t e i n e t a n g e n t s i a l n e o n, sest seda liikumise hulka, mis keha A oma raskuse mõjul kehale MNO annab, saab normalseks ja tangentsialseks lahutada [24 d]. Kujutagu nool c (joon. 38) keha A täit rõhumist, siis kujutab nool b rõhumise normalset osa ja nool a tema tangentsialset osa. Olgu näituseks metri pikkune laud nii wiltu seatud, et tema üks ots teisest 60 tsentimetrit kõrgemal seisab, ja seisku selle laua peal 5 kg raskune keha. Siis on selle keha normalne rõhumine laua peale 4 kg ja tangentsialne 3 kg suur.

b) T ö ö. Tööd tehtakse seal, kus mõnda keha liikuma pandakse, nagu wankrit weerema, rege libisema, kirwest wõi wikatit wuhisema jne. Tööd tehtakse ka seal, kus mõnda rasket keha üles tõstetakse, nagu pangetäit wett kaewust wälja, wiljakotti wankri peale jne. Niisama tehtakse tööd ka seal, kus mõnda wedru kokku surutakse wõi lahti wenitatakse, wõi rauatükki magnedi küljest eemale tõmmatakse, wõi mõnda elektrilist keha teisele samalaadi elektrilisele kehale ligemale wiidakse, wõi mõne muu tungi wastu mõnda keha edasi liigutatakse. Tööd teeb weel iga keha, mis mõne rõhumise wastu edasi liigub, nagu hobune rangide (koorma) rõhumise wastu ja tuul purju (laewa) rõhumise wastu jne. Kõikide nende nähtuste juures kulub jõudu. Sellepärast nimetatakse teaduslikkudes kirjatöödes kõiki neid nähtusi tööks, kus jõudu kulub. Nii nimetatakse jää sulamist jää seesmiseks tööks, sest jää sulamiseks kulub jõudu — soojust; niisama nimetatakse ka wee auramist wee seesmiseks tööks, sest wee auramiseks kulub ka jõudu — soojust, jne. — Jõud on jäädaw [6]. Igal pool, kus mõnda jõudu näib kaduwat, ilmub jälle kas sedasama jõudu wõi mõnda teist jõudu otse niisama palju juurde. Kus jõudu kulub, seal sünnib teda otse niisama palju asemele. Sellega kulub jõudu ainult jõuu sünnitamiseks. Et kõiki neid nähtusi tööks nimetatakse, kus jõudu kulub, siis wõib küll ütelda töö on jõuu sünnitamine. Mõnda keha liikuma pannes sünnitatakse liikumise jõudu; mõnda rasket keha üles tõstes sünnitatakse raskuse jõudu; kui mõni keha rõhumise wastu edasi liigub, siis sünnib raskuse jõudu, kui rõhumine raskusest tuleb, — liikumise jõudu, kui rõhumine liikumise tungist tuleb, — mõnda muud jõudu, iseäranis kehapõnewust ja soojust, jne. Kui hobune koormat weab, siis sünnitab ta koormas liikumise jõudu, rataste pussides ja telgedes soojust, ja kui weel koormat wastu mäge üles tuleb wedada, siis sünnib koormas ja hobuses ka raskuse jõudu.

Aga mitte alati ei tehta tööd jõuu sünnitamiseks, waid mõnesuguste tarwilikkude muutuste jaoks, mis jõuu sünnitamisega nii ühenduses on, et neid ilma selleta teha ei saa. Koormat on tarwis edasi wedada, aga selle juures tuleb rataste pussides ja telgedes asjata soojust sünnitada, ja kui ühelt kohalt koormat üle mäe teise kohta tuleb wiia, mis niisama kõrgel merepinnast on kui esimene koht, siis tuleb teel koormas weel asjata raskuse jõudu sünnitada. Sagedaste wõib niisugust kasuta tööd ehk kasuta jõuu sünnitamist mitmel wiisil wähendada: wankri telgesid määritakse ja teesid tehtakse tasasemaks, sellega wähendatakse koorma wedamise tööd.

Töö suurust mõõdetakse selle jõuu hulga järele, mis töö juures sünnib, see on: töö suuruse mõõduks loetakse selle töö suurust, mille juures üks mõõt jõudu sünnib; töö suuruse arwuks loetakse seda arwu, mis ütleb, mitu mõõtu jõudu selle töö juures on sündinud. Et aga jõudu otse niisama palju sünnib kui kulub, siis wõib töö suurust ka selle jõuu hulga järele mõõta, mis töö juures kulub. Töömõõtudel on needsamad jõuumõõtude nimed: erg. dshoul ja kilogrammimeter [26; 31]. Kui näituseks 10 kilogrammiline keha kahe metri wõrra kõrgemale on tõstetud, siis on selles kehas 2 . 10 = 20 kilogrammimetrit raskuſe jõudu juurde tulnud ja tema tõſtmiſe töö on 20 kgm ſuur olnud. Nii ſaab ikka ſeal kergeste töö ſuuruſt wälja rehkendada, kus mõnda keha mõne tungi wõi mõne rõhumiſe wastu edaſi liigutatakſe, kui ennegi tungi wõi rõhumiſe ſuurus teada on ja niiſama ka ſelle kauguſe ſuurus, mille wõrra keha edaſi liigutatakſe. Jõuu mõõtmiſe [26], tungi mõõtmiſe [27 b], rõhumiſe mõõtmiſe [33 a] ja töö mõõtmiſe järele on *töö ſuuruſe arw tungi wõi rõhumiſe ſuuruſe arwu ja kauguſe arwu produkt.* Kui adra edaſiwedamiſeks kündmiſe juures 37 kg-liſt rõhumiſt tarwis on, ja kui wao pikkus 100 metrit on, ſiis on ühe wao kündmiſe töö 37 . 100 = 3700 kilogrammimetrit ehk 3700 . 9,81 = 36 297 dſhouli ſuur. Niiſama on ſellel puhul, kui tööd mõne keha edaſiliigutamiſeks tungi wõi rõhumiſe wastu tehtakſe, kerge ſelle tungi wõi rõhumiſe ſuuruſt wälja rehkendada, kui töö ſuurus ja edaſiliigutamiſe kaugus teada on. *Tungi wõi rõhumiſe ſuuruſe arw on ſiis ſilmanähtawalt töö ſuuruſe arwu ja kauguſe arwu kwotſient.* Kui ſelleks, et mõnda keha kahe metri wõrra kõrgemale tõsta, 20 kgm tööd tuleb teha, ſiis on ſelle keha raskus $\frac{20}{2} = 10$ kg. **Kui kaks keha teine teiſtſuguſe rôhumiſe wôi tungi wastu edaſi liikunud ja ſelle juures üheſuuruſe töö ära teinud on, ſiis on ühel kehal nii mitu korda wähema rôhumiſe wôi tungi wastu edaſi liikuda olnud, kui mitu korda rohkem maad ta edaſi liikunud on.** Kui üks hobune oma koormat 2 kilometri kauguſele wedades niiſama palju jõudu on kulutanud kui teine hobune oma koormat 1 kilometri kauguſele wedades, ſiis on wedamiſe juures eſimeſel hobuſel rangid kaks korda nõrgemalt rinna peale rõhunud kui teiſel.

c) *Taſakaal.* Keha kohta öeldakſe, et ta ſiis *taſakaalus* on, kui tal küll tung liikuda on wõi kui ta küll rõhumiſe all on, aga ſiiski liikuma ei hakka. Taſakaalus on toolid, lauad jne. põranda peal, raamatud, tindiklaaſid ja muud asjad laual, pildid ja peeglid ſeina küljes, rippuwad lambid lae all jne. jne. Kõik need kehad tungiwad oma raskuſe mõjul allapoole, aga kõik nad ſeiſawad ſiiski paigal.

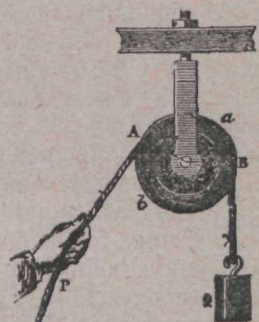
Kehad wõiwad kolme laadi taſakaalus olla: *kindlas taſakaalus*, *kindluſeta taſakaalus* ja *jäädawas taſakaalus*. Kindlaks taſakaaluks nimetatakſe keha paigalolekut ſiis, kui paigalt äraliigutatud keha tagaſi oma kohale tungib. Nii on wälja peal oſalt maa ſiſſe wajunud ümargune kiwi omas augus kindlas taſakaalus: kui kiwi tema auguſt wälja tõſtma kakatakſe, ſiis tungib ta tagaſi auku libiſema wõi weerema. — Kindluſeta taſakaaluks nimetatakſe keha paigalolekut ſiis, kui paigalt ära liigutatud keha oma kohalt eemale tungib. Ümarguſt kiwi wõib teiſe ümarguſe kiwi peale ſeisma ſeadida, aga ta on ſeal kindluſeta taſakaalus, ſeſt kui teda paigalt ära liigutatakſe, weereb ta alumiſe kiwi pealt maha. — Jäädawas taſakaalus on keha ſiis, kui ta päraſt liigutamiſt ſinna paigale jääb, kuhu teda on liigutatud. Ümargune kiwi on ſiledal horiſontalſel maapinnal jäädawas taſakaalus, ſeſt kui teda ſeal edaſi liigutatakſe, ſiis jääb ta ſinna paigale, kuhu teda on liigutatud.

Taſakaalu puhul jääb keha paigale, ehk ta küll mõne tungi wõi rõhumiſe mõjul igal ſekundil liikumiſt juurde ſaab. See tuleb ſelleſt, et ſee keha mõne teiſe tungi wõi rõhumiſe mõjul igal ſekundil niiſama palju otſe waſtupidi ſihitud liikumiſt juurde ſaab. Paigalſeiſew kiwi maapinnal ſaab oma raskuſe mõjul igal ſekundil allapoole ſihitud liikumiſt juurde, aga maakera tungib kiwile waſtu ja annab talle rõhumiſe läbi igal ſekundil niiſama palju ülespoole ſihitud liikumiſt juurde. Selle kohta öeldakſe, et *kiwi raskus on maakera rõhumiſega taſakaalus.* Nii öeldakſe ikka ühe *tungi wõi rõhumiſe* kohta, et ta ſiis teiſe tungi wõi rõhumiſega *taaſakaalus* on, kui nad üheskoos mõne keha peale mõjudes ſelle keha liikumiſt ei muuda. Silmanähtawalt on *üks tung teiſe tungiga nimelt ſiis taſakaalus, kui need tungid üheſuuruſed ja otſe waſtupidi ſihitud on;* niiſama on ka *tung rõhumiſega wõi üks rõhumine teiſe rõhumiſega nimelt ſiis taſakaalus, kui nad üheſuuruſed ja otſe waſtupidi ſihitud on.*

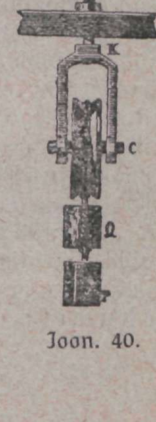
Ka need tungid, mis kehadele liikumiſt juurde ei anna, waid mõnda muud muutuſt toowad, wõiwad üksteiſega taſakaalus olla. *Üleüldſe* öeldakſe ſiis ühe *tungi* kohta, et ta teiſe tungiga *taſakaalus* on, kui need tungid üheskoos mõjudes muutuſt ei too. Silmanähtawalt on *üks tung teiſe tungiga nimelt ſiis taſakaalus, kui üks tung ſelle muutuſe ära häwitab, mida teine tung toob.*

34. Raskuſe ja rõhumiſe nähtuſed kindlate kehade ühendustes. Kehade ühendustes wõib üks tung wõi üks rõhumine wäga mitmel kohal wäga mitmeſuguſe ſuuruſega ja wäga mitmeſuguſe ſihiga rõhumiſi ſünnitada. See on tegelikus elus wäga tähtis, ſeſt ſelle põhjal wõib wäikſe tungi wõi rõhumiſega ſuurt tungi wõi rõhumiſt takistada, wõi mõnda keha ſuure tungi wõi rõhumiſe waſtu edaſi liigutada. Käesolewas tükis on niiſuguſeid lihtſamaid **kindlate** kehade ühenduſi kirjeldatud. Et nende kehade ühenduste abil ſagedaste raskeid kehaſid üles wõi mõne rõhumiſe wastu edaſi winnatakſe, ſiis nimetame neid kehade ühenduſi üleüldſe **winnadeks**. — Kehade ühendustes wõiwad ka hulk tungiſid wõi rõhumiſi üheskoos nii mõjuda kui üks tung, nii et ühe ainſa tungi wõi rõhumiſega hulka tungiſid wõi rõhumiſi takistada wõi mõnda keha hulga tungide wõi rõhumiste wastu edaſi liigutada ſaab. Iga kindel keha on otſatu hulga ainekibemekeste ühendus; iga ainekibemeke tungib allapaole, aga ſee otſatu hulk allapoolesſihitud tungiſid mõjuwad üheskoos nii, kui oleks terwel kehal üks ainus tung — tema raskus — ja kui tungiks terwe keha üheſt ainſaſt punktiſt — tema **raskuſe keſkpunktiſt** — alla poole. — Teaduſele kõige tähtſum kindlate kehade ühendus on tähtſam füſika mõõduriiſt — **kaal**.

a) **Winnad.** 1) Joonistus 39. kujutab **ratas winna**. Teiſt ratas winna kujutab joonistus 40. Ratas winna peaoſad on: 1) **ratas** $A\,a\,B\,b$ (joon. 39), mis telje C ümber wabalt keerleda wõib (ratta ſerw on ümberringi renni kujul õõnes) ja ſelle telje kaudu hargi K külges ripub (joon. 40), ja 2) **nöör**, mis üle ratta käib, nagu joonistuſed 39 ja 40 näitawad. Kui hark K kuhugi liikumata paigale on ſeatud, ſiis nimetatakſe ratas winna **liikumata ratas winnaks.** Olgu nööri ühes otſas raske keha Q, teine nööri ots olgu peosſe wõetud (joon. 39). Keha Q tungib oma raskuſe mõjul allapoole ja rõhub nööri kaudu kätt P ratta poole. Kui käega nööri tõmmatakſe, ſiis rõhutakſe nööri kaudu keha Q ülespoole. Olgu ühes nööri otſas raske keha P ja teiſes otſas raske keha Q (joon. 40). P tungib oma raskuſe mõjul allapoole ja rõhub nööri kaudu Q ülespoole; Q tungib jälle oma raskuſe mõjul allapoole ja rõhub nööri kaudu P ülespoole. Selle juures rõhuwad mõlemad kehad ratta ja telje kaudu harki K allapoole. Niiſama wõib iga winna juures kolme rõhumiſt ja kahte tungi tähele panna. Nende rõhumiste ja tungide peale waatamata



Joon. 39.



Joon. 40.

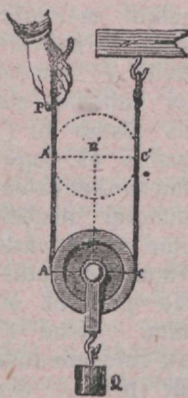
wõiwad wahel kõik winna osad liikumata paigale jääda. Siis öeldakse, et winn tasakaalus on. Kõik rataswinna osad jääwad siis paigale, kui kehad P ja Q (joon. 40) paigale jääwad. Kehad P ja Q jääwad oma raskuse peale waatamata siis paigale, kui nad üheraskused on. Nad peawad siis jõuu jäädawuse põhjal paigale jääma. Sest kui nad liikuma hakkawad, siis wäheneks allawajuwas kehas (P) raskuse jõudu, aga otse niisama palju tuleks ülestõuswas kehas (Q) raskuse jõudu juurde, kuna wiimane keha silmanähtawalt otse niisama palju ülespoole tõuseks, kui palju esimene allapoole wajuks. Selle juures tuleks mõlemas kehas liikumise jõudu juurde, ilma et selle wõrra muud jõudu kaoks. Aga see on jõuu jäädawuse põhjal wõimata.

Raskete kehade P ja Q asemel wõiwad rataswinna nööri otsades ükskõik missugused kehad olla, mis ükskõik missuguse tungi mõjul rattast eemale tungiwad. On kerge näha, et jõuu jäädawuse [6], tungi mõõtmise [27 b], rõhumise mõõtmise [33 a] ja töö mõõtmise [33 b] põhjal liikumata rataswinn alati siis tasakaalus olema peab, kui need tungid ühesuurused on, mille mõjul nööri otsades olewad kehad rattast eemale tungiwad. Joonistus 39. peal kujutatud rataswinn on siis tasakaalus, kui käsi oma musklite tungi mõjul ühest otsast nööri niisama tugewaste oma poole tõmbab, kui tugewaste teda keha Q oma raskuse mõjul teisest otsast alla poole rõhub.

Winna tasakaalu puhul seisab keha P (joon. 40) keha Q rõhumise mõjul paigal; sellepärast peab P tung Q rõhumisega ühesuurune olema [33 c]. Aga winna tasakaalu puhul on kehad P ja Q üheraskused. Sellega on Q rõhumine P peale keha Q raskuse suurune. Niisama on ka keha Q (joon. 39) rõhumine käe P peale selle keha raskuse suurune ja pommide d (joon. 36) rõhumine kasti b peale nende pommide raskuse suurune. Nii wõib iga raske keha liikumata rataswinna abil küll wäga mitmesuguse sihiga, aga ikka ainult oma raskuse suuruseid rõhumisi sünnitada. Niisama wõib ka ükskõik missuguse tungiga keha, näituseks inimese käsi, hobuse rind jne. liikumata rataswinna abil wäga mitmesuguse sihiga, aga ikka ainult oma tungi suuruseid rõhumisi sünnitada. Liikumata rataswinna abil saab ainult rõhumise sihti muuta, kuna rõhumise suurus muutumata jääb.

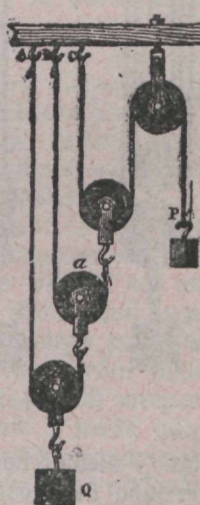
2) Kui rataswinna hark mitte liikumata paigale ei ole seatud, siis nimetatakse rataswinna **liikuwaks rataswinnaks**. Liikuwa rataswinna abil wõib mõni keha rõhumist sünnitada, mis tema tungist kaks

korda wähem wõi suurem on. Joonistus 41. kujutab liikuwat rataswinna, mille hargi otsas raske keha Q ripub ja mille nööri üks ots maa peale toetawa keha külge on kinnitatud, kuna nööri teist otsa käega P hoitakse. Keha Q rõhub oma raskuse mõjul hargi ja ratta kaudu nööri peale. See rõhumine on muidugi keha Q raskuse suurune. Nööri kaudu rõhub keha Q ka käe peale, aga see rõhumine on kaks korda wähem kui keha Q raskus. See rõhumine peab jõuu jäädawuse põhjal kaks korda wähem olema. Kui käega nööri otsa ülespoole tõmmatakse, siis tehtakse tööd, kuna käsi rõhumise wastu edasi peab liikuma. See töö on raskuse jõuu sünnitamine, sest Q tõuseb siin ülespoole ja saab sellega raskuse jõudu juurde. Aga keha Q tõuseb silmanähtawalt ainult poole wõrra kui käsi. Käsi on siis nööri tõmmates kaks korda kõrgemale tõusnud kui tal keha Q otsekohe tõstes tarwis tõusta oleks. Kui ta selle juures ainult keha Q tõstmise töö on teinud, siis pidi see rõhumine, mille wastu ta tõusis, keha Q raskusest kaks korda wähem olema [33 b]. Kui kätt nii tõmmatakse, et käe musklite tung selle rõhumise suurune on, siis on ratawinn tasakaalus. Kui kätt wähegi tugewamalt tõmmatakse, siis tuleb juba nööri ots käele järele ja keha Q tõuseb ülespoole. Nii mõjub selle ratawinna läbi keha Q raskus käe peale kaks korda nõrgemalt, ja käe musklite tung keha Q peale kaks korda tugewamalt.



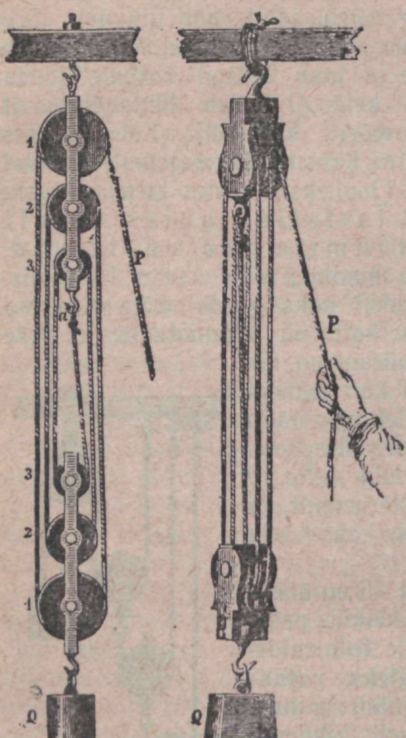
Joon. 41.

3) Kui mitu ratawinna nii on ühendatud, et üks rõhumine nende kõikide peale korraga mõjub, siis nimetatakse seda ratawinnade ühendust **mitmekordseks ratawinnaks.** Joonistus 42. kujutab mitmekordset ratawinna, mis kolmest liikuwast ja ühest liikumata ratawinnast koos on See mitmekordne ratawinn on siis tasa. kaalus, kui keha P raskus keha Q omaskaheksa korda wähemon. Kehad P ja Qt peawad siis jõuu jäädawuse põhjal paigale jääma. Sest kui näituseks keha P allapoole wajuma hakkaks, wajuks ta silmanähta-



Joon. 42.

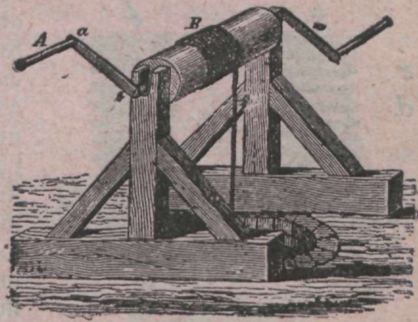
walt ſiis juba 8 tſentimetrit allapoole, kui keha Q alles ühe tſentimetri wõrra ülespoole tõuſeks. Et aga P raskus jälle kaheksa korda Q omaſt wähem on, ſiis kaotaks ta alla poole wajudes otſe niiſama palju raskuſe jõudu, kui palju keha Q ſeda ülespoole tõstes juurde ſaaks. Selle juures tuleks mõlemas kehas liikumiſe jõudu juurde, ilma et muud jõudu ſelle wõrra kaoks. Aga ſee on jõuu jäädawuſe põhjal wõimata. Nii wõib ſelle mitmekordſe rataswinna abil keha P kaheksa korda raskemat keha Q ülewal hoida, ja kui keha P ennegi raskem on kui kaheksas oſa kehaſt Q, ſiis tõstab ta Q üles. — Joonistus 43. kujutab kahte mitmekordſet rataswinna. Kummalgi nendeſt on ühe liikuwa rataswinna kohta üks liikumata rataswinn, ja neid paariſid on kummalgi kolm. Keha Q rõhub liikuwate rataswinnade kaudu nööride peale. See rõhumine on keha Q raskuſe ſuurune. Nööri kaudu rõhub keha Q ka käe peale, mis nööri otſa P kinni peab. See rõhumine on keha Q raskuſeſt kuus korda wähem. Seſt ſilmanähtawalt peab käſi nööri otſaga P ſelleks 6 tſentimetrit allapoole liikuma, et keha Q ühe tſentimetri wõrra tõuſeks. Kui käſi ſelle juures ainult keha Q tõſtmiſe töö on teinud, ſiis pidi ſee rõhumine, mille wastu ta edaſi liikus, keha Q raskuſeſt kuus korda wähem olema. Käſi wõib, kui tema muſklite tung ſelle rõhumiſe ſuurune on, keha Q ülewal hoida ja, kui muſklite tung wähegi ſuurem on, teda juba üles tõsta. Nii mõjub nende rataswinnade juures keha Q raskus käe peale kuus korda nõrgemalt ja käe muſklite tung keha Q peale kuus korda tugewamalt. Kui niiſuguſel rataswinnal neli paari rattaid oleks, ſiis wõiks tema abil



Joon. 43.

mõnda rõhumiſt 8 korda ſuurendada wõi wähendada; kui rattaid wiis paari oleks, ſiis 10 korda jne. — Mitmekordſeid rataswinnaſid tarwitatakſe iſeäranis laewade peal ja ehituste juures.

4) Joonistus 44. kujutab **pöörwinna** ehk **pööra**. Pöörwinna peaoſad on: 1) r u l l *B*, mis millegi aluſe peale nii on ſeatud, et ta oma koha peal wabalt keerleda wõib; 2) n ö ö r, millel üks ots rulli külge on kinnitatud, nii et rull keerledes ſeda nööri oma ümber mäsſib, ja 3) k a n g *a b*, mille üks ots *b* rulliga kindlaste on ühendatud ja mille teiſes otſas wahel käepide *A* leidub, nii et kang käepidemega kokku wänt on. Pöörwinnaſid tarwitati ſagedaste kaewudeſt wee wälja winnamiſeks. Nii kujutab ka joonistus 44. kaewu kohale ſeatud pöörwinna. Nööri otſas kaewus on weepang. Käega keeratakſe wändaſt *A a b* rulli *B* nii ümber, et ta nööri oma peale mäsſib. Selle juures tõuſeb muidugi weepang ülespoole. Kui rulli üks kord ümber keeratakſe, ſiis tõuſeb weepang ſilmanähtawalt rulli ümbermõõdu wõrra ülespoole. Wänta keeraw käſi on ſiis wända pidet ſelle ringjoone pikkuſe wõrra edaſi lükanud, mille läbimõõt kaks kangi *a b* pikkuſt on. K u i ſ e l l e j u u r e s a i n u l t w e e p a n g i t õ ſ t m i ſ e t ö ö ä r a o n t e h t u d, ſiis on wända pideme rõhumine kätt wastu weepangi raskuſeſt nii mitu korda wähem olnud, kui mitu korda kangi *a b* kahekordne pikkus rulli *B* läbimõõduſt ſuurem on, ſeſt ringjoonte pikkuſed on ringi läbimõõtudega proportſionalſed [13 f, g]. Kui näituſeks kangi *a b* kahekordne pikkus rulli *B* läbimõõduſt 3 korda ſuurem on, ſiis mõjub weepangi raskus nööri, rulli ja wända kaudu käe peale 3 korda nõrgemalt, ja käe lükkamine wända, rulli ja nööri kaudu pangi peale kolm korda tugewamalt. Nii w õ i b p ö ö r a a b i l i k k a m õ n d a r õ h u m i ſ t n i i m i t u k o r d a ſ u u r e n d a d a w õ i w ä h e n d a d a, k u i m i t u k o r d a t e m a k a n g i k a h e k o r d n e p i k k u s r u l l i l ä b i m õ õ d u ſ t ſ u u r e m o n.



Joon. 44.

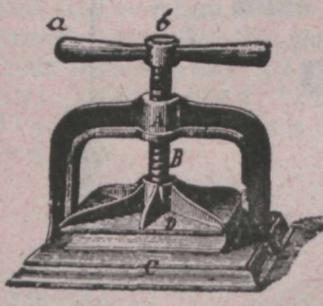
5) Jſeäranis ſuuri rõhumiſi ſünnitatakſe **kruuwwinna** ehk **kruuwi** abil; tema abil tõstetakſe mitmekordſed majad üles ja taſſitakſe üheſt kohaſt teiſe. Kruuwwinna peaoſad on: *kruuw* B, ſee on tſilindriline — rullimoodi — keha, mille ümber *kruuwi ſoon* käib (joon. 46); 2) *kruuwi auk* A, ſee on ümargune auk, mille külge mööda kruuwi ſoon käib, ja 3) *kang* ab, mis nii kruuwi otſa külge on kinnitatud, et tema abil kruuwi keerata wõib. Kruuwi ſoon on kas teraw wõi taſane (joon. 45 a ja 45 b); kauguſt ed wõi ef nimetame *kruuwi ſoone laiuſeks*. — Joonistus 46. kujutab ärakirjade preſſi, mille üheks oſaks ka kruuwwinn on. Laua C külge on loogataoline keha kinnitatud, millel keſkkohas A kruuwi auk on. Kruuwi augu läbi käib paras kruuw B, mille alumine ots liikuwa laua D peale toetab. Laudade C ja D wahele pandakſe ärakirjade raamat. Raamatu lehed on iſeäraliſeſt õhukeſeſt paberiſt. Üks leht on märjaks tehtud, ſelle märja lehe alla kiri pandud, milleſt ärakirja ſaada ſoowitakſe. Kui kangi ab abil kruuwi allapoole keeratakſe, ſiis rõhub kruuwi ots laua D peale ja pigistab ſelle laua kaudu ärakirjade raamatut kokku. Sellega on ka märg leht wastu kirja pigistatud ja kirja tähtedeſt imbub oſa tinti märja lehe ſiſſe, nii et needſamad tähed ka märja lehe peal ilmuwad. Kruuw on ſiin ſuure rõhumiſe ſünnitamiſeks. Kui käſi kangi ab otſa lükates ühe korra ringi on käinud, ſiis on ka kruuw B üks kord ümber keeratud, oma ſoone laiuſe wõrra allapoole nihkunud ja niiſama palju ka lauda D allapoole wajutanud. *Kui ſelle juures käſi ainult laua allawajutamiſe töö ära teinud on*, ſiis on käe rõhumine kangi ab otſa peale nii mitu korda kruuwi rõhumiſeſt laua D peale wähem olnud, kui mitu korda rohkem maad käſi edaſi on liikunud. Käſi on kangi ab otſa lükates ſelle ringjoone pikkuſe wõrra edaſi liikunud, mille läbimõõt kaks kangi ab pikkuſt on, kuna kruuw B ainult oma ſoone laiuſe wõrra edaſi on liikunud. Olgu kruuwi B ſoone laius 2 ſentimetrit ja kangi ab pikkus 14 cm. Siis on ſelle ringjoone pikkus, mille wõrra käſi edaſi on liikunud, $\frac{22}{7} \cdot 28 = 88$ cm [13 e]. Käe lükkamine mõjub ſiis kangi ab ja

Joon. 45 a.

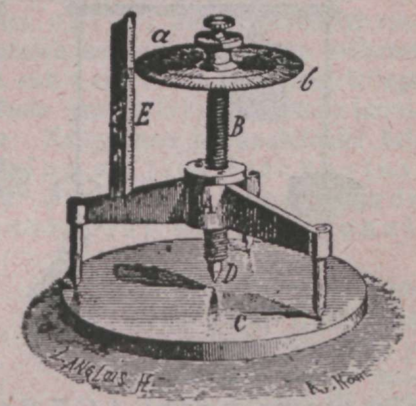
Joon. 45 b.

kruuwi B kaudu laua D peale $\frac{88}{2} = 44$ korda tugewamalt. **Nii wõib kruuwwinna abil ikka mõnda rõhumiſt nii mitu korda ſuurendada, kui mitu korda kruuwi ſoone laius ſelle ringjoone pikkuſeſt wähem on, mille läbimõõduks kruuwwinna kangi kahekordne pikkus on.**

Sagedaste on kruuwwinnal kruuw liikumata paigale ſeatud ja kruuwi auk niiſuguſe keha ſisſe tehtud, mis wabalt liikuda wõib; ſeda kruuwiauguga keha nimetatakſe **mutriks**. Sellel korral wõib kruuwwinna abil ainult tema mutrit keerates mõnda pigistuſt ſünnitada, ja kang peab ſiis ka nimelt mutri külge kinnitatud olema. Enamaste tehtakſe kang niiſugune, et teda kergeste wõib mutri külge ſeada ja ſealt jälle ära wõtta. Niiſuguſt kruuwwinna kangi nimetatakſe **kruuwiwõtmeks**. Mutriga kruuwiſid tarwitatakſe wäga rohkeste maſinate ja ehituste juures ſelleks, et kindlaid kehaſid üksteiſe külge kinni **kruuwida**.



Joon. 46.

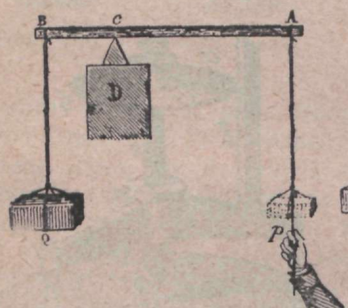


Joon. 47.

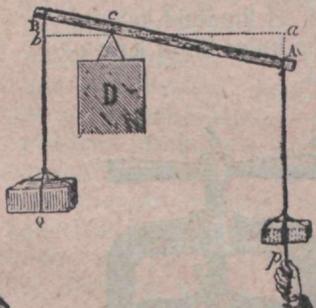
6) kruuwwinna abil on wõimalik wäga wäikſeid edaſinihutamiſi ſünnitada ja tähele panna. Kui ärakirjade presſi kangi otſa a (joon. 46) ühe millimetri wõrra edaſi lükata, ſiis nihkub kruuw B ainult $\frac{1}{14}$ mm edaſi. Nii wäikeſt edaſinihutamiſt on juba wõimata käega otſekohe ſünnitada wõi palja ſilmaga otſekohe tähele panna. Kui kruuwwinna ainult wäikeste edaſinihkumiste ſünnitamiſeks tarwitatakſe, ſiis tehtakſe kruuwi ſoon hästi kitſas ja kruuwi otſa kinnitatakſe ratas, mida **kruuwi peaks** nimetatakſe; kang jäetakſe ſiis enamaste ära ja kruuwi keeratakſe tema pead pidi. Kruuwwinna nimetatakſe ſiis **mikrometrikruuwiks**, ſ. o. wäikſe mõõdu kruuwiks (*mikros* tähendab greekakeeles wäike). Mikrometrikruuw on wäga paljudel mõõduriistadel üheks oſaks. Joonistus 47. kujutab **ſſärometrit**, ſ. o. kumeruſe mõõtjat (*sfaira* tähendab greekakeeles kerapind). Selle riista abil mõõdetakſe iſeäranis prilliklaaſide ja teiste kumerate klaaſide kumeruſt ja ka wäikſeid pak-

ſuſi. Tema peaoſad on: 1) taſane laud C; 2) mikrometrikruuw $ABab$, mis laua C peale kolme jalaga toetab, ja 3) püstiſeiſew numbrijoonega lauake E. Olgu kruuwi B ſoone laius pool millimetrit, käigu kruuwipea ſerwa mööda numbrijoon, mis 500 üheſuuruſeks oſaks on jagatud, ja olgu numbrijoone lauakeſe E peal pooled millimetrid ära tähendatud. Kui nüüd kruuwi ükskord ümber keeratakſe, ſiis nihkub ta $\frac{1}{2}$ mm edaſi ja kruuwipea ſerw ſeiſab numbrijoone järgmiſe kriipſu kohal, kui ta enne ühe kriipſu kohal oli. Kui kruuwipea ſerwa numbrijoone üks kriips parajaste lauakeſe E ſerwa kohal oli ja kruuwi nii keerata, et ſelle numbrijoone järgmine kriips parajaste ſinna tuli, ſiis on kruuw ainult $\frac{1}{1000}$ mm edaſi nihkunud. Nii ſaab ſelle ſſärometri abil mõne keha pakſuſt $\frac{1}{1000}$ millimetri peenſuſeni ära mõõta, kui eſite kruuwi ots laua C-ni keeratakſe ja ſiis tähele pandakſe, mitu terwet ja mitu wiieſajandiku ringi ſelleks tagaſi keerata tuleb, et mõõdetaw keha parajaste laua C ja kruuwi otſa D wahele mahuks.

7) Kõige lihtſam winn on **kangwinn** ehk **kang.** Kangiks nimetatakſe pikerguſt kindlat keha. K a n g w i n n a k s

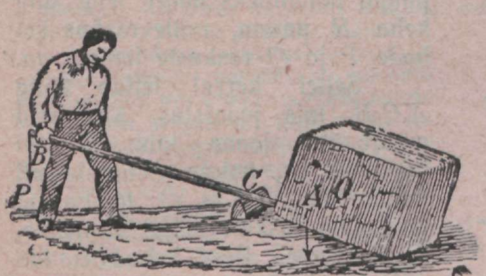


Joon. 48.



Joon. 49.

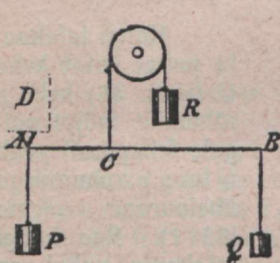
n i m e t a m e k a n g i ACB (j o o n. 48), m i s ü h e l k o h a l C m õ n e k i n d l a s t e p a i g a l ſ e i s w a k e h a D p e a l e n i i t o e t a b, e t t a ſ e a l w a b a l t k õ i k u d a ſ a a b, j a m i d a k a h e l t k o h a l t A ja B r õ h u t a k ſ e. Kangi ühte oſa, toetuſe koha C ja rõhumiſe koha A wahel, nimetatakſe üheks k a n g i õ l a k s ja teiſt oſa, toetuſe koha C ja rõhumiſe koha B wahel — teiſeks kangi õlaks. Olgu kangi ühe otſa B külge raske keha Q kinnitatud ja teiſt kangi otſa A pidagu käſi kinni (joon. 48). Keha Q tungib oma raskuſe mõjul allapoole ja rõhub kangi kaudu kätt ülespoole. Kui käega kangi otſa allapoole tõmmatakſe, ſiis rõhutakſe kangi kaudu keha Q ülespoole. Olgu kangi otſas A käe aſemel keha p. Keha Q rõhub ſiis kangi kaudu keha p ülespoole, aga keha p tungib ka oma raskuſe mõjul allapoole ja rõhub kangi kaudu keha Q ülespoole. Kangwinn ACB on ſiis taſakaalus, kui keha p raskus keha Q raskuſeſt nii mitu korda wähem on, kui mitu korda kangi õla CA õlaſt CB pikem on. Kangwinn ei wõi ſiis jõuu jäädawuſe põhjal kehade Q ja p raskuſe mõjul liikuma hakata, ſeſt liikumiſes on liikumiſe jõudu, mille ſündimiſeks, mõne teiſe jõuu kulumiſt tarwis on, aga ſellel korral kulutakſiwad kehad Q ja p oma raskuſe jõudu ainult raskuſe jõuu ſünnitamiſeks. Kui näituſeks keha p allapoole wajub (joon. 49), ſiis kahaneb tema raskuſe jõud, aga otſe ſelle wõrra tuleb kehale Q raskuſe jõudu juurde. Seſt kergema keha p langemiſe kaugus aA on (kolmnurkade CaA ja CbB ſarnaduſe põhjal) raskema keha Q tõusmiſe kauguſeſt bB nii mitu korda ſuurem, kui mitu korda kangi õla CA õlaſt CB pikem on. Olgu näituſeks kangi õla CA 80 tſentimetrit ja õla CB 20 cm pikk ja kaalugu keha Q 100 kilogrammi, aga keha p 25 kg. Siis ſeiſab kang taſakaalus, ſeſt kui keha p näituſeks 0,04 metrit ehk 4 cm allapoole wajub, ſiis kaotab ta $25 . 0{,}04 = 1$ kilogrammimetri raskuſe jõudu, aga ſelle juures tõuſeb keha Q neli korda wähema kauguſe wõrra, ſ. o. 0,01 m ehk 1 cm, ülespoole ja ſaab ſellega $100 . 0{,}01 = 1$ kgm raskuſe jõudu juurde [31]. Liikumiſe ſünnitamiſeks ei jatku ſiis jõudu. Kangwinna taſakaalulauſet öeldakſe harilikult nii: kangwinn on ſiis taſakaalus, kui rõhumiſed tema õlade otſades nende õlade pikkustega wastupidi proportſionalſed on.



Joon. 50.

Kangi taſakaalu puhul ſeiſab keha Q (joon. 48) keha p rõhumiſe mõjul paigal; ſellepäraſt peab Q tung p rõhumiſega üheſuurune olema [33 c]. Aga kangi taſakaalu puhul on Q raskus p omaſt nii mitu korda ſuurem, kui mitu korda kangi õla CB õlaſt CA lühem on. Sellega on ka p rõhumine Q peale p raskuſeſt niiſama palju kordaſid ſuurem ja Q rõhumine p wõi käe peale Q raskuſeſt niiſama palju kordaſid wähem. Nii wõib ikka kangi abil mõnda rõhumiſt nii mitu korda ſuurendada wõi wähendada, kui mitu korda *kangi üks õla teiſeſt pikem wõi lühem on.* Kui näituſeks kiwikaaluja 12 jala pikkuſe kangi otſa kiwi alla ſeab ja kiwi juurde kangi alla toe paneb, mis kangi otſaſt ainult 1 jalg eemal on (joon. 50), ſiis wõib ta kangi teiſt otſa alla tõmmates niiſuguſe kiwi ülewel hoida, mis tema kehaſt 11 kord raskem on, ja wähegi kergemat kiwi wõib ta juba üles tõsta. Selle kangiga wõiks 80 kilogrammi raske mees ligi 900 kg rasket kiwi üles tõsta.

8) Kangi juures wõib, nagu iga teiſe winna juures, kolme rõhumiſt tähele panna. Kehad Q ja p (joon. 48 ja 49) tungiwad oma raskuſe mõjul allapoole ja rõhuwad üks B kohalt ja teine A kohalt kangi $A\ C\ B$ peale, aga kangi kaudu rõhuwad nad C kohalt toe D peale. *See wiimane rõhumine on kangi taſakaalu puhul kehade Q ja p raskuste ſumma ſuurune.* Seſt kui taſakaalu puhul kangi C kohalt ülespoole on tõstetud, ſiis on p ja Q kangiga ühes otſe niiſama palju ülespoole tõusnud. Selle juures on ſilmanähtawalt p ja Q tõſtmiſe töö otſe niiſama ſuur olnud kui ſiis, kui need kehad üheskoos C kohal kangi küljes olekſiwad. Sellepäraſt on ka nende kehade ühine rõhumine kangi kaudu toe D peale otſe niiſama ſuur olnud kui ſiis, kui nad üheskoos C kohal D peale rõhukſiwad, ſ. o. nende raskuste ſumma ſuurune. See rõhumine ſaab ka oma ſuuruſe pooleſt ſilmanähtawaks, kui kangi mitte toe peale ei ſeata, waid C kohalt liikumata rataswinna nööri otſa riputatakſe (joon. 51). Siis tuleb kangi paigal hoidmiſeks nööri teiſe otſa keha R panna, mille raskus kehade P ja Q raskuste ſumma on.

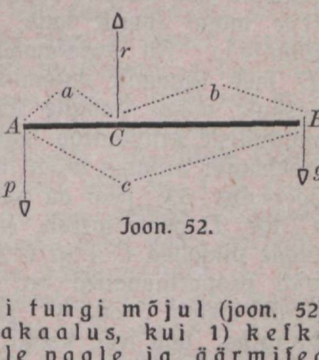


Joon. 51.

Sellel korral ſeiſab kang $A\,C\,B$, mis joonistus 51. peal ainult ühe joone läbi ära tähendatud on, kolme rõhumiſe all taſakaalus: P ja Q tõmbawad teda oma raskuſe mõjul allapoole, R ülespoole. Need kehad ei ſaa niiſama üheskoos nähtawat liikumiſt ſünnitada kui kaks üheſuuruſt ja otſe wastupidi ſihitud rõhumiſt [33 a, c]. Kaks nendeſt rõhumisteſt mõjuwad ſiis üheskoos nagu üks rõhumine, mis kolmandaga nendeſt üheſuurune ja temale otſe wastu ſihitud on. P ja Q rõhumiſed mõjuwad üheskoos kangi peale nii kui üks rõhumine, mis R rõhumiſe ſuurune oleks ja kangi C kohalt allapoole wajutaks; Q ja R rõhumiſed mõjuwad üheskoos nii kui üks rõhumine, mis Q rõhumiſe ſuurune oleks ja kangi A kohalt ülespoole tõmbaks; P ja R rõhumiſed mõjuwad üheskoos nii kui üks rõhumine, mis Q rõhumiſe ſuurune oleks ja kangi B kohalt ülespoole tõmbaks. Ühte rõhumiſt wõi tungi, mis mõne keha peale niiſama mõjub kui mitu teiſt rõhumiſt wõi tungi üheskoos, nimetame nende mitme **rõhumiſe wõi tungi ühenduſeks,** ja neid mitut iſe nimetame ſelle ühe **oſarõhumisteks wõi oſatungideks.** Seda keha kohta, kus nimelt mõni tung wõi rõhumine mõjub, nimetame rõhumiſe wõi tungi mõjukohaks; kangi ACB juures on punktid A, C ja B rõhumiste mõjukohad. Nende nimetuste põhjal wõib ütelda: kehade P ja Q rõhumiste ühendus on keha R rõhumiſe ſuurune ja allapoole ſihitud, ja tema mõjukoht on punkt C; kehade Q ja R rõhumiste ühendus on keha P rõhumiſe ſuurune ja ülespoole ſihitud, ja tema mõjukoht on punkt A, jne.

9) Kehad P, Q ja R rõhuwad kangi peale õiges reas ja paralleſelt, ſeſt otſe allapoole ja otſe ülespoole minewad ſihid on üksteiſe ligidal oma wahel paralleſed. Kui nende rõhumiste aſemel kangi peale mõned teiſed niiſama ſuured ja niiſama ſihitud rõhumiſed wõi tungid mõjukſiwad, ſiis oleks nende kogu mõju kangi peale niiſamaſugune, ſeſt ſiis ſaaks kang niiſamapalju ja niiſamaſuguſeid liikumiſi juurde kui kehade P, Q ja R raskuste mõjul. Kui näituſeks kang ACB rauaſt oleks ja tema ligidale ühele poole A ja B kohale kaks magnedit ja teiſele poole C kohale kolmas magnet nii oleks ſeatud, et kang nende magnedite mõjul A, B ja C kohalt niiſama tugewaste ühele wõi teiſele poole tungiks, kui tugewaste teda nüüd kehad P, Q ja R ſinna poole tõmbawad, ſiis oleks ka nende magnedi tungide ühine mõju niiſamaſugune kui P, Q ja R ühine mõju.

Tähendagu joonistus 52. peal paralleſed nooled paralleſeid rõhumiſi wõi tungiſid, mis üheskoos mõne kindla keha peale mõjuwad. Olgu nende rõhumiste wõi tungide mõjukohad järgemööda A, C ja B, ja need rõhumiſed wõi tungid olgu järgemööda p, r ja q tungimõõtu, ja kauguſed AC, AB ja CB järge mööda a, c ja b kauguſemõõtu ſuured. Siis on keha nende rõhumiste mõjul kangi taſakaalu lauſe põhjal [34 a 8] nimelt ſiis taſakaalus, kui $r = p + q$ ja $\frac{a}{b} = \frac{q}{p}$. Sellepäraſt wõib ütelda: kolme paralleſe ja õiges reas ſeiswa rõhumiſe wõi tungi mõjul (joon. 52) on mõni kindel keha ſiis taſakaalus, kui 1) keſkmine rõhumine wõi tung ühele poole ja äärmiſed teiſele poole on ſihitud, kui 2) keſkmine rõhumine wõi tung äärmiste ſumma ſuurune on ja kui 3) nen-



Joon. 52.

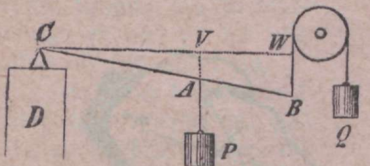
de rõhumiste wõi tungide mõjukohad ühe sihi peal nii leiduwad, et äärmiste mõjukohtade kaugused keskmise omast äärmiste rõhumiste wõi tungide suurustega wastupidi proportsionalsed on.

Et niisugused kolm rõhumist wõi tungi üheskoos nähtawat liikumist ei sünnita, siis on silmanähtaw, et kaks nendest rõhumistest wõi tungidest üheskoos nii mõjuwad kui üks rõhumine wõi tung, mis kolmandaga ühesuurune ja temale otse wastu sihitud on. Nii mõjuwad siis p- ja q-mõõdulised rõhumised wõi tungid (joon. 52) üheskoos nagu üks rõhumine wõi tung, mis r-mõõdulise suurune ja temale otse wastu sihitud on; q- ja r-mõõdulised üheskoos nagu üks, mis p-mõõdulise suurune ja temale otse wastu sihitud on, ja p- ja r-mõõdulised üheskoos nagu üks, mis q-mõõduline ja temale otse wastu sihitud on. Selle põhjal wõib ütelda: **kahe parallelse ja ühele poole sihitud rõhumise wõi tungi** (p ja q, joon. 52.) **ühendus** on 1) nendega parallelselt sinna poole sihitud ja 2) nende summa suurune, ja 3) on tema mõjukoht (C, joon. 52) nende mõjukohtadega ühe sihi peal ja nende mõjukohtade (A ja B, joon. 52) wahel nii, et osarõhumiste wõi osatungide mõjukohtade kaugused ühenduse mõjukohast, osarõhumiste wõi osatungide suurustega wastupidi proportsionalsed on. On silmanähtaw, et kui $r = p + q$ ja $\frac{a}{b} = \frac{q}{p}$ siis on joonistus 52. järele ka $\frac{a}{c} = \frac{q}{r}$; $\frac{b}{c} = \frac{p}{r}$; $p = r - q$ ja $q = r - p$. Sellepärast wõib ütelda: **kahe parallelse ja teine teisele poole sihitud rõhumise wõi tungi** (p ja r wõi q ja r, joon. 52) **ühendus** on 1) nendega parallelselt ja suurema rõhumise wõi tungiga ühele poole sihitud ja 2) nende suuruste wahe suurune, ja 3) on tema mõjukoht (B wõi A, joon. 52) nende mõjukohtadega ühe sihi peal ja suurema osarõhumise wõi osatungi mõjukoha (C, joon. 52) taga nii, et osarõhumiste wõi osatungide mõjukohtade kaugused ühenduse mõjukohast osarõhumiste wõi osatungide suurustega wastupidi proportsionalsed on.

10) Kui kang kolme rõhumise all tasakaalus on, siis takistab üks nendest rõhumistest seda liikumist, mida kang kahe teise mõjul juurde saab. Seda takistawat rõhumist wõib tugi sünnitada. Nii kujutawad joonistused 48 ja 49, kuidas tugi D selle liikumise ilmumist takistab, mida kehad P ja Q oma raskuse mõjul kangile annawad. Joonistus 51. peal on ka punktiliste kriipsudega tugi D ära märgitud, mis kangi liikuma hakkamist niisama wõib takistada kui keha Q oma rõhumisega. Joonistus 53. peal on näha, et kang CAB, mis ühest otsast C toe D peale toetab, siis tasakaalus peab olema, kui kangi õlade pikkused CA ja CB kehade P ja Q raskustega wastupidi proportsionalsed on. Kangi, mis ennast keskelt millegi peale toetab (joon. 48 ja 49) nimetame, **keskelttoetawaks kangiks,** aga seda kangi, mis ennast otsast millegi peale toetab, — **otsasttoetawaks kangiks.** Harilikud käärid (joon. 54) on kahest keskelttoetawast kangist koos, kuna kääri harud

keskelt üksteiſe peale toetawad. Pähkletangid (joon. 55) on otſaſttoetawateſt kangideſt koos.

11) Harilikult ei ſaa winnade abil rõhumiſt mitte otſe nii palju ſuurendada, kui eelmistes tükikestes on ſeletatud. Seſt kui harilikult winna abil mõnda keha mõne rõhumiſe wõi tungi wastu edaſi liigutatakſe, ſiis tuleb peale keha edaſiliigutamiſe töö weel muud tööd teha. Kui näituſeks mitmekordſe rataswinna abil mõnda rasket keha Q (joon. 42 ja 43) üles tõmmatakſe, ſiis ei tule ſelle juures mitte ainult keha Q kõrgemale tõsta, waid ka kõiki liikuwaid rataswinnaſid. Niiſuguſt winna oſade tõſtmiſe tööd tuleb pea iga winna tarwitamiſel teha. Niiſama tuleb ka iga winna juures ſelleks kõrwaliſt tööd teha, et winna oſaſid hõõrumiſe wastu liigutada:



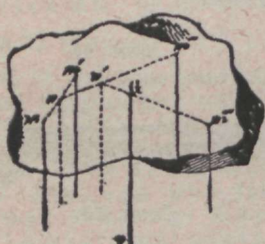
Joon. 53.

Joon. 54.

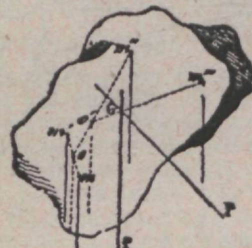
Joon. 55.

rataswinna juures hõõrub ratas telje wastu, pööra juures hõõruwad rulli otſad oma aluste wastu, kruuwi juures hõõrub kruuwi ſoon kruuwiaugu ſoone wastu ja kangi juures hõõrub kang toetuſekohal toe wastu. Peale ſelle tuleb pea iga winna juures weel ſellepäraſt kõrwaliſt tööd teha, et winna tarwitamiſel mõned winna oſad kuju pooleſt muutuwad: rataswinna ja pööra juures peab nöör paenduma, kui ta ratta wõi rulli peale läheb wõi ſealt tuleb; iga harilik kang paendub tarwitamiſe juures, ilma et meil ſeda tarwis oleks, jne. Mida wähemad mõne winna juures need kõrwaliſed tööd on, ſ. o. mida kergemad ſelle winna liikuwad oſad ja mida wähem hõõrumine tema oſade wahel on, mida wähem jõudu tema nööri paenutamiſeks kulub ja mida wähem tema kang paendub, — ſeda rohkem käiwad eelmiste tükikeste ſeletuſed ſelle winna kohta. Kui mõne winna liikuwad oſad täieste ilma raskuſeta oleks, kui tema oſade wahel ſugugi hõõrumiſt ei oleks, kui tema nööri paenutamiſeks ſugugi jõudu ei kuluks ja tema kang ſugugi ei paenduks, ſiis ei tuleks ſelle winna tarwitamiſel kõrwaliſt tööd teha ja tema abil ſaaks mõnda rõhumiſt otſe nii palju ſuurendada kui eelmistes tükikestes on ſeletatud. Niiſuguſt winna wõib ainult ettekujutada, ja teda nimetatakſe **matematiliſeks winnaks.**

b) Raskuſe keſkpunkt. Iga keha tungib allapoole, ſellepäraſt et iga ainekibemeke, mis kehale ſiſuks on, raskuſe mõjul allapoole tungib. Selle juures tungib iga kindel keha nii allapoole, kui oleks kõik tema aine oma raskuſega ühes ainſas punktis koos. Seda punkti nimetatakſe raskuſe keſkpunktiks. Ümargune tinakuul, näituſeks, tungib nii allapoole, kui oleks ſelle kuuli tina oma raskuſega kuuli keſkpunktis koos. Kui tinakuuli nii liigutatakſe, et tema keſkpunkt niiſama kõrgele jääb kui oli, ſiis ei wähene ſelles kuulis raskuſe jõudu ega tule teda juurde: üks kuuli pool on waheſt küll



Joon. 56.



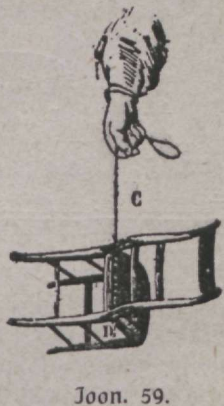
Joon. 57.

allapoole liikunud ja oma raskuſe jõudu kaotanud, aga ſelle eeſt on teine kuuli pool niiſama palju ülespoole liikunud ja raskuſe jõudu niiſama palju juurde ſaanud. Nii on ümarguſe tinakuuli keſkpunkt ühtlaſi ka ſelle kuuli raskuſe keſkpunkt. — Wõib tõendada, et igal kindlal kehal raskuſe keſkpunkt on ja et ſeeſama keha punkt raskuſe keſkpunktiks jääb, kui keha ka ükskõik kudas keeratakſe.

Iga kindel keha on otſatu ſuureſt hulgast aine kibemekesteſt koos, mis üksteiſe küljes kinni on. Iga niiſugune kehaoſake tungib oma raskuſe mõjul allapoole ja tõmbab terwet keha kaaſa. Kaks ainekibemekeſt m ja m' (joon. 56) tõmbawad oma raskuſe mõjul terwet keha nii allapoole, kui olekſiwad nad mõlemad koos ühes punktis O, mis nende ainekibemekeste wahel ja raskemale nii mitu korda ligemal on, kui mitu korda ſee kergemaſt ainekibemekeſeſt raskem on [a 9]. Punkt O on m ja m' raskuste ühenduſe mõjukoht. Kolm ainekibemekeſt m, m' ja m'' tõmbawad terwet keha nii allapoole, kui olekſiwad nad kõik koos ühes punktis O' mis m'' ja O wahel ja punktile O nii mitu korda ligemal on, kui mitu korda m ja m' üheskoos raskemad on kui m''. Punkt O' on m, m' ja m'' raskuste ühenduſe mõju koht. Niiſama edaſi harutades wõib ükskõik kui ſuure hulga kehaoſakeste raskuste ühenduſe mõjukohta ära määrata. Nii on punkt G nelja kehaoſakeſe m, m', m'', m''' raskuste ühenduſe mõjukoht. Joonistus 57. näitab, et kõik need raskuste ühenduste mõjukohad nendesſe ſamadesſe keha punktidesſe jääwad, kui keha ka ükskõik kudas keeratakſe. *Kõikide kehaoſakeste raskuste ühenduſe mõjukohta nimetatakſe ſelle keha raskuſe keſkpunktiks.* Kõik kehaoſakeſed tõmbawad oma raskuſe mõjul terwet keha nii allapoole, kui olekſiwad nad kõik ſeal ühes punktis koos.

Alles ſiis, kui mõne keha raskuſe keſkpunkt teada on, wõib ſelle keha kohta kindlaste ütelda 1) millal ja kui palju ta raskuſe jõudu juurde ſaab wõi kaotab, 2) millal ja misſuguſes taſakaalus ta on ja 3) kui tugewaste ta liikuma tungib, kui ta taſakaalus ei ole ja ka otſe allapoole liikuda ei ſaa.

Joon. 58.

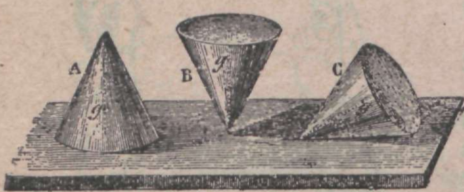


Joon. 59.

1) Kui tooli, mis 2 kilogrammi raske on, põrandalt ühe metri wõrra nii üles tõstetakſe, et ta ikka otſe püsti on, ſiis tuleb toolis 2 kilogrammimetrit raskuſe jõudu juurde [31]. Sellel korral on ſelge, et terwe tool 1 m wõrra kõrgemale on tõusnud, ſeſt kõik tooli oſakeſed on ühe metri wõrra kõrgemale tõusnud. Aga kui tooli üheſt ſeljatoe nurgaſt üles tõstetakſe (joon. 58), ſiis ei ole juba ſelge, kui palju terwe tool on tõusnud: ſee ſeljatoe nurk, mida pidi tooli on tõstetud, on kõrgemale tõusnud kui teine nurk. Weel rohkem paistab ſee ſelguſeta olek ſiis ſilma, kui tooli iſtme kohalt nööri abil üles tõstetakſe (joon. 59): tooli jalad on ſiis ſilmanähtawalt palju rohkem ülespoole tõusnud kui ſeljatugi. Kui palju raskuſe jõudu niiſuguſe tõſtmiſe tagajärjel toolis juurde on tulnud, ſeda ſaab ainult ſiis ütelda, kui tooli raskuſe keſkpunkti tõusmiſt tähele pandakſe. Tool tungib nii allapoole, kui oleks kõik ta aine raskuſe keſkpunktis koos. Temas tuleb ſiis raskuſe jõudu juurde, kui tema raskuſe keſkpunkt kõrgemale tõuſeb, ja temas wäheneb ſiis raskuſe jõudu, kui tema raskuſe keſkpunkt allapoole wajub.

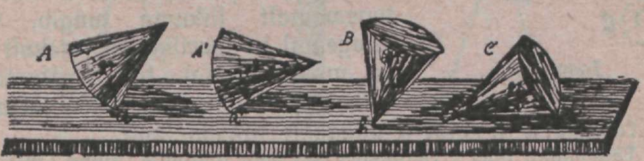
Kahe kilogrammi raskuſes toolis tuleb ſiis 2 kgm raskuſe jõudu juurde, kui ta raskuſe keſkpunkt ühe metri wõrra kõrgemale on tõusnud, olgu tooli muidu kudas tahes tõstetud. Nii ſuureneb wõi wäheneb mõne keha raskuſe jõud ainult ſelle järele, kui palju ſelle keha raskuſe keſkpunkt ülespoole tõuſeb wõi allapoole wajub. — Kui füſikas öeldakſe, et mõni terwe keha mõne metri wõrra kõrgemale tõusnud wõi allapoole wajunud on, ſiis tähendab ſee, et ſelle keha raskuſe keſkpunkt nii palju tõusnud wõi wajunud on. Sellepäraſt on ükskõik, kas öeldakſe, et mõni keha iſe kuhugi poole liigub wõi liikuma tungib, wõi öeldakſe, et ſelle keha raskuſe keſkpunkt ſinna poole liigub wõi liikuma tungib.

2) Joonistus 60. kujutab horitſontalſet lauda, mille peal kolm üheſuguſt keha (A, B ja C) ſeiſawad. Neid kehaſid nimetatakſe konusteks. Konus A ſeiſab oma põhjaga wastu lauda, konus B oma tipuga ja konus C oma küljega. Konuſe põhi on ring. Sihti, mis konuſe tipuſt tema põhja keſkpunkti läheb, nimetatakſe konuſe teljeks. Kui konus ühtlane täiskeha on [4], ſiis leidub raskuſe keſkpunkt g telje peal ja tema tipuſt kolm korda kaugemal kui põhjaſt. Nii on ühtlastes täiskehades ikka raskuſe keſkpunkt keha jämedamatele oſadele ligemal. Konuſed B ja A on ſeni taſakaalus, kui nad otſe püsti on. Seſt nad tungiwad oma raskuſe keſkpunktiſt g nimelt otſe allapoole, aga otſe allpool ſeda punkti toetawad nad wastu lauda. Sellepäraſt ei ſaa ſiis konuſed oma raskuſe mõjul allapoole liikuma hakata, waid rõhuwad ainult oma toetuſekohtade peale. Niiſama on iga kindel keha ſiis taſakaalus, kui ta otſe allpool raskuſe keſkpunkti mõne aluſe wastu toetab. — Kui konuſt A natuke ühele poole, näituſeks paremale poole kallutatakſe, ſiis toetab ta ainult oma põhja parempoolſe ſerwaga a (joon. 61) laua peale ja ei tungi enam otſe wastu toetuſekohta, waid ſelleſt pahemalt poolt mööda, nagu wäike nool joonistus 61. peal näitab. Kui konuſt B natuke paremale poole kallutatakſe, ſiis läheb raskuſe keſkpunkt g (joon. 61) toetuſekoha b kohalt ära paremale poole ja



Joon. 60.

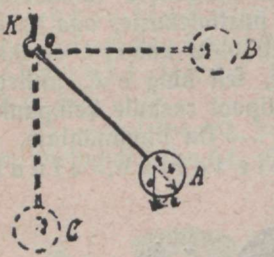
konus ei tungi oma raskuſe mõjul enam otſe toetusekoha wastu, waid ſelleſt paremalt poolt mööda. Päraſt kallutamiſt ei ole konuſed A ja B enam taſakaalus: konus A tungib tagaſi pahemale poole kalduma ja konus B tungib edaſi paremale poole kalduma. Niiſama tungib iga kindel keha kalduma, kui tema raskuſe keſkpunktiſt otſe allapoole minew ſiht toetuſekohaſt mööda läheb, ja nimelt ſinna poole kalduma, kuſt poolt ſee ſiht toetuſekohaſt mööda läheb. Püsti ſeistes on konus A kindlas taſakaalus ja konus B kindluſeta taſakaalus, ſeſt päraſt kallutamiſt tungib A tagaſi püstiolekusſe, aga konus B edaſi püstiolekuſt ära [33 c]. Küljeli olew konus C on ikka taſakaalus, kui teda edaſi weeretatakſe, ſeſt külg $c\ d$, millega ta wastu lauda toetab, on ikka otſe allpool raskuſe keſkpunkti g. Konus C on jäädawas taſakaalus. — On ſilmanähtaw, et keha, mis kahe punkti peale toetab, ainult



Joon. 61.

ſiis taſakaalus ja nimelt kindluſeta taſakaalus on, kui tema raskuſe keſkpunkt otſe toetuſepunktide wahe kohal ſeiſab. Nii on kaherattaline jalgratas ainult ſiis taſakaalus, kui tema raskuſe keſkpunkt otſe kahe ratta wahe kohal on. Selle juures on jalgratas nimelt kindluſeta taſakaalus, ſeſt kui ta wähegi ühele wõi teiſele poole kaldub, hakkab ta ſinna poole langema. Jalgrattaga ſõitmiſe kunſt ſeiſabgi ſelles, et ſõidu peal raskuſe keſkpunkti jälle rataste wahe kohale ſeada, kui ta ſealt kõrwale on kaldunud. — Järelemõteldes ſelgub kergeste, et kolme wõi rohkema (mitte ühes reas ſeiswa) punkti peale toetaw keha ainult ſiis taſakaalus ja nimelt kindlas taſakaalus on, kui tema raskuſe keſkpunkt wähemalt kolme toetuſepunkti wahe kohal ſeiſab. Nii on konus A (joon. 60) horitſontalſe laua peal kindlas taſakaalus, ſeſt ta toetab terwe ringi punktide peale ja ta raskuſe keſkpunkt ſeiſab ſelle ringi keſkpunkti kohal. — Niiſama on ka koorem harilikul neljarattaga wankril taſaſe tee peal kindlas taſakaalus, kui wanker nii tehtud ja koorem nii laotud on, et koorma raskuſe keſkpunkt kõige nelja ratta wahe kohal ſeiſab. Koorem langeb küljeli, kui ta nii palju on kaldunud, et raskuſe keſkpunkt enam rataste wahe kohal ei ole. Nii langeb ka konus A' (joon. 61) küljeli, kui raskuſe keſkpunkt g üle toetuſepunkti a' paremale poole on läinud.

3) Joonistus 62. kujutab pendlit, mis kindla konkſu K otſas ripub ja mille raskuſe keſkpunkt g on. Raskuſe mõjul tungib pendel raskuſe keſkpunktiſt g otſe allapoole, nagu nool c näitab. Aga konks K takistab otſe allapoole liikumiſt: ſilmanähtawalt ſaab pendel ainult nii liikuda, et tema raskuſe keſkpunkt wiltu allapoole läheb, nagu nool a näitab; wertikalſes olekus on pendel taſakaalus ja nimelt kindlas taſakaalus. Wõib tõendada, et pendel noole a ſihil ſeda tugewamalt liikuma tungib, mida kaugemal ta wertikalſeſt olekuſt $O\,C$ ja mida ligemal ta horitſontalſele olekule $O\,B$ on, ehk mida järſumalt tema raskuſe keſkpunkt g allapoole liikuda ſaab.



Joon. 62.

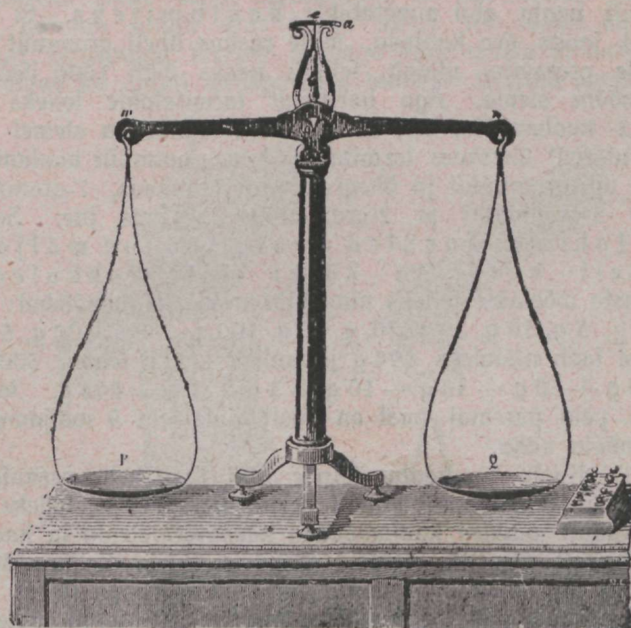
Tähendagu nool c (joonistus 62) ſeda liikumiſe hulka, mis pendel oma raskuſe mõjul igal ſekundil juurde ſaab. Seda liikumiſe hulka ſaab mõttes nii kaheks lahutada [24 d ja 32 e], et ühe (a) ſiht ſihile Og perpendikularne on ja teiſe (b) ſiht ſihiga $O\,g$ ühte läheb, nagu nooled a ja b näitawad. Liikumiſe hulk b ei ſaa ilmuda, ſeſt konks K takistab ſeda. Ilmub liikumiſe hulk a, ſeſt tema ilmumiſeks ei ole takistuſt. Noolte kolmnurgaſt $a\,b\,c$ on kerge näha, et nool a ſeda pikem on, mida kaugemal pendel wertikalſeſt olekuſt $o\,c$ ja mida ligemal ta horitſontalſele olekule $O\,B$ on. Kui pendli raskus ja nurk k (mille pendel $O\,A$ wertikalſe ſihiga ja nool b noole c-ga ſünnitab) teada on, ſiis wõib liikumiſe hulka a wälja rehkendada. Silmanähtawalt on $a = c$. $sin.\ k$ [13 f].

N i i ſ a m a on i g a r i p p u w k e h a, n ä i t u ſ e k s l a e l a m p, ſ i i s k i n d l a s t a ſ a k a a l u s, k u i t e m a r a s k u ſ e k e ſ k p u n k t o t ſ e a l l p o o l t o e t u ſ e p u n k t i l e i d u b, j a i g a k e h a t u n g i b ſ e d a t u g e w a m a l t l i i k u m a, m i d a j ä r ſ u m a l t t e m a r a s k u ſ e k e ſ k p u n k t a l l a p o o l e l i i k u d a w õ i b.

c) K a a l u d. Kaaluks nimetatakſe riista, mille abil kehade raskuſt wõi masſi mõõdetakſe. Kõige rohkem tarwitatakſe kaaluſid, mille üheks peaoſaks kangwinn on.

1) Joonistus 63. kujutab **harilikku kaalu.** Selle kaalu peaoſad on: 1) kang $m\,n$, mis oma keſkkohal O kindla aluſe peale toetab, ja kauſid P ja Q, mis kangi otſade küljes wabalt

ripuwad. Kaalukangi külge on näitaja *b* ja kangi aluſe külge märk *c* nii kinnitatud, et näitaja *b* ots ſiis otſe märgi *c* kohal ſeiſab, kui kaalukang otſe horitſontalne on. Tühjalt ſeiſab õige kaal nii taſakaalus, et kang *m n* täieste horitſontalne on. Kui ühe kaalu kauſi peale mõni keha pandakſe, ſiis wajub ſee kauſs allapoole, aga ſilmanähtawalt peab ſelle juures teine kaalukauſs otſe niiſama palju ülespoole tõusma. Aga kui mõlema



Joon. 63.

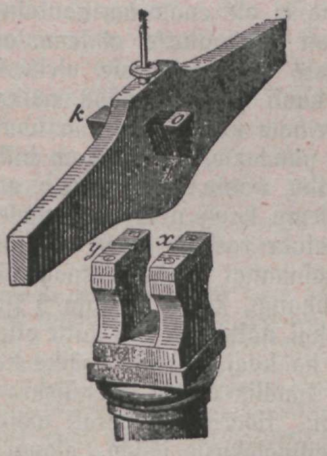
kauſi peale üheraskuſed kehad pandakſe, ſiis peab kaal jõuu jäädawuſe põhjal taſakaalusſe jääma [a]. Ümberpöördult wõib ütelda, et kaalukausſide peale pandud kehad ſiis üheraskuſed on, kui kaalukang horitſontalſes olekus taſakaalusſe jääb.

2) Hariliku kaalu abil ſaab ſeda teada, kas kaks keha ühe raskuſed on. Et mõne keha raskuſt ära mõõta, ſelleks peab weel terwe rida kehaſid käepäraſt olema, mille raskuſed täieste tuttawad on [12 a]. Ühe niiſuguſe keha raskus peab näituſeks üks gramm [12 c] olema, teiſe raskus 2 g, kolmanda oma 3 g jne. Neid kehaſid nimetame **kaalumõõtudeks**. Igal

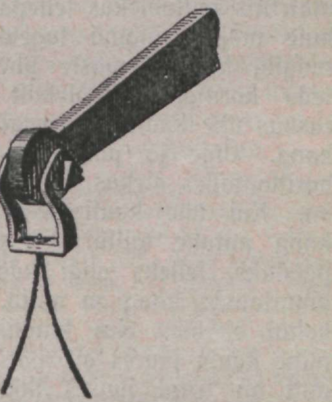
kaalumõõdul on harilikult külje peale kirjutatud, mitu grammi wõi kilogrammi ta raske on. Kaalu ja kaalumõõtude abil mõõdetakſe mõne keha raskuſt järgmiſelt. Ühe kaalukauſi peale pandakſe mõõdetaw keha ja teiſe kauſi peale niiſugune kaalumõõt, et kaal taſakaaluſſe jääb. Siis on mõõdetawa keha raskus niiſama ſuur, kui teiſe kauſi peal olewa kaalumõõdu raskus. Selle kaalumõõdu külje pealt wõib ſiis lugeda, mitu grammi wõi kilogrammi mõõdetaw keha raske on. Raskuſe mõõtmiſt kaalu abil nimetatakſe kaalumiſeks. Et kõiki kehaſid ſaaks ära kaaluda, mille raskus üheſt grammiſt kuni tuhande grammini ulatab, ſelleks peaks õieti 1000 iſeäraliſt kaalumõõtu olema. Aga harilikult tarwitatakſe ſelleks kõigeſt 12 kaalumõõtu, ſeſt ühe ükſiku kaalumõõdu aſemel wõib ju mitut teiſt üheskoos tarwitada: kuuegrammiliſe kaalumõõdu aſemel wiiegrammiliſt ja ühegrammiliſt üheskoos, 7-grammiliſe aſemel 5-grammiliſt ja 2-grammiliſt üheskoos jne. Selleks walitakſe niiſuguſed kaalumõõdud wälja, et nendeſt kerge on kõiki teiſi kokkuſeada. Sagedaste wõetakſe ſelleks nimelt järgmiſed kaalumõõdud: 1 g, 2 g, 3 g, 5 g, 10 g, 20 g, 30, g, 50 g, 100 g, 200 g, 300 g, 500 g. Nendest ſaab näituſeks 894 g järgmiſelt kokku ſeada: 500 g + + 300 g + 50 g + 30 g + 10 g + 3 g + 1 g = 894 g. Joonistus 63. peal paremal pool on puuſt aluſe ſees 9 wäljawalitud kaalumõõtu näha.

3) Kaalu ja kaalumõõtude abil ſaab keha raskuſt ära mõõta. Et ſee mõõtmine küllalt peene oleks [12 e], ſelleks peawad küllalt wäikſed kaalumõõdud käepäraſt olema ja kaal iſe peab küllalt **tundlik** olema. Kõige wäikſem kaalumõõt on harilikult üks ſajandik grammi ehk 1 tſentigramm (1 cg). Aga harilik poekaal jääb taſakaaluſſe, kui tema ühe kauſi peale 1 cg pandakſe ja teine kauſs tühjaks jäetakſe. Poekaal jääb ka ſiis taſakaaluſſe, kui tema ühe kauſi peale 2, 3 wõi rohkem tſentigrammiſid pandakſe. Näib, nagu ei tunneks harilik poekaal nii wäikſeid raskuſi. Muidugi tungib kaalukauſs juba ühe tſentigrammi mõjul allapoole, aga ſee tung on ſelleks liig wäike, et kaalukangi liigutada, ſeſt kaalukangi liikumiſt takistab hõõrumine. Hõõrumine on kaalu juures ſeal kohal, kus kaalukang aluſe wastu toetab, ja nendes kohtades, kus kaalukauſid kangi otſade peale toetawad. Mida wähem ſee hõõrumine on, ſeda wähem raskus on ühe kaalukauſi peale ſelleks tarwis, et ſee kauſs alla wajuma hakkaks, ſeda tundlikum on kaal. Et ſeda hõõrumiſt wõimalikult wähendada, ſelleks on kaalukangi keſkkohalt kolmekandiline teraspulk *ko* (joon. 64) läbiſeatud, nii et

kaalukang ainult selle pulga alumise terawa serwaga aluste x ja y peale toetab. (Joonistus 64. peal on ainult kaalukangi keskkoht näha ja kang on aluse pealt üles tõstetud, et teraspulk $k\ o$ ja alused x ja y selgemine näha oleksiwad.) Alused x ja y on kõwast terasest wõi ka mõnest kõwast kiwist. Kangi otsadest on ka kolmekandilised teraspulgad läbi seatud (joon. 65), mille ülemise terawa serwa peale need kõwast terasest konksud toetawad, mille külge kaalukausid on kinnitatud. (Joonistus 65. kujutab ainult ühte kangi otsa.) Nii toetab kaalukang ainult teraspulga terawa serwaga aluse wastu ja kaalukausid toetawad ka ainult teraspulkade terawate serwade peale. Mida



Joon. 64.



Joon. 65.

terawamad need serwad on, seda wähem on hõõrumine ja seda tundlikum on kaal. Hariliku poekaalu juures on need serwad nürid ja kuluksiwad warsti nüriks, kui neid terawaks tehtaks, sest poekaalu tarwitatakse wäga sagedaste ja hoolimatalt. Sellepärast on poekaalu juures hõõrumine suur ja see kaal wähe tundlik. — Olgu kaal nii tundlik, et ühe tühja kausi peale pandud üks tsentigramm selle kausi alla wajutab. Olgu selle kaalu mõlema kausi peale 1 kg pandud, nii et kaal tasakaalus seisab. Siis wõib olla, et ühele kausile juurde lisatud üks tsentigramm juba seda kaussi alla ei wajuta, sest koormatud kaalu juures on hõõrumine suurem, kuna kausside konksud siis tugewamini on teraspulkade serwade wastu pigistatud ja niisama ka teraspulga $k\ o$ serw tugewamini aluste $x\ y$ wastu [25 c]. Nii on arusaadaw, et k a a l s e d a w ä h e m t u n d l i k o n, m i d a r o h k e m t a k o o r m a t u d o n.

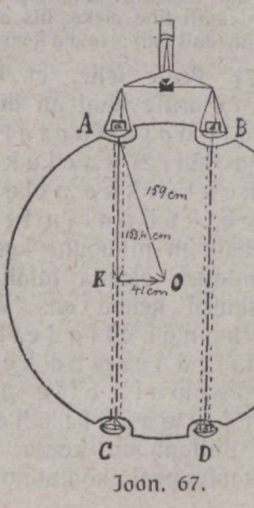
4) Et kaalukang tühjalt tasakaalus seisaks ja tasakaalu puhul täieste horitsontalne oleks, selleks on kang nii tehtud, et ta raskuse keskpunkt g (joon. 64) siis otse allpool teraspulga $k\ o$ alumist serwa seisab, kui kang horitsontalne on. Siis on kang horitsontalses olekus kindlas tasakaalus: ta tungib tagasi horitsontalsesse olekusse, kui tema ühte otsa on alla wajutatud ja tungib seda tugewamalt, mida rohkem ta wiltu on [b 3]. Seisku kaal tühjalt wõi koormatult nii tasakaalus, et tema kang horitsontalne on. Kui nüüd ühe kaalukausi peale wäike raskus pandakse, mis seda kausi waewalt allapoole wajutab, siis wajub see kaalukaus ainult natuke allapoole ja kaal jääb jälle tasakaalusse, aga tema kang ei ole enam horitsontalne. Kang jääb siis wiltuolekus sellepärast tasakaalusse, et tema oma raskuse mõjul niisama tugewaste horitsontalsesse olekusse tagasi tungib, kui tugewaste ühe kausi peale pandud wäike raskus teda horitsontalsest olekust eemale wajutab. Mida suurem lisaraskus ühe kaalukausi peale pandakse, seda rohkem wiltu wajub kang. Õige ja päris tundliku kaalu kang seisab ainult siis horitsontalses olekus, kui mõlema kausi peal üheraskused kehad on. Kui ühe kausi peal natuke raskem keha on, siis wajub kang natuke wiltu. Et kaalukangi wäike wiltuolek ka silma paistaks, selleks ongi kaalukangi külge näitaja b (joon. 63) kinnitatud: kang on wiltu, kui näitaja b ots mitte otse märgi c kohal ei ole. Kui tundlik ka kaal on, kui wäike ka hõõrumine kaalu juures on, päris tundlik ei ole kaal siiski — hõõrumist on tema juures ikkagi. Hõõrumise pärast wõib natuke wiltuseatud kaalukang ka wiltuolekusse jääda, olgugi mõlema kausi peal üheraskused kehad. Sellepärast ei panda wäga tundlikkude kaalude juures, kui nendega wäga **peenelt kaaluda** tahetakse, mitte seda tähele, kudas kaalukang seisma jääb, waid *kaalukangi lastakse kõikuda ja pandakse tähele, kudas ta kõigub.* Selle jaoks on nendel kaaludel märk c iseäralise looga keskkohal (joon. 63 ja 66). Selle looga mõlemad pooled on märgist c hakates kriipsudega ühepikusteks tükkideks lahutatud ja need kriipsud nii numbritega äramärgitud, kudas joonistus 66 näitab. Kui kang kõigub, siis wõngub näitaja b ots märgist c ühele ja teisele poole. *Kui ta mõlemale poole ühekaugele,* näituseks teise kriipsuni, *wõngub, siis öeldakse, et kang horitsontalses olekus tasakaalus on,* sest siis wõib tõendada, et kang wiimaks otse horitsontalsesse olekusse seisma jääks, kui hõõrumine teda ei takistaks. Nii kaaludes wõib

Joon. 66.

harilikult umbes ühe kilogrammilist keha ühe milligrammi [12 c], peensuseni [12 e] ära kaaluda. Näituseks oli hariliku poekaaluga leitud, et üks keha 1 kg kaalub. Tundliku kaaluga kaaluti ta peenelt ära ja leiti, et ta raskus 999,973 ja 999,974 g wahel oli.

5) Kaal näitab ainult missuguse kaalumõõdu raskusega kaalutawa keha raskus ühesuurune on. Aga ühe ja sellesama kaalumõõdu raskus on ühes kohas suurem, teises wähem [29]. Sellepärast ei saa kaalumise põhjal weel ütelda, mitu tungimõõtu [27 b] kaalutawa keha raskus suur on: selleks oleks weel tarwis teada, kui tugewaste kaalumõõdud kaalumise kohal maa poole tungiwad. Aga silmanähtawalt **saab kaalumise abil teada, mitu massimõõtu kaalutawa keha mass suur on** [22 ja 28] — kui palju ainet kaalutawas kehas on. Tegelikus elus ongi nimelt seda tarwis. Kui jahu wõi suhkrut ostetakse, siis kaalutakse teda. Sellejuures ei ole ostjal sugugi seda tarwis teada, kui tugewaste koti täis jahu wõi suhkrut maa poole tungib waid nimelt, kui palju jahu wõi suhkrut kotis on.

6) Kui kaalumise kohal ühegrammilise kaalumõõdu raskus teada on (näituseks 981 düüni), siis on kerge kõikide kaalutawate kehade raskust wälja rehkendada. Siis saab wäga tundliku kaalu abil ka ära mõõta, **kui tugewaste üks keha teise keha poole tungib** [30]. Selle jaoks seatakse wäga tundlik kaal suure seatinakogu O (joon. 67) kohale. Kaalukausside A ja B kohalt on tinakogust augud püsti alla läbi puuritud. Aukudest käiwad nöörid läbi, mille ülemised otsad kausside A ja B põhja külge on kinnitatud, kuna nende alumistes otsades teised kaalukausid C ja D ripuwad. Olgu kausside A ja B peal üheraskused kehad a ja b. Siis seisab kaalukang horitsontalses olekus tasakaalus, sest kehad a ja b tungiwad ühetugewuselt allapoole. See tung on kahest osast koos: kehad a ja b tungiwad maa poole ja ühes ka tinakogu O poole [30]. Kui keha b ülemise kausi B pealt alumise kausi D peale pandakse, siis wajub kaalukang wiltu, sest siis ei tungi kehad a ja b enam ühetugewuselt allapoole: maa poole tungiwad nad, nagu ennegi, aga tinakogu poole tungides tungib a allapoole, aga b ülespoole. Et kaalukauss jälle horitsonlases olekus tasakaaluse jääks selleks tuleb kausi D peale weel mõni keha panna. Olgu tinakogu O kerakujuline ja tema läbimõõt 318 cm pikk; olgu kehade a ja b mass kummalgi 1 kg; olgu nööride kaugus tinakogu keskkohast $OK = OL = 41$ cm, siis leidub, et tasakaaluks kausi D peale niisugune keha tuleb juurde lisada, mille mass üks tuhandik grammi ehk üks milli-



Joon. 67.

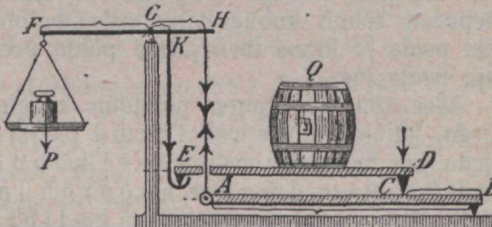
gramm — mg — on. Keha a tungib ſiis tinakogu O mõjul niiſama tugewaste allapoole, kui pool mg maakera mõjul: tema tung on $\frac{0,981}{2} = 0,4905$ düüni (teine pool mg takistab keha b ülespoole tungimiſt). Aga keha a ei tungi tinakogu O mõjul mitte otſe allapoole, waid otſe tinakogu keſkkoha O poole. Allapoole tung on ainult üks oſa ſelleſt tungiſt. Kujutagu nool $A\ O$ keha a täit tungi tinakogu keſkkoha O poole. Siis wõime ſeda tungi mõttes kaheks lahutada: wertikalſeks (nool $A\,K$) ja horitſontalſeks (nool $K\,O$). Silmanähtawalt mõjub ainult wertikalne oſa kaalu peale ja tema ſuurus on ſiis 0.4905 düüni. Keha a täistung O poole on ſelleſt wertikalſeſt oſaſt nii mitu korda ſuurem, kui mitu korda nool $A\,O$ nooleſt $A\ K$ pikem on. Nool $A\ O$ on kera O pool läbimõõtu, ſee on $\frac{318}{2} = 159$ cm pikk. Noole $K\,O$ pikkus on nööri $A\,C$ kaugus keſkkohaſt O, ſee on 41 cm. Siis on nool $A\,K$ $\sqrt{159^2 - 41^2} = 153,6$ cm [13 g]. Tinakogu O maſs on tema läbimõõdu ja tina tiheduſe [23] järele 192000 kg. Nii on ſiis ſelle kaalumiſe järele ühe kilogrammiliſe keha a tung 159 cm kauguſelt 192000-kilogrammiliſe keha O poole $\frac{0,4905 \,.\, 159}{153,6} = 0,5077$ düüni. Siit leidub ka Newtoni ſeaduſe [30] põhjal, et ühe grammi tung ühe cm kauguſelt ühe g poole $\frac{0.5077 \,.\, 159^2}{1000 \,.\, 192\,000\,000} = \frac{1}{14960000}$ **düüni** on. Selle arwu põhjal wõib jälle maakera masſi wälja rehkendada. Ühe grammi tung maakera keſkkoha poole on 981 düüni; ſee on nimelt maakera pinnal, tema keſkohaſt 6368 km ehk 636800000 cm kaugel. Newtoni ſeaduſe järele peab ſiis maakera maſs üheſt grammiſt nii mitu korda ſuurem olema, kui mitu korda 981 düüni $\frac{1}{14960000}$ düüniſt ja weel 636800000 cm kwadrat ühe cm kwadradiſt ſuurem on, ſee on $981 \,.\, 14960000 \,.\, 636800000^2 = 59500\,00000\,00000\,00000\,00000\,000$ g ehk 59500 00000 00000 00000 00000 kg. Nii ſaab hariliku kaaluga kaudſelt ka maakera masſi ära mõõta. Selleſt masſiſt tuleb maakera kehaſuuruſe iga kubiktſentimetri peale 5,5 grammi. Kui maakera ſiſu igalpool ühtewiiſi tihe oleks, ſiis oleks maakera tihedus 5,5 [23]. Seda öeldakſe lühedalt nii: maakera keſkmine tihedus on **5,5.**

7) Peale ſelle, et kaal tundlik on, peab ta ka **õige** olema. Harilik kaal on ſiis päris õige, kui 1) kaalukang tühjalt horitſontalſes olekus taſakaalus ſeiſab ja kui 2) kaalukauſid üheraskuſed on ja üks kauſs ikka otſe niiſama palju ülespoole tõuſeb, kui palju teine allapoole wajub. Silmanähtawalt on niiſugune kaal jõuu jäädawuſe põhjal nimelt ſiis horitſontalſes olekus taſakaalus, kui tema mõlema kauſi peal üheraskuſed kehad on. Wõib tõendada, et niiſuguſe kaalu juures kangi otſadeſt läbiſeatud teraspulkade ülemiſed ſerwad keſkmiſe teraspulga alumiſeſt ſerwaſt otſe ühekauguſel ja kõik need kolm ſerwa otſe ühe ſihi peal peawad olema. Kõige lihtſam on kaalu õiguſt nii järele katſuda. Olgu ühe kaalukauſi peal kaalutaw keha ja teiſe peal nii palju kaalu-

mõõtuſid, et kaal taſakaalus ſeiſab. Eſimeſe kauſi pealt pandakſe kaalutaw keha teiſe peale ja ſealt kaalumõõdud eſimeſe kauſi peale. Kui nüüd kaal endiſel wiiſil taſakaaluſſe jääb, ſiis on ta õige.

Aga ka mitteõige kaaluga wõib ſiis õigeste kaaluda, kui kaal küllalt tundlik on. Olgu ühe kaalukauſi peal kaalutaw keha. Teiſe kauſi peale walatakſe mõnda purukeha, näituſeks liiwa, kuni kaal taſakaaluſſe jääb. Siis wõetakſe kaalutaw keha kaalukauſilt ära ja pandakſe tema aſemele nii palju kaalumõõtuſid, et kaal jälle endiſel wiiſil taſakaaluſſe jääb. Kauſi peale pandud kaalumõõdud näitawad ſiis kaalutawa keha õiget raskuſt.

8) Suurte ja raskete kehade kaalumiſeks tarwitatakſe **kümnendik** wõi **ſajandik-kaaluſid.** Nendel kaaludel on ühe kauſi aſemel lai laud $E\,D$ (joon. 68), mille peale ſuurt keha ſaab panna. Teine kauſs on ikka kaalumõõtude jaoks. K ü m m e n d i k - k a a l u d e j u u r e s o n k a a l u l a u d n i i ſ e a t u d, e t t a a i n u l t ü h e k ü m m e n d i k u ſ e l l e ſ t k a u g u ſ e ſ t t õ u ſ e b w õ i w a j u b, m i l l e w õ r r a k a a l u k a u ſ s w a j u b w õ i t õ u ſ e b. Selleks on ſee kangi õla $G\,K$, mille otſas kaalulaud ripub, kümme korda teiſeſt õlaſt $G\,F$ lühem. Kaalulaud ripub ainult ühte ſerwa E pidi otſekohe kaalukangi küljes. Laua teine ſerw D toetab ennaſt laua all iſeäraliſe kangi $A\,B$ peale, mis kaalukangiga nii on ühendatud, et laua mõlemad ſerwad ühepalju peawad tõusma wõi wajuma. Sellepäraſt on ükskõik, kus kohal laua peal kaalutaw keha ſeiſab: ta peab ikka ainult ühe kümmendiku ſelleſt kauguſeſt tõusma, mille wõrra kaalukauſs kaalumõõtudega wajub. Tühjalt peab kaal taſakaalus ſeisma. Olgu kaalulaual kaalutaw keha ja kauſis nii palju kaalumõõtuſid, et kaal taſakaalus ſeiſab. S i i s o n k a a l u t a w a k e h a r a s k u s jõuu jäädawuſe põhjal k a a l u m õ õ t u d e r a s k u ſ e ſ t k ü m m e k o r d a ſ u u r e m. — Sajandikkaaludel on üks õla teiſeſt ſada korda lühem ja kaalutawa keha raskus kaalumõõtude raskuſeſt ſada korda ſuurem.



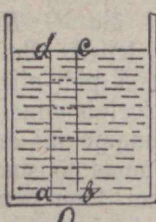
Joon. 68.

35. Rôhumiſe ja raskuſe nähtuſed wedelikkudes ja gaaſides. Wedelikkude ja gaaſide oſakeſed ſaawad wabalt ükſteiſt mööda edaſi ja teiste wahelt läbi libiſeda [25 a].*) Selle lauſega tähendatakſe kahte nähtust ära: 1) **Kui mônel wedeliku wôi gaaſi oſal tung on kuhugi poole liikuda, ſiis ei takista kôrwalolewad oſad tema edaſi tungimiſt ſugugi,** ja 2) **kui mônda wedeliku wôi gaaſi oſa rôhutakſe, ſiis tungiwad tema oſakeſed rôhumiſe kohalt igale poole ja nimelt ühetugewuſelt.**

Eſimeſe nähtuſe põhjal wõib wedelikkude ja gaaſide juures iſeäraliſeſt rõhumiſeſt — lihtrõhumiſeſt — kõneleda [*a*]. Teiſt nähtuſt ſaab alles lihtrõhumiſe abil ſelgeste ettekujutada ja tema põhjal ſaab jälle wäljarehkendada, kui ſuur rõhumine wedeliku wõi gaaſi ſees kuski kohal on [*b*]. Nende kahe lihtſa nähtuſe peal põhjeneb wäga palju tähtſaid keeruliſemaid nähtuſi [*c*].

a) Wedelikkude ja gaaſide rõhumiſe ſuurus. Wedeliku oſakeſed tungiwad oma raskuſe mõjul allapoole. Sellepäraſt rõhub kuhugi anumasſe walatud weſi ſelle anuma põhja peale ja järwe weſi järwe põhja peale, mere weſi mere põhja peale jne.

Wee rõhumiſe juures pandakſe kaheſuguſt ſuuruſt tähele: 1) ſeda, kui tugewaste weſi terwe põhja peale rõhub ja 2) ſeda, kui tugewaste weſi mõnel kohal põhja peale rõhub. Eſimeſt ſuuruſt nimetame wee kogurõhumiſe ſuuruſeks, teiſt lihtſalt rõhumiſe ſuuruſeks wõi ka lihtrõhumiſe ſuuruſeks. Järwes rõhub terwe põhja peale terwe ſelle järwe weekogu; kogurõhumine on ſiis ſeal terwe weekogu raskuſe ſuurune. Niiſama on lugu ka meres. Ka püſtſeintega anumas (joon. 69) on wee kogurõhumine anuma põhja peale wee raskuſe ſuurune. Kui püſtſeintega anumasſe 1 kilogramm wett on walatud, ſiis on ſelle wee kogurõhumine anuma põhja peale 1 kg; kui wett anumas 5 kg on, ſiis on ka tema kogurõhumine anuma põhja peale 5 kg jne. Silmanähtawalt on teiste wedelikkude ja ka gaaſide kogurõhumiſega lugu otſe niiſama.



Joon. 69.

Kerge on wee kogurõhumiſt järwe wõi mere põhja peale ette kujutada, aga raske wõi päris wõimatu on ſelle kogurõhumiſe ſuuruſt äramäärata, ſeſt raske on järwe wõi mere weekogu ſuuruſt teada ſaada. Aga wee lihtrõhumiſe ſuuruſt

*) Selles tükis on kindlad kehad päriskindlateks loetud, wedelad — päriswedelateks ja — gaaſid — pärisgaaſideks.

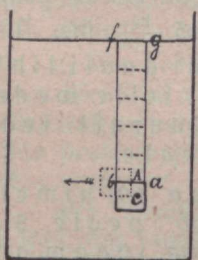
on igalpool kerge ära määrata. Seda tehtakſe järgmiſelt. Seal kohal anuma, järwe wõi mere põhjas, kus lihtrõhumiſt äramäärata tahetakſe, pandakſe tähele, kui tugewaste weſi ühe põhja tüki peale rõhub. Tähelepandaw põhjatükk wõetakſe kas □ tſentimetri, □ metri wõi mõne muu pinnamõõdu ſuurune. Rõhugu weſi anuma põhjas *O* kohal (joon. 69) 5 grammi tugewuſega 1 □ cm ſuuruſe põhja tüki peale. Siis öeldakſe, et ſeal kohal anuma põhjas wee lihtrõhumine 5 grammi ühe □ tſentimetri peale on; kirjutatakſe ſeda rõhumiſe ſuuruſt nii: $5 \frac{g}{\square\,cm}$. Rõhugu weſi mõnes kohas järwe põhjas 500 g tugewuſega 1 □ cm ſuuruſe põhja tüki peale. Siis on ſeal wee rõhumine 500 g ühe □ cm peale ($500 \frac{g}{\square\,cm}$). Kui weſi mõnes kohas mere põhjas 15 kilogrammi tugewuſega 1 □ cm ſuuruſe põhja tüki peale rõhub, ſiis on ſeal wee rõhumine $15 \frac{kg}{\square\,cm}$; jne. Nii loetakſe ikka mõne wedeliku wõi gaaſi lihtrõhumiſe ſuuruſeks kuski kohal ſelle wedeliku wõi gaaſi kogurõhumiſe ſuuruſt ſeal ühepinnamõõdu ſuuruſe aluſe peale.

On kerge näha et weſi anumas (joon. 69) nimelt ſiis □ cm ſuuruſe põhja tüki *ab* peale 5 g tugewuſelt rõhub, kui ta ſeal 5 cm ſügaw on. Seſt nende weeoſakeste kogu, mis ſelle põhjatüki poole tungiwad, on püſtkülgedega weeſammas *abcd*, mis ſiis 5 g kaalub. On ju ſee weeſammas ſiis 5 cm pikk ja temas ſellepäraſt 5 kubik tſentimetrit wett, aga 1 kub. cm wett kaalub 1 g. See weeſammas rõhub põhja tüki *ab* peale ka oma terwe raskuſega, ſeſt ümberolew weſi ei takista tema allapoole tungimiſt. Niiſama on wee rõhumine järwe põhjas nimelt ſiis $500 \frac{g}{\square\,cm}$, kui weſi ſeal kohal 500 cm ſügaw on, ja meres peab weſi ſeal kohal 15000 cm ehk 150 m ſügaw olema, kus rõhumine $15000 \frac{g}{\square\,cm}$ ehk $15 \frac{kg}{\square\,cm}$ on jne. Kui anumas *O* wee aſemel 5 cm ſügawuſelt elawhõbedat oleks, ſiis oleks rõhumine wee rõhumiſeſt 13,6 korda ſuurem, ſeſt elawhõbe on weeſt 13,6 korda tihedam [23;28]. Nii on ikka wedeliku wõi gaaſi rõhumine nii mitu korda ſuurem, kui mitu korda ſee wedelik wõi gaas ſügawam ja tihedam on.

Maakera katab õhumeri ehk atmosfär. Õhu oſakeſed tungiwad oma raskuſe mõjul allapoole. Sellepäraſt rõhub õhk maa ja mere pinnale. Mägede otſas on õhu rõhumine wähem, ſeſt mäe harjad on õhumere pinnale ligemal ja ſeal on õhu ſügawus wähem. Mere pinnal on õhu rõhumine kõige ſuurem.

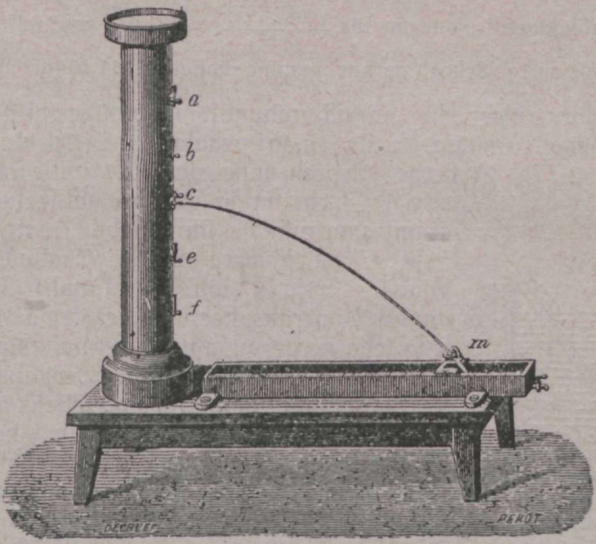
Ka ſeal ei ole ta igal kohal ja igal ajal ühe ſuurune. **Täbistikku on õhu rõhumine mere pinnal 1033 $\frac{g}{\square\,cm}$.** Seda rõhumiſt tarwitatakſe ſagedaste wedeliku wõi gaaſi rõhumiſe mõõduks ja nimetatakſe atmosfäri rõhumiſeks wõi lihtſalt **atmosfäriks.** 1 atmosfäri rõhumine on ſiis 1033 $\frac{g}{cm}$ ehk ligikaudu 1000 $\frac{g}{cm}$. Sellega on 1 $\frac{g}{\square\,cm}$ ligikaudu 0,001 atmosfäri. 10 cm ſügawuſe wee rõhumine on ligi 0,01 atm.; 100 cm ſügawuſe wee rõhumine ligi 0,1 atm. ja 1033 cm ſügawuſe wee rõhumine otſe 1 atm.

b) R õ h u m i n e w e d e l i k u w õ i g a a ſ i ſ e e s. Wõib kõneleda rõhumiſeſt kuski kohal mõne wedeliku wõi gaaſi ſees. Olgu näituſeks koht A mõnes anumas wee ſees (joon. 70). Seal wee ſees wõib ühte kub. cm wett nii ettekujutada, et tema ülemiſe külje keskkoht A kohal oleks. Kui koht A 5 cm allpool weepinda ſeiſab, ſiis rõhub ülemine weſi 5 grammi tugewuſega ſelle kub. cm ülemiſe külje peale, ſeſt ſee külg on 1 $\square$ cm ja tema peale toetaw weeſammas kaalub 5 g [a]. Sellega on A kohal weerõhumine ülewelt alla 5 $\frac{g}{\square\,cm}$ (5 grammi ruuttſentimetri peale). Selle rõhumiſe mõjul tungib weſi ſealt igale poole. Nii lükkab ta weeſammaſt $abgf$ o t ſ e ü l e s p o o l e ja nimelt 5 grammi tugewuſega, ſeſt muidu ei ſeiſaks ſee weeſammas paigal, kuna ta oma raskuſe mõjul 5 g tugewuſega allapoole tungib. Niiſama tugewasti lükkab weſi iga kub. cm wett A kohalt eemale, kui ſelle kub. cm ühe külje keſkkoht A kohal ſeiſab; näituſeks lükkab ta punktiliste kriipſudega äratähendatud kub. cm b 5 g tugewuſega A kohalt pahemale poole. Seda öeldakſegi lühidalt nii: A k o h a l r õ h u b w e ſ i i g a $\square$ cm p e a l e 5 g t u g e w u ſ e g a, ehk ka: A k o h a l o n w e e r õ h u m i n e i g a l ſ i h i l 5 $\frac{g}{\square\,cm}$.



Joon. 70.

See rõhumine ſaab ſilmanähtawaks, kui täidetud weeanuma külje ſees augud on: weſi purskab auguſt wälja ja nimelt ſeda tugewamini, mida madalamal auk on. Joonistus 71 kujutab niiſuguſt anumat. Augud a, b, e ja f on kinni, lahtiſeſt auguſt c purskab weejuga wälja. Selle järele, kui kaugel ſee weejuga allaſeatud künasſe langeb, wõib wälja rehkendada, kui ſuur wee rõhumine ſelle anuma ſees c kohal on. Rehkendus näitab, et ſee rõhumine näituſeks ſiis nimelt $\frac{18\ g}{\square\,cm}$ ehk 18 . 981 düüni $\square$ cm [27 b] peale on, kui weepind anumas weel 18 cm auguſt c kõrgemal ſeiſab.



Joon. 71.

Weeküna (joon. 71) serwade peal on rõngaga märk m. See seatakse nii paigale, et weejuga tema rõngast läbi jookseb. Olgu rõnga keskkoht anuma parempoolsest seinast 36 cm eemal ja august c 18 cm madalamal Siis on iga kub. cm wett selle aja jooksul rõhumise tagajärjel 36 cm paremale poole jooksnud, mil ta oma raskuse mõjul 18 cm allapoole langes. Olgu auk c nimelt ühe □ cm suurune. Siis mõjub wee rõhumine iga wäljatulewa kub. cm peale ainult seni, kuni selle kub. cm tagumine külg ka august wälja on jõudnud Rõhumiselt saab siis iga kub. cm wett liikumise jõudu a i n u l t ü h e cm wõrra edasi liikudes; pärast wiib juba liikumise tung teda edasi. Sellepärast on rõhumine otse nii mitu düüni olnud, kui mitu ergi edasiliikumise jõudu on ilmunud [33 b, 26]. Liikumise jõuu wäljarehkendamiseks on tarwis kiirust teada ja kiiruse jaoks aega, mille jooksul wesi 36 cm paremale poole on jooksnud. Seda aega saab leida wee langemise lõpukiirusest, sest ta on seesama langemise aeg. Langemise lõpukiirus leitakse jõuu jäädawuse lausest. Selle lause põhjal on formulite (12) ja (17) järele

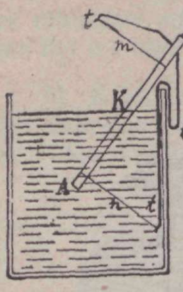
$$\frac{m\,v^2}{2} = m\,g\,d \text{ ehk } v^2 = 2gd.$$

Sellepärast on [13 c]

$$v = \sqrt{2\,g\,d} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (18)$$

Otsitaw lõpukiirus on siis $\sqrt{2\,.\,981\,.\,18}\,\frac{\text{cm}}{\text{s}}$ ja sellega langemise aeg $\frac{\sqrt{2\,.\,981\,.\,18}}{981}$ sekundit [29, 30]. Wee paremale poole edasiliikumise kiirus on selle järele 36: $\frac{\sqrt{2\,.\,981\,.\,18}}{981} = \frac{36\,.\,981}{\sqrt{2\,.\,981\,.\,18}} = \sqrt{36\,.\,981}\,\frac{\text{cm}}{\text{s}}$. Ühe kub.cm wee edasilükkamise jõud on siis $\frac{(\sqrt{36 \cdot 981})^2}{2} = 18 \cdot 981$ ergi, sest selle wee hulga mass on 1g. Sellega on ka rõhumine c kohal 18.981 düüni ehk $18 \frac{g}{\square\, cm}$.

Wiltu ülespoole sihitud rõhumist saab ühe lihtsa riista abil otsekohe mõõta. Selle riista peaosad on: 1) klaasanum (joon. 72) ja 2) kerge ühejämedune pulk K, mille otsa pind otse 1 □ cm on ja mis nii on seatud, et ta ainult oma pikkuse sihil wabalt saab liikuda. Pulk K on kõwera traadi ttt otsade külge jõhwide m ja n läbi kinnitatud. Traat ttt on nii kõweraks keeratud, et tema kõwerusega teda kerge on anuma serwa külge kinni seada. Et anumasse walatud wedeliku sees A kohal rõhumist ära mõõta, selleks seatakse pulk nii jõhwide külge, et siis, kui tema otsa keskkoht nimelt A kohal seisab, mõlemad jõhwid tema pikkusega otseristi (perpendikularsed) on. Kui pulk küllalt kerge on, siis taganeb tema ots A kohalt kõrgemale.

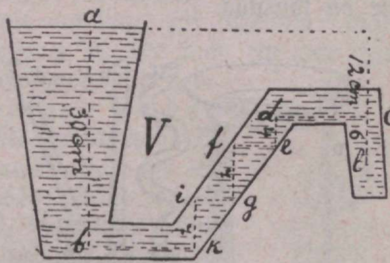


Joon. 72.

Talle tuleb siis wäikseid raskusi, näituseks traadist haakisid, ülemise otsa külge riputada, kuni ta otse A kohani tagasi wajub. Siis on A kohal rõhumine pulga otsa peale nii suur kui pulga tung raskuse mõjul A poole. See tung on aga pulga ja juurdelisatud kehakeste raskusest nii mitu korda wähem, kui mitu kord pulga kõrgus h tema pikkusest wähem on [32 e], sest pulk saab ainult wiltu liikuda. Olgu pulga raskus 8 g ja juurdelisatud haakide raskus 4 g, s. o. kokku 12 g. Olgu pulk nii wiltu, et h $^3/_4$ pulga pikkust on, siis on A kohal wedeliku rõhumine pulga otsa peale $^3/_4 \cdot 12 = 9$ g, ja kui see wedelik wesi on, siis leitakse mõõtes, et A otse 9 cm sügawas wee sees seisab.

Nii wõib lihtsalt rõhumise suurusest kuski kohal wedeliku sees kõneleda, ilma et selle rõhumise sihti nimetataks, sest igal kohal on rõhumine igal sihil ühesuurune. Kui rõhumise suurus ühel kohal teada on, siis wõib wälja rehkendada, kui suur rõhumine kus tahes teises kohas sellesama wedeliku wõi gaasi kogu sees on, kui ennegi selle wedeliku wõi gaasi tihedust teatakse. Nii on wee sees (joon. 70) 1 cm otse allpool A kohta rõhumine otse $\frac{1\,g}{\square\, cm}$ suurem, sest sinna rõhub weel ka kub. cm c oma raskusega. Aga 1 cm otse pahemal pool A kohta on rõhumine otse niisama suur kui A kohal: sinnapoole tungib kub. cm b otse niisama tugewasti, kuida teda A kohalt rõhutakse, sest tema oma raskuse tung ei aja teda ei pahemale poole edasi ega sealt tagasi.

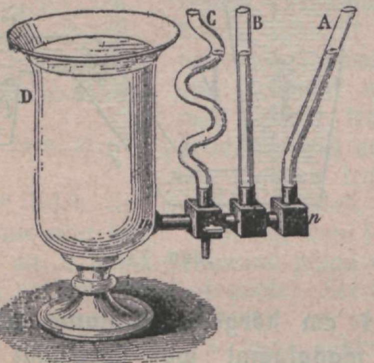
1 cm A kohalt otſe ülewal pool on rõhumine 1 $\frac{g}{\Box\,cm}$ wähem, kuna üks kub. cm wett oma raskuſega A kohalt ülespoole ſihitud rõhumiſele wastu mõjub. Selle järele on keeruliſes weekogus V (joon. 73) l kohal rõhumine 18 $\frac{g}{\Box\,cm}$ ſuurem kui a kohal, ſeſt b ja k kohal on rõhumine a omaſt 30 $\frac{g}{\Box\,cm}$ ſuurem, i ja g kohal ſelleſt 7 mõõtu wähem ehk 23 mõõtu, f ja e kohal ſelleſt weel 7 mõõtu wähem ehk 16 mõõtu, d ja c kohal weel 4 mõõtu wähem ehk 12 mõõtu ja l kohal wiimaks kuus mõõtu ſuurem ehk üleüldſe a omaſt 18 $\frac{g}{\Box\,cm}$ ſuurem. Aga b on ju ka a-ſt 18 cm madalamal.



Joon. 73.

Nii järgneb wedeliku ja gaaſi oſakeste liikumiſe wabaduſeſt: **rõhumine on ühe ja ſelleſama wedeliku wõi gaaſi kogu ſees kõigis nendes kohtades üheſuurune, mis ühekõrguſel ehk ühe ja ſelleſama horitſontalſe pinna peal ſeiſawad** [27 a]; **1 cm madalamal on ta nii mitu $\frac{g}{\Box\,cm}$ ſuurem, kui mitu g üks kub. cm ſeda wedelikku wõi gaaſi kaalub, 1 cm kõrgemal niiſama palju $\frac{g}{\Box\,cm}$ wähem; mitu cm madalamal wõi kõrgemal on ta nii mitu korda rohkem ſuurem wõi wähem.** Nii on ſiis õieti lahtiſe wee ſees rõhumine ſuurem kui ülemal on arwatud: lahtiſe wee pinnale rõhub õhk 1033 $\frac{g}{\Box\,cm}$ tugewuſega, ſellepäralt on rõhumine 10 cm ſügawuſel juba $1033+10=1043\frac{g}{\Box\,cm}$, 500 cm ſügawuſel $1033+500=1532\ \frac{g}{\Box\,cm}$ jne. Ülemal oli ainult wee o m a rõhumiſeſt kõne, õieti tuleb ſellele õhu rõhumine juurde arwata. Nii rõhub ka wedelik õhu mõjul pulka K (joon. 72) alumiſeſt otſaſt õieti 1033 $\frac{g}{\Box\,cm}$ tugewamalt kui ülemal öeldud, aga ſelle eeſt rõhub õhk iſe ſeda pulka ülemiſeſt otſaſt otſe niiſama tugewalt allapoole, nii et õhu rõhumine pulga K liikumiſt ei muuda. Niiſama on ka õhu mõjul augu c (joon. 71) kohal wee ſees rõhumine õieti 1033 $\frac{g}{\Box\,cm}$ ſuurem, aga õhk iſe rõhub wäljawoolawale weele niiſama tugewalt wastu.

Wõib juhtuda, et mõnes kohas wedeliku wõi gaaſi ſees rõhumine ſuurem wõi wähem on kui rehkendus näitab. S i i s ei ſaa wedelik wõi gaas mitte ſeisma jääda, waid hakkab eſimeſel juhtumiſel ſelleſt kohaſt laiali minema, teiſel juhtumiſel ſelle koha poole kokku liikuma; ſeſt ſelle koha ümberſeiswad wedeliku wõi gaaſi oſakeſed ſaawad ſiis ſelleſt kohaſt eemale ſihitud liikumiſt rohkem wõi wähem kui wastupidiſihitud liikumiſt [33 a]. Nii tuleb tuul nimelt ſelleſt, et ühel kohal õhu rõhumine tugewam on kui teiſel kohal. Niiſama ei ſaa lahtine weepind enne waguſaks jääda, kui ta igal kohal taſaſeks ja nimelt horiſontalſeks on ſaanud; ja ühendatud nõuudes, kus weſi wabalt üheſt nõuuſt teiſe peaſeb (joon. 74), jääb ſee alles ſiis paigale, kui ta kõikides nõuudes ühekõrguſele on tõusnud.



Joon. 74.

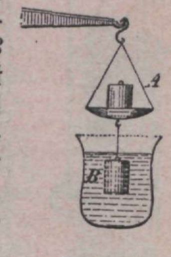
Joon. 75.

c) Tähtſamaid nähtuſi, mis rõhumiſeſt wedelikkudes ja gaaſides järgnewad, on iſeäranis kolm teaduſemeeſt tähele pannud: Archimedes, Torricelli ja Pascal.

1) Iga keha peale, mis wee ſees on, rõhub weſi altpoolt (B joon. 75) tugewamini kui ülewaltpoolt (A), ſeſt ſügawamal on rõhumine ſuurem [b]. Weerõhumiſe mõjul tungib ſiis iga keha wee ſees ülespoole ja nimelt nii tugewasti, kui tugewasti ſee wee hulk oma raskuſe mõjul allapoole tungib, mille aſet ſee keha täidab. Seſt kui keha AB weel wee ſees ei olnud, täitis tema praeguſt aſet weehulk, mille peale ümberolew weſi otſe niiſama rõhus, mis aga oma raskuſe mõjul paigale jäi. Selle rõhumiſe mõju lauſe on juba Greeka teaduſemees Archimedes III aastaſajal e. Kr. oma katſete põhjal kokkuſeadnud; ſellepäraſt nimetatakſe teda **Archimedeſe lauſeks.** Archimedeſe láu-

ſeſt järgneb, et wette juhtunud keha ſiis põhja wajub, kui ta ſelleſt weehulgaſt raskem on, mille aſet ta täidab, ſiis wee ſiſſe ujuma jääb, kui ta otſe nii raske on, ja ſiis wee pinnale tõuſeb, kui ta kergem on (nagu puutükid, raswapiiſad, õlipiiſad jne.)

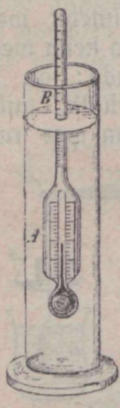
Põhjawajuwad kehad on wee ſees kergemad: ſuplemiſel on käſa ja jalgu wee ſees palju kergem liigutada kui weeſt wälja tõsta, ja kiwi, mis 1 kub. detſimeter ſuur on, kaalub wees 1 kg w ä h e m kui wäljas, ſeſt üks kub. detſimeter wett kaalub üks kg. Selle järele, kui palju põhjawajuw keha wees kergem on kui wäljas, ſaab tema kehaſuuruſt teada: on ta 20 g kergem, ſiis on ta 20 kub. cm ſuur, ſeſt weehulk, mille aſet ta täidab, kaalub 20 g ja 1 g on ühe kub. cm wee raskus; on keha 13 g kergem, ſiis on ta 13 kub. cm ſuur jne. N i i w õ i b k a a l u g a k a k e h a d e ſ u u r u ſ t m õ õ t a. Mõõdetaw keha B (joon. 76) riputatakſe kaalukauſi alla, nii et teda wõimalik on wee ſiſſe ſeada. Teiſe kauſi peale pandakſe kaalumõõtuſid, kuni kaal taſakaaluſſe jääb. Nüüd ſeatakſe keha B alla wee anum, nii et keha B üleni wee ſiſſe ulatab, ja pandakſe ſelle kaalukauſi peale nii palju kaalumõõtuſid A, et kaal uuesti taſakaalu jääb. Nende kaalumõõtude grammide arw näitab, mitu kub. cm keha B ſuur on. Sellel teel on kõige lihtſam aine tiheduſt [23] mõõta: mõõdetawa keha aine tiheduſe arw on eſimeste kaalumõõtude grammide arwu ja teiste (A) grammide arwu kwotſient, ſeſt eſimene arw näitab, mitu g ainet kehas on, ja teine, mitu kub. cm ſee keha ſuur on.



Joon. 76.

Pinnaletõuſew keha jääb nii ujuma, et ta oſalt weeſt wäljas ja oſalt wee ſees ſeiſab. Wette jääw oſa peab nimelt nii ſuur olema, et ſee weehulk, mille aſet ta täidab, terwe keha raskune on, ſeſt ainult ſiis tungib keha wee rõhumiſe mõjul niiſama tugewasti ülespoole, kui tugewasti ta oma raskuſe mõjul allapoole tungib. Kui laew ühes koormaga 120 tuhat kg ehk 120 tonni kaalub (tuhat kilogrammi nimetatakſe t o n n i k s), ſiis on tema kehaſt nimelt 120 kub. metrit wee ſees, ſeſt 1 kub. m wett kaalub 1 tonni.

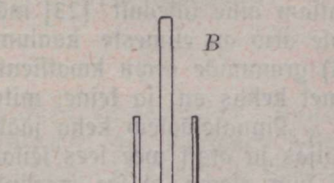
Silmanähtawalt wõib i g a w e d e l i k u j a g a a ſ i kohta ütelda, et t e m a r õ h u m i ſ e m õ j u l t e m a s i g a k e h a n i i t u g e w a s t i ü l e s p o o l e t u n g i b, k u i t u g e w a s t i ſ e e w e d e l i k u w õ i g a a ſ i h u l k o m a r a s k u ſ e m õ j u l a l l a p o o l e t u n g i b, m i l l e a ſ e t ſ e e k e h a t ä i d a b. Nii kaalub iga keha õhus wähem kui tühjas ruumis ja ſiis nimelt 1293 g wähem, kui ta 1 kub. m ſuur on, ſeſt **1 kub. m õhku kaalub 1293 g** [IV]. Õhupallid ja juhitawad õhulaewad tungiwad õhus ülespoole, ſeſt nad on ſelleſt õhuhulgast kergemad tehtud, mille aſet nad täidawad. Aga nad ei tõuſe mitte õhumere pinnale, nagu puu wee pinnale. Ülewalpool läheb õhk järjeſt õredamaks [IV] ja ülestõuſew õhupall jõuab wiimaks niiſuguſesſe kohta, kus ſee õhuhulk; mille aſet ta täidab, otſe tema raskune on. Seal ei tõuſe ta enam.



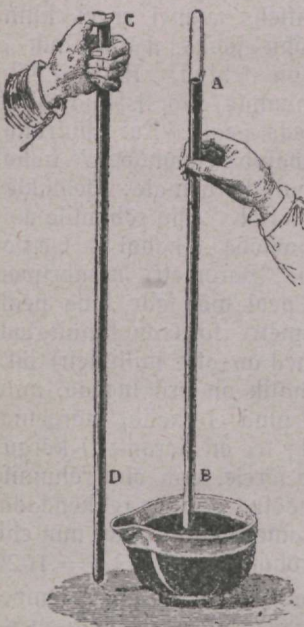
Joon. 77.

Mida ſuurem wedeliku wõi gaaſi tihedus on, ſeda tugewamini tungiwad ſeal kehad ülespoole. Nii on elawhõbedas kehade tung ülespoole 13,6 korda ſuurem kui wees ja elawhõbeda pinnal ujudes wajub iga keha 13,6 korda wähem elawhõbeda ſisſe kui wee pinnal ujudes wee ſisſe. Nii wõib, ühe ja ſelleſama keha ujumiſt mitmeſuguste wedelikkude pinnal tähelepannes, nende wedelikkude tiheduſt ära mõõta. Selle jaoks tarwitatawat keha nimetatakſe areometriks (õreduſe mõõtjaks). Tal on üks ots raskem tehtud, nii et ta ujudes püsti ſeiſab (joon. 77). Raskemas otſas on karilikult termometer, et mõõdetawa wedeliku temperatur ka kohe näha oleks, ſeſt temperaturiga ühes muutub ka tihedus [IV]. Areometril on numbrijoon külje peal ja numbrid tema kriipſude juures näitawad, mitu grammi 1 kub. cm ſeda wedelikku kaalub, mille pinnal areometer ſelle kriipſuni ſisſe wajub. Nii on harilikus toa ſoojuſes eetri tihedus $0{,}74\frac{g}{kub.cm}$, alkoholi oma 0,79, petroleumi — 0,89, oliwiõli — 0,92, äädikahappe — 1,05, ſipelgahappe — 1,22, glütſerini — 1,26, ſalpetrihappe — 1,54, wääwlihappe — 1,84, broomi — 3,19 jne.

2) Olgu mõne toru alumiſes otſas paras warrega punn B, (joon. 78), mille wars toru ülemiſeſt otſaſt wälja ulatab. Olgu ſelle toru alumine ots wee ſees.



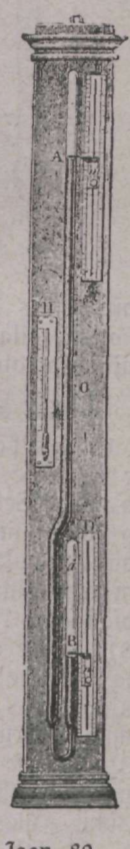
Joon. 78.



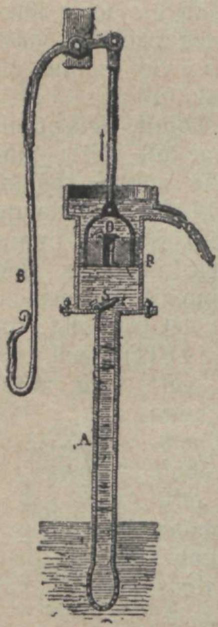
Joon. 79.

Kui punni wartpidi ülespoole tõmmatakſe, ſiis tõuſeb weſi toru mööda punnile järele. See nähtus oli wäga wana ajal tuttaw; öeldi: loodus kardab tühjuſt, ſellepäraſt ei wõi toru punni all mitte tühjaks jääda. Selle nähtuſe põhjal ehitati pumpaſid. XVII aastaſaja algul taheti Italias Florentſi linnas wett õige kõrgele pumbata, aga weſi ei tulnud punnile kõrgemale järele kui umbes 10 m. Italia teaduſemees Torricelli tuli ſiis otſuſele, et **õhk wett toru mööda üles lükkab,** kuna ta wee peale wäljaspool toru rõhub. **Torricelli** tegi järgmiſe **katſe** elawhõbedaga. Ta täitis umbes 90 cm pikkuſe klaastoru *CD* (joon. 79), mis üheſt otſaſt oli kinniſulatatud, elawhõbedaga, kattis toru lahtiſe otſa *C* ſõrmega kinni, pööris ta allapoole ja pistis anumasſe *B* elawhõbeda ſisſe. Seal wõttis ta ſõrme ära. Elawhõbe wajus torus allapoole, aga tema pind *A* jäi ſeal ſiiski umbes 76 cm kõrgemale kui anumas, ſeſt anumas rõhub õhk elawhõbeda lahtiſe pinna peale. Õhu rõhumine peab ſeal lahtiſel elawhõheda pinnal otſe niiſama ſuur olema, kui elawhõbeda oma rõhumine ſelle pinna kohal toru ſees, ſ. o. nimelt $76 . 13{,}6 = 1033 \frac{g}{\square cm}$ [b]. Nii ſai Torricelli õhu rõhumiſe ſuuruſt ära mõõta. Sel wiiſil mõõdetakſe õhu rõhumiſt tänapäewani, et tema järele ilmaſid ette kuulutada wõi mõne koha kõrguſt wälja rehkendada, ſeſt ta on ilma mõjul ja koha kõrguſe mõjul mitmeſugune.

Õhu rõhumiſe mõõduriiſt — barometer — on kas otſe Torricelli riista kujuline (joon. 79), wõi Torricelli anuma aſemel on klaastoru alumine ots nii kõweraks keeratud, kui joonistus 80 näi-



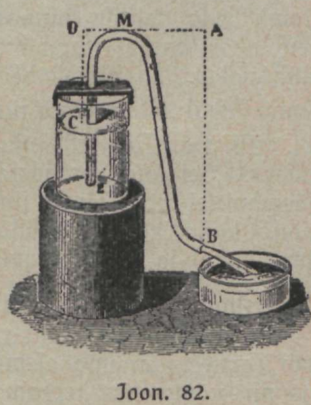
Joon. 80.



Joon. 81.

tab, ja tolmu kaitſeks wahel weel kinni ſulatatud, kuna õhu jaoks wäike auk *a* külje pealt ſisſe on tehtud. Augu *a* läbi peaſeb õhk toru alumiſe otſa ſisſe ja rõhub *B* kohal elawhõbeda peale. Kui õhu rõhumine ſuureneb, wajub elawhõbe *B* kohal ja tõuſeb *A* kohal kõrgemale; öeldakſe: barometer tõuſeb. Õhu rõhumiſe wähenemiſel wajub elawhõbe *A* kohal — barometer langeb. Barometri numbrijoon on kas klaastoru peal wõi ſelle laua peal, mille külge barometri toru on kinnitatud. Tema kriipſu wahed on otſe millimetri pikkuſed, nii et wõimalik on ära lugeda, mitu mm elawhõbeda pind *A* kohal kõrgemal ſeiſab kui *B* kohal; ſee on barometri kõrgus millimetrites, tema järele ſaab õhu rõhumiſe ſuuruſt rõhumiſe mõõtudes wälja rehkendada. Olgu näituſeks barometri kõrgus 750 mm ehk 75 cm ſiis on õhurõhumine $75 \, . \, 13{,}6 = 1020 \, \frac{g}{\square \, cm}$. Elawhõbeda tihedus muutub temperaturiga [IV], ſellepäraſt tuleb barometri kõrguſt lugedes ka termometri *H* (joon. 80) näitamiſt tähele panna. Barometer näitab ainult ſiis õieti, kui tema toru ülemiſes otſas, kuſt elawhõbe *A* kohani alla on wajunud, õhku ega muud ainet ei ole, kui ſeal nii nimetatud Torricelli tühjus on.

Kui õhu rõhumine $1033 \frac{g}{\square \, cm}$ on, ſiis wõib ta wett tühjas torus ainult 1033 cm ehk üle 10 m kõrgele lükata. Sellepäraſt ei wõi pumpades liikuwat punni ehk pumbakannu kõrgemale ſeada kui 10 m wee pinnalt. (Hariliku pumba oſad on: 1) peenem toru *A* (joon. 81), mille alumine ots wette ulatab ja ülemine ots ülespoole awanewa klapiga *S* kaetud on; 2) jämedam toru *P* peenema otſas; 3) ſeal ſees warrega ja auguga punn ehk pumbakann, mille auku ülespoole awanew klapp *O* katab, ja 4) kang *B*.



Joon. 82.

August Busch'i raamatukaupluse kulul Tallinnas

ilmusiwad muu seas:

Bilow, A., Arithmetikaliste ülesannete kogu keskkoolidele. Kolm j. à 40 kop.

Busch, A., Kuke-aabits. (Piltidega.) . . . . 10 „

Ederberg, F., Lühikene Piibli-teadus. Juhatuseks pühakirja tundmisele koolile ja kodule kirja pandud. . . . . . 25 „

Großschmidt, O., Ristiinimese palwekoda. II. jagu. . . . . 80 „

Hoffmann, H. W., Mina ja minu pere, meie tahame Jehoowat teenida. Igapäewase koduse jumalateenistuse raamat. 125 ja 185 „

Hurt, Dr. J., Elu walgus. Jutluseraamat. . . . 250, 300 ja 400 „

Johanson-Pärna, J., Wene-Eesti sõnaraamat. (Üle 16 tuhat Wene keele sõna.) . . . . 80 „

Jung, J., Muinasajateadus eestlaste maalt. III. jagu . . . 125 „

Jürgens, J. C., ja Tasak, K., Geografia käsiraamat. Piltidega ja kaartidega. . . . . 50 „

—, Geografia õperaamat. Piltidega ja kaartidega. olm jagu à 70 „

Kampmann, M., Kooli Lugemiseraamat. I. ja II. jagu . . à 60 „

Кузикъ, Т., Географія для начальныхъ школъ Прибалтійскаго края . . . . 20 „

—, Словарикъ (Sõnaraamatukene) къ первому выпуску „Русской рѣчи" М. Вольпера . . . . . . 10 „

—, Русско-Эстонскій словарь ко второй части „Русской рѣчи" М. Вольпера . . . . 18 „

—, Словарь къ третьему выпуску „Русской рѣчи" М. Вольпера . . . . 20 „

—, Словарикъ (Sõnaraamatukene) къ букварю „Русскаго слова" Л. Григорьева . . . . . . 10 „

—, Словотолкователь для эстовъ ко второму выпуску учебника Л. Григорьева и В. Оленина „Русское слово" 18 „

—, Словарь къ третьему выпуску книги для класснаго чтенія „Русское слово" Л. Григорьева и В. Оленина 20 „

—, Русско-Эстонскій словарь къ первой части учебника „Родной міръ" И. Дависа . . . . 10 „

—, Русско-Эстонскій словарь ко второй части учебника „Родной міръ" И. Дависа . . . . 18 „

—, Русско-Эстонскій словарь къ третьей части учебника „Родной міръ" И. Дависа . . . . 20 „

—, Школьный пѣсенникъ для эстонскихъ народныхъ училищъ. Kooli-laulik Eesti rahwakoolidele. . . . 20 „

—, Wene-Eesti ja Eesti-Wene sõnaraamat. . . . 250 ja 300 „

Lipp, M., Koolilaste Piiblilugu ehk Wana ja Uue Seaduse piibli jutustused salmidega. . . . . 40 „

—, Piltidega Piiblilugu. . . . . 40 „

—, Piiblilugu seletustega. Esimene raamat: Wana Seaduse lugu . . . . 30 „

—, Piiblilugu seletustega. Teine raamat: Uue Seaduse lugu. 60 „

—, Koolilaste kirikulugu ja Lühike kodumaa kiriku lugu. . 50 „

Luiga, Dr. J., Närwinõrkus . . . . 40 „

Mohrfeldt, A., Kirikulugu. . . . . 50 „

Pärn, G., Biiblilugu ja Luteruse weikene katekismus algus- ehk elementarkoolidele linnas ja maal, 49 pildiga, Palestina ja ülewaatluse kaardiga . . . . 40 „

Prawdin ja Mühlmann, Rehkendamise ülesannete kogu rahwa alguskoolidele. I. jagu. . . . . 25 „

Sitska, J., Ajaloo algõpetus. Wana, kesk- ja uus aeg. . . 80 „

—, Üleüldine ajalugu. Wana, kesk-, uus ja kõige uuem aeg. Neli jagu. . . . . à 80 „

2