STAMPFEL-FÉLE
[TUDOM]ÁNYOS ZSEB-KÖNYVTÁR.
78.

Dr. Lévay Ede

Physikai Repetitorium

I.
MECHANIKA.

Ára 60 fill. = 30 kr.

POZSONY – BUDAPEST
KIADJA
STAMPFEL K.

STAMPFEL-FÉLE
TUDOMÁNYOS ZSEB-KÖNYVTÁR.
78.

PHYSIKAI REPETITORIUM.

I.

MECHANIKA.

ÖSSZEÁLLITOTTA
DR. LÉVAY EDE
ÁLL. FŐGYMN. TANÁR.

45 ÁBRÁVAL.

POZSONY. 1901. BUDAPEST.
STAMPFEL KAROLY KIADÁSA.

A „TUDOMÁNYOS ZSEB-KÖNYVTÁR“-ban

ugyanazon szerzőtől megjelent:

2. sz. **Arithmetikai és algebrai példatár.**
14. „ **A sik trigonometriája.**
23. „ **Planimetria.**
35. „ **Számtan.**
44. „ **Algebra.**
50. „ **Stereometria és sphaerikus trigonometria.**
78. „ **Physikai repetitorium:** I. Mechanika.

Legközelebb pedig meg fognak jelenni:

Physikai repetitorium:
II. Akustika. Optika. Hőtan.
III. Elektromosság és mágnesség.
Analytica geometria.

*Egy füzet ára 30 kr. = **60** fillér.*

Eder István könyvnyomdája Pozsonyban.

Bevezetés.

1. §. A physika feladata és ismeretforrásai.

Természet és természettudomány.

A bennünket környező testek *anyag*ból állanak, e testek összeségét a rajtuk észrevehető változásokkal együtt *természet*nek hívjuk. Az ember érzékei útján vesz tudomást a természetről s ezek segítségével figyeli meg a létezőkön végbemenő változásokat is. Ezek a változások a *tüneményék.* Az ok, mely ugyanazt a tüneményt, ugyanazon körülmények közt mindenkor létrehozza: *az erő.*

A természetet és tüneményeit a *természettudomány* ismerteti. Ez lehet *leíró,* ha megelégszik azzal, hogy a testeket tekintet nélkül keletkezésükre és fejlődésükre úgy mutatja be, amint azok a természetben előfordulnak; azokat csupán közös, vagy eltérő sajátságaik alapján csoportosítja és ismerteti, ilyen a *természetrajz.* De lehet a természettudomány *physikai* is, azaz olyan, mely a testeknek esetleges alakjuktól független, általános tulajdonságaikat kutatja, megismerteti a testeken végbemenő változásokat, megállapitja a feltételeket, melyek mellett valamely tüneménynek be kell következnie s egyszersmind a tünemények okainak kifürkészésére is törekszik; ilyenek: a szoros értelemben vett *physika* és a *chemia;* előbbi inkább a testek nagyobb csoportjaira (szilárd-, folyékony-, légneműtestek) vonatkozó ama tulajdonságokat és tüneményeket fejtegeti, melyek mellett a testek anyaga változatlan marad; utóbbi az egyes testek, pl. az egyes gázok sajátságaival s azon tünemények tanulmányozásával foglalkozik, melyek mellett a test anyaga is megváltozik. Különben e két tudomány-ág között szigorú határt vonni lehetetlen. A physikai természet-tudományokhoz tartozik még: a *physiologia,* ez a physika és chemia alkalmazása az élő lényekre; a *meteorologia* a föld légkörének physikája; a *geologia,* mely a földkéreg keletkezését kutatja; az *astronomia,* mely a csillagos ég tüneményeinek megfejtésén munkálkodik. Mi jelen alkalommal csakis az összes természettudományok alapját alkotó szigorúbb értelemben vett *physikával* fogunk foglalkozni.

A physika feladata és ismere'-forrásai.

A physika feladata a szervetlen testekre vonatkozó természeti tünemények törvényeinek kutatása és megismerése. Ez a megismerés képesíti az embert arra, hogy bizonyos fenforgó körülmények figyelembe vételével a bekövetkezendő tüneményt előre tudhassa, vagy hogy valamely tüneményt a szükséges feltételek teljesítése útján előállhasson s igy a természeten mintegy uralkodjék.

A természet megismerésének *egyik* forrása a *tapasztalás,* még pedig vagy oly módon, hogy megfigyeljük a tüneményeket úgy, amint azok a természetben előfordulnak, vagy alkalmas eszközökkel magunk idézzük elő azokat. Az első eljárást *észlelés*nek, az utóbbit *kisérletezés*nek nevezzük. Mindkét eljárás közös czélja, hogy megtudjuk különböztetni a tüneményeknél a lényegest a mellékestől, az állandót a változótól, hogy így megállapíthassuk a *törvényt,* melynek a tünemények alá vannak rendelve. Ezt az eljárást, melylyel egyes esetekről az általánosra következtetünk, *inductiv módszernek, inductio*-nak hivjuk. Minél kevesebb törvényből tudjuk az összes természeti tüneményeket megfejteni, annál inkább megközelítjük a physika czélját. Csakhogy nem sikerül mindig valamely tüneménynek, vagy tüneménycsoportnak a valódi okát egész biztonsággal megállapítani; ilyenkor a biztos ok helyett a tünemények megfejtésére *valószinű okokat* — hypothesiseket — vesz fel a természetbúvár. A hypothesiseknek csak akkor van értékük, ha segítségükkel könnyen és úgy fejthetjük meg a tüneményeket, hogy a tapasztalással nem jövünk ellenkezésbe.

A physikai megismerés *második* forrása a *deductiv-módszer,* vagy *deductio,* melylyel valamely tünemény csoportra vonatkozó általános törvényből a mathematika segítségével egészen új igazságokat vagyunk képesek megállapitani.

2. §. Anyag, tömeg, mozgás. Absolut mérték-egységek.

A testek *anyag*ból állanak. Az anyag különbözőségéből erednek a testek eltérő sajátságai. Az anyag tért foglal el, ez a tér a testek *térfogata*. A testben foglalt anyag mennyiségét a test *tömegé*nek nevezzük. A testek térforgata és ezzel együtt alakja is változó, anyaga azonban a térfogat megváltozása mellett is állandó marad, valamint változatlan az erő is, mely a tüneményeket létrehozza. A test anyaga s az erő változatlan lévén a tüneményeknél csakis a test helyzete változhatik az idő szerint. Ezt a változást *mozgás*nak nevezzük. Igy állván a dolog, az összes physikai tünemények mozgásból fejthetők meg s minden erő, mint mozgató-erő fogható fel. A physika czélja ez alapon nem lehet más, mint a tüneményeket az anyagnak a mozgató-erők okozta mozgásából megfejteni. Ezt a czélt a legtöbb esetben sikerült is elérni, miért is a legtöbb physikai kutatás mozgások mérésére redukálható. A mozgás fogalma más három fogalmat rejt magában, az *út*, a *tömeg* és az *idő* fogalmát. A physikai kutatásoknál tehát — az elmondottakból kitetszőleg — különösen ezen három mennyiség megmérése válik szükségessé. Minthogy *mérni* annyit jelent, mint az ismeretlen mennyiséget az ismerttel — az úgynevezett *egység*gel — összehasonlítani, azért mindenekelőtt eme három mennyiség számára kell egységről gondoskodnunk.

Anyag, tömeg, mozgás.

Az *út* mérésénél *hosszúság-egységre* van szükségünk. Ez a franczia nemzetgyűlés 1791. évi márczius hó 26-án (*Borda, Condorcet, Lagrange* és *Laplace* ajánlatára) hozott határozata óta a *méter*, azaz a *Páris*on áthaladó délkör negyedének 10 milliomod része. A méter hosszúságának meghatározására lehetőleg pontos fokmérést végeztek. (*Delambre* és *Méchain* 1792—1799). Mégpedig megmérték a *Dünkirchen* és *Formentera* közt fekvő *a* meridian-ivet, melynek $\alpha = 12^{0}22'13''$ középponti szög felel meg s a számítást, ha x jelenti a délkörnegyed hosszúságát az $x : a = 90^{0} : \alpha^{0}$ egyenlet alapján végezték el. Az így nyert érték 10 milliomod részének megfelelő mértéket platinából elkészítették (mètres des archives) s miután arról — legutóbb 1889-ben — pontosan megegyező — x alakú — platin-iridium utánzatokat készítettek, megőrzés végett a párisi állami levéltárban elhelyezték.

Jegyzet. Bessel kimutatta, hogy a normál-méter nem felel meg pontosan adott definitiójának, mert az valójában a délkörnegyed 10,000.856-od része.

Hosszúság mérésekre tehát a métert *(m.)*, vagy annak 10 valamely hatványával való szorzatát lehet egységül felhasználni.

Pontos hosszúságmérésekre a következő készülékek szolgálnak: a *nonius*, a *mikrométer-csavar*, a *kathetométer*.

Tömeg-egységül az 1l. 4° C hőmérsékletű, destillált viz tömege — a *kilogramm*-tömeg — vagy annak 10 valamely hatványával való szorzata szolgál. A kilogramm-tömeget platinából *Borda* mérnök készitette el s azt a párisi állami levéltárban őrzik (kilogrammes des archives).

Idő-egység a középnap 86.400-ad része, a *másodpercz* (sec.).

Absolut mérték-egységek.

A hosszúság, tömeg és idő egységeiben meghatározott physikai mennyiségek *absolut-mértékrendszert* alkotnak. A tudomány elméletében a centiméter—gramm—secunda (C. G. S.)-rendszer használatos.

3. §. A testek általános tulajdonságai.

Általános tulajdonságoknak azokat hívjuk, melyekkel minden természeti test bir, ilyenek:

1) *A terjedtség*, melynél fogva a test végtelen sok, de háromra visszavezethető irányban, t. i. a hosszúság, szélesség és magasság irányában tölti be a tért. Ezt a tért geometriai testeknél annál pontosabban meghatározhatjuk, minél pontosabbak a fő méretekre vonatkozó adataink. Ez adatokat hosszúság-mérésekből nyerhetjük. Az igen kis anyag-részt *anyagi-pont*nak nevezzük. A természeti testek nagysága igen különböző, a láthatatlan kicsinytől a végtelen nagyig. A legkisebb állócsillagok egyikének a napnak négyszázezerszerte nagyobb a térfogata, mint a 40 millió méter kerületű földé. Ezzel szemben a monadok 0·001 mm. hosszúk, úgy hogy azokból egy vizcseppben több millió élhet.

2) *Az áthatlanság* azon általános tulajdonsága a testeknek, melynél fogva a testek úgy töltik be a tért, hogy ugyanazon időben, ugyanazon helyen más test nem létezhetik. A viz és a levegő helyébe is csak úgy nyomúlhatnak be más testek, ha előbb azok az utóbbiak elől kitérnek. Nyilásával vízbe fordított pohárba nem hatol be a víz. Palaczkba csakis akkor tölthetjük be a folyadékot, ha abból a levegő eltávozhatik. A levegő áthatlanságán alapszik a víz alatti építkezéseknél, hajó sülyedéseknél stb. használt *buvár-harang*.

3) *Az oszthatóság*. A testek mechanikai uton apróbb, egynemű részekre bonthatók. Ha képzeletben a mechanikai osztást addig folytatjuk, mig végre ily uton többé nem osztható részecskékhez jutunk, ezeket *molekulák*nak hívjuk, ezek a testnek önállóan létezhető legkisebb részei, melyek még egymással és a felosztott testtel egynemüek. Chemiai uton még a molekulák is feloszthatók mégpedig anyagilag különböző részekre, ezeket a mechanikailag és chémiailag egyaránt oszthatatlan legkisebb részeit az anyagnak *atomok*nak nevezzük. A molekulák kölcsönös magatartásával a physika, az atomokéval a chemia foglalkozik. — Különösen oszthatók a festő-anyagok és illatszerek. A legfinomabb műosztást *Fraunhofer* végezte, amennyiben ő a *mm.*-t 2000 egyenlő részre osztotta fel.

4) *A likacsosság*. Az anyag nem tölti be a tért folytonosan. Némely testnél már szabad szemmel, másnál nagyítóval azt látjuk, hogy a részecskék közt hézagok vannak, ezek a *likacsok*, melyeket sokszor víz, vagy levegő tölt be. A testek térfogata a külső nyomás, vagy a hőállapot megváltoztatásával módosítható részecskéik egyszerre, vagy egymásután mozgásba hozhatók. — Legkevésbbé likacsosnak az üveg mutatkozik, melyen a legerősebb nyomással sem lehet vizet, vagy levegőt átsajtolni.

5) *Az általános tömegvonzás* (gravitatio), melynek értelmében a testek tömegei kölcsönösen vonzzák egymást. A föld vonzását *nehézségi-erő*nek hívjuk, ez a föld középpontja felé irányul s hatása abban nyilvánul, hogy a testek a földre törekszenek esni. Eredménye az, hogy a magukra hagyott testek szabadon esnek, még pedig légüres térben egyenlő gyorsasággal; az alátámasztott és felfüggesztett, tehát

esésükben akadályozott testek pedig nyomást gyakorolnak az alzatra, illetőleg húzást a zsinegre. Ez a nyomás, illetőleg húzás a test *súlya*. A térfogat-egység (1 cm^3.) súlya jellemző az illető anyagra nézve s annak *fajsúlyát* adja. Ha *p* a test súlya, *v* a térforgata, *f* a fajsúlya, akkor: $f = \frac{p}{v}$; $p = vf$; $v = \frac{p}{f}$.

6) *A tehetetlenség* a testek azon általános tulajdonsága, melynek értelmében a nyugvó, vagy mozgó test állapotát külső erő behatása nélkül önmagától nem képes megváltoztatni. Ezt a törvényt *Galilei* (1564—1642) ismerte fel legelőször. A régiek csakis a nyugvó testek tehetetlenségéről tudtak. A tehetetlenséget mozgó testeknél a mozgás két fő akadálya a *súrlódás* és a *közeg* (levegő, víz) *ellenállása* szünteti meg.

4. § A molekulák közt működő erőkről.

Atom-elmélet.

Az anyag szerkezetét az oszthatóság és likacsosság alapján úgy képzeljük, hogy a test molekulái és atomjai nem érintkeznek egymással, hanem azokat aránylag jelentős távolság választja szét. Ámde akkor az atomok molekulákat s ezek testeket csak úgy alkothatnak, ha azokat valamely erő összetartja. A molekulák közt tehát kétféle erő hat. Az egyik *taszító,* ez a molekulák összefolyását akadályozza meg, a másik *vonzó,* ez a molekulák széthullása ellen működik.

Az ugyanazon test molekuláit együtt-tartó erőt *cohaesio*nak nevezzük.

A három halmazállapot.

A cohaesio különböző nagysága szerint a testeknek három *halmaz-állapotát* különböztetjük meg.

*Szilárd testek*nél a nehézségi erő nem képes legyőzni a cohaesiot; az ilyen test részecskéit csak nagyobb erővel lehet szétválasztani, vagy egymáshoz közelíteni; a szétválasztott részek összerakás utján nem egyesíthetők. A szilárd testek önálló alakkal és térfogattal bírnak. A testek *szilárdságát* azon erő méri, mely a részecskéknek *húzás, törés, nyomás* és *csavarás* útján való szétválasztásához szükséges. Ilyformán *absolut-, relativ-, visszaható-* és *sodrási-szilárdságot* különböztetünk meg. A test *kemény,* vagy *lágy,* a szerint, amint felületének megkarczolása ellen nagyobb, vagy kisebb ellenállást fejt ki. *Mohs* 10 ásványból keménységi skálát állított össze. *Törékenyek* az olyan testek, melyeknél a részecskék összefüggése már azok csekély eltolásánál megszünik, (bolognai üvegcseppek). Ha a test-részecskék az eltolás után is szilárdan összetartanak, akkor a test vagy *nyújtható,* vagy *ruganyos.* Előbbinél az eltolt részek új helyzetükben megmaradnak, utóbbinál az eltolás okának megszüntével eredeti helyzetükbe visszatérnek. Kisebb-nagyobb mértékben minden test ruganyos, közbeszédben azonban csakis azokat emlegetjük ilyenekül, melyek e tulajdonsággal nagy mértékben bírnak. Nagy mértékben ruganyosak a gázok, csekély mértékbeu a folyékony testek. A testek mindenfajta deformatiójánál a következő rugalmassági alaptörvény érvényes: A deformatio nagysága arányos az azt előidéző erő nagyságával. A *rugalmassági modulus* E az a kg.-okban kifejezett súly, mely az 1 mm^2, keresztmetszetű drótot képes lenne saját hosszával megnyújtani. A csavarási modulus $T = \frac{E}{2(1 + \mu)}$, ahol μ a *Poisson*-féle arányt, vagyis azt az arányt jelenti, melyben a húzási rugalmasságnál a keresztmetszetben való összehúzódás a megnyúláshoz áll.

Folyékony testeknél a nehézségi erő felülmúlja a cohaesiot; az ilyen testeket tehát alul és oldalt el kell zárni, hogy szét ne essenek. A folyékony testek önálló térfogattal bírnak, de önálló alakjuk nincsen s részecskéik oly közel vannak egymáshoz, hogy jelentékeny erővel is csak kis mértékben nyomhatók össze.

Légnemű testeknél cohaesio helyett oly erő (expansio) működik a részecskék között, mely azokat egymástól eltaszítani iparkodik. Az ilyen testeket tehát minden oldalról el kell zárni; önálló alakjuk és térforgatuk nincsen, tetszésszerinti mértékben összenyomhatók és kiterjeszthetők.

Azt az erőt, melylyel különböző testek egymáshoz felette közel hozott részecskéi egymást vonzzák, *tapadásnak* (adhaesio) nevezzük. Ez annál nagyobb, minél nagyobbak és simábbak az érintkező felületek s minél kevésbbé gátolják idegen testek az érintkezést. A pálczát csak akkor nedvesíti meg a folyadék, ha az adhaesio nagyobb, mint a folyadék-részek közt működő cohaesio. A tapadáson alapszik a krétával és tintával való irás. Ha a szilárd és folyékony test részei közt nagyobb a tapadás, mint a szilárd test részeinek összetartása, akkor a szilárd test feloldódik; a folyékony test annak *oldószere;* ilyenekül legnevezetesebbek: a víz, borszesz, aether, szénkéneg s a savak.

Vegyrokonságnak (affinitas) azt az erőt hívjuk, mely az egymáshoz nagy közelségbe hozott atomokat úgy köti össze, hogy azok teljesen új tulajdonságokkal biró új testeket alkotnak. Igy egyesül H és Cl sósavvá (HCl.).

A molekulák közt működő erőkön alapszanak még: a folyadékok keveredése, a folyékouy és szilárd testek gáz elnyelése, a kristályosodás.

5. §. A physika felosztása.

A physika részei.

A physikát két fő részre osztjuk. Az első a *mechanika;* ez azokat az ismereteket közli, melyek a testeknek, mint egészeknek egyensúlyára (statika) és mozgására (dynamyka) vonatkoznak. A második a *test- és aethermolekulák mozgásának tana.*

A mechanikában ismét három szakaszt különböztetünk meg: a szilárd-, folyékony- és légneműtestek mechanikáját (geomechanika, hydromechanika és aeromechanika, vagy pneumatika).

A physika második részének tárgyai: az *akustika, optika, hőtan* s *az elektromosság és mágnesség tana.*

Mechanika.

a) A szilárd testek mechanikája.

6. §. Az erő és annak hatásai.

Az erö felosztása és jelölése.

Mozog a test, ha helyét változtatja. A mozgás közben leírt utat a mozgó test *pályájának* hívjuk. Ez lehet *egyenes,* ha a mozgás iránya mindig ugyanaz marad és *görbe,* ha a mozgás iránya folyton változik. Utóbbi esetben a mozgás irányát a görbe pályához húzott érintő adja. A mozgás oka az *erő,* mely vagy mint *mozgató erő,* vagy mint *ellenállás* jelentkezik. A mozgató erőkhöz számíthatjuk a nehézségi erőt, az általános tömegvonzást, a víz- és szélnyomást, a gázok és gőzők feszítő-erejét stb. Ellenállások: a surlódás és közeg ellenállása, a testek szilárdsága és tehetetlensége stb. E kétféle erő közt szigorú határt vonni nem lehet, mert a mozgató erők néha ellenállásokúl, ezek pedig mozgató erőkül hatnak.

Az erőknél azok *támadáspontja, iránya* és *határlyossága,* vagy *intensitása* jön számításba. Az erőket rajzban egyenes vonalakkal jelöljük, mégpedig úgy, hogy a vonal egyik végpontja a támadási pontot, iránya és hosszusága az erő irányát és nagyságát tünteti fel.

Az erő hatása a következőkben nyilvánul: a nyugvó testet mozgásba hozza; a mozgó test irányát megváltoztatja; annak az időegység alatt megtett útját (sebességét) növeli, vagy csökkenti; a mozgó testet nyugalomba téríti. Az elmondottakból kitetszőleg *mechanikai értelemben az erő nem más, mint a sebesség-változások oka.* Az erö hatásai.

Az erők nagyságát csakis hatásaik nagyságából itélhetjük meg. Az erök mérése.

Két erő egyenlő, ha ugyanazon pontra ellenkező irányban hatva, a pont nyugalmi helyzetét változatlanul hagyja. (Az erők statikai mérése.) Az erők ily mérésének egysége a *kilogramm.* A készülék, melylyel valamely húzás, vagy nyomás nagyságát súlyokban fejezhetjük ki, a *dynamométer.*

Másfelől két erő egyenlő, ha ugyanazon körülmények közt, ugyanazon tömeg mozgás-állapotában ugyanazt a változást hozza létre. (Az erők dynamikai mérése.) Ily méréseknél erőegységül a *dyna,* vagyis azon erő szolgál, melynek következtében a *gramm* tömeg *1 mp.* alatt *1 cm.* hosszu utat ír le.

7. §. A mozgásról.

Már láttuk, hogy pálya tekintetében a mozgások *egyenes-* és *görbevonalúak* lehetnek. A mozgások nemei.

Ha valamely testnek minden részecskéje egyenlő idő alatt egyenlő utakat ír le, akkor a test *haladó* mozgásban van; hogyha azonban a test, mint egész, változatlanul egy helyben marad, részecskéi azonban különböző nagyságú párhuzamos köröket írnak le, akkor a test *forgó-mozgást* végez. A haladó és forgó mozgás összetételéből származik a *keringés*. Ha pedig a test nyugalmi helyzete körül oly módon mozog ide-oda, hogy különböző időkben, nyugalmi helyzetétől egyenlő távolságban, ugyanolyan sebességgel, ugyanazon irány felé halad, akkor a mozgást *lengő-mozgásnak* nevezzük.

Idő-viszonyok tekintetében *egyenletes-* és *változó-mozgásról* beszélünk. *Egyenletes* a mozgás, ha a mozgó test egyenlő időközökben, egyenlő nagyságú utakat fut meg. Az idő egysége (1 mp.) alatt leírt utat *sebességnek* hívjuk. Forgó-mozgásnál a *szögsebesség* (ω) jön számításba. Ez alatt a távolság egységében levő pont sebességét értjük. Ennek mértéke az egységnyi sugárral az idő-egységben leírt ív hossza. A forgás egyenletes, ha a szögsebesség állandó. A forgástengelytől r távolságban lévő pont sebessége $r \cdot \omega$.

Egyenletes mozgás.

Ha c (celeritas) jelenti az egyenletes mozgásban levő test sebességét, akkor a t (tempus) idő alatt megtett s (spatium) út értéke a sebesség definitiója alapján:

$$s = ct \text{ és } c = \frac{s}{t}; \; t = \frac{s}{c}.$$

Ez a három egyenlet az egyenletes mozgást teljesen meghatározza.

Egyenletes mozgásnál a mozgás tartama alatt nem hat mozgató erő; itt a test csupán tehetetlenségénél fogva mozog. A valóságban azonban a mozgási akadályok legyőzésére mégis szükséges bizonyos állandó mozgató erőt alkalmaznunk.

Változó mozgás.

Ha a mozgó test egyenlő időközökben különböző nagyságú útakat ír le, akkor *változó-mozgást* végez. Ez lehet *egyenletesen-*, vagy *egyenlőtlenül-változó* a szerint, a mint a sebességváltozások egyenlők, vagy különbözők. A változó-mozgás *gyorsuló,* vagy *lassudó,* amint sebessége folyton növekszik, vagy csökken. Az egyenletesen-gyorsuló mozgásnál a sebesség növekedése mindig egyenlő. A sebesség növekedését az idő egysége alatt *gyorsulásnak* (acceleratio) hívjuk. A *lassudás* (retardatio) negativ gyorsulásul tekinthető. Forgó mozgásnál a szögsebesség növekedését az időegysége alatt *szöggyorsulásnak* nevezzük.

Változó mozgásnál gyakorlati czélokra néha elég a *közép-sebességet* ismernünk; ez alatt a t idő alatt megtett útnak t-hez való arányát értjük, figyelmen kivül hagyván a sebesség ingadozását.

Egyenletesen gyorsuló mozgás.

Ha a jelenti az egyenletesen gyorsuló mozgásban lévő test gyorsulását, v (velocitas) pedig a bizonyos t idő múlva bírt sebességét, azaz *végsebességét*, akkor: $v = at$. Ha a testnek az egyenletesen gyorsuló mozgás megkezdése előtt már c sebessége volt, akkor: $v = c + at$.

Hogy az ily mozgásban lévő testnek t idő alatt megtett s útját nyerjük, gondoljuk meg, hogy a változó mozgást mindig helyettesithetjük egyenletes mozgással, ha sebességül a közép-sebességet hozzuk be. Minthogy a pont sebessége a mozgás kezdetén o, t idő múlva a végsebbessége pedig: at, azért a közép-sebesség: $\frac{o + at}{2} = \frac{a}{2} . t$. Ez ama sebesség, melylyel a pont egyenletesen haladva ugyanakkora utat írt volna le t idő alatt, mint a gyorsulással biró egyenletesen gyorsuló mozgása közben. Minthogy egyenletes mozgásnál $s = c . t$; azért: $s = \frac{a}{2} . t . t = \frac{at^2}{2}$.

Az út tehát az idő négyzetének arányában nő.

A $v = at$ és $s = \frac{at^2}{2}$ egyenletekből t kiküszöbölése utján a következő nevezetes mozgás-egyenleteket nyerjük:

$$s = v^2 : 2a;\ v = \sqrt{2as};\ t = \sqrt{\frac{2s}{a}}.$$

Ha a pontnak az egyenletesen gyorsuló mozgás megkezdése előtt már c sebessége volt, akkor a t idő alatt megtett út: $s = ct + \frac{at^2}{2}$.

Egyenletesen lassudó mozgásnál a nyert képletekbe a helyére $- a$ irandó.

Az egyenletesen gyorsuló mozgásnál a mozgó testre *állandó* mozgató-erő hat.

A szabad esés.

Az egyenletesen gyorsuló mozgás szép példája a *szabad esés* légüres térben. Ennek természetéről a 16. század végéig *Aristoteles* nyomán azt hitték, hogy sebessége az úttal arányosan növekszik. *Galilei* (1589.) mutatta ki, hogy a sebesség az idővel nő arányosan, azaz, hogy ez egyenletesen gyorsuló mozgás. Itt a gyorsulást *nehézségi gyorsulás-*

nak nevezzük és g-vel jelöljük; ez minden testre nézve egyenlő, de a föld különböző pontjain változik. Igy a sarkoknál g = 9·83 m., 45⁰ geogr. szélességnél g = 9·81 m., az egyenlítőn g = 9·78 m. A szabad esés egyenleteit a fentebb ismertetett mozgás-egyenletekből a-nak g-vel való helyettesítése útján nyerjük s így:

$$v = gt;\ s = \frac{1}{2}\, gt^2.$$

Ezen egyenletekből kitetszőleg: a szabadon eső test útja az első mp.-ben $s = \frac{g}{2} = 4{\cdot}9$ m.; az egyes mp.-ekben az utak úgy nőnek, mint a páratlan számok; végre az 1, 2, 3 . . . n másodperczben leírt összes utak úgy aránylanak egymáshoz, mint

$$1^2 : 2^2 : 3^2 : 4^2\ .\ .\ .\ : n^2.$$

A szabad esés törvényeit *Galilei* lejtővel igazolta. Ujabban e törvények igazolására *Atwood* eső-gépe szolgál.

8. §. Az erő, tömeg és gyorsulás viszonya.

Tömeg-egység. A gyorsulás a, melyet m tömeg p állandó erőtől nyer, nemcsak az erő, hanem a tömeg nagyságától is függ. Egyszerű meggondolás s a tapasztalat is arra utal, hogy *a gyorsulás az erővel egyenes, a mozgatott tömeggel ellenben fordított arányban áll* s így: $a = p : m$; honnan: $p = m\,.\,a$ és $m = p : a$.

Ezen egyenletek pontos meghatározását adják a tömegnek s a mozgástanban szükségelt tömeg-egységnek. Mert ha az m tömegű q kg. absolut-súlylyal biró test szabadon esik, akkor g a nyert gyorsulás és $q = mg$, honnan: $m = \frac{q}{g}$; azaz a tömeg a test súlya és a szabad-esés gyorsulása közt fenálló hányadossal egyenlő; a tömeg-egység tehát azon tömeg, mely éppen annyi kg.-ot nyom, mint a mennyi a szabad-esés gyorsulása az illető helyen. A 45-ik szélességi fokon tehát a tömeg-egység súlya 9·81 kg.

A $q = mg$ egyenletből közvetetlenül következik, hogy légüres térben a föld középpontjától egyenlő távolba hozott testek egyenlő gyorsan esnek, mert ha ez az egyenlet egy testre érvényes, érvényes az n-szer nehezebb testre is s feltéve, hogy $n\,.\,q = n\,.\,m\,.\,g'$, akkor: $g' = \frac{n\,.\,q}{n\,.\,m} = g.$

A p erőtől mozgatott m tömegű és a gyorsulással biró test végsebessége t mp. múlva $v = at = pt : m$, ebből: $mv = pt$. Az mv szorzatot *mozgás-mennyiségnek* hívjuk s így mondhatjuk, hogy az erőnek idő szerint mért hatása a mozgásmennyiséggel egyenlő. A mozgás mennyisége.

Az erő munkát fejt ki, ha valamely tömeget s^m magasra emel, vagy valamely ellenállást s^m hosszú úton legyőz. Mindkét esetben a végzett munka egyenes aránybnn áll az erővel és a leirt úttal, azaz a munka: $M = p^{kg} . s^m$, ahol a munkát *kilogramm-méterekben* mérjük. A kilogramm-méter az 1 kg.-nak 1 m. magasra emelésénél végzett munka. Az erö munkája. Eleven erö.

Ha m tömeg s^m úton szabadon esik, munkaképességgel bír; ha ellenállásra akad munkát végez, miközben elveszti v sebességét. Azaz a:

$p = mg$; $s = \frac{1}{2} gt^2$ és $v = gt$ egyenletek alapján:

$p . s = \frac{1}{2} m . g^2 . t^2 = \frac{1}{2} mv^2$. Ezen $p^{kg} . s^m = \frac{1}{2} mv^2$

egyenlet azt fejezi ki, hogy a mozgó test munkaképessége $\frac{1}{2} mv^2$ s azt *eleven erőnek,* vagy a *mozgó test energiájának* nevezzük, megkülönböztetésül a *helyzeti energiá*-tól, mely m tömegnek s^m magasságban bírt munka-képességét jelenti. De a most megismert egyenlet még azt kifejezi, hogy az erő munkája nem veszett el, hanem az m tömegű testben mozgási-erélylyé alakult át. Ezt a nagy fontosságú általános természeti törvényt *Clausius* után *az energia-megmaradása* elvének hívjuk s úgy fogalmazhatjuk, hogy *a világegyetemben lévő energiák összege állandó.* E törvénynek a physikábau ugyanoly fontos szerepe van, mint a chemiában *az anyagmennyiség állandósága* elvének.

Mozgási erélylyel nemcsak az érzékeink utján észrevehető mozgó anyag, hanem a fény-, hő- és elektromos tüneményeknél fellépő acther-rezgések is bírnak. Helyzeti erélylyel bir a föld felszine fölé emelt test, a kihúzott aczélrúgó stb. Az energiafajták egymásba átalakithatók. *Mayer* Róbert felismerte és *Helmholtz* formulázta a törvényt, mely szerint: 1) a *különböző energia-fajok közös mértékkel* *mérhetők; 2) a világegyetemben lévő energiák összege változatlan.*

Az erő hatásképessége.

A munka nagysága csakis az erőtől és az úttól függ, arra az időnek nincs befolyása. Gyakorlati szempontból azonban nagyon is fontos, hogy pl. valamely gép mennyi idő alatt végez el valamely munkát. Az erőnek 1 mp. alatt kifejtett munkáját az erő *hatásképességének* (effectus) nevezzük, értvén alatta azt a munkát, melyet a kg. erő az időegységben kifejt, ha támadáspontja az erő irányában 1 m.-nyire haladt. A gépek hatásképességének egysége a *lóerő,* mely mp.-ként 75 kgm. munkának felel meg. Ha *H* jelenti a hatásképességet, akkor: $H = \frac{1}{75} \cdot \frac{p^{kg}\, s^{m}}{t} = \frac{1}{75} \cdot \frac{mv^2}{2t}$, ahol *t* a munka-végzésre felhasznált mp.-ekben kifejezett időt jelenti. Egy munkás-ember hatás-képességét $^1/_6$ lóerőre becsülik.

9. §. Az erők összetétele és szétbontása.

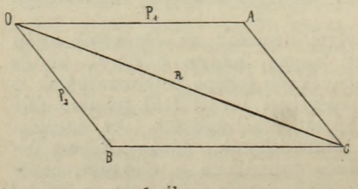
Az eredő-erő.

Ha egy anyagi pontra, vagy testre egyidejüleg több erő hat, mindig létezik egyetlen erő, mely önmagában ugyanazt a hatást képes előidézni, mint a többi együttvéve. Ez az *eredő-erő,* vagy *resultans;* a működő-erők az *összetevők,* vagy *componensek.* Azt az eljárást, melylyel az eredőt meghatározzuk, az *erők összetételének* mondjuk.

Az erők összetétele.

Az erők összetétele azon a mozgási-törvényen alapúl, hogy az együtt-működő erők hatása éppen akkora, mintha azok egymásután külön-külön működnének. Az eredő nagyságát szerkesztés és számítás utján lehet meghatározni.

Ha *O* (1. ábra) az erők támadáspontja, $OA = p_1$ és $OB = p_2$ az összetevők, akkor az *OA*-val párhuzamos *BC* és *OB*-vel párhuzamos *AC* egyeneseket huzván, *O A C B* parallelogrammát nyerjük s ennek $OC = R$ átlója lesz az eredő. (Az erő-parallelogramma tétele.)



1. ábra.

A megismert eljárás helyességét kisérletileg is lehet igazolni, ha a parallelogrammát és annak átlóját öt faléczből alkalmas módon összeállitjuk s az erőket csigákra alkalmazott, megfelelő súlyokkal helyettesitjük.

Az eredőt a két összetevőből s a közbezárt α szögből számitás utján következőképen nyerjük. *OBC* háromszögre *Carnot*-tételét alkalmazva lesz:

$$R^2 = p_1^2 + p_2^2 - 2\,p_1\,p_2 \cos OBC \sphericalangle;$$

$$OBC \sphericalangle = 180^0 - \alpha \text{ és } \cos(180^0 - \alpha) = -\cos\alpha;$$

tehát:

$$R^2 = p_1^2 + p_2^2 + 2p_1\,p_2 \cos\alpha.$$

Ha most: 1) $\alpha = 0^0$, akkor $\cos\alpha = 1$ és:

$$R^2 = p_1^2 + p_2^2 + 2p_1\,p_2;\ R = p_1 + p_2$$

2) $\alpha = 90^0$; $\cos\alpha = 0$ és $R = \sqrt{p_1^2 + p_2^2}$;

3) $\alpha = 180^0$; $\cos\alpha = -1$ és $R = p_1 - p_2$.

Ha ugyanazon támadási-pontra kettőnél több erő hat, akkor meghatározzuk előbb két erőnek az eredőjét, azután ez utóbbi és a harmadik erő eredőjét és így tovább. Az utoljára nyert lesz az összes erők eredője. Az ezen eljárás útján nyert idomot *erősokszögnek* (erőpolygon) nevezzük.

Közös támadási-ponttal biró erők *egyensúly*ban tartják egymást, ha eredőjük zérussal egyenlő.

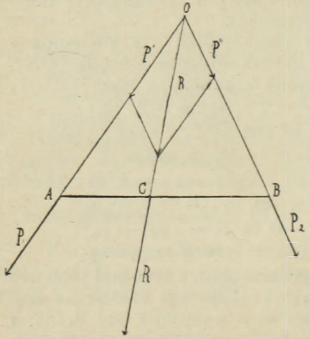
Az erők szétbontása.

Az erők nem csupán összetehetők, hanem szét is bonthatók; igy az *O* pontra ható *OC* erő oly két *OA* és *OB* erőre bontható szét, melyek nagysága és iránya az *OC* átlóhoz tartozó parallelogramma által van meghatározva. Minthogy *OC* átlóval biró parallelogramma végtelen sok lehetséges; azért hogy határozott legyen a feladat az összetevőkre nézve szigorúbb feltételeknek kell adva lenniök; igy ha ki van jelölve azok iránya, akkor ez által nagyságukra nézve is biztosan tájékoztatva vagyunk.

Különböző támadási ponttal biró erők összetétele.

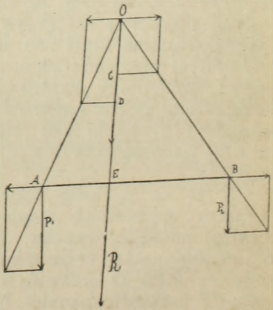
A p_1 és p_2 szög alatt működő erők (2. ábra) irányainak meghosszabbitásai *O* pontban metszik egymást. Az erők *A* és *B* támadáspontjai *O*-ba tehetők át, anélkül, hogy ez által az erőknek a szilárd testre gyakorolt hatásaik megváltoznának. Ha most p_1 és p_2 erőket *O* ponttól számitva lemérjük s megszerkesztjük az erő-parallelogrammát, akkor megkapjuk irány és nagyság szerint az *R* eredőt, melynek támadási pontját az eredő irányának tetszésszerinti, tehát *C* pontjába is áthelyezhetjük.

Ha p_1 és p_2 erők (3. ábra) párhuzamosak és egyenlő-irányúak, akkor az eredő megszerkesztésére A-tól balra éppen akkora segéderőt veszünk fel, mint B-től jobbra menő irányban. Ha azután p_1 és a hozzátartozó segéderő, majd p_2 és a hozzátartozó segéderő eredőjét megszerkesztjük, egymáshoz szög alatt hajló erőket nyerünk, melyeknek támadási pontjait a meghosszabbitásuk által nyert O metszési pontba tehetjük át. Itt lemérjük az eredőket s összetevőikre bontjuk. Ezek közül az O-tól jobbra és balra menők ellensúlyozzák egymást s igy csak OC és OD marad hátra, azaz p_1 és p_2, melyek egy irányban működvén $R = p_1 + p_2$ eredővel birnak. Most még ennek támadási-pontját teszszük át E-be s akkor megkapjuk irány és nagyság szerint a két párhuzamos, egyirányú erő eredőjét.



2. ábra.

A végzett szerkesztésből a következő — kisérletileg is igazolható — eredményeket nyerjük: 1. Az eredő az összetevők közül, a nagyobb erőhöz közelebb fekszik. 2. Az eredő a két összetevő *összegével* egyenlő. 3. Az eredő támadási pontja az erők támadási pontjait összekötő egyenesen oly helyen fekszik, melyre:



3. ábra

$$p_1 \cdot AE = p_2 \cdot BE.$$

Két párhuzamos de nem egy irányban ható p_1 és p_2 erő esetében, a segéd-erők felvételével végzett szerkesztés után az tűnik ki, hogy: 1. az eredő *kivül* fekszik az összetevőkön, mégpedig a nagyobbik erő irányában; 2. az eredő a két összetevő *különbségével* egyenlő; 3. az eredő E támadási pontja úgy fekszik az erők A és B támadási pontjait összekötő egyenesen, hogy: $p_1 . AE = p_2 . BE$.

Az erőpár.

Különböző támadási-pontokkal biró, párhuzamos, de ellentett irányu két erő *erőpárt* alkot. Ezek eredője 0 lévén, haladó mozgást nem hozhatnak létre, hanem csakis forgást.

A párhuzamos erők középpontja

Ha valamely testnek két $(A$ és $B)$ pontjában párhuzamos erők p_1 és p_2 hatnak, akkor az eredő (R) megtartja (E) támadási-pontjának helyét még abban az esetben is, ha a két erő irányát megváltoztatjuk ugyan, de oly módon, hogy azok azután is párhuzamosak maradjanak. Az erődő támadási pontját ezen tulajdonsága miatt *a párhuzamos erők középpontjának* hívjuk.

A forgató nyomaték.

Ha valamely test O pontjában alkalmazott tengely körül foroghat, akkor az O ponton átmenő erő nem képes a testet forgó mozgásba hozni. Más pontban ható erők forgató képessége pedig annál nagyobb, minél nagyobb az erő s minél távolabb van a támadási-pontja O-tól. Az erőnek a forgáspointtól mért merőleges távolságát az *erő karjának,* az erő és a kar szorzatát *forgató nyomatéknak* nevezzük. Ez utóbbi fejezi ki az erő forgató képességét. Több erő esetében a forgató képességet *az eredő forgató-nyomatéka* adja meg, ez pedig *az egyes erők forgató nyomatékainak algebrai összegével egyenlő.* A most kimondott tétel akkor is érvényes, ha azt egy síkban működő párhuzamos erőkre vonatkoztatjuk. Az erőpár esetében a forgató-nyomaték egyenlő a ható-erők egyikének és a két erő egymástól mért távolságának szorzatával.

10. §. A tömegközéppont vagy súlypont.

Tömegközéppont.

A párhuzamos erők hatásának legfontosabbja a természetben a nehézségi erőnek valamely testre gyakorolt vonzása. Amint láttuk (8. §.) a nehézségi erő az m tömegű testet mg erővel a föld középpontja felé vonzza. A testnek tehát egyes m_1. m_2, m_3 . . . tömegű részecskéire m_1g, m_2g, m_3g . . . (a földcentrum nagy távolsága miatt) párhuzamosaknak vehető erők hatnak. E párhuzamos erők eredője Σ (mg) a test *súlya;* annak támadási pontja pedig a test *tömeg-középpontja,* vagy *súlypontja.* A földnek a testekre gyakorolt hatása — az elmondottakból kitetszőleg — olyan, mintha a testek összes tömege a tömegközéppontban lenne egyesitve s a vonzó erő csakis ezt az egy pontot vonzaná. A tömeg-középponton átmenő egyeneseket *nehézségi-vonalak*nak hívjuk. A súlypontra ható erő a testet haladó mozgásra készteti. Az olyan erő mely nem megy át a súlyponton a testet a súlypont körül való forgásba s egyszersmind haladó mozgásba hozza.

A tömeg-középpont meghatározása.

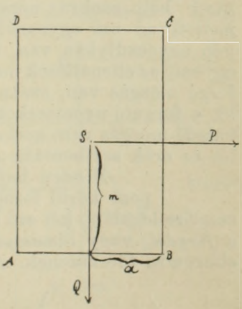
Valamely test tömeg-középpontját kisérleti uton olyképen határozhatjuk meg, hogy azt egymásután két nem átellenes pontban felfüggesztjük. Az e czélra használt fonalak meghosszabbitásai (nehézségi vonalak) a keresett ponton mennek át s így a súlypont csakis a két vonal metszési pontja lehet. Meghatározott geometriai alakkal biró, egyenlő sürüségü (homogen) testek tömeg-középpontját geometriai szerkesztés és számitás utján nyerhetjük. Igy az ilyen egyenes vonalé a felező pontban; a köré, vagy gömbé a centrumban; a háromszögé a szögpontokat az átellenes oldal felező-pontjaival összekötő egyenesek találkozási pontjában, a parallelogrammáé az átlók metszési pontjában van stb.

Az egyensúly esetei.

A föld a testeket úgy vonzza, mintha csak tömegközzéppontjaikat vonzaná s igy ezek mindig a legmélyebb helyzetet iparkodnak elfoglalni. (Hegynek futó kúp, lépcsőn ugráló chinai stb.) Ha tehát a testeket a nehézségi erő hatásával szemben egyensúlyban akarjuk tartani, súlypontjaik esését kell meggátolnunk, amit a test alátámasztása, vagy felfüggesztése által érhetünk el. Ilyenkor az egyensúly háromféle lehet és pedig: *biztos* (stabil), *ingatag* (labil) és *közömbös* (indifferens) a szerint, a mint a test egyensúly-helyzetéből kiforgatva ismét visszatér előbbi állásába, vagy leesik, vagy pedig bármely új helyzetben megmarad. Biztos egyensúlyban vannak a felfüggesztett testek, közömbösben a tengelyen levő kerék, vagy a síklapra helyezett golyó. Az úgynevezett *Cardan*-féle felfüggesztési-mód biztos egyensúlyban tartja a testeket még akkor is, ha azok támaszlapja, vagy felfüggesztési pontja mozog. Ezt alkalmazzák hajókon a lámpák, chronométerek, barométerek és compassok felfüggesztésére. Ingatag egyensúlyban lévő testeket esésükben az által lehet megakadályozni, ha arra törekszünk, hogy támasztó-pontjuk függőleges irányban maradjon a súlypont alatt. Ebben áll az *egyensúlyozás*. Az emberi test tömegközéppontja a második ágyék-csigolya táján van, csekély támasztó-lapja pedig a két talp közé eső terület.

A testek erős állása.

Azt a képességet, melylyel a testek helyzetüket a nehézségi erő hatása ellenében megtartják a testek *erős állásá*nak (stabilságának) nevezzük. Ezt azon erő *(p)* méri, mely a súlypontra vizszintes irányban hatva a testet labil egyensúlyba képes hozni. Ha *m* (4. ábra) a súlypont magassága a támaszlap fölött, *Q* a test súlya és *a* a merőleges súlyvonal távolsága az éltől, akkor a test stabilsága addig tart, míg $p \cdot m < Q \cdot a$. A test egyensúlya labillá lesz, amint $pm = Q.a$, azaz: $p = \frac{Q.a}{m}$.



4. ábra.

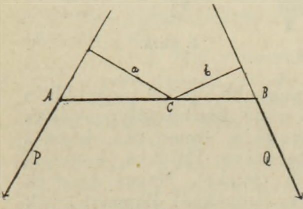
Ezen egyenlet szerint a test erős állása annál nagyobb, minél nagyobb a súlya, és támaszlapja s minél kisebb súlypontjának a támaszlaptól mért távolsága. Innen van, hogy a pyramisoknak nagy a stabilsága. Hajókba, kocsikba alul rakják a súlyosabb testeket. Magas tárgyak alapzatát szélesre készítik, lámpáknál ólommal öntik be, hogy a súlypont a lehető legmélyebbre kerüljön. Az ember stabilsága csekély támaszlapjánál fogva kisebb, mint a négylábú állatoké.

11. §. A gépekről.

Egyszerü és összetett gépek.

A mechanikában számbavett mozgató erőket bizonyos készülékek — *gépek* — közvetítésével használják fel az ellenállások és akadályok legyőzésére. A gépek a mellett, hogy kényelmet biztositanak, lehetővé teszik, hogy az erő valamely irányán kívül eső pontra is hatást gyakorolhasson, hogy kis erővel nagy ellenállást lehessen legyőzni (erő-gépek), vagy hogy valamely lassú mozgást gyorsabbá lehessen átalakítani. Megkülönböztetünk *egyszerű-* és *összetett-gépeket.* Az egyszerűek részei nem gépek; az összetettek egyszerű gépekből vannak egybeállítva. Az egyszerű gépek kétfélék, vagy *emelő-gépek,* ilyenek: az *emelő, csiga* és *hengerkerék,* vagy *lejtők;* ilyenek: a *lejtő, ék* és *csavar.* A gépeknél a mozgató erőt egyszerűen *erő*nek, az ellenállást *teher*nek hívjuk. Hogy a gépek működés-módját megitélhessük, ismernünk kell azokra nézve ama feltételeket, melyek mellett az erő egyensúlyt tart a teherrel. Valamely gép egyensúlyban van, ha a mozgató erők munkája egyenlő az ellenállások munkájával. Az emelő-gépeknél forgó mozgás van, ezeknél tehát az egyensúly feltételét a forgató-nyomatékok (9. §.) alapján; a lejtőknél haladó mozgás van, azoknál tehát az egyensúly feltételét az erők szétbontása alapján lehet meghatározni.

Az emelő. Minden hajlíthatlan rudat, mely szilárd pont körül foroghat, *emelő*nek nevezünk. Az emelőre legalább két erő (erő és teher) hat, melyek azt a *forgási,* vagy *támaszpont* körül ellenkező irányban elforgatni törekszenek. A forgás-pontból az erők irányára húzott merőlegeseket *emelő-karok*nak hivjuk. Az emelő *kétkarú,* ha forgás-pontja az erők támadási-pontjai közé esik, *egykarú,* ha azokon kívül fekszik. *Egyenes* az emelő, ha arra párhuzamos erők hatnak, különben *szögemelő* a neve. Egyensúly akkor van az emelőnél, ha a jobbra forgató erők forgató-hatása egyenlő a balra-forgatókéval. Ha AB (5. ábra) az emelő, C annak forgáspontja, a és b a karjai, akkor P erő és Q teher egyensúlyt tartanak, ha eredőjük a forgásponton megy át s akkor: $o = Pa - Qb$, azaz: $P \cdot a = Q \cdot b$, miből: $P : Q = b : a$. *Az emelőnél tehát egyensúly esetén az erő úgy aránylik a teherhez, mint megfordítva a karok.* E tételből folyólag emelő-

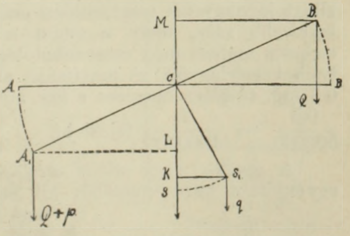


5. ábra.

vel kis erő nagy ellenállást tarthat egyensúlyban, ha az erő-karja annyiszor hosszabb a teher karjánál, a hányszor nagyobb a teher, mint az erő.

Kétkarú emelők: az emelő-rúd, a mérleg, olló, ásó, kulcs, fúró, kilincs, evező-lapát stb.; egykarúak: a targoncza, diótörő, szecskavágó, lábdeszka (az esztergánál) stb. Egykarú-emelőknek tekintendők az állati test csontjai is, melyeknél az izom erő igen közel hat a forgási-ponthoz. **Az emelő alkalmazása.**

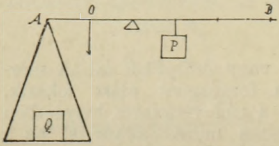
A mérlegek a testek tömegeinek súlyaik útján való meghatározására szolgálnak. A gyakorlati élet és a tudományos vizsgálódások szempontjából egyaránt fontos eszközök ezek. A *közönséges-*, vagy *kalmármérleg* kétkarú, egyenlőkarú, *C* pont körül forgatható emelőből, az úgynevezett *mérlegrúdból* *AB*, (6. ábra), az *A* és *B* pontokban felfüggesztett egyenlő súlyú két *mérlegserpenyőből* és a *C* pontban az u. n. *olló* közt alkalmazott *mérlegnyelv*, vagy *billegő*ből áll. A mérlegrúd *S* súlypontja a forgáspont alatt fekszik. Az elmondottak alapján a rúd vizszintes helyzetben van egyensúlyban s abban marad akkor is, ha a serpenyőkbe egyenlő súlyú tömegeket helyezünk, amit a billegő függélyes állása jelez. A jó mérleg kellékei a következők: 1) legyen a mérleg egyensúlya *biztos*, azaz olyan, hogy néhány lengés után visszatérjen eredeti helyzetébe. E czélból a mérlegrúd súlypontjának a forgási tengely alatt kell feküdnie; 2) legyen a mérleg *igaz*, azaz rúdja megterhelés nélkül, vagy egyenlő megterhelés mellett álljon vizszintesen. Ez a mérleg karok és serpenyők teljes egyenlősége mellett következik be; 3) legyen a mérleg *érzékeny*, azaz olyan, hogy egy kis *p* túlsúly az egyik serpenyőben már a nyelv jelentékeny kibillenését vonja maga után. Az érzékenység mértéke ama α szög, melylyel a rúd a túlsúly következtében, **A mérlegek.**



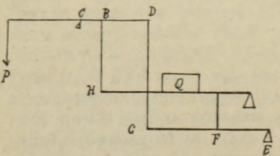
6. ábra.

a vizszintes iránytól eltér. Ha Q a terhek és serpenyők súlya, q a mérlegrúdé, l a rúd karja, akkor egyensúly esetében: $(Q+p) . A_1L = q . S_1K + Q . B_1M$.; $A_1L = B_1M = A_1C \cos\alpha = l . \cos\alpha$ és $S_1K = C_1S \sin\alpha = CS . \sin\alpha$; s igy: $(Q+p) . l . \cos\alpha = q . CS \sin\alpha + Q . l . \cos\alpha$; $\cos\alpha$-val való osztás után $\operatorname{tg}\alpha$, illetőleg helyette a szög kicsinysége miatt: $\alpha = p . \frac{l}{q . CS}$. Ezen egyenlet alapján kimondhatjuk, hogy valamely mérleg érzékenysége egyenes arányban áll a kar hosszával és fordított arányban a kar súlyával és súlypontjának a forgástengelytől mért távolságával. A mérleg érzékenységét oly valódi törttel fejezik ki, melynek nevezője a mérleg által elbírt legnagyobb megterhelés, számlálója pedig ama legkisebb súly, mely a rudat a legnagyobb megterhelés mellett még észrevehetőleg kitériti. Az analytikai mérleg 500 g. maximális megterhelésnél még 0·5 mg. túlsúlyt megérez s igy annak érzékenységét $\frac{0{\cdot}5}{500000} = \frac{1}{1000000}$ fejezi ki.

A *gyors-,* vagy *római mérleg* (7. ábra) kétkarú egyenlőtlen karú emelőből áll és nagyobb súlyok nem annyira túlpontos, mint inkább gyors lemérésére szolgál. Ha AB a mérleg rúdja O a forgáspont, akkor A-nál horog, vagy serpenyő szolgál a teher felvételére, a hosszabb karon pedig az úgy nevezett *körte* vagy *futó-súly* ide-oda mozgatható. A hosszabb kar beosztása a rövidebb kar hosszúsága alapján történik. A test súlya Q itt egyenlő a körte P súlyának a hosszabb karon leolvasható fok-számokkal való szorzatával.



7. ábra.



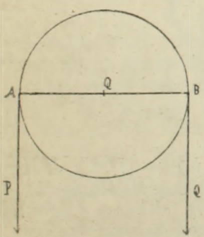
8. ábra.

A tizedes, vagy *hídmérleg.* (8. ábra). Ez egy kétkarú és két egykarú emelőből áll. A kétkarú emelő hosszabbik karján működik a *p* erő, a rövidebbik karja pedig oly két részre van osztva, hogy DC = 10 . BC, vagy DC = 100 . BC (tizedes, százados mérleg). A *B* pontból lefüggő pálcza egykarú emelővel van összekötve, melyre a teher felvételére szolgáló hídat alkalmazzák. Itt a teher a súly 10-szeresével, vagy 100-szorosával egyenlő.

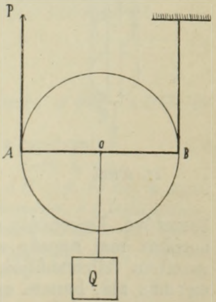
A csiga.

A *csiga* fából, vagy fémből készült korong, mely centrumán átmenő tengely körül foroghat, kerülete pedig kötél felvételére ki van vájva. A csiga lehet *álló,* ha tengely-körüli forgásán kivül más mozgást nem végez, vagy *mozgó,* ha a jelzett forgáson kivül még haladó mozgásban is vesz részt.

Az *álló csiga* (9. ábra) kétkarú, egyenlő karú emelő gyanánt tekinthető s így egyen-



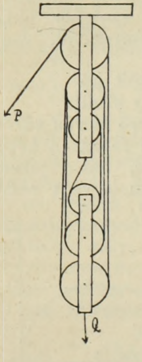
9. ábra.



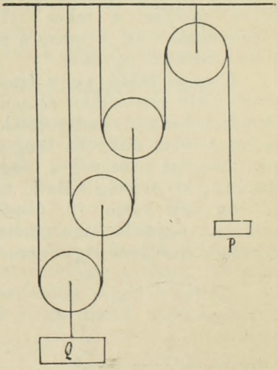
10 ábra.

súly akkor áll be e gépnél, ha az erő a teherrel egyenlő. Az ily csigánál tehát erőt nem takaríthatunk meg, csupán alkalmasabb irányt adhatunk annak.

Mozgó csigánál (10. ábra) a teher a hüvelyre van alkalmazva, az erő pedig a kötél szabad végén hat. Ez oly egykarú emelőül tekinthető, melynél *B* a forgáspont, *OB* a teher és *AB* az erő karja. Minthogy *AB* = 2 . *OB,* azért a kötelek párhuzamossága esetén, akkor áll be az egyensúly, ha az erő a teher felével egyenlő. — Az álló és mozgó csigát nem túlságos nagy terhek felemelésére használják, így pl. az építkezéseknél, a darúnál, a függő- és elektromos ívlámpáknál. Nagyobb terhek emelésére a *közönséges-* (11. ábra) és az *Archimedes-féle,* vagy *hatrány-csigasor* (12. ábra) szolgálhat. Az első annyi álló (n), mint mozgó csigából áll. Egyensúly esetén ennél az erő a tehernek $2n$-edik része. *Az Archimedes-féle csigasor* egy álló és több *(n)* mozgó csigából van



11. ábra.

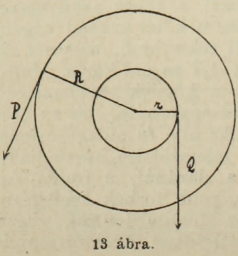


12. ábra.

összetéve. Egyensúly esetén itt: $P = Q : 2^n$. A csigasorokat mai napság már ritkábban alkalmazzák, ha azonban felhasználják is az elsőt, akkor a csigák nem egymás alá, hanem egymás mellé helyeztetnek.

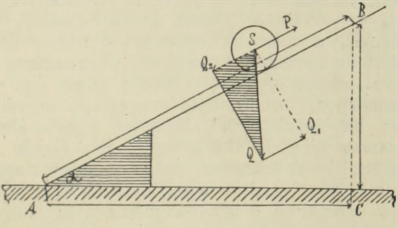
A hengerkerék.

A *hengerkerék* (13. ábra) hengerből és vele közös, szilárd tengely körül forgó kerékből áll. A kerék helyett néha csak a küllőket készítik el. Itt a teher a henger kerületén hat. Az emelőhöz viszonyitva, kétkarú, egyenlőtlen karú emelővel állunk szemben, ahol a henger sugara *r* a teher, s a kerék sugara *R* az erő karja. Egyensúly esetén tehát: $P : Q = r : R$ és $P = \frac{r}{R} . Q$. Minél kisebb tehát a henger és minél nagyobb a kerék sugara, annál kisebb erőt kell a teher egyensúlyozására alkalmaznunk. Több henger-



13 ábra.

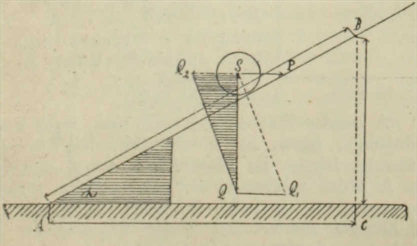
kerék összetétele a *kerékműre* vagy *kerékrendszerre* vezet. Ezen gép széles-körű alkalmazást talál, így: a gerendélynél, a bálványnál, a forgattyúnál, a lokomotiv hajtó kerekeinél, a vízikeréknél, a turbináknál,



14. ábra.

a szélmalmoknál, az óraműveknél; a szíj-, kötél- és fogaskeréktransmissióknál stb.

Lejtő, vagy *ferde sík* névvel a mechanikában oly szilárd lapot nevezünk, mely a vízszintessel hegyes szöget alkot. AB (14. ábra) a lejtő *hossza,* AC az *alapja,* BC a *magassága,* α a *hajlásszöge.* A $BC:AC$ hányados a lejtő *emelkedését* fejezi ki. A megfejtendő statikai feladat itt az, hogy mily feltétel A lejtő.

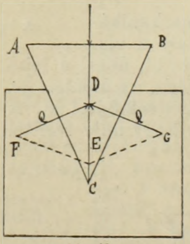


15. ábra.

mellett lesz a lejtőn fekvő test S súlypontjára ható P erő a test Q súlyával egyensúlyban? Hogy a kérdésre megfelelhessünk Q-t két összetevőre bontjuk. Ezek egyike Q_1 merőleges a lejtő hosszára s így az a teher mozgatására nem foly be, a másik Q_2 vagy a lejtő hosszával (14. ábra), vagy annak alapjával (15. ábra) párhuzamos $ABC \triangle \sim SQQ_2 \triangle$, miből: $Q_2 QS \sphericalangle = \alpha \sphericalangle$ s így: $SQ_2 = P = Q \cdot \sin \alpha$, illetőleg a 15. ábrában $SQ_2 = P = Q \cdot \operatorname{tg} \alpha$. Mivel $\sin \alpha = BC : AB$; $\operatorname{tg} \alpha = BC : AC$, azért az első esetben: $P : Q = BC : AB$, a második esetben: $P : Q = BC : AC$. Ha tehát az egyensúlyt tartó erő párhuzamos a lejtő hosszával, akkor egyensúly esetén az erő úgy aránylik a teherhez, mint a lejtő magassága annak hosszához; ha azonban a jelzett erő a lejtő alapjával párhuzamos irányú, akkor egyensúly esetén az erő úgy aránylik a teherhez, mint a lejtő magassága annak alapjához. Lejtőn a surlódás szintén gátolja a testeket esésükben s így valójában a kiszámitottnál még kisebb erő szükséges az egyensúly fentartására. Lejtők: a lajtorák, lépcsők, kocsi- és vasutak, a házfedelek stb.

Az ék.

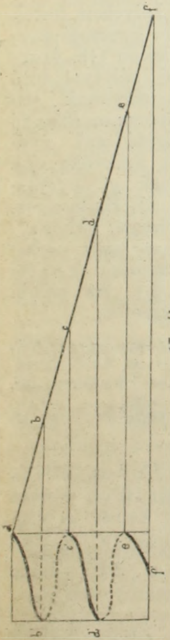
Az *ék* (16. ábra) kemény anyagból készült háromoldalú hasáb, melyet testrészek elválasztására, vagy statikai nyomás létesítésére használunk fel. *AB* az ék *háta, BC* az *oldala.* Az ék oly kettőslejtő, melynél az erő a lejtő alapjával párhuzamosan, a teher pedig a lejtőre merőlegesen hat. Egyensúly esetén tehát: $P : Q = AB : AC$. Az erő úgy aránylik a teherhez, mint az ék háta, annak oldalához. Ék: a kés, balta, szekercze, ásó, tű, szög, metszőfog stb.



16. ábra.

A csavar.

A *csavar* lényegében nem más, mint hengeren futó lejtő (17. ábra). Ha a csavarvonalon háromoldalú lap mozog, *hegyes,* ha négyoldalú, *lapos* csavart nyerünk. A külső felületén csavarral ellátott tömör henger *csavarorsót,* a belső felületén csavarral ellátott üres henger *csavartokot*, vagy *anyacsavart* képez. Orsó és tok együtt *csavarpárt* alkot. Az erő a csavarnál az alappal párhuzamosan, a teher pedig a csavar tengelyével párhuzamosan hat. Egyensúly esetén az erő úgy aránylik a teherhez, mint egy csavarmenet magassága az orsó kerületéhez. $P : Q = ac' : 2r\pi$. A csavar széleskörű alkalmazással bír. Igy: tartós nyomás előidézésére a papir, szőlő, olaj és könyvkötő sajtónál; nehéz terhek emelésére kocsiknál, vagy hajóknál; kis hosszúságok mérésére osztó gépeknél, a mikrométer és sphaerométernél, melyekkel vékony drótok és lapok vastagságát, a lapok valódi sík voltát, és a gömbi-görbületet tükröknél és lencséknél szokták meghatározni; finom mozgások eszközlésére stb. A *végnélküli csavart* a hajó-kormánynál, lassú mozgásnak gyorsra való átváltoztatásánál stb. alkalmazzák.



17. ábra.

Az energia megmaradásának elve a gépeknél.

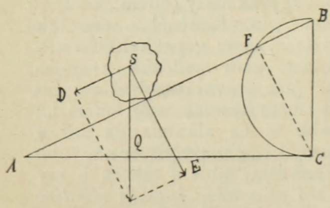
A munka, melyet valamely teher felemelésénél, vagy akadály (ellenállás) legyőzésénél végzünk ugyanaz, akár gépekkel közvetitjük azt, akár mellőzük a gépeket. Más szóval *gépekkel munkát nem takaríthatunk meg,* mert ha kisebb is az alkalmazott erő a tehernél, ugyanannyiszor nagyobb az erő útja, mint a teheré s így *az erő és a teher munkái mindenkor egyenlők.* De sőt a gépek — valóban létesitett mozgásnál — még a velük közlött munkát sem adhatják vissza teljesen, mert annak egy részét a géprészek surlódásának és a közeg-ellenállásának legyőzése emészti fel. Ez az oka, hogy a gépek *haszonmunkája* lényegesen kisebb, mint a velük közlött munka, hogy tehát a gépeknél tényleg munkaveszteség mutatkozik, s ez az oka annak is, hogy valamelyes *örökmozdony* (perpetuum mobile) szerkesztése, mint az energia megmaradása elvével ellenkező: merő képtelenség. Ám az elmondottak után is állithatjuk, hogy a gépek haszna mégis kiszámithatatlan, mert segítségükkel kényelemhez juthatunk, kis erővel nagy ellenállást győzhetünk le, lassú mozgást gyorsabbá változtathatunk át és a többi.

12. §. Mozgás előírt pályán.

Ha a test, melyre az erő hat nem szabad, akkor nem követheti az erő irányát, hanem *előírt pályán* mozog. Ilyen esettel állunk szemben a lejtőn való esésnél, az inga-mozgásnál és a középponti mozgásnál. Egyelőre a két elsővel fogunk foglalkozni.

Esés a lejtőn.

Esés a lejtőn. A lejtőre helyezett testek súlyuknál fogva egyenletesen gyorsuló mozgással esnek. Igy az ABC lejtőn (18. ábra) a Q súlylyal bíró test súlyának SD componense állandó mozgató erő gyanánt működik s a testnek g_1 gyorsulást ad. Ha m a test tömege, akkor: $SD = mg_1$; $= mg$ $sin\ \alpha$, mivel $Q = mg$ (8. §.). Az előbbi egyenletből:



18. ábra.

$g_1 = g \cdot \frac{BC}{AB}$. Az egyenletesen gyorsuló mozgás törvényei szerint tehát: $v = g \cdot \sin\alpha \cdot t$ és $s = \frac{1}{2} g \cdot \sin\alpha \cdot t^2$. *Galilei* ezen az alapon igazolta az egyenletesen gyorsuló mozgás törvényeit.

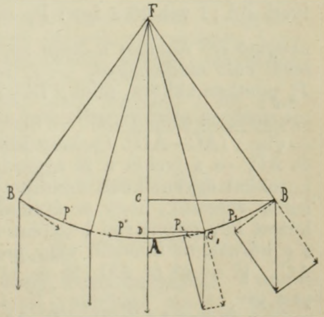
Az egyenlő végsebesség törvénye. A test a lejtő hosszán esve ugyanazon végsebességet éri el, mintha a lejtő magasságán szabadon esett volna. A végsebesség szabad esésnél (7. §.) $v = \sqrt{2g \cdot BC}$; a lejtő hosszán való esésnél $v_1 = \sqrt{2g \sin\alpha \cdot AB}$; ámde

$$\sin\alpha = \frac{BC}{AB} \text{ s így: } v_1 = \sqrt{2g\,AB \cdot \frac{BC}{AB}} = \sqrt{2g \cdot BC} = v.$$

Ez a törvény még a görbe vonal mentén való esésnél is érvényes. *Galilei* még azt is bebizonyította, hogy a test valamely kör átmérőjén éppen annyi idő alatt esik le, mint az átmérő egyes végpontjaiból kiinduló húrokon át. Mert ha BC (18. ábra) fölé a lejtőt F pontban metsző kört szerkesztünk, akkor a *BF* húron való esés idejének megkeresésére az $s = \frac{1}{2} g . \sin \alpha . t^2$ képletbe $s = BF = BC . \sin \alpha$—t irva, lesz: $BC . \sin \alpha = \frac{1}{2} g . \sin \alpha \, t^2$ s innen $t = \sqrt{\frac{2\,BC}{g}}$; ez azonban nem más, mint az átmérőn való esés ideje.

Ingamozgás.

Az inga mozgása. Minden súlyos testet, mely súlypontján kivül eső vizszintes tengely körül foroghat, *ingának* nevezünk. Az inga egyensúly helyzetéből kimozdítva *lengő mozgást* végez. Megkülönböztetünk *mathematikai* és *physikai ingát.* Az előbbinél a felfüggesztésre szolgáló fonalat súlytalannak tekintjük, ez utóbbinál annak súlyát is számitásba veszszük. Ha *AF* (19. ábra) ingát *FB* helyzetbe hozzuk és magára hagyjuk, az — *Q* — súlyánál fogva esni fog, még pedig nem az egész *Q-erő*, hanem annak csakis az érintő irányában haladó P_1 componense hat mozgatólag; a zsineg irányába eső componens csakis a zsineget feszíti. A P_1 erő következtében nyert sebességet az inga tehetetlenségénél fogva megtartja, ámde az állandó nehézségi erő következtében további — bár P_1-nél kisebb — P_2 mozgató erő hat reá. Egyensúly helyzete felé közeledve az inga, mindinkább kisebb gyorsulást nyer, mert a mozgató componens mindinkább kisebb, sőt az egyensúly-helyzetben éppen 0 lesz, de mert tehetetlenségénél fogva az előbb nyert sebességét megtartja, egyenlőtlenül gyorsulva maximális sebességgel érkezik *A* egyensúly-helyzetéig. Ezen ponton tehetetlenségénél fogva áthalad s azután egyenlőtlenül lassudva jut el B_1-ig. Itt nem lévén egyensúlyban, súlyánál fogva visszaesik, még pedig B_1-től *A*-ig egyenlőtlenül gyor-



19. ábra.

sulva, *A*-tól *B*-ig egyenlőtlenül lassúdva. Ezen időszakos (periodikus) mozgásnak folyton kellene tartania, de a surlódás és a közeg ellenállása előbb-utóbb nyugalomba téritik az ingát. A *B*-től B_1-ig való mozgást *lengés*nek (oscillatio), ennek idejét *lengési-időnek*, a nyugalmi állástél az egyensúly állásig mért távolságot *kilengésnek* (amplitudo) hívjuk.

Ha l az inga hossza s a kilengés 5^0-nál nem nagyobb, akkor a mozgató erő az inga bármely pontján a következő módon nyerhető: $P_1 = Q \,.\, \sin BQP_1 \sphericalangle = Q \sin BFA \sphericalangle = mg \,.\, \sin BFA \sphericalangle$. Ha BFA $\sphericalangle$ igen kicsiny, akkor annak sinusa helyett BA : l vehető s így: $P_1 = \frac{mg}{l} \,.\, BA$. Tehát *a mozgató erő arányos a lengő pontnak a nyugalmi helyzettől való távolságával.* — A sebesség bármely pl. P_2 pontban akkora, mint a BC_1 lejtőn, illetőleg a *CD* magasságon elért végsebesség, azaz: $v = \sqrt{2g \,.\, CD} = \sqrt{2g \,.\, (AC - AD)}$. Csekély kilengésnél az $AB = a$ és $AC_1 = x$ iveket a $2l$ sugarú körben a megfelelő hurokkal egyenlőknek tekinthetjük s ha még figyelembe veszszük, hogy az átmérő egyik végpontjából húzott húr geometriai középarányos az egész átmérő s a húrnak az átmérőn való projectiója közt, azaz: $AC \,.\, 2l = a^2$ és $AD \,.\, 2l = x^2$ akkor: $AC - AD = \frac{a^2 - x^2}{2l}$ és $v = \sqrt{\frac{g}{l}(a^2 - x^2)}$. Az egyensúlyhelyzetben $x = 0$ s akkor a maximális sebesség: $v = a\sqrt{\frac{g}{l}}$.

Hogy az inga lengési-idejét meghatározhassuk ama segédtételhez kell folyamodnunk, melynek alapján az ingamozgást (kis kilengésnél) úgy foghatjuk fel, mint valamely, az inga maximális $a\sqrt{\frac{g}{l}}$ sebességével körpályán egyenletesen mozgó pont vetületének az átmérőn való mozgását. (Huyghens). Ezen könnyen be is bizonyítható tétel alapján az egyenletes mozgásnál érvényes $t = s : c$ képlet alapján, mivel $s = a \,.\, \pi$ (a félkör kerülete), $c = a\sqrt{\frac{g}{l}}$, lesz: $t = \frac{a \,.\, \pi}{a\sqrt{\frac{g}{l}}}$ s innen: $t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$.

E képlet elemzése a következő törvényekre vezet:

1) Az inga lengési-ideje független a lengő test anyagi minőségétől;

2) A lengési-idő független — 5^0-nál nem nagyobb kilengéseknél — az amplitudótól; azaz más szóval: a lengések egyenlő idejüek (isochronok),

3) Két, a földfelület ugyanazon helyén lengő inga, lengési idői egyenes arányban állanak az ingahosszak négyzetgyökével: $t_1 : t_2 = \sqrt{l_1} : \sqrt{l_2}$; ellenben a lengési számok fordítva arányosak ugyanazon négyzetgyökökkel: $n_1 : n_2 = \sqrt{l_2} : \sqrt{l_1}$.

4) A nehézségi gyorsulások a földfelület különböző pontjain fordított arányban állanak az egyenlő hosszúságú ingák lengési időinek négyzetével, vagy egyenes arányban ugyanazok lengési számainak négyzetével: $g_1 : g_2 = t_2^2 : t_1^2 = n_1^2 : n_2^2$.

5) Az olyan ingát, mely lengéseit 1 mp. alatt végzi *másodpercz-ingának* hívjuk. Ennek hosszúsága különböző. Így az 50^0 alatt:

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}} = \frac{3\cdot1416}{\sqrt{9\cdot8092}} \cdot \sqrt{l} = 1\cdot00306 \,.\, \sqrt{l}; \text{ ha } t = 1,$$

$$\text{akkor: } l = \frac{1}{1\cdot00306^2} = 0\cdot994 \text{ m.}$$

A tehetetlenségi nyomaték. Említettük már, hogy forgó mozgásnál (7. §.) a forgás-tengelytől különböző távolságban lévő anyagi pontok különböző nagyságú utakat írnak le. Haladó mozgásnál a test egész tömegét a súlypontban egyesítve gondolhattuk, úgy hogy az egész test eleven ereje helyett a súlypontban egyesített tömeg $\frac{1}{2}\,mv^2$ eleven erejét vehettük számításba. Forgó mozgásnál az eleven erőt úgy kapjuk meg, hogy a különböző sebességgel biró anyagi pontok eleven erejét összeadjuk. Ha tehát a forgás-tengelyből $r, r_2, r_3 \ldots$ távolságban lévő pontok tömegei $m_1, m_2, m_3 \ldots$ sebességeik $c_1, c_2, c_3 \ldots$ akkor az összes E eleven erő:

$$E = \frac{1}{2} m_1 c_1^2 + \frac{1}{2} m_2 c_2^2 + \frac{1}{2} m_3 c_3^2 + \ldots$$

de mert a 7. §. szerint:

$$c_1 = r_1 \,.\, \omega, \; c_2 = r_2 \,.\, \omega, \; c_3 = r_3 \,.\, \omega \ldots$$

azért:

$$E = \frac{1}{2} m_1 r_1^2 \omega^2 + \frac{1}{2} m_2 r_2^2 \omega^2 + \frac{1}{2} m_3 . r_3^2 \omega^2 + \ldots;$$

$$E = (m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^2 + \ldots) \frac{\omega^2}{2}.$$

Ha a zárójelben foglalt tagokat: $\Sigma mr^2 = T$ jelöljük, lesz:

$$E = \frac{T . \omega^2}{2}.$$

A $T = \Sigma mr^2$ értéket a forgó test *tehetetlenségi-nyomatékának* nevezzük. Ez az $E = \frac{T\omega^2}{2}$ képlet alapján — az $\frac{mv^2}{2}$ kifejezéssel összehasonlitva — ω sebességgel biró tömeget jelent, mely a forgási tengelytől egységnyi távolságban forogva, ugyanolyan eleven erővel bír, mint maga a forgó test. A forgási nyomaték ilyformán nem más, mint a testnek egységnyi távolságú pontba redukált tömege. Könnyű belátni, hogy a tehetetlenségi-nyomaték legkisebb, ha a forgás-tengely a forgó test tömegközéppontján megy át és növekszik a részecskék távolságával. Oly gépeknél melyeknek egyenletesen kell járniok, nagy tehetetlenségi nyomatékkal biró nagy lenditő-kereket alkalmaznak. Az m tömegű drótgyűrű tehetetlenségi nyomatéka középpontján átmenő, síkjára merőleges forgástengelyre nézve: $T = mr^2$. Súlypontja körül forgó m tömegű, egyenlő sürűségű, r sugarú korong tehetetlenségi nyomatéka $\frac{1}{2}$ mr^2; m tömegű és l hosszúságú vékony pálczáé: $\frac{1}{3}$ ml^2 stb. A technikai mechanikában, sok esetben igen fontos a tehetetlenségi nyomatékok ismerete, azért azokat a különböző testekre vonatkozólag tabellákba foglalták össze.

A physikai inga. Minden test, mely súlypontján kivül fekvő ponton áthaladó vizszintes tengely körül foroghat, *physikai ingát* alkot. Az ilyen végtelen sok, különböző hosszúságu, oly mathematikai ingából összetettnek gondolható, melyek közül a rövidebbek — a szilárd kapcsolat folytán — a hosszabbak lengéseit gyorsitják, a hosszabbak pedig amazokéit lassitják. A gyorsított és lassított pontok között mindenesetre vannak olyanok is, melyek lengéseiket úgy végzik, mintha önállóan lengenének. Ezek a *lengési pontok*. Ezek közül azt, mely az egész inga súlypontján áthaladó, a forgás tengelyre merőlegesen álló síkban fekszik, *lengési középpont*nak hívjuk. A lengési középpontnak a súlyponttól mért távolságát a physikai inga *igazitott* (redukált) *hosszúságá*nak nevezzük. Ezt kisérletileg úgy határozhatjuk meg, hogy a physikai inga mellett egy (megközelítőleg) mathematikai ingát is lengésbe hozunk s ennek hosszúságát addig változtatjuk, mig a két inga lengési ideje egyenlő lesz.

A physikai inga redukált hosszúságát és lengési idejét a következő meggondolások alapján nyerjük. A physikai inga úgy leng, mint az l hosszúságú mathematikai inga. A mozgató erő itt $Q \cdot sin\, \alpha$, ha Q az egész test súlya, α pedig a kilengés szöge. Az egész lengő test eleven ereje annyi, mint oly T tömegé, mely a forgás-ponttól egységnyi távolságban van. Hogy a physikai ingát most egy mathematikaival helyettesíthessük, a T tömeget és az erő s (súlypont) támadási-pontját a P lengési középpontba kell átvinnünk, mégpedig oly módon, hogy az itt működő erő, az itt található tömeg súlyának $sin\, \alpha$-val való szorzatával legyen egyenlő. Ámde két tömeg, eleven erejükre való tekintettel, akkor helyettesitheti egymást, ha tehetetlenségi nyomatékuk egyenlő. Ha tehát a T tömeget 1 távolból l-be viszszük át, úgy számértéke valamely y lesz, melyre nézve:

$y \cdot l^2 = T \cdot 1$ azaz: $y = \frac{T}{l^2}$ s ezen tömeg súlya $= \frac{T}{l^2} \cdot g$.

Két erő pedig akkor helyettesitheti egymást, ha forgató (statikai) nyomatékuk egyenlő. Ha a az inga súlypontjának a forgástengelytől való távolsága, akkor az $Mg \cdot sin\, \alpha$ erő legnagyobb forgató-nyomatéka Mga; a $\frac{T}{l^2} \cdot g$ erőé pedig P pontban $\frac{T}{l^2}\, gl$. Es mert: $Mga = \frac{T}{l} \cdot g$, azért a physikai inga redukált hosszúsága: $l = \frac{T}{Ma}$; szavakban kifejezve: a physikai inga redukált hosszúságát megtaláljuk, ha tehetetlenségi nyomatékát elosztjuk tömegének legnagyobb forgatónyomatékával. A physikai inga lengési idejét pedig a: $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ képlet alapján nyerjük, ha l helyett a fentebb talált értéket helyettesitjük s így lesz:

$t = \pi \sqrt{\frac{T}{Mga}}$. Az összetett inga lengés-ideje ugyanaz marad, ha lengési középpontját forgási ponttá teszszük. Akkor a volt forgáspont lengési középponttá válik. Ezen alapszik a *Kater*-féle *megfordítható,* vagy *reversionális inga.*

A physikai inga alkalmazásai.

Az inga törvényeit *Galilei* (1602.) fedezte fel s azóta az a gyakorlati élet és tudományos buvárlat egyik legfontosabb eszközévé lett.

Legfontosabb alkalmazásainak egyike: *felhasználása az óramű szabályozására.* Az órasúly, mely az inga-óráknál hajtó-erő gyanánt működik, a tartó láncz felvételére szolgáló vizszintes hengert s az azon levő fogas-kereket forgatja. A súly esése folytán a henger egyenletesen gyorsuló mozgásba jönne, azonban a kerék fogai oly kampó horgas végeibe kapaszkodnak, mely az ingával összeköttetésben áll; s minthogy az inga lengései egyenlő-időközüek, úgy szabályozzák a kerék forgását, hogy az minden lengés után egy-egy foggal forduljon tovább. Az ingát azok a lökések tartják folytonos mozgásban, melyeket minden bekapaszkodás után a fogaskeréktől kap. A kerék a horgas kampóval együtt az *akadék-mű* (echappement). Az ingás órákat — amint látjuk — a nehézségi erő mozgatja és szabályozza. A legelső ingás-órát *Huyghens* hollandi tudós (1657.) szerkesztette. *Rugós óráknál* hajtó-erő gyanánt finom rugó működik, szabályozóul pedig a *billegő* (balance), mely az ingával azonos törvényeknek hódol. Legrégibb időmérők a *napórák* voltak, mégpedig kétféle alakban. A *gnomonnál* függélyesen áll az árnyékot vető bot, a tulajdonképeni *napóránál* az árnyékot vető pálcza a világtengelylyel párhuzamos irányban haladt. Ezeket a *vízórák* (klepshydra), a *homok-* és *higanyórák* követték. Az utóbbiakat *Tycho de Brache* (17. század) még használta. A *kerekes-órák* nyomaira a 11. században akadunk. A mű-toronyórák készítési ideje a 14. és 15. század. Az ingák felhasználását az időmérésnél *Galilei* tervezte legelőbb.

Az *ütenymérőnél* (metronom) az ingát a zenében szereplő időközök (ütemek) pontos megmérésére alkalmazzák.

Az ingát tudományos buvárlatokban is gyakorta felhasználják. Igy: a *nehézségi gyorsulásnak* s ez által a *nehézségi erőnek* meghatározására. A $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ képletből: $g = \frac{\pi^2 l}{t^2}$. A másodpercz ingánál $t = 1$ s igy: $g = \pi^2 . l$, a hol l a másodpercz-inga hosszúságát jelenti. A másodpercz inga hossza Párisra 0·9938 m. *(Borda.)* A nehézségi erő arányos a nehézségi gyorsulással.

Ingával számitható ki a *föld lapultsága* is, mert $g_1 : g_2 = r_1^2 : r_2^2$, ahol g_1 a nehézségi gyorsulást jelenti az egyenlítőn, g_2 a sarkoknál, r_1 a föld-sugár hosszát a sarkoknál, r_2 az egyenlítőnél.

Ingával igazolható *az általános tömegvonzás* és számitható ki *a föld sűrűsége. Cavendish* két kis fémgolyót fapálcza végeire erősített s az így elkészített eszközt finom ezüst-szálra függesztette. Ezen vizszintes ingának a közelébe hozott 3 mázsás ólomgolyók vonzása következtében észlelt lengéseiből kiszámitotta az alkalmazott tömegek vonzását. *Maskelyne* Skótországban a *Shehallien* hegynél a hegytömegnek a közelében felfüggesztett ingára gyakorolt vonzását állapitotta meg. *Airy* az ingának a föld felszinén s mintegy 400 m.-re a föld alatt végzett lengéseiből a föld középsűrűségét határozta meg s azt 6·5-nek találta. *Jolly* ugyanazt igen érzékeny készülékkel 5·59-nek találta. Legujabban *König* és *Richarz* határozták meg a föld középsűrűségét s annak értékét 5·51-ban állapitották meg. Mindeme meghatározásokból, tekintetbe véve, hogy a föld felső rétegeinek sűrűsége 2 és 3 közt váltakozik, az derül ki, hogy a föld belső rétegeinek jelentékeny nagyságú sűrűsége van.

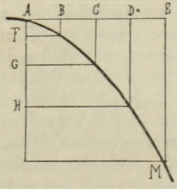
Foucault ingakisérletével, melyet először 1852-ben a párisi Pantheonban 67 m. hosszúságú s 28 kg. súlyú ingával végzett, *a föld tengely-körüli forgását* bizonyította be. A kisérlet alapjául a következő meggondolás szolgál. A szabadon lengő inga tehetetlenségénél fogva megtartja lengési síkját. Ha az északi sarkon lengő ingát gondolunk, akkor ha a föld valóban nyugatról keletre irányuló tengely-körüli forgást végez, az észlelőben, ki állását szilárdnak képzeli, az a látszat támad, mintha az inga lengési síkja kelet-nyugati irányban elfordulna és pedig 24 óra alatt egy teljes fordulattal. A látszatos elfordulás tehát 1 óra alatt 15°. Ha az ingát az egyenlitőn képzeljük lengésbe hozva, akkor az inga lengési síkja s a meridián is haladó mozgást végeznek, elfordulás tehát nem mutatkozik; ellenben a földfelület más pontján annál nagyobb az inga elfordulása, minél közelebb megyünk a sarkok felé. Ha valamely hely földrajzi szélessége φ, akkor az elfordulás nagysága óránként $15 . \sin \varphi$. Mindenütt, a hol *Foucault* kisérletét elvégezték az elfordulás nagyságát ezen értékkel megegyezőnek találták.

A föld tengely körül való forgásának még két bizonyítéka van; az első a leeső testnek nyugat-keleti irányban való eltérése a függélyes talppontjától, a második a passát-szeleknek az északi, illetőleg déli iránytól való eltérése.

13. §. Összetett mozgások.

Az elkajitott testek mozgása.

Ha valamely test pillanatnyi lökés folytán bizonyos sebességet nyer, s az ennek következtében beálló mozgása közben a nehézségi erő hatása alá kerül; akkor, ha a kétféle erő okozta egyenletes és egyenletesen gyorsuló mozgások irányai nem egy egyenesbe esnek, *görbevonalú pályával* biró összetett mozgás jön létre. A kétféle egyidejű mozgás összetétele a *mozgások parallelogrammájának* szerkesztése utján történik, ugyanolyan módon, mint az erők összetétele az erők parallelogrammája segítségével. Ilyen mozgásnál a nehézségi erők irányai párhuzamosak. Ha tehát a test *AE* irányában (20. ábra) egyenletesen, *AH* irányban egyenletesen gyorsulva mozog, az egyes másodperczeknek megfelelően megszerkesztve a mozgások parallelogrammáit, görbevonalú pályát nyerünk, melynek természetét vizsgálva, abban a *parábolát* ismerjük fel. A görbe pálya kis részét körnek tekinthetjük s az eme pálya-elemhez tartozó kör sugarát *görbületi sugárnak* nevezzük. A pálya bármely pontjához tartozó gyorsulásnak az illető ponthoz vont

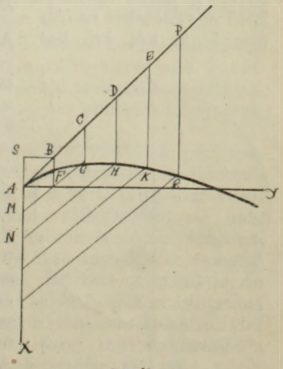


20. ábra.

érintőre való projectiója a *tangentialis,* a görbületi sugáron való projectiója a *normális-gyorsulást* adja.

A függélyesen lefelé hajtott test végsebessége: $v = c + gt$; leírt útja: $s = ct + \frac{1}{2} gt^2$. A függélyesen felfelé hajított testeknél e két értéket az egyes mozgások különbsége adja s így: $v = c - gt$; $s = ct - \frac{1}{2} gt^2$. Az utóbbi mozgásnál az elérhető legnagyobb magasságnál $v = o$ s így az emelkedés ideje: $t = \frac{c}{g}$. Ha ezt az értéket s képletébe helyettesítjük, lesz: $s = \frac{c^2}{2g}$ a legnagyobb magasság. Innen egyenletesen gyorsulva esik le a test, a miből az $s = \frac{1}{2} gt^2$ képlet alapján: $t = \sqrt{\frac{2s}{g}} = \frac{c}{g}$. Az esés ideje tehát éppen annyi, mint az emelkedésé. A végsebesség, melylyel az eső test a kiindulási ponthoz érkezik: $v = g \cdot \frac{c}{g} = c$, ugyanannyi, mint a feldobott test kezdetbeli sebessége. Ez különben egyszerü következménye a munka megmaradása elvének. — A vízszintesen elhajított testek parabola-alakú pályáját a levegő ellenállása nagyban módositja, úgy hogy az ilyen test a pálya végén csaknem függőlegesen esik lefelé (*ballistikus* görbe).

Ferde hajításnál a pálya megszerkesztése ugyanolyan elvek szerint történik, mint a vízszintes hajításnál. Ha tehát AP (21. ábra) a hajítás iránya, mely a vízszintes iránynyal *a emelkedési* (elevatio) *szöget* zár be; akkor AQ lesz a parabolikus pálya. A c hajitási-sebesség ekkor két melléksebességre bont-

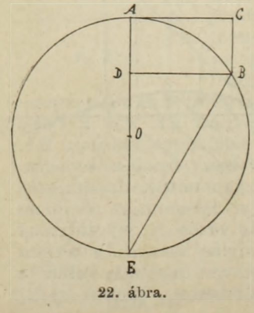


21. ábra.

ható, a vizszintes irányú $c \,.\, cos\, \alpha$-ra és a függélyes irányú $AS = c \,.\, sin\, \alpha$-ra. A vízszintes irányban leírt út: $y = c \,.\, cos\, \alpha \,.\, t$; ellenben függélyes irányban a test esése folytán a sebesség minden mp.-ben g-vel t idő alatt gt-vel csökken s így annak értéke t idő mulva: $v = c \,.\, sin\, \alpha - gt$ s a leírt út: $x = ct \,.\, \sin \alpha - \frac{1}{2} gt^2$. A test akkor szünik meg emelkedni, ha $v = o$, azaz: $t = \frac{c \,.\, \sin \alpha}{g}$. Az emelkedés magassága ezen t érték helyettesítése után: $x = \frac{c^2 \,.\, \sin^2 \alpha}{2g}$. Ez legnagyobb, ha $\alpha = 90^0$. A test a vízszintes síkba akkor érkezik, ha emelkedése $x = o$ s innen $t = \frac{2 \,.\, c \,.\, \sin \alpha}{g}$. A test a vízszintes síkban $c \,.\, \cos \,.\, \alpha \,.\, t_1$ távolságra jut. Ebbe $t_1 = \frac{2c \,.\, \sin \alpha}{g}$ értéket helyettesítve, a hajítási távolság $= \frac{c^2 \,.\, \sin 2\alpha}{g}$ s ez legnagyobb, ha $\alpha = 45^0$. A lapos hajítási-vonalakat a gyalogsági fegyverekkel és tábori ágyúkkal való lövésnél, a magasabb ívben hajlókat az ostromágyúkkal való lövésnél használják fel.

Középponti mozgás.

Ha az erő, mely a görbe pályán mozgó testre hat, állandó pont — az u. n. *középpont* — felé irányul, *középponti mozgás* jön létre. A pálya egyes pontjait a középponttal összekötő egyeneseket *radius vectorok*nak hívjuk. Az ilyen mozgásnál két erő hat. Az egyik — a *tangentiális* — a testet egyenes vonalban hajtja, a másik — a *középpontban működő* — azt az egyenes iránytól folyton eltéríti. Ez utóbbit *centripetál erő*nek nevezzük. A középponti mozgás a hajitás általánosabb esete gyanánt fogható fel, melynél nagyobb kezdetbeli sebesség mellett a kitérítő erők a hajításnál fellépő nehézségi erőktől eltérőleg nem párhuzamos irányúak. A centripetál erő, a test



22. ábra.

mozgás-irányát folyton megváltoztatja, ezzel szemben azt az ellenállást, melylyel a test tehetetlenségénél fogva ezen irány-változtatás ellen ellenszegül, *centrifugál erőnek* hívjuk. A testet e két erő tartja meg pályájában. A középponti mozgás legegyszerűbb esete az, mikor a test egyenletes sebességgel körben mozog; ilyenkor az állandó irány-változást előidéző erő maga is állandó. Igy ha az *m* tömegű test az *r* sugarú körben (22. ábra) mozog, mégpedig állandó *c* sebességgel, akkor magára hagyva *t* idő alatt AC $= ct$ utat írná le; a centrifugál erő következtében azonban *B*-be fog jutni s így az erő irányában $CB = AD$ utat írta le. Ha az erőt *P*-vel az általa létesített gyorsulást γ-val jelöljük, akkor $P = m\gamma$ és $AD = \frac{1}{2}\gamma t^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{P}{m} \cdot t^2$. Ha *t* értéke kicsiny, akkor *AB* ív helyett a húrt és *AC* helyett *AB*-t helyettesíthetjük és mert: $c^2t^2 = AD \cdot AE = \frac{1}{2} Pt^2 \cdot 2r : m$, azért: $P = \frac{mc^2}{r}$. A most nyert képlet akkor is érvényes, ha a pálya nem kör, hanem valamely más görbe vonal, csakhogy akkor *r* a görbületi kör sugarát jelenti. Ha körmozgásnál *T* jelenti a fordulati időt, úgy hogy: $cT = 2r\pi$, akkor $c = \frac{2r\pi}{T}$ és a centrifugál erő nagysága: $P = \frac{4r\pi^2}{T^2} \cdot m$. A centrifugál erő nem működik a forgó testre ható állandó erő gyanánt; az csupán a test ama törekvésének következménye, hogy egyenes vonalú mozgását megtartsa. Amint megszűnik a görbe pályán maradás kényszere, eltűnik a centrifugál erő is.

A centrifugál erő hatása nyilvánul a parittyánál, a centrifugál-szárító-, vizszivattyuzó-, szellőztető- és fuvó-készüléknél. Zsinegre kötött, félig vízzel telt pohárból a függélyes síkban való forgatásnál még akkor sem ömlik ki a víz, mikor a pohár szájával lefelé áll. A forgó kocsi-kerékre tapadt sár tangentiális irányban röpül tova. Körben vágtató ló és lovas, kerékpáros vagy korcsolyázó a kör centruma felé hajlik. Vasútak kanyarodásánál a külső sínt magasabbra építik. Gyorsan forgó malom-kerekek a széttörés veszélyének vannak kitéve.

Gyors forgások előidézésére a *centrifugális gép* szolgál. Leglényegesebb alkotó-része ennek a függélyes tengely, melyre különböző készülékek erősíthetők s melyet két u. n. végtelen szíjjal összekötött kerék segélyével gyors forgásba hozhatunk. Ha a tengelyre gömb-alakú üvegedényt erősítünk, melybe higanyt, vizet és olajat öntünk, akkor forgatás alkalmával a folyadékok a gömb egyenlítője táján helyezkednek el, mégpedig a külső övet a higany, a középsőt a víz, a belsőt az olaj alkotja, jeléül annak, hogy a centrifugál erő a tömeggel egyenes arányban áll. Vizszintes tengelyre helyezett, zsineggel összekötött, különböző tömegű két golyó a centrifugálgép forgása közben nyugalomban marad, ha a nagyobb golyó távolsága a centrumtól annyiszor kisebb, mint a hányszor kisebb tömegű a második golyó. Rugalmas lemezekből készített golyóváz forgásiellypsoiddá lesz a forgatott centrifugális gépen. Igy vette fel ellypsoid alakját tengelye körül forgó földünk is, mikor még folyékony állapotban volt. A gőzgépeknél alkalmazott *centrifugál-regulátor* a centrifugál-gépen annál tágabbra nyílik, minél nagyobb a forgási sebesség.

A szabad tengely.

Ha a forgó test tengelylyel bir, mely körül tömege symmetrikusan van elosztva; akkor a részecskék centrifugál-erői a tengelyt minden irányban egyenlően huzzák s így egymást kölcsönösen ellensúlyozzák. Az olyan tengelyt, melyre a centrifugál-erő semmi befolyást nem gyakorol, *szabad-tengely*nek nevezzük; mert ahhoz, hogy eredeti irányát megtarthassa, semmiféle erőt, vagy mechanikai készüléket sem kell alkalmaznunk. Szabad tengelylyel bír: a pörgettyű, a szabadon gördülő kerék, vagy pénzdarab; szabad tengelyek az égi testek tengelyei is. Ha a gyors forgásban lévő test tengelye *állandó* egyoldalú húzásnak van kitéve, a test nem követi annak irányát, hanem forgása mellett még egy mozgást vesz fel — *praecessio* — melynek következtében a forgástengely kúpfelületet ír le. Ha azonban a tengelyt kitérítő vonzás *nem állandó,* akkor a forgás-tengely még bizonyos ingadozást is mutat. Ezt a tüneményt *nutation*ak nevezzük. A föld tengelye a praecessio-kúpfelületet 25800 év alatt írja le. *(Platonikus* év.) A nutatio a holdvonzások különbözőségének eredménye. A felsorolt mozgás-tüneményeket kisérletileg *Bohnenberger* és *Fessel* forgó készülékével, a pörgettyüvel, *Magnus* polytropjával, vagy *Foucault* gyroskopjával tanulmányozhatjuk.

A nehézségi gyorsulás változásai.

Ha földünk tengelykörüli forgást nem végező homogen gömb lenne, a nehézségi gyorsulás a földfelület minden pontján egyenlő lenne. Igy azonban a nehézség nem más, mint a föld vonzásának és a centrifugál erőnek az eredője. E két erő az egyenlitőn ellentétes irányú s így ha g_a az ottani nehézségi gyorsulást, G a föld vonzásából származó gyorsulást, γ_a a centrifugál-gyorsulást jelenti, akkor: $g_a = G - \gamma_a$. Minthogy kisérleti meghatározásokból g_a = 9·7807 m., γ_a = 0·0339 m., azért $G = 9{\cdot}7807 + 0{\cdot}0339$. Az elmondottakból kitünik még az is, hogy az esetben, ha földünk forgási-sebessége 17-szerte nagyobb lenne, g_a = 0 értéket venne fel. A sarkok nem vesznek részt a forgásban, ott tehát a centrifugál-erő zérus, a nehézségi-gyorsulás azért ott a legnagyobb. A föld más helyeire nézve, a föld lapultságát is (1 : 289) figyelembe véve, a nehézségi gyorsulást a következő tapasztalaton alapuló képlet fejezi ki: $g = 9{\cdot}7807 + 0{\cdot}0508 \sin^2 \varphi$, ahol φ az illető hely földrajzi szélességét jelenti. *A föld lapultságát* feltüntető 1 : 289 azt az arányt fejezi ki, mely az egyenlitői és sarki földsugarak különbsége s az egyenlitői földsugár között létezik. A nehézségi gyorsulás módosítására még az a körülmény is befolyással bir, hogy a föld tömegének elosztása nem egyenletes.

Keppler törvényei.

A bolygók a nap körül igen kis excentricitással biró s így köröknek tekinthető ellipsisekben keringnek. Ezen keringés folytán centrifugál-erő jön létre, mely a bolygókat a naptól eltériteni törekszik. Minthogy azonban attól a bolygók nem térnek el, abból következik, hogy a nap a centrifugal erővel egyenlő nagyságú vonzást gyakorol a bolygókra. Ha tehát *m* a bolygó tömege, *R* a naptól való közép-távolsága, *T* a keringési ideje, akkor az említett vonzó-erő $P = \frac{m \cdot 4\pi^2 R}{T^2}$. *Keppler* a *Tycho de Brache* észleletei alapján három nevezetes törvényt állitott fel a bolygók mozgására vonatkozólag. Ezek a következők: 1) A bolygók pályái ellipsisek, melyeknek egyik gyújtó-pontjában van a nap. 2) A radius rectorok által egyenlő időközökben súrolt területek egyenlők. Ennek következményeként a bolygók napközelben (perihelium) nagyobb sebességgel mozognak, mint naptávolban (aphelinm). 3) A bolygók keringési időinek négyzetei úgy aránylanak, mint naptól való középtávolságaik köbei. Ha a különböző bolygók távolságai: R_1, R_2, R_3 . . ., keringési időik: T_1, T_2, T_3 . . . akkor: $\frac{R_1^3}{T_1^2} = \frac{R_2^3}{T_2^2} = \frac{R_3^3}{T_3^2} = \ldots = C$. A bolygók mozgása a nap tömegétől függ, ha ez más lenne R és T is megváltoznának s azért C helyett $K . M$ irható, ahol M a nap tömegét jelenti s akkor: $\frac{m . 4\pi^2 R^3}{T^2} = \frac{m . 4\pi^2 . K . M}{R^2} = G . \frac{Mm}{R^2}$. Tehát a nap tömegének

Általános tömegvonzás

a bolygó tömegére gyakorolt vonzása *a tömegekkel egyenes, a távolság négyzetével fordított arányban áll.* A világtér két tömegének vonzását kifejező eme nevezetes törvényt a *gravitatio-törvényének*, a vonzó-erőt *általános tömegvonzásnak* (gravitatio) nevezzük. *Keppler* első és második törvénye olyan középponti mozgásoknál is érvényes, ahol a középpont felé irányuló erők nem állnak forditott arányban a távolság négyzetével. A vonzást földi tömegeknél *nehézség*nek nevezzük, ez abban nyilvánul, hogy a testek a föld középpontja felé törekszenek esni. A nehézségnek az általános tömegvonzással való azonosságát *Newton* igazolta, a következő módon. A föld körül kering a gravitatio-törvénynek megfelelőleg a hold, a mennyiben tömegegysége a földtől $a = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$ centripetálgyorsulást nyer, hol R a hold távolsága a föld centrumától, T pedig a hold keringési ideje. A föld felületén lévő tömegegység, mely a centrumtól r (földsugár) távolságban van g gyorsulást kap. Ha a nehézség azonos a gravitatióval, akkor a gyorsulásoknak fordított arányban kell állaniok a föld centrumtól mért távolságaik négyzeteivel, azaz: $a : g = r^2 : R^2$. És ez az egyenlet valóban igaz, mert $R = 60r$, $T = 27$ nap 7 óra 43 percz $= 39343 \times 60$ másodpercz, a föld kerülete: $2r\pi = 40{,}000.000$ m. s így:

$$a = \frac{4\pi^2 . R}{T^2} = \frac{2r\pi . 2\pi . 60}{T^2} = \frac{40{,}000.000 . 2\pi . 60}{39343^2 . 60^2} =$$

$= 0{\cdot}002706$ m. A fenti $a : g = r^2 : (60r)^2$ aránylatból következik, hogy : $g = a . 60^2 = 9{\cdot}74$ m., ami *g* kisérletileg nyert értékével eléggé megegyezik. A földi tömegek közt működő vonzást *Cavendish* kisérlete igazolja. (12. §.) *Tehát általában a nehéz testek vonzása a tömegekkel egyenes, a távolság négyzetével forditott arányban áll.* Ezen általános törvénynél fogva a tenger felszine fölé emelkedve csökken a földi nehézség értéke *Newton* bebizonyitotta még azt is, hogy az olyan égitest, mely bizonyos kezdetbeli sebességgel bir s melyre a távolság négyzetével forditott arányban csökkenő erő hat, kúpszelet pályán mozog. Hogy ez a pálya kör, ellipsis, parabola, vagy hyperbola-e, azt az égitest kezdetben birt sebessége szabja meg. A holdnak a tengerek viztömegére gyakorolt vonzásán alapszik az *árapály* tüneménye.

A Kant-Laplace-féle hypothesis.

A bolygók mozgását *Kopernikus Miklós* a 16. század kezdetén ismerte fel középponti mozgásokul. Az előtt a *Ptolemaeus*-féle (geocentrikus) rendszer volt elfogadva, melyet ő *„Almagest"* czimen ismert művében fejt ki. E szerint a föld az éggömb centrumát foglalja el s körülte keringnek keletnyugati irányban az égitestek. *Kopernikus* szerint az éggömb centruma a nap s e körül egyenletesen keringnek köralakú pályákban a bolygók. *Keppler* nem birta megegyeztetni *Tycho de Brache*nak a Marsra vonatkozó, 35 éven át végzett megfigyeléseit *Kopernikus* elméletével s így azt a már előadott módon megváltoztatta. Végül *Newton* volt az, a ki dynamikai alapra fektette *Keppler* törvényeit, megismertetvén az erőket, melyek a bolygókat pályáikban tovább hajtják.

A bolygók mozgásának elméletével kapcsolatban megemlitjük a naprendszerünk keletkezésére vonatkozó *Kant-Laplace*-féle hypothesist is. E szerint a nap, az összes bolygó-tömegekkel együtt hajdan egységes, magas hőmérsékletű, igen finom gáznemű, nyugat-keleti irányban forgó ködtömeget alkotott, melynek terjedelme jóval nagyobb volt a naprendszer most elfoglalt terjedelménél. E gáztömeg összehúzódásánál az egyenlitőnél fellépő legnagyobb centrifugálerő gáztömegeket választott el, melyek egyrészt az egész tömeg magja — a nap — körül keringtek, másrészt tengely-körüli forgást végeztek. Az igy levált tömegekből képződtek a bolygók s ezek közt földünk is. — Naprendszerünkhöz a következő égitestek tartoznak. A *nap,* ennek tömege 800-szorta nagyobb a rendszerhez tartozó egyéb égi testek együttes tömegénél; a 4 belső bolygó, ezek: *Mercur, Venus, Föld* (1 holddal), *Mars* (2 holddal); a *planetoidák* (asteroidák), melyek közül az elsőt „*Ceres*"-t 1801-ben fedezték fel s azóta 436 ilyen testnek a pályáját ismerték meg; a 4 külső bolygó, ezek: *Jupiter* (5 holddal), *Saturnus* (8 holddal és 1 gyűrűvel), *Uranus* (4 holddal), *Neptun* (1 holddal); az *üstökösök* és *meteorok* ismeretlen nagy száma; *az állatövi fény,* melynek physikai sajátságait még nem ismerjük; nálunk mint gyengén világító fénykúp csak ritkán látható, mégpedig napnyugta után a nyugati, vagy napkelte előtt a keleti szemhatár fölött, az egyenlítő táján pompás fénytüneményül naponta mutatkozik.

14. §. Az ütközésről.

Egyenes ütközés.

Az *ütközés* ama kölcsönös hatás, melyet két mozgó, vagy egy mozgó és egy nyugvó test, a találkozás pillanatában egymásra gyakorol. Az érintkező felület-elemekre húzott merőleges iránya az ütközés irányát adja. Ha ez a két test súlypontján megy át, az ütközést *centralisnak,* különben *excentrikusnak* mondjuk. Ha a mozgás iránya az ütközés irányával összeesik, akkor az ütközést *egyenesnek,* ha azonban az emlitett irányok szöget zárnak be, *ferdének* nevezzük. Az ütközésnél fellépő erők meghatározására ama physikai axioma szolgál, hogy: *minden hatásnak vele egyenlő ellenhatás felel meg.*

Rugalmatlan golyók ütközése.

Ha M és m a két ütköző teljesen rugalmatlan golyó tömege, C és c a sebességeik, akkor a nagyobb sebességű golyó addig nyomja a kisebb sebességűt, mig közös u sebességet nyernek. Ha $C > u > c$, akkor az első test mozgásmennyiségében $m\,(u - c)$ nyereség, a másikéban $M\,(C - u)$ veszteség mutatkozik és mert: $M\,(C - u) = m\,(u - c)$; azért: $u = \frac{MC + mc}{M + m}$. Ha a mozgó testek ellentétes irányúak, akkor: $u = \frac{MC - mc}{M + m}$. Lehetséges most hogy: 1) a két golyó egyenlő tömegű, azaz: $M = m$, akkor: $u = \frac{C \pm c}{2}$; 2) a két golyó egyenlő tömegű, de az egyik az ütközés előtt nyugalomban van, akkor $M = m$, $c = 0$ és $u = \frac{C}{2}$; 3) a nyugvó test tömege M végtelelen nagy az ütköző test m tömegéhez képest, akkor: $u = 0$. Tehát ha teljesen rugalmatlan golyó szilárd falba ütközik, nyugalomba jön az ütközés után. Ha figyelembe veszszük, hogy:

$$M(C - u) = m(u - c) \text{ és } \frac{C+u}{2} > \frac{u+c}{2},$$

akkor: $$\frac{M}{2}(c^2 - u^2) > \frac{m}{2}(u^2 - c^2),$$

vagy: $$\frac{Mc^2}{2} + \frac{mc^2}{2} > \frac{u^2}{2}(M+m).$$

Ez azt jelenti, hogy a teljesen rugalmatlan golyók ütközés előtt bírt eleven ereje nagyobb, mint az ütközés utáni. Az eltünt eleven erő, mint meleg, vagy mint az ütköző testek deformatiójának oka jelentkezik.

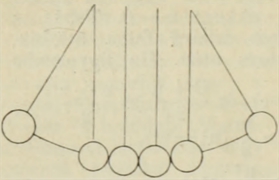
Rugalmas golyók ütközése.

A tökéletesen rugalmas golyók ütközés után bírt u közös sebessége ugyanazon értékkel bír, mint fentebb. Azonban a golyók közt az ütközésnél fellépő nyomás megváltoztatja mindkét test alakját és sebességét; az első golyó sebességében $u - c$ nyereség, a hátulsóéban $C - u$ veszteség mutatkozik. Amint azonban a két test kölcsönös nyomása megszünik, fellép a rugalmasság ellenhatása, melynek következtében a két test ugyanazon erővel törekszik előbb birt alakjának visszanyerésére, mint a mekkora erővel deformatiójuk történt. Az első golyó tehát visszanyomja a hátulsót, minek következtében az sebességében ismét $C - u$ veszteséget szenved; egyidejüleg nyomást gyakorol a hátulsó golyó az elsőre, minek következtében annak sebességében megint $u - c$ nyereség mutatkozik. Jelölje V és v az M és m tömegek ütközés után birt sebességét, akkor:

$$V = C - 2(C - u) = 2u - C;$$
$$v = c + 2(u - c) = 2u - c;$$

ahol: $$u = \frac{MC + mc}{M + m}.$$

Ilyfajta ütközésnél a következő különös esetek lehetségesek: 1) $M = m$, akkor: $V = c$ és $v = C$, egyenlő tömegű, ugyanazon irányban mozgó rugalmas golyók ütközés után megcserélt sebességgel haladnak tova; 2) $M = m$, $c = o$, akkor: $V = o$ és $v = C$, a nyugvó golyó ütközés után felveszi az ütköző sebességét, emez pedig nyugalomba jön. (A 23. ábrában feltüntetett golyó-sorban csakis az utolsó golyó mozdúl ki. *Mariotte* ütközés-gépe); 3) $C = o$, $M = \infty$, akkor: $v = -c$; azaz rugalmas falba merőlegesen ütköző rugalmas golyó ugyanazon sebességgel tér ellenkező irányban vissza; 4) ha a testek ellentétes irányban mozognak, akkor c negativ és igy: $V = 2n - C$; $v = 2n + c$ és $n = \frac{MC - mc}{M + m}$. Ha most $M = m$, akkor: $V = -c$ és $v = C$. A sebesség mellett a golyók még irányaikat is kicserélik az ütközés után.



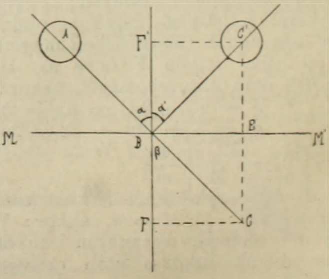
23. ábra.

Az $m(v-c) = M(C-V)$ és $\frac{v+c}{2} = \frac{C+V}{2}$ egyenletekből: $\frac{m}{2}(v^2-c^2) = \frac{M}{2}(C^2 - V^2)$, vagy: $\frac{mv^2}{2} + \frac{MV^2}{2} = \frac{MC^2}{2} + \frac{mc^2}{2}$.

Tökéletesen rugalmas golyók ütközésénél *eleven erőben* nem mutatkozik semmi veszteség sem.

Ferde ütközés.

Ha valamely golyó AB irányban (24. ábra) MM' falba ütközik, akkor BC sebességét BE és BF componensekre bonthatjuk. Ha a golyó és a fal rugalmatlan, akkor BF componenst a fal ellenállása megsemmisíti s a golyó BE sebességgel halad tova az MM' síkon. Ha azonban úgy a golyó, mint a fal rugalmasak, ak-



24. ábra.

kor BF az ütközés pillanatában megsemmisül ugyan, de a rugalmasság folytán nyomban előtünik, mégpedig ellentétes irányban. Ha $BF' = BF$ és BC' a BE és BF' resultansa, úgy ez utóbbi adja a golyó mozgásának az ütközés után való sebességét és irányát. A mozgás irányának ilyszerű megváltozását *visszaverődésnek* nevezzük. BF' egyenest *beesési függélyesnek* $ABF' \measuredangle = \alpha$ szöget a *beesés szögének*, $F'BC' = \alpha'$ szöget a *visszaverődés szögének* hívjuk. Minthogy $BC'F' \triangle \cong BCF \triangle$-el azért: $\alpha = \beta' = \alpha'$. Tehát ha rugalmas golyó rugalmas falba ütközik, a visszaverődés szöge egyenlő a beesési szöggel s egyszersmind az ezen szögek által meghatározott síkok egybeesnek.

15. §. A mozgás akadályai.

A mozgás akadálya gyanánt főként a *súrlódás*, a *közeg ellenállása* és a *kötelek merevsége* jön számitásba.

Súrlódás akkor áll elő, ha valamely testnek egy másik felületén kell mozognia; alapját a súrlódó felületek egyenetlenségeiben találja s úgy tekintendő, mint a mozgást gátló ellenállás. *Csúsztatási* és *gördülési súrlódást* különböztetünk meg. A súrlódásra vonatkozólag *Coulomb* és *Morin* a következő törvényeket állitották fel: 1) A súrlódás arányosan nő az érintkező felületekre gyakorolt nyomással; a súrlódás és a nyomás hányadosát *súrlódási coefficiens*nek hívjuk, 2) a súrlódás nagyobb a mozgás megindúltakor, mint mozgás közben; 3) független a súrlódó felületek nagyságától; 4) nem nagy sebesség mellett független a sebességtől is; 5) egynemű anyagok közt nagyobb, mint nem egynemüek közt, feltéve, hogy az utóbbiak keménysége nem nagyon eltérő; 6) a gördülő súrlódás kisebb, mint a csusztatási, azért emezt gyakorta helyettesitik az elsővel. A súrlódást alkalmas kenőcsökkel, így fémeknél olajjal, fánál fagyaggal, szappannal és graphittal csökkentik. A súrlódás növelése gyakran előnyös is lehet, így: a kerékkötésnél, járásnál, bejegesedett síneknél stb. Súrlódás.

A mozgás levegőben, vagy vízben történik. *A közeg ellenállásának* oka ama sebesség, melyet a közeg részecskéi a mozgó testtől nyernek. Nagysága függ: 1) a közeg sűrűségétől, A közeg ellenállása.

tehát vizben tetemesebb, mint levegőben; 2) a mozgó test sebességétől, sok esetben annak négyzetével arányos; 3) a mozgó test alakjától és a test súlyának az ellenálló felülethez való arányától. Tollak csak lassan esnek a levegőben, a vízgőzök lebegve maradnak ott, a hajók, madarak alakja ékhez hasonló; a közeg ellenállását felhasználják a vitorláknál, ejtő ernyőnél, az evezésnél, úszásnál stb.

A kötelek merevsége.

A kötelek merevsége szintén mint mozgási akadály működik; ennek oka azon ellenállásban rejlik, melyet a kötelek meghajlitásuk, vagy megnyújtásuk ellenében kifejtenek. Ezen ellenállás egyenes arányban áll a megterheléssel és a kötél keresztmetszetével, ellenben forditott arányban azon csiga, vagy henger sugarával, melyre a kötelet csavarják. Új kötelek általában merevebbek, mint a régiek.

b) A folyékony testek mechanikája.

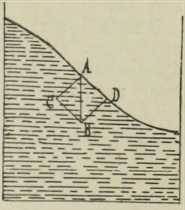
16. §. **Alaptulajdonságok.**

Alaptulajdonságok.

A folyadékok oly *súlyos testek,* melyeknél a molekulák közt működő *vonzó* erők csak csekély mértékben múlják felűl a *taszító*-erőket. A folyékony testek kis tömegekben mindig, nagyobb tömegekben pedig, ha külső-erők a molekuláris erők hatását nem befolyásolják, *gömbalakot* vesznek fel. (*Plateau* kisérletei.) A folyékony testek részecskéi felette *gördülékenyek,* azaz egymástól könynyen, úgyszólván erő felhasználása nélkül eltolhatók. Minthogy a molekulák közt lévő távolságok igen kicsinyek, azért *a folyadékok csak csekély mértékben nyomhatók össze.* Régen azt hitték, hogy azok térfogata egyáltalában nem csökkenthető. *Canton* (1763) mutatta meg a víz összenyomhatóságát, majd később *Oersted piezométerével* pontosabb eredményekhez jutottak: *Regnault, Colladon* és *Sturm;* ujabban pedig igen nagy nyomások alkalmazásával *Cailletet.* A nyomás megszüntével a folyadékok teljesen visszanyerik eredeti térfogatukat és sűrűségüket. (*Térfogati ruganyosság.*)

A folyadék szabad felszine.

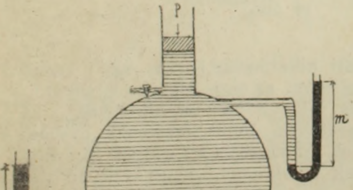
Ezen tulajdonságokból következik, hogy *a folyadékok a tartó-edény alakját veszik fel* s ha ezen edények elég tágasak, akkor *a* *folyadék szabad felszine csak úgy lehet egyensúlyban, ha merőlegesen áll az egyes részecskékre ható erők eredőjére.* Legyen AB (25. ábra) az A részecskére ható erők eredője, akkor ezt két componensre bonthatjuk fel, melyek közül AC merőleges a felületre, AD pedig azzal párhuzamos, AC a folyadék ellennyomása folytán megsemmisül, AD pedig tovamozdítja a könnyen gördülő folyadék-részecskét s ez mindaddig tart, mig a folyadék szabad felszine (niveau), vagy tükre az eredőre nem áll merőlegesen. Kisebb tömegeknél tehát *vizszintes* a nyugvó folyadék felülete; tengereknél az eredő-erők (nehézségi erők) már nem tekinthetők párhuzamosaknak s így a tengerek felszine olyan gömbfelület, melynek centruma a föld középpontjába esik.



25. ábra.

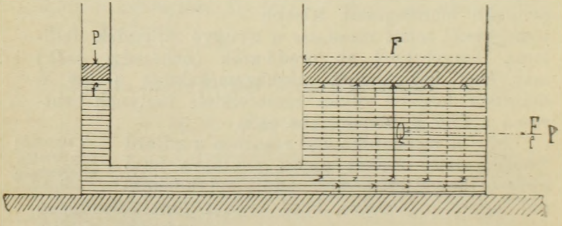
A nyomás egyenletes elterjedése.

Mig a mechanika első részében a szilárd testekre ható erőket egyes pontokra ható erőkkel helyettesithettük, addig folyadékoknál egyes *felületekre* ható erőket kell számitásba vennünk; ezeket *nyomó-erőknek,* vagy egyszerűen *nyomásoknak* nevezzük s a felület-egységre merőlegesen ható erővel mérjük. A nyomás, melyet a minden oldalról zárt folyadéktömeg felületére gyakorolunk, a részecskék szabad mozgása folytán minden irányban egyenletesen terjed tova (26. ábr.). Ennek következ-



26. ábra.

tében az egyenlő területekre gyakorolt nyomások egyenlők, a különböző nagyságú területekre ható nyomások a területekkel arányosak. *(Pascal).* Ezen alapszik *Bramah hydraulikus sajtója* (1795). A készülék alapelve a következő: Az f felületű dugattyúra (27. ábra) gyakorolt P nyomás a folyadékban egyenletesen terjed tova s így az n-szer nagyobb F dugattyúra ható folyadék-nyomás n-szer lesz nagyobb, azaz: $Q = n \,.\, P$. Pascal törvénye szerint: $P : Q = f : F = d^2 : D^2$, ha d a kisebb, D a nagyobb henger-alakú dugattyú átmérője. A munka megmaradása elvéből azonban könnyű belátnunk, hogy a nagyobb dugattyú mozgása igen lassú lesz a kisebbéhez viszonyítva. *Bramah* sajtója



27. ábra.

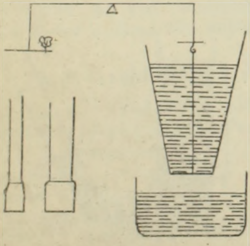
széleskörű gyakorlati alkalmazást nyer. Igy: széna és gyapju összesajtolására, az olaj-, stearin- és gummigyártásnál, ón- és ólomcsövek előállításánál, az elektromos kábelvezetékek ólomköpenyének gyártásánál, gőzszekrények és vizvezetéki csövek kipróbálásánál, nagy terhek emelésénél, gépgyárakban stb.

17. §. A folyadék nehézségéből származó nyomás.

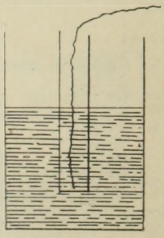
A hydrostatikai nyomás.

Edényekbe öntött folyadékok nehézségüknél és részecskéik gördülékenységénél fogva minden irányú ugynevezett *hydrostatikai nyomást* gyakorolnak és pedig: *fenéknyomást* a vízszintes felületekre, felülről lefelé; *oldalnyomást* az edény oldalfalaira; *felfeléható nyomást,* vagy *felhajtást,* vizszintes felületekre alulról fölfelé.

A hydrostatikai nyomás nagysága — P — függ: 1) a nyomott felület nagyságától — a —; 2) a nyomott felület súlypontjának a folyadék-tükörtől mért távolságától — m — amit *nyomás-magasságnak* is nevezünk és 3) a folyadék fajsúlyától — f —. A hydrostatikai nyomás nagyságát tehát a $P = a \, . \, m \, . \, f$ képlet fejezi ki. A megismert törvényből kitetszőleg a nyomás nagysága független a folyadék-mennyiségétől és az edény alakjától, azaz kevés folyadékkal a körülmények kellő megválasztása mellett ugyanakkora nyomást lehet kifejteni, mint valamely nagyobb folyadék-tömeggel. Ezen, *Pascal* által kisérletileg igazolt tényt *hydrostatikai paradoxon*nak nevezzük s igazolására *Pascal mérlegét* használjuk



28. ábra.

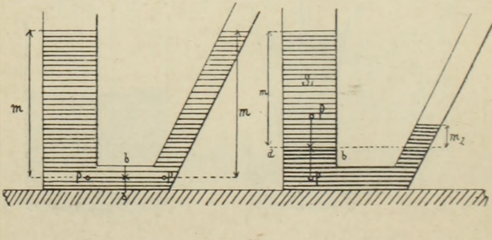


29. ábra.

fel, melynél a különböző alakú edények (28. ábra) egyenlő nagyságú, alsó nyilásait a mérleg egyik karján lefüggő rézkorong zárja el. Ha az egymásután felhelyezett edényekben, egyenlő magasan áll a folyadék, akkor a fenéknyomás ellensúlyozására mindig egyenlő súlyt kell a mérlegserpenyőn alkalmazni, tekintet nélkül arra, hogy az edények alakjának különbözősége folytán egyszer nagyobb, másszor kisebb a nyomást kifejtő folyadék-mennyiség.

Oldalnyomásnál a nyomó-erő támadás-pontját a *nyomás középpontjának* hívjuk s ez mindig mélyebben fekszik, mint az oldallap-súlypontja. Az oldalnyomás a mélységgel arányosan nő, de az oldalak átellenes egyenlő magasságú részei egyenlő nyomásoknak vannak kitéve. Ha tehát a folyadék az egyik oldalon nyilásra talál, ott megszünik az oldalnyomás, ellenben a szemközt lévő oldalon mint *visszahatás* (reactio) működik. Ezt észleljük a *Segner*-féle *keréknél,* melynek elve a *Whitelaw*-féle, vagy *skót-túrbináknál* talál alkalmazást.

A *felhajtó-erőt* oly üveg-hengerrel (29. ábra) mutathatjuk meg, melynek feneke gyanánt vele össze nem függő, de szorosan hozzá nyomható rézkorong szolgál. A rézkorong középpontjára erősitett zsinegen lóg. Folyadékba mártva elengedhetjük a zsineget, mert a folyadék felhajtó ereje odaszorítja a rézkorongot az üvegcső aljához, úgy hogy a csőbe nem jut be a folyadék. Ha most a csőbe felülről ugyanolyan folyadékot öntünk, a korong mindaddig megtartja azt, a mig a belső oszlop felszine el nem éri a külső niveau-



30. ábra.

magasságot. Ekkor azonban a korong saját súlyánál fogva leesik. A *felhajtó-erő* tehát *egyenlő a korongon nyugvó folyadék-oszlop fenék-nyomásával.*

Közlekedő edények.

Közlekedő edényeknek azokat nevezzük, melyeknek ágait közös cső köti össze. Ezekben a folyadék csakis akkor lehet egyensúlyban, ha a közös csőben bármely folyadék-rétegre mindkét oldalról egyenlő nyomás hat. Ha tehát a a két-ágú közlekedő cső (30. ábra) ágaiban ugyanazon folyadék van, akkor egyensúly csak akkor lehetséges, ha az egyes ágakban egyenlő a folyadék-oszlopok magassága. Ha ugyanis a nyomott réteg felülete a, a folyadék fajsúlya f, az egyes ágakban lévő folyadék-magasságok m és m', akkor az egyensúly feltétele : $amf = am'f$, azaz : $m = m'$.

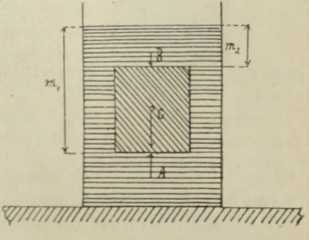
Ha azonban az egyes ágakba nem keveredő, különböző fajsúlyú folyadékokat, pl. vizet és higanyt öntünk, akkor egyensúly esetén az egyes ágakban a folyadék magasságok fordított arányban állanak a fajsúlyokkal, mert akkor az egyensúly feltétele: $am'f' = amf$, azaz: $mf = m'f'$, honnan: $m : m' = f' : f$. A közlekedő edények törvévyén alapszanak: a nivellálásnál alkalmazott *csatornamérlegek,* a vivezetékek, az artézi- és szökőkutak, a források stb. A margitszigeti artézi kútnál 118·5 m mélységből 43·8° C. hőmérsékletű viz 9·5 m magasságra szökik. Vizbősége naponként 56·800 hl. A városligetinél a viz 970·5 m mélységből 13·5 m. magasra tör, hőmérséklete 73·8° C, bősége 7370 hl. naponként.

A hydrostatikai nyomást felhasználják, mint hajtó-erőt a vizi mótoroknál, növény kivonatok készitésére a *Real*-féle sajtónál stb.

18. §. Archimedes elve. A testek uszása.

Archimedes elve.

Ha a folyadékban oldhatatlan szilárd testet folyadékba mártjuk, arra minden irányból hydrostatikai nyomások hatnak, melyek közül az ellenkező irányú, egyenlő nagyságú oldalnyomások ellensúlyozzák egymást, ellenben a fenék- és felfelé ható függélyes irányú nyomások felfelé irányuló eredőre — a *felhajtásra* — vezetnek. Ennek nagyságát a 31. ábra alapján, ha f a folyadék fajsúlya és a a nyomott lap területe: $A—B$ jelenti, és: $A—B = f\,(m_1—m_2)\,.\,a = Gf$. Ez azonban nem más, mint a test által kiszorított folyadékmennyiség súlya s mivel ezen eredő felfelé irányúl, ennyivel mutatkozik könnyebbnek a folyadékba mártott szilárd test. Ennek alapján kimondhatjuk, hogy: *A folyadékba mártott test abban annyival mutatkozik könnyebbnek, a mennyi az általa kiszorított folyadéktömeg súlya.* Ezen

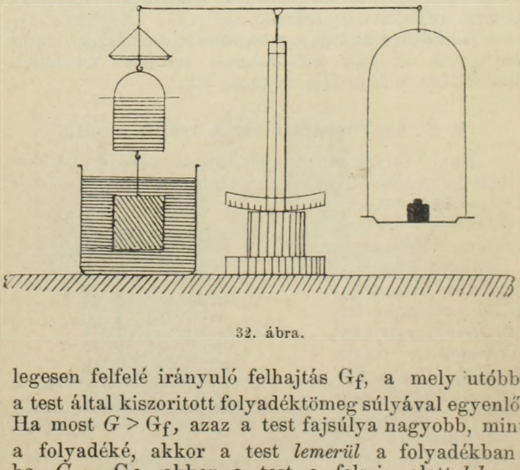


31. ábra.

törvényt *Archimedes* ismerte fel legelőször s azért ő róla nevezték azt el. Kisérleti igazolására a *hydrostatikai mérleg* (32. ábra) szolgál, mely annyiban tér el a közönséges mérlegtől, hogy az egyik serpenyő helyett oly tömör rézhenger függ le a mérlegkaron, mely a föléje akasztott üres hengerbe éppen beleillik. Ha a tömör hengert vizbe meritjük, megbomlik a mérleg egyensúlya, de ismét helyreáll, mikor az üres hengert vízzel megtöltöttük.

A testek úszása.

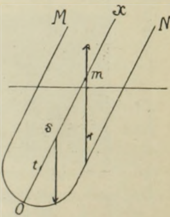
Láthatjuk tehát, hogy a folyadékba merült testekre két erő hat: a testek függőlegesen lefelé irányuló súlya G s a függő-



32. ábra.

legesen felfelé irányuló felhajtás G_f, a mely utóbbi a test által kiszoritott folyadéktömeg súlyával egyenlő. Ha most $G > G_f$, azaz a test fajsúlya nagyobb, mint a folyadéké, akkor a test *lemerül* a folyadékban; ha $G = G_f$, akkor a test a felszin alatt *lebeg* a folyadékban, ha pedig $G < G_f$ akkor a test mindaddig emelkedik a folyadékban, amig súlya egyenlő lesz az általa kiszorított test súlyával, azaz a test *úszik* a folyadékon. (*Cartesi* buvár.) Az úszó testnek a folyadékból kiálló része annál kisebb lesz, minél kisebb a folyadék fajsúlya. Ha a test térfogatát súlyához képest oly nagyra választjuk, hogy a kiszorított folyadéktömeg súlya nagyobb legyen, mint a testé, akkor a folyadéknál nagyobb fajsúlyú test is úszhatik azon; így pl. ezt látjuk a vizen úszó vashajóknál. A nehezebb test úszhatik a vizen még akkor is, ha a víznél jelentékenyen csekélyebb fajsúlyú testtel van összekötve; ezt látjuk a jegen úszó kőnél, fán úszó fémnél, úszó hólyaggal ellátott embernél stb.

Az úszó test egyensúlyban van, ha súlypontja és az általa kiszorított folyadék súlypontja ugyanazon függélyes vonalba esik. Ezt a vonalat *úszási tengelynek* nevezzük. Ha az úszó testet kimozdítjuk egyensúlyhelyzetéből (33. ábra) akkor az úszási tengely ferde helyzetbe jut; a test súlypontja eredeti helyzetében megmarad; ellenben a felhajtó erő támadási pontja *r* pontba kerül. Az ezen pontban húzott merőlegesnek az úszási tengelylyel való átmetszési pontját (*m*) *metacentrum*nak nevezzük. Ha ez magasabban fekszik, mint az úszó test súlypontja, akkor a test egyensúlya *biztos,* ha a metacentrum a súlypont alá kerül, akkor az úszó test egyensúlya *ingatag;* ellenben ha a két pont egybeesik, akkor az egyensúly *közömbös.* Az úszó test annál biztosabb egyensúlyban van minél mélyebben fekszik a súlypontja. Az elmondottakat különösen a hajók épitésénél és megterhelésénél kell figyelembe venni. A testek úszásán alapszik a *libella* (vizszinmutató), a mely a vizszintes síkok kijelölésére szolgál. Sárgaréztokba foglalt, vizzel, vagy borszeszszel megtöltött üvegcső ez, mely akkor áll vizszintesen, ha a benne hagyott légbuborék a cső közepén foglal helyet.



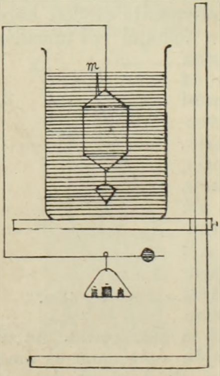
33. ábra.

19. §. A szilárd és folyékony testek sűrűsége.

Szilárd testek sűrűsége.

A testek *absolut sűrűsége* alatt tömegük és térfogatuk hányadosát értjük. A *relativ sűrűséget* pedig úgy kapjuk meg, ha a test súlyát elosztjuk az egyenlő térfogatú viz súlyával. A testtel egyenlő térfogatú viz súlyának meghatározását *Archimedes*-törvénye alapján végezhetjük, mert ez a testnek vízben szenvedett súlyveszteségével egyenlő. A szilárd testek relativ sűrűsége meghatározható: 1) *A hydrostatikai mérleggel.* E czélból a mérleg kis serpenyőjére, finom szálra felfüggesztjük az illető testet s meghatározzuk a levegőben bírt súlyát (Q). Ezután vízbe mártjuk s a megbomlott egyensúlyt a serpenyőbe helyezett q súlylyal helyreállitjuk. q lesz a testtel egyenlő térfogatú viz súlya s igy a test viszonlagos sűrűsége: $d = Q : q$.

2) Ha a testből csak kis darab áll rendelkezésünkre, — a *pyknométert* — ezt a vékony falú kis üveget használjuk fel a viszonylagos sűrűség maghatározására; a pyknométert vízzel megtöltve a testtel együtt a mérlegre helyezzük s a mérleget egyensúlyba hozzuk. Most a testet a kis üvegbe teszszük, a kiszorított vizet gondosan letörüljük s az ismételt leméresnél az egyensúly létesítésére szolgáló q túlsúlyban megkapjuk a kiszorított víz súlyát.



34. ábra

3) Egy harmadik módszer a relativ sűrűség meghatározására az úszáson alapszik s ennél mérleg helyett *Nicholson* areométerét (34. ábra) használjuk fel. Ez teljesen zárt pléh- vagy üvegedény, mely alul meg van terhelve, hogy biztosan úszszék. A súlyok felvételére szolgáló csészébe bizonyes kis q súlyt kell helyezni, hogy a készülék vizben m állandó jegyig lemerüljön. Ha a testet is a csészébe teszszük, ezt a czélt már q_1 súly alkalmazásával elérjük; igy tehát $q - q_1$ a test súlya. Most a testet a henger alján lévő kis kosárkába teszszük s ez által az q_2 súlyveszteséget mutat, tehát q_2 súly teendő a külső csészébe, hogy a készülék ismét m-ig süppedjen a víz alá. A test relativ sűrűsége ilyformán: $d = \frac{q - q_1}{q_2}$. Vizben olvadó testnél oly folyadékot használunk, melyben a test nem olvad. Az eme folyadékra vonatkozó sűrűséget a folyadék sűrűségével szorozva, a test vizre vonatkoztatott sűrűségét nyerjük.

A folyadékok sűrűségét ugyanazon módszerekkel határozhatjuk meg. A *hydrostatikai mérlegre* üveghengert akasztunk s meghatározzuk annak súlyveszteségét az illető folyadékban, majd vízben. E kettő hányadosa a keresett sűrűség. *Pyknométerrel* úgy járunk el, hogy azt előbb az illető folyadékkal, majd vízzel töltjük meg s lemérjük a folyadékok súlyát. Ezek hányadosában nyerjük a keresett sűrűséget. Ha a *Nicholson*-féle mérleget, melynek Q a súlya a vízben q, más folyadékban q_1 meriti le a jegyig, akkor a folyadék sűrűsége: $d = \frac{Q + q_1}{Q + q}$. A folyadékok sűrűségének meghatározására szolgálnak még a *skálás-areométerek* is. A *volumétereк* fokai azt mutatják, milyen mélyre merülnek alá a készülékek a különböző folyadékokban. Üvegcsövek ezek, melyek alul, a biztos úszás czéljából, higanynyal vannak megterhelve s melyeknek azon pontja, a meddig vízben alámerülnek 100-zal van megjelölve s az ez alá eső darab 100 egyenlő részre van beosztva. A folyadék sűrűségét $a : d : 1 = 100 : n$ aránylat adja, a hol n azon fokot jelenti, a meddig a készülék az illető folyadékban alámerül. A *densiméterek* közvetlenül a folyadékok keresett sűrűségét mutatják. Ezek skáláját úgy készítik, hogy a készüléket egymás után, ismert sűrűségű folyadékokba mártják s reájegyzik az illető sűrűséget. A *perezentes areométerek* azt a térfogat-százalékot mutatják a mennyit valamely oldat, vagy keverék egy bizonyos anyagból tartalmaz. Igy a *Tralles*-féle alkoholométer megadja, hány térfogat-százalék tiszta alkohol van a kereskedésben használt borszesz és vizkeverékben. *Balling* saccharométere súlyokban adja a czukoroldatban foglalt czukor százalékát 0—28%-ig. Végre vannak még egészen önkényesen választott skálával biró areométerek; így a *Beaumé*-félék, ezeket sűrűségek összehasonlitására használhatjuk.

A folyadékok sűrűsége.

20. §. A molekuláris erők hatása a folyadékoknál.

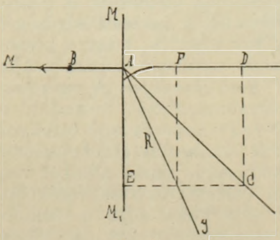
Valamely folyadék csak akkor lehet nyugalomban, ha a molekuláris erők, melyek valamely a folyadék belsejében foglalt molekulára hatnak, egymás hatását kölcsönösen megsemmisitik. Az egyes molekulák vonzásai bizonyos kis r

A felszin feszültsége.

sugarú gömbökre, a *hatás-gömbökre* terjednek ki· Ha most valamely molekula közel a folyadék szabad felszine alatt fekszik, akkor hatás-gömbjének egy része kivül esik a felszinen s a vonzásokból oly eredő marad fenn, a mely a molekulát a folyadék belseje felé húzza. Ezen eredő hatása abban nyilvánul, hogy a felszinen, vagy annak közelében fekvő molekulák nyomást gyakorolnak az alantabb fekvőkre. Ezt a nyomást *felszinfeszültség*nek nevezzük. Olyanforma hatás ez, mintha a folyadék szabad felülete kifeszített *ruganyos hártyá*val lenne bevonva, melyen oly testek is fenmaradhatnak, melyeknek súlyuknál fogva le kellene merülniök. (Zsirral bekent varrótű megmarad a folyadék felszinén.) A felszinfeszültség függ a folyadékok anyagi minőségétől és a felszin alakjától. Domború felszin mellett nagyobb, mintha a felszin vizszintes, s legkisebb, ha a felszin homorú. Minél domborúbb a felszin, annál nagyobb s minél homorúbb, annál kisebb a felszinfeszültség. (Szappanbuborék.)

Az edényfalak befolyása a felszin alakjára.

Az adhaesio következtében a folyadék felszine az edény-falak mellett nem lesz vizszintes. Ha az adhaesio az edény fala és a folyadék molekulái közt nagyobb, mint a folyadék részecskék cohaesiója, akkor a folyadék megnedvesíti az edény falát, az adhaesio positiv munkát végez, a felszin homorú lesz. Ha ellenben a folyadék-molekulák cohaesiója túlnyomó, akkor a folyadék nem nedvesíti meg az edény falát, az adhaesio negativ munkát végez s a felszin domború alakot nyer az edény fala mellett. Igy ha az A molekulát veszszük figyelembe (35. ábra), arra a symmetrikusan elosztott molekulák cohaesiója a szögfelező AC irányban hat. Az adhaesio következtében az MM' fal AB erővel vonzza a részecskét. A kettő eredője R szabja meg a fal mellett a folyadék felszinalakját, mert a felszin arra merőlegesen helyezkedik el. Ha tehát az

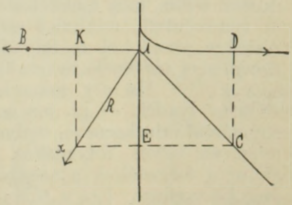


35. abra.

AC erőt két AE és AD componensra bontjuk, akkor: ha $AD = AB$ a felszin vizszintes marad, mert reá csak a nehézségi erő irányába eső AE componens hat. — Ha $AD > AB$, akkor az erők különbsége $AD—AB = AF$ az AE componenssel az Ay irányú eredőre vezet, tehát a felszin domború lesz. — Ha végre $AD < AB$, úgy $AB—AD = AK$, a mely AE-vel (36. ábra) az Ax irányú eredőt adja s a felszin homorú alakot vesz fel.

Hajcsövesség.

Ha vizzel telt edénybe mindkét oldalán nyitott szűk üvegcsövet merítünk, akkor a közlekedő edények törvénye szerint a belső folyadék-niveaunak síknak és olyan magasnak kellene lennie, mint a külső edényben. Azonban azt találjuk, hogy a belső folyadék-oszlop magasabb lesz, mint a külső s homorú felszínnel bír. Ezt a tüneményt *hajcsövességnek* (capillaritas) nevezzük s magyarázatát abban találjuk, hogy a tapadás nagyobb a víz és üveg közt, mint a vízrészecskék cohaesiója s így a víz megnedvesíti az üveget s homorú felszint mutat; ámde homorú felszin mellett kisebb a felszín-nyomás, mint a külső edényben, a hol sík-alakú a felület; egyensúly tehát csakis akkor állhat be, ha a cső belsejében addig emelkedik a folyadék, amig annak súlya a felület csekélyebb feszültségét helyrepótolja. Minél szűkebb a cső, annál homorúbb a belső felület s annál nagyobb a *capillaris elevatio,* a mely utóbbi a hajcső átmérőjével fordított arányban áll. Ha viz helyett higanyba mártjuk a hajcsövet, akkor a higany és üveg tapadása kisebb lévén a higany molekulák közt működő cohaesiónál, a felszin domború lesz s minthogy az ilyen felszin feszültsége nagyobb, mint a külső sík felületé, azért egyensúly csak akkor állhat be, ha a higany addig sülyed a belső csőben, mig a domborúságából eredő feszültséget a külső folyadék nyomása ellensúlyozni birja. Ezen *capillaris depressio* szintén fordított arányban áll a hajcső átmérőjével. A testek likacsai mind haj-



36. ábra.

csövek, melyeken a testet megnedvesítő folyadékok felszívódnak. Ezt látjuk a falaknál, itatós papirnál, czukornál, a lámpabélnél, növényeknél stb. Kúpalakú szűk csőben az üvegcsövet megnedvesitő folyadékcsepp a szűkebb, az azt meg nem nedvesitő a tágabb vég felé folyik. — Kis szög alatt egymásfelé hajlított falak közt a falakat megnedvesítő folyadék hyperbola alakban helyezkedik el, mert a falak egymás mellé helyezett folyton táguló hajcsövekül működnek.

Oldás. Nem ritkán a szilárd és folyékony test molekulái közt oly erős a tapadás, hogy a folyadék a mellett, hogy megnedvesíti a szilárd testet, még a molekulái közt működő cohaesiót is megszünteti, miáltal a szilárd test apró egynemű részekre oszlik el a folyadékban, ezt a physikai tüneményt *oldás*nak nevezzük.

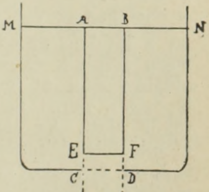
Diffusio és endosmosis. Ha oly két chemiailag indifferens folyadék — pl. víz és festett borszesz — jön egymással érintkezésbe, melyeknél nagyobb a tapadás mint az egyes folyadékok részeinek összetartása, akkor a folyadékok a nehézség ellenére egyenletesen összekeverednek. Ezt a tüneményt *diffusio*nak nevezzük. A diffusio rendesen térfogat-kisebbedéssel (contractio) van egybekötve. Igy pl. 50 l. víz és 50 l. absolut borszesz benső keveredés után 96 l. keveréket ad. A folyadékok diffusiója még akkor is bekövetkezik, ha azokat likacsos fal, pl. állati hólyag, agyaglemez, pergamentpapir választja el egymástól. Ezt a tüneményt *diosmosis*nak (endosmosis, exosmosis) hívjuk. Megjegyzendő, hogy általában a különböző folyadékok eltérő sebességgel hatolnak át a válaszfalon, miáltal a térfogat az egyik oldalon növekszik, a másikon kisebbedik. Ezt különben a válaszfal milyensége, az oldatok telitésfoka és a hőmérséklet nagyban módositja. Feltünően kisebb a diffundáló-képesség a kolloidanyagoknál (enyv, kovasav, timföldhydrat), mint a krystalloid-anyagoknál (só- és czukoroldat). A diffusiotüneményeknek a hajcsövességiekkel kapcsolatban felette fontos szerepük van a természet-háztartásában; így az esővíz behatol a gyümölcsökbe és levelekbe, a gyökerek nagy felszívó képességgel bírnak, a nedvek kicserélése a szerves organismusoknál diosmosis utján történik.

21. §. A folyékony testek mozgása.

Az edény fenék- vagy oldalnyilásán kiömlő folyadéknál meghatározandó: 1) a kifolyási sebesség; 2) a megadott időben kiömlő folyadék-mennyiség; 3) a folyadék-sugár pályája.

Toricelli tétele.

Toricelli szerint az edény fenekén lévő nyiláson, ha a mozgás akadályait figyelmen kivül hagyjuk, akkora sebességgel ömlik ki a folyadék, mint a mekkorával bírna, ha a felszintől a nyilásig szabadon esnék. Ha *MN* (37. ábra) a folyadék tükör *CD* a fenék nyilása, akkor a legelőbb kiömlő *CDEF* rétegre nézve azt látjuk, hogy annak gyorsulása, ha szabadon esnék g lenne, minthogy azonbanarra az $m = AC$ magasságú oszlop nyomása is hat, gyorsulása g_1 lesz s így sebessége: $v = \sqrt{2g_1 \,.\, EC}$.



37. ábra.

Minthogy az ugyanazon tömegben létesitett gyorsulások úgy aránylanak, mint a mozgató erők, azért itt: $g_1 : g = ACDB : ECDF$, vagy utóbbiak helyett a megfelelő magasságokat véve: $g_1 : g = AC : EC$, honnan: $g_1 = g \,.\, AC : EC$ és $v = \sqrt{2g \,.\, AC} = \sqrt{2gm}$. *Toricelli* tételéből kitetszőleg a kifolyás sebessége csakis a folyadékoszlop magasságától függ, ellenben a folyadék fajsulyától független s így pl. vizre és higanyra nézve ugyanazon magasság mellett egyenlő.

Az egy másodpercz alatt kiömlő folyadék mennyisége oly térfogattal bir, melynek nagyságát a nyilás területének a kifolyás sebességével való szorzata adja. Ha tehát a a nyilás területe, akkor a t idő alatt kiömlő folyadék térfogata: $V = a \,.\, t \,.\, \sqrt{2gm}$.

A most végzett számitásból nyert folyadéktömeg nagyobb, mint a mennyi t idő alatt valóban elhagyja az edény nyilását. Ennek magyarázatát abban találjuk, hogy a kifolyási-sebességre vonatkozó elméleti számitásnál feltettük, hogy csakis a nyilás fölött lévő függélyes folyadékoszlop ömlik ki. Ennek kifolyását azonban a valóságban az oldalt lévő folyadéktömeg, mely rézsút tör a nyilás felé, akadályozza s igy ezen nyomás a kifolyás sebességét csökkenti. A kiömlő folyadéktömeg közvetlenül a nyilás alatt összeszorul — contractio — s ennek folytán a valóban kiömlő folyadék-mennyiség meghatározására az elméleti eredményt az u. n. *kifolyási coefficienssel* kell még megszorozni. Igy tehát: $V' = C \, . \, at \sqrt{2mg}$, ahol vékony falú edényre $C = 0 \cdot 62$, ez azonban a nyilás alakja és nagysága, az edény falának vastagsága s a nyomás magassága szerint változik.

A kiömlő folyadék-sugár *egyenes vonalat* ír le, ha a kifolyás az edény vizszintes fenekén levő nyiláson történik és *parabolát,* ha a kifolyás az edény oldalnyilásán át megy végbe. A parabola annál laposabb, minél mélyebben fekszik a nyilás a viztükör alatt. Az oldalnyiláson egy másodpercz alatt kiömlő folyadék-mennyiség térfogata oly prismatikus testével egyenlő, melynek alapterülete a parabola területével, magassága a nyilás szélességével egyenlő.

A viz mozgása csatornákban és csövekben.

Csatornákban és csövekben csak akkor folyik a víz, ha arra a mozgás irányában elegendő nyomás hat; ennek előidézésére vizszintes csöveknél nagyobb magasságú viztömeg (kifolyás a reservoirból), vagy valamely alkalmas nyomógép szolgál. Eséssel biró csatornákban, vagy csövekben a viz folyásának oka — éppen úgy mint a lejtőnél — a nehézségnek a pályával párhuzamos componense. A folyás sebességét itt is lényegesen módositja a folyadék súrlódása a falakhoz, nemkülönben a folyadék részecskéknek egymáshoz való súrlódása.

Azt a nyomást, melyet a mozgó folyadék az edény falára gyakorol *hydrodynamikai oldalnyomásnak* nevezzük.

A viz mozgási és helyzeti erélyét gépkerekek hajtására használják fel. A függélyes kerekek *felül-, középen-,* vagy *alulcsapók* lehetnek, ama hely szerint, ahol azokat a hajtásukra szolgáló víztömeg ütése éri. Az ilyen kerekek kerületén lapátok vannak elhelyezve. A vizszintes kerekeket *turbináknak* nevezik s leginkább hegyi vidékeken használják fel, ahol csak kis vizmennyiség áll rendelkezésre, amelynek azonban jelentékeny esése van.

c) A légnemű testek mechanikája.

22. §. A légnemű testek szerkezete.

Légnemű testeknél a taszitó molekuláris erők jelentékenyen felülmulják a cohaesiót. A légnemű testek részecskéi magukra hagyva minden irányban szétterjedni s a tért teljesen betölteni törekszenek; az ilyen testek nagy mértékben összenyomhatók, önálló alakkal és térfogattal nem bírnak és a legnagyobb fokban ruganyosak. A részecskék úgy, mint a folyékony testekéi, gördülékenyek, egymástól erő felhasználása nélkül eltolhatók; ebből folyólag mindazok a törvények, melyeket a folyadékoknál a nyomás változatlan elterjedésére, a feneknyomásra és felhajtásra vonatkozólag megismertünk, a légnemű testekre nézve is érvényesek.

Alaptulajdonságok.

A gáznemű testek terjengősségüknél fogva minden akadályra, mely szétterjedésüket gátolja, nyomást gyakorolnak. Ezt a nyomást *feszítő-erőnek* nevezzük s ez a gázmolekuláknak a falakra való folytonos ütéséből áll s így annál nagyobb, minél nagyobb a gáz sűrűsége; azaz minél több molekula esik a felület-egységre. Dugattyúval elzárt térben a gáz térfogata addig csökken, mig feszitő ereje akkora lesz, mint a külső nyomás.

Az elmondottakból az tünik ki, mintha légnemű testeknél a cohaesiónak semmi hatása sem lenne. Ez azonban csakis az u. n. *ideális gázoknál* vehető igy fel s mi ezentúl csakis az ilyeneknek tekintett gázok mechanikai hatásaival foglalkozunk.

A gázok szintén alá vannak vetve a nehézségi erő hatásának, ennélfogva súlyosak. Fajsúlyuk azonban csekély s függ a hőmérséklettől és a feszültségtől, így pl. 1 liter levegő 0^0 C. hőmérséklet 760 mm. nyomás mellett 1·293 gr.-ot nyom, azaz, mintegy 773-szor könnyebb a viznél.

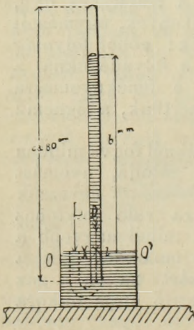
A gázok közül a tizennyolczadik századig csakis a levegőt ismerték. *Black* (1755) a szénsav, *Cavendish* (1766) a hydrogen felfedezésével általános feltünést keltett.

23. §. A légkör nyomása.

Földünket levegőburok (légkör, atmosphaera) veszi körül, melynek magasságát

Légnyomás.

70—80 km.-re tehetjük. A légköri levegő súlya folytán a vele közvetetlenül érintkező testek bizonyos nyomásnak, az u. n. *légnyomásnak* vannak alávetve. A légnyomás nagysága a hydrostatikaihoz hasonlóan a nyomott felület nagyságától, a levegő-oszlopnak a nyomott lap felszinétől mért magasságától és a levegőoszlop súlyától függ. A levegőt hosszú ideig súlytalannak gondolták, mert nyomását addig, amig minden oldalról egyenlően hat, nem érezhették. A légnyomás nagyságát *Toricelli* (1643) határozta meg legelébb.



38. ábra.

Toricelli kisérlete a mondott czélra a következő. Veszünk mintegy 80—85 cm. hosszú, egyik oldalán csappal elzárt üvegcsövet (38. ábra), azt higanynyal megtöltjük s nyilását egyik újjunkkal befogván, higanynyal telt csészébe merítjük és újjunkat a nyilástól elveszszük. Ekkor a csőben a higany csekély mértékben esni fog, mintegy 76 cm. magasságban azonban állva marad. A higanyoszlopot a levegő egyoldalú nyomása tartja egyensúlyban, amiről meggyőződhetünk, ha a csapot megnyitjuk. A sziszegéssel betóduló levegő nyomása ekkor a külső niveauig sülyeszti le a csőben lévő higanyoszlopot. A 76 cm. fölötti légüres tért (vacuum) *Toricelli-féle űrnek* hívjuk. A levegőnek 1 m²-re gyakorolt nyomását *1 légköri nyomásnak* nevezzük s ennek értéke a : $Q = a \,.\, m \,.\, f$ képlet nyomán, minthogy $a = 1$ m², $m = 0{\cdot}76$ m., $f = 1000$ kg. $\times$ 13·596, Q = 10330 kg. A felnőtt ember felülete átlag 1·5 m², a reá gyakorolt légköri nyomás tehát mintegy 16.000 kg. Ezt a roppant nagy nyomást csakis úgy viselhetjük el, hogy az minden oldalról hatván, a részlet-nyomások ellensúlyozzák egymást, de különben is igen kis területű, finom szövetekre nem oly nagy, ez a nyomás, hogy azoktól elviselhető ne lenne. Érezhető lesz azonban a légkör kifelé ható nyomása nagyobb magasságokban, ahol a külső-nyomás kisebb, mint a tenger szine körül s igy a véredényekben előbb visszatartott vér különösen a finomabb edényekből (orrból, szájból) kifelé tódul. Az embert karjainak, lábainak emelésében a légnyomás segíti, mert e tagok csontjainak fejeit úgyszólván csak a csekély vastagságú, légüresen záró bőr tartja együtt. Csekély nyomású levegőben, pl. magas hegyeken, éppen e miatt, lankadtan emeljük tagjainkat.

A baro-méterekről.

A *Toricelli*-féle csőben foglalt higany-oszlopot hosszabb időn át megfigyelvén, annak magasságában ingadozást észlelünk. A légkör nyomása tehát változó. A fentebb kiszámitott 0°-nak és 760 mm. magas higany-oszlopnak megfelelő értéket *normal* légköri nyomásnak hivjuk. *Toricelli* készülékét ilyformán a légnyomás változásainak kimutatására is felhasználhatjuk. A skálával ellátott *Toricelli* cső már egy e czélra szolgáló készülék, egy *barométer* (légnyomás-mérő). A barométereknek azonban ennél czélszerűbb berendezést szokás adni. A higany-barométereken kivül, melyek *körte-alakúak, szivornyásak* és *edényesek* lehetnek, még a *fémbarométereket* (aneroid) is megemlitjük; annál is inkább, mert ez utóbbiak csekélyebb törékenységük, könnyebb szállithatóságuk és megfigyelhetőségük folytán, mindinkább kiszoritják a higany-barométereket, noha adataik korántsem oly megbizhatók, mint emezekéi.

A *körte-alakú* barométer meghajtott üvegcső, melynek nyilt, rövidebb ága körte alakúra van készitve. Ennek adatai nem pontosak, mert a leolvasás kezdőpontja, azaz a nyilt edény higany-felszinének magassága, a légnyomással változik. A *szivornyás* barométer u-alakú egyenlő tágasságú cső, melynek nyilt vége rövidebb. Ennél a fokosztás feljebb és lejebb tolható olymódon, hogy annak 0 pontja mindig a nyilt ág higany-felszinének sikjába essék. Az *edényes* barométernél az egyenes zárt cső higanynyal telt edénybe merül. Az edény fenekét bőrzacskó alkotja, melyet a *Fortin*-féle csavarral feljebb vagy lejebb tolhatunk, addig, mig a higany felszine érinti a fokosztás kezdőpontját. Az elmondottakból kitetszőleg a két utóbbi barométerfajta már pontos leolvasásokra is alkalmas. Némileg módosított alakkal bír *Gay-Lussac* utazási-barométere.

Az aneroid-barométereknél (holosteric) a légnyomást valamely szilárd test rugalmassága tartja egyensúlyban. *Bourdon* száraz barométere szelenczéből áll, melynek belsejében rézből készült, zárt, légüres, ívalakban meggörbített cső van alkalmazva. E gyűrűt közepén megerősitik, szabad végeit pedig szögemelő és kerékrendszer közvetitésével mutatóval kötik össze, mely a szelencze körlapjára készitett skála fölött mozog. Ha a légnyomás nő, akkor a gyűrű domború felszine, nagyobb lévén a belső homorúnál, nagyobb nyomást visel s így a cső szabad végei egymás felé közelednek s a mutatót egyik irányban eltolják; a légnyomás csökkenése pedig a cső szabad végeinek közeledését és a mutató ellenkező irányú forgását vonja maga után. A skála elkészitése valamely higany-barométerrel való összehasonlítás alapján történik. Hasonló elven alapszik *Vidi* aneroidje is.

A barométer alkalmazásai. A barométereket felhasználják a chemiai laboratoriumokban a gázok térfogatának és súlyának meghatározásánál; a mindennapi életben és a meteorologiai megfigyelő állomásokon pedig *időjóslásra,* illetőleg a légnyomás-viszonyoknak a tudományos meteorologia szempontjából való tanúlmányozására. Az időjárásra a barométer-állás változásaiból *Dove* nyomán azért következtethetünk, mert a meleg szél tetemes, a hideg ellenben csekély vízpára mennyiséget hordoz. A vízpára azonban kisebb sűrűséggel bír, mint a levegő, azért a légnyomás csökkenni fog a meleg szél idején s ebből csapadékra lehet következtetni, ellenben hideg szél mellett a barométer higanyoszlopa emelkedik, ami száraz időjárásra nyújt kilátást. Az időjárás azonban a felemlitetten kivül még sok más tényezőtől is függ, azért kizárólagosan a barométer-állás változásaiból annak miként alakulására nem szabad következtetést vonnunk. A barométert magasságmérésekre is felhasználják (24. §). *Megkurtított barométereket* akkor használhatunk, ha a megmérendő gáznyomás kisebb, mint a légkör nyomása. Igy pl. ha valamely csaknem légüres térben akarjuk a nyomást megismerni, akkor e czélra elég egészen rövid szivornyás barométert használnunk; természetesen az ilyennél csak bizonyos alacsony nyomástól lefelé jön létre a vacuum a zárt csőben. A *manométerek* légnyomás-különbségek megmérésére szolgálnak. Igy pl. ha azt kell meghatároznunk, mennyivel nagyobb a világitó-gáz nyomása a gázvezetékben, mint a szabad légköré, úgy e czélra manométerül u-alakban meggörbitett, mindkét végén nyitott, félig higanynyal, vagy vizzel megtöltött csövet alkalmazunk. Az egyik ágat kaucsuk-csővel összekötjük a nyitott gáz-csappal, a másikat nyitva hagyjuk s leolvassuk a két ág közt mutatkozó niveau-különbséget, mely higanynál körülbelül 13·6-szer kisebb lesz, mint víznél. Ily czélokra az aneroidok elvén alapuló készülékek is felhasználhatók olyformán, hogy a gyűrű belső térfogatát összeköttetésbe hozzuk azon térrel, melyre nézve a légnyomáshoz képest mutatkozó nyomás-különbséget megmérni óhajtjuk. Így pl. a gőzszekrényre nézve gőzgépeknél.

24. §. Boyle-Mariotte törvénye.

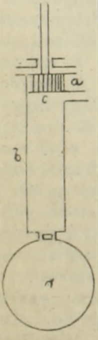
Boyle-Mariotte törvénye.

Zárt térben a gáztömeg *feszitő-ereje* megváltozik, ha a gázt *melegitjük*, vagy *hűtjük;* vagy ha térfogatát *csökkentjük*, vagy *növeljük*. (Megváltozik a feszitő-erő még a gáztömeg változtatásával is.) Ha V a gáz térfogata, p a feszitő-ereje akkor *Boyle* (1662) és később *Mariotte* (1679) szerint: *állandó hőmérséklet mellett ugyanazon gáztömeg térfogatai forditott arányban állanak a megfelelő feszitő-erőkkel* (azaz a gáztömegre ható nyomásokkal); vagy más fogalmazásban: *a gáz térfogatának s a hozzátartozó feszitő-erőnek szorzata Vp állandó érték.* Mivel végre ugyanazon tömeg különböző térfogatai forditott arányban állanak a tömeg sűrűségeivel, azért a *Boyle-Mariotte*-féle törvényt harmadik alakjában úgy fejezhetjük ki, hogy: *a gáz sűrűsége egyenes arányban áll feszitő-erejével. Mariotte* a következő kisérleti-eljárás alapján jutott a most megismert törvényhez. Mintegy 2 m. hosszú, alul párhuzamosan felgörbített üvegcsövet függőlegesen felállított s annak rövidebb szárát beforrasztotta. A csővel párhuzamosan *cm.*-mérték haladt. — A rövid szárban óvatosan beöntött higanynyal elzárta a levegőt, oly módon, hogy annak nyomása a külső levegőével azonos, s a higany-oszlop magassága a két ágban egyenlő legyen. Ha most több higanyt öntünk a hosszabb ágba, a higany-oszlopok magasságai emelkednek, de nem egyenlően, mert a rövidebb ágba zárt levegő feszitő-ereje növekszik. Ahhoz, hogy az elzárt levegőt térfogatának felére szoritsuk össze, annyi higanyt kell beönteni, hogy a két higany-oszlop különbsége éppen a barométer-állással legyen egyenlő. Ekkor tehát éppen 2 légkör-nyomás hat a zárt levegőre. Ha a levegőt eredeti térfogatának harmadára akarjuk szorítni, 3 légkör nyomást kell reá alkalmazni. *Mariotte* bebizonyitotta hogy a törvény 1 légköri nyomásnál kisebb nyomásokra is érvényes. E czélból egy *Toricelli*-féle csőbe higanyt öntött, olymódon hogy 4—5 cm.-nyire megtöltetlen maradjon. A nyilt véget ekkor újjával befogván, higanynyal megtöltött mély edénybe mártotta, oly mélyen, hogy a higany-niveau a két edényben egyenlő magas legyen. A csőbe zárt levegő ilyformán 1 légköri nyomással bírt. Ha most a *Toricelli*-csövet kijebb húzta, nagyobbodott az elzárt levegő térfogata, de egyszersmind emelkedett a csőben a higany-oszlop is. Ha az elzárt levegő térfogata megkétszereződött, a higany-oszlop magassága a fél-barométer-állással volt egyenlő.

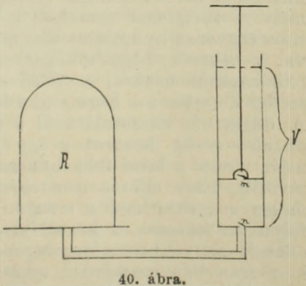
Ezen elméletre és gyakorlatra egyaránt fontos törvény, amint *Regnault* pontos mérések alapján kimutatta, csak bizonyos határok között érvényes. Minél nagyobb a gázra ható nyomás, annál inkább közeledik az a folyékony állapotba való átmenethez s annál kevésbbé követi a *Boyle-Mariotte*-féle törvényt. A levegő, oxygen, nitrogen és szénsav felényi térfogatra szorítására nem kell éppen kétszeres nyomás, ezek a gázok tehát összenyomhatóbbak, mint a hogy a megismert törvény állítja, ellenben a hydrogen kevésbbé nyomható össze, annál tehát a fél-térfogatra szoritáshoz a kétszeresnél nagyobb nyomás kivántatik. Az eltérés a *Boyle-Mariotte*-féle törvénytől annál nagyobb, minél könnyebben folyósitható valamely gáz s a törvény teljesen érvényét veszti ott, ahol a gáz-állapot megszünik s a folyós-állapot kezdődik. Az eltérés kis nyomásoknál oly csekély, hogy attól a gyakorlati alkalmazásnál eltekinthetünk.

Magasság-mérés barométerrel.

Pascal a légnyomás felismerése alapján arra a gondolatra jutott, hogy a tenger szinétől számitott különböző magasságú helyeken különböző a barométer higanyoszlopának a magassága és hogy ily formán a barométert magasságok mérésére is felhasználhatjuk. Két hely magasság-különbsége a két helyen észlelt barométerállás megfigyeléséből legegyszerübben a *hypsometrikus táblák* segítségével határozható meg. A magasságméréseknél figyelembe veendő még az is, hogy a levegő hőmérséklete a magassággal változik, már pedig a hőmérséklet nagy befolyással bír a levegő sűrűségére, sőt módositja ezt a levegő nedvesség-foka is. Nem nagy magasságoknál a higany-oszlopnak 1 mm.-rel való esése körülbelül 11 m. emelkedésnek felel meg. Ez a szám azonban a magassággal növekszik, mert már pl. 500 mm. barométer-állásnál további 1 mm. esésnek 17 m. magasság felel meg. Pontos magasságmérésekre oly képletek szolgálnak, melyek minden itt számba-vehető körülményt figyelemre méltatnak. Kis magasságkülönbségeknél, ha csupán a levegő temperaturájának a két helyen való eltérését figyeljük



39. ábra.



40. ábra.

meg, a következő képletet használhatjuk; a magasság:

$$M = 15981^{m} \cdot \frac{b_1 - b_2}{b_1 + b_2} \cdot \left(1 + 0{\cdot}003665 \cdot \frac{t_1 + t_2}{2}\right),$$

a hol b_1 és b_2 a barométer-állásokat, t_1 és t_2 az észlelt hőmérsékleteket jelentik.

25. §. A légszivattyú.

A légszivattyú a levegőnek valamely térben való megsűritésére, vagy megritkitására szolgál.

A *sűritő légszivattyú* (39. ábra) erős üveg- vagy sárgarézcső, melyben a dugattyút letolván, az ily módon megsűritett levegő a befelé nyiló szelepet megnyitja s az edény aljára csavart edénybe nyomúl. Ha most a dugattyút felhúzzuk az edényben lévő sűrűbb levegő elzárja a szelepet, úgy hogy a levegő kifelé nem távozhatik. Sürítő légszivattyú.

A dugattyú teljes felhúzása után az oldal-nyiláson friss levegő tódul be, s ezt az előbb követett eljárás ismétlésével megint az alsó edénybe szorítjuk.

A ritkító légszivattyú. A *ritkító légszivattyút Guerricke* Ottó Magdeburg város polgármestere találta fel. (1650.) Az ilyen légszivattyú *csapos,* vagy *szelepes* lehet a szerint, amint a nyilás, a melyen a levegő távozik, csappal, vagy szeleppel van elzárva. Lényeges részei (40. ábra) az *R* üvegharang, *üvegbura* (recipiens), a melyben a levegőt megritkitjuk, a *V* üveghenger, vagy *köpű,* melyben a bőrlemezekből összeállitott, közepén átfúrt és szeleppel ellátott, légmentesen záró *dugattyú* mozog; végre a *szívócső,* mely a recipienst összeköti a köpüvel. A recipiens sima tányéron nyugszik s alsó szélét még lágy faggyúval is bekenik, hogy tökéletesen zárjon. A dugattyú felhúzásánál bezárul a felső *m* szelep, ellenben *n* szelep kinyilik s a bura alól a levegő a köpübe tódul. A dugattyú visszatolásánál a felső szelep nyilik ki, az alsó pedig bezárul s igy a levegő nem veheti utját vissza a bura felé, hanem a dugattyú szelepén távozik. Ezen eljárás ismétlésével a bura alatt tetemesen megritkitható a levegő. Hogy a szivattyuzás folytonos lehessen, a készüléket két köpüvel szokták ellátni, melyekben a dugattyúk egyszerre, de ellenkező irányban mozognak, tehát felváltva szivattyúznak. Teljesen légüressé nem tehetjük a bura alatti tért, mert az egyes dugattyúhúzások után marad egy kevés, bár felette ritka levegő abban, ami onnan ered, hogy a dugattyú-szelep alatt foglalt térben, melyet *káros térnek* szokás nevezni, még akkor is marad — a külső légkörrel egyenlő sűrűségű — levegő, mikor a dugattyú a köpű fenekére ér. Ez a levegő eloszlik a dugattyú felhuzásakor a köpüben, ott bizonyos *s* sűrűséget nyer s a bura levegőjét csakis addig bocsátja a köpübe, amig annak *s*-nél nagyobb a sűrűsége. E sűrűségen túl tehát a ritkitás fokozása lehetetlen. A ritkitás fokát *manométer* jelzi s annak határa legjobb gépeknél 2 mm. nyomás amit pl. a *Babinet*-féle csappal is legfeljebb 1 mm.-re lehet leszállitni. Légsűritőkkel erős aczélhengerekben annyira sűrithetők a gázok, hogy nyomásuk az ezer atmosphaerát is meghaladja. Ily nagy nyomások mérésére fém-manométer szolgál. — A légritkitás a jelzett határon túl is folytatható még az u. n. *higany-*

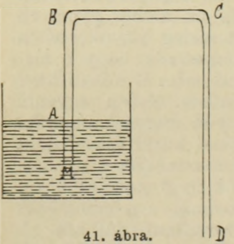
légszivattyúkkal (Geiszler, Grossmann), melyeknél a burát nem dugattyúhúzások által ritkított térrel, hanem ismét és ismét előállitott *Toricelli*-ürrel hozzuk összeköttetésbe. Ezeknél tehát káros tér nincsen. Itt ritkitás után a levegő jelenlétét a bura alatt még a legérzékenyebb készülékkel sem mutathatjuk ki. Hátrányuk ezeknek, hogy felette lassan dolgoznak. Ilyen légszivattyúkat használnak a *Geiszler*-féle csövek, elektromos izzólámpák stb. kiszivattyúzására.

A légszivattyúk alkalmazásai.

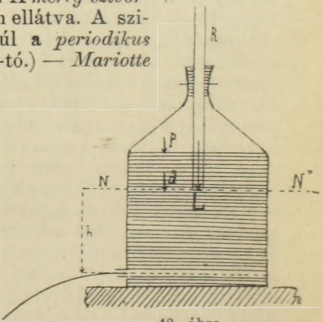
A légszivattyúkkal igen érdekes kisérletek végezhetők. Felemlitjük itt a *magdeburgi-féltekéket*; az üvegcső felső nyilására alkalmazott állati hólyag megrepesztését; a higany-csőt, mely a cső felső nyilására alkalmazott, légmentesen záró faedény likacsain tör át; a bekötött, ránczos állati hólyag felpuffadását a bura alatt; a forrás-pont alatti hőmérséklettel biró viznek a bura alatt forrásba jövetelét; lég- és szénsavbuborékok kiszabadulását a vízből, sörből; az aether gyors elpárolgását s az e czélra elvont meleg következtében a víz megfagyását; annak bemutatását, hogy a légüres tér a hangot nem vezeti stb. E készülékkel igazolható, hogy a testek légüres térben egyenlő sebességgel esnek. A légszivattyúk nagyszámú tudományos és technikai alkalmazásai közül felemlitjük, hogy a ritkitó légszivattyút felhasználják a czukor- és kivonatkészitőgyárakban, fák impregnálásánál, a mesterséges jég gyári előállitásánál, a pneumatikus levél- és csomagszállitásnál, ventillatióknál stb. A sűritő légszivattyút alkalmazzák a gázok (CO_2, O) gyári megsűritésénél, az automata waggon-féknél, a levegő-szükséglet beszerzésére föld- és tengeralatti munkálatoknál, a gépeknek gőz helyett sűritett levegővel való hajtására, pl. tunnelekben és bányákban stb.

26. §. A légnyomáson alapuló készülékek.

A légnyomáson és a gázok feszitő-erején a különböző készülékek egész sorozata alapszik. A következőkben csakis a legfontosabbak rövid leirására szoritkozunk. ***A közönséges lopó*** folyadékok felszivására szolgál. Ha a lopó felső végén kiszívjuk a levegőt, a belső légtömeg feszitő-ereje csökken, ellenben a külső folyadékra ható légnyomás a csőbe feltolja a folyadékot. Ha a lopó felső végét újjunkkal elzárjuk, a lopóban lévő folyadékot kiemelhetjük, az nem ömlik szét. Ilyen elven alapszik a chemiai analysisnál felhasznált *pipetta* és az orvosok használta *csepegtető-cső*. — A *szivornya* (41. ábra.) görbitett, többnyire egyenlőtlen szárakból álló cső, melylyel a folyadék a légnyomás segélyével egyik edényből a másikba fejthető le. Ha D pontnál felszívjuk az M edényben foglalt folyadékot, az szakadatlanul fog folyni, mert M edényre a P légnyomás és az AB folyadék-oszlop ellenkező irányú nyomása, azaz összesen $P - AB$ hat; a D-nél lévő folyadékra pedig P és ellenkező értelemben CD, tehát összesen $P - CD$ hat. Mivel: $P - AB > P - CD$, azért a folyadék az M edényből D felé folyik. A *méreg-szivornya* külön szivócsővel van ellátva. A szivornyák hatása nyilvánúl a *periodikus forrásoknál* is. (Zirknitzi-tó.) — *Mariotte*

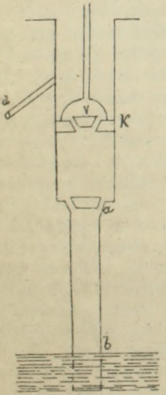


41. ábra.

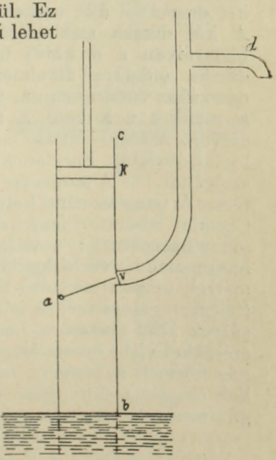


42. ábra.

palaczkja (42. ábra.) arra szolgál, hogy a folyadék valamely edényből, a leszálló niveau daczára, egyenlő sebességgel folyhasson ki. Az R cső légmentesen van a palaczkba illesztve. A víz niveauja a csőben és a palaczkban mindaddig egyenlő, mig az oldalcsapot meg nem nyitjuk. Ekkor azonban a niveau mindkét helyen apad, ámde NN' fölött a palaczkban ritkább lesz a levegő, nyomása tehát csökken, a csőben foglalt folyadékoszlop ilyformán csakhamar leszáll L-ig s igy a csövön át légbuborékok nyomúlnak be NN' fölé. E pillanattól kezdve a folyadék a h nyomásmagasságnak megfelelő sebességgel ömlik ki. Ez a készülék a *Toricelli*-féle kifolyási elmélet tanulmányozására szolgálhat. — *Heron labdája* henger-, vagy gömbalakú edény, melybe fenékig érő cső nyúlik be, melynek csavarja az edény nyakát légmentesen zárja. Ha az edényt félig megtöltjük vízzel és a sűrítő légszivattyúval levegőt sajtolunk belé, akkor a csap megnyitása után a bent lévő, tetemesen sűrített levegő nyomása folytán felszökik a víz. Ilyenféle a chemiai laboratoriumokban használt *fecskendező palaczk* is. *Heron kútjánál* a levegő sűritését vizoszlop nyomása eszközli. — *Vizszivattyú* kétféle van. Az *emelő szivattyú* (43. ábra.) lényeges része nyeles-dugattyúval ellátott cső, melynek meghosszabbitása *ab szívócső* vizbe merül. Ez a cső legfeljebb 10 m. hosszú lehet



43. ábra.



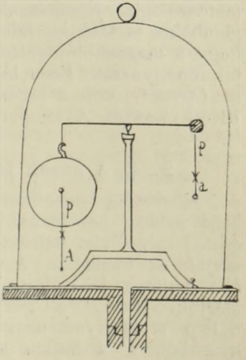
44. ábra.

s felül szeleppel bír, valamint szeleppel van ellátva a dugattyú is. A dugattyú felhúzásánál annak szelepe bezáródik a szivócső szelepét pedig kinyitja a feltóduló viz, mely betölti a dugattyú alatti tért. A dugattyú lenyomásánál a víznyomás elzárja a szívócső szelepét s ugyancsak a viztömeg kinyitván a dugattyú szelepét a dugattyú fölé tódul és a csövön kifolyik. A *nyomó szivattyú* (44. ábra.) dugattyújának nincs szelepe, hanem az oldalcsőnél van a második szelep, mely a dugattyú felhúzásánál záródik, ellenben a szívócső szelepe kinyilik. Az ellenkező történik a dugattyú lenyomásánál. A betóduló víz az oldalcsövön nagy magasságra nyomható fel. — A *vízipuska* a szélkazánból — amely nem más, mint erős *Heron* labda — és két nyomó-szivattyúból áll; ez utóbbiak segélyével vizet szorítunk a szélkazánba, miáltal az ott lévő levegő jelentékeny sűrűségre s így nagy feszitő-erőre tesz szert s a vizet a szélkazánból kivezető csövön nagy magasságra szökteti fel. — A *fújtatók* légáramok előidézésére szolgálnak. Egyszerű- és kettős-fújtatókat ismerünk. Az egyszerű-fújtató két deszkából áll; ezeket bőrrel légtartóvá egyesítik. A két deszka széthúzásánál megritkul a levegő a légtartóban s a külső levegő megnyitja az egyik deszka oldalára alkalmazott szelepet. Ha most a deszkákat összenyomjuk, a megsűrített levegő elzárja a szelepet s kitódúl a fújtató végére alkalmazott csövön. A kettős-fújtató onnan nyerte nevét, hogy két légtartóval bír. Folytonos légáramot csakis ez utóbbi szolgáltat. — A *gasométer* gázmennyiségek összegyűjtésére és tetszésszerinti helyre való elvezetésére szolgál. Chemiai laboratoriumokban legfeljebb 50 l.-es gáztartókat használnak; a világitó-gáz tartására szolgálók harangalakú, vasbádogból összeolvasztott edények, melyek ürtartalma néha a 30.000 m.^{3}-t is meghaladja (teleskop-gasométer). A gázgyárakban használt tartók, súlyok által fentartott bádog-hengerek, melyek alsó szélükkel vízbe érnek. Megtöltésnél a gyárból kiáramló gáz felemeli a hengert, ha pedig a városi gázvezetékek csapját megnyitják, a harang az elfogyasztott gáz mennyiségének megfelelően sülyed.

27. §. A levegő felhajtó ereje.

Archimedes elve.

Ama megegyező sajátságok alapján, melyeket a gázok és folyékony testek közt megismertünk, kimondhatjuk, hogy *Archimedes-elve* a gázokra s így különösen a levegőre is érvényes, azaz: *a testek levegőben a felhajtó erő következtében annyit veszitenek súlyukból, a mennyi az általuk kiszoritott levegő súlya.* A törvény igazolására a *dasyméter*, vagy *baroscop* (45. ábra.) szolgál. Egyenlőkarú emelő ez, amelyen a meglehetős nagy G absolut súlyú üres üveggömböt a G' súlyú tömör testecske tartja egyensúlyban. Ha a levegő valóban bír felhajtó erővel, úgy annak hatása A nagyobb az üveggömbre, mint a fémsúlyocskára. Ha ez utóbbit a' jelenti akkor az egyensúly feltétele: $G - A = G' - a'$. Ha a kis mérleget a légszivattyú burája alá viszszük s ebből a levegőt kiszivattyúzzuk, akkor megszünik az A és a' felhajtó erő s marad $G > G'$; az üveggömbnek tehát sülyednie kell s az a kisérlet végrehajtásánál tényleg meg is történik. (Ha a bura alá szénsavat vezetünk, az ellenkező történik.) Pontos méréseknél e körülményt figyelembe kell venni, mert a megmért test súlya $G = G' + (A - a')$ lévén, a valóságtól annál inkább eltérünk, minél nagyobb az $A - a'$ különbség, azaz minél nagyobb a megmérendő test s a használt súlyok térfogata közti különbség.



45. ábra.

A léghajó.

A légköri levegő felhajtó erején alapszanak a *léghajók,* melyeknél lehetőleg áthatlan anyagból (selyem, perkal, cretonne) álló gömbalaku (szivar-alaku) hüvelyt valamely, a levegőnél könnyebb gázzal (hydrogén, világitógáz) töltenek meg s ez uton oly nagy felhajtás előidézére törekszenek, mely felülmúlja a léggömbnek összes megterheltetésével együtt vett súlyát s igy annak emelkedését vonja maga után. Ha V a léggömb térfogata, F a levegő, F' a gáz fajsúlya, akkor a léggömb súlya $VF' + p$, ha p a hüvely és megterhelés súlyát jelenti, VF pedig a levegő felhajtó ereje; a kettő eredője, azaz a *léggömb emelkedő ereje:* $E = V(F - F') - p$, tehát növekedik a térfogattal s a fajsúlyok különbségével. — Az első léghajót (melegitett levegővel töltve) a *Mongolfier*-testvérek készitették 1782-ben; *Charles* (1783) léggömbjét hydrogénnel töltötte meg, *Green* óta e czélra a világitó-gázt használják fel. Léghajóval eddig *Berson* meteorologus (1894) jutott legmagasabbra, még pedig 9156 m-nyire; ott —47·9° C volt a hőfok s a levegő már oly kevés oxygent tartalmazott, hogy a lélegzést nem táplálhatta eléggé, hanem a léghajós kénytelen volt, élete fentartására a magával vitt tartókból oxygént belehelni. Ujabban meteorologiai jelzőkészülékekkel ellátott kisebb léggömböket is szoktak felbocsátani, azzal a czélzattal, hogy a magasabb légrétegek meteorologiai viszonyait tanulmányozzák. Ezen léghajós nélküli gömbök közül a „*Cirrus*“ jutott a legmagasabbra (1894), mégpedig 18450 m-nyire. A temperatura ott -67^0 C. volt.

28. §. A gázok fajsúlya és sűrűsége.

Közvetlen leméréssel a gázok fajsúlya a következő módon határozható meg. A megvizsgálandó gázzal megtöltött ballont olvadozó jégbe állitjuk, elzárjuk és lemérjük. Azután az ugyancsak jégben álló ballont lehetőleg kiszivattyúzzuk s újra lemérjük. Ha P a gáz nyomása az első mérésnél p a kiszivattyuzás után még benmaradt gáz nyomása, Q a ballon sulya az első, és q a második mérésnél; akkor $Q-q$ a gáz súlya 0^0-nál és $P-p$ nyomásnál s ezt *Boyle-Mariotte* törvénye alapján 0^0-ra és 760 mm. nyomásra redukálhatjuk, mert a gáz súlya eme feltételek mellett a:

$$G : (Q-q) = 760 : (P-p)$$

$$\text{aránylatból: } G = \frac{760 \cdot (Q-q)}{P-p}$$

A gáznak vizre vonatkoztatott fajsúlyát — f — nyerjük, ha a ballont 4^0 C vizzel megtöltjük s G_1 súlyát lemérjük; akkor

$$f = \frac{G}{G_1} = \frac{Q-q}{G_1} \cdot \frac{760}{P-p}$$

Megjegyzendő, hogy az ilyszerű meghatározásoknál a levegő felhajtó-erejéből származó mérési-különbséget nem szabad figyelmen kivül hagyni s e czélból a mérési eredményeket, a felhajtás kiszámitása után, légüres térre kell vonatkoztatni.

Valamely gáz *viszonylagos sűrűsége* azon szám, mely megmutatja hányszor nagyobb a gáz súlya, a vele egyenlő térfogatu levegő súlyánál, egyenlő hőmérséklet és nyomás mellett.

A sűrűség meghatározása *Bunsen*nek a gázok kifolyásán alapuló módszerével (30. §.) sokkal gyorsabban végezhető el, mint a most megismert mérési eljárás utján.

29. §. A molekuláris erők hatása légnemű testeknél.

Ha két chemiailag indifferens, gáznemű testet pl. szénsavat és hydrogént egymástól csappal elzárható edénybe hozunk s a csapot megnyitjuk, akkor bizonyos idő múlva a gázok teljesen összekeverednek, még akkor is, ha a nehezebb szénsav van alul. Ezt a tüneményt *diffusio*nak nevezzük. A keverék feszitőereje mindenütt olyan lesz, mint ama feszültségek összege, melyekkel az egyes gázok birtak volna, ha az egész tért egymagukban töltötték volna be. (*Dalton* törvénye.) A diffusio következtében az atmosphaera egyes rétegeiben a keveredés aránya a nehezebb oxygen (21 térfogat $^0/_0$) és a könnyebb nitrogen (70 térfogat $^0/_0$) között állandó. Sőt a diffusio törvénye érvényes egyéb a légköri levegőben foglalt gázok, mint szénsav, vizgőz stb. keveredésére nézve is. Ha mégis némely helyt (nápolyi kutyabarlang, jávai halálvölgy) nagyobb szénsav mennyiség gyülik össze, ez csak azt bizonyitja, hogy a szénsav kiömlése a földből gyorsabban történik, mint annak diffusiója a környező levegőbe.

A gázok likacsos válaszfalakon át is diffundálnak s ilyenkor a sebességek, melyekkel az egyes gázok a választófalon ellenkező irányban áthatnak, úgy aránylanak egymáshoz, mint a gázok sürűségeinek négyzetgyökei. (*Graham* törvénye.) Ha vastag üvegcső egyik végét gipszdugóval elzárjuk, másik végéhez pedig kaucsuk-csövet kötünk, mely két végén nyilt, meghajtott, festett vizet tartalmazó manométert zár, és ha még a gipszdugó fölé hydrogennel, vagy világitó gázzal telt poharat boritunk: akkor a manométer felhajtott ágában gyorsan emelkedik a víz, jeléül annak, hogy a hydrogen, vagy világitó gáz sokkal nagyobb sebességgel diffundált a gipszdugón át, mint a milyennel a levegő ugyanazon át a külső térbe hatolt. Ezen alapszik *Ansell indicatora*, mely bányákban az ártalmas gázok (bányaléig) jelenlétének jelzésére szolgál. A levegő száraz téglán át könnyen diffundál, nedvesen nehezen. (*Pettenkofer*.) Innen van a nedves lakás egészségtelensége.

Likacsos szilárd testek (pl. fa- és csontszén) nagymennyiségű gázt képesek elnyelni s likacsaik közt visszatartani. Az absorptiónál néha oly jelentékeny hő fejlődik, mely egész az izzásig fokozódhatik. A vas, nikel, kobalt finom részecskéi néha oly mohón absorbeolják a levegő élenyét, hogy Absorptio.

az ez uton végbemenő oxydatió folytán izzásba jönnek. Platinatapló oly gyorsan nyeli el a hydrogent, hogy a megsűrűsödés folytán beálló hő meggyújtja a hydrogent. (*Döbereiner* gyújtó-készüléke.) A platina és palladium magukba veszik s magukban tartják a gázokat. A palladium körülbelül ezerszeres térfogatú hydrogent absorbeál s azzal sajátszerű ötvényt alkot, melyben a hydrogen olyan módon viselkedik, mint a higany. Altalában kisebb-nagyobb mértékben minden gáz képes felületén gázokat megsűriteni. (*Moser* légképei.) Vannak testek, melyek a vizgőzt könnyen nyelik el. Ezek a *hygroskopikus testek*. (Chlorcalcium, kősó, szóda, haj, halcsont, növényi rostok.)

A folyadékoknak is van gázelnyelő képességük. Az elnyelt gáz mennyisége a folyadék és gáz anyagi minőségétől, a hőmérséklettől (forditott arányban) s a gáznak a folyadék felszinére gyakorolt nyomásától függ. (*Henry* törvénye.) Igy 1 liter viz 15^0 C-nál és tetszőleges nyomásnál 1 : 70 l. nitrogent, 1 : 34 l. oxygent, 1 l. szénsavat, 3·2 l. kénhydrogent 44 l. kéndyoxydot, 450 l. sósavgázt, 727 l. ammoniakot absorbeál. Ha az elnyelt gáz *térfogata* bármely nyomásnál ugyanannyi is, nem ugyanannyi az elnyelt gáz *mennyisége*, mert *Boyle-Mariotte* törvénye szerint a hányszoros a nyomás, annyiszoros az ugyanazon térben foglalt gáztömeg. A folyadékok gázelnyelése számos gyakorlati alkalmazásra talál és nagyszámu tünemény okául mutatkozik. *Mallet* oxygent állitott elő a viz különböző nitrogen és oxygen-elnyelő képessége alapján, amennyiben a levegőt többször átsajtolta a vizen. Az absorptión alapszik a pezsgő-italok készitése, a gázok száritása kénsavval, a megáztatatott petyhüdt hólyag felpuffadása szénsavban stb.

30. §. A gázok mozgása.

Ahhoz, hogy valamely gáztömeg valamely térből a kivezető nyiláson kiömölhessen szükséges, hogy a kifelé irányuló belső nyomás nagyobb legyen az ellenkező értelemben működő külsőnél. Azon *sebesség* meghatározására, melylyel a gáz valamely térből a légüres térbe ömlik, vegyük fel, hogy m az ugyanazon gázból képzelt oszlop magassága, mely az elzárt gáz feszitő erejét ellensúlyozni képes; akkor *Toricelli* törvénye szerint a kiömlés sebessége $v = \sqrt{2g \cdot m}$.

Ezen érték változatlan marad addig, amig az elzárt gáz feszitő ereje nem változik. Az itt számbavett *m* helyett jelentse *M* azon higanyoszlop magasságát, mely a feszitő erőt (valamely manométer utján) valóban méri, a közlekedő edények törvénye alapján, ha f a gáz fajsúlya: $m : M = 13{\cdot}6 : f$ és: $m = \frac{13{\cdot}6 \,.\, M}{f}$, tehát: $v = \sqrt{2g \,.\, \frac{13{\cdot}6\ M}{f}}$. Ha különböző gázok ugyanolyan nyomás alatt ömlenek ki, akkor a kiömlési sebességek forditott arányban állanak a gázok fajsúlyainak négyzet-gyökeivel. Mert ha f_1 a másik gáz fajsúlya, akkor:

$$v_1 = \sqrt{2g \,.\, \frac{13{\cdot}6\ M}{f_1}} \quad \text{és} \quad v : v_1 = \sqrt{f_1} : \sqrt{f}.$$

(*Graham* törvénye). Ezt a törvényt *Bunsen* kis mennyiségű gázok fajsúlyának a meghatározására használta fel. A kifolyt gáz *mennyiségét* megkapjuk, ha a sebességet megszorozzuk a nyilás területével és mert összehuzódás itt is van, éppen úgy, mint a kiömlő folyadékoknál, azért megszorozzuk még az összehúzódás coefficiensével is. Ez utóbbi érték felette változó.

Szűkebb csőből tágasabba áramló gáz a tágasabb cső gázrészecskéit magával ragadja s ezért a tágasabb térben csökken a nyomás. Ezen alapszanak a virág- és parfumfecskendők, inhaláló-apparátusok, a Bunsen-égő, az injectorok stb. Kiáramló gázok és gőzök *visszahatást* gyakorolnak s ez uton mozgásokat létesitenek. Ezt látjuk a rakétáknál, forgó tüzijátéknapoknál, a kisütött ágyú visszanyomásánál stb. A mozgó légtömegek eleven erejét mechanikai munka végzésére a szélmotoroknál használják fel. Hogy a szélnyomás munkaképességét megitélhessük, *d'Aubuisson* után felteszszük, hogy a másodperczenként 1, 6, 12, 20, 36 m. sebességgel haladó szél nyomása minden négyzetméterre 0·13, 4·87, 19·50, 54·16, 176·96 kg. Ez alapon pl. a 3·6 m. átmérőjű szélkerék munkája a másodperczenként 4, 5, 6, 7, 8 m. sebességgel biró szél-áram hatása alatt: 0·3, 0·6, 1·0, 1·5, 2·3 lóerő. E számok azonban bizonyos technikai fogásokkal s azonkivül a kerék átmérőjének emelésével fokozhatók. A szélkerekek jelentékeny gyakorlati alkalmazással birnak.

TARTALOM.

Bevezetés.

Mechanika.

a) A szilárd testek mechanikája.

b) A folyékony testek mechanikája.

c) A légnemű testek mechanikája.

37—38. ***Magyarország őskora.*** Irta Darnay Kálmán.
39—40. ***Magyar büntetőjog.*** Irta Dr. Atzél Béla.
41—42. ***Bűnvádi perrendtartás.*** Irta Dr. Atzél Béla.
43. ***Kis növénygyűjtő.*** Összeállította Dr. Cserey Adolf.
44. ***Algebra.*** Irta Dr. Lévay Ede.
45. ***A magyar helyesirás törvényei.*** Irta Gaal M.
46. ***Ábrázolástan.*** I. füzet Irta Dr. Kolbai Arnold.
47. ***Ábrázolástan.*** II. füz. Rajzok az ábrázolástanhoz.
48—49. ***Növényhatározó.*** Irta Dr. Cserey Adolf.
50. ***Stereometria.*** Irta Dr. Lévay Ede.
51. ***Világtörténet.*** I. rész. Irta Cseh Lajos.
52—53. ***Stilisme.*** Irta Boros Rudolf.
54. ***Levelező gyorsirás.*** Irta Bódogh János.
55. ***Magyar közigazgatási jog.*** Irta Dr. Falcsik D.
56. ***Alkotmányi politika.*** Irta Dr. Gratz Gusztáv.
57./57a ***Magyar pénzügyi jog vázlata.*** Irta Dr. Bartha
58. ***Általános földrajz.*** Irta Hegedüs István. [Béla.
59. ***Ethika.*** Irta Dr. Somló Bódog.
60. ***Ásványhatározó.*** Irta Dr. Cserey Adolf.
61. ***Zeneműszótár.*** Összeállította Goll János.
62. ***A görög. irod. tört.*** Irta Márton Jenö.
63—64. ***A zománcz.*** Irta Mihalik József.
65. ***Vita-gyorsirás.*** Irta Bódogh János.
66. ***A magyar váltójog.*** Irta Dr. Berényi Pál.
67. ***Világtörténelem.*** II. rész. Irta Cseh Lajos.
68—69. ***A rajzolás vezérfonala.*** Irta és rajz. Boros R.
70—72. ***Mythologia.*** Irta Dr. Losonczy Lajos.
73. ***Általános zenetan.*** Irta Goll János.
74. ***Államszámviteltan.*** Irta Dr. Berényi Pál.
75. ***Jogbölcselet.*** Irta Dr. Somló Bódog.
76. ***Rovargyűjtő.*** Irta Dr. Cserey Adolf.
77. ***Szervetlen chémia.*** Irta Schwicker Alfréd.
78. ***Mechanika.*** Irta Dr. Lévay Ede.

A ‚Tudományos zseb-könyvtárban' legközelebb, de időhöz nem kötötten, a következő kötetek megjelenése van tervbe véve:

Aesthetika
Anthropologia.
Áruisme és vegytan
Astronomia
Chémia (szerves)
Dramaturgia
Egyházjog (Prot.)
Egyháztörténet
Észjog
Fejlődéstan
Fogalmazványok
Földrajz (politikai)
Földtan — Geológia
Geometria (analytica)
Görög régiségek
Jogtörténet

Kereskedelem-isme
Keresk. földrajz
Kereskedelmi jog
Keresk. szokások
Közjog (ism.
Lélektan
Logika
Művelődéstörténet
Német helyesirás
Német irodal. tört.
Nemzetgazdaságt.
Népisme
Oktat. módszertan
Olasz nyelvtan
Orosz nyelvtan
Ötvösség

Paedagógia
Pénzügytan
Polg. perrendtartás
Phys. repetitorium:
Optika és hötan [ség
Elektromosság, mágnes-
A kosmograph. elemei
Statisztika
Szótárak: Latin-Magy.
Német-Magy. Francia-
Magyar. Angol-Magyar.
Olasz-Magyar.
Természetrajz:

Állattan	Növénytan
Bogárgyüjtö	Gombaisme
Lepkegyüjtö	Ásványtan

Tornatanitás

Minden egyes füzet 60 fillér.