

Encycl. O.

52.

66.

STAMPFEL-FÉLE
ÁNYOS ZSEB-KÖNYVTÁR.

31.

Dr. Lévy Ede

Physikai Repetitorium

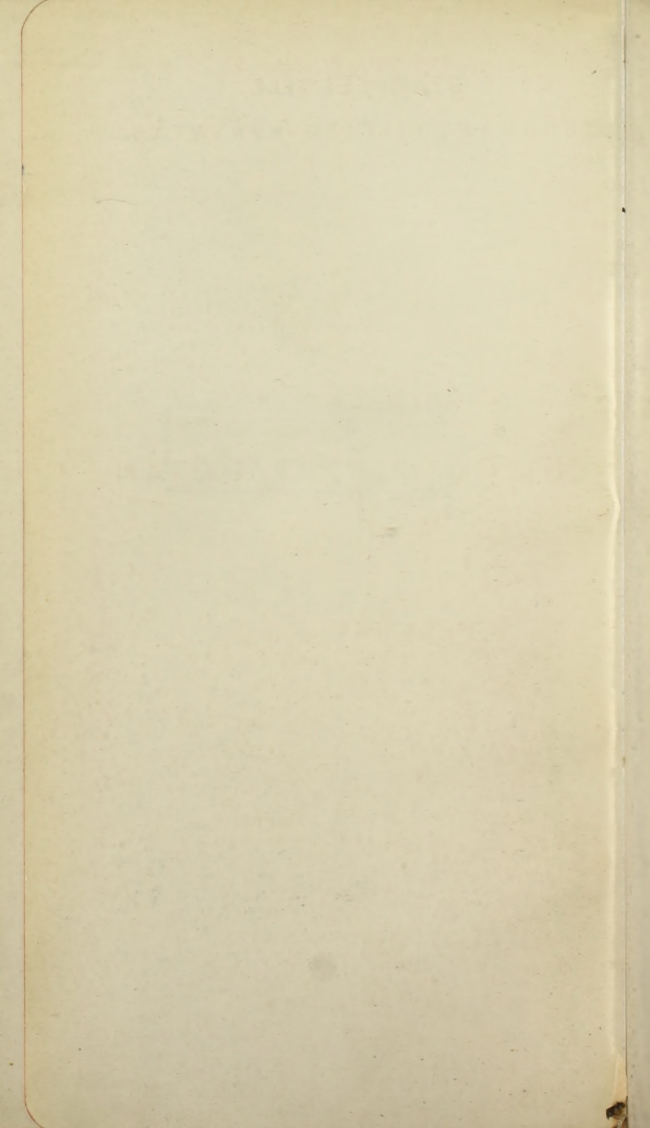
II.

AKUSTIKA. OPTIKA. HÓTAN

Ára 60 fill. • 30 kr.



POZSONY-BUDAPEST
KIADJA
STAMPFEL K.



STAMPFEL-FÉLE
TUDOMÁNYOS ZSEB-KÖNYVTÁR.

— ❧ 81. ❧ —

PHYSIKAI REPETITORIUM.

II.

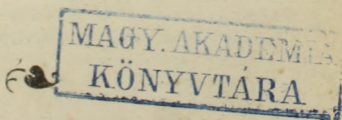
AKUSZIKA. OPTIKA. HÖTAN.

ÖSSZEÁLLITOTTA

DR. LÉVAY EDE

ÁLL. FÖGYMN. TANÁR.

45 ÁBRÁVAL.



POZSONY, 1901. BUDAPEST.

STAMPFEL KÁROLY KIADÁSA.

A „TUDOMÁNYOS ZSEB-KÖNYVTÁR“-ban

ugyanazon szerzőtől megjelent:

- 2. sz. **Arithmetikai és algebrai példatár.**
- 14. „ **A sík trigonometriája.**
- 23. „ **Planimetria.**
- 35. „ **Számтан.**
- 44. „ **Algebra.**
- 50. „ **Stereometria és sphaerikus trigonometria.**
- 78. „ **Physikai repetitorium; I. Mechanika.**
- 81. „ **II. Akustika. Optika. Hőtan.**

Legközelebb pedig meg fognak jelenni:

Physikai repetitorium:

III. Elektromosság és mágnesség.

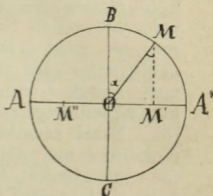
Analytica geometria.

Egy füzet ára 30 kr. = 60 fillér.

Hullámozó-mozgás.

1. §. A hullámozó mozgásról általában.

Ha a rugalmas test részecskéi közt mű- Egyszerű
 ködő molekuláris-erők egyensúly-állapotát az rezgő-mozgás.
 egyik O részecskének (1. ábra) A -ba tolása által
 megzavarjuk, akkor valamely p mozgató-erő lép fel,
 mely A részecskét O felé vonzza. Ez az erő nem
 állandó, hanem a rugalmasság határán belül, a
 részecskének az egyensúly-helyzettől mért távolságá-
 val arányos. Az így meghatározott p erő következ-
 tében A pont egyenlőtlenül *gyor-*
sulva O felé mozog; a gyorsulás
 kezdetben a legnagyobb, O felé
 mindig kisebbedik, magában O
 pontban zérus; a sebesség azon-
 ban éppen itt az egyensúly-hely-
 zetben a legnagyobb; az anyagi
 pont tehát tehetetlenségénél fogva
 a tulsó oldalra megy át s mint-
 hogy ott az erő a mozgás ellené-
 ben működik, egyenlőtlenül *las-*
sudva A' -ig jut s ott nyugalomba jön. Minthogy a
 sebesség az egyenlőtlenül lassuló mozgás alatt ugyan-
 olyan mértékben csökken, amilyen mértékben az
 egyenlőtlenül gyorsuló mozgás alatt növekedett,
 azért a csökkenés és növekedés időtartama egyenlő,
 azaz a pont akkor jön nyugalomba, mikor $OA = OA'$.
 Ettől kezdve egészen hasonló módon megy végbe a
 pont visszafelé haladó mozgása. Az ilyenfajta mozgást
egyszerű rezgő-mozgásnak nevezzük s amint láttuk,
 ennél az erő és hatása közt éppen olyan az össze-
 függés, mint az ingamozgásnál. Az anyagi pont
 rezgő-mozgása tehát éppen olyan periodikus mozgás,
 mint az ingáé.



1. ábra.

Az A -tól A' -ig és A' -től A -ig, vagy O -tól A -ig,
 innen A' -ig és vissza O -ig tartó mozgást *egy-rezgés-*
nek (oscillatio), az erre szükséges időt *rezgési-időnek*,
 a legnagyobb sebességet, tehát azt, melylyel a pont

a nyugalmi helyzetben bír, a *rezgés intenzitásának*, az egyensúly-helyzettől mért legnagyobb OA távolságot *amplitúdónak* hívjuk. A *rezgés változatát* (phasis) bármely M' pontban, a pontnak az egyensúly-helyzettől való távolsága, vagy *elongatiója* (OM' , OM'') s a pont azon helyen birt sebességének iránya és nagysága tökéletesen meghatározza. A rezgés változatát a következő matematikai formulák fejezik ki:

Az elongatio $x = a \cdot \cos \frac{2\pi t}{T}$, a sebesség $v = c \cdot \sin \frac{2\pi t}{T}$,

ahol a az amplitudót, c a maximális sebességet, t a változati és T a rezgési-időt jelenti. E képletek azon összefüggés alapján vezethetők le, mely a rezgő-mozgás s az egyenletes körmozgás között létezik.

Hullámzó
mozgás.

Ha a rezgő pontot nem tekintjük isomozgásnak, hanem oly pontsor egyik tagjának, melyben az egyes pontokat cohaesio-erők tartják egyensúlyban, akkor az első pont vibratiói a többit is kimozdítják a nyugalmi-helyzetből. A rezgő-mozgás részecskéről-részecskére való ily előrehaladását, melynél a terjedés irányában minden részecske később kezdi meg rezgését, mint a megelőző, *hullámzó-mozgásnak*, mégpedig a terjedés módja után *haladó hullámzó-mozgásnak*, annak eredményét *hullámnak* nevezzük s ezen két egyenlő phasisban lévő pont távolságát értjük. Ezzel szemben *álló hullámmozgásnak* az olyat mondjuk, melynél a részecskék egyidejűleg kezdik meg mozgásukat és egyszerre haladnak át az egyensúly- és legszélső állásokon. Amíg tehát az elsőnél az egyensúly-álláson való áthaladás idői nem esnek össze, addig a második-fajta hullámmozgásnál az amplitudók különbözők. A hullámzó-mozgásnál szigorú különbséget kell tennünk az egyes részecskék szűk határok közt végzett periodikus mozgásai és a rezgő-mozgás szétterjedése közt; ez utóbbi folyton előbbre halad, mert mindig új meg új részecskék vonatnak be a rezgő-mozgásba. Azt a pontot, a honnan a hullám-mozgás megindul a hullám *eredetének*, az ezen átmenő egyeneseket *hullám-sugaraknak*, a hullám-mozgástól egy teljes rezgési-idő alatt megtett utat a *hullám hosszának* hívjuk. Ha a hullám-sugarat pontsornak tekintjük s felteszszük, hogy a hullámkeltő-pont az idő egysége alatt n rezgést végez, akkor ugyanazon idő alatt n hullám jön létre, melyek mindenikének λ a hosszúsága; azaz az idő egysége alatt — *isotrop* közegben — a mozgás $n\lambda$ távolságra terjed s így a *terjedési-sebesség*: $c = n \cdot \lambda$.

Megkülönböztetünk *transversális*- és *longitudinális-hullámokat*. Transversális-hullámoknál a molekulák a hullámsugárra merőlegesen, longitudinális-hullámoknál a hullámsugár hosszában végzik rezgéseiket. Ha a transversális hullám-mozgásnál összekötjük azokat a pontokat, melyekben az egyes molekulák egy időben vannak, a *hullám- vagy sinusvonalat* nyerjük; ennek a hullámsugár fölé eső részét *hullám-hegynek*, az alsót *hullámvölgynek* hívjuk. A longitudinális hullámmozgásnál a hullámok *egyenes vonalúak*, ámde változik a pontok sűrűsége a pontsorban; némely helyen az egyensúlyban lévő molekula-sorhoz képest *sűrűdés*, másutt *ritkulás* mutatkozik. Beszélünk még *körhullámokról* is, melyeknél az egyes pontok a sugárral egy síkban fekvő köröket írnak le. A *transversális-hullámok* alapjukat az *alak-változtatás ellen fellépő rugalmassági-erőkben* bírják, ilyenek tehát csakis *szilárd* testeknél lehetségesek. Ezzel szemben a *longitudinális-hullámok* okát a *térfogat-változtatás ellen kifejtett rugalmassági erőkben* találjuk; longitudinális-hullámok tehát *szilárd-, folyékony- és légnemű-testekben* egyaránt létre jöhetnek.

A hullám elnevezés onnan származik, hogy a víz felszine mindannyiszor emelkedik és süllyed, tehát *hullámzik*, a hányszor tükrét valamely erő megüti. A víz-hullámokat behatóan *Weber* testvérek tanulmányozták.

A hullámmozgások szemléltetésére *Fessel*, *Mach* és *Weinhold* hullámgépei szolgálnak.

A hullámmozgás *c* terjedési sebessége azon közeg (medium) minőségétől függ, melyben a hullámmozgás végbemegy. *Minél ruganyosabb a közeg és minél kisebb tömegének a sűrűsége, annál nagyobb abban a hullám-*

mozgás terjedési sebessége. Espedig: $c = \sqrt{\frac{E}{d}}$, ahol

E a rugalmassági modulust, *d* pedig a közeg tömegének a sűrűségét jelenti.

2. §. A hullámok szétterjedése. Huyghens elve.

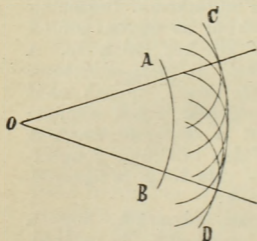
A testek nem csupán egy, hanem számtalan molekula-sorból állanak. Ha tehát valamely pontban a hullámmozgás megindul, akkor, ha a tért betöltő közeg *homogén*; a rezgés mindenfelé egyenlő sebességgel terjed szét s így bizonyos idő múlva a hullámmozgás oly felületet ér el, mely

Hullámgömb.

nek valamennyi pontja ugyanazon rezgési állapotban van. Az egyenlő pházisban lévő pontokat összekötő eme gömbfelületet hullámfelületnek nevezük. E minden irányú szétterjedés csökkenti a hullámmozgás intenzitását, mégpedig a távolbaható erőnyilvánulások törvénye szerint oly módon, hogy a csökkenés akkora mérvű, mint ama gömbsugár négyzetének a növekedése. Heterogén közegben a hullámfelületek nem gömbök többé, hanem másféle, komplikáltabb alkotású felületek.

Huyghens
elve.

Huyghens (1690) szerint a hullámok elterjedése úgy is képzelhető, hogy a hullámfelület minden pontja új, minden irányban szétterjedő, úgynevezett elemi-hullámok középpontjává lesz



2. ábra.

s akkor a tényleg tovahaladó főhullámmal azt tekintjük, a mely ezen elemi hullámokat érintőleg körülfogja. Ez az elv figyelembe veszi a pontok egymáshoz való viszonyát s kizárja az elszigetelt sugár létezését. Huyghens elve a hullám-mozgás mechanis-

musát tárja fel előttünk s így a hullám-mozgáson alapuló tünemények megfejtésénél felette nagy fontossággal bír.

3. §. A hullámok visszaverődése, törése és interferentiája.

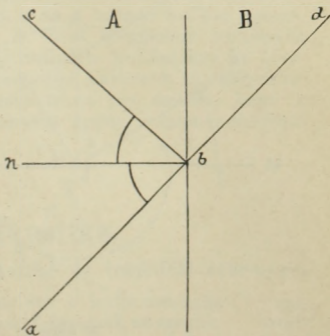
A hullámok
visszaverő-
dése.

Ha az A közegben (3. ábra) haladó ab hullám új, más sűrűségű B közeg határához érkezik, akkor a hullám egy része behatol az új közegbe, egy része pedig visszatér a régi (reflexio). Ez utóbbi bc hullámot visszavert-hullámnak nevezük. A visszaverődés törvénye szerint a visszavert sugár a beesővel egy síkban fekszik s az nb beesési függéllyessel ugyanakkora szöget zár be, mint a beeső sugár. Ha A közeg sűrűsége nagyobb, mint B közegé, olyan eset áll be, mint mikor nagyobb tömegű golyó ütközik a kisebb tömegűhöz, s a határon lévő pontok rezgés-iránya megmarad, sőt a visszatérő hullám a határlaptól valamely m távolságban ugyanazon pházisban van, mint az új

közegbe lépő hullám a határlaptól ugyancsak m távolságban. A visszavert hullám tehát hegygyel tér vissza felé, ha a direct hullám hegygyel ment előre. Ha azonban A közeg sűrűsége *kisebb*, mint B közegé, akkor olyan eset áll be, mint mikor kisebb tömegű golyó ütközik a nagyobb tömegűhöz, a régi közeg határpontjai sebességük egy részével visszapattannak, miáltal a visszatérő hullám félhullámhossznyi phasis-változást szenved, a visszavert hullám völgygyel megy előre, ha a direct hullámban a hegy volt elől. Hasonló viszonyok közt így történik a dolog a longitudinális hullám mozgásnál is.

A hullámok törése (refractio) azon irány- Hullámtörés.
változás, melyet a

hullámok szenvednek, ha olyan új közegbe hatolnak be, ahol más terjedési-sebességgel bírnak. A megváltozott irányú sugarat törött sugárnak, azt a szöveget pedig, melyet a törött sugár a beesési-függéllyessel alkot, törési-szögnek nevezzük. A törési törvény a következő két tételből áll: 1) A törött sugár a beesési függélyes és a beeső-sugártól meghatározott síkban

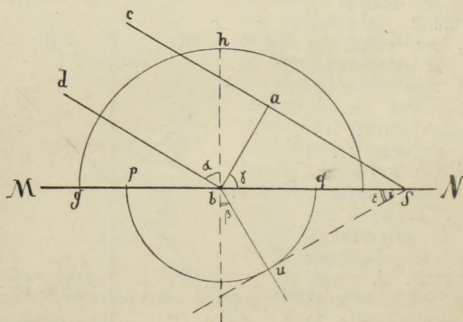


3. ábra.

fekszik. 2) A beesési- és törésszög sinusainak aránya állandó, mégpedig egyenlő azon aránnyal, melyet a hullámmozgásnak a két közegben birt c és c' terjedési sebességei alkotnak. A $c:c'$ arányt törésmutatónak (n) nevezzük. Ilyformán: $\sin \alpha : \sin \beta = c : c' = n$. Ha tehát ab (4. ábra) az érkező hullám állása, akkor Huyghens elve szerint b új hullám középpontjává lesz, mely hullám a két közeg MN határanak másik oldalán az új közegben terjed szét, mégpedig megváltozott (c -nél nagyobb, vagy kisebb) c' sebességgel. Amíg az a elemi hullám f -ig halad, addig az új hullám valamely bu sugarú kör (gömb) kerületéig érkezik s így: $af : bu = c : c'$. Az új közegben a főhullám irányát úgy kapjuk meg,

hogy f -ből poq körhöz az fu érintőt húzzuk, akkor bu lesz a törött sugár iránya és $\varepsilon = \beta$ a törési-szög. Ha most az $af : bu = c : c'$ aránylatba $af = bf \cdot \sin \gamma = bf \sin \alpha$, $bu = bf \cdot \sin \varepsilon = bf \cdot \sin \beta$ értékeket helyettesítjük, lesz: $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c}{c'} = n$.

Interferentia. Ha ugyanazon közegben több egymást keresztező hullám jön létre, akkor azok úgy folytatják utjukat a kereszteződés felé, mintha a többi jelen sem lenne. A találkozási helyen magán fekvő pontok pedig olyan pályákat írnak le, melyeket a találkozó hullámvonalak eredői gyanánt tekinthetünk. Vala-



4. ábra.

mely részecske helyét bármely pillanatban megtalálhatjuk, ha az eredő fekvését, a pontnak az egyensúly állástól való s az egyes hullámvonalaknak megfelelő eltéréseiből, a parallelogramma tételével kiszámítjuk. Ezen eltéréseket, ha ugyanazon vonalban fekszenek és egyenlő irányúak összeadjuk, ellenkező esetben kivonjuk. (*Young elve.*) Ha tehát két egyenlő hosszú, egyirányú hullám ugyanazon helyen találkozik, s útkülönbségük páros számú félhullámhosszakkal egyenlő, azaz $0, \frac{2\lambda}{2}, \frac{4\lambda}{2} \dots 2n \cdot \frac{\lambda}{2}$; akkor a hullámok erősítik egymást s így az interferentia folytán keletkező hullám kitérése és sebessége a találkozó hullámok kitéréseinek és sebességeinek összegével egyenlő. Ha azonban a találkozó hullámok útkülönbsége

páratlan számú félhullámhosszakkal egyenlő, azaz: $\frac{\lambda}{2}, 3 \cdot \frac{\lambda}{2} \dots (2n + 1) \frac{\lambda}{2}$; akkor az interferentia folytán keletkező hullám kitérése és sebessége a találkozó hullámok kitéréseinek és sebességeinek különbségével egyenlő s így egyenlő amplitudók mellett a hullámok egymást megsemmisítik.

Két egymással szembe haladó egyenlő hosszúságú hullám találkozása egy helyben maradó *álló-hullámra* vezet, melynél a félhullámhossznyi távolságban fekvő pontokban — a *rezgési-csomópontokban* — a két hullám ellenkező pházisban lévén, egymást lerontja s így e pontok folytonosan egyensúlyállásaikban maradnak. Az álló hullám hosszának a két csomópont közt fekvő részt tekintjük, miért is ez a haladó hullám hosszának felével egyenlő. A most megismert törvények ellenkező irányú longitudinális hullámokra is érvényesek. A longitudinális álló hullámok sűrűségváltozást idéznek elő a pontsorban oly módon, hogy a sűrűségváltozás maximuma éppen a csomópontoknál mutatkozik.

Akustika.

4. §. A hang keletkezése és terjedési sebessége.

Azt az érzést, melyet a hullámmozgás halló szervünkben ébreszt, *hangnak* nevezzük. Hang-gerjesztés.
A hang a *hanggerjesztő rugalmas test* rezgő mozgása által jön létre oly módon, hogy annak álló rezgései a *hangvezető közegben* haladó hullámmozgást hoznak létre s a közegben szétterjedő hullámok a *halló szervbe* jutnak, ahol az agygyal összeköttetésben álló halló-idegek működése folytán a hanghullámok mechanikai mozgásai subjectiv hang-érzetekké alakulnak át. *Hangforrás, vezető-közeg és egészséges fül* nélkül hang-érzés nem támadhat. Vezető-közegül legtöbbször a levegő szolgál. A vacuumban nem terjed a hang.

A levegő rezgései longitudinális rezgések, melyeknél a megsűrített légréteget *hullámhegynek*, a megritkultat *hullámvölgynek*, a kettőt együtt *hanghullámnak* nevezzük. A levegő hullámzását *König* nyomán úgy teszszük láthatóvá, hogy forgó tükörben vizsgáljuk a hanghullámoknak valamely kis érzékeny lángra gyakorolt hatását.

Az egyetlen ütés által keltett *csattanástól* eltekintve és csakis a folytonos hangokat véve figyelembe, a *zörejt* és a *zenei hangot* különböztetjük meg. Zörej akkor jön létre, ha a rezgések szabálytalanul követik egymást. Ha azonban a rezgések egyenlő időközökben következnek, zenei hang keletkezik: és pedig 14-től 40.000 rezgésig (*Preyer*). A zenében használatos hangok rezgési száma csakis 16-tól 5000-ig terjed.

A hang terjedési sebessége.

A tapasztalat azt mutatja, hogy levegőben a legkülönbözőbb hangok csaknem ugyanazon sebességgel terjednek tova. Változik azonban a hang gyorsága a hangvezető közeg szerint. A hang terjedési sebességét elméleti és kísérleti uton lehet meghatározni. Az elméleti meghatározás az 1. §-ban megismert: $c = \sqrt{\frac{E}{d}}$ képlettel történik, ahol E a vezető közeg rugalmassági modulusát, d a közeg sűrűségét jelenti.

Kísérleti uton a következő meghatározások történtek:

1. *Levegőben* a hang c terjedési sebességét azon a tapasztalati alapon határozták meg, hogy az, a fény terjedési sebességéhez képest, elenyésző kicsiny; ha tehát valamely állomáson ágyút sütöttek el s azt ismert — s — távolságban megfigyelték, akkor a fény- és hangbenyomás közt eltelt — t — idő arra volt szükséges, hogy a hang s utat megtegye s így az egyenletes mozgás törvényei szerint: $c = \frac{s}{t}$. Ilyen

meghatározást legelőször a francia akadémia néhány tagja végzett *Páris* mellett, 1738-ban. Később mind a két állomáson sütöttek el ágyúkat s kölcsönös megfigyelések alapján állapították meg a hang terjedési sebességének középértékét (*Moll és van Beck, Regnault és König*). Ezen meghatározások arra az eredményre vezettek, hogy a hang terjedési sebességének középértéke 0°-ú száraz levegőre vonatkozólag másodpercenként 331.56 m. Ez a szám annál nagyobb lesz, minél magasabb a levegő hőmérséklete (11° C-nál: $c = 338$ m.) s annál kisebb, minél nagyobb a levegő nedvessége; a légnyomástól azonban független.

2. *Vízben Colladon és Sturm* (1827.) határozták meg a hang terjedési sebességét. A genfi tóba harangot bocsátottak le, melyre egy kalapáccsal reáütöttek. A kísérletet úgy rendezték be, hogy az ütés pillanatában a másik állomáson megfigyelhető tűzjel

keletkezett s ugyanott a vízből kiálló hallócsőn át meghallották a harang hangját is. A fény- és hangbenyomás közt eltelt idővel elosztva a két állomás ismert távolságát úgy találták, hogy a hang terjedési sebessége vízben 1435 m. másodpercenként, azaz körülbelül 4-szer akkora, mint levegőben.

3. *Szilárd testekben* a hang terjedési sebességét a pálczák *longitudinális* rezgéseiből határozták meg. (*Wertheim*). Ily fajta meghatározásokból kiderült, hogy a hang vasban $7\frac{3}{4}$ -szer, üvegben 15·2-szer, fenyőfában 18-szor oly gyorsan terjed mint levegőben.

Az a tény, hogy a hangot minden test vezeti, azt igazolja, hogy minden test összenyomható és kiterjeszhető.

5. §. A hang visszaverődése és törése.

Ha a hanghullámok szétterjedésük közben sűrűbb test határához érkeznek, akkor egy részük a 3. §-ban megismert általános törvények értelmében visszaverődik s az *utóhang* és *viszhang* (echo) okává lesz. A hang visszaverődési törvényének szemléltetésére néhány méter hosszú bádgcső szolgál, melynek egyik vége mellé derékszög alatt néhány dm. hosszú ugyanolyan bádgcsővet állítunk. Ha a rövid cső elé zsebórát helyezünk, annak ketyegését nem halljuk meg a hosszabb csőre helyezett fülünkkel. Mindjárt hallható lesz azonban a hang, amint a két cső egymás mellett lévő végéhez 45° alatt csiszolt fémlapot állítunk. Ha a tükröző felületet előbb lapjával a rövidebb cső irányába tesszük s úgy forgatjuk lassan 45° -ig, akkor a hang fokozatos erősödését is észlelhetjük.

A hang
vissza-
verődése.

Ha a hanghullámokat visszaverő fal nagyon közel fekszik a hangforráshoz, akkor a visszavert hullámok az eredetiekkel csaknem egyszerre érnek a fülhöz s így a visszavert hanghullám hatása csupán abban nyilvánul, hogy az eredeti hangot erősíti. Valamivel távolabb fekvő falaktól egy kevéssel később fogja fel a fül a visszavert hullámokat s az e révén létrejövő *utóhang* a beszéd érthetőségére zavarólag hat. Az olyan teremről, melyben nincs utóhang, azt mondjuk, hogy jó az *akustikája*. Ha a visszaverő fal jelentékeny távolban van, a visszavert hangot külön fogja fel a fül s *viszhang* jön létre. Ep fül egy másodpercz alatt közép számban 10 hangot tud megkülönböztetni. A visszatérő

Utó- és
viszhang.

hangnak tehát $\frac{1}{10}$ mp.-ig kell uton lennie, azaz 34 m. utat kell megtennie, hogy azt a fül külön foghassa fel. Hogy tehát visszhang jöhessen létre, a visszaverő falnak legalább 17 m. távolságban kell állnia. Az ilyen fal egy szótagot egyszer ad vissza. Az *adersbachi* sziklák 7 szótagot háromszor adnak vissza. A *Milano* mellett lévő *simonettai* vár a pisztolylövést 56-szor hangoztatja. Ilyen visszhang párhuzamos s megfelelő távolban fekvő falak közt jön létre, ahol a falakon többször innen-oda verődik a hanghullám. A *tihanyi* visszhang 16 szótagot egyszer ad vissza, ott tehát a visszaverő (templom) fal 16-szor 17 m. távolban áll. — A menydörgés gurulás-szerű hangjának a felhőkről visszaverődő hangok az okai.

A hang
törése.

Az új közegbe érkező hanghullámok eltérnek eredeti irányuktól, *megtöretnek*. E tüneményt *Sonderhauss* szerint szénsavval telt lencsealakú kaucsuk-ballonnal észlelhetjük, ahol a lencse elé tartott óra ketyegését a lencse mögött egy pontban — és pedig abban, ahol a megtört sugarak egyesítettnek — legjobban halljuk.

6. §. A hang magassága, ereje és színezete.

A hang
magassága.

Kísérletileg igazolható, hogy a hang magassága a rezgések számától függ. (*Mersenne*.) Ha aczélpálczát egyik végén megerősítünk s a szabad végét kihajlítván, magára hagyjuk, a pálcza rezgésbe jön. Ha a pálcza elég hosszú, látjuk a rezgéseket, de mély zümmögésen kívül mást nem hallunk. Ha a pálcza hosszát folyton csökkentjük, láthatjuk, mint lesznek a rezgések mindig gyorsabbak; végre az egyes rezgéseket már nem is tudjuk egymástól megkülönböztetni, ámde folyton emelkedő hangot hallunk. *Savart* vékony fogas korongot gyors forgásba hozott s kártyalapot tartott a fogak elé. A kártyalapnak a kerék fogaihoz való ütközéséből annál magasabb hang jött létre, minél gyorsabb volt a korong forgása, azaz minél nagyobb volt a rezgések száma.

A zenei hangok előállítására szolgáló készülékeket *szirénáknak* nevezzük. *Seebeck* szirénája kemény papirból, vagy sárgarézből készült korong, melynél néhány koncentrikus kör kerületén egyenlő távolságban nyílások vannak fúrva. Ha a korongot a centrifugális géppel egyenletes gyors forgásba hozzuk s fujtatón át a nyílások egyik sora fölé helyezett üvegsőből reá légáramot vezetünk, akkor a levegő megsűrűdik

a korong túlsó oldalán, a hányszor a légáram nyílásra talál, mellette tehát ritkult hely keletkezik. E sűrűdések és ritkulások annál magasabb hangra vezetnek, minél nagyobb a korong forgási sebessége, vagy minél nagyobb a nyílások száma. Itt is kitűnik tehát, hogy a hang magassága a rezgések számával növekedik. Ezt a készüléket *Cagniard de Latour*, majd *Dove* és *Helmholtz* oly módon tökéletesítették, hogy most a légáram maga forgatja a korongot s egyersmind a vele összekötött számláló-készülék a *rezgési számok pontos meghatározását teszi lehetségessé*. A hang terjedési sebességéből és az egy másodpercben megtett rezgések számából kiszámítható a hanghullámok hosszúsága: $\lambda = \frac{c}{n}$. A szirénákkal tett

kísérletekből kiderült, hogy: 1) az emberi hallószerv csakis a legalább mintegy 16—30 rezgésből álló hangot fogja fel hang gyanánt és hogy 20—30 ezer rezgés közt már megszűnik az emberre nézve a hangok magasság tekintetében való különbözősége, daczára annak, hogy a hangok hallhatósága — bár egyénenként változik, — a másodpercenként 30 és 60 ezer rezgésből álló hangokig terjedhet; 2) a hang magasságát a rezgés-szám teljesen meghatározza, más szóval, azok a hangok, melyeket fülünk egyenlő magasságuaknak hall — ha különböző hangszerektől származnak is — egyenlő rezgés-számmal bírnak; 3) két különböző magasságú hang *magasságának* fülünktől felismert *aránya*, az ugynevezett *hangköz* vagy *intervallum*, csakis a rezgés-számok arányától ($n : n_1$) függ s ezen aránynyal teljesen meg van határozva.

A hangokat még *erejük* vagy *intenzitásuk* tekintetében is meg szoktuk különböztetni. A hang bizonyos eleven erő révén hat fülünkre; a hang erejét ezzel, vagy ami ugyanazt jelenti a *rezgési-sebesség négyzetével* arányosnak tekintjük s mivel ez utóbbi az amplitudótól függ; azért kimondhatjuk, hogy *a hang intenzitása az amplitudó négyzetével arányos*. Ebből egyszersmind az is látszik, hogy az intenzitás a hangforrástól való távolsággal csökken. Minthogy a hullámfelület minden irányban szétterjedő hullámoknál oly gömbfelület, mely a sugár négyzetével arányosan nő, azért a felület egységre eső energia a sugár négyzetével arányosan csökken. *A hang ereje* tehát *a távolság négyzetével arányosan csökken*. Ez azonban csakis a hang minden irányú szétterjedésénél érvényes. Nem áll tehát,

A hang ereje.

ha a hang csövekben halad tova. Ezt az esetet látjuk a *szócsőnél*, a hol a kúpalakú cső keskenyebb nyílásán közölt hang sokkal nagyobb távolban marad intenzív, mint annak alkalmazása nélkül, vagy a *hallócsőnél*, melynek keskenyebb végét a nagyothalló ember fülébe alkalmazzák, miáltal az a tágabb végen közölt hangokat megerősödve hallja. *A hang ereje függ a hangzó test tömegétől is.* Nagy harang erősebb hangot ad, mint a csengetyű. Az ágyú erősebb hangot ad, mint a pisztoly, mert nagyobb légtömeget hoz rezgésbe. *Végül a hang ereje függ még a vezető közeg sűrűségétől.* Sűrű levegőben pl. a buvárharangban erősebb a hang, mint a közönséges sűrűségű levegőben. Magas hegyeken gyengébb a hang, mint a hegyek alján.

Hangszínezet (timbre) néven azt a különbséget emlegetjük, mely különböző hangszerek ugyanolyan magasságú és erősségű hangjai között észlelhető. Amit mi fülünkkel *hang* gyanánt felfogunk, az sohasem egyetlen hullámzó mozgás eredménye, hanem oly *hangkeverék*, mely az uralkodó *alaphangból* s több azt kísérő *mellék-*, vagy (mert ezek rendszeren magasabbak az alaphangnál) *főhangból* áll. E mellékhangok nem befolyásolják az alaphang magasságát, ámde számuk, magasságuk is intenzitásuk szerint megadják a hangnak sajátos színezetét. *Fourier* kimutatta, hogy az idő minden periodikus függvénye matematikailag sinus-függvények összege gyanánt állítható elő. Fülünk a függvénynek éppen a *Fourier-féle sorban* kifejezett felbontását végzi s azért e sor nagy fizikai fontossággal bír. A zeneileg gyakorlott, figyelmes fül képes az egyes hangokból azok összetevőit kiérezni.

7. §. A hangskála.

Valamely hang *abszolút magasságát* a rezgések egy másodpercze vonatkoztatott száma fejezi ki. Ha két hang rezgés-számait arányba állítjuk a *relatív hangmagassághoz* jutunk. Egységül az *alaphang* rezgési számát vesszük. Ha két hang rezgési számainak aránya 1 : 2, akkor az utóbbit az *alaphang* (prim) *nyolczadának* (octav) mondjuk, mert a kettő közé még 6 olyan hangot illeszthetünk, melyek egymásutánja hallásunkra kellemes befolyást gyakorol. Az említett 8 hang a *diatonikus hangskálát* alkotja, mely-

ben a rezgési számok aránya: $1, \frac{9}{8}, \frac{5}{4}, \frac{4}{3}, \frac{3}{2}, \frac{5}{3}, \frac{15}{8}, 2$. (alaphang, secund, nagy terz, quart, quint, sext, septim, octav). Ha az alaphang C, akkor a többi hang neve: D, E, F, G, A, H, c. Két szomszédos hang arányát képezve, az egymást követő hangok *intervallumai*:

$$\begin{array}{cccccccc} C, & D, & E, & F, & G, & A, & H, & c \\ \frac{9}{8}, & \frac{10}{9}, & \frac{16}{15}, & \frac{9}{8}, & \frac{10}{9}, & \frac{9}{8}, & \frac{16}{15} \end{array}$$

Ha két hang intervalluma $\frac{9}{8}$, vagy $\frac{10}{9}$, akkor azt mondjuk, hogy a második hang egy *nagy*, illetőleg egy *kis egész hanggal* magasabb, mint az első. A $\frac{16}{15}$ intervallumot *nagy félhangnak* nevezzük.

A megismert 8 hang nem elég minden zenei kívánság kielégítésére, azért a diatonikus hangskála minden olyan két hangja közé, melyek intervalluma egész hang, még egy-egy összesen 5 hangot igtatnak be, miáltal a 13-as *chromatikus hangskálát* nyerik: C, Cis, D, Dis, E, F, Fis, G, Gis, A, Ais (vagy B), H, c. A mai zenében általánosan az *egyenlő lebegésű hangmérséklet* alapján a chromatikus hangskála 13 hangja 12 egészen egyenlő intervallumot képez. Ha azt az intervallumot x jelenti, akkor: $x^{12} = 2$ és $x = \sqrt[12]{2} = 1.05946$.

Több hang együtt megszólaltatva *accordot* ad, mégpedig *összhangzót*, (consonans), ha a fülre kellemesen, *széhangzót* (dissonans), ha arra kellemetlenül hat. Már *Pythagoras* tudta, hogy két hang annál összhangzóbb, minél kisebb számok fejezik ki azok relativ magasságát. Három hang is alkothat *accordot*. A terz, quint és septimből alkotott *accordaál* a rezgési számok aránya = $10:12:15$; ez az *accord* sajátzerű komor jelleggel bir és *moll-accordnak* neveztetik. A prim, nagy terz és quintből álló *dur-accord* vidám jellegű. Ezek szerint a zenében is dur- és moll-hangnemek szerepelnek.

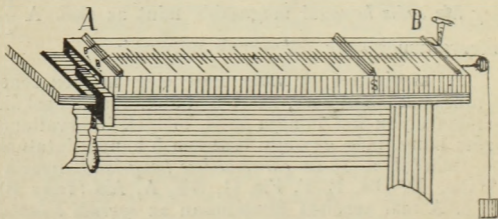
A felsorolt hangokat idáig csak arány-számaik alapján ismertük meg, holott azok *absolut magassága* nemzetközileg meg van állapítva s az alaphang A (kamarahang) párisi hangolás szerint másodpercenként 435 rezgést végez. A többi hang rezgésszámát

az intervallumok segítségével, szorzással határozhatjuk meg. Az 1885. bécsi congressuson a kamarahangra nézve 437.5 rezgésben történt megállapodás.

8. §. A hangszerekről.

Zenei hangok előidézésére rugalmas szilárd testek, a *húrok*, *pálczák*, *lemezek* és *hártyák*, vagy csövekbe zárt légoszlopok, a *sípok* szolgálnak. Zenei hangokul e testek *álló rezgéseit* fogjuk fel.

A húrokról. A zenei hangot adó két végén meg-erősített húr *transversális rezgéseket* végez, melyeket ütés, pengetés vagy gyantázott vonóval történő végighuzás árán gerjesztünk. A húr rezgési törvényeit a *sonométer*, vagy *monochord* (5. ábra)

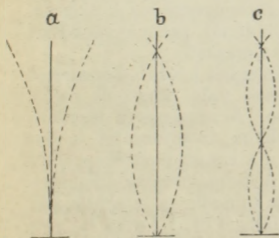


5. ábra.

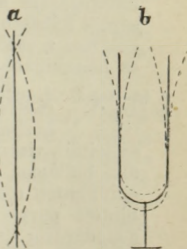
segítségével tanulmányozzuk. Fenyőfából készült, 1 m.-nél valamivel hosszabb láda az, melynél egy, vagy több húr a felső laphoz erősített nyergeken nyugszik. A húr hosszát egyik nyeregtől a másikig mérjük. Könnyű belátni, hogy a húr végein mindig rezgési csomók keletkeznek, a többi pontok pedig vagy egyidejűleg valamennyien rezegnek, vagy a végpontokon kívül még 1, 2, 3 . . . stb. rezgési csomópont van köztük. Első esetben a húr egész hosszában rezeg és *alaphangját adja*; több rezgési csomó esetében pedig a húrnak csakis valamely hányadrésze rezeg; az így gerjesztett hullámok a húr hosszán végig haladnak s a nyergektől ellenkező phásissal visszaveretnek. A haladó és visszavert hullámok interferentiája álló hullámokra vezet, melyek felényi hosszúsággal bírnak, mint a haladók s rezgési csomókat alkotnak. A rezgési csomókat a monochordra helyezett papírlövegok segítségével mutathatjuk meg. A felében,

harmadában megpengetett húron csakis a nyugvó csomópontokban maradnak meg a papirlovagok. A sonométer segítségével kimutatható, hogy: a hangmagasság, vagyis a rezgések száma húroknál a feszítő súly négyzetgyökével egyenes, a húr hosszával, vastagságával és fajsúlyának négyzetgyökével fordított arányban áll. (Euler.) Húros hangszerek: a hegedű, a zongora, a mély hegedű, a gordonka, a hárfa, a citera, a gitár és a czimbalom.

Mindkét végükön megerősített *pálcák* úgy rezegnek, mint a húrok. Egyik végükön megerősített pálcák transversális rezgéseket végeznek s az alaphang esetében a 6. ábrában *a* alatt, az első,



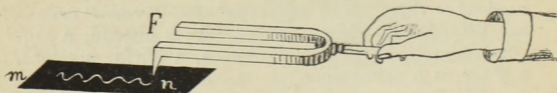
6. ábra.



7. ábra.

illetőleg második felhang esetében a *b*, illetőleg *c* alatt feltüntetett rezgési alakot veszik fel. A szabadon álló pálcza akkor adja alaphangját (7. ábra, *a*), mikor végeitől mintegy $\frac{1}{6}$ -részyire fekvő csomópontokkal, a két végén és a közepén pedig rezgési-orsókkal bír. A hangvillák (7. ábra, *b*) Chladni szerint úgy rezegnek, mint a mindkét végükön szabad pálczák. Ha a hangvillán kettőnél több csomó keletkezik rövid tartamú, nem harmonikus felhangok lépnek fel. Ezek a középrész czélszerű megvastagítása által hárit-hatók el. A hangmagasság, vagyis a rezgések száma hangvilláknál a vastagsággal egyenes, a pálcza hosszúságának négyzetével fordított arányban áll és függ még a pálcza anyagának rugalmasságától és fajsúlyától is. Pálczák és húrok longitudinális rezgések felvételére is képesek. Az így keletkezett hangok pl. a hosszában dörzsölt üvegcsőnél, sokkal magasabbak, mint a transversál-rezgéseknél keletkezők. A

hangvilla rezgéseit a 8. ábrában feltüntetett módon szemléltethetjük, ha a megütött hangvillára erősített tűt bekormozott üveglapon, vagy *Duhamel* szerint üveghengeren, óvatosan végig húzzuk. Ez az eljárás

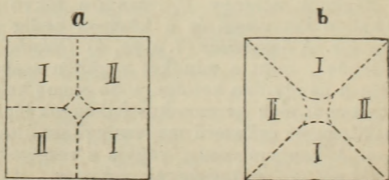


8. ábra.

a bizonyos idő alatt leírt uton mutatkozó hullámhosszak megolvasása által a hang magasságának meghatározására s ez alapon apró időkülönbségek mérésére is felhasználható. (*Beetz chronographja.*) A pálczák rezgéseit a vashegedűnél, sípládánál, szalmahegedűnél és hangvillánál nyernek alkalmazást.

A lemezek és hárták-ról.

Fémről vagy üvegből készült lemezeket ráütés, vagy vonóval való dörzsölés útján hozhatunk rezgésbe. A rezgések a lemezek széleitől visszaveretnek, ekkor interferentia útján álló hullámok jönnek létre s a lemez *csomóvonalaktól* elkülönített részekre oszlik. A csomóvonalak a lemezre hintett porzóval láthatókká tehetők, a *Chladni-féle hangábrákat* (9. ábra) alkotják. (1787.) Porzó helyett korpafűmagot hintve a lemezre a *Savart-féle ábrákat* nyerjük. A korpafűmag a legélénkebb rezgésű helyeken gyűlik össze, mert *Faraday* szerint a lemezzel rezgő légoszlopok ritkulásai folytán a korpafűmagot a környező levegő odasodorja. Légüres térben *Savart-féle ábrák* nem jönnek létre. A lemezek transversális



9. ábra.

rezgéseinél keletkező hangok magassága a lemez vastagságával egyenes, annak felszínével fordított arányban áll, s azonkívül függ a lemez anyagának rugalmasságától és fajsúlyától s attól, hogy a lemez hányad

részében rezeg. A hártyáknál (membran) még a kifeszítés mérve is számításba veendő. A lemezek és hártyák rezgéseit látjuk a harangoknál, doboknál, zenekari réztányéroknál, üvegharmonikánál, a chinai gongnál (hangzó tábla) stb.

Sípokban a hangzó légoszlopok *longitudinális* rezgéseket végeznek. *Ajak- és nyelvsípokat* különböztetünk meg. *Ajaksípoknál* (fuvola, furulya, az orgona ajaksípjai) a síp *fejét* fal választja el a sípcsőtől, a fal fölötti keskeny rés a síp *szája*, melylyel szemben van az ékalakú kivágott nyílás, a síp *ajka*. A hang úgy jön létre, hogy a sípba alul befújtatott levegő a síp ajkába ütközik s onnan részben a csőbe hatol, ahol a levegőt megsűriti; a megsűritett légáram a síp szája felé tóduló levegőt a szabadba kiszorítja, minek az a következménye, hogy a levegő a sípcsőben megritkul. A váltakozó sűrűdések és ritkulások longitudinális hullámokat képeznek s az eredeti és visszavert hullámok interferenciája folytán álló hullámok jönnek létre. *Fedett sípoknál* a zárt végen rezgési-csomó keletkezik s minthogy a természetes sűrűségű helynek valamely csomóponttól való távolsága az álló hullám félhosszúságának valamely páratlan számú többsége, azért az alaphang hullámhossza négyszer oly nagy, mint a cső hosszúsága, azaz: $l = \frac{\lambda}{4}$ s mivel $c = n \cdot \lambda$, azért $4l = \frac{c}{n}$. Erősebb fuvással elérhető, hogy a csőben 1, vagy két csomó jöjjön létre, ily esetekben: $4l = \frac{3c}{n_1} = \frac{5c}{n_2}$, tehát: $n : n_1 : n_2 = 1 : 3 : 5$. *Fedett sípoknál* tehát a harmonikus felhangok magasságainak az alaphangéhoz való arányai a páratlan számokkal fejezhetőek ki. *Nyílt sípoknál* a végeken természetes sűrűségű a levegő, az alaphangnak itt a legegyszerűbb rezgési mód, tehát az felel meg, mikor a középen egyetlen rezgési csomó jön létre, ez esetben: $l = \frac{\lambda}{2}$ s így: $2l = \frac{c}{n}$. Erős fuvással elérhető, hogy 2 vagy 3 csomó keletkezzék, akkor: $2l = \frac{2c}{n_1} = \frac{3c}{n_2}$, tehát: $n : n_1 : n_2 = 1 : 2 : 3$. *Nyílt sípoknál* tehát a harmonikus felhangok magasságainak az alaphangéhoz való arányai a természetes egész számsorral fejezhetőek ki. Könnyű belátni, hogy egyenlő

hosszúság mellett a nyitott síp alaphangja a fedett síp alaphangjának az oktávája. A rezgő légoszlop részekre oszlását a sípoknál úgy mutathatjuk ki, hogy *Hopkins* szerint keretre kifeszített és porzóval behintett hárttyát a sípba bocsátunk. A porzó a csomóknál nyugalomban marad, a rezgési helyeken leszóródik. — A *nyelvsípoknál* (orgonasíp, harmonika, oboa, klarinet, fagót, kürt, trombita) a hangot úgy mint a szirénáknál levegő-ütések hozzák létre, a mennyiben a szájnyíláson befújt levegő-áram a szűk nyílás fölé illesztett rugalmas lemezt — a *nyelvet* — befelé hajtja s a sípba hatol, ámde akkor a nyelvre gyakorolt nyomása megszűnik, úgy hogy az a nyílást ismét elzárja, mire újabb légütést kap stb., a nyelv mozgását tehát a légnyomás szabályozza.

Az emberi
hangszerv.

A *nyelvsípokhoz* tartozik az *ember hangszerve* is. Ennek részei: a *légeső*, a *gégefő* és a *hangszalagok*. A légeső porczogós hárttyákkal összekötött gyűrűkből áll. Ezen át történik a lélegzés. Legfelső része a gégefő, melynek belső oldalán két külön izmokkal kifeszíthető rugalmas hárttya — *hangszalag* — van, mely a légesövet oly módon zárja, hogy csak a keskeny *hangrés* marad nyitva; az e fölött lévő torokfedő megakadályozza az ételek és italoknak a légesőbe való jutását. Beszélésnél a tüdőből kitóduló levegő a hangrésen áthaladva, rezgésbe hozza a hangszalagokat, melyek mérsékelt feszítés mellett, magasabb vagy mélyebb hangokat adnak, a szerint, amint egész szélességükben, vagy csak széleiken rezegnek. Előbbi esetben a *melhangok*, utóbbiban a *fistulahangok* jönnek létre. A hangszalagok férfiaknál 19—25, nőknél 14—17 mm. hosszúak. A hang magassága függ a hangszalagok hosszától is. Az emberi hang körülbelül 4 oktávára terjed. A gégefő a gyermekkorból az ifjúkorba való átmenetnél elég gyorsan teljes nagyságára megnő s ekkor van a hangváltozás (mutatio).

A hang-
gerjesztés
egyéb mód-
jai.

Hangokat az eddig megismertektől eltérő módokon is nyerhetünk. Az *éneklő lán-
goknál* vagy *chemiai harmonikánál* a hidrogén-láng fölé tartott üvegső légoszlopának álló hullámai visszahatnak a lángra, azt lobogtatják s ezek a lobogások a nyelsíp nyelvét helyettesítik. A lángok érzékenységet szépen mutatja az alakváltozás, melyet a nagy nyomás alatt égő hosszú gázláng közelében gerjesztett sziszegő hangra szenved. Az *aeolhárfa*nál, a telegraph- és telephon-

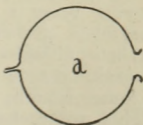
drótok éneklésénél a hangot az hozza létre, hogy a levegő a kifeszített húrokat, illetőleg drótokat, különböző pontokban és időközökben különböző intenzitással üti meg. A *lokomotiv füttyét* kis harang oly módon gerjeszti, hogy éles párkányába beleütközik a kitóduló gőz. — Hangot gerjeszthetnek még a *folyledékok*, a *meleg* (*Trevelyan* termophorja) stb.

9. §. A resonantia és a fül.

A levegőben megütött hangvilla hangját már csekély távolságban is alig halljuk. Erősen hallható lesz azonban a hang, amint a hangvillát az asztalra, vagy valamely száraz fából készített szekrényre helyezzük. E tüneményt *resonantiának* nevezzük és okát abban látjuk, hogy a hangzó test rezgéseit közli a vele érintkező rugalmas testekkel, ami a hang tetemes erősödését vonja maga után. A hangvillák hangját együttrezgő, meghatározott magasságú légoszlopokkal is erősíthetjük. E célból hosszabb, alul zárt üvegcső fölé tartjuk a hangvillát s viz beöntése által addig változtatjuk a befoglalt légoszlop magasságát, amíg a villa hangja a legerősebb. Megmérve a légoszlop magasságát úgy találjuk, hogy az a hang hullámhosszának a negyed-részeivel egyenlő. — A húros hangszereket (zongora, hegedű) és hangvillákat erősebb hangok nyerése céljából együtthangzó szekrényekkel, *resonátorokkal* látják el. Egyenlő méretű edényekbe zárt légoszlopok csupán egyetlen hangra rezdülnek meg s ilymódon *Helmholtz* szerint a hangok elemzésére szolgálhatnak. *Helmholtz* resonátora üres fém- vagy üveggömb (10. ábra) egy tágabb nyílással, melyet a hangforrás felé s egy szűkebbel, melyet fülünkhez tartunk. A resonátor alaphangját, ha a megvizsgálandó hangkeverékben meg van, tetemesen megerősödvé halljuk s ilymódon, több resonátorral, valamely hangszer összes egyszerű hangjait kipuhathatjuk.

A resonátorok megszűnnek rezegni, amint a hangforrás elhallgat. Ha azonban két egyenlő méretű és hangú, egyenlő resonátorokkal ellátott hangvilla közül az egyiket megütjük, azt tapasztaljuk, hogy a másik hangvilla akkor is szól, ha az elsőt kezünkkel való érintéssel elhallgattatjuk, sőt képes az elsőt ismét megszólaltatni. Ezt a tüneményt *velehangzásnak* neveztük

Resonantia
és velehang-
zás.



10. ábra.

s csakis teljesen azonos méretű és rugalmasságú testeknél észlelhetjük. Ha a második hangvilla hangmagasságát csekély viasz felragasztásával módosítjuk, a velehangzás tüneménye már nem jön létre. Valamely hangvilla hangjára megszólalnak a nyitott zongora egyenlően hangolt húrjai.

A lemezek és hárttyák ama képességén, **Phonograph.** hogy minden rezgésben résztvehetnek, alapszik az *Edison-féle phonograph* (1877), vagyis azon készülék, melylyel az emberi beszédet feljegyezhetjük és reprodukálhatjuk. E készüléknél vékony csőbe szólunk be, melynek az a feladata, hogy a hanghullámokat koncentrálja. A cső másik végét rugalmas hárttya fűdi, melynek közepére fémszög van erősítve; ennek hegye stanióllal vagy ujabban viasszal bevont óraművel forgásban tartható henger felületén nyugszik s mikor a készülék működésben van, oly módon halad előre, hogy a hengeren csiga-vonalat ír le. A csőbe-beszélésnél a lemez a hanghullámokkal együtt rezeg s a szög a hengerre a rezgéseknek megfelelő görbét vési be. Ha azután a készüléket eredeti állásába visszahelyezzük s ismét forgásba hozzuk, a szög végig fut az általa bevéselt görbén, a lemez ismétli, sőt a cső levegőjével is közli az előbbi rezgéseket s így az eredeti hangok megint hallhatókká lesznek.

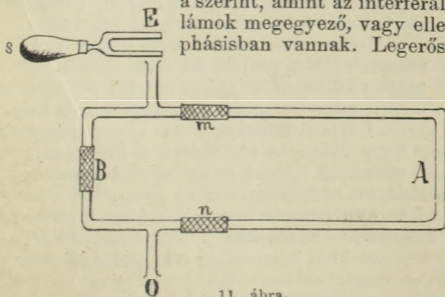
A fül. A fül külső része a hanghullámokat fel fogó *fülkagyló*, melynek tekervényei a *halljáratba* vezetnek; ez utóbbi belső végét a mintegy 1 cm. átmérőjű ruganyos *dobhárttya* zárja s ezen túl van a levegővel és csontokkal telt *dobüreg*, melyet az *Eustach-féle cső* a szájnnyilással köt össze. A *dobüreg* mögött van a belső fül, a *labyrinth* vagy *tömkeleg*, a *tornáczczal*, *három félkörös csatornával* és a *csigával*. A *labyrinth* vízzel van telve, melyben még más a halló-ideget ingerlő testek is úszkálnak. A belső fület a *dobüregtől* elválasztó csontfalban egy *tojásdad* s egy *kerek nyílás* van. A *tojásdad nyílással* szemben nyomul be a halló-ideg egyik ága az *előcsarnokba* s eloszlik a *labyrinth* vizében. A hallás úgy történik, hogy a hanghullámok megütik a *dobhárttyát*, melynek rezgései a csontocskák és a levegő közvetítésével a *labyrinth* belsejébe elterjednek s a halló-ideget izgatják. A fül hangfelbontó képességét a csiga szerkezete érteti meg, mert ennek elválasztó falában van a *trapézalakú, Corti-féle hárttya*, mely mintegy 3000 ivből álló finom szálaival húrrendszerként működik.

10. §. A hang interferenciája.

Ha két azonos hullámhosszakkal bíró, egyenlő irányú hanghullám éri fülünket, akkor a hang vagy erősödik, vagy gyengül,

Hang-
hullámok
találkozása.

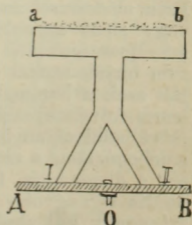
a szerint, amint az interferáló hullámok megegyező, vagy ellenkező pházisban vannak. Legerősebb a



11. ábra.

hang, ha a két hangforrás egymástól való távolsága páros számú félhullámhosszakkal egyenlő, mert akkor a hullámok sűrűdései és ritkulásai éppen összeesnek. Legnagyobb a gyengülés, azaz megsemmisül a hang, ha a hangforrások távolsága páratlan számú félhullámhosszakkal egyenlő, mert akkor — egyszerű hangok esetében — az egyik sűrűdései a másik ritkulásaival esnek össze. Összetett hangoknál csak az alaphang semmisül meg, a felhangok azonban hallhatók lesznek.

Herschel János eszméje alapján *Quinque* szétválasztotta s azután ismét egyesítette ugyanazon hangvilla hangját. E célra *AB* bádogcső szolgál (11. ábra), melynél a hangvilla hangja *A* és *B* felé ágazik és *E*-nél ismét találkozik. Ha a cső két szára egyenlő hosszú, az *E*-nél lévő fület pházis-különbség nélkül éri a hang. A cső *A* felé való kihuzásával pháziskülönbséget hozván létre, a hangnak a hullámhossz-különbségek szerinti erősödését és gyengülését tanulmányozhatjuk. *Hopkins* készülékénél (12. ábra) az *I* és *II* csőven *ab* felé haladó rezgések megsemmisítik egymást, ha a csövek a hangzó lemez *OA* és



12. ábra.

OB ellenkező rezgésű részein vannak s ilyenkor az *ab* hártýára hintett porond nyugalomban marad; ellenben élénk mozgásba jön a porond, ha a csövek a hangzó lemez egyenlő rezgésű részein nyugszanak. *Quinque* készülékével a hang hullámhosszát s ha a hang rezgésszámát is ismerjük, a hangnak a levegőben való terjedési sebességét határozhatjuk meg.

Hang-
lebegések és
ütések.

Ha az interferáló hanghullámok rezgés-számai nem egyenlők, de csak csekély mértékben különbözök, akkor az első megegyező rezgés után nyomban phásiskülönbség keletkezik, mely folyton növekszik az egyes rezgések után, úgy hogy bizonyos idő múlva a két hangmozgás éppen ellenkező irányú s így egymást gyengíti. Ezen váltakozó hangerősbülést és gyengülést *hanglebegésnek*, az egy lebegés alatt jelentkező legerősebb hangot *hangütésnek* nevezzük. A hanglebegésekre vonatkozó kísérletekből kitetszőleg a hangütések száma a két hang rezgési-számainak különbségével egyenlő. A hanglebegések bemutatására két egyenlően hangolt hangvilla szolgálhat, melyek közül az egyiknek rezgéseit csekély mennyiségű viasz felragasztása által lassítjuk. *Lissajons* (1857) szerint a hangvillákat tükrökkel látjuk el, az egyikre besötétített szobában fény sugarat vezetünk, mely arról a másik tükröre s onnan ernyőre vetítettik. A mozgó ernyőn a fénynyaláb hullámvonalat ír le, mely helyenként a hangütéseknek megfelelő nagyobb, más helyen a szüneteknek megfelelő kisebb kihajlásokat tüntet fel. Ezen módszerrel zene-értés nélkül is lehet két hűrt vagy sípot egyenlően hangolni. Ha a hangütések másodpercenkénti száma felülmúlja a 30-at, már nem bírjuk azokat egyenként észrevenni; megzavarják azok a hangnak az összhangban nyilvánuló kellemes folyékonyságát s a fület kellemetlenül érintik (körülbelül olyan hatást gyakorolnak a fülre, mint a lobogó láng a szemre) s az így nyilvánuló érdeség a dissonantia főoka. *Helmholtz* szerint a dissonantia legnagyobb két hang között, ha azok rezgés-számainak különbsége 33 s elenyészik, ha a különbség több, mint 132. — A hanglebegések felette gyenge hangok kimutatására is alkalmasak.

Combinatio
hangok.

Két erős hang együttes, tartós meg-
szólaltatásánál, ha azok magasságai közt lé-
nyeges különbség van, egy harmadik — mélyebb —
hangot is hallunk, melynek rezgésszáma a két hang
rezgésszámainak különbségével egyenlő; de sőt egy

negyedik már sokkalta gyengébb, magasabb hang is megszólal még egyidejűleg, a melynek rezgésszáma a két hang rezgésszámainak összegével egyenlő. Az így fellépő hangokat *combinatio-hangoknak* nevezzük. Az előbb említett *különbségi hangokat* először *Sorge*, majd *Tartini* (1754) olasz hegedűs fedezte fel (*Tartini*-féle hangok). Az *összegi hangokat* *Helmholtz* (1856) előbb elméleti uton fedezte fel, majd létezésüket kísérletileg is kimutatta. A *combinatio-hangok* eredetét *Helmholtz* magyarázta meg az *interferentia* alapján, kimutatván, hogy az *interferentia* alapelve, azaz hogy az eredő mozgás algebrai összeg, csak akkor érvényes, ha a rezgések kis amplitudóval bírnak s nem érvényes erős hangoknál, ahol az amplitudók nagyok. Azonban az ilyen erős hangok hullámai a rezgési-számok különbségének és összegének megfelelő másodrendű hullámokat hoznak létre s ezeket halljuk mi *combinatio-hangok*kül.

11. §. Doppler elve.

Ha a hangforrás és a fül gyorsan közelednek egymáshoz a hang *emelkedik*, ellenben ha a hangforrás és a fül egymástól gyorsan távozik a hang *mélyebb* lesz. *Doppler* (1842) a most megismert tüneményt úgy fejt meg, hogy a közeledésnél a fül több hanghullámot fog fel, mint a mennyi érte volna, ha a távolság nem kisebbedett volna; ebből tehát önként következik a hangnak a fülben való emelkedése. Megfordítva van a dolog a távolodásnál. Zeneileg gyakorlott fül könnyen észreveszi a tüneményt a közeledő vagy távozó lokomotív füttyének megfigyelésénél. *Buys-Ballot* (1845) a tüneményt nagyon magas hangú hangvillának az észlelő füléhez való gyors közelítése által mutatta ki. Ismerve a hang magasságát és látszólagos magasság-változását, abból a távozó vagy közeledő hangforrás sebessége is meghatározható.

12. §. A hang sebességének indirekt mérése.

Az 1. §-ban megismert $c = n \cdot \lambda$ egyenlet alapján, mely a hang terjedési sebességének a rezgési szám és hullámhosszal való összefüggését fejezi ki, képesek vagyunk a hang terjedési sebességét valamely nyitott síp rezgő légoszlopjának megfigyelése után is meghatározni. Ha a

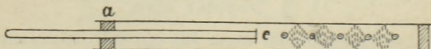
Síppokkal.

nyitott síp hossza l , akkor (8. §.) $l = \frac{\lambda}{2}$ s ismerve a síp hangjának n rezgési számát, $c = 2nl$.

Kundtféle
porábrákkal.

Minthogy a nyílt sípoknál az $l = \frac{\lambda}{2}$

egyenlet csak megközelítő pontossággal bír, czélszerűbb a sebesség meghatározására a Kundt-féle porábrákat felhasználni. Elég hosszú üvegcsőben (13. ábra) longitudinális álló léghullámok a behintett korpafümagot vagy szárított kovasavport úgy osztják szét, hogy a hullámok és csomópontok könnyen felismerhetők s a hullámhosszak pontosan lemérhetők. A rezgés előidézésére az e lemezzel ellátott pálcza dörzsölése szolgál, mely a -nál parafadugóval van a csőbe erősítve. A pálcza rezgési száma hangjának magasságából határozható meg s egyenlő a csőbe zárt levegő rezgési számával. Ezzel szemben a hullámhosszuság a pálczában — mely a pálcza két-



13. ábra.

szeres hosszúságával egyenlő — olyan arányban mülja fölül a levegőét, amilyen arányban nagyobb a terjedési sebesség a pálczában, mint a levegőben. Így pl. ha a hangkeltő pálcza üvegből van, melyben körülbelül 15·2-szer nagyobb a terjedési sebesség, mint a levegőben s ha a pálcza hossza $60\cdot8 = 4 \times 15\cdot2$ cm.; akkor az együtthangzó bezárt légoszlop félhullámhossza, azaz egyik csomópontnak a másiktól mért távolsága 4 cm. Ez a módszer igen alkalmas a csőbe zárt különböző gázokra vonatkozó terjedési sebességek összehasonlítására, vagy ugyan e célra oly különböző szilárd testekre vonatkozólag, melyekből a hanggerjesztő pálczát készítjük.

Optika.

13. §. A fény mibenlétére vonatkozó hypothesisiek. A fény egyenesvonalú terjedése és terjedési sebessége.

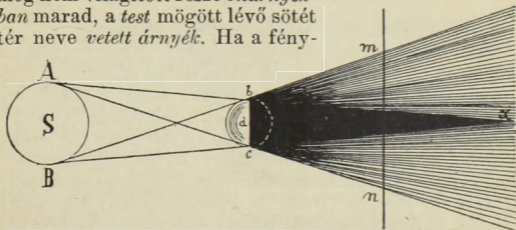
Hogy a testeket láthassuk *fényforrásra*, vezetőre és ép szemre van szükségünk. *Fényforrások*: az *önfényű* testek, ilyenek az állócsillagok, az égő- és izzó-anyagok; vagy a megvilágított *sötét-testek*, ilyenek a hold s általában a megvilágítás mellett látható minden egyéb tárgy. A fény mibenlétét nem ismerjük, azért a fénytümenények megfejtésénél hypothesisre szorulunk. Ilyen hypothesisist állított fel *Newton* (1692) is. Szerinte a fény végtelen kicsiny súlytalan molekulákból álló *anyag*, melyet a világitó testek rendkívüli sebességgel, minden irányban szétröpítenek. Ezen *kiömlési* (emanatio, emissio) *elmélettel* az interferentia és diffractio tümenényeit nem lehet megfejtteni, azért az önmagától megdült. Napjainkban *Young* (1820) ideje óta a *hullámzás*i (vibratio vagy undulatio) *hypothesis* van elfogadva, melynek alapját *Huyghens* (1690) vetette meg. Ezen hypothesis szerint a fény az egész világtért, még a testek legapróbb közeit is betöltő mindenekfölött rugalmas, súlytalan anyagnak az *aethernek transversális rezgése*. A testet látjuk, ha az abban foglalt aether-molekulák felette gyors, másodpercenként legalább 400 billio, végtelen kis amplitudókkal bíró rezgést végez, mert akkor a hullámzó mozgás a környező aetherre, mint *vezetőre* tovább terjed s abban transversális rezgésekül nagy sebességgel előre halad. Hogy a fényt transversális rezgéseknek kell tekintenünk, az a fény-sarkítási tümenényekből következik. A szembe jutó aether-hullámoknak a látási idegekre gyakorolt hatását az agy mint subjectiv fényérzést fogja fel.

A fény
mibenléte.

A testek *átlátszók*, ha bennük az aether-hullám eredeti rezgésállapotát megtartva tovább terjedhet, különben *átlátszatlanok*. A fény *isotrop* közegben — más hullám-mozgásokhoz hasonlóan — gömbalakban terjed szét. A hullámfelület bármely pontját a gömb középpontjával összekötő egyenes a *fénysugár*. A hullámzás*i hypothesis* szerint a fény-sugár csak geometriai fogalom, nem más, mint a fény terjedési iránya, melynek mentében a fény okát is keressük. Physikai fény-szálak vagy sugarak nincsenek. A fény

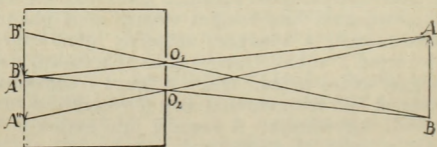
A fény
egyenes vo-
nalú terje-
dése.

egyenesvonalú terjedésén nevezetes tünemények alapszanak. Ha a csupán egy pontból állónak képzelt fényforrásból kiinduló sugár az átlátszatlan test felületét éri, a mögött sötét hely, *árnyék* támad. A test meg nem világított része *önárnyékban* marad, a *test* mögött lévő sötét tér neve *vetett árnyék*. Ha a fény-



14. ábra.

forrás maga is test (14. ábra) *teljes árnyék* (mag) és *félárnyék* jön létre. Az utóbbi csonka kúp vagy csonka gúlaalakú. Az árnyék-képződés a *nap- és holdfogyatkozások* oka. Napfogyatkozásnál újhold idején a sötét hold a nap elé érkezik s árnyék-kúpja a földet éri. A föld azon helyein, a hová az árnyék-mag esik *teljes-*, a félárnyékba eső helyeken *részleges-napfogyatkozás* áll be. Ha a magárnyék nem éri el a földet a meghosszabbítási irányába eső helyeken *gyűrűs-*



15. ábra.

napfogyatkozás észlelhető. — Holdfogyatkozás holdtöltekor állhat be, ha a hold a föld árnyékába lép. — A fény egyenesvonalú terjedésén alapszik még a *sötét kamra* vagy camera obscura (15. ábra), melyet a 15. században *Leonardo da Vinci* fedezett fel s melyben a külső tárgyról egyenes vonalban terjedő fénysugarak a szekrény átellenes lapján a tárgy fordított képét mutatják.

A fény
terjedési se-
bessége.

A fény terjedési sebessége felette nagy, úgy hogy közönséges eszközökkel meg sem mérhető, azért azt régebben végtelennek

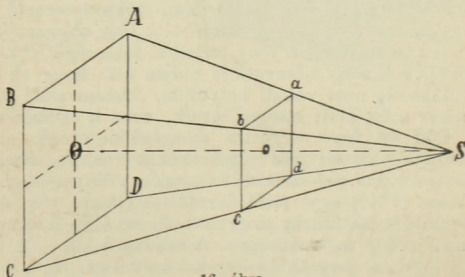
hitték. Az első, aki a fény terjedési sebességét meghatározta *Römer* Olaf (1676) dán csillagász volt. Ő *Jupiter* első holdjának fogyatkozásait vizsgálva azt tapasztalta, hogy az késik, ha a föld *Jupiter*-től távozik. Az idő-eltérés a földnek *Jupiter*hez viszonyított legközelebbi és legtávolabbi állására vonatkoztatva 16 percz 28·38 mp. azaz 986 másodpercz volt. Ennyi időre van tehát szüksége a fénynek, hogy a föld átmérőjét befussa. A földátmérő hossza körülbelül 307 millió km. s így a fény sebessége $307000000 : 986 = 311000$ km. másodperczenként. Ugyancsak csillagászati úton — a fény aberrációjából — határozta meg a fény terjedési sebességét *Bradley* (1727). A fény aberrációja abban áll, hogy az álló csillagokat nem valódi helyükön, hanem attól 20·25 mpnyi szög alatt eltolva látjuk, azaz a csillagok — a föld és fény együttes mozgásából eredő — látszatos kör és ellypsis pályácskákat írnak le. *Bradley* 308 ezer km.-nek találta ez alapon a fény sebességét. *Fizeau* (1849) egy földi fényforrás (lámpa) fényének sebességét határozta meg. Két tükröt állított fel, egymástól 8633 m. távolságra. A két tükör közé 720 foggal ellátott, forgatható kereket helyezett. Ha a kerék széleihez fénysugár érkezett azt a fogak feltartották, ellenben a fogakkal egyenlő szélességű hézagok át-bocsátották. Most erős fényforrás fényét lencséken át, hogy a sugarak együtt tartassanak, az egyik tükröre vezette, még pedig oly módon, hogy onnan azok a másik tükröre s arról merőlegesen visszaveressenek. Ha a közbefekvő fogaskereket elég gyors forgásba hozta, elérte azt, hogy a visszavert s így 2×8633 m. utat megtevő fénysugár állandóan a kerék fogaira essék s az észlelőtől visszatartassék. Ez akkor következett el, mikor a kerék mp.-ként 12·6 fordulatot tett. Egy fordulatra tehát 1:12·6 mp., arra pedig, hogy egy hézag helyére egy fog kerüljön $1 : 2 \times 720 \times 12·6 = 1 : 18144$ mp. kellett. Ennyi időre volt tehát szüksége a fénynek, hogy a 2×8633 m. utat megtegye, amiből az jön ki, hogy az, egy másodpercz alatt, 18144-szer akkora, azaz 313 ezer km. utat képes megtenni. *Fizeau* kísérletét *Cornu* (1873) többször ismételte s a fény terjedési sebességének értékét 300330 km.-nek találta. Ez az eredmény megegyezik a *Römer*ével, számba-véve, hogy a föld átmérője kisebb, mint a milyennek azt *Römer* idejében tudták. *Foucault* (1862) egy szobában a többszörös visszaverődés segítségével gyorsan forgó

tükörrel a fény sebességét 298 ezer km.-nek találta. Ugyanő kimutatta, hogy a fény sebessége 4 : 3 arány szerint nagyobb a levegőben, mint a vízben.

14. §. A fény intenzitása.

A fény intenzitása.

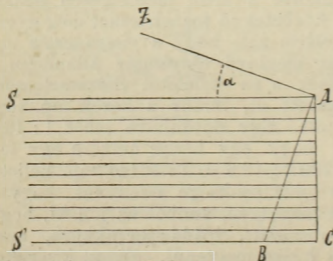
A fény intenzitását az általa létesített megvilágítás ereje, vagyis az a fény-mennyiség méri, mely a fényforrástól a



16. ábra.

megvilágított lap felület-egységére esik. A megvilágítás ereje függ: 1) *A világító test fényerejétől*; ez pedig a fényforrás anyagi minősége és hőmérsék-

lete szerint változik. Legnagyobb a fehériszásnál; 2) *A megvilágított lapnak a fényforrásig mért távolságától*; még pedig a távolság négyzetének arányában csökken. Ha *S* (16. ábra) a fényforrás, abból ugyanannyi fénysugár esik az *So* távolságban



17. ábra.

fekvő *abcd* felületre, mint az utóbbi elvétele után az *SO* távolságban lévő *ABCD* felületre. Minthogy $ABCD : abcd = SO^2 : So^2$, azért tekintetbe véve, hogy a fénymennyiség mindkét lapon ugyanannyi, a

nagy felületen kisebb lesz a fény i intenzitása, mint a kicsin I és: $i : I = abcd : ABCD = \overline{So^2} : \overline{SO^2}$;

3) *A szögtől, mely alatt a fénysugarak a felületet érik.* Ha I a derékszögű beesésre vonatkozó intenzitás, I' a ferde α szögű beesés melletti, akkor: $I' = I \cos \alpha$. Mert legyen AB a megvilágított lap átmetszete (17. ábra), melyre a sugárnyaláb esik s AC a lap azon vetülete, melyre a nyaláb merőlegesen áll, akkor tekintetbe véve, hogy a két lapot ugyanazon sugárnyaláb éri: $AB \cdot I' = AC \cdot I$, honnan: $I' = I \cdot \frac{AC}{AB}$. Ha $AZ \perp AB$, akkor $\angle ABC = \alpha$ és $\frac{AC}{AB} = \cos \alpha$, tehát: $I' = I \cdot \cos \alpha$.

A megvilágítás ereje függ még a közegtől, melyben a fény terjed, a megvilágított lap visszaverő képességétől és a szögtől, mely alatt a sugarak a laptól távoznak.

A fénymérés (photometria) az utóbb Photometria. megismert tételeken alapszik s célja az, hogy alkalmas eszközökkel, az u. n. *photométerekkel* különböző fényforrások intenzitását összehasonlíthassuk. Leginkább használt fénymérők a következők:

1) *Lambert* és *Rumford* photométere fehér ernyő, melyre az eléje tartott, mindkét fényforrástól megvilágított, átlátszatlan pálcza két árnyékot vet. Az erősebb fényforrás távolításával elérhetjük, hogy a két árnyék egyenlő sötétségű legyen s akkor megmérvén a távolságokat, a fényerők úgy aránylanak egymáshoz, mint a távolságok négyzetei.

2) *Ritchie* photométere hosszú, két végén nyílt szekrény; ennek közepén háromoldalú prisma áll, melynek egyenlő fehér oldallapjai a nyílások felé fordíthatnak. A felül alkalmazott csövön megvizsgálhatók a lapok s a két oldalt alkalmazott fényforrások közül az erősebbik távolságát addig változtatják, míg a két oldallap egyenlő fehérnek mutatkozik. Akkor a fényforrások összehasonlítása a már megismert módon végezhető.

3) *Bunsen* photométere kis papirernyő, melynek közepén zsírfolt van. A zsírfolt több fényt bocsát át, mint a tiszta papir. Ha tehát két oldalt felállítjuk az összehasonlítandó fényforrásokat, az erősebbik felé eső részen a zsírfolt sötétebbnek látszik. Kellő távolsággal elérhető a zsírfolt teljes eltünése s ekkor lemérjük, mint előbb a fényforrások távolságát az

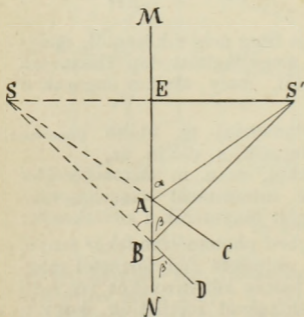
ernyőtől s a nyert távolságok négyzeteinek aránya adja a fényerők arányát.

Photométerekkel összehasonlítva a használatos fényforrások erejét, megállapíthatjuk, melyik költségesebb. Egységül — jobb hiányában — oly *normál gyertyának* nevezett viasz-gyertya intenzitását tekintetjük, melyből 10 darab 1 kg.-ot nyom.

15. §. A fény visszaverődése.

Reflexio.

Az új — átlátszatlan — közeg határához érkező fénysugarak egy része visszatér a régi közegbe, még pedig oly módon, hogy a beesés szöge egyenlő és egy síkban fekszik a visszaverődés szögével. A visszaverődés (reflexio) csakis sima felületeknél — *tükröknél* — ily szabályos, érdes felületeken szétszóródik a fénysugár (diffusio). Diffusio esetén nem a világító pont, hanem a megvilágított felület képét látjuk. A fénysugarak visszaverődésén a következő tünetmények alapszanak:



18. ábra.

Sík tükrök.

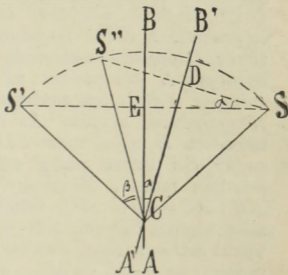
1) *A fénypont képe sík tükrökben oly messze látható a tükör mögött, mint a pont a tükör előtt.* Ha MN a síktükör (18. ábra.), S a fénypont, SA , SB a fénypontból a tükörre eső sugarak; akkor: $SAB \triangle \cong S'AB \triangle$ s így $AS = AS'$. Meghúzván SS' vonalat: $SAE \triangle \cong S'AE \triangle$ s így: $SE = S'E$. A tárgy képe valamely síktükörben egyenes állású s éppen olyan nagy, mint maga a tárgy, csakis a jobb és baloldal van felcserélve. (Tükörírás.)

2) *Ha a síktükröt benne fekvő tengely körül α szög alatt elfordítjuk, akkor a tükör előtt lévő tárgy képe ugyanazon tengely körül 2α szög alatt fordul el.* Ha AB a tükör (19. ábra), S' az S pont képe, akkor $CS = CS'$. Ha a tükröt $A'B'$ helyzetbe forgatjuk, akkor S'' lesz az S pont képe és $CS = CS''$. Az S , S' , S'' pontok tehát oly kör kerületén fekszenek,

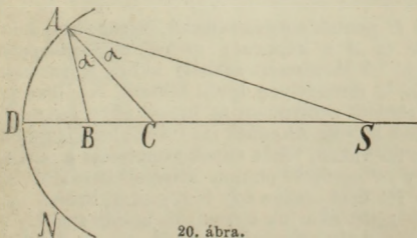
melyre nézve a β középponti szög kétszer akkora, mint az α kerületi szög.

3) Egymáshoz párhuzamos, vagy szög alatt hajló síktükrökben a többszörös visszaverődés folytán többszörös képek jönnek létre, mert minden kép a másik tükörrre nézve mint tárgy szerepel s új képre vezet. (*Brewster kaledoszkopja*.) Egymáshoz α szög alatt hajló tükroknél $\frac{360}{\alpha} - 1$ a

képek száma. A párhuzamos tükrök hatásán alapszik az is, hogy a közönséges, hátul ónamalgammal bevont tükörben — különösen ha abba igen ferdén nézünk — többszörös kép mutatkozik. — Ujabb időben a tükröző üveglap hátulját chemiai uton vékony ezüst-réteggel szokták bevonni. Kitünő tükrök a csiszolt fémfelületek és a higany felszíne. — A síktükröket a mindennapi használaton kívül számos tudományos czélt szolgáló készüléknél is alkalmazzák. Így: *Wollaston goniometerénél*,



19. ábra.



20. ábra.

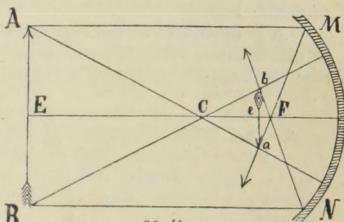
mely kristályok és optikai prismák hajlásszögeinek a megmérésére szolgál; a *heliostatnál*, melylyel a nap-sugarak sötét szobába, tetszésszerű helyre vezethetők; *Hadley tükör-sextansánál*, ez az egyetlen szögmérő, mely — szilárd felállítást nem kívánván — tengeren is alkalmazható stb.

Gömbtükrök.

A görbetükrök közül, mint legfontosab-
 bakat, csakis a *gömbtükröket* tárgyaljuk. A
 gömbtükör *homorú* (concau), ha belső, *domború* (convex),
 ha külső felülete a tükröző lap. A gömb centruma
 C (20. ábra.) a *görbületi középpont*, az ezen átmenő
 egyenesek a *tükör tengelyei*; az a tengely, mely a
 tükör D *optikai centrumán* is átmege, a *tükör fő-
 tengelye*. A gömbsugár itt mint beesési merőleges
 szerepel, a görbületi centrumon átmenő fénysugarakat
fősugaraknak hívjuk. Az S pont képét AN homorú
 tükörben B adja, mert SD az S ponton átmenő fő-
 sugár SA sugár pedig ezt visszaverődése után B
 pontban metszi. Minthogy $SAC \sphericalangle = CAB \sphericalangle$ lesz
 $AB : AS = BC : SC$, feltéve, hogy SA felette kis
 szöget képez SD -vel; $AB = BD = b$ és $AS = SD = a$
 végül $AC = r$ írható s akkor: $b : a = (r - b) : (a - r)$,
 innen: $ar - ab = ab - br$, amit ab -vel osztva:
 $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{2}{r}$ egyenlethez jutunk. Ha ezen egyenletet
 arra az esetre alkalmazzuk, mikor a sugarak pár-
 huzamosak, mikor tehát $a = \infty$ és $\frac{1}{a} = 0$, akkor:
 $b = \frac{r}{2}$. Tehát a párhuzamos sugarak mind egy pont-
 ban a *gyújtó* vagy *focus-pontban* találkoznak. Ez CD
 felező pontja s ha $\frac{r}{2} = f$ állandó értéket helyettesítjük
 a fent levezetett egyenletbe, akkor: $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$. Az
 A és B pontok megcserélhetik szerepeiket, lehet B a
 tárgy és A a képpont; ezeket *conjugált-pontoknak*
 hívjuk. A megismert szabály akkor is érvényes, ha
 a pont a főtengelyen kívül fekszik. Az ilyen pontból
 a görbületi centrumon át húzott egyenest mellékten-
 gelynek hívjuk. Az ennek irányában beeső sugár ugyan-
 ottan tér vissza, tehát ennek átmetszése a párhuzamos
 s így a gyújtó ponton átmenő sugárral a pont
 képe. Ha nem csupán egy fénypontot, hanem valamely
 tárgy képét akarjuk nyerni, az utóbbi szabály szerint
 a képet a tárgy minden pontjának megfelelő képek
 csoportjából, tehát az egyenes vonalnál a két vég-
 pont képéből állítjuk elő. A tárgy és kép helyét
 homorú-tükröknél a levezetett egyenlet teljesen meg-
 határozza. Mikor a tárgy végtelen távolságban van,
 akkor képe a gyújtóponton mege át. Ha a tárgy
közeledik, képe *távozik* a tükörtől. Ha a tárgy a gör-
 bületi középpontig közeledik, akkor: $a = r$ s így b

is = r . Ha a tárgy még közelebb jut a tükörhöz, képe még jobban távozik attól, mikor $a = \frac{r}{2}$, vagyis a tárgy a gyújtópontban van, akkor képe végtelen

távolba kerül, a visszavert fénysugarak párhuzamosak a főtengelyhez (világító-tükrök), végre, ha a tárgy a gyújtópont *b*-*en* fekszik, a kép-távolság negatív értéket vesz fel, az előbbiekhöz

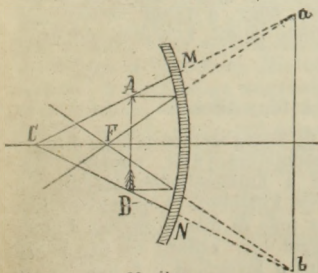


21. ábra.

hasonló *reális*

kép nem mutatkozik többé, a kép a sugarak meghosszabbítása útján a tükör mögött jön létre, *virtuális* kép keletkezik. Az előbbi képek ernyőn előállíthatók, a virtuális kép nem.

A kép nagysága és a tárgy nagysága közt a következő összefüggés áll fenn. A *reális* képek a tárgyhoz képest mindig *megfordított* helyzetűek és *kisebbségek* a tárgynál, ha közelebb fekszenek a tükörhöz, mint a tárgy, *nagyobbak* a tárgynál, az ellen-



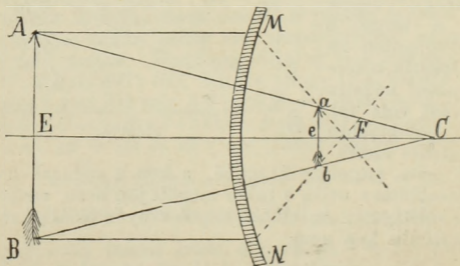
22. ábra.

kező esetben. A *virtuális* képek mindig nagyobbak a tárgynál. — A gyújtópont távolságát valamely tükörről vagy úgy nyerhetjük, hogy valamely tárgyra nézve kísérletileg meghatározzuk *a* és *b* értékét s akkor *f*-et az egyenletből kiszámítjuk; vagy pedig a görbületi centru-

mot határozzuk meg oly módon, hogy felkeressük azt az állást, a hol a valódi kép összeesik, és egyenlő a tárggyal s akkor: $f = \frac{r}{2}$. — A 21. ábra az *AB* tárgy valódi, a 22. ábra az *AB* tárgy virtuális képét tünteti fel.

Domború gömb-tükröknél úgy r , mint f negatív értékű, az egyenlet tehát: $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = -\frac{1}{f}$. Ilyen tükröknél ilyformán a gyújtópont *virtuális*. A kép domború tükröknél (23. ábra) *kicsinyített, egyenes állású, virtuális kép*.

A gömbtükröket felhasználják világítási czélokra: színházakban, világító-tornyokban, physikai- és sebészeti-apparatusoknál, távcsöveknél stb.



23. ábra.

Nagy nyílású tükröknél a fénypont képe gyanánt nem pontot, hanem az ernyőn mutatkozó kis kört nyerünk. A tükrök ezen *gömbi eltérésnek* nevezett hibája onnan ered, hogy a tükrök szélére eső sugarak a tükrök görbülete miatt közelebb egyesülnek, mint a középsők.

16. §. A fény törése.

Refractio.

Átlátszó új közegbe ferdén belépő fénysugár eltér eredeti irányától, *megtörik* (refractio). A törés oka a hullámelmélet szerint az, hogy az aether sűrűsége különböző közegekben különböző s így a fény más és más közegekben különböző terjedési sebességgel bír, szilárd és folyékony testekben kisebbel, mint a levegőben. A megtört és beeső fénysugár ugyanazon síkban fekszik s a beesési szög sinusának a törési szög sinusához való aránya állandó szám s a *törésmutatóval* egyenlő:

$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c}{c'} = n$. (Snellius 1620.) A törésmutató levegő és vizre $\frac{4}{3}$, levegő és üvegre $\frac{3}{2}$.

A Snellius-féle törvényből a következő különös esetekre következtethetünk: 1) Ha $\alpha = 0$, akkor β is $= 0$; azaz a két közeget elválasztó határlapra merőlegesen beeső sugarak töretlenül haladnak be az új közegbe; 2) Ha $c' < c$, akkor $\sin \beta < \sin \alpha$, tehát: $\beta < \alpha$; szóval az optikailag sűrűbb közegbe lépő fénysugár a beesési függélyes felé s a megfordított következtetés alapján, ha $c' > c$, akkor $\beta > \alpha$, az optikailag ritkább közegbe lépő fénysugár a beesési függélyestől törik; 3) Minél ferdebben esnek a sugarak, annál nagyobb az eltérés; 4) Ha a fénysugár átlátszó planparallel közegen hatol át, akkor kilépésénél megtartja eredeti irányát, csakis valamivel párhuzamosan eltolódva jelenik meg; a párhuzamos eltolás annál nagyobb, minél nagyobb a beesés szöge.

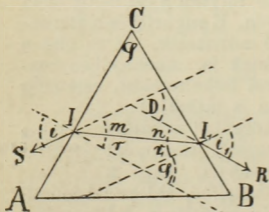
A fénytörés az oka, hogy a víz feneké s az azon lévő tárgyak felemelkedve mutatkoznak; a vízbe mártott bot bent lévő vége felfelé megtörtnek látszik. A légköri sugártörés folytán a csillagok nem mutatkoznak a maguk helyén. E sugártörés a zenith-től, ahol 0, a horizont felé növekszik, ez az oka a nappalok meghosszabbodásának is, amennyiben reggel a napot már rövid idővel felkelte előtt, este még rövid ideig lenyugvása után is láthatjuk.

Az optikailag sűrűbb közegből ritkábbba Teljes
lépő fénysugarak a merőlegestől töretnek; visszaverődés.
ha ez a törés olyan nagymérvű, hogy a sugarak visszatérnek a régi közegbe, akkor azt mondjuk azokról, hogy *teljesen visszaverődtek*. A tünemény megfejtése a következő. Minthogy a ritkább közegbe lépésnél a törés szöge nagyobb, mint a beesés szöge, ez utóbbinak mindenesetre van olyan értéke is, mely mellett a törés szöge 90° és pedig, ha: $\sin \alpha = n$; ha most a beesés szögét még növelnők $\sin \beta > 1$ lenne, ami lehetetlen, a sugarak tehát ekkor amint a kísérletek is bizonyítják, a régi közegbe térnek vissza. A beesés szögének azt az értékét, mely mellett a törés szöge 90° , *határszögnek* nevezzük. Vízre nézve ez 48.5° . Ha tehát a beesés szöge nagyobb a határszögnél, akkor a sugarak *teljes visszaverődést* szenvednek, azaz teljes fényerővel térnek vissza a régi közegbe. A teljes visszaverődés következménye, hogy a ferdén vízbe-mártott kémcső felülről nézve higanyhoz hasonló fényt mutat; a háromoldalú üveghasáb erős fénye, (*Wollaston camera lucidája*), a gyémánt élénk tüze szintén ennek eredménye, éppen úgy,

mint a *légtükrözés tünetényei*, melyek „*Fata Morgana*“ és „*déliáb*“ név alatt ismeretesek. Ez utóbbiak forró nyári napokon jönnek létre, mikor a homoksíkságokkal érintkező légrétegek sokkal melegebbek és ritkábbak lesznek, mint a felsők. Ha magasabban fekvő tárgyakról jövő sugarak e légrétegeket a határszögnél nagyobb szög alatt érik, beáll a teljes visszaverődés s a teljesen visszavert sugarak irányában lent megfordítva s az ég tükröződése folytán mintegy vízben úszva látja a szemlélő a tárgyakat, melyekről a fénysugarak kiindultak. — Tengerek fölött néha éppen az ellenkező okból, azért keletkeznek légtükrözési tünetények, mert a hideg tengervízzel érintkező légrétegek sokkal sűrűbbek a felsőknel. Itt a tárgyak képei a magasba felemelve jelennek meg.

Törés
a hasábnál.

A háromoldalú üveghasábok oldallapjait *törőlapoknak*, az ezek által bezárt szöveget *törőszögnek*, a törőlapok metszészóvját *törő-*



24. ábra.

élnék s az erre merőleges metszetet *főmetszetnek* hívjuk. Ha ABC (24. ábra) a φ törőszöggel bíró hasáb főmetszete, melynél SI sugár r_1 szög alatt lép a hasádba s i_1 szög alatt lép abból ki, akkor a prizma okozta *eltérés* (deviatio) $D = m + n = (i - r) + (i_1 - r_1) = i + i_1 - (r + r_1)$ s mint-hogy: $r + r_1 = \varphi_1 = \varphi$,

azért: $D = i + i_1 - \varphi$. Ha a prizmat a törőél körül forgatjuk észreveszszük, hogy az eltérítésnek változatai vannak, tehát minimuma is van. Ez akkor áll be, mikor $i = i_1$, vagyis a belépés és kilépés szöge egyenlő. A minimális eltérítés alapján a hasáb törésmutatóját nyerhetjük, mert ha $i = i_1$, akkor $r = r_1$,

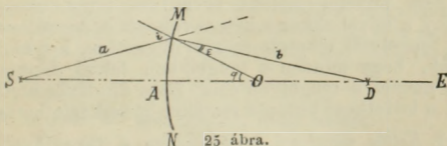
tehát $2r = \varphi$, $D = 2i - \varphi$, $r = \varphi : 2$, $i = \frac{1}{2} (D + \varphi)$, honnan: $n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin \frac{1}{2} (D + \varphi)}{\sin \frac{1}{2} \varphi}$. Folyadékok törés-

mutatóinak meghatározásánál a folyadékokat vékony üvegekből összeállított hasábokba, a gázokat két végükön ferdén csiszolt üvegsövekbe zárják. A hasábokat, mint később látni fogjuk, a törésmutatók meghatározásán kívül még más tudományos célokra is felhasználják.

Lencse minden két gömbfelülettől határolt fénytörő közeg. Leginkább üvegből *domború* és *homorú* lencsákat készítenek, az előbbieket a középben, utóbbiakat a széleken vastagabbak.

A fénytörése lencsékben.

Domború lencsék: a *kettős domború* (biconvex), *síkdomború* (planconvex) és *homorú-domború* (concavconvex) lencsék; *homorúak*: a *kettőshomorú* (biconcav), *síkhomorú* (planconcav) és *domború-homorú* (convexconcav) lencsék. — A lencse-gömbök centrumait összekötő egyenes a lencse *tengelye*, mely körül a lencse szimmetrikusan van elosztva, a lencse tengelyén átmenő metszetek a *főmetszetek*, a lencse *nyílása* ama szög, melyet a szélektől a görbületi centrumig húzott két egyenes bezár. *Beesési merőlegesekül* a határgörbület sugaraival szolgálnak. A tengely irányában haladó



fénysugár — a *fősugár* — töretlenül megy át a lencsén. Beszélünk még a lencse *optikai centrumáról*. Ez a lencsében lévő oly pont, a melyen áthaladó, egyszer már megtört sugarak a beesés irányával párhuzamosan lépnek ki a lencséből. Nagy görbületi sugarakkal bíró lencséknel az optikai centrumokon átmenő fénysugarakat is töretlenül áthaladóknak, tehát *fősugaraknak* tekinthetjük.

Hogy a kettős domború lencsénél valamely a tengelyen fekvő S pont képét nyerhessük, legyen SM (25. ábra) egyike a lencsére eső sugaraknak és tárgyaljuk mindenekelőtt azt a törést, melyet a sugár az egyik $AO = r$ sugarú görbe felület következtében szenved. SMO \triangle -ben: $SM : SO = \sin \varphi : \sin i$; MDO \triangle -ben: $DO : MD = \sin \epsilon : \sin \varphi$; ezekből: $SM \cdot DO : SO \cdot MD = \sin \epsilon : \sin i = 1 : n$. Tegyük fel, hogy nagy megközelítéssel a fénypont távolsága: $SA = SM = a$, a kilépő sugár és fősugár metszetének, vagyis a pont képének távolsága: $DM = AD = b'$; akkor az első törés után:

$$\frac{a}{a + r} \cdot \frac{b' - r}{b'} = \frac{1}{n} \quad \text{honnan:} \quad \frac{1}{a} + \frac{n}{b'} = \frac{n - 1}{r}$$

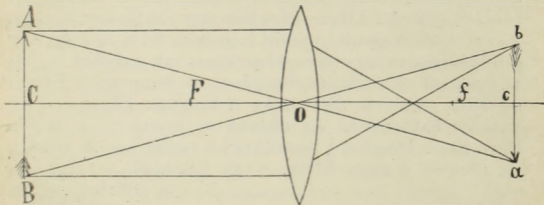
Hogy most a második r_1 sugarú gömbfelületen szenvedett törést nyerhessük, csak a következőket kell meggondolnunk: Minthogy a törés optikailag sűrűbb

közegből a levegőbe történik, n helyett $\frac{1}{n}$ irandó; a második felület sugara negatív jellel veendő, mert ellenkező fekvésű; képtávolságul nem b' , hanem b tekintendő; a második felületre a sugár DM irányban esik, mintha D -ből jönne s így ellenkező iránynyal bír, azért b helyett b' jön a képletbe. A második felületen a törést ily formán a következő egyenlet fejezi ki: $\frac{1}{b} - \frac{n}{b'} = \frac{n-1}{r_1}$. A kettőt össze-

foglalva: $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = (n-1) \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r_1} \right)$. Ez a képlet ama felvétel mellett érvényes, hogy φ igen kicsiny s mivel akkor a kép távolsága a beeső sugár és a tengelytől alkotott szögtől független, azt mondhatjuk, hogy minden a tengelyben fekvő fénypont képe megint a tengelybe esik. Ezen általános esetből most a következő különös esetekre következtethetünk.

1. *Kettős domború lencsénél*, ha a tárgy-távolság $a = \infty$, akkor: $\frac{1}{b} = (n-1) \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r_1} \right)$, más szóval párhuzamos sugarak törés után egy pontban, a *gyújtópontban* (focus) jönnek össze s ha a *gyújtótávolság* f , akkor: $\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r_1} \right)$, tehát a *gyújtótávolság* csupán a törésmutatótól és görbületi sugaraktól függ s így ugyanazon lencsére nézve *állandó*. 2. Minél kisebb lesz a , annál nagyobb értékre tesz szert b ; ha $a = 2f$, akkor $b = 2f$, mert: $\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{2f} + \frac{1}{b}$; $\frac{1}{2f} = \frac{1}{b}$; $b = 2f$. Ha tehát a fénypont a kétszeres gyújtó-távolságban van a lencse előtt, akkor a sugarak törés után, a lencse mögött ugyanolyan távolságban egyesülnek. 3. Ha $a = f$, akkor $b = \infty$; ha a fénypont a gyújtópontban van, a sugarak törés után a lencse tengelyével párhuzamos irányban hagyják el a lencsét. Amíg $a > f$, addig b pozitív értékkel bír, azaz mindig van egy pont, melyben törés után a lencsét elhagyó sugarak a lencse tengelyét metszik. 4. Ha $a < f$, akkor b negatív értéket vesz fel. A kép ugyanazon oldalra esik, mint a világítópont, még pedig távolabb a len-

esétől, mint emez. 5. A convergens sugarakat a kettős domború lencse még convengensebbekké teszi, onnan *gyűjtőlencse* a neve. Ha a lencse képletébe $r_1 = \infty$ helyettesítetjük, akkor a planconvex lencsére



26. ábra.

érvényes alakot nyerjük s azt találjuk, hogy mindaz, amit a gyűjtő-lencsére nézve mondtunk erre nézve is érvényes, csakis a gyűjtőtávolság lesz más, mert: $\frac{1}{f} = (n-1) \frac{1}{r}$. Ha r_1 negatív a concavconvex lencse képlete áll elő, feltéve, hogy mégis $\frac{1}{r} > \frac{1}{r_1}$.

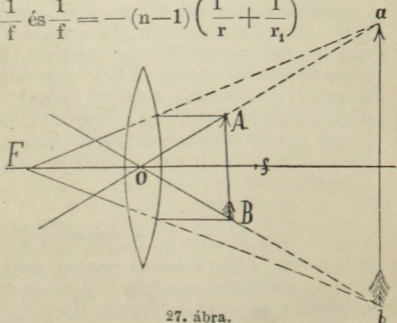
b) A kettős homorú lencsére nézve úgy r , mint r_1 negatív, tehát:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = -\frac{1}{f} \quad \text{és} \quad \frac{1}{f} = -(n-1) \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r_1} \right)$$

1. Ha $a = \infty$, akkor $b = f$, a *virtuális gyűjtőpont* a lencse előtt úgy jön létre, hogy a megtört sugarakat visszafelé meghosszabbítjuk.

2. A míg a pozitív értékkel bír, addig b negatív és kisebb értékű lesz, mint a ;

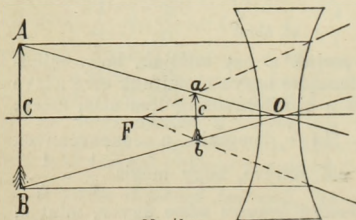
tehát a divergens sugarak törés után még divergensébbekké lesznek s azért az ilyen lencsét *szóró lencsének* hívják. 3. Ha a negatív, azaz a beeső sugarak convergensnek, akkor $\frac{1}{b} = \frac{f-a}{af}$, ami a és f egy-



27. ábra.

máshoz viszonyított nagysága szerint negatív, ∞ és pozitív lehet s a szerint divergens, parallel vagy convergens megtört sugarakat jelent.

A 26. 27. és 28. ábra világító tárgyakkal kettős domború, illetőleg homorú lencséknel nyert képeket tünteti fel. Az ilyen képeket úgy határozzuk meg, hogy előbb a gyújtó-pontot keressük fel s azután egy *párhuzamos* és egy *fő sugarat* vezetünk minden egyes végponttól s ezek segítségével a végpontok képeit nyerjük, melyek által már a tárgyak képei is meg vannak határozva. Az eljárás a rajzokon könnyen követhető. Domború lencséknel a *reális* képek mindig *fordítottak* s nagyobbak, vagy kisebbek a tárgynál,



28. ábra.

a szerint amint a lencséhez távolabb, vagy közelebb esnek, mint a tárgyak. A *virtuális* képek egyenes állásuak és nagyítottak. Homorú lencséknel *virtuális, kisebbített* képek jönnek létre.

Mint a gömbtükröknél, úgy a lencséknel is meg van a *gömbi eltérés*, azaz itt sem egyesíti a lencse a széleire eső sugarakat egy pontban, hanem az u. n. *diacaustikus* felületen. E bajt úgy hártják el, hogy a nagyobb lencsék széleit átlátszatlan gyűrűvel, *diaphragmával* látják el. Elkerülik a gömbi eltérést lencse-combinációkkal is (*aplantikus* lencserendszer), melyek legalább is egy gyújtó- és egy szóró-lencséből állanak.

17. §. A színekről.

Dispersio.

Ha a napsugarakat szűk nyíláson sötét szobába vezetjük, az átellenes ernyőn megvilágított fehér kört látunk. Ha a nyílással szemben, törő élével párhuzamosan prizmat állítunk fel, akkor a prizma eltéríti a fénynyalábot s a nyílás képe gyanánt az ernyőn fényes szalag jelenik meg; mely a kevésbé eltérített végétől kezdődőleg vörös, narancs, sárga, zöld, világos kék, sötét kék és ibolya színű részeket mutat. Ezt a kísérletet legelőbb *Newton* (1666) végezte s szerinte: 1) a fehér napfény külön-

böző színű sugarakból összetett fény; 2) különböző színű sugarak különböző mértékben töretnek meg. Az összetett fény felbontását *színszóródásnak* (dispersio), a nyílás színes képét *színképnek* (spectrum) nevezzük. A nap színképe nem csupán a megismert 7, hanem egymásba folyó végtelen sok színből áll. Hogy az egyes színeket nem a prisma hozza létre, hanem azok valóban a napfényben vannak meg, kitűnik abból, hogy a legkülönbözőbb anyagból való prismák ugyanazon színeket adják és hogy a színek lencsével való egyesítése megint fehér fénypontra vezet. A színek subjectiv egyesítése a *színpörgettyűvel* történik. Papirkorong ez, mely a színkép 7 színének megfelelő 7 befestett körzikkre van osztva. Gyors forgatásnál a korongot — szürkés-fehérnek látjuk.

A dispersio megfejtése a hullám-elmélet alapján a következő. Valamely közeg törés-mutatója $n = \frac{C_0}{C_1}$, ahol C_0 a világtérben való terjedési sebességet jelenti; ez független a színektől, amit eléggé igazol az állócsillagok fehér színe, vagyis az, hogy az állócsillagokról a különböző színű sugarak egyszerre jutnak el hozzánk. Minthogy azonban az átlátszó testekben megtört sugarak színekre bomlanak és az egyes színekre n különböző értékű, fel kell tennünk, hogy c_1 változó, hogy tehát a súlyos testek közeiben foglalt fény-aetherben a szín, vagyis a hullámhosszúság befolyást gyakorol a terjedési sebességre. Minthogy a vörös fény leggyengébben, az ibolya legerősebben van megtörve, következik, hogy szilárd és folyékony testekben az előbbi leggyorsabban, az utóbbi leglassabban terjed.

Az a körülmény, hogy némely anyag gyengén törí, erősen szétszórja, másik erősen törí, gyengén szórja szét a fényt, igen fontos a gyakorlati optika szempontjából, mert ha pl. erősen törő és gyengén szóró anyagból készült nagy törőszöggel bíró prisma mögé megfordított állásba gyengén törő, erősen szóró anyagból készített oly prismát helyezünk, melynek törőszögét úgy választjuk meg, hogy a két prisma színszórása egyenlő legyen, akkor a két ellenkező értelemben ható prisma megsemmisíti egymás hatását s a beeső fény eltérítve, de fehérén jelenik meg a prismákon való áthaladás után; *achromatikus prismát* nyerünk. Mint-hogy a lencséket összetett prismákul tekinthetjük,

Achromatis-
mus.

achromatikus gyűjtőlencséhez jutunk, ha a korona-üvegből készült gyűjtőlencsét flintüvegből készített, megfelelő görbületű szórólencsével egyesítjük. Megfordítva elérhetjük prisma-összetételek által azt is, hogy eltérítés nélküli színszóródást nyerjünk. *Prisma à vision directe.*

Kiegészítő
színek. A
testek színe. Ha a prisma által felbontott színeket gyűjtőlencsével egyesítjük, az egyesülési pontban felállított ernyőn megint fehér képet nyerünk. Ha a lencséből kilépő sugarak egy részét egyesülésük előtt törő élével lefelé fordított kis prizával felfogjuk, akkor az ernyőn két színes képet nyerünk, a melyek együtt — mint előbb láttuk — fehér színt adnak. Az olyan két színt, a melyek együtt fehér színt adnak *kiegészítő* (complemaentaer) *színeknek* hívjuk. Így pl. ha a kis prizával a vörös sugarakat választjuk el, a második kép zöld lesz. A kiegészítő színek a következő három csoportba oszthatók: vörös és zöld, narancs és kék, sárga és ibolya.

Newton elmélete alapján a testek természetes színét következőleg értjük meg. A testek, ha nem átlátszók, a reájuk eső összetett fény színei közül egyeseket *elnyelnek* (absorptio) azaz a fényt más erély fajtává, hővé alakítják át, másokat visszavernek. A test színét a visszavert és esetleg áteresztett színek keveréke adja. A fehér színű test minden színt visszaver, a fekete egyet sem ver vissza. A színtelen átlátszó test minden sugarat átereszt. A színes átlátszó test színét az áteresztett fény határozza meg. Az átlátszatlan testeket csak akkor láthatjuk valódi színükben, ha a reájuk eső fény magában foglalja azt a színt, amit a test visszaverni képes. Napfényben az elektromos ívfény világánál a testet természetes színében látjuk, homogén (sárga, vörös stb.) fénynél azonban már nem.

Hő- és chemiai színekép A spectrumot behatóbb vizsgálat alá véve, a következőket észlelhetjük. Az egyes színek szélessége különböző, de különböző a fényerejük is. Legszélesebb az ibolya, legfényesebb a sárga szín. *Herschel* (1800) nyomán hőmérőt tartva a színek egyes színeihez azt tapasztaljuk, hogy a hőmérő állása az ibolyától a vörös felé emelkedik. Legmagasabbra jut a vörös előtti sötét térben. E tünemény tanulmányozására a csekély érzékenységű hőmérő helyett *Melloni* (1834), majd *Lamansky* (1886 hő-oszlopot) és *Langley* (1888 bolométert) igen érzé-

keny eszközöket használtak. E kísérleteknél a nagy hullámhosszúságú sugarakat át nem bocsájtó üveg helyett kőso- vagy folypát-prizmákat alkalmaztak. A nagy hullámhosszúságú sugarakat, mint sugárzó hőszugarakat veszszük észre. *Langley* még 0.028 mm. hosszú hullámokat is észlelt, holott a vörös fényé 0.000760 mm., az ibolyáé 0.000400 mm., a többi színek hullámhosszai pedig e két érték közé esnek. Hogy a vörös előtti (ultra-vörös) sötét sugarak azonosak a fénysugarakkal, eléggé bizonyítja az, hogy e sugarak mindama tünetmennyeket (terjedés, visszaverődés, törés, interferentia, diffractio, polarisatio) ugyanazon törvények szerint hozzák létre, mint a fénysugarak.

Ha *Sheele* (1781) nyomán chlorezüstbe itatott papírt a színek egy részéhez tartunk, a vöröstől a zöldig nem veszünk elváltozást észre, már a kékben, majd még jobban az ibolyában s amint *Wollaston* megmutatta leginkább az ibolyán túli (ultraviola) részben a papír kémiai változását, elfeketedését észlelhetjük.

A teljes színek tehát egy látható és két nem látható részből áll. A vörösnél kisebb törékenységű, a láthatónál mintegy négyszer hosszabb része a spectrumnak *hő*-, a láthatónál szintén jóval hosszabb, nagyobb törékenységű sugarakból álló része pedig *kémiai-hatásokat* eredményez. *Fényhatást* csakis a 400—800 billió rezgésből álló aetherrezgések hoznak létre.

A kénsavas chinin képes meghosszabbítani a viola és ultraviola sugarak hullámhosszuságait, miáltal kisebb törékenységű látható sugarak keletkeznek. A fény törékenységének ilyeszerű megváltoztatását *fluorescentiának* s az anyagokat, melyek a magasabb törékenységű sugarakat alacsonyabb törékenységű fokra leszállítani képesek, *fluoreszkáló* testeknek nevezüek. Ilyenek a tisztított szintelen petroleum, mely megvilágított felületén kékes ibolyaszínű, a sárga urán-üveg, melynek fluoreszkáló fénye smaragd-zöld, a szintelen kénsavas chininoldaté kék, a chlorophyll tinkturáé vörös, a zöld fluorpáté kék, a sárga barium-platin-cyanür irást kék megvilágításban zöldnek látjuk, a curcumaoldaté világoskék, az aeskulinoldaté kék stb. *Stokes* szerint a fluorescentiát csakis rövidebb hullámok hozzák létre, mint a milyenekkel a test színe bír, így hát pl. az urán-üvegnél vörös és

Fluorescentia és phosphorescentia.

sárga sugarak nem hozzák létre e tüneményt, hanem csakis a zöldtől az ultravioláig terjedők.

A fluorescentia addig tart, míg a hatásos fény megvilágítja a testeket. Vannak azonban testek, a melyek a megvilágítás után sötétben még hosszabb-rövidebb ideig világítanak. Ezek a *phosphoreskáló* testek. Ilyen a gyémánt, kénbárium, kénstrontium, kénalcium. A phosphorescentiát rövid hullámok hozzák létre s amint *Beequerel* észlelte a hosszabb ultravörös sugarak azt megsemmisítik.

E tünemények valószínűleg chemiai hatásokon alapúlnak; a megvilágítás a molekulák elhelyezésében

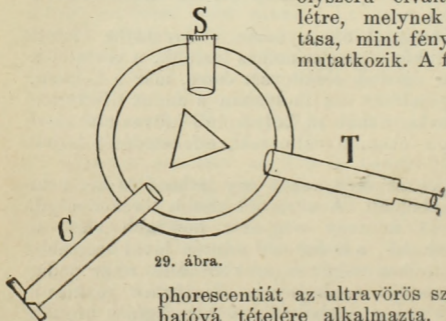
olyszerű elváltozást hoz létre, melynek visszahatása, mint fénytünemény mutatkozik. A fluoreskáló

lemezeket az ultraviolászínkép látathatóvá tételére használják fel.

Beequerel

a phos-

29. ábra.



phorescentiát az ultravörös színkép látathatóvá tételére alkalmazta. E célból Balmain-festékekkel bevont, a napfénynek kitett s így sötétben világító lapra spectrumot vetített és azt tapasztalta, hogy ott, ahová az ultravörös sugarak esnek megszűnik a világítás; a spectrum negatív képe áll elő.

Fraunhofer-féle vonalak.

Fraunhofer (1817) a tiszta napszínképben nagyszámú, a réssel párhuzamos, tehát a színekre merőlegesen álló sötét csíkot vett észre, ami azt bizonyítja hogy a napfényből az illető helyeknek megfelelő törékenységű sugarak hiányzanak. Könnyebb eligazodás céljából ő a 8 legfeltünőbbet *A, B, C, D, E, F, G, H* betűkkel jelölte meg. E tüneményt később *Kirchhoff* behatóan tanulmányozta s a *Fraunhofer-féle vonalak* számát mintegy 3000-re becsülte. Hogy a sötét vonalak keletkezését megérthessük a *spectralanalysishez*, vagyis azon tudományhoz kell folyamodnunk, mely a különböző fényforrások spectrumainak tanulmányozásával foglalkozik.

A színeképek tanulmányozása a *spectroscop*. *Spectroscop.*
troscoppal történik (29. ábra). Ennek közepén
 prisma van, mely felé a *C collimatorcső*, *S skálacső*
 és *T távcső* van irányítva. A collimatorcsőben keskeny
 résen behatolnak a fénysugarak s achromatikus len-
 csén át a prismához jutnak. A collimatorból pár-
 huzamosan kilépő sugarakat a prisma színekre bontja
 s a spectrum nagyított képét a távcsőven át szem-
 lélhetjük. A skálacső arra való, hogy a spectrum
 egyes helyeinek fekvését, segítségével meghatároz-
 hassuk. Ennek végét achromatikus lencse zárja, másik
 végén a lencse gyújtótávolságában átlátszó skála van.
 A megvilágított skála fokait a spectrum más és más
 helyén látjuk.

A színeképek tanulmányozásából az derült
 ki, hogy azoknak három különböző fajtája
 van. Az első a *folytonos színekép*. Ennél az
 egymás mellett lévő színeket sem világos,
 sem sötét vonalak nem különítik el. Ilyen
 színeképeket az átlátszatlan testek fénye ad, tehát
 azok keletkezését a fényforrásul használt szilárd és
 folyékony testek idézik elő. A színeképek második
 fajtája a *csíkos színekép*; egyes, világos, színes csíkok-
 ból áll. Ilyennel az izzó gázok és gőzök bírnak. Min-
 den chemiailag egyszerű, vagy összetett légnemű
 testre nézve, mely felbomlás nélkül izzásba jöhet,
 jellemző a színeképében egészen meghatározott helyen
 mutatkozó egy vagy több világos, színes vonal s
 éppen azért azok száma, színe és fekvése az illető
 gázok, nagy gőzök jelenlétére enged következtetni.
 Ez az alapja a *spectralanalysis*nek, melyet *Kirchhoff*
 és *Bunsen* (1860) alapítottak meg s mely a legérzé-
 kenyebb módszer chemiai elemzések végzésére. A
 sárga csík a *D* vonal helyén a *Na* jelenlétére vall,
 a thalliumgőz színeképe egyetlen zöld csík, a kálium-
 gőzé egy vörös és egy violaszínű vonal, a hydro-
 géné a *C*, *E* és *G* vonaloknak megfelelő vörös, kékes-
 zöld és kék csík. A spectralanalysis vezetett a cae-
 sium, rubidium, thallium, irridium, gallium stb. fel-
 fedezésére. A megvizsgálandó anyagot a spectroscop
C csőve előtt feállított *Bunsen*-égőben, vagy nehe-
 zebben párologtatható testeknél az elektromos ív-
 fényben gőzölögtetik el. A harmadik fajta színekép
 akkor áll elő, ha valamely gyengébben világító lég-
 nemű test van az izzó test előtt; ilyenkor az izzó
 testből jövő sugarak átmennek a világító légnemű
 testen s az átmenő fény sajátságos változásokat szen-

Különböző
 színeképek.
 Spectral-
 analysis.

ved. E változások *Kirchhoff* törvénye szerint mennek végbe, melynek értelmében: *alacsonyabb hőfoknál minden gáz és gőz olyan sugarakat nyel el, amilyeneket izzó állapotban maga is kibocsát.* Ha a *Drummond*-fényt, mely magában folytonos színeképet ad, oly borszeszlámpa lángján vezetjük át, melynek kanóczát konyhasóval megdörzsöltük, akkor azon a helyén a színeképek, ahol a borszeszláng világos sárga csíkot adna, sötét vonal jelenik meg. Ez a „*nátriumvonal megfordítása*“ néven ismert kísérlet igazolja, hogy a nátrium-gőz elnyeli a *D Fraunhofer*-féle vonalnak megfelelő sugarakat. Amíg tehát e gőz minden más sugárra nézve átlátszó, addig az olyan törékenységgű sugarakra, melyeket maga is kibocsájt, átlátszatlan. Az ilyen színeképeket *elnyelési- vagy absorptiós-színeképeknek* hívjuk. Minthogy a nap színeképe maga is absorptiós színekép, abból következik, hogy a nap magja világító atmosphaerával körülvett izzó szilárd, vagy folyékony test; a különböző anyagokból álló burok elnyeli azokat a sugarakat, melyeket maga is kibocsájt s így jönnek létre a *Fraunhofer*-féle vonalak. Ezen *Kirchhoff*-féle elmélet mellett bizonyít az is, hogy teljes napfogyatkozásakor eltűnnek a spectrumban a *Fraunhofer*-féle vonalak és színesekké alakulnak át.

A most tárgyalt physikai ismeretek számos tudományos és gyakorlati hasznót nyújtanak és sok természeti jelenség megfejtését szolgáltatják. A spectralanalýsist a chemiai elemzéseknel, a technikai chemiában és az astrophysikában; a *Fraunhofer*-féle vonalakat a törésmutatók meghatározásánál használják fel. A fény chemiai hatását *Niepe* és *Daguerre* (1837—1838) a photographiánál alkalmazták. A photographálás leginkább a fémsók reductióján alapszik. E célra az ezüst haloidvegyületeit használják fel. A tárgy képét a camera-obscurában jó- és bromezüstöt tartalmazó collodium vagy gelatin-réteggel bevont üveglapon felfogják (expositio) s a keletkezett, még láthatatlan képet előhívják, azaz a lapot gallussavval, vagy vasgáliczoldattal leöntik. A legvilágosabb helyeken a jódezüst teljesen, a sötétebb helyeken részben megfeketedik, az egész sötét helyeken pedig változatlan marad. A kép fixirozása cyankalium-oldattal való lemosás útján történik, amennyiben ez, a fel nem bontott ezüstsót feloldja. A nyert *negativ* képből a *positiv* képet úgy állítják elő, hogy az üveglap alá chlórezüsttel bevont papírt tesznek s így az egészet

a nap hatásának teszik ki. A positiv képet a papirnak kénessavas nátronnal való lemosása által fixirozzák. Az ezüstsók sárga és vörös fény iránt érzéketlenek, azért a kép előhívása és állandósítása ilyen világitásnál történik.

A légköri szinszóródáson alapszik a *szivárvány* (*Descartes*), a *nap- és holdgyűrű*, az *est-hajnalpír* a *holdszivárvány*.

18. §. A látás. Optikai műszerek.

A látás szerve a szem, melyben a tárgyak reális képei oly módon keletkeznek, mint a camera obscurában. A szem golyóalakú s a zsiradékkal bevont szemgödörben hat izom segítségével minden irányban forgatható. Sérülések ellen a szemhéj és a szempillák védik. Külső borítékát a vastag *tülkohártya*, vagyis az átlátszatlan szemfehérje és az átlátszó *szarúhártya* alkotja. Belül a festőanyaggal bevont *edényhártya* terül el. A szarúhártya mögött a fény mérséklésére szolgáló színes *szivárványhártya* lebeg, mely a közepén lévő *pupillán* bocsátja be a fényt. A pupilla az embernél is eléggé, de némely állatnál (macska, bagoly) szerfölött összehúzható és kitágítható. Az agyból kiinduló látóideg hátul jut be a szemgolyóba s az edényhártyán, mint szürke *reczehártya* terül szét. Erre esnek a szemgolyóba jutó és az abban foglalt három fénytörő anyagon átmenő fénysugarak. A *kristálylencse* a szivárványhártya mögött van s az előtte lévő tért a viznedv, a mögötte lévő az *üvegnedv* tölti be. A lencse kis fordított képeket vet a tárgyakról a reczehártyára. Ezek photographiai képekül csak rövid tartammal bírnak, mert a reczehártyán lévő szembiborra bomlasztólag hatnak s így az említett festőanyagot az életműködés újjal cseréli ki. A látóideg közli aztán az agygyal a nyert benyomásokat. Hogy a kép létrejöhessen a szemben, annak a reczehártyára kell esnie; szükséges továbbá, hogy a reczehártya érzékeny legyen a fény iránt, ez leginkább a *sárga folton*, vagyis a reczehártyának a szemtengely irányába (a pupillát a lencse optikai centrumával összekötő egyenesbe) eső részén tapasztalható. A reczehártya azon része, a hol a látóideg belép a szemgolyóba, érzéketlen, ez a *vak- vagy Mariotte-féle folt*.
Hogy a reczehártyára rajzolt fordított kép daczára a tárgyakat mégis *egyenes állásban* látjuk,

annak oka az, hogy mi nem a képet nézzük, hanem a nyert benyomás és a tapasztalás alapján a fősugarak irányában magát a tárgyat keressük s meg is találjuk azt, mégpedig egyenes állásban, mert a kép alsó fősugara a tárgy felső részéhez vezet és viszont.

Két szemünk lévén, minden tárgyról két képet nyerünk. Amíg azonban a két kép az ideghártya *megfelelő pontjaira* rajzolódik le, addig az azonos benyomás és a tapasztalás folytán is *egyszeres képet* látunk. Az egyik szemgolyó elforgatásával már kettős képeket nyerünk a tárgyakról. Hogy a tapasztalásnak is van szerepe az egyszeres látásnál, azt a kancsal-szemüeknél észlelhetjük, kik egyszeresen látnak, bár a képek a két szemben nem a megfelelő pontokon jönnek létre.

A testekről az ideghártyán *lapszerű* képeket nyerünk. Hogy e képek nyomán mégis *testeket* látunk, annak a két szemmel való nézés az oka. A képek t. i., melyek a megfelelő pontokon lerajzolódnak nem azonosak, hanem a testet mintegy két oldalról tüntetik fel s ez a tömörség felismerését nagy mértékben elősegíti. Ha a *Brewster-féle stereóskopba* valamely test pl. koczká oly két képét helyezzük el, melyek közül az egyik a koczkát úgy ábrázolja, amint azt a bal, a másik, amint a jobb szemünkkel látjuk: akkor a két kép egyszerre való nézésnél egyetlen tömör képpé olvad össze. A *stereoskop* kis szekrény, melynek előfalába két hasáb (vagy nagyítandó rajzoknál két lencse) úgy van beállítva, hogy törőeleik egymás felé fordítvák. A hátsó falára jönnek a hasábokkal szembe a stereoskópos képek, melyeket a hasábokon át mindkét szemünkkel egyszerre nézünk.

A tiszta látás keilékei. A tiszta látáshoz szükséges, hogy a *reczehártyán éles képek* jöjjenek létre. Mint-hogy a normális szem közel és messze fekvő tárgyakat egyaránt tisztán lát, abból az következik, hogy a szem *alkalmazkodási képességgel* (accomodatio) bír. Ez abban áll, hogy a szemlencse görbületét tet-szés szerint oly módon változtathatjuk, hogy a kép mindig a reczehártyára essék. Azt a távolságot, melyben a tárgyakat legélesebben látjuk a *tiszta látás távolságának* hívjuk. Ez *normális szemre* 24—25 cm. *rövidlátó szemre* kevesebb, *messzelátóra* több. Rövid-látó szemnél a reczehártya előtt, messzelátónál a mögött keletkezik a kép. Az előbbi bajon szóró, az utóbbin gyűjtőlencséből álló szemüveggel se-gítünk.

A tiszta látás második kelléke az, hogy a kép elég *világos* legyen. Ezt a pupilla tágíthatósága mozditja elő. Az *irradiatio* abban áll, hogy sötét alapon a világos tárgy képe nagyobbnak látszik. *Plateau* szerint ennek az az oka, hogy a fényinger az ideghártyán túlterjed a fénybehatás helyén. A fényinger időtartamára is észleljük ezt, mert pl. a körül forgatott parázst tüzes körvonalnak látjuk. Ezen alapszik a *stroboskop*. Ha a fényinger nem tart elég ideig, nem látjuk a tárgyat, pl. a kilótt puskagolyót. Az utóképek (contrast-tünemények) a hosszú időn át erős fénybenyomásnak kitett s így eltompult szemben keletkeznek. A *színérzet* oka abban rejlik, hogy a szemben három fajta idegrost van, melyek mindenike különösen valamely meghatározott (vörös, zöld, ibolya) szín iránt érzékeny. Ezeket a különböző színek különböző mértékben izgatják s ebből erednek a különböző színérzetek. E rostok valamely fajtájának hiánya okozza a *színavakságot*.

A tiszta látás kelléke még, hogy a *reczehártyára rajzolt kép elég nagy* legyen. A kép nagysága ama szög nagyságától függ, melyet a tárgy végpontjairól húzott egyenesek a szemben alkotnak. Ez a *látás-szög*. Ez gyengébben világított testeknél $\frac{1}{2}$ percnél nem lehet kisebb.

A látószög kicsinysége vagy a testek kicsinységének, vagy azok nagy távolságának a következménye. Bizonyos optikai-műszerekkel elérhető, hogy a tárgyakat megfelelő látószög alatt a tiszta látás távolságában szemléljük. Ilyen műszerek a *nagyítók* (mikroszkopok) és a *mésszelátók*, vagy *távcsövek* (telescopok).

Optikai
műszerek.

A *nagyító* a közel fekvő, kis tárgyakat nagyobb látószög alatt, tehát megnagyítva mutatja. Van *egyszerű* és *összetett nagyító*.

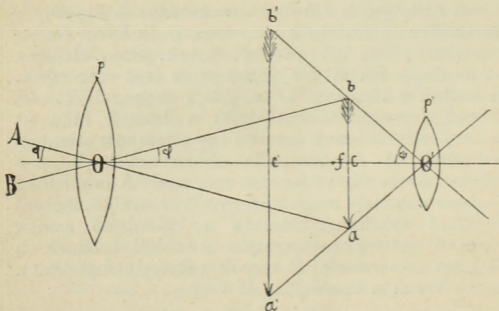
Az *egyszerű nagyító*, vagy *lupa*, (*Jansen* (1590) egyetlen gyűjtőlencséből áll. A gyűjtőponton belül, de ahhoz igen közel elhelyezett *AB* tárgynak (30 ábra). *ab* virtuális, nagyított, egyenesállású képe jön létre. A kép és a tárgy nagyságának aránya a *vonalos*, annak négyzete a *területi nagyítást* adja. Rendszeresen csakis a *vonalos-nagyítást* *N* fejezzük ki s ez :

A lupa.

$$N = \frac{ab}{AB} = \frac{Oc}{OC}, \text{ ahol } Oc = d \text{ a tiszta látás távol-}$$

ságát jelenti. Ámde itt a tárgy és kép egy oldalon keletkezik s így d negatív értékkel bír, tehát az

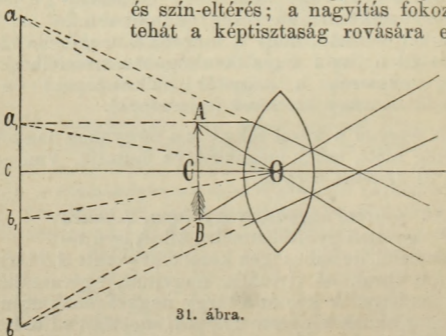
$$\frac{1}{OC} - \frac{1}{d} = \frac{1}{f} \text{ egyenletből:}$$



30. ábra.

$$OC = \frac{df}{d+f} \text{ és } N = \frac{d(d+f)}{df} = \frac{d}{f} + 1.$$

A nagyítás tehát annál tetemesebb, minél kisebb f gyújtótávolság, azaz minél erősebb a lencse görbülete. Ilyen lencsénél azonban nagyobb a gömbi- és szín-eltérés; a nagyítás fokozása tehát a képtisztaság rovására esik.

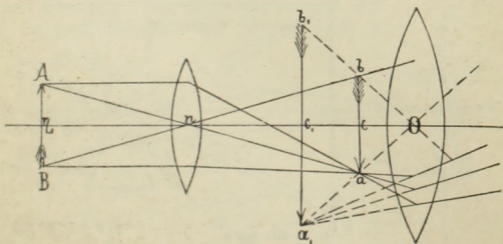


31. ábra.

Összetett nagyító.

Az *összetett nagyító* legegyszerűbb fajtájához a két gyűjtőlencséből álló kombináció vezet (31. ábra). A kis gyújtótávolságú tárgy-

lencse (objectiv) az *AB* tárgy nagyított, reális képét adja. Az objectivnek a tárgyhoz való megfelelő közéletése által a kép a *szemlencse* (okulár) gyújtópontján belül kerül s azt a lupaként működő okulár ismételt nagyítás mellett a tiszta látás távolságába hozza. Az összetett nagyító nagyítása a tárgy- és szemlencse nagyításának szorzatával egyenlő. A lencsét alkalmas módon rézcsőbe foglalják. Lényegesen javul a nagyító úgy a nagyítás, mint a látómező és egyéb hibamentesség tekintetében, ha úgy objectiv, mint okulár gyanánt több lencséből álló kombinációt használnak. A *Campani*-féle okulár két planconvex, egymástól néhány centiméternyire álló lencséből áll,



32. ábra.

melyek közül az objectiv felé álló azzal együtt a reális képét adja, a szem felé álló pedig mint lupa működik.

A *távcsövek* a távolságuk miatt kis látó- Teleskopok.
szöggel bíró tárgyak nagyítására szolgálnak. Megkülönböztetünk *dioptrikus-* és *katoptrikus-teleskopokat*. Az előbbieket csak lencséből, az utóbbiakat lencséből és tükrökből állanak. Az elsöket még *refractoroknak*, emezeket *reflectoroknak* is nevezzük. Dioptrikus távcsövek a *Kepler-féle* vagy *csillagászati-*, a *földi-* és a *Galilei-féle*, vagy *hollandi-távcsövek*.

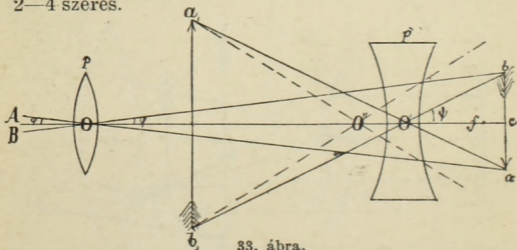
A *Kepler-féle*, vagy *csillagászati-távcső* Kepler távcsöve.
(32. ábra) okulárja gyújtólencse; az objectiv *ab* reális képét adja a távol fekvő tárgynak s ez az okulár gyújtótávolságában tényleg létrejön úgy, hogy az, mint lupa működik, miáltal a tárgy *a' b'* virtuális, fordított képét nyerjük. A messzelátó hossza a gyújtótávolságok összegével egyenlő.

A földi távcső.

A földi távcsőnél az okulár két gyűjtőlencséből áll; ezek közül az elsővel egyenes állásba fordítjuk az objectiv-adta képet s azt a másodikkal, mint lupával nézzük.

Galilei távcsőve.

A Galilei-féle, vagy hollandi-távcső (33. ábra) okulárja az objectiv gyűjtőtávolságán belül van elhelyezve s így az objectiven átmenő sugarak nem hozhatják létre az ab reális képet, mert az okulár szétszórja azokat és ez úton az a_1b_1 virtuális kép keletkezik. A távcső hossza a gyűjtőtávolságok különbségével egyenlő. Előnye e távcsőnek, hogy rövid. Hátránya, hogy nagyítása nem erős. Színházi távcsőveknél pl. 2—4-szeres.



33. ábra.

Katoptrikus távcsövek.

A katoptrikus távcsöveknél homorú tükör helyettesíti a tárgylencsét; a homorú tükör reális képét domború szemlencsén nézik. Ilyen messzelátokat *Herschel*, *Gregori* és *Newton* szerkesztettek. Minthogy a nagy tükrök készítése könnyebb, mint a nagy lencséké és mert a messzelátók nagyítása annál erősebb, minél több fényt vezet az objectiv a szemhez; azért a tükrös távcsövek nagyítása tetemesebb, mint a refraktoroké. *Herschel* teleszkópjának nagyítása 7000-szeres volt.

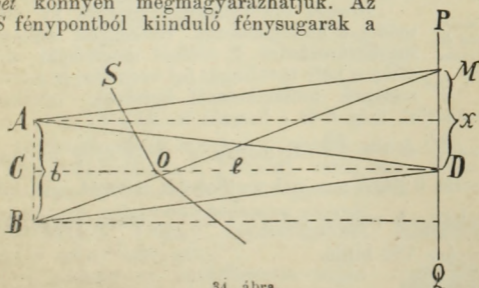
19. §. A fény interferentiája.

A most és a következő fejezetekben tárgyalandó optikai tünemények annak a bizonyítékai, hogy a fényt rezgő mozgások hozzák létre s mindjárt módot nyújtanak arra is, hogy a rezgési számokat, vagy hullám-hosszúságokat meghatározhassuk.

Ha a felette szűk nyíláson bebocsátott homogén fényt két, egymáshoz közel 180° alatt hajló tükörrre bocsátjuk (34. ábra),

Fresnel tükör kísérlete.

akkor a visszavert sugaraktól valamely ernyőre vetett kép nem, mint várnók, ott a legfényesebb, ahol a két tükrőről jövő sugarak találkoznak, hanem éppen ott váltakozó sötét és világos vonalakat mutat. Ha az egyik tükröt elfödjük, nyomban eltűnnek a sötét csíkok, ámde a fedő elvétele után ismét megjelennek. Ha a fény nem homogén, akkor a vonalakat még különböző színűek is. Ezt a kísérletet *Fresnel* legelőbb 1822-ben végezte. A mutatkozó tüneeményt *Newton* elméletével nem tudjuk megmagyarázni, mert lehetetlen, hogy fény fényhez, tehát anyag anyaghoz járulva sötétséget, anyagihiányt hozzon létre. Ellenben a *Huyghens-Young-Fresnel*-féle rezgési elmélet alapján a tüneeményt mint *interferentia-jelenséget* könnyen megmagyarázhatjuk. Az *S* fénypontból kiinduló fénysugarak a



34. ábra.

tükrökről úgy veretnek vissza, mintha *A* és *B* pontból indultak volna ki.

Ha $AC = BC = \frac{b}{2}$ és $CD \perp AB$, akkor a *PQ* ernyő *D* pontjában találkozó sugarak egyenlő $AD = BD$ utakat irtak le s így mint egyenlő rezgési állapotban lévők, egymást erősítik. Az ernyő valamely más, pl. *M* pontjában az interferentia eredményét a két sugár útkülönbsége szabja meg. Ha $CD = e$, $DM = x$ és megközelítéssel $AM + BM = 2e$, akkor a d útkülönbség $= \frac{bx}{e}$. Azokon a helyeken, melyekre nézve $d = 0, \lambda, 2\lambda, \dots, n\lambda$, vagyis, melyekre x -nek a középső legfényesebb helytől mért nagysága: $0, \frac{e\lambda}{b}, \frac{2e\lambda}{b}, \dots, \frac{ne\lambda}{b}$ a két sugár erősíti egymást s a világos helyek egymástól $\frac{e\lambda}{b}$ távolságban tűnnek

fel. Azokon a helyeken pedig, melyekre nézve x értéke $\frac{\lambda}{2}$, $\frac{3\lambda}{2}$, $\frac{5\lambda}{2}$... a sugarak kioltják egymást, ott a fényrés képe sötét lesz. E helyek egymástól mért távolsága: $\frac{e\lambda}{b}$.

Mint hogy vörös fénynél e távolság nagyobb, mint ibolyánál, abból következik, hogy a vörös sugarak hullámhossza nagyobb, mint az ibolyáé. Tudva, hogy a fény terjedési sebessége $c = n \cdot \lambda$ a különböző színekre egyenlő, hogy vörös fénynél λ nagyobb, mint az ibolyánál; megérthetjük, hogy n , vagyis a vörösfény rezgési száma kisebb mint az ibolyáé, mert csak úgy nyerhető mindkettőre egyenlő c érték.

Fresnel tükörkísérlete nyújtja az első módot a hullámhosszak és rezgési számok meghatározására. E czélból megmérjük két világos hely távolságát (a) azon fényre nézve, melynek hullámhosszát keressük, továbbá megmérjük még b és e hosszát is. Akkor:

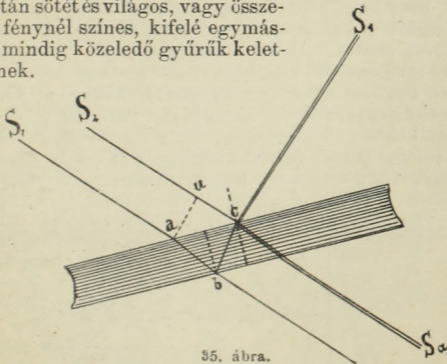
$a = \frac{e\lambda}{b}$ és $\lambda = \frac{ab}{e}$. Ily módon a vörös fény hullámhosszát 0 00067 mm.-nek az ibolyáét 0.00041 mm.-nek találták. A rezgési szám: $n = \frac{c}{\lambda}$, vörös fényre 448, ibolyára 732 billió.

20. §. A vékony lemezek színei.

Newton szingyürüi.

Átlátszó testek vékony rétegei visszavert és áteső fényben egyaránt *interferentia-tüneményeket* mutatnak. Ha a párhuzamos lapokkal határolt lemezre homogén fénytől kiinduló S_1 (35. ábra) és S_2 sugarak esnek, azok Sr -nél megsemmisítik egymást, ha az útkülönbség, mely abc -nél áll elő és a c -nél történő visszaverődés okozta phásis-különbség egy félhullámhosszúság, vagy annak valamely páratlan számú többszöröse. Áteső fényben Sa -nál fényerősödés áll be, mert ott Sr -hez viszonyítva félhullámhossznyi különbség van, mivel a b és c -nél szenvedett visszaverődéseknél a ritkább közegbe való átmenet phásiskülönbség nélkül történik. Ha homogén helyett fehér fényt használunk, akkor a lemezek vékonysága és a beesési-szög nagysága szerint S_1 és S_2 mindig más és más színrészeket semmisítenek meg, miáltal színkeverékek jönnek létre.

Ez a tünemény mutatkozik a *Newton-féle színes üveg-nél* (36. ábra), ahol a két üveg közé zárt légréteg folytán sötét és világos, vagy összetett fénynél színes, kifelé egymáshoz mindig közeledő gyűrűk keletkeznek.



35. ábra.

Feltűnő szépek a vékony lemezek színei a szappanbuborékoknál (*Hooke*), vizen úszó olajrétegeknél, vékonyra fújt üveggömböknél, az üveg és csillám hasadékaiba szorult légrétegeknél, vékony oxydrétegeknél (*Nobili szingyűrűi*) stb.

Lippmann az interferentia útján származó álló fényhullámokat photographiai uton állandósította. (A nap-színkép photographiája.)

A szingyűrűk a hullámhosszak meghatározásának második módját szolgáltatják.

Vékony lemezek színei



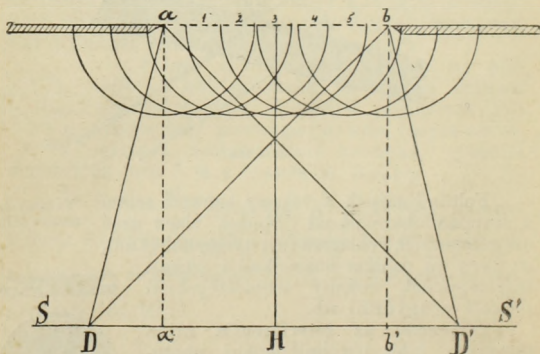
36. ábra.

21. §. A fény elhajlása.

A *fény elhajlása* (*diffractio*) abban áll, hogy a szűk nyíláson át, vagy átlátszatlan testek szélei mellett haladó fény, az egyenes vonalú terjedés ellenére, a testek árnyékába is behatol. E tüneményt legelőbb *Grimaldi* (1665) észlelte s már ő a hullám-elmélettel iparkodott azt megfejtetni. Egyszerű interferentia tünemény ez, melynek magyarázata a következő. Az *ab* szűk nyíláson (37. ábra) behatoló fény. *H*-nál a nyílás világos képét adja. *Huyghens*-elve szerint az *elemi hullámoknak* megfelelő sugarak pl. *D* és *D'*-nél találkozáván, az első sötét csíkot hezzák

Diffractio.

létre, feltéve hogy $bD - aD$ útkülönbség a megfelelő fénysugárra nézve egy fél-hullámhosszúsággal egyenlő. Ha nem homogén, hanem összetett fény jut be a nyíláson, akkor a váltakozó sötét és világos vonalak helyett színes csíkok keletkeznek. Ha az összetett fény igen keskeny, párhuzamos, vagy egymást keresztező nyílásokon megy keresztül, akkor a pompás színekben tündöklő *rácshínekép* jön létre. Szépen mutatkozik a fényelhajlás, ha a szempillán, vékony szöveten, porral fedett üveglapon, lombos fán át a napra, vagy valamely lángra nézünk. Fényelhajlási



37. ábra.

tünemény a *nap- és holdudvar*, mely a fénysugaraknak a köd-hólyagocskák szélein történő elhajlása révén áll elő. *Clausius* szerint az ég kékje a levegőben foglalt vízhólyagocskák vékony falazatainak interferencz-színe.

A fény elhajlása szintén módot nyújt a különböző fénysugarak hullámhosszának meghatározására.

22. §. A fény sarkítása és kettős törése.

A fény polarisatiója Fénytüneményeknél az aether transversal rezgését a *polarisatio-jelenségek* igazolják. Ha valamely fényforrástól kiinduló fénysugár hátul befeketített tükörről, melylyel 55° -nyi beesési szöget alkot, veretik vissza (38. ábra), s ha a visszavert fénysugár utjába ugyanolyan második

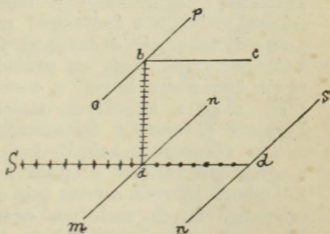
üveglapot állítunk, végre ha ezt a tükröt oly módon körülforgatjuk, hogy a már egyszer visszavert fény-sugár a tükörrel mindig egyenlő szöget alkosson; akkor azt tapasztaljuk, hogy a fény-sugár másodszor nem verődik egyenlő tökéletesen vissza a második tükör minden állásánál, hanem legjobban, ha a második tükör az elsővel párhuzamos, vagy a párhuzamos helyzetből 180° -nyi szög alatt elfordítatik, legkevésbé, ha az elforgatás szöge 90° , vagy 270° . A fény-sugár tehát az első visszaverődés után változást szenvedett s ezt a változást nevezzük *fény-sarkítás* vagy *polarisatio* néven. A megváltozott fényt *polarisált*nak, az első tükröt *polarisator*nak, a másodikat *analysator*nak hívjuk. A fény-sugár tökéletesen sarkított a tükrök keresztező állásánál, vagyis akkor, mikor egyáltalán nem veretik vissza. *Brewster* (1815)

kimutatta, hogy visszaverődés útján csakis akkor nyerünk tökéletesen sarkított fényt, ha az illető visszaverő anyagra nézve a beesési szög tangense a törés mutatóval egyenlő.

Ha az aetherrészecskék a polarisált sugárnál longitudinális-rezgéseket végeznének,

A polarisatio magyarázata

akkor nem lenne ok arra, hogy a fény-sugár a felső tükrőről majd visszaverődjék, majd sem, mert a beesési szög azonos maradván, a visszaverődés feltételei minden állásnál egyenlők. Fel kell tehát *Fresnel* után tennünk, hogy természetes fény-nél az aetherrészecskék a fény-sugárra minden képzelhető irányban, merőlegesen rezegnek; ellenben a polarisált fény-nél az aether-részecskék rezgései merőlegesek ugyan a fény-sugárra, de csakis egy síkban, a *rezgési síkban* mennek végbe. A rezgési síkra merőleges síkot a *sarkítás síkjának* mondjuk s ez a polarisator visszaverődési-síkjával egybeesik. A természetes fény transversal rezgéseit helyettesíthetjük egymásra merőleges két síkban terjedő hullám által s akkor kitűnik, hogy a tükör csak a beesés síkjára merőleges sugarakat veri vissza, a beesés síkjában fekvőket elnyeli, vagy ha átlátszó, átbocsátja.



38. ábra.

Kettős törés.

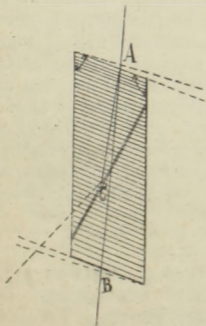
Kettős törésnek azt a tüneményt nevezzük, hogy az átlátszó testek némelyike a belépő fénysugarat két részre bontja, melyek mindenike eltér az eredeti iránytól. Ilyen tulajdonsággal bírnak a kristályok, a szabályos rendszerbe tartozók kivételével, továbbá a sajtolt, egyenlőtlenül melegített és hűtött üvegek. A kettős törés után kilépő két fénysugár *polarisált*; rezgési (sarkítási) síkjaik egymásra merőlegesek. A kettős törést legelőbb *Erasmus Bartholinus* (1669) tanulmányozta a szép islandi páton. Itt az egyik kilépő sugár; követi *Snellius* törési törvényét, ez a *rendes sugár* a másik nem mindig követi azt, ez a *rendkívüli sugár*. Minden kettősen törő kristályban találunk egy, vagy két irányt, melyben a fénysugár csupán egyszerű törést szenved, tehát *egy- és két optikai tengelyű* kristályokat különböztetünk meg, az utóbbiaknál kettős törésnél egyik sugár sem követi a törési törvényt. A kettős törés okát a kristályok molekuláris szerkezetében keressük (*Fresnel*) s felteszszük, hogy a benfoglalt aether sűrűsége a kristály-molekulák elrendezésének megfelelően változik s ennek folytán a kristályokban különböző irányok szerint más és más a fény terjedési sebessége is. A *szabályos rendszer* kristályaiban a három egymásra merőleges tengely irányában teljesen homogén a tömegelosztás. Az ilyen kristályok csak egyszerű törést mutatnak. A *négyszöges és hatszöges rendszer* kristályai egy fő- és 2, illetőleg 3 mellék-tengelylyel bírnak. A fő-tengely irányában homogén a tömegelosztás, tehát abban a fénysugár nem szenved sem kettős törést, sem sarkítást. Minden más irányban belépő sugárnál kettős törés mutatkozik, mégpedig egy rendes és egy rendkívüli sugár alakjában. A *rhombikus, egy és háromhajlású rendszer* kristályainál három irányban egyenlőtlen a tömegelosztás, hogy mégis csak kettős és nem hármas törés mutatkozik, annak az az oka, hogy valamely beeső sarkítatlan fénysugár csakis két irányban találhat egyenlőtlen tömegelosztást. Az idetartozó kristályok két optikai tengelyűek s ezeknél a kettős törés után kilépő mindkét sugár rendkívüli.

Polarizáló
készülékek,

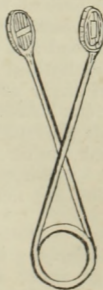
Polarisált fényt ad a fémek kivételével minden visszaverő tükör-felület. *Brewster* szerint a polarisatio-szög minden testre néve ama szög, melynél a visszavert sugár a megtörtre merőleges. Visszaverődés útján legcélszerűbben a *Nörrenberg*-féle készülékkel nyerünk sarkított fényt.

Ennél polarisátor gyanánt átlátszó tükörlap szolgál, mely vízszintes tengely körül forgatható, az erről visszavert sugár a készülék alján elhelyezett vízszintes tükörrre jut s onnan merőlegesen felfelé visszaveretik s a készülék felső részén elhelyezett fekete tükörhöz az analysátorhoz jut.

Törés útján úgy nyerünk sarkított fényt, hogy 8—10 egymásföle helyezett üveglapon vezetjük át a fénynyalábot. A törés által nyert sarkított fény polarisatiosíkja merőleges a visszaverődés útján sarkított fény polarisatio síkjára.



39. ábra.



40. ábra.

Kettős törés útján két, ellentétesen sarkított fénysugarat nyerünk. Az egyik sugár eltávolítása Nicol (1841) hasábjánál (39. ábra) teljes visszaverődés, a turmalin-fogónál (40. ábra) absorptio útján történik. Nicol-hasábjánál kettőző mészpátból két hasábot kanada-balzsammal ragasztanak össze. A rendkívüli sugár eredeti irányához párhuzamosan kilép, a rendes sugarat a kanada-balzsam oldalt teljesen visszaveri s az a prisma keretében eltűnik. Ha a hatszöges rendszerben kristályosodó turmalinból, tengelyével párhuzamos irányban, lemezt hasítunk s azon közönséges fényt vezetünk át, az két ellentétesen sarkított sugárra bomlik; a rendesen tört sugár rezgési síkja párhuzamos a turmalin tengelyéhez. Minthogy a turmalin csakis olyan aether-rezgéseket bocsát át, melyek a fő-tengely irányában mennek végbe, azért az abból kilépő sarkított sugár csakis a rendkívüli

lehet. Ha most ezen lap mögé egy második turmalin lemezt állítunk, egyszerű polarisáló készüléket nyerünk; ha a két lemez tengelye párhuzamos, akkor a közbeeső látási-mező világos, ha a két tengely merőlegesen áll egymásra, akkor a látási-mező sötét.

A sarkító készülékeket felhasználják átlátszó testeknek a polarisált fényben való tanulmányozására.

A sarkított fény interferentiája.

Ha valamely egytengelyű kettősen törő kristályból optikai tengelyével párhuzamosan metszett lemezt a párhuzamos (egymásra merőleges) tengelyű turmalin-lemezek közé állítunk, színes gyűrűket nyerünk, melyeket fehér (fekete) kereszt metsz át. A kétféle gyűrű színei egymást *kiegészítő-színek*. E tüneményt a kristálylemezen átmenő rendes és rendkívüli sugarak interferentiájából magyarázhatjuk meg. Egymásra merőlegesen sarkított két sugár az interferentia tüneményét nem hozhatja létre. *Fresnel* és *Arago* szerint párhuzamosan sarkított fénysugarak oly interferentia tüneményeket adhatnak, mint a közönséges fény, egymásra merőlegesen sarkított sugarak ellenben interferentia-tüneményeket nem hozhatnak létre.

Hőtan.

23. §. A thermométer.

Hőmérséklet.

A testeket megtapintásuk után *melegeknek* vagy *hidegeknek* mondjuk. E kettő között azonban még számos fokozata van a testek hőállapotának. A fokokban kifejezett hőállapotot *hőmérsékletnek* vagy *temperaturának* nevezzük. A temperatura emelkedésével a testek általában kitágulnak. Ezt látjuk a vasgolyónál, mely alacsonyabb mérsékleténél még átesik a rézgyűrűn, holott megmelegítve már fenakad azon (*S' Gravesand* kísérlete); vagy a forró vízbe helyezett üvegcsőnél, melyben a festett víz emelkedése a hőokozta kitágulás következménye; vagy végre a gömbben végződő üvegcsőbe zárt levegőnél, mely kiterjed és buborékokban száll el, ha az üvegcsövet nyílásával vízzel telt edénybe mártjuk s gömbjét kézzel, vagy borszeszlámpa lángjával melegítjük. Minthogy tapintó érzékünk nem nyújt biztos ismeretet a testek hőállapotáról, azért a hő-

okozta térfogat-változást használják fel e czélt szolgáló készülékek — *thermométerek* — előállítására.

Két test *A* és *B* egyenlő hőállapotban van, vagyis azonos temperaturával bir, ha Hőmérők. érintkezésüknél egyik sem mutat térfogat-változást; ha azonban az egyiknél, pl. *A*-nál a térfogat növekedését észleljük az érintkezés alatt, akkor azt mondjuk, hogy *B* test melegebb, mint *A* és pedig annál inkább, minél nagyobb *A* térfogat-növekedése. Az érintkezésbe hozott testek egyike a felhozott példában *A* az, melyet a különböző testek hőállapotának megítélésére *hőmérő-készülék*, vagyis *thermométer* gyanánt felhasználhatunk. Czélszerű thermométeranyag az üvegbe zárt higany, mégpedig az üveg csekély s a higany tetemes és egyenletes kitágulása miatt. *A higany hőmérő* vastagfalú, szűk gömbben végződő üvegcső, melyet higanyval töltenek meg olymódon, hogy felül tölcseért forrasztanak a csőre s abba higanyt öntenek. A higany onnan csak akkor folyik be a szűk csőbe, ha ennek gömbjéből melegítés útján kihajtják a levegőt s azután az egészet hűlni hagyják; akkor a légnyomás a higany egy részét az alsó gömbbe szorítja. Ezen eljárás ismétlésével tölthető meg az egész hőmérő; ezután a higanyt felforrásáig melegítik, majd a hőmérőt a mérendő legmagasabb hőmérsékletnek teszik ki, mire felső végét beforrasztják. Most a higany *állandó pontjait* határozzák meg. Ilyenek a tiszta víz fagyásának, vagy ami ugyanaz, a jég olvadásának és a 760 mm. nyomásnál forró víz gőzének hőmérsékletei. Előbbi *a fagyás-*, utóbbi *a forrás-pontja*. A hőmérőt olvadó jégbe, majd forró víz gőzébe állítják s megjelölik azt a két pontot, melyeknél a higanyszál megállapodik. A fagyás- és forráspont közötti távolságot *alaptávolságnak* nevezzük. *Fahrenheit* (1724) hőmérőjénél ez 180 egyenlő részre van osztva, de mert ott a fagyáspontot 32 jelöli, azért a forráspont 212°. (*Fahrenheit*nál az volt a felosztás alapja, hogy ő az 1700 ban észlelt legnagyobb hideget abszolút nulla-pontnak tekintette, s az ezen pont és az emberi test temperaturájának megfelelő pont közti távolságot 100 egyenlő fokra osztotta.) *Reaumur* (1730) és *Celsius* (1750) hőmérőinél a fagyáspontot nullával, a forráspontot a R.-féléknél 80-nal, a C.-féléknél 100-zal jelölik. A fagyáspont alatt fekvő hőmérsékletet ezen thermométereknél *negatív* jelű fokokkal tüntetik fel. (*Reaumur* azért osztotta skáláját 80 egyenlő részre,

mert azt tapasztalta, hogy a víznek a fagyásponttól a forráspontig való megmelegítésénél az 1000 rész térfogatú borszesz, melylyel ő hőmérőjét megtöltötte 80 részszel terjedt ki.)

Fahrenheit hőmérőjét Angliában és az amerikai Egyesült államokban, *Reaumurét* köznapi használatban, *Celsiusét* pedig tudományos vizsgálódásoknál alkalmazzák. A különböző hőmérő-fokok átszámítása a következő egyenletek alapján végezhető:

$$t^{\circ} R = \frac{5}{4} t^{\circ} C = \frac{9}{4} t^{\circ} + 32^{\circ} F;$$

$$t^{\circ} C = \frac{4}{5} t^{\circ} R = \frac{9}{5} t^{\circ} + 32^{\circ} F;$$

$$t^{\circ} F = \frac{4}{9} (t - 32)^{\circ} R = \frac{5}{9} (t - 32)^{\circ} C.$$

Kitünő thermométer anyag a levegő is, azonban *légthermométereket* csakis tudományos vizsgálatoknál alkalmaznak, mert a levegő térfogata függ a nyomástól is s így a hőmérsékletnek a levegő térfogatából való meghatározása már elméleti készültséget feltételez.

Mint hogy a higany -39° C-nál megfagy, $+360^{\circ}$ C-nál pedig gőzzé válik, azért a higany-hőmérők csak e határok közt használhatók. Alacsonyabb temperaturák mérésére a *borszesz-hőmérők* szolgálnak, mert a borszesz még a legnagyobb mesterségesen előállított -208° C-nyi hidegnél sem fagy meg; $+350^{\circ}$ C-nál magasabb temperaturákat *fémthermométerekkel* mérnek, noha legújabb időkben olyan higany-thermométereket is készítenek, melyeknél a capillárcső a higany fölött nem légüres, hanem nitrogénnel telt, itt a gáznyomás folytán 550° -ra emelkedik a higany forráspontja.

Rutherford (1794) *maximum-minimum thermométere* a valamely helyen, bizonyos időben mutatózó legalacsonyabb és legmagasabb temperaturát jelzi. Vízsintes, de gömbjeikkel ellenkező oldalon fekvő higany- és borszesz-hőmérőből áll. A higany előtt a csőben kis vaspálcza van, melyet a kitáguló higany előretol, de visszahúzódásánál a csekély tapadás miatt ott is hagy; a vaspálcza tehát a legmagasabb hőmérsékletet tünteti fel. A borszesz az előtte lévő festett üvegpálczát összehúzódásnál magával rántja, kiterjedésnél ott hagyja. Ez tehát a legalsó temperaturát fogja megmutatni.

24. §. A hő okozta térfogat-változásról.

A testekkel közölt meleg háromféle változást idéz elő azok állapotában. És pedig: 1) *emeli a testek hőmérsékletét*; 2) *növeli azok térfogatát*; 3) *megváltoztatja halmazállapotukat*. Mindeme hatásoknál azonban *a testek tömege változatlan marad*.

Mint hogy az isotrop szilárd test térfogata a temperaturával minden irányban egyenlően változik, azért a térfogat-változást már a test egyetlen méretének, pl. *hosszúságának* változásából megállapíthatjuk. A térfogat-változás nagyságát *a térfogati kitágulás coefficiensével* fejezzük ki s ez a térfogat-egység növekedését jelenti a temperatura 1°C emelkedésénél. Szilárd testeknél még a *vonalos* és *területi* kitágulási coefficiensről is beszélünk. Az előbbi a hosszúság-, az utóbbi a terület-egység kitágulását mutatja 1°C temperatura-emelkedés mellett. Ha α a vonalos kitágulás coefficiense, l_0 a pálcza hossza 0° -nál, akkor meghosszabbodása t° -nál $l_0\alpha t$ és hossza t° -nál: $l = l_0(1 + \alpha t)$. Isotrop szilárd testben a szélesség és magasság irányában ugyanígy történik a kitágulás, miért is a test térfogata t° -nál: $v = v_0(1 + \alpha t)^3$. Mint hogy α általában igen kis valódi tört, azért annak magasabb hatványai az első hatványhoz képest elhanyagolható csekély értékek, úgy hogy: $v = v_0(1 + 3\alpha t)$. *Laplace* és *Lavoisier* (1780) szerint a kitágulás ugyanazon pálczánál a fagyás- és forráspont között arányos a temperatura emelkedésével; ugyanolyan anyagú és különböző hosszúságú pálczák temperaturájának egyenlő emelkedésénél a meghosszabbodások a pálczák hosszával arányosak; különböző anyagú pálczák meghosszabbodásai függnék a temperatura változásától, a hosszúságtól és anyagi minőségtől. *Dulong* és *Petit* kimutatták, hogy a szilárd testek a forrásponton túl már nem terjednek ki arányosan a temperatura emelkedésével, hanem a kitágulás coefficiense nagyobb, mint alacsonyabb temperaturánál. A szilárd testek kitágulási coefficiensének meghatározására azokat pálcza-alakban folyadékfürdőben egyenletesen t° -ról T° -ra melegítik. Az A pálczavég (41. ábra) szilárdan meg van erősítve, B pedig mDn szögemelővel érintkezik, ez utóbbi Dn mutatóval van ellátva, mely által a kiterjedés ($L - l$) pontosan meghatározható s abból a kiterjedés coefficiensé:

$$\alpha = \frac{L - l}{T - t}$$

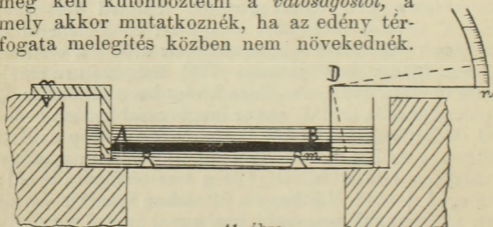
A *kristályok*, a szabályos rendszerhez

Szilárd tes-
tek kitágu-
lása.

tartozók kivételével, különböző irányban, különböző módon terjednek ki. Némely szilárd test *összehúzódik* a melegítésnél, így a kaucsuk, bőr, gyapjú stb. a megváltozott rugalmassági viszonyok, az agyag és fa a befoglalt víz elillanása miatt.

Folyadékok
kitágulása.

A folyadékoknál csakis térfogati kiterjedésről beszélhetünk. Ezek térfogati-kitáguláscoefficiensei nagyobbak, mint a szilárd testekéi s nem csupán anyagi minőségük szerint változók, hanem ugyanazon folyadéknál a fagyás- és forráspontja között is szabálytalanok. Legegyenleesebben a 0.00018 kitágulási coefficienssel bíró higany terjed ki. Minthogy a folyadékokat edényben tartjuk, azért azoknál a megfigyelhető *látszólagos* kitágulást meg kell különböztetni a *valóságostól*, a mely akkor mutatkoznék, ha az edény térfogata melegítés közben nem növekednék.



41. ábra.

A kitágulás coefficiensét *dilato-méterrel* — fokokra beosztott, gömbben végződő üvegcsővel — határozhatjuk meg. Ezt 0°-nál bizonyos magasságig megtöltjük az illető folyadékkal, azután olajfürdőben t°-ra melegítjük s megfigyeljük azon n-fokot, ameddig a folyadék melegítés közben emelkedik. Ez adja a látszólagos kitágulást. Ha most ismerjük a dilato-méterben lévő folyadék térfogatát 0°-nál, továbbá ismerjük a térfogatskála egy-egy fokának térfogatát és az edény kitágulási coefficiensét, ezekből kiszámíthatjuk a folyadék valóságos kitágulását is.

A *Dulong-Petit*-féle módszer, melylyel a higany kitágulását mérték, független az edény kitágulásától. Ok két közlekedő csőbe (42. ábra) higanyt öntöttek s az egyik ágat (olvadozó jég közt) 0°-on, a másikat (olajfürdőben) t°-on tartották. A két ágban lévő higany-oszlop magasság-különbségét kathetométerrel pontosan leolvasták s így kiszámították a higany tér-

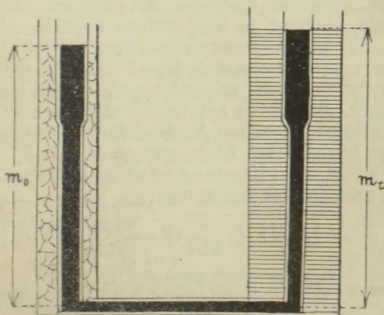
fogati kitágulási coefficiensét $(x = \frac{m_t - m_0}{m_0 t})$.

Különösen feltűnő a folyadékok szabálytalan kitágulása a víznél. A víz-dilatométerrel végzett kísérletekből kiderült, hogy a víz $+4^{\circ}\text{C}$ -nál a legsűrűbb, térfogata tehát akkor a legkisebb; $+4^{\circ}\text{C}$ -on túl akár hűtjük, akár melegítjük a vizet, az mindig kitágul s különösen erősen tágul ki megfagyása közben. Innen van, hogy a jég álló vizeknél lassan felülről lefelé képződik.

A víz
kitágulása.

A hő hatását a gázokra két módon vizsgálhatjuk és pedig: melegíthetjük a gázt állandó nyomás mellett, akkor az kiterjed s térfogat-egységének 1°C -ra vonatkoztatott kiterjedését kitágulási coefficiensnek hívjuk; vagy melegíthetjük a gázokat állandó térfogat mellett, akkor nő

A gázok
kitágulása.



42. ábra.

a gázok feszítő ereje s az 1°C -ra vonatkozó relatív nyomás-növekedést feszültségi coefficiensnek hívjuk. Nem ritkán mindkettőt kitágulási coefficiensnek mondják, mégpedig az elsőt állandó nyomás, a másodikat állandó térfogat mellettinek. A kettő tulajdonképp azonos, mert hiszen a Boyle-Mariotte-féle törvény szerint a nyomás és térfogat fordított arányban állanak egymással. Gay-Lussac kísérletei szerint a gázok kitágulása arányos a temperatura emelkedésével s minden gázra nézve azonos. Ha v_0 a gáz térfogata 0°C -nál és v_t $t^{\circ}\text{C}$ -nál, akkor: $v_t = v_0(1 + \alpha t)$, ahol α a kitágulási coefficiens s annak értéke minden gázra nézve: $\alpha = \frac{1}{273} = 0.003665$. Gay-Lussac eme

első törvényét mások is iparkodtak kísérletileg igazolni, ám *Regnault*, *Magnus* és *Jolly* úgy találták, hogy az nem teljes szigorúsággal érvényes, hanem: ugyanazon gáznál különböző a kitágulási és feszültségi coefficiens nagysága, különböző gázoknál pedig nem teljesen azonos azok értéke s nem is állandó, hanem függ a gázok sűrűségétől. *Gay-Lussac második törvénye* szerint: $p_t = p_0 (1 + \alpha t)$, ahol p_0 a gáz feszítőereje 0°C -nál, p_t ugyanaz $t^\circ \text{C}$ -nál. Minthogy a *Boyle-Mariotte-féle törvény* szerint $p_1 v_1 = p v$, azért, ha ezt az egyenletet t fokra vonatkoztatjuk s felteszszük, hogy p_1 a normális 760 mm.-nyi légköri nyomással egyenlő s azt p_0 -val jelöljük, akkor a két egyenlet egyesítése révén: $v_t p_t = v_0 p_0 (1 + \alpha t)$. Ez *Gay-Lussac-Mariotte egyesített törvénye*. A gáztömeg állapotát a nyomás, térfogat és temperatura teljesen meghatározzák. E három mennyiség összefüggését a most megismert *állapot-egyenlet* fejezi ki. Ez a törvény sem érvényes teljes szigorúsággal, mert hiszen az egyenletek, melyekből azt lefejtettük, csak bizonyos megszorítással igazak. A *Gay-Lussac-Mariotte-féle törvényt* követő gázt *ideálisgáznak* hívjuk s azt leginkább a hidrogén közelíti meg. Ha az állapot-egyenletbe α számértékét helyettesítjük, lesz:

$$v_t p_t = v_0 p_0 \left(1 + \frac{1}{273} t\right) = \frac{v_0 p_0}{273} (273 + t).$$

Ha ebbe a $\frac{v_0 p_0}{273} = R$ ugyanazon gáztömegre állandó értéket és $273 + t = T$ helyettesítést írjuk, ahol T *Celsius-fokokban* kifejezett hőmérsékletet jelent, olyan hőmérőre vonatkoztatva, melynek 0-pontja 273° -kal lejjebb fekszik, mint a jég olvadáspontja, akkor: $v_t p_t = R T$. A T hőmérsékletet *absolut temperaturának*, annak nulla-pontját (-273°C) *absolut nullapontnak* hívjuk. A physikai értelme ennek — feltéve, hogy *Gay-Lussac* törvénye mindig érvényes maradjon — annyi, hogy -273°C -nál a gázok térfogata zérussal egyenlő. Ez azonban csakis elméleti jelentőséggel bír, mert a gázok törvényei a szélső határokra nézve már nem érvényesek.

Gyakorlati alkalmazása a testek hő- okozta térfogatváltozásának.

A testek hő- okozta térfogatváltozását tekintetbe veszik pontos hossz- méréseknél; épületek, hidak építésénél és vasuti sínek lerakásánál; a kerekek abroncsolásánál; a chronométereknél és ingaóráknál. A pontos

időmérésre szolgáló inga-órákat *pótlóingákkal* látják el; ezek különböző fémrudakból oly módon vannak összeállítva, hogy az egyik meghosszabbodása a másikat kiegyenlítse. *Graham* (1721) e célra a *higanypótlást* alkalmazta. A különböző fémekből összeforrasztott szalagokat *fémthermométerek* készítésére is alkalmazzák, (*Breguet* 1817). A t° C-nál leolvasott b_t barométer állást meteorologiai észleléseknél 0° C-ra redukálják, hogy ezáltal a melegnek a higanyoszlopra gyakorolt hatását eliminálják. A redukálás a folyadékokra érvényes kiterjedési képlet alapján történik és: $b_0 = \frac{b_t}{1 + \alpha t}$, ahol $\alpha = 0.00018$. A szilárd testek és folyadékok szabálytalan kiterjedése folytán thermométer, anyagúl legajánlatosabb a *levegő*, mely 150-szer erőbben terjed ki, mint az üvegedény s így ez utóbbi kitágulása a levegőéhez képest elhanyagolható. A higany csak 7-szerre erőbben terjed ki, mint az üveg. Ezért tudományos vizsgálódásoknál *Jolly légthermométere* használatos. Láttuk, hogy igen magas hőmérsékletek mérésére a fémthermométerek — *pyrométerek* — szolgálnak; ilyenfajta a kevésbé megbízható *Wedgwood-féle* agyag-pyrométer is. A légthermométerek ezen célokra is mintegy 1500° C-ig a legmegbízhatóbbak.

25. §. A hőmennyiség mérése.

Ha 1 kg. 7° C hőmérsékletű vizet 1 kg. 100° C hőmérsékletű higánnyal összekeverünk, a keverék temperaturáját 10° C-nak találjuk. A higany 90° C-nyi temperatura csökkenése árán tehát a víz temperaturája 3° C-kal emelkedett. Világos bizonyítéka ez annak, hogy különböző testek ugyanazon temperaturára emeléséhez különböző melegmennyiség kívánatik. A különböző testek tehát különböző *hőfoghatósággal*, *hőcapacitással* bírnak. Azt a melegmennyiséget, mely 1 g. vizet 0° -ról 1° -ra melegít hőegységül választjuk s egy *kis calariának*, ennek a technikában használt 1000-szeresét, vagyis azt a melegmennyiséget, mely 1 kg. vizet 0° -ról 1° -ra melegít egy *nagy calariának*, azt a melegmennyiséget pedig, mely 1 g. vizet t° -ról $(t+1)^{\circ}$ -ra ($t < 100$) melegít, *közép-calariának* nevezzük. Ez utóbbi alatt ama hőmennyiség 100-ad részét is érthetjük, mely az 1 g. vizet 0° -ról 100° -ra emeli. Valamely test *fajmelege*

Caloria.
Fajmeleg.

az a caloriákban kifejezett hőmennyiség, mely a test tömegegységét 0^0 -ról 1^0 -ra melegíti. A hőmennyiségek mérésére szolgáló eszközöket *calorimétereknek* nevezük. A testek hőmennyisége Q , függ azok anyagi minőségétől, azaz fajmelegétől c , tömegétől m és temperaturájától t , tehát: $Q = m \cdot c \cdot t$.

Szilárd és folyékony testek fajmelege.

A szilárd és folyékony testek fajmelegét a *keverési, jégolvasztási és kihülési* módszerrel határozhatjuk meg. A *keverés módszere* abban áll, hogy az m tömegű, t hőmérsékletű testet caloriméterbe teszszük, melyben M tömegű,

T hőfokú víz van. Ha x a test fajmelege, tudván, hogy a vizé 1 és szem előtt tartva, hogy keveredés után éppen annyi az összes hőmennyiség, mint a mennyi keveredés előtt volt, akkor:

$$mxt + M \cdot T \cdot 1 = mxt_1 + Mt_1 \cdot 1,$$

feltéve, hogy t_1 a keveredés utáni temperatura; innen:

$$x = \frac{M(t_1 - T)}{m(t - t_1)}.$$

Pontos meghatározásoknál a caloriméter megmelegítésére fordított és a sugárzás útján eltűnt hőt is figyelembe kell venni.

A *jégolvasztás módszere* abban áll, hogy a test melegével 0^0 -ú jeget olvasztatunk meg s a megolvadt jég mennyiségéből számítjuk ki a fajmelegét. 1 kg. jég megolvasztására 79.25 caloria szükséges. Ha tehát az m tömegű, x fajmelegű, t^0 -ú test, M tömegű, 0^0 -ú jeget olvaszt meg, akkor tekintve, hogy: $mxt = 79.25 M$, lesz: $x = 78.25 M : mt$. Ilyen meghatározásokra a *Laplace* és *Lavoisier*, vagy még inkább a *Bunsen-féle* (43. ábra) jégcaloriméter szolgálhat. Ez utóbbinál a jégolvadásnál szenvedett térfogat-csökkenésből a megolvadt jégmennyiségre s ebből a test fajmelegére következtetünk.

Dulong és *Petit* kihülési módszere abban áll, hogy két különböző fajmelegű testet bizonyos hőfokra felhevítünk s azután azokat ezüstpléh-edényben kihűlni hagyjuk, pontosan meghatározván az időt, mely alatt azok ugyanannyi hőfokkal hűltek, akkor:

$$\frac{mct}{i} = \frac{Mct}{i_1}$$

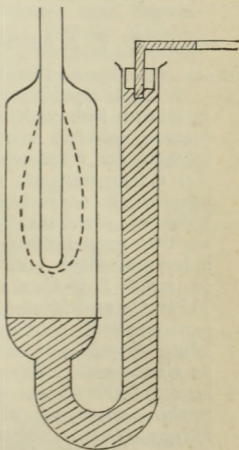
ahol i és i_1 a kihülésre fordított időket jelentik. Ha c ismeretes, akkor ezen egyenletből C kiszámítható.

A gázok fajmelege.

A gázok temperaturája *állandó nyomás*, vagy *állandó térfogat* mellett változhatik. A gázok fajmelege állandó nyomás mellett nagyobb, mint állandó térfogat mellett, mert előbbi

esetben a meleg nem csupán a gáz temperaturáját emeli, hanem a kitérítés alkalmával munkát is végez.

A gázok fajmelegét *állandó nyomás* mellett *Delaroché* és *Berard*, majd *Regnault* határozták meg. A gázt hosszú, forró T^0 -ú olajjal körülvett spirális csövön át más t^0 -ú hideg, m_1 tömegű vízzel körülvett spirális csőbe vezették. Itt az m tömegű gáz temperaturája csökkent, a caloriméterben foglalt vízé pedig T_1^0 -ra emelkedett. A gáz hőmennyiség vesztesége: $m c_p (T - t)$ caloria, a víz nyeresége pedig: $m_1 (T_1 - t)$ és e kettő egyenlősége folytán: $c_p = m_1 (T_1 - t) : m (T - t)$. A gázok *állandó térfogat* mellett bírt c_v fajmelegét közvetlenül nem határozhatjuk meg. De meg lehet határozni a $c_p : c_v$ arányt, még pedig vagy a hangnak a gázban való terjedési sebességéből, vagy pedig a gáznak összenyomása alatt szenvedett temperatura-változásából. Ez utóbbi módon *Clement* és *Desorme*, majd *Cazin* azt találták, hogy: $c_p : c_v = 1.41$.



43. ábra.

Különböző szilárd és folyékony testek fajmelege különböző. Egy és ugyanazon test fajmelege is változik, még pedig a temperaturával egyenes, a sűrűséggel fordított arányban, továbbá a halmazállapottal, amennyiben folyékony állapotban nagyobb a fajmeleg, mint szilárd állapotban. A szilárd testek fajmelegének és atomsúlyának szorzata ugyanaz $= 6.4$ (*Dulong* és *Petit*). Ez az *atom-meleg*. *Neumann* e törvényt az egyenlően összetett szilárd testekre is kiterjesztette. *Kopp* szerint pedig a molekuláris meleg a vegyületeket alkotó parányok atom-melegeinek összegével egyenlő. Az egyszerű gázok fajmelege állandó nyomás és térfogat mellett állandó szám, mely független a temperaturától és a gázra ható nyomástól. Csak a szénsavnál nő a fajmeleg a temperaturával — *Regnault* szerint a

A fajmeleg törvényei.

fajmeleg és sűrűség szorzata minden egyszerű gázra nézve állandó szám. Tehát a különböző egyszerű gázok egyenlő térfogatait ugyanannyi hőmennyiség egyenlő fokra melegíti fel. Minthogy *Avogadro* szerint az egyszerű gázok egyenlő térfogataiban, egyenlő az atomok száma, azért a különböző egyszerű gázok atom-melege egyenlő.

26. §. A halmazállapot megváltozása.

Olvadás.

A temperatura folytonos emelésénél a kiterjedés következtében egyre nagyobbodik a szilárd test molekuláinak távolsága, úgyannyira, hogy a cohaesio már nem képes a szilárd állapot fentartására, a test tehát folyékonyvá lesz, *megolvad*. Azt a temperaturát, melynél ez bekövetkezik, *olvadáspontnak* nevezzük. Különböző testek különböző hőfoknál olvadnak, ugyanazon test olvadáspontja azonban meglehetősen állandó. Így a higanyé -39°C , a terpentinelajé -27°C , a jégé 0° , a viaszé 68°C , az ezüsté 954°C , a vasé $1000-1200^{\circ}\text{C}$, a platináé 1770°C , az iridiumé 1950°C . A silicium és a szén nem olvadnak meg az eddig előállítható legmagasabb hőmérsékletnél sem, olvadáspontjuk azonban közel van az elektromos ivfény temperaturájához, amely *Violle* szerint 3500°C . Az ötvények olvadáspontja alacsonyabb, mint az alkotórészeké. Így a *Rose*-féle ötvény (4 s. r. bismuth, 1 s. r. ón, 1 s. r. ólom) 95°C -nál a *Wood*-féle (7 s. r. bismuth, 2 s. r. ón, 4 s. r. ólom, 1 s. r. cadmium) már 60°C -nál olvad. A testtel olvadása közben közölt meleg érzékeinkre és a thermométerre hatástalan, mintegy elveszni látszik, azért azt *kötött melegnek* nevezzük. Olvadásnál a legtöbb test térfogata *növekszik*, a jég, öntött vas, bismuth térfogata azonban *csökken*. Nem minden szilárd test olvad meg, némelyik olvadás előtt chemiai bomlást szenved, másik, pl. a jég, jód, kámfor egyszerre légnemű állapotba megy át (*sublimatio*). Ha a szilárd testre ható nyomást növeljük, azáltal az olvadásnál térfogatnövekedést mutató testek olvadáspontját *emeljük*, ellenben azokét, melyeknél az olvadás térfogatcsökkenéssel jár, *leszállítjuk*. *Mousson* megmutatta, hogy 13000 atmosphaerányi nyomásnál a jég már -20°C -nál folyékony állapotba megy át. A *jég regelatiója* azon alapszik, hogy a jég és hó nagy nyomásnál folyékonyvá lesz, a nyomás megszüntével pedig egységes tömeggé fagy össze. —

A testek 1 kg. tömegének olvadásához szükséges ú. n. *olvadás-meleg*et a keverés módszerével határozhatjuk meg.

A folyékony test kellőleg hűtve szilárd állapotba megy át, *megfagy*. A *fagyás-pont* összeesik az olvadás-ponttal. Fagyásnál meleg szabadul meg. Ez kimutatható a légmentes tiszta víznél, mely óvatosan *túlvadt* állapotba hozható, azaz fagyás-pontja alá -10° C-ig is lehűthető; csekély rázásnál azonban a víz egyrésze megfagy, a megmaradt folyékony rész temperaturája pedig 0° C-ra emelkedik. A felszabaduló *fagyás-meleg* az olvadásnál megkötött hőmennyiséggel egyenlő. A sók vízben való oldásához — éppen úgy mint az olvadáshoz — melegmennyiség kívántatik. A sóoldatok fagyáspontja alacsonyabb, mint a vízé. Ezen alapszanak a hidegkeverékek.

Fagyás.

Párolgás
és forrás.

Ha a folyadékokat melegítjük, azok kiterjednek s végre bizonyos hőfoknál — a *forráspontnál* — légnemű, vagy gőz állapotba mennek át. A folyékony testek már a forráspontnál alacsonyabb hőmérsékletnél is átmennek a légnemű halmazállapotba, *párolognak*. *Párák* az abszolút nullapont fölött, minden temperaturánál, de csakis a folyadék *felszínén* képződnek. *Gőzök* a folyadék *belsejében* is képződnek, forrás tehát csakis oly temperaturánál következhetik be, melynél a gőzök feszítő-ereje le bírja győzni a folyadék felszínére ható nyomást. A párolgásnál fejlődő *páramennyiség* függ a folyadék anyagi minőségétől, felszínének nagyságától, a temperaturától, a folyadékra nehezedő nyomástól és a környező levegő páratartalmától. A *forráspont* ugyanazon folyadékra, ugyanazon légnyomás mellett állandó, ellenben a nyomás növelésével, pl. *Papin* fazekában emelkedik; csökkentésével, pl. a nagyobb magasságra vitt thermobarométer, vagy *hypsométer*nél süllyed. Fémedényben hamarabb, üveg edényben később forr a folyadék. Idegen anyagok is megváltoztatják a forráspontot. A konyhasó-oldat 108° C-nál, a néhány vasdarabot tartalmazó víz már 100° C alatt forr. Ha a vízből folytonos főzéssel kihajtjuk a levegőt, a légmentes víz forráspontját 200° C-ra emelhetjük. Az ilyen *túlhevített* víz heves forrásba jön, ha gázt vezetünk belé, vagy hirtelen felhevítjük, vagy a reá nehezedő nyomást csökkentjük. *Arago* ez alapon fejt meg a gőzgépek megindításánál tapasztalt kazánrobbanásokat. *Leidenfrost* kísérleténél az izzó fémlapra öntött víz, borszesz, vagy aether

cseppjei és a fémlap között gőzréteg képződik, mely a folyadék és fémlap érintkezését s így a folyadék forrását gátolja. Nedves kézzel izzó testeket is megfoghatunk. — Forrás alatt thermométerrel nem mutatjuk ki a folyadék temperaturájának emelkedését, az itt *megkötött meleget gőzölgés-melegnek* nevezzük. Lényeges különbség a párolgás és forrás közt az is, hogy párolgásnál nem köttetik meg a testbe vezetett összes hőmennyiség, úgy mint a forrásnál, mert ha úgy lenne, nem tudnók a folyadékokat forrás pontjukig melegíteni.

Ha a párolgó folyadéknak környezete nem ad a párolgáshoz elegendő meleget, akkor az saját melege árán párolog és lehül, mégpedig annál tetemesebb lesz a *párolgáshideg*, minél nagyobb az idő egysége alatt elpárolgó folyadék mennyisége. Ha a thermométer gömbjét mousselinnal körülveszszük s azt kénatherbe mártván, a hőmérőt mozgatjuk, akkor az aether gyors párolgása folytán a higany megfagy (*Wollaston kryophorje*). A folyós szénsavval telt palaczk csapját megnyitván, oly gyors a kiömlő folyadék párolgása, hogy a szénsav egy része hó-pelyhekben fogható fel. A párolgás-hidegen alapszanak a *Carré*, *Linde* és *Raoul Pictet*-féle jégkészítő-gépek. *Faraday* szilárd szénsavval övezte az izzó platina csészébe öntött higanyt s ez a szénsav gyors párolgása következtében megfagyott.

A párák és gőzök tulajdonságai. Hogy a gőzök tulajdonságait tanulmányozhassuk, legcélszerűbb azokat a *Toricelli*-féle ürben létrehozni. E célból két 1—1 m.

hosszú, egyik végen beforrasztott üvegsövet higanynyal megtöltünk s újjunkkal a nyílt végeket befogván, higanynyal telt széles és mély csőbe meritünk. Ily módon létrejön azokban a *Toricelli*féle ür s ha most az egyikbe pipettával aethert bocsátunk, ebben a higany fölött nem lesz vacuum, hanem közvetlen a higany fölött néhány csepp folyadék helyezkedik el s e fölött aethergőzök keletkeznek, melyek a higany-oszlopot lenyomják. Ha b az első b_1 a második barométercső higanyoszlopjának magassága, akkor $b - b_1$ a származott gőz feszítő-ereje. Ha a második csövet lassan kiejebb húzzuk, abban a higany-oszlop b_1 magassága változatlan marad, a gőz térfogata nő, ellenben a folyadék egy része eltűnik. Ha a csövet beljebb toljuk, b_1 változatlan marad, a gőz térfogata csökken, a folyadéké gyarapszik. Ha a cső felső részét melegítjük, a folyadék apad, a gőz

térfogata nő, a higany-oszlop magassága csökken; hűtésnél a higany-oszlop magassága nő, a párák egy része cseppesül. Ha a csőbe levegőt bocsátunk s a kísérleteket ismétljük, azok menetét változatlanak találjuk. E kísérletek azt bizonyítják, hogy bizonyos tér állandó temperatura mellett csak bizonyos mennyiségű gőzt vehet fel; a zárt tért, vagy a benne foglalt maximális páramennyiséget *telítettnek* s ezzel ellentétben, ha a tér még párákat vehet fel, a párákat (vagy a tért) *nem telítettnek*, vagy magasabb temperaturánál, ha az egész folyadék-mennyiség gőzzé alakult, *túlhevítettnek* nevezzük. Minél magasabb a temperatura, annál több pára szükséges a tér telítéséhez, annál nagyobb a telített pára feszítő-ereje. A telített pára feszítő ereje és sűrűsége azonban — amint láttuk — a térfogattól független s csakis a temperaturától függ, maximumát pedig éppen telített állapotában éri el; az ilyen folyadékokkal érintkező párák nem hódolnak sem a *Boyle-Mariotte*, sem a *Gay-Lussac*-féle törvénynek, ellenben a folyadékokkal érintkező nem telített, vagy túlhevített gőzök bizonyos határig t. i. a telítés hőfokáig a gázokhoz hasonlóan mindkét törvényt követik. *Dalton* (1801) szerint valamely tér telítő képessége független az ebben már befoglalt gázoktól. A túlhevített gőzök összenyomás, vagy hűtés útján telítetteké változtathatók át. A gőz feszítő-erejét kétféle módon lehet meghatározni, mégpedig vagy úgy, hogy a *Toricelli* ürbe folyadékot vezetünk, azt különböző temperaturának tesszük ki és mérjük a nyomás csökkenését; vagy pedig különböző nyomás mellett meghatározzuk a folyadék forráspontjait.

Ha a telített gőz térfogatát nyomás vagy hűtés által csökkentjük, az részben folyékony állapotba megy át. Ez a tünet a gőzök *condensatiója*, melynél a párolgásnál megkötött meleg ismét felszabadul. A túlhevített gőz nyomás, vagy hűtés által előbb telítetté lesz s ehhez hasonlóan viselkednek a gázok is. Ha a folyadékot folyton melegítjük, de egyidejűleg, a reá ható nyomást növeljük, s ez úton a folyadék forrását megakadályozzuk; akkor a folyadék sűrűsége mindig kisebbedik, ellenben a fölötte képződő telített gőzé a temperatura emelkedésével gyorsan nő, miáltal végre elérhető, hogy bizonyos hőfoknál a telített gőz és a folyadék egyenlő sűrűséggel bír. Ezt a hőfokot *kritikus temperaturának*; a forrás meggátlására szolgáló

A gőzök és
gázok
condensatiója.

ló nyomást *kritikus nyomásnak*, végre a tömegegység ez állapotban bírt térfogatát *kritikus térfogatnak* hívjuk. Ebben az állapotban megszűnik a különbség a folyadék és a gőz között. A temperatura növelésénél a folyadék ritkább lenne, mint a gőz; ez azonban lehetetlen, mert az anyag mindig azt az alakot veszi fel, a hol a nagy nyomásnak leginkább enged, legkisebb térfogattal bír, azaz a kritikus temperaturán túl a folyadék teljesen gőzállapotba megy át. Ebből az következik, hogy tisztán összenyomással nem folyósíthatók a gőzök, hanem szükséges még, hogy azok a kritikus temperatura alá hozassanak (*Andrews* 1869). Ezért nem tudták régebben az állandó gázokat (H, O, N, CO stb.) folyósítani. A nitrogén kritikus temperaturája -146° C az O.-é -118.8° C, a CO₂-é $+30.9^{\circ}$ C stb. *Cailletet* és *Pictet* egyidejűleg condensálták az oxygént, hydrogént és nitrogént. *Wroblewsky* és *Olszewsky* (1883) az előbbieik módszerének egyesítésével nagyobb mennyiségben folyósították az említett gázokat. Legújabb időben a nagy mértékben összenyomott és lehűtött gázok kiterjedését használják fel a további hűtésre. Ily uton *Linde* nagyobb mennyiségű folyékony levegőt, *Hampson* és *Dewar* folyós oxygént és hydrogént állítottak elő E folyós gázok légüres közzel bíró kettős falú edényekben hosszabb ideig eltartathatók. Laboratoriumi, vagy technikai czélokra a folyós gázokat gyárilag készítik és vas-csővekben szállítják.

Az elmondottak alapján, ha elfogadjuk azt a megkülönböztetést, hogy *gőz* az, ami nyomással folyósítható, *gáz* pedig, mely csupán nyomással nem folyósítható, úgy a kritikus temperatura fölött gázokkal, az alatt gőzökkel állunk szemben. Pl. a szénsav 30.9° C alatt gőznek, 30.9° C fölött gáznak tekintendő. Minthogy a forráspont általában a nyomással változik, ellenben a kritikus temperaturán túl minden tetszőleges nyomásnál elérhető a gázállapotba juttatás, azért *Mendelejeff* azt a hőfokot *abszolút forráspontnak* nevezi.

A gőzök
sűrűsége.

A *gőz sűrűsége* számban való kifejezése annak, hogy hányszor nagyobb a gőz súlya a vele egyenlő térfogatú, temperaturájú és ugyanazon nyomás alatt álló levegő súlyánál. Ha S a V térfogatú gőz és S' az ugyanolyan térfogatú levegő súlya, akkor: $d = \frac{S}{S'}$. A 0° -ú 760 mm. nyo-

más alatt álló levegő $1 \text{ cm}^3 - e = 0.001293 \text{ g.}$, absolut sűrűsége $t^\circ \text{ C-nál}$ $\frac{0.001293}{1 + \alpha t} \cdot \frac{P_t}{760}$. Ha a túlhevített gőz absolut sűrűsége $t^\circ \text{ C-nál}$ d_t , akkor: $d_t = m : v_t$, ahol m a túlhevített gőz tömege, v_t a térfogata $t^\circ \text{ C-nál}$ p_t nyomás alatt s így:

$$d = \frac{m(1 + \alpha t)}{p_t v_t} \cdot \frac{760}{0.001293}$$

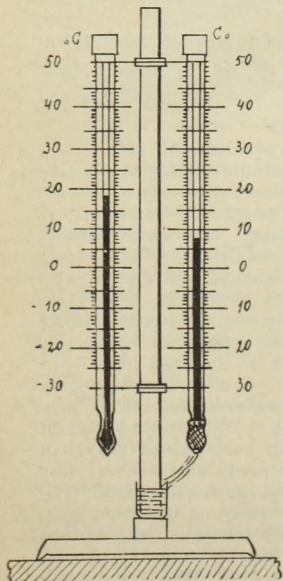
A lemért m tömegű folyadék túlhevített gőz állapotba hozatalára, továbbá t , p_t és v_t mennyiségek meghatározására alkalmas módokat alkalmaztak: *Dumas, Gay-Lussac* és *Meyer Victor*.

A föld vizeinek folytonos párolgása következtében a légköri levegő mindig tartalmaz vizgőzőket. A levegő *absolut nedvességén* az 1 m^3 levegőben foglalt páramennyiséget értjük. Ennek meghatározására ismert térfogatú levegőt hygroscopikus anyaggal (chlórcalcium, kénsav) megtöltött csövön vezetünk át s a cső súlyszaporulatát lemérjük. Ugyan e czélt úgyis elérhetjük, hogy megmérjük a légköri párák nyomását. A barométerállás a száraz levegő és a vízpárák nyomásának összege. Ha a nedves levegőt tartalmazó határolt térbe hygroscopikus anyagot teszünk, az a párákat elnyeli s így a nyomás a páráknak megfelelő részszel csökken. A levegő rendszeren kevesebb párákat tartalmaz, mint amennyit a temperaturának megfelelően magában foglalhatna, tehát legtöbbször nincs telítve. *Relativ nedvességén* az absolut nedvességnek azon páramennyiséghez való arányát értjük, mely az illető temperaturánál a levegőt képes lenne telíteni. Ezt rendszeren százalékokban fejezik ki. Meghatározására *August (1829) psychrométere* (44. ábra) szolgálhat. Két századfokokra beosztott érzékeny hőmérő ez, melyek közül az egyik gömbjét vízzel telt edénybe merülő mousselin veszi körül. Erről párolog a víz s az e célra szükséges meleget a thermométertől vonja el; a nedves thermométer tehát annál mélyebbre sülyed, minél élénkebb a víz párolgása, azaz minél szárazabb a levegő. A két thermométer temperaturája közt mutatkozó eltérést *psychrometrikus különbségnek* hívjuk. Az észlelt psychrometrikus különbségnek megfelelő relativ nedvességfokokról a psychrométerhez készített táblázat ad felvilágosítást.

A levegő
nedvessége.

Hasonló czélt szolgálnak: *Daniell* hygrométerje és a hygroskopok (*Saussure*, *De Luc*, *Klinkerfues*). Ez utóbbiak a haj, bélhúr, halcsont stb. ama tulajdonságán alapszanak, hogy nedves levegőben megnyúlnak, szárazban összehúzódnak.

A légköri levegő páráinak condensatiójából jönnek létre a csapadékok. A *harmat* vízcseppekül oly testeken rakódik le, melyek naplemente után, kisugárzás folytán a *hormatpont* (telítési hőfok) alá hűlnek. A *dér* kis jégtükből álló megfagyott harmat. A telítés-pontra hűlt nedves levegőben láthatókká lesznek a kis hólyagokká sűrűsödött vízpárák, ez — alantabb fekvő rétegekben — a *köd*, magasabban fekvőkben a *felhő*. *Howard* alakjuk szerint megkülönböztet: *fürtösfelhőket* (*cirrus*), ezek legmagasabban járnak (11000 m.) s valószínűleg jégkristályokból állanak; *gomolyfelhőket* (*cumulus*), ezek nagy félgömbalaku tömegeket alkotnak; *báránnyfelhőket* (*cirro-cumulus*); *rétegfelhőket* (*stratus*) és *esőfelhőket* (*nimbus*) ezek leginkább réteges gomoly-, vagy réteges fürtös-felhők.



44. ábra.

A felhők nagy sűrűsödésénél összefolynak a vízhólyagocskák, nagyobb vízcseppeket alkotnak, melyeket a levegő már nem tarthat fent, azok tehát *eső* alakjában lehullnak. Az évi eső-mennyiséget az *ombrométerrel* mérik. A kevéssel 0° alá lehűlt levegőben a pára finom jégtüket alkot, ezek *hópelyhekké* egyesülnek s ilyenekül esnek a 0° alá hűlt földfelszínre. A hópelyhek szép csillag-alakokat mutatnak. Ha a hópelyhek melegebb rétegen át esnek le, kis gömbökké *darává* alakulnak. Téli időben a megfagyott esőcseppekből származik az *ólmos-eső*. A nyári nappalokon létrejövő *jégeső* okát

éppen nem ismerjük. Minden jéggömböcske egy hópehelyből áll, melyet koncentrikus jégrétegek öveznek. A jégeső keletkezése úgy látszik a légkör elektromos tüneményeivel áll kapcsolatban.

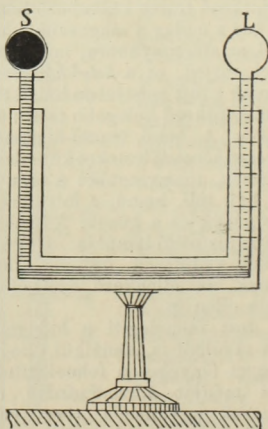
27. §. A hő terjedése.

A meleg a hőforrástól *vezetés*, *sugárzás* és *folyékony*, meg légnemű testeknél *áramlás* útján terjed tovább.

Ha az érintkező testek különböző hőmérsékletűek, akkor a meleg a magasabb hőmérsékletű testről az alacsonyabbra, még pedig rétegről-rétegre tovább terjed, ez a *belső-hővezetés*. A meleg azonban nemcsak a test belsejében halad tovább, hanem a test felületével érintkező hidegebb testre is átterjed, ez a *külső-hővezetés*. A *belső-vezető-képesség* nagysága szerint *jó- és rossz-hővezető* testeket különböztetünk meg. Jóvezetők a fémek, rosszvezetők: a fa, üveg, kő, szén, gyapju, szőr, haj, toll, hamú, a folyadékok (kivéve a higanyt), a gázok és a gőzök. A fémek jóvezetésén alapszik *Davy* biztosító-lámpája. Hővesztés ellen rossz-vezetőkkel védjük a testeket, de ugyancsak ezek szolgálnak az ellenkező cél elérésére t. i. a meleg felvétele ellen is.

A meleg test felmelegíti a hidegebbet még bizonyos távolból is, annélkül, hogy a közbeeső közeget lényegesen felmelegítené. A meleg eme terjedési módját *hősugárzásnak* nevezzük. A sugárzó-hősugarak ugyanazon törvényeknek hódolnak, mint a fényugarak. A testek minden irányba sugároznak szét melegeket, a hősugarak egyenes vonalban s ugyanazon sebességgel terjednek, mint a fényugarak. A *hőátbocsátó* (diatherman) testeken azok felmelegítése nélkül hatolnak át a hősugarak, míg a *hőt át nem bocsátó* (atherman) testek elnyelik és testmeleggé alakítják át azokat. Hőátbocsátók: a levegő, kőszén, sylvin s a jódnak székénegben való oldata; hőt át nem bocsátók: a timsó, a jég, víz, vízgőz stb. A test határához érkező hősugarak részben visszaveretnek, részben megtöretnek, részben elnyeletnek. A testek *hőelnyelő képessége* függ az anyagi minőségtől, a test-felület sajátosságától s nő a testnek és környezetének temperatura-különbségével. Ugyan e tényezőktől függ a testek *kőkisugárzó-képessége* is. Ha valamely test ugyanannyi idő alatt ugyanannyi

meleget sugároz ki, mint a mennyit elnyel, temperaturája állandó marad, a meleg *mozgó egyensúlyban* van. Nagyobb rézgömb egyszerű *Bunsen-égőn* csak vörös izzásig hevíthető. A sugárzó-hő tanulmányozására szolgál *Leslie differenciál thermométere* (45. ábra) üveggömbökben végződő, festett folyadékot tartalmazó közlekedőcső. Az egyik gömb korommal van bevonva, ha ezt a hősugarak hatásának teszszük ki, akkor a másik ágban (a kormozott gömbben foglalt levegő felmelegítése következtében) a folyadék emelkedik.



45. ábra.

Pontosabb mérésekre szolgál *Melloni* (1854) *thermo-multipliatora*, melylyel a sugárzó hősugarak visszaverődése, törése, dispersiója, polarisatiója és interferentiája tanulmányozható. A sugárzó hősugarak mechanikai hatását *Crookes radiométerével* mutathatjuk meg.

Áramlás.

A folyadékok és légnemű testek nagyon rossz hővezetők, azért felülről nem melegíthetők át; ha azonban alulról melegítjük azokat, akkor *áramlás* útján felmelegszenek. Az áramlás abban áll, hogy a hőforrással érintkező rétegek felmelegszenek s felszállnak, helyüket a felsőbb hidegebb rétegek foglalják el s így az egész tömeg mozgásba

jön. Áramlás útján történik az ily testek lehülése is. A nap az egyenlítő táját legjobban felmelegíti, ez az oka a tenger- és légáramok létrejöttének. (Öböláram, passzát-szelek.) Áramlás útján melegszik meg a szoba levegője a kályhával való fűtésnél és azon alapszik a középponti víz- és légfűtés is.

28. §. A mechanikai hőelmélet alapelvei.

Eddig a melegről, mint oly anyagról emlékeztünk meg, mely néhány tüneménynél *kötött* alakban mutatkozik, ámde a megfordított folyamatnál ismét előtűnik. Már *Rumford* (1798), majd *Davy* (1799) kísérletei (ágyúfűrés, jégolvasztás súrlódás által) arra a következtetésre utalnak, hogy a meleg mozgáson alapúl. *Mayer* Róbert (1842) volt azonban az első, aki határozottan és világosan kijelentette, hogy a *mechanikai munka* meleggé alakítható át, hogy valamely tömegnek, mint egésznek látható mozgása a molekulák láthatatlan mozgásává lesz s ezt fogjuk mi fel mint meleget, és hogy a melegmennyiség és a létesítésére felhasznált munka között számbelileg meghatározható összefüggés létezik. *Ahol meleg jön létre, ott megfelelő értékű munka tűnik el s viszont meleg árán munka létesül.* Ez a mechanikai hőelmélet első főtétele. A meleg mechanikai auquivalensét *Mayer* számítás útján határozta meg, a levegő állandó nyomás és térfogat mellett bírt fajmelegéből. (0.237, illetőleg 0.168.) Ha az 1 m^3 0° -ú levegőt 1° -ra melegítjük, annak térfogata $\frac{1}{273} = 0.0366 \text{ m}^3$ -rel növekszik. Ha a jelzett légtömeget 1 m^2 alappal bíró oszlopalakúnak gondoljuk, melyet szilárd fal vesz körül; akkor a magasság 0.00366 m -rel nő a megmelegítés következtében; ezen az uton győzi le tehát a meleg a légnyomást, mely 1 m^2 -re 10330 kg. -ot tesz. A meleg tehát $10330 \times 0.00366 = 37.81 \text{ kgm.}$ munkát végez. Másfelől a meleg, mely ezt a munkát végzi, minthogy az 1 m^3 levegő súlya 1.293 kg. :

$$mct = 1.293 (0.237 - 0.168) = 0.0892 \text{ caloria.}$$

Egy caloriának tehát $37.81 : 0.0892 = 424 \text{ kgm.}$ munka felel meg. A 424 kgm. -t a *hő mechanikai aequivalensének* annak reciproc értékét ($1 : 424$) a *munka hőaequivalensének* nevezzük. A hő mechanikai aequivalensét kísérletileg legelőbb *James Prescott Joule* (1843—1850),

majd *G. A. Hirn* (1855) határozták meg. *Dr. J. P. Uij* kísérleti eljárása nagyobb hallgatóság előtt végezhető.

A mechanikai hőelmélet szerint tehát a testek hőmérséklete mozgó részecskéiknek mozgási energiájától függ. A testbe vezetett meleg egy része emeli a test molekuláinak eleven erejét (hőmérsékletét), a másik része kétféle munkát végez, mégpedig: legyőzi a test felületére ható s a test térfogat-növekedését akadályozó nyomást (külső munka); és legyőzi a cohaesiót, azaz megváltoztatja a test halmazállapotát (belső munka).

Amíg a mechanikai hőelmélet első főtétele azt mondja ki, hogy minden caloria 424 kgm munkával egyenértékű, addig a *második főtétel* arra tanít, hogy nem sikerülhet valóban minden calóriát munkává átalakítani. *Sadi Carnot* (1824) a meleg által végzett munkát a folyó víz munkájával hasonlítja össze s azt mondja, hogy valamint a víz csak akkor képes munka végzésére, ha magasabb niveauról alacsonyabbra esik, úgy a hő is csak a melegebb testről a hidegebbre való átmenetnél alakulhat át munkává.

Clausius ezt úgy fejezi ki, hogy meleg hidegebb testből csak úgy juthat a melegebbe, ha egyidejűleg megfelelő mennyiségű másnemű energia használatik fel, éppen úgy, mint a víz csak munka árán juthat alacsonyabb niveauról a magasabbra. Ebből az következik, hogy bár egy caloria mindig egyenlő értékű 424 kgm. munkával, de ezzé csak akkor alakítható át, ha oly testben van, mely környezeténél melegebb. Minthogy a melegebb testekből vezetés és sugárzás útján folyton meleg terjed szét, ennél fogva folyton nő a mindenségben a többé munkává át nem alakítható meleg s bizonyos maximum felé törekszik. Ha majd eléri ezt a maximumot, ha már nem lesz több munkává átalakítható meleg, akkor megszűnik a mindenségben a mozgás, megszűnik az élet, csend és halál fog uralkodni mindenütt.

29. §. A meleg, mint munkás.

A hőnek munkává való átalakítása *gőzgépek* útján felette fontos gyakorlati alkalmazásokat talált s ez úton igen nagy befolyással volt ama csodás elő-

haladásra, melyet az emberi művelődés a XIX. században tett. Már *Papin* (1688), majd *Savery* és *Newcomen* (1705) megmutatták, hogy a gőz melegének és nyomásának a hengerben mozgó dugattyúra gyakorolt egyoldalú behatása munkává alakítható át. Ez alapon találta fel *James Watt* (1763) a *kettős működésű*, gőzgépet. Ennél a *gőzhengerben* ide-oda mozgó *dugattyú* önműködőleg zárja és nyitja a gőz be- és kivezetésére szolgáló csövet, melyen át a *gőzszekrényből* a *kazánban* fejlesztett nagy feszültségű gőz a *gőzhengerbe* jut és pedig a dugattyú járásának megfelelően az egyik, vagy a másik oldalon, s a szerint egyszer az egyik, másszor az ellenkező irányban nyomja előre a dugattyút. A dugattyú egyenes-vonalú mozgását a *transmissio* forgó-mozgássá változtatja át. A munkavégzett (fáradt) gőz vagy a szabad légkörbe, vagy a *condensatorba* kerül s utóbbi helyen a befecskendezett hideg víz által condensáltatik. A gőzgépek munkája nem egészen egyenértékű, a beáramló gőztől kibocsátott meleggel, kevesebb annál; ezen meleg egyrésze a környező levegőbe és a condensatorba jut, tehát energia-veszteségül tekintendő s e veszteség a hőelmélet második főtétele alapján kikerülhetetlen. A gőzgépek *haszonmunkája* csak mintegy 50%-a a felemésztett munkának.

Alacsony-nyomású gőzgépeknél a gőzerő nyomása a légkör nyomását $\frac{1}{3}$ —2 atmosphaerával, *középnomásúaknál* 2—4 atmosphaerával, *magas-nyomásúaknál* még többel múlja fölül. A gőzgépek lehetnek még *condensatorral* bírók, vagy annélküliek; *expansiósak*, vagy annélküliek; *álló* és *mozgathatók*, vagy *locomobilok*, ez utóbbiakhoz tartozik a *mozdony*, vagy *locomotiv*. — A gőzgépeken kívül megemlítjük még a *léghőgépeket*, a hol a hevített levegőt, és a *gázgépeket* (*Lenoir*), ahol a világító-gáznak és a levegő keverékének meggyújtása útján támadt erőt használják fel a dugattyú mozgására.

A gőzgépeket először *Fulton* (1807) tette alkalmassá a hajózásra, az első locomotivot *Stephenson* készítette, ez 1829. okt. 6-án indult meg *Liverpool* és *Manchester* közt, az első csavargőzöst *Ericson* és *Smith* (1839) építették.

30. §. A hő forrásai.

Legfontosabb hőforrás: a *Nap*. Az ettől kisugárzott melegre vezethető vissza minden munka, minden hő és minden élet a földön. Kivételt csakis a föld belső melege és az árapály erélye tesz. *Pouillet* pyrheliométerrel meghatározta, hogy a Nap percenként a föld minden cm^2 felületére 1.76 caloriát sugároz, s ez összes kisugárzott melegének csak 2300-ad része. Ezen már millió évek óta kisugárzott meleg évi mennyisége a nap felületét borító 129 km. vastag szénréteg elégségének felel meg. Hogy honnan pótolja a Nap e hőveszteséget, nem tudjuk. *Thomson* hypothesis szerint a napra zuhanó meteoritek eleven ereje alakul át meleggé. Szerinte, ha földünk a napra esnék, az ezen ütközésből származó meleg 95 évig, a Jupiter napra esése 32000 évig fődözné a nap hőveszteségét. Valószínűbb ennél *Helmholtz* napelmélete, mely szerint a lehülő napgömb összébb húzódik s így molekulái közelednek egymáshoz és ebből meleg szabadul fel. Szerinte a napátmérő egy tizezredrészszel való összehúzódása folytán 2000 évre elégséges hőmennyiség származik. A Napnak földünk sűrűségéig való összehúzódása pedig 17 millió évig pótolja a hőveszteséget.

Második hőforrás: *földünk belső melege*. A meleg források és vulkánok arról tesznek bizonyosságot, hogy földünk saját, belső meleggel bír, mert a nap sugárainak hatása csak mintegy 20 m. mélységig terjed. A párisi csillagvizsgáló 27 m. mélységű pinczejében a thermométer már évtizedek óta $11.8^\circ C$ hőmérsékletet mutat. Mélyebbre hatolva a föld belsejébe a temperatura fokozatos, mégpedig átlag 30 m.-nél $1^\circ C$ -kal való emelkedését észlelik. A föld belső melege nincs befolyással a földfelület hő-viszonyaira.

Harmadik hőforrás: *az égés*, azaz az oxygénnel való chemiai egyesülés. Ez a legfontosabb földi hőforrás. Néhány anyag 1 kg.-jának elégsékeskor a következő számú caloriák keletkeznek: a hydrogennek vizzé égésénél 34600, a szénnek szénéleggé és szén-savvá égésénél 2500, illetőleg 8000, a száraz fa elégségsénél 3000, a kőszén elégségsénél 6000, a petroleum elégségsénél 12000. Az állati meleg a lassú égés eredménye. Egészséges ember test-melege $37.5^\circ C$, ez lázas állapotban $42-44^\circ C$ -ig fokozódhatik és cholera-betegeknél, vagy a haldoklásnál $35^\circ C$ -ig szállhat alá.

Negyedik hőforrás: a *mechanikai munka* (ütés, nyomás, súrlódás, rugalmas testek összenyomása, kalapácsolás stb.), melynek áran szintén meleg fejlődik. *Joule* kísérleténél eső súlyok végezték a munkát s a meleg vízcaloriméterben a súrlódás áran keletkezett. A testek ütközésénél eltűnő eleven erő szintén meleggé alakul át. Ha ólomgolyó szilárd testre esik, megmelegszik, ez történik az ólomgömb kalapácsolásánál is. *Hirn* az ütközésből származó melegmennyiséget úgy méri, hogy az ólomhengerbe vizet önt s annak hőmérsékletét figyeli meg az összenyomás tartama alatt. Tetemes hő fejlődik a nagy mértékben összenyomható gázok összenyomásánál. Ezen alapszik a *légtűzszer szám*.

TARTALOM.

Hullámzó mozgás.

1. §. A hullámzó mozgásról általában	3
2. §. A hullámok szétterjedése. Huyghens elve	5
3. §. A hullámok visszaverődése, törése és interferenciája	6

Akustika.

4. §. A hang keletkezése és terjedési sebessége	9
5. §. A hang visszaverődése és törése	11
6. §. A hang magassága, ereje és színezete	12
7. §. A hangskála	14
8. §. A hangszerekről	16
9. §. A resonantia és a fül	21
10. §. A hang interferenciája	23
11. §. Doppler elve	25
12. §. A hang sebességének indirekt mérése	25

Optika.

13. §. A fény mibenléte. A fény egyenesvonalú terjedése és terjedési sebessége	27
14. §. A fény intenzitása	30
15. §. A fény visszaverődése	32
16. §. A fény törése	36
17. §. A színekről	42
18. §. A látás. Optikai műszerek	49
19. §. A fény interferenciája	54
20. §. A vékony lemezek színei	56
21. §. A fény elhajlása	57
22. §. A fény sarkítása és kettős törése	58

Hőtan.

23. §. A thermométer	62
24. §. A hő okozta térfogatváltozásról	65
25. §. A hőmennyiség mérése	69
26. §. A halmazállapot megváltozása	72
27. §. A hő terjedése	79
28. §. A mechanikai hőelmélet alapelvei	81
29. §. A meleg, mint munkás	82
30. §. A hő forrásai	84

Stampfel Károly kiadásában Pozsonyban

megjelent és tőle, valamint minden hazai könyvárustól megszerezhető:

Tudományos zseb-könyvtár.

Minden egyes füzet 30 kr. = 60 fillér.

A „Tudományos zseb-könyvtár“ időhöz nem kötötten, 60 filléres kis füzetekben jelenik meg s a tudományok minden ágára kiterjeszkedik.

A „Tudományos zseb-könyvtár“ idővel mindazt felöleli, a mi az általános műveltség körébe tartozik. A csinos külsejű füzeteket, rendkívüli olcsóságukra való tekintettel, bárki könnyen megszerezheti, aki pedig a hasznos tudnivalók ismeretét a legkényelmesebb módon akarja elsajátítani, az föltétlenül vegye meg a „Tudományos zseb-könyvtár“t. A jó magyarsággal és eleven stílussal megírt füzetek főbb vonásokban világos képet adnak az illető tudományról és megismertetik az olvasót mindazzal, amit az illető szakmából okvetlenül tudnia kell.


Eddigelé a következő füzetek jelentek meg:

1. *Földrajzi és statisztikai tabellák.* Összeállította Hickmann A. és Péter J.
2. *Arith. és algebrai példatár.* Irta Dr. Lévay Ede.
3. *Kis latin nyelvtan.* Irta Dr. Schmidt Márton.
4. *Magyar irodalomtörténet.* Irta Gaal Mózes.
5. *Görög nyelvtan.* Irta Dr. Schmidt Márton.
6. *Franczia nyelvtan.* Irta Dr. Pröhle Vilmos.
7. *Angol nyelvtan.* Irta Dr. Pröhle Vilmos.
8. *Római jog. I. Institutiók.* Irta Dr. Bozóky Alajos.
9. *Római jog. II. Pandekták.* Irta Dr. Bozóky A.
10. *Egyházjog. (Kathol.)* Irta Dr. Bozóky Alajos.
11. *Magyar nyelvtan.* Irta Gaal Mózes.
12. *Magyar stilisztika.* Irta Gaal Mózes.
13. *Magyar retorika.* Irta Gaal Mózes.
14. *A sík trigonometriája.* Irta Dr. Lévay Ede.
15. *Római régiségek.* Irta Dr. Schmidt Márton.
16. *Magyarok oknyomozó története.* Irta Cseh Laj.
17. *Kereskedelem története.* Irta Dr. Stirling Sándor.
- 18—20. *Egytetemes irodalomtörténet.* Irta Hamvas J.
21. *Nemzetközi jog.* Irta Dr. Gratz Gusztáv.
22. *Magyar poétika.* Irta Gaal Mózes.
23. *Planimétria példatárral.* Irta Dr. Lévay Ede.
24. *A római nemz. irod. tört.* Irta Márton Jenő.
25. *Német nyelvtan.* Irta Albrecht János.
26. *Oszmán-török nyelvtan.* Irta Dr. Pröhle Vilmos.
- 27—30. *Árulsime-lexikon.* Irta Dr. Koós Gábor.
- 31—34. *Magyar magánjog.* Irta Dr. Katona Mór.
35. *Számítan.* Irta Dr. Lévay Ede.
36. *Logarithmustáblák.* Összeállította Polikeit Károly.
- 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 helyesírás törvényei.* Irta Gaal M.
 46. *Ábrázolástan.* I. füzet Irta Dr. Kolbai Arnold.
 47. *Ábrázolástan.* II. füz. Rajzok az ábrázolástanhoz.
 48—49. *Növényhatározó.* Irta Dr. Cseréy Adolf.
 50. *Stereometria.* Irta Dr. Lévy Ede.
 51. *Világtörténet.* I. rész. Irta Cseh Lajos.
 52—53. *Stilisme.* Irta Boros Rudolf.
 54. *Levelező gyorsírás.* Irta Bódogh János.
 55. *Magyar közigazgatási jog.* Irta Dr. Falcsik D.
 56. *Alkotmányi politika.* Irta Dr. Gratz Gusztáv.
 57./57a *Magyar pénzügyi jog vázlat.* Irta Dr. Bartha
 58. *Általános földrajz.* Irta Hegedüs István. [Béla.
 59. *Ethika.* Irta Dr. Somló Bódog.
 60. *Ásványhatározó.* Irta Dr. Cseréy Adolf.
 61. *Zeneműszótár.* Összeállította Goll János.
 62. *A görög. irod. tört.* Irta Márton Jenő.
 63—64. *A zománcz.* Irta Mihalik József.
 65. *Vita-gyorsírás.* 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. *Jogbölcsélet.* Irta Dr. Somló Bódog.
 76. *Rovargyűjtő.* Irta Dr. Cseréy Adolf.
 77. *Szervetlen kémia.* Irta Schwicker Alfréd.
 78. *Mechanika.* Irta Dr. Lévy Ede.
 79. *Szociológia.* Irta Dr. Somló Bódog.
 80. *Logika.* Irta Dr. Schmidt Márton.
 81. *Akustika.* Optika. Hőtan. Irta Dr. Lévy Ede.
 82. *Áruüzleti szokások.* Irta Matavovszky Béla.
 83. *A németirodalom rövid vázlat.* Irta Albrecht János.
 84. *Kereskedelmi jog.* Irta Dr. Berényi Pál.

A „Tudományos zseb-könyvtárban“ legközelebb, de időhöz nem kötöttem a következő kötetek megjelenése van tervbe véve:

Aesthetika	Jogtörténet	Phys. repetitorium :
Anthropologia	Kereskedelem-isme	Elektromosság,
Astronomia	Keresk. földrajz	mágnesség
Chemia (szerves)	Közjog	Statisztika :
Dramaturgia	Lélektan	Szótárak :
Egyházjog (Prot.)	Művelődés történet	Latin-Magyar
Egyháztörténet	Német helyesírás	Német-Magyar
Észjog	Nemzetgazdaságtan	Francia-Magyar
Fejlődéstan	Népisme	Angol-Magyar
Fogalmazványok	Oktat. módszertan	Olasz-Magyar
Földrajz (politikai)	Olasz nyelvtan	Természetrajz: Állattan
Földtan	Orosz nyelvtan	Lepkegyűjtő Gombaism.
Geológia	Ötvösség	Növénytan Ásványtan
Geometria analitica	Paedagógia	
Görög régiségek	Pénzügytan	
	Polg. perrendtartás	Tornatanítás

 Minden egyes füzet 60 fillér. 