

ORVOS-TERMÉSZETTUDOMÁNYI ÉRTESITŐ

A KOLOZSVÁRI ORVOS-TERMÉSZETTUDOMÁNYI TÁRSULAT ÉS AZ
ERDÉLYI MUZEUM-EGYLET TERMÉSZETTUDOMÁNYI SZAKOSZTÁ-
LYÁNAK SZAKÜLÉSEIRŐL ÉS NÉPSZERŰ ELŐADÁSAIRÓL.

III. NÉPSZERŰ SZAK.

VI. kötet.

1884.

2. szám.

A HANG INTERFERENTIÁJA.

Dr. Abt Antaltól.

— I. Tábla. —

A hangtűnemények közül azok, melyek két hang interferen-
tiája által származnak, kivált elméleti tekintetben kiváló fontosság-
gal bírnak, annál is inkább, mivel az ide vonatkozó tények és tör-
vények a fény hullámelméletére vezettek, melyből a fénytűnemé-
nyek könnyűséggel megfejtethők.

Midőn tisztelt hallgatóimat ezen érdekes tűneményekkel meg-
ismertetni szándékozom, egyszermind feladatommá válik, a tények
egyszerű bemutatásán kívül egy lépéssel tovább menni, t. i. Önöket,
a mennyire az ily rövid alkalommal lehetséges, azoknak törvényei-
vel is megismertetni. E végett előre kell bocsátanom azon egyszerű
hangtűneményeket, melyek nélkül a hang interferentiáját megfejtteni
nem lehet.

I. Általános hangtűnemények.

Minden előtt a hang keletkezésével és ennek physikai okával
kell megismertetnem tisztelt hallgatóimat.

A hang a levegőnek azon sajátos mozgása, melyet hallási
szervünk által veszünk észre. A levegő ezen mozgása, mely általá-
nosan rezgésnek neveztetik, különböző módon keletkezhetik. P. o.
ütések által, mint a Savart-féle fogas keréknél (1. idom B), ha
ezt tengelye körül alkalmas készülékkel, péld. egy pörgettyűvel vagy
egy lendítő kerék A által D szíja közvetítésével gyorsan forgatjuk,

és azután fogas kerületéhez papírlapot *E* tartunk. A gyors ütések által hang keletkezik. A siren neve alatt ismert korongnál (2. *idom*), melyet Seebeck használt először, egy körvonalban egymástól egyenlő távolságra nagyobb számú egyenlő nyílások vannak és a hang azáltal keletkezik, hogy egy fújtató segélyével a megforgatott korong nyílásaira folytonos légáramot bocsátunk. Ezáltal a folytonos áram egyes ütésekre osztatik fel, melyekből zenei hang keletkezik.

Ha a siren tábla nyílásai vagy a fogas korong fogai egymástól egyenlőtlen távolságban vannak, akkor az egyes ütések a levegőben nem folynak le egyenlő időközökben és a hang elveszti zenei jellegét, zörejjé lesz.

Zenei hang tehát csak úgy keletkezhetik, ha a hangzó test rezgései (ide-oda tartó mozgásai) időszakosak vagy is egyenlő időközökben végbemenők. Az időszak tartama rezgésidőnek neveztetik. Ilyen időszakos mozgás p. o. az ingáé, csak hogy ennek tartama nagyobb, mint a hangrezgéseké, melyeknek száma egy másodperc alatt a legmélyebb hangoknál a harminczet meghaladja és a magas hangoknál néhány ezerre megy.

A Trevelyan-féle készüléknél az egymást gyorsan követő ütések hű idezi elő. A készülék (3. *idom*) nyéllel ellátott, körülbelül másfél decimeter hosszú félhengerből (*A*) áll, vörös rézből, melynek domború oldalán egész hosszában egy barázda megy végig. Az átmetszetét *C* tünteti elő. A készülék borszesz vagy gázlángon hevítve barázdás oldalával egy ékalakú ólomdarabra *B* állíttatik úgy, hogy a nyele az asztalra támaszkodjék. A barázda azon éle, mely az ólomazattal érintkezik, hőt közöl az ólommal és az e helyen kitágul; ezáltal felemeltetvén a készülék a másik élre zökken, és itt idéz elő kitágulást az ólmon, mialatt a másik él okozta tágulás eltűnik, és a készülék előbbi helyére visszaesik. Az ólom csekély fajmelegénél és a fémek jó hővezetésénél fogva az ütések gyorsan és szabályosan követik egymást, úgy, hogy tiszta zenei hang keletkezik. Magassága fokozható, ha a készülékre péld. késhegygyel függőleges irányban nyomás gyakoroltatik.

Hangszereink egy részénél a testek rugalmassága okozza a hangrezgést vagy is a hangot; így p. o. a pálczák és lemezek hossz és kereszt rezgéseit. Húros hangszereknél pedig a húrok feszítése hozza transversal rezgésbe a hűrt és ennek hangja attól függ, mennyire van a hűr feszítve.

A hang keletkezésére tehát szükséges: 1-ször valamely test, mely a levegőt rezgésbe hozza; ez a hangokozó vagy a hangforrás; 2-szor levegő, víz vagy valamely szilárd test, mely a hangmozgást a hangforrástól átveszi és halló szervünkig vezeti; ez a hangközeg; 3-szor ép fül, mely ezen hangrezgések felfogására alkalmas. Miként terjed a hangmozgás a fül belsején keresztül a hallási idegekig, az már nem a physika, hanem a physiologia kutatási tárgyát teszi.

Hogy a hangközeg folytonossága a hangforrástól az észlelőig okvetlenül szükséges a hang keletkezésére, bizonyítja a következő kísérlet. Ezen üveg golyó (*4. idom*) belsejében csengettyű látható, mely egy darab kaucsukcsőhöz van erősítve. Kevéssel ezelőtt légszivattyúval annyira ritkítva lett a levegő a golyóban, hogy annak feszítő ereje már csak 3 milliméternyi higany oszlop nyomásával tartott egyensúlyt.

Ha a csengettyűt bár miként rázom, hangja nem hallik, még akkor sem, ha a golyót fülemhez közel tartom. A csengettyű rezgésben van, de rezgései a golyóból ki nem mehetnek; a golyóban maradt levegő sokkal ritkább, hogy sem annyi hangmozgást a golyónak átadhatna, mennyi a halló idegek érezhető ingerlésére szükséges. Ha most a csapon (*r*) keresztül kevés levegőt bocsátok a golyóba, azonnal hallik a csengettyű hangja, és pedig annál jobban, minél több levegőt bocsátok a golyóba. Most a golyó megtelt külső levegővel és a csengettyű az egész tanteremben hallik. De a hangja most is nagyon mérsékelt, mivel a hang ereje mindig nagy mértékben csökken, mikor levegőből üvegen vagy más szilárd testen átmegy. Ha a csengettyűt a golyóból kiviszem és ezáltal a szilárd buroktól megszabadítom, erőteljes hangot ad.

Nem csak a levegő vezeti a hangot tovább, hanem minden rugalmas test, p. o. a víz és a föld, és ez utóbbiak még jobb hangvezetők mint a gázok. Itt van egy lécz fenyőfából, melynek hossza akkora, hogy ilyen távolságra egy zsebóra ketyegése már nem hallik a levegőn keresztül. De ha az órát a lécz egyik végéhez tartom, akkor ketyegése a lécz másik végén erősen hallik.

A hang miként terjed tovább a hangforrástól levegőn vagy más hangközegen keresztül, azzal szeretném most közelebről megismertetni tisztelt hallgatóimat. A hangzó testet körülvevő légré-

szecskék közül egyik sem éri el fülünket, egyik sem jön haladó mozgásba, mint péld. egy elhajított test, vagy egy kilőtt puskagolyó; hanem mindegyik hasonló időszakos mozgásba—rezgésbe—jön, mint a hangzó test részecskéi. Mozgását a szomszéd légrészecskének átadva, maga nyugalomba jön. Így terjed a hangmozgás a levegőben részecskéről részecskére, mint egyenlő tömegű rugalmas golyókon keresztül. Ha ilyen golyósornál, p. o. üveggolyókból, az első golyót a sor egyik végéről bizonyos gyorsasággal a sor felé hajtjuk, akkor az utolsó golyó a sor másik végén ugyanazon gyorsasággal hagyja el a sort, milyennel az első a sorba ütközött, a sor többi golyói az elsővel együtt nyugalomban maradnak. Személve így a látható golyóknál a mozgás tovaterjedését, könnyebben elképzelhetjük azt a láthatatlan légrészecskénél is.

A hangnak ezen tovaterjedése hasonlít a vízhullámokhoz, ez okból az is hullámos mozgásnak neveztetik, habár a hanghullámok sokban különböznek a vízhullámoktól, melyek, mivel láthatók, igen alkalmasak egyéb hullámos mozgás tanulmányozására.

Ha nyugvó víztükörre vízcsep vagy kő esik, akkor a vízrészecskék köröskörül gyűrűalakban felemelkednek, egy hullámhegy keletkezik, melyben a részecskék nehézségüknél fogva esnek és esésközben nyert gyorsaságuknál fogva a víztükör alá kerülnek, úgy hogy ott, hol előbb hullámhegy volt, egy hullámvölgy keletkezik, mely körül a vízrészecskék torlódása miatt új s nagyobb átmérőjű hullámhegy származik. A gyűrűalaku hullámok tovaterjedés alatt mindig nagyobbak lesznek, de a hegy magassága illetőleg a völgy mélysége mind jobban kisebbedik és bizonyos távolságban egészen elenyészik. Ezen hullámos mozgásnál az egyes vízrészecskék helyt maradnak és itt írják le pályájukat függőleges lapban egyensúly helyzetük körül és mozgásukat a szomszéd részecskéknek átadva nyugalomba jönnek.

A vízhullámokat Weber testvérek tanulmányozták behatóan és azt találták, hogy gyorsaságuk sokkal kisebb mint a hang gyorsasága a vízben, hogy a nagyobb vízhullámok gyorsabban terjednek, mint a kisebbek és hogy a gyorsaság még a víz mélységével is növekedik. A mi pedig a vízrészecskék által leírt pályákat illeti, ezekre nézve azt észlelték, hogy azok a felületen függőleges körök, a felület alatt kerülékek — ellipszisek — nagyobb mélységben vízszintes

egyenes vonalak. Az (5. *idom*) *BA* irányban haladó vízhullámot tűntet elő; *AC* a hegye, *BC* a hegynél jóval hosszabb völgye; az utóbbiban ellenkező, a hegyben ugyanazon irányban mozognak a vízrészecskék, mint a milyenben a hullám halad.

Egy több méter hosszú lágy kötél vagy kaucsukeső igen alkalmas mechanikai látható hullámok keltésére. Ha ilyen kötelet vagy kaucsukesövet *a c* (6. *idom*) egyik végénél megerősítünk, a másik végét kézben tartva a kötelet kifeszítjük és ujjunkkal egyik vége felé gyors ütést intézünk, akkor ez kihajlik és a kihajlás *abc* bizonyos gyorsasággal a kötelen végig halad, annál gyorsabban, minél jobban van feszítve és minél vékonyabb a kötél. Itt is az egyes részecskék csak egyensúly helyzetük körül mozognak, p. o. *b* pont *bb* pályában, és csak az alakváltozás az, mely a kötelen végig terjed, azáltal, hogy a rezgés más-más részecskének adatik át.

Itt is mint a vízhullámoknál a részecskék a hullám haladási irányára merőleges irányban mozognak, tehát úgy nevezett transversal rezgéseket végeznek. Így a húroknál is, ha vonóval harántosan dörögltetnek és a húr hangja a külső feszítéstől, a húr hosszától, vastagságától és fajsúlyától függ. Ha egy kifeszített húr vagy egy megerősített páleza fából, vagy fémből hosszában dörögltetik péld. gyantaporos bőr vagy posztódarabbal, akkor a részecskék rezgésiránya összeesik a hullám terjedési irányával. Az ilyen rezgések longitudinal vagy hosszrezgéseknek neveztetnek.

A levegő és víznél, melyek csak összenyomó erővel szembe rugalmasak, a részecskék rezgésiránya szintén összeesik a hullám haladási irányával. A levegőben és vízben keletkezett hanghullámok longitudinal rezgésekből állanak. Képzeljük a hangot péld. egy hangvilla rezgése által előidézőve. A légrészecskék a villa ágai előtt az alatt, míg ezek kifelé rezegnek torlódás következtében megsűrítettnek vagy is egymáshoz közelebb kerülnek. Az ágak visszatérésénél ellenben megritkítatnak, egymástól nagyobb távolságra jutnak. A sűrűdött légrétegek alkotják a hang hullám egyik felét, a hegyet, a ritkult rétegek a hullám másik felét, a völgyet, a kettő együtt a hullám hosszát adja, mely egy rezgés alatt keletkezik. Minden rezgésnél új hullám keletkezik, és a villa tartós rezgésénél egész hullámsor származik a levegőben, mint ezt a (7. *idomnál*) láthatni, hol a hullám- mozgás csak egy irányban van előtüntetve és *a*, *b*, *c* a

sűrűdéseket, a' , b' , c' a ritkulásokat ábrázolja, $ab = a'b'$ a hullám hossza.

A szabad levegőben a hang minden irányban egyenlő gyorsasággal terjed, a hullám határlapjai ennél fogva nem egyenes lapok, hanem gömbfelületek, melyeknek középpontja a hangforrás. Sugarai a hang terjedési irányát határozzák meg és hangsugaraknak neveztetnek.

A hang tovaterjedésénél annak ereje csökken és bizonyos távolságra a hang már nem hallatszik. Ennek oka az, hogy azon mozgás mennyiség, melyet a hangforrás az első légréteggel közöl, a hullám növekedésénél nagyobb tömegnek adatik át, ennél fogva a területegységre annak kisebb része esik. A milyen törvény szerint növekedik a sugárral a gömbfelület, ugyanazon törvény szerint csökken a hang ereje a távolsággal. A gömb felülete a sugár négyzete szerint növekedik, azaz, 2-szer nagyobb sugárnak 4-szer akkora gömbfelület, 3-szoros sugárnak 9-szer nagyobb gömbfelület felel meg. A hang tehát 2-szer nagyobb távolságban 4-szer, 3-szor nagyobb távolságban 9-szer gyöngébb.

A hang, száraz nulla fokú levegőben pontos és nagyszámú észleletek szerint, 332 meternyi gyorsasággal terjed, azaz másodpercenként ekkora utat tesz. Valamely észlelőre nézve tehát, a ki egy ágyútól 332 meternyi távolságra áll, az ágyú elsütésénél a fény felvillanása és az ágyú dörgése között, száraz 0 fokú levegőben, éppen 1 másodperc fog eltelni. Ha pedig az észlelő az ágyútól 664 méternyi távolságban van, akkor a két pillanat közt eltelt idő éppen két másodperc leend. Melegebb levegőben nagyobb a hang gyorsasága, de független a légnyomástól. Vízben 4,3-szer, vasban 10, 5-szer nagyobb a hanggyorsaság, mint a levegőben. Általában véve a hang gyorsasága a közeg rugalmasságától és sűrűségétől függ.

Itt van egy hangvilla, mely egy másodperc alatt 256 teljes rezgést tesz; hangjának zenei jele az olasz-francia jelölési mód szerint ut_3 . A villa minden rezgése új hullámot kelt a levegőben, egy másodperc alatt tehát 256 hullám keletkezik, melyek egymáshoz sorakoznak. Ugyanezen idő alatt a hangrezgés közönséges hőmérsékletnél 340 méternyi távolságra terjed. A 256 hullám összes hossza tehát 340 méter, a miből következik, hogy egy hullámnak a hossza $340 : 256 = 1,33$ méter vagy is 133 centimeter. Általában

véve valamely hangnak hullámhosszát meghatározhatjuk azon esetben, ha ismerjük annak rezgési számát, mivel a hanggyorsaság osztva a rezgési számmal a hangnak megfelelő hullámhosszat adja.

Minden hangnál háromféle dolog jöhet tekintetbe, úgy mint a hang ereje, magassága és színe.

A hang ereje a hangzó test kirezgéseinek nagyságától függ és ezek négyzetével arányos. Minél erősebben dörgöljük a húrt vagy a hangvillát, annál nagyobbak a kirezgései és annál erősebb a hang, és pedig kétszer akkora kirezgésnél a hang ereje négyszer nagyobb, 3-szor akkora kirezgésnél a hang 9-szer erősebb. Dörgölés vagy pengetés után a húr hangja erőteljes, de ereje folytonosan csökken és végre a hang elenyészik. Ennek oka részben a levegő ellenállása, de kiváltképen a belső surlódás a részecskék között, mi miatt a kirezgések folytonosan kisebbednek és végre egészen elenyésznek.

Hogy a hang magassága a rezgések számától függ, arról meggyőző bennünket egy egyszerű kísérlet, melyet a Savart-féle fogas kerékkel végrehajtunk. A fogas kerék egyszeri körülforgásánál annyi hanghullám keletkezik a levegőben, a hány fog van a kereken. Minél gyorsabban forog a kerék, annál több hullám keletkezik az időegység alatt, és annál magasabbnak találjuk a hangot. Lassítva a kerék forgását, a hang magassága csökken, és minél lassabban forog a kerék, annál mélyebb a hangja. Ebből következik, hogy a hang magassága meg van határozva az időegységre, p. o. az egy másodpercze eső rezgéseknek száma által. Ha péld. a kereken 100 fog van és ha a kerék egy másodperc alatt 3 fordulatot tesz, akkor a hang magassága 300.

A Cagniard de la Tour által tökéletesített, sirén név alatt ismert nevezetes hangtani készülék szolgál arra, valamely hangnak magasságát vagyis rezgési számát meghatározni. A készülék áll egy sárgaréz hengerből *C* (8. idom), mely alól rövid csővel (*t*) van el látva. Fedelén (*ab*) pedig egy kör kerületén négy sorjában egymástól egyenlő távolságban nyílások vannak. A legbelső sorban 8, a másodikban 10, a harmadikban 12 és a legkülsőben 16 nyílás van. Minden sornak egy tolóka felel meg, mely a nyílásokat a henger belsejétől elzárja, *m*, *n*, *o*, *p* kiálló rudacsákra gyakorolt nyomás által az egyes sorok nyithatók.

A fedél fölött igen kis távolságban van egy korong *de*,

melynek szintén négy sor nyílása van éppen a fedél sorai fölött ugyan annyi nyílással, mint ezek. A korong nyílásai ferdén állanak a fedélhez és a korong egy aczéltengelyhez (*pp*) van erősítve, melynek hegyes végei alkalmas ágyakban szabadon járnak. Ha a sirént *t* csővel egy alkalmas fújtató asztalra erősítjük, az egyik nyílássort megnyitjuk és a levegőt a hengerbe szorítjuk, akkor a folytonos légáram a *dc* korongot forgásba hozza és egyes megszakított lökésekre osztatik fel, hang keletkezik, mely eleinte igen mély, de magassága a korong forgási gyorsaságával folyton növekedik. Egy szám-láló műszer lehetőségessé teszi a hang magasságának vagyis a rezgési számnak meghatározását.

Ismeretes dolog, hogy egy húrnak, egy fuvolának vagy más hangszernek ugyanazon magasságú hangjai egymástól különböznek. Mindegyiknek meg van a maga sajátsága, a maga jellege, melyet könnyen és bizton fel lehet ismerni. A hangnak ezen sajátsága vagy jellege a hang színének neveztetik. Ennek physikai oka az, hogy a hangzó test a különböző hangszereknél péld. egy húr nem csak egyféle rezgést végez, hanem az alaprezgésen kívül, magasabb rendű rezgéseket is, melyeknél a húr két, három, négy stb. részre oszlik. Ezen magasabb rendű rezgések, melyek felhangoknak neveztetnek, annál gyorsabbak, minél több részben rezeg a húr, úgy hogy egymáshoz és az alaphanghoz olyan viszonyban állanak, mint a természetes számok. A húr hangja tehát nem egyszerű hang, mely az alaprezgésnek megfelel, hanem az alaphang közzé a felhangok vegyülnek és a hang színét határozzák meg. A különböző hangszereknél több vagy kevesebb felhang vegyül az alaphang közzé és ezért mindeniknek más a hangszíne. Ha egy kifeszített húrt a közepén megpendítünk, tompán szól, ellenben valamelyik vége közelében megpendítve, hangja teljes és éles. Az első esetben hiányzik az első és egyszersmind legerősebb felhang és innen van a hang tompasága.

II. Interferencztünemények.

Ezen hangtani fogalmak előre bocsátása után áttérhetek előadásom tulajdonképeni tárgyára, a hang interferenciájára vagy is azon tüneményekre, melyek abból származnak, hogy két hanghullám-rendszer útjában egymással összeesik. Ezen tünemények hasonlóan azokhoz, melyeket a vízhullámoknál is észlelhetünk.

A szél, mely a csendes víztükörbe ütközik, megzavarja ennek egyensúlyát és hullámokat ver fel. Ha két víz hullám útjában összeesik, akkor az eredmény a körülmények szerint nagyon különböző lehet. Tegyük fel p. o. hogy az összeeső hullámok egyenlő magasak és hogy egyiknek a hegye összeesik a másiknak a völgyével, valamint egyiknek a hullámvölgye a másiknak völgyével. Ez esetben a találkozási helyen egy új hullám származik két akkora hegygyel és völgygyel, mivel a vízrészecskék ez esetben két egyirányú egyenlő erő által kaptak meg és az eredő rezgés kétszer nagyobb, mint egy-egy hullámnál.

Egészen más az eredmény, ha az összeeső két hullámrendszernél egyiknek hegyei a másiknak völgyeivel esnek össze. Ez esetben az összeeső hullámok, ha hegyeik egyenlő magasak, egymást teljesen megsemmisítik, a víztükre e helyen sima marad. Ugyanis az egyes vízrészecskékre most két egyenlő, de ellenirányú erő hatván, azok nyugalmi helyzetükben vagyis a vízszintes tükörben megmaradnak.

Az első esetben megegyező, a másodikban pedig ellentétes phasisban vannak az összeeső hullámok. Mind kettőnek törvénye úgy fejezhető ki, hogy az eredő hullámmozgás egyenlő az összeeső hullámmozgások algebrai összegével. Az algebrai összegelést úgy értjük, hogy mindegyik mozgásnál az irányt meghatározó pozitív vagy negatív előjel veendő. A pozitív előjel péld. a hullámhegynél, hol a vízrészecskék felfelé mozognak, a negatív előjel a hullámvölgynél, melyben azoknak mozgása lefelé történik. A hullámok interferenciájának ezen törvénye nem csak két hullámmozgásra áll, hanem háromra, négyre vagy akár hányra, tehát általános érvényességű. Az eredő mozgás mindig egyenlő az egyes mozgások algebrai összegével.

Ha a sima víztükrre két helyen, melyek egymástól néhány meternyi távolságban fekszenek, egy-egy követ ejtünk, akkor mind a két hely körül gyűrűalakú hullámok keletkeznek, melyeknek mindegyike egy hegyből és egy völgyből áll. Rövid idő múlván ezen két hullámrendszer összetalálkozik és a víz felszínét nagyobb-kisebb hullámokra osztja. A hol két hullámhegy találkozik össze, ott magasabb hullámhegy keletkezik; a hol völgy völgygyel találkozik össze, ott mélyebb völgy támad, a hol pedig hegy völgygyel jön össze, ott a víz felszínének eredeti magassága helyre áll. Az eredő mozgás a

víztükör bármely pontján, miként már említve volt, egyenlő a pontra ható mozgások algebrai összegével. Ha három, négy vagy több hullámkeltő pont van, az eredő hullámmozgás mindig e törvényt követi, a lehető változatosság és a valódi eredmény képzeletünket könnyen felülmulhatja, de az említett törvény mindig érvényes marad.

A szabad tenger kies felszíne legkedvezőbb ezen interferenciátünetemények megfigyelésére. A víztükör felett elvonuló légáram a vízbe ütközve hullámokat ver fel, melyek magasságuknak megfelelő gyorsasággal haladnak tovább. Erősebb szél nagyobb hullámokat támaszt, melyek mint már előbb említve volt gyorsabban haladnak, a kisebbeket utóléri és ott, a hol hegy hegygyel összetalálkozik, nagyobb hullámok keletkezését okozzák. Így keletkeznek ismételt interferentia által azon órási hullámok a tengeren, melyek a legnagyobb hajókat is ellepik és veszélybe ejtik.

Mint a vízrészeeskék, éppen így az egyes részeeskék a nagy levegő oczeánban a legkülönbözőbb benyomásokat felveszik és változatlanul tovább vezetik. Ugyanazon légtömeg 1000 vagy akár hány hangszernek a rezgéseit ugyanazon időben követi és továbbítja, úgy hogy mindegyik hanghullám megtartja teljesen individualitását. Mindazon által, hogy képzelő tehetségünket felülmúló dolog, elgondolni egy légtömegnek mozgási állapotját, mikor a hanghullámok sokasága azon keresztülvonul, a fennérintett törvény mégis érvényes marad, a mennyiben minden légrészecske olyan mozgást végez, mely az egyes egyéni mozgások algebrai összegéből ered.

A legbámulatosabb dolog mindenek fölött az, hogy az emberi fül, habár arra csak néhány milliméternyi vastagságú léghenger hat, az egyes hangokat észrevenni és azokat kellő figyelem és gyakorlat mellett a nagy sokaságban egymástól biztosan megkülönböztetni tudja.

A hangtalálkozási tünetemények és ezeknek törvényei az által nyertek még nagyobb fontosságot, hogy bizonyos, ezekhez hasonló fénytünetemények megfajtására vezettek. Ez alkalommal azonban csak a hang interferentiájával akarunk foglalkozni és pedig előbb azokkal a tüneteményekkel, melyek két egyenlő hullámhosszaságú hang összetalálkozásánál keletkeznek, azután pedig azokkal, melyek két különböző hullámhosszaságú hang összetalálkozásából erednek.

Herschel Jánostól eredt az eszme, a hanghullámokat egy helyen elágaztatni és különböző hosszúságú úton elvezetve ismét

egyesíteni és így a hang interferenciájának törvényeit vizsgálni. Ezen eszme valóztatására Quinke egyszerű készüléket állított össze, mely későbbben König által tökéletesítve lett. Az utóbbit a 9. idom ábrázolja. A készülék egy O alakban meghajtott magába visszatérő bádagesőből áll, ab csővecske elágazik b -nél m és n felé és a két ág o -nál ismét összejön. Az egyik ág hosszát n résznek kihúzása által tetszés szerint lehet változtatni. A készülék leírásából a kísérlet elve is könnyen megérthető.

Ha a -hoz rezgő hangvillát tartunk, és o -tól egy hosszú kausuk csövet az egyik fülhez elvezetünk, a másik fület pedig bedugjuk, akkor az ágak egyenlő hosszúságánál a villa hangját hallani fogjuk, mivel ez esetben a b nél elágazó hanghullámok phasis különbség nélkül érkeznek az észlelő fülébe. Kihúzván n csövet fokozatosan elérhetjük azt a pontot, a hol a villa hangja majd nem egészen elenyészik. Megmérve most cd -t, azt találjuk, hogy ennek hossza éppen negyedrésze a hullámhossznak. E szerint a hullámrendszer a hosszabb ágban a másikhoz képest cd -nek kétszeres hosszával, tehát éppen egy fél hullámhosszal van elmaradva, úgy, hogy o -nál az egyik hullámsor hegyei a másiknak völgyeivel esnek össze és egymást megsemmisítik. Kiebb húzván n csövet, a hangereje újra növekedik és akkor éri el legnagyobb értékét, ha cd -nek kétszeres hossza egy egész hullámnak a hosszával egyenlő. Ez esetben a két hullámsor o -nál megint megegyező phassissal találkozik. Tovább folytatva ezen kísérleteket könnyen felismerhetjük az interferencz törvényt, mely így szól: ha a találkozó hullámok út-különbsége $0, 1, 2, 3$, vagy akár hány egész hullámhosszat tesz, akkor a hang ereje a legnagyobb értékű. Ha pedig az út-különbség $1, 3, 5$ szóval páratlan sokszorosa a félhullámhossznak, akkor a hang ereje elenyésző csekély.

Hogy ezen interferencztüneményeket mindnyájan egyszerre megfigyelhessék, a következőleg kell a kísérletet berendezni: a hoz egy a villa hangjához találó resonatort kell illeszteni, o -t pedig egy König-féle lángmanometerrel kell összekötnünk és a lángképet egy forgó tűkörben megfigyelni. A resonator egy golyó alakú bádagedény, mely a villa hangjának erősítésére szolgál. Van egy kis és egy nagyobb nyílása. A kisebb nyílás a -hoz van illesztve, a nagyobb pedig a hang felfogására szolgál. A König-féle manometer egy kis gáztartó, egyfelől finom hártyával zárva, másfelől pedig finom nyílású

csővecskével ellátva. A lángmanometert összekötöm most egy kausuk cső által a gázvezetékekkel. Ha a hártát hullámok nem érik, akkor a láng a hártával együtt nyugodtan marad és a láng képe a forgó tűkörben mint folytonos fényszalag tűnik elő. Ha ellenben a hártához hullámok érkeznék, akkor a hártya is rezgésbe jön és a láng minden rezgésnél felszökken. Ez esetben a forgó tűkörben észlelt lángkép csipkés, mindegyik csipke egy-egy rezgésnek felel meg.

A hullámok találkozásánál a csipkés kép azt jelenti, hogy az összetalálkozó hullámok megegyező phasisban vannak. Ha most n csövet kihúzom, míg cd -nek kétszeres hossza éppen egy hullámhosszaságnak a fele, akkor a kép csipkés jellege megszűnik, és fölül is mint alól egyenes vonal által van határolva.

A mondottakból világos, hogy ezen készülékkel könnyen meg lehet határozni valamely hangnak a hullámhosszát. Az n csövet két olyan állásba hozzuk, a hol a csipkék teljesen elenyésznek. Az útkülönbség kétszeres értéke a hullám hosszát adja. Ha azonkívül a hangnak rezgési számát is tudjuk, akkor a kettőnek szorzata által meg van határozva a hang gyorsasága is. Ezen eljárás éppen fordítottja annak, a mely fentebb említve volt, a hol a hang rezgési számából és gyorsaságából annak hullámhossza kerestetett.

Igen nagy azon érdekes és fontos kísérletek száma, melyek által ezen interferenz törvényt igazolni lehet. Ezek közül lesz szerencsém néhányat tisztelt hallgatóimnak bemutatni. Itt van egy kör alakú fémtábla sárgarézből, mely a közepén egy állványhoz van erősítve. Ha bal kezem hüvelyének körmével a korong kerületét egy helyen megérintem és más helyen nyirettyűvel dörgölöm, a korong álló rezgésbe jön és hangot ad. Rezgési alakját láthatóvá tehetjük, ha Chladni eljárását követve a körtáblát fekete poronddal behintjük. Ha most a lemezt újra megérintem és a nyirettyűvel dörgölöm, a porond mint egy varázs szóra több sugaru csillagot rajzol le a lemezen. Rezgés közben a körlemez annyi egyenlő sectorra oszlik, a hány sugarat a porond lerajzol. Ezen sugarak, a hol a porond összegyűl, a lemez azon helyeit jelzik, melyek a lemez álló rezgése alatt nyugalomban maradnak, és ezért csomópontoknak neveztetnek. Két szomszéd sector mindig ellentétes phasisban van, a mikor egyiknek a pontjai felfelé rezegnek, akkor a másoknak a pontjai lefelé tart-

nak. A csomóvonalokban keresztezi egymást a két ellentétes rezgési irány. Minél közelebb fekszik a dörgölés pontja a megérintett ponthoz, annál több sugaru idom keletkezik és annál magasabb a hang. A sugarak száma mindig páros és bizonyos alaknak bizonyos hang felel meg.

Hogy a rezgő korong váltakozó sectorai csakugyan ellenkező phasisban vannak, azt a Hopkins-féle interferenczcsővel azonnal észlelhetjük. Ezen cső *aoc* (10. idom) felől egy négyszögletes szekrénnnyel van ellátva, melyen szalmapapir vagy finom hártya *H* van kifeszítve. A másik végénél kétfelé ágazik, u. m. *a* és *c* felé. Ha a korongot p. o. hat részben rezegtetjük, a hártýára porondot hintünk és a csőnek ágait két szomszéd rész fölébe tartjuk, akkor hártýa és porond nyugalomban maradnak, mivel az ilyen részekről jövő hullámok ellenkező phasisban vannak. A mikor az egyik sector a fölötte levő ágba sűrűdésekét küld, ugyanakkor a szomszéd sector ritkulásokat bocsát a másik ágba, úgy hogy ritkulás és sűrűdés egymást lerontja és nyugalmat eredményez. Ezzel egyenlő eredményt észlelhetünk, valahányszor a cső ágait olyan két sector fölébe tartjuk, melyek ellentétes rezgésben vannak. Ha pedig a cső ágait két olyan sector fölé hozzuk, melyek közt egy sector fekszik, péld. az első és harmadik fölébe, akkor a hártýa erős rezgése a porondot leszórja és bizonyítja, hogy ezen két sector megegyező rezgéseket végez.

Ezen koronggal még egy másik érdekes interferenz-kísérletet tehetünk. Ez az üveghenger olyan hosszú, hogy a benne levő légoszlop, ha rezgésbe hozatik, olyan hangot ad, mint ez a korong, ha álló rezgése alatt tizen négy sectorra oszlik. Megérintem a korong területét és a szükséges helyen vonóval dörgölöm, akkor a rajta levő porond tizen négy sugaru csillagot rajzol le és a hang jóval magasabb annál, a melyet hat sugaru csillagnál adott. Ha az alatt, míg a korong ezen álló rezgést végzi, az üveghenger nyílását valamelyik sector fölébe tartjuk, akkor a hang ereje tetemesen növekedik. A légoszlop rezgése a korong rezgésével együtt erősebb hangot ad, mint a korong magában véve. Ezen hang erősbülés elmarad, ha a henger nyílását egy csomó vonal fölé úgy tartjuk, hogy az a nyílást két egyenlő részre osztja, mivel most az egyik sectortól sűrűdések a másiktól pedig ritkulások mennek az üveghengerbe, és ott egymást lerontják.

Most a korongot olyan álló rezgésbe hozom, hogy nyolcz egyenlő részre legyenek osztva, akkor egy harmadik hangot hallani. Tenyeremet az egyik sector fölébe tartva, azonnal erősbül a hang, ha a kezét eltávolítom, újra gyengül. Ezt többször egymásután ismételve a hang ereje is folytonosan változik. Ugyanezen változásokat észlelhetjük, ha tenyeremet egyik csomóvonal fölött ide-oda mozgatom.

Eddig egyenlő hullám-hosszaságu hangok interferentiájáról szóltam, most átmehetünk azon tünetenyekre, melyek különböző de egymáshoz közeleső hangok összetalálkozásából származnak. Itt van két hangvilla, mindegyik 512 rezgést végez egy másodperc alatt; ha mind a kettőt a vonóval dörgölöm, egyenlő egymással teljesen összefolyó hangot adnak, mint ha csak egy villa szóllana, azzal a különbséggel, hogy a kettőnek együttvéve erősebb a hangja, mint egynek. A két hang egyenletes lefolyása azonnal megszűnik, a mint az egyik villa rezgési számát megváltoztatom, a mit egyszerűen az által érek el, hogy az egyik ágán levő viaszból keveset elveszek. Ha most a két villát a nyirettyűvel meghuzom, a hang erejében szabályos változást veszünk észre, a hangereje t. i. időszakosan nő és csökken, a mit a zenében hanglebegésnek neveznek. Az egy lebegés alatti legnagyobb erejét a hangnak pedig hangütésnek nevezik. Ha a viaszból még többet elveszek, akkor az ütések egymást gyorsabban követik és ha az egész viaszt eltávolítom, akkor éppen négy lebegés esik egy másodperczre. Ha most a másik villa egyik szárát kevés viasszal megterhelem, és ezáltal rezgéseit lassítom, akkor az ütések száma az időegység alatt még nagyobb lesz, a megterheléssel gyorsan növekedik és csak hamar az ütések megszámlálhatlanokká lesznek.

A használt két hangvilla közül, ha megterhelve nincsenek, az egyik 512 a másik pedig 516 rezgést végez egy másodperc alatt, az egyik villa tehát 4 rezgéssel többet, mint a másik. Megszámlálva a lebegéseket egy másodperc óra segítségével, azt találjuk, hogy 4 esik egy másodperczre, tehát éppen annyi, a mennyivel több rezgést végez egyik villa a másikonál egy másodperc alatt. Ez nem csak ezen egy esetben áll, hanem egészen általánosan úgy, hogy törvény gyanánt kimondhatjuk, miszerint a lebegések száma mindig egyenlő a két hang rezgési számának különbségével.

Hogy ennek így kell lenni, arról könnyen meggyőződhetünk, ha a két villának rezgéseit képzeletünkben egymással összehasonlítjuk. Feltéve péld. hogy az egyik 512, a másik pedig 511 rezgést végez egy másodperc alatt, akkor a gyorsabb rezgésű villa egy másodperc múlva egy egész rezgéssel előbbre lesz, és ha rezgésük kezdetén megegyező phasisban voltak, már az első rezgés után az egyiknek hulláma a másiknak hullámához képest $\frac{1}{512}$ hullámhosszal el lesz késve, és ezen phasis-különbség növekedik minden egyes rezgéssel, úgy hogy egy fél másodperc múlva az egyik villa $\frac{2}{512}$ vagyis $\frac{1}{256}$ rezgéssel előbbre lesz, mint a másik. Ezen pillanatban az egyik hullámsornak a hegyei a másiknak völgyeivel összeesvén, a két hang egymást lerontja. Innentől fogva a két villa rezgései közelednek egymáshoz, a phasis-különbség kisebbedik és egy egész másodperc múlva a két hang ismét megegyező phasisban van, sűrűdés sűrűdéssel, ritkulás ritkulással esik össze és a kettőből eredő hang négyszer erősebb, mint egy villának a hangja.

Éppen így beláthatjuk, hogy két oly hangnál, mely egymástól két rezgéssel különbözik, a phasisok ellentéte és megegyezése egymást kétszer váltja fel egy másodperc alatt, stb.

Hangütések minden hangzó testnél észlelhetők, ha a hangok egymástól különböznek. Resonancz-szekerénnyel ellátott hangvilláknál azért oly erőteljesek és feltűnők az ütések, mivel itt a felhangok hiánya miatt teljes csend váltja fel az ütéseket. A fedett sípok is ezen oknál fogva erős ütéseket adnak. A nyitott sípok is erős ütéseket adnak, de nem oly élesek, mivel a szünetekben csak az alaphang enyészik el, de nem a felhang.

Itt van két egyenlő hosszúságú orgona síp (11. *idom.*) egy szélládára erősítve, mely kaucsuk cső által össze van kötve egy fujtató asztallal. A sípokba légáramot bocsátva, mind kettő megszólal és ugyanazon hangot adja. Ha ujjomat az egyik síp szájához tartom, akkor hangja lejjebb száll és a két síp ütéseket ad, melyek annál gyorsabbak, minél jobban lett elhangolva a síp. Az ütések akkor is előidéztetnek, ha tenyeremmel az egyik síp felső nyílását részben befedem. Az ütések gyorsaságának fokozatos változtatására a síp felső részénél alkalmazott lemezek (*l, l*) szolgálnak, melyeknek letolása által a sípok tetszés szerint elhangolhatók.

Ezen sípoknak közepe táján egy-egy finom hártya van kifesztve, és a hártya előtt egy kis gáztartó alkalmazva, a honnan keskeny csövek egy közös csövecskéhez vezetnek, a hol a gáz ég. Ezen lángra tehát mind a két sípnek hártýája hat. Ha most az egyik sípot a felső lemez (1) letolása által elhangolom és mind kettőnek billentyűjét megnyitom, azonnal ezeket a gyors ütéseket halljuk és a lángot megfelelő taktus szerint táncolni látjuk. Feljebb tolva ismét a lemezt, lassubbak lesznek az ütések, és ha a két hang egymáshoz már igen közel van, akkor csak egy-két ütés esik egy másodpercze, mit a láng lassú szökkenéséről is látni, mely az egyes felszökkenések közt teljesen kialudni látszik, úgy hogy az egész tüneményt a be és kilégzési folyamathoz lehet hasonlítani. Ha a lángot egy forgó tűkörben észleljük, akkor a képe mint fényszalag tűnik elő, mely helyenkint folytonos, de a legtöbb helyen elkülönített lángképekből áll. Az összefüggő folytonos helyek az ellentétes phasisoknak felelnek meg, a mikor az egyik hullámsor a másikat megsemmisíti.

Ha mindenik hártýához egy külön lángot alkalmazunk, a két sípot összhangzásba hozzuk és egyik lángot a másiknál annnyival magasabbra állítjuk, hogy a forgó tűkörben észlelhető fényszalagok egymáshoz igen közel essenek, akkor a két síp egyidejű megfuvásánál azon érdekes tüneményt észleljük, hogy egyiknek lángképei éppen a másiknak lángképei közzé esnek, a mi azt bizonyítja, hogy a két síp, mely ugyanazon légtartón áll, éppen ellentétes rezgéseket végez. Egyiknek hullámvölgyei a másiknak hullámhegyeivel esnek össze, a minek következtében a két síp alaphangja megsemmisítettik és csak az első felhang hallatszik, a mint ezt azonnal észlelhetjük, ha az egyik síp billentyűjét felváltva nyitom és zárom, mi közben a másik síp folytonosan hangzik. Ezen oknál fogva nem válnék előnyére valamely orgonának, ha több egyenlő hangú síp nagyon közel egymáshoz alkalmaztatnék.

Erőtéljes hangütéseket hallani két éneklő lángnál, melyek öszszehangolva nincsenek. Két különböző hangszer is ad ütéseket, p. o. ez a 256 rezgésű hangvilla ezzel az egyenlő hangu orgonasípval, ha az utóbbit bár mi módon kissé elhangolom. A sirén használatánál hangmagassági meghatározásokra addig emelendő a sirén hangja, mig a hangütések megjelennek. A mint ezek megjelentek, közeledik a két hang a megegyezéshez, annál jobban, minél lassubbak lettek.

az ütések, és ha ezek egészen eltűntek, akkor a két hang teljesen egyenlő.

Scheibler a hangütésekre egy módszert alapított valamely hang rezgési számának pontos meghatározására. E meghatározáshoz egy méternél hosszabb hangszekrény kell, melyen két egyenlő fémhúr van kifeszítve. Az egyik húr hossza egy alátámasztott mozgónyereg segítségével addig lesz változtatva, míg a húr a kívánt hangot adja. A másik húr hossza pedig úgy választatik, hogy az elsővel egy másodperc alatt péld. 4 ütést adjon; akkor a húrok hosszából könnyen kiszámítható a szóban levő hang magassága. Ez a készülék, melyet ezen a fújtató asztalon látnak, 32 nyelvsípból áll, azaz 32 különböző hosszúságú rugalmas sárgaréz-lemezből, melyek egy közös hangszekrényhez vannak erősítve és egy közös szél-lárával bírnak. A leghosszabb lemez 128 rezgést végez egy másodperc alatt, az utolsó pedig 256-ot, a második lemez 132-t, a harmadik 136-ot és így minden következő négy rezgéssel többet, úgy hogy bármely két szomszéd hang egy másodperc alatt négy ütést ad. Ezen készülék segítségével igen könnyen meg lehet határozni valamely hangnak a magasságát. Keressük ugyanis a 32 hang közül azt, mely a meghatározandó hanggal legkevesebb ütést ad.

A hogy egy hangvillának az egyszerű rezgéseit bekormosított papíron lerajzoltathatjuk, éppen úgy lehet két villának a lebegéseit is ezen az úton szemléltetni. E végett a két villa vízszintesen úgy lesz megerősítve, hogy rezgéseik párhuzamosak legyenek és mind a két villának egy-egy szára össze lesz kötve fonalak által egy megegyesített favesszővel, a fonalak pedig gyenge rugók által kifeszítetnek. A favessző hegye a papírt éri, mely a vessző alatt bizonyos gyorsasággal elhalad. A korom azokról a helyekről, melyekhez a vessző ért, elvéetvén, a papíron az egyes rezgések egymástól elkülönítve láthatók. Az egyes rezgések alatt leírt utak ez esetben nem egyenlők, mint valamely egyszerű hang rezgései, hanem mint a (12. *ídom*)-ból látni, váltakozva növekedők és azután esökkenők. A legnagyobb kirezgések azon pillanatoknak felelnek meg, a mikor a két villa megegyező phasisban van, tehát az ütéseknek, a legkisebb kirezgések pedig azoknak, a mikor a két villa rezgése éppen ellentétes, tehát a szüneteknek. Egy-egy orsó, vagyis az időköz két legkisebb vagy két legnagyobb kirezgés közt egy egész lebegést je-

lent, mely alatt az egyik villa egy rezgéssel többet végez, mint a másik.

Lissajous a lebegések szemléltetésére a fényt használta. E végett felszerelte a két hangvilla egy-egy szárát egy kis tükörrel és a villákat oly állásba hozta, a hol párhuzamos rezgéseket végeznek. Azután a besötétített szobába napfényt bocsátott és azt az egyik hangvilla tükrére vezette, mely innen a másik villára, erről egy forgó tükörre és azután egy fehér ernyőre esett. Ha a villák nyugalomban vannak, az ernyőn egy fényfolt látszik, mely a tükör forgatásánál egyenes vonalat ír le. Ha az egyik villát vonóval meghúzzuk, akkor az egyenes vonal egy hullámvonallá változik, melynek egyenlő kihajlásai vannak. Ha végre mindkét villát rezgésbe hozzuk, akkor az ernyőn a lebegések képe támad (12. idom).

Lassú hanglebegések, melyeket egész lefolyásukban követni lehet, nem sértik a hallást és azért néha alkalmazzák is a zenében. De ha egymást oly gyorsan követik, hogy megszámolni már nem tudjuk, akkor ép oly sértők és kiállhatatlanok a fülre, mint a lobogó láng a szemre. Helmholtz beható észleletei szerint legsértőbbek, ha körülbelől 33 lebegés esik egy másodpercze. Azontúl megint csökken azoknak kellemetlen benyomása és körülbelől 132 lebegésnél 1 mp. alatt a lebegések már észre nem vehetők. Egyszerű hangnál, hol az egyes hullámok lefolyása teljesen egyenlő, az egyes hullámok a fülre egyenletesen hatnak, még akkor is, ha a hang rezgési száma jóval kisebb a 132-nél. A lebegéseknél ellenben, hol a hang ereje folytonosan az ütések és a csend közt változik, a fülre való benyomás is szaggatott és e sértő szaggatást mint dissonantiát vesszük észre. Ezekre a tényekre alapította Helmboltz az összhangzat és széthangzat elméletét.

A zenében használt legjobb összhangzatok ezek: alaphang, nyolczad (octav), ötöd (quint), negyed (quart), nagy harmad (terez) és kis harmad, melyek természettanilag az által jellemeztetnek, hogy az alaphanghoz és egymáshoz egyszerű viszonyban állanak. Ezen egyszerű viszonyszámok a következők:

alaphang:	nyolczadhoz	= 1 : 2
"	: ötödhez	= 2 : 3
"	: negyedhez	= 3 : 4
"	: nagy harmadhoz	= 4 : 5
"	: kis harmadhoz	= 5 : 6

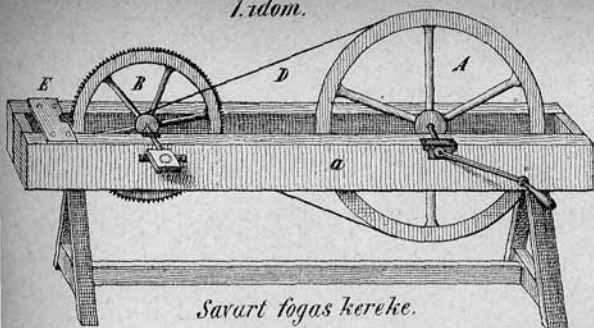
Itt van öt hangvilla, melyeknek rezgési számai ezen rendben következnek: 256, 320, 340, 384 és 512, tehát az olasz-francia jelölés szerint ut_3 alaphang, annak nagy tereze, quartja, quintje és octavaja. Hogy ezen összhangzatok toka az előbbi sorrend szerint következik, annak oka Helmholtz szerint a lökések számában kerekendő. Így péld. az alaphang és nyolczadnál a rezgések számának különbsége $512 - 256 = 256$, tehát sokkal nagyobb, hogy sem ütések lehessen észrevenni.

A quintnél a rezgési számok 384 és 256, a különbség pedig 128. Ez a szám csak kevéssel kisebb 132-nél, a hol az ütések elenyésznek, és azért ez a legjobb consonantia az octava után.

A quartnak számai 340 és 256; ezeknek különbsége 84 belől fekszik azon a határon, a hol a lökések elenyésznek, és ez oknál fogva ennek az összhangzatnak már észrevehető érdessége van.

Az érdesség még nagyobb a tercznál, a hol a két rezgési szám különbsége $320 - 256 = 64$.

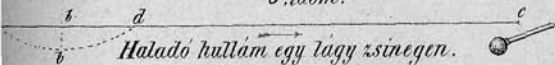
1.idom.



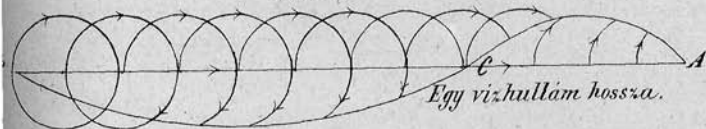
Savart fogas kereke.

6.idom.

Haladó hullám egy lággy zsinogen.

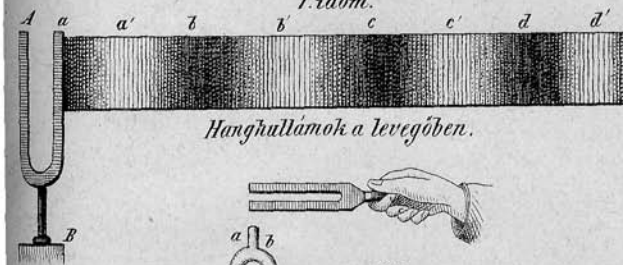


5.idom.



Egy vízhullám hossza.

7.idom.



Hanghullámok a levegőben.

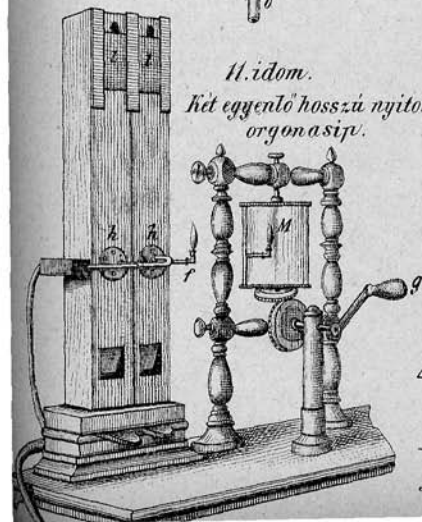


3.idom.

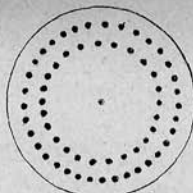
König interferenz-készüléke.

11.idom.

Két egyenlő hosszú nyitott orgonasíp.

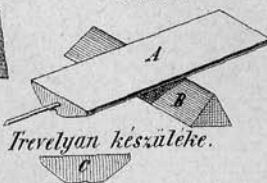


2.idom.



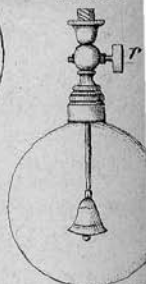
Seebeck szűrénje.

3.idom.



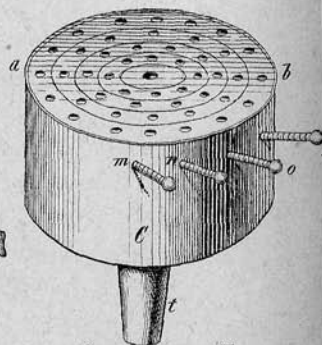
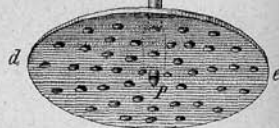
Freylyan készüléke.

4.idom.



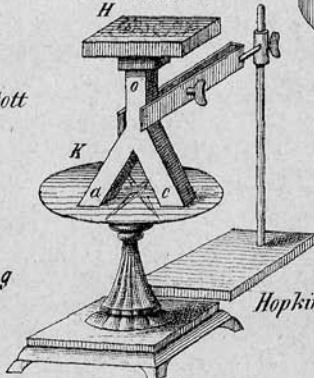
Csengettyű legűrtérben.

8.idom.



Cagniard de la Tour szűrénje.

10.idom.



Hopkins interferenz csőve.

12.idom.

Az amplitudo változása a phasisek megfigyeltése vagy állapota szerint.