

FORSØG OVER KLANGFIGURERNE

AF H. C. ØRSTED, DOCTOR I PHILOSOPHIEN OG
PROFESSOR I PHYSIKEN

(DET KONGELIGE DANSKE VIDENSKABERNES-SELSKABS SKRIVTER FOR AAR 1808. 5. DEELS 2 HEFTE. P. 31—64
KIØBENHAVN 1810)¹

De Figurer som fremkomme paa bestøvede Overflader, af elastiske Legemer, naar i dem opvækkes Toner, have allerede udbredt meget Lys over Lydens Theorie, men frembyde derhos saa mange hidindtil uforklarlige Særsyn, saa mange Spor af uopdagede Hemmeligheder, at Naturgrandskeren umueligt med Rolighed kan betragte dem. Jeg har ved en Række af mange hundrede Forsøg, stræbt, at komme noget nærmere paa Spor efter den indre Mechanismus, i disse mærkværdige Phænomener, og troer nu at have bragt mine Undersøgelser til det Punkt, at jeg tør vove at fremlægge andre Naturgrandskere dem til Prøvelse. Jeg troer med Billighed, at turde bede dem om, ikke at nøies med den blotte Giennemlæsning af de følgende Undersøgelser, men at de selv ville anstille de vigtigste Forsøg, hvorpaa jeg beraaber mig, en Begiæring, jeg saa meget mere tør haabe opfyldt, som Forsøgene hverken ere kostbare eller vanskelige.

Jeg sammenknytter denne Undersøgelse umiddelbart med de Opdagelser vi skyldte den skarpsindige *Chladni*, hvis Fortienester af Tonernes Physik har forskaffet ham en varig Plads i Naturvidenskabens Historie.

De sex første Figurer paa Side 13 forestiller nogle af de simpleste Klangfigurer, saaledes som *Chladni* selv har fremstillet dem i sin *Akustik*. Han frembringer disse paa Glasskiver, som han bestrøer med Sand eller stødt Marmor, hvorpaa han stryger dem med en Violinbue, saaledes at derved frembringes en Tone, hvilken da altid er ledsaget med en Figur. Forklaringen herover er denne:

Visse Steder af Tavlen er hvilende, medens de øvrige bevæge sig, Støvet kastes af de bevægede Steder hen paa de hvilende. De hvilende Steder, eller de saakaldte Svingningsknuder, ere altsaa dem som danne Klangfiguren. Understøtter man Tavlen i det

¹ [Findes tillige i »Journal für die Chemie, Physik und Mineralogie«. Herausgegeben von A. F. Gehlen. Bd. 8. P. 223—254. Berlin 1809].

midterste Punkt af hver af Sidelinierne, som i Fig. 1 ere betegnede med a , b , c og d , saa forblive de rette Linier imellem disse Punkter ad nemlig og bc i Hvile, hvilken Tone man end frembringer paa Tavlen. Stryges den nær ved Hjørnet e , saa fremkommer Fig. 1, stryger man derimod nærmere b end e , saa fremkommer Fig. 4. Man kan lade et af Punkterne, f. Eks. c , være uunderstøttet og Udfaldet bliver det samme, fordi den hvilende Linie bc allerede bestemmes ved b , og de to andre Punkter a og d . Er Tavlen (som i Figur 2) understøttet i Hjørnerne, og man stryger i Midten ved e , saa ere Diagonalerne ad og bc hvilende Linier; og danne Klangfiguren. Stryger man derimod nærmere c eller d , saa erholder man atter den fjerde Figur. Holder man Tavlen i Midten imellem to Fingre, saaledes at Kanten ingensteds rører Haanden, saa erholder man den første Figur, naar man stryger paa et Hjørne og den anden naar man stryger paa Midten. Heraf seer man hvad desuden er let at begribe, at ikke hele Tavlen kan svinge paa een Gang, naar den holdes i Midten. Man betragte kun den anden Figur. Naar denne stryges i e , saa bøies Kanten der stærkest frem og tilbage, og derimod mindre og mindre, jo nærmere man kommer Hjørnerne c og d hvor Svingningen kan ansees for Nul. Svingningen er altsaa her gandske den samme, som om Hjørnerne selv vare understøttede, ligesom ogsaa omvendt Midtpunktet er hvilende, naar Hjørnerne ere understøttede. Den samme Slutnings Maade lader sig let anvende paa de øvrige Figurer. Stryges Tavlen i Figur 1, i e , eller nær derved, saa maae den rette Linie imellem b og d sammenlignes med cd i Fig. 2, og paa samme Maade maae den rette Linie imellem b og d betragtes i Fig. 5. Kort alle disse, og de øvrige Figurer, forklares af det Grundexperiment, at naar en aliquot Deel af en spændt Stræng er understøttet i et af sine Endepunkter, og da anslaaes til Tone, saa zitter enhver af de andre aliquote Dele med, som om de ogsaa vare understøttede, dog saaledes i afvejlende Orden, at mellem hver svingende Deel bliver et Hvilepunkt, en Svingningsknude. Dette er omtrent den Forestilling man hidindtil har gjort sig om Klangfigurerne. Til denne er det at jeg vil knytte mine følgende Undersøgelser.

Det ligger i Naturens Uendelighed, at ingen Iagttagelse kan opdage alt det som ligger i et Forsøg. At forstaae et Forsøg gandske fuldkomment, vilde være det samme som at have fundet Nøglen til hele Naturen. Det kan altsaa heller ikke lægges Klangfigurerne

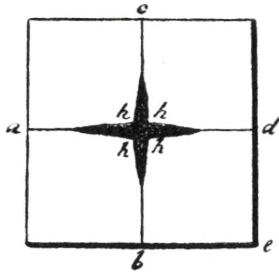


Fig. 1.

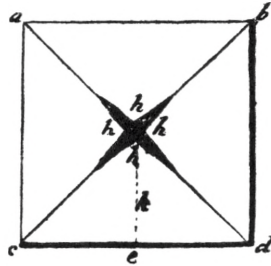


Fig. 2.

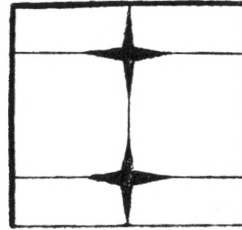


Fig. 3.

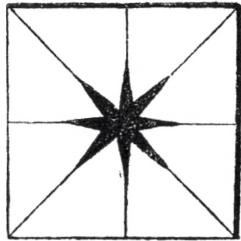


Fig. 4.

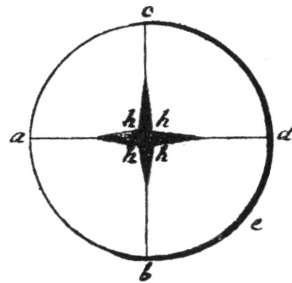


Fig. 5.

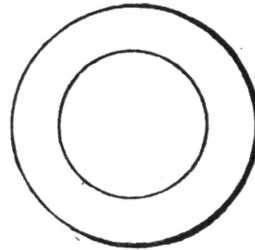


Fig. 6.

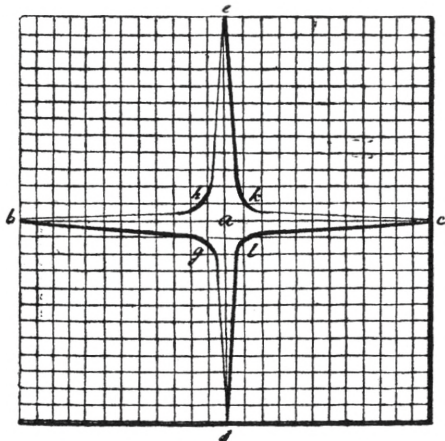


Fig. 7.

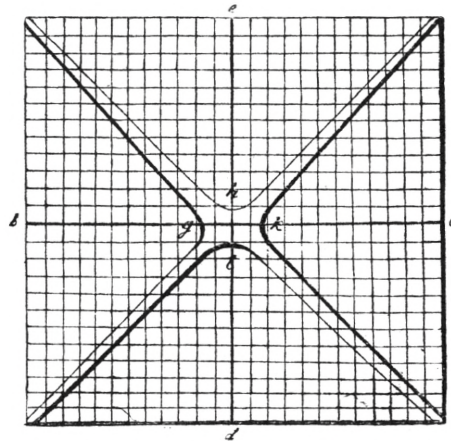


Fig. 8.

skarpsindige Opdager til Last, om han ikke har iagttaget alt det i sine Forsøg, som virkeligen ligger deri. Har ikke selv *Newton* i sine mesterlige Undersøgelser, angaaende de prismatiske Farver, overseet adskillige vigtige Særsyn, som ligeledes giennem et heelt Aarhundrede undgik hans Efterfølgeres Opmærksomhed, indtil *Hershels*¹ og *Ritters* Forsøg oplyste os derom. Jeg anmærker dette, af skyldig Opmærksomhed for en Mand, som Videnskaben har at takke for et saa betydelig Fremskridt, og haaber, efter en saadan Erklæring, desto friere at torde modsige eller berigtige min Forgiænger. Jeg tør dette saa meget mere, som her, i det Hele taget, langt mere handles om en Udvidelse end om en blot Berigtigelse.

Efter den Maade hvorpaa *Chladni* aftegner sine Figurer, hvoraf sees en troe Copie i de 6 første Figurer, skulde man troe at Figurerne 1 til 5 bestode af rette Linier som skiære hinanden. Dette er ikke Tilfældet i Virkeligheden; *ahb*, *ahc*, *chd*, *bhd* (Fig. 1, 2, 5) ere ikke, som det synes, Vinkler, men Hyperboler, som møde hinanden. De Vinkler, som sees i Fig. 3 og 4, ere ligeledes i Virkeligheden Hyperboler, som have modstaaende Toppunkter. Man seer disse Figurer aftegnede efter Virkeligheden i Figurerne 9—16.

For at fremstille disse Figurer i deres største Renhed, understøtter jeg ikke Tavlen i et af Skiæringens Punkterne, som *Chladni* pleier men i Kanterne. I Fig. 1 og 2 lægger jeg f. Ex. *a* paa Tommelfingeren, *d* paa Mellemfingeren og *b* paa den næst sidste Finger, hvorpaa jeg stryger ved *e*. Holder man Fingeren i Midtpunktet, saa seer man kun at Klanglinierne ere afbrudte, men man opdager ikke det sande Forhold. Selv i Figurer, hvor der findes flere Sammenstødspunkter, troer man dog at Størrelsen af den Flade, hvori Linierne mødes, kommer deraf at den corresponderende Flade man havde dæmpet var saa stor.

Jeg benytter mig i Almindelighed af Metalskiver i Stedet for Glas. Disse ere ikke udsatte for at synderbrydes, de kunne lættre erholdes regulære, og de vedligeholde længere Klangen end Glasskiverne. Paa en Metalskive kan man derfor erholde en meget skøn Figur, naar man strøer Sand paa Skiven efterat Tonen allerede er frembragt. Jeg finder ikke at Sandet er det tienligste Middel til at fremstille Klangfigurerne. Det har en betydelig Elasticitet og springer derfor i en Hast fra et Sted af den zittrende Tavle til et andet. Heraf kommer det, at man ved dette Middel

¹ [o: Herschel].

frembringer Figurerne med en Hastighed som var de fremkaldte ved en Tryllestav, hvilket vel forlyster Øjet, men ikke tillader Undersøgeren at iagttage Virkningens Natur. Jeg benytter mig derfor hellere til disse Forsøg af fiin Jernfilspaan, af Metalkalke, af Hexemeel o. s. v., alt efter det forskiellige Øiemed. Hver af disse Pulvere har sine eiendommelige Fordele. Hexemelet viser, som vi i det følgende skal faae at see, fuldkommenst enhver Deel af Phænomenet, baade ved at giøre Oscillationer kiendelige, som slet ikke antydes ved andre Pulvere, som ogsaa ved at vise dem saa langsomt, at Øiet beqvemt kan følge dem. Til hastige Forsøg derimod, og hvor man blot vil bestemme Totalsvingningernes Natur, ere de andre Pulvere at foretrække. Sandets Elasticitet giør det især skikket til de allerhastigste Forsøg, og frem for alt hvor man vil forlyste Øjet. Fiin Jernfilspaan giver meget regelmessigere Resultater. Pulveriseret Blye er af alle tungere Pulvere det fortrinligste, fordi det giver Linierne med en Skarphed som intet andet Pulver. Dets Tyngde og Mangel paa Elasticitet giør at det nøiagtig bliver liggende hvor det falder. Uagtet denne Fordeel har jeg dog ikke tit benyttet mig af dette Pulver, fordi jeg tydeligt kunde mærke, at jeg fik noget i Mund og Næse, hvilket kunde frembringe skadelige Følger.

Jeg vil begynde med at vise hvad man opdager ved Hielp af de grovere Pulver. Uagtet det grovere Støv hurtigere sættes i Bevægelse end det finere, saa danner Klangfiguren sig dog ikke ved et Strøg, med mindre dette skulde være overordentligt stærkt, og Skiven meget elastisk. I Fig. 9 seer man en saadan Klangfigur efter første eller andet Strøg. I den anden Figur seer man den derimod fuldendt. Man seer altsaa, at Hyperbolernes Toppunkter nærme sig hinanden mere og mere ved de gientagne Strøg, dog bringer man aldrig Buerne til gandske at forsvinde. I Fig. 11 seer man atter en begyndende Figur, i Fig. 12 derimod en fuldendt. Fig. 15 er atter en begyndende Figur, Fig. 16 en fuldendt. Fig. 13 og 14 ere i Begyndelsen alt for utydelige, og fremstilles derfor kun fuldendte. Et Øjekast viser let til hvilke af de *Chladniske* Tegninger paa Side 13 enhver af dem svarer.

De Klanglinier, som svare til Fig. 1, 2 og 5 har jeg i Særdeleshed nøie udmaalt. Jeg bruger dertil en kvadratisk Messingskive af 4 Tommers Sidelinie og af næsten en Linies Tykkelse. Ved Linier, parallele med Siderne, er den inddeelt i 1600 Quadrater. Naar Figurerne 9 og 10 frembringes derpaa, saa ere de Linier som dele

to modstaaende Sider i to lige Dele Asymptoter, og deres Over-
 skiærings Punkt, disses Begyndelse. Dette er forestillet i Fig. 7
 hvor *ab*, *ac*, *ad*, *ae*, ere Asymptoter til de ligesidede Hyperboler
bhe, *bgd*, *cke*, *cl d*. De Linier som staae lodrette paa Asymptoterne
 maale Afstanden mellem disse og de hyperboliske Linier. Vel an-
 give kun disses Afdelinger Afstandene i Linier; men med nogen
 Øvelse er det meget let, ved det blotte Øiemaal at bestemme halve
 og fjerdedeels Linier, ja vel endnu mindre Dele. Hvor Afstandene
 blive mindre end en Linie, kan vel Maalet ikke falde saa nøiagtigt
 ud, men der hvor dette finder Sted, komme Hyperbolens Been
 allerede den rette Linie saa nær, at man kan ansee dem parallele
 med Asymptoterne. Man finder i øvrigt overalt, hvor Maalet kan
 erholde den behørige Nøiagtighed, at de Linier som forestille Or-
 dinaterne staae i omvendt Forhold til Abscisserne, saaledes som
 Hyperbolens Natur medfører det. I Fig. 8 ere *bc* og *de* Hyperbo-
 lernes Axer, og de Linier som staae lodrette paa hver ere Ordina-
 ter for de tilhørende Hyperboler. Man kan altsaa let bestemme om
 Quadraterne af Ordinaaterne forholde sig som Producterne af Af-
 standene fra Hyperbolens Toppunkter. Figureerne 15 og 16 har jeg
 frembragt paa Glas, og derpaa udmaalt dem, ved at lægge Skiven
 over den inddeelte Metalplade. De øvrige har jeg undersøgt ved
 at lægge Hyperboler, som vare udskaarne i Papiir derover, og altid
 fundet den hyperboliske Form i Klanglinien. Dog maae jeg tilstaae
 at denne sidste Methode er mindre nøiagtig. Jeg agter derfor i
 nærværende Afhandling at holde mig til hine nøiere bestemte Fi-
 gurer; hvilke tillige udtrykke de meest enkelte Tilfælde, og lover i
 Fremtiden, at levere Undersøgelser over de mere sammensatte
 Forhold, hvilke naturligviis maae finde deres Forklaring af de
 mere enkelte.

Da jeg ønsker at disse Forsøg maatte vorde gientagne af Mange,
 saa vil jeg til den allerede temmelig udførlige Beskrivelse endnu
 føie nogle Bemærkninger. Støvlinierne dannes sielden saa fuld-
 stændigt i disse Forsøg, at man kan bestemme hvert et Punkt deri.
 Især hænder det meget ofte at lidt Støv er blevet klæbende paa
 Steder af Tavlen, hvor man ikke veed om man skal henføre det til
 Figuren eller ei. Ligeledes hænder det ofte, at der ikke er Støv nok
 paa ethvert Sted af Overfladen, saa der kommer afbrudte Steder i
 Figuren, man maae derfor rense Tavlen meget vel førend man be-
 strøer den. Toppunkterne af Hyperbolerne erholdes vanskeligt

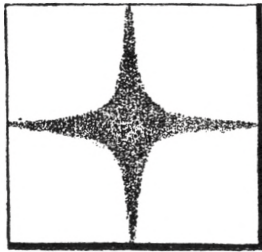


Fig. 9.

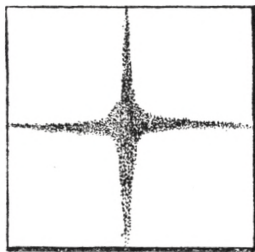


Fig. 10.

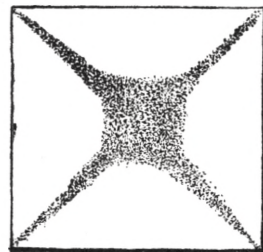


Fig. 11.

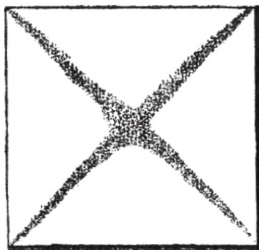


Fig. 12.

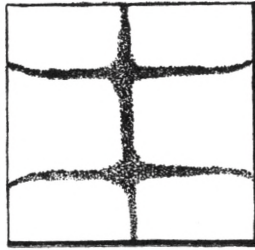


Fig. 13.

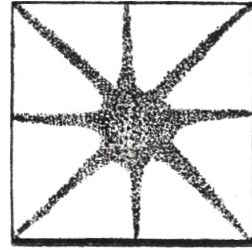


Fig. 14.

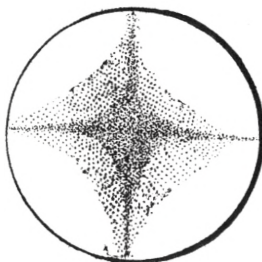


Fig. 15.



Fig. 16.

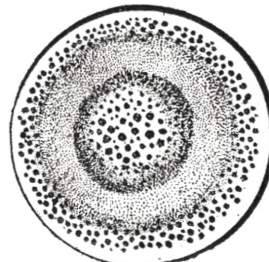


Fig. 17.

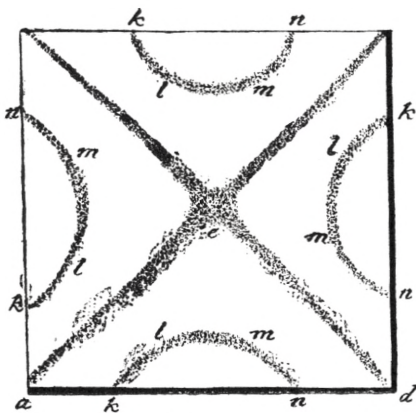


Fig. 18.



Fig. 19.

fuldstændige, naar Tavlen er jevnt bestrøet; men naar man bestrøer den noget tykkere i Midten saa opnaaer man bedre Hensigten. Da Metaltavlen ved sin Glands blænder, især da det er nødvendigt at oplyse den vel, for at bemærke Støvliniernes Grændser, saa kan man anvende følgende Kunstgreb: man bestøver Tavlen med Hexemeel efter at Figuren er frembragt ved et grovere Pulver, vender Pladen om og slaar sagte derpaa. Det grovere Pulver vil da falde af, og det finere Hexemeel vil blive tilbage. De blanke Metallinier fremvise altsaa klart, og med temmelig Skarphed, Klangfigurerne. Meget ofte viser kun den ene Klanglinie sig med fuldkommen skarpe Træk, men man kan da udmaale denne, og anvende det Opdagede paa den ligeoverfor staaende Deel, hvor man vil finde Maalet passende paa de Steder, hvor Undersøgelsen er muelig. Undertiden er det vanskeligt at bestemme Toppunktet, uagtet Figuren ellers er temmelig skarpt begrændset. Man gjør derfor bedst, før Undersøgelsen, at beregne Ordinatorerne for forskiellige Afstande mellem Toppunkterne, som kunde forekomme paa Tavlen. Man kan da let af nogle faa Ordinaters Størrelser og Afstande fra Toppunkterne bestemme, hvilken Afstanden mellem Toppunkterne er. Den blotte Mathematiker vil maaskee finde, det som jeg her har angivet for omstændeligt; men jeg tør forsikre at man i Praxis vil finde sig vel ved denne Methode, fordi den gjør Bemærkningerne over de ofte sløvtbegrændsede Figurer meget lettere.

Efter alle disse Bemærkninger troer jeg vel at turde skride til Forklaringen over Grundphænomenet, hvortil jeg vælger den Figur som fremstilles under Fig. 2. Da Punkterne a , b , c og d ere understøttede, saa ere og Linierne ad og cb hvilende, følgelig sættes kun et triangelformigt Rum, som chd , paa eengang i Bevægelse. Hvorledes denne Triangels Bevægelse gientager sig i de øvrige, skal endnu ikke her forklares. Naar cd nu stryges i e , saa bøjer den sig, og svinger, lig en anslaaet Stræng. Som denne Side bøjer sig saaledes bøjer sig hele Fladen chd . Jo nærmere Delene er Knudelinierne, jo mindre maae deres Svingningsbuer være, og i den største Nærhed ville de være saa svage, at de ei formaae at afkaste Støvet. Dersom alle med cd parallelle Dele, i Fladen chd , bøjedes ligemeget, saa vilde den derved frembragte Støvlinie overalt være lige breed; men da Svingningsbuerne maae forholde sig som Afstandene fra he , saa maae ogsaa Størrelsen af de Dele, som ikke kunne afkaste Støvet voxe i samme Grad, som Afstandene fra

h aftage. Det er: om de hvilende Linier maae danne sig en Støvflade, hvis ydre Grændsers Afstande fra disse Linier staae i omvendt Forhold til Afstandene fra Skiæringspunktet *h*. Støvfladernes Grændser ere altsaa Hyperboler, og de egentlige Knudelinier ere disses Asymptoter. Man kan ogsaa indsee det samme paa en anden, om mueligt, simplere Maade. Fladen *chd* bliver nemlig, ved at bøies, til en Kegleoverflade. Men den Spidsen *h* nærmeste Deel kan ikke bøies saa stærkt, at den kan afkaste Støvet; altsaa dannes kun den nederste Deel af Keglefladen, hvoraf *chd* er Giennemsnittet. Dette Giennemsnit maae efter Keglens Natur og Svingningsbuernes ringe Omfang være en Hyperbol.

I Almindelighed har jeg iagttaget, at de to Hyperboler, som dannes i en Figur som 8, ikke have lige Afstand imellem deres Toppunkter, men at Linien *gk* f. Ex. er længere end *hl*. Heraf kommer den tilsyneladende Irregularitet i de første Figurer paa Side 17, hvor dog Fig. 12 og 13 fremstiller den noget for stor. Denne Omstændighed synes at reise sig af en Ulighed i Fladen, thi paa samme Tavle forekommer denne Forskiel altid i samme Stilling, enten jeg stryger i *c* eller *d*.

Hidindtil have vi intet Hensyn taget paa en Deel af Svingningerne som nødvendig maae frembringe nogen Uregelmæssighed i Hyperbolens Form, omendskiøndt Indflydelsen heraf ikke mærkes paa de mindre Plader. Ligesom en elastisk Fieder, hvis ene Ende er befæstet, naar den anden Ende drages op eller ned, ikke blot svinger frem og tilbage om sit Bevægelsespunkt, men tillige bøier sig, saaledes maae ogsaa *chd* Fig. 2, bøie sig noget i Retningen *eh*. Det Punkt *k* i denne Linie, som i et Øjeblik er Stedet for den største Udhvelvning (Convexitet) vil i det næste Øjeblik være Stedet for den største Indhvelvning (Concavitet). Paa dette Sted vil altsaa opstaae en Vexelvirkning, som der vil sammendynge større Støvmasser. Disse sees tydelig ved *abc* og de tilsvarende Steder i Fig. 21, og desuden i enhver Figur som frembringes med et Pulver, som har nogle finere Dele, hvilke altid samles der. Denne Virkning forplanter sig imidlertid ikke tillige hen til de hvilende Linier; hvilket ligeledes kan sees i Fig. 21.

Paa kvadratiske Glasskiver, af 8 Tommers Sidelinie, viser denne Vexelvirkning sig stærkere, og danner en bestemt Figur, hvor, paa Plader af 4 Tommers Side, blot samledes en Støvhob. Dette sees paa Figur 18 hvor Linierne *klmn* forestille denne Figur. De have

megen Lighed med Ellipser; men ere gemenligen ved l eller m mere bøiede end denne krumme Linie. Dog har jeg fundet, at denne Uregelmæssighed ofte er meget liden. Jeg troer at den egentligen kommer deraf, at en saa stor Plade maae holdes af to Personer, medens den tredie stryger, hvilket ikke kan andet end give Anledning til nogen Ulighed. Naar man ikke holder paa alle fire Kanter, men har dæmpet de tre, saa er denne Ulighed stor nok til at frembringe meget betydelige Bøininger i Hyperbolernes Been, saaledes som de sees i Hyperbolen aed og de øvrige i Figur 18. Naar Tavlen holdes regelmæssigst bemerkes disse Krumninger, saavel som Uregelmæssighederne i de elliptiske Figurer mindst. Jeg har altsaa Aarsag til at troe, at de gandske ville forsvinde, naar Pladen kunde have fuldkommen eens heelt igiennem, og naar Understøtningen overalt var fuldkommen lige. Jeg agter til videre Forsøg at anskaffe mig en hertil passende Indretning, ved hvis Hielp jeg da ogsaa nærmere kan bestemme de elliptiske Figurers Natur, og afgjøre om de ere fuldkomne Ellipser eller ikke. Til den Tid vil jeg ogsaa tilbageholde Theorien om dette Forhold; thi vel er det let at see, at Figuren som frembringes ved denne Leilighed maae være Keglesnit; det er endog meget naturligt at disse kunne gaae giennem Kegleens Axe, og altsaa være Ellipser, men over disses Stilling forefalde endnu adskillige Betragtninger, som jeg ønsker ved Experiment at prøve, førend jeg forelægger dem offentlig. Paa den store Plade finder jeg desuden Anlægget til en ny Figur, som sikkert vil forekomme i en endnu større Flade.

Man kan tænke sig alle Keglesnittene frembragte ved Klagen. Dersom en Skive med en gandske fuldkommen Elasticitet kunde forene en Bøielighed saa stor, at ingen Modstand fandt Sted, saa vilde Støvlinierne i en saadan falde sammen med de absolut hvilende Linier, og altsaa danne Triangler. Enhver seer at dette Tilfælde blot er tænkeligt, at man kun i Virkeligheden erholder ufuldkomne Nærmelser hertil. Hyperbolen er det Snit som sædvanlig frembringes; men intet hindrer, at jo Snittet kunde gaae parallelt med den modsatte Side af Keglen, og saaledes danne en Parabol, eller skiære Axen lodret eller skraat, og derved frembringe en Cirkel eller Ellipse. Især kunne de sidste Tilfælde lettest indtræffe i de Figurer, som opstaae ved den ovenomhandlede Modvirkning. Paa meget store Skiver formoder jeg, at man vil finde alle Keglesnittene i forskiellig Afstand fra Midtpunktet.

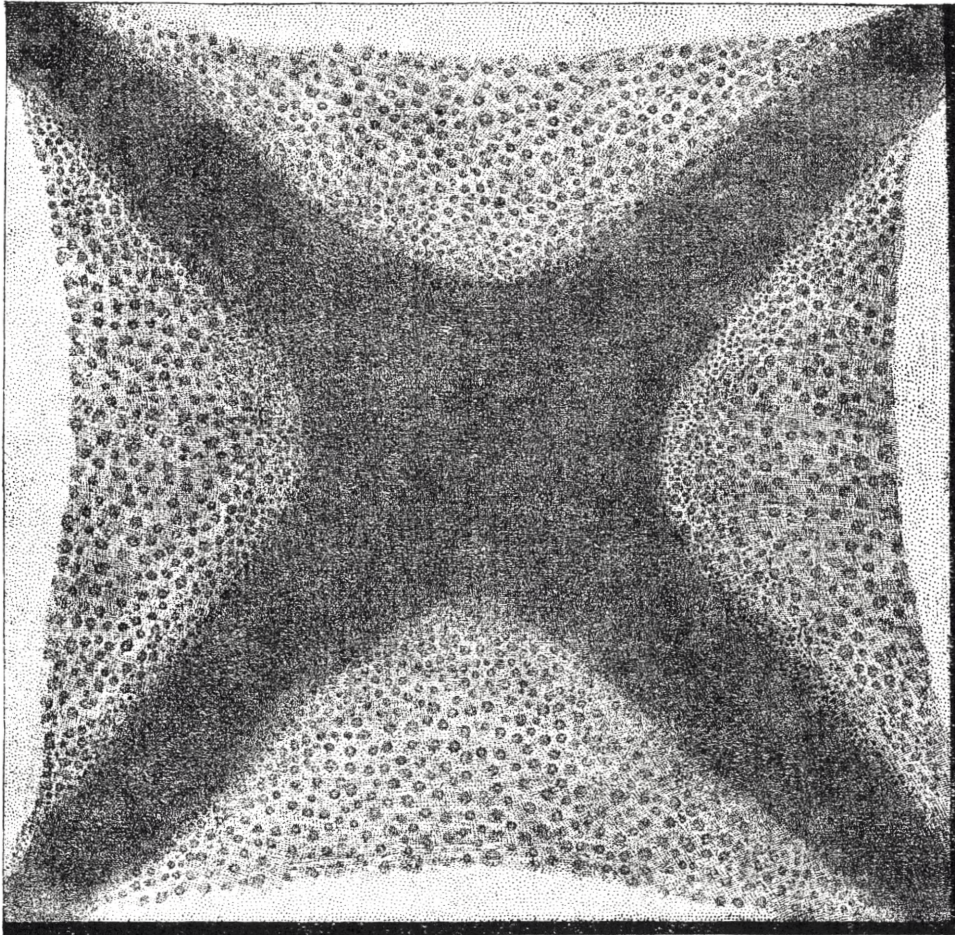


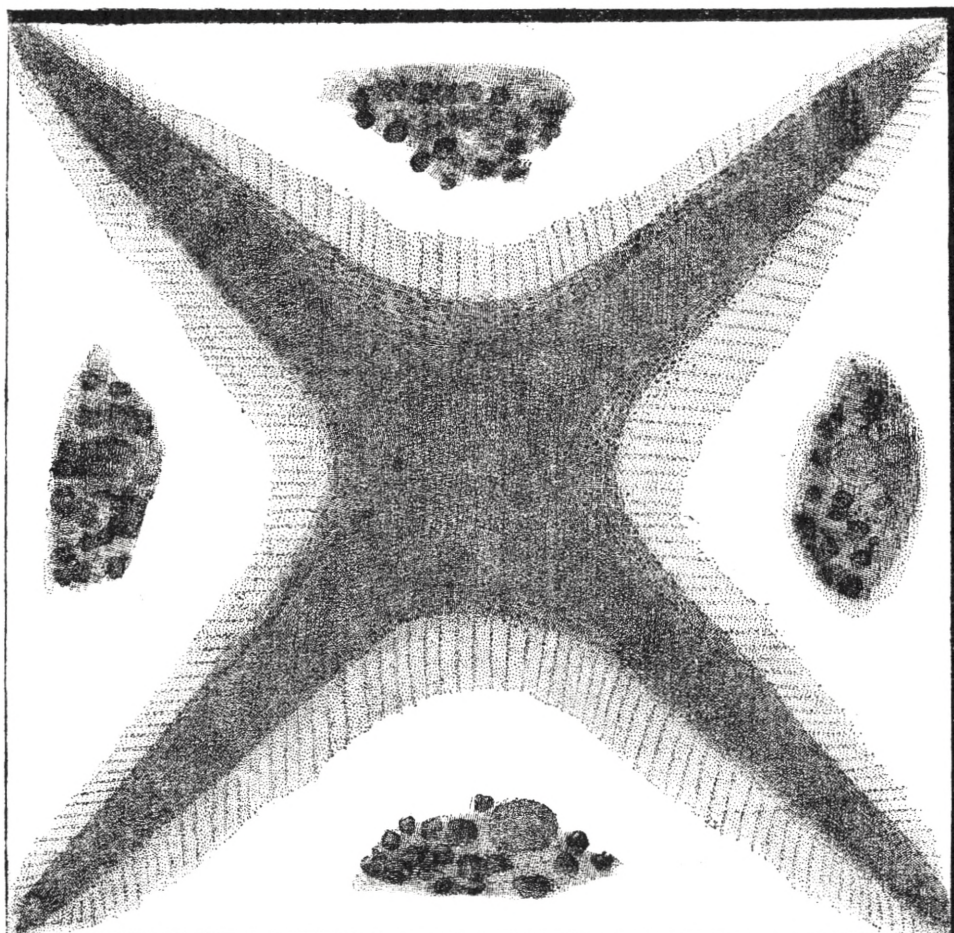
Fig. 20.

Saa vidt føre os Iagttagelser over Klangfigurerne frembragte ved tunge og grovere Pulvere; tager man derimod et saa fiint Støv som Hexemeel, saa opdages endnu en Mængde Phænomener, som før aldeles ikke viste sig. Ved det første Strøg opstaaer en Mængde smaae Ophøininger, som alle bevæge sig hen mod de hvilende Linier, ved hvert Strøg gaae de videre, indtil de danne en Figur af samme Omrids som det man erhoder ved de grovere Pulvere. Fig. 20 forestiller en saadan Figur efter første Strøg, og Fig. 21 viser samme fuldendt. Enhver seer let at de svare til Fig. 2 og Fig. 11 og 12. Det er tydeligt, at alle disse her frembragte Støvophøininger danne Hyperboler, hvis Toppunkter ved hvert Strøg nærme sig mere og mere, indtil deres Afstand endeligen ikke kommer til at udgiøre mere end $\frac{1}{8}$ eller $\frac{1}{10}$ af hele Tavlens Giennemsnit.

Førend jeg gaaer over til at vise alt hvad der ligger i disse Forsøg, er det først nødvendigt at undersøge de mindre Støvfigurers Natur.

Vel er det klart at de antyde mindre Svingninger, hvorpaa man før ikke har været opmærksom i de faste Legemer; men hermed vide vi endnu kun meget lidet om dem. De foregaaende Betragtninger have allerede viist, at den Handling, hvorved man frembringer Klangfigurerne, er langt fra at være saa enkelt, som den ved første Øiekast kunde synes. Man frembringer derved aabenbar en Bevægelse i flere forskellige Retninger, eller rigtigere, man virker paa alle Legemets Dimensioner i samme Tid. Jeg har desaarsag forsøgt Virkningen af mere enkelte Sammenstødningsmaader. Jeg tager en kvadratisk Plade af Glas eller Metal, bestøver den med Hexemeel, og holder den paa samme Maade som ved Frembringelsen af Klangfigurerne; derpaa tager jeg en Lineal, og slaar med dens skarpe Kant paa det midterste Punkt i en af Sidelinierne, saa stærkt jeg kan, og saaledes at Slaget falder gandske lodret paa Linien og gaaer parallel med Skivens Overflade. Herved samler Støvet sig i Linier, som ere parallelle med Stødet's Retning. I disse Linier bemærker man atter adskillige Ophøininger og Fordybninger. Slaar man sagte, saa giver Forsøget ikke samme Udfald, men danner uregelmæssig bølgede Linier, omtrent parallelle med den slagne Side. Samme Udfald giver Forsøget, naar man slaar en heel Kant paa een Gang med den jevne Side af Linealen, kun viser alt sig derved mere regelmæssigt.

Forklaringen over disse Forsøg er uden Tvivl følgende: I det første var Stødet kun rettet mod et Punkt, men da det ikke er muligt at meddele Legemet dette Stød i et virkeligt mathematisk Punkt, saa erhoder en vis endelig, skøndt meget liden Deel Stødet, hvilket, som enhver veed, ikke kan udbrede sig giennem det hele Legeme i et Øieblik. Paa denne Deels Sammentrykning maae, i Følge Elasticitetens Love, følge en Udvidelse, hvorved Nabodelene sammentrykkes, og derpaa ligeledes udvide sig, hvorved denne Bevægelse endelig meddeles giennem hele Legemet, og det i en Tid, som i Almindelighed er saa kort, at vi ei formaae at skielne dens Dele. Men i det alle Delene saaledes komme i Bevægelse, at enhver just maae udvide sig, naar Nabodelene sammentrækkes, saa hvile naturligviis de Dele, som ligge imellem to saadanne Bevægelser, og paa disse henkastes Støvet. I den Retning, hvori Stødet meddeles, er naturligviis Hastigheden størst, og desaarsag følge Afvexlingerne

Fig. 21¹.

desto snarere paa hverandre, saa at man ikke bemærker saa store Mellemrum mellem dem som mellem de til Siderne gaende. Derfor synes Støvet ordnet i Linier. At man ved at slaae paa den hele Sidelinie af Qvadratskiven erhoder Bølge-Linier, som ere parallelle med den slagne Side, behøver nu neppe nogen videre Oplysning. Kun at Linierne ikke ere lige, kunde sætte os i Forundring, naar vi ikke vidste at Legemernes Kanter ere ujevne. Jeg maae overhovedet tilstaae, at jeg ikke engang har søgt at forskaffe mig Skiver med fuldkommen jevne Sidelinier, eller fuldkommen jevne Linealer til at slaae med, i disse Forsøg. Den Omstændighed, at man, ved at slaae temmeligt sagte paa et Sted af Skivens Rand, erholdt det

¹ [Ved den nederste isolerede Støvhob mangler Bogstaverne *abc*. Derimod findes de i den tyske Afhandling, nævnt S. 11.]

samme Udfald, som naar man slog paa en heel Rand, lader sig let forstaae, naar man tager i Betragtning, at Bevægelsen da er i Stand til at udbrede sig til hele Kanten, saaledes at den uden mærkelig Feil kan ansees for at have faaet en eneste Bevægelse, hvormed den da virker paa alle de øvrige Dele. Ligger ikke Stødets Retning i den bestøvede Overflade, men falder, det være sig enten lodret eller skiævt derpaa, saa erhoder man lutter smaae Ophøininger, som ikke mere ere fordeelte i Linier. Det er aabenbart, at her, til de før omtalte Bevægelser, endnu kommer en nye, nemlig en zittrende Bevægelse, i Retningen op og ned ad. Det er vel i Almindelighed klart, at disse Ophøininger maae opkomme ved Foreeningen af den op- og nedgaaende zittrende Bevægelse, med den som foraarsager Støvlinierne, men den bestemtere Forklaring herover, tiltroer jeg mig ikke her at give.

Det er ligegyldigt, naar man vil frembringe den her omtalte Bevægelse, enten man slaaer paa Kanten af Glasset, eller man slaaer paa et andet Sted af Overfladen; man erhoder de samme Støvhøie, og i enhver af disse synes Støvet at være i en bølgende Bevægelse. Det fremlyser tydeligen, at det største Virkningspunkt er i Midtpunktet af enhver af disse Ophøiningers Grundflade. Det er ogsaa i sig selv klart, at naar man slaaer paa et Punkt af en Overflade, saa vil dette Punkt, som bliver Midtpunktet for den fremkommende Støvsamling, erhode den største Bevægelse, og saaledes i alle de tilsvarende Punkter.

Interessant er det at bemærke de tre forskellige physiske Grader, der gives i den Lyd, som frembringes af en elastisk Skive. Den Lyd som frembringes, naar man blot slaaer paa en liden Deel af Fladens Kant, er intet uden et dump Brag, omtrent som naar man slaaer paa en Blok med en Hammer. Den Lyd, som erhodes naar Qvadratskivens hele Kant slaaes, er en Klappren. Den Lyd derimod som frembringes, naar man slaaer paa Overfladen selv, er en egentlig Klang. Naar altsaa en Klang skal frembringes, saa maae Legemets Dele i alle Dimensioner virke i Samfund. Herved har man dog endnu ingen Tone. Denne frembringes kun da, naar de mindre Zittringer ordne sig til et symmetrisk Hele. Dette, skeer, naar man holder Skiven, som oven beskrevet, og slaaer paa Overfladen ved Midtpunktet i en af Kanterne. Herved frembringes da ogsaa en Klangfigur, skiøndt ikke af saa regelmæssig Skiønhed, som naar Kanten stryges med en Bue. Vi see altsaa, at Legemernes meest

fuldendte og i sig harmoniske Bevægelse er den, som ogsaa igiennem Øret frembringer det dybeste Indtryk paa vor indvortes Skiønheds Sands. Herved troer jeg at den første physiske Definition, paa de forskjellige Lydarter, at være given. Ved Hielp af disse Bemærkninger, kunne vi bringe mere indvortes Sammenhæng og Enhed i Læren om Lydens Frembringelse.

Man har, som bekiendt, i lang Tid været enig om, at Lyden i Luften frembringes ved en Mængde af smaae Sammenpresninger og Udvidelser, som med en overordentlig Hastighed følge hinanden. I de flydende Legemer fandt man lignende, og maatte altsaa ogsaa der erkiende samme Naturens Fremgangsmaade, naar man ikke, til Gunst for en Fordom, vilde tillægge iblandet Luft denne Virkning. I de faste Legemer derimod synes det, at ingen, med Bestemthed, har tænkt sig samme Mechanismus. Nu ligger den os da for Øjnene i et Experiment, og jeg haaber, at det som vi der opdage endog skulde udbrede nyt Lys over Lydbølgerne i Luften selv, men jeg tillader mig, at forbeholde disse Undersøgelser for en anden Afhandling. Herved hæves nu tillige en Strid mellem nogle ældre og nyere Physikere. Hine antog, at Lyden som opvækkes i de faste Legemer, foraarsagedes af de mindste Deles Svingninger, disse mene, at alt kommer an paa visse Hovedafdelingers hele Svingning. Ved *Chladnis* Forsøg blev det vist, at hine, som tillagde disse mindste Deles Svingninger alt, have været eensidige; ved disse nye Forsøg vises, at de som tillægge Hovedsvingningerne Alt, ligeledes gaae for vidt. Lyden er Foreningen af begge Svingningsarter. Selv en spændt Stræng, maae foruden sine Hovedsvingninger have disse underordnede, som jeg vil kalde Undersvingninger. Man kan ikke tvivle herom, naar man blot betænker, at den Deel, som i en given Tid faaer et Stød, mueligen paa samme Tid kan meddele det til andre. Heraf følger, at man maae betragte den stødte Deel som understøttet af de omliggende Dele, saa at der maae fremkomme saa mange smaae Svingningsknuder, som en saadan svingende Underdeel indeholdes i hele Strængen. Erfaringen bekræfter ogsaa denne Paastand; thi naar man lægger en nogenlunde tyk Metaltraad saaledes, at dens Endepunkter ere understøttede, bestøver den med Hexemeel, og slaaer derefter hastigt men ikke voldsomt derpaa, saa danner sig en Mængde af smaae Støvophøininger, hvilke ere saaledes beskafne, at man tydeligen kan bemærke Afvexlinger af mere og mindre be-

vægede Dele deri. Man kan ogsaa i Stedet for en Metaltraad tage en Pibestilk.

Herved er jeg bleven foranlediget til, nærmere at undersøge det bekiendte Experiment, hvori en Pibestilk som hænger i to Haar slaaes i Stykker uden at disse sønderrives med. Den Hastighed, hvormed Slaget falder, giver Anledning til at formode, at deri maatte findes adskillige Svingningsknuder, følgelig ogsaa Punkter, hvori Svingningen er paa sit Maximum. I saadanne Punkter maae nu Pibestilken som en skiør Materie springe. Hermed stemmer Erfaring overeens, thi en Pibestilk, som sønderslaaes med den behørigte Hastighed, springer altid i mere end to Stykker. De Punkter som hvile paa Haaret blive i dette Tilfælde dæmpede Punkter, og desaarsag kan Haaret ikke gaae i Stykker. Derimod er det falsk, naar man troer at Haaret slet ikke modtager nogen Bevægelse. Jeg har anstillet Forsøget saaledes, at to Personer holdt Haaret, medens jeg overslog Pibestilken, og altid følte de derved et Ryk i Haanden, skiøndt Haaret forblev heelt.

Efter denne temmelig vidtløftige Digression, vender jeg tilbage til Forsøgene paa Qvadratskiven. Det er klart, at ethvert Strøg med Violinbuen maae frembringe en Bølgebevægelse i alle Retninger; og disse Lydbølger er det vi see i de her omtalte Forsøg. I hver af disse smaae Støvbølger seer man en indvortes Bevægelse, fra Midtpunktet ud ad. Man bemærker ogsaa tydeligen en Art af Rotation deri. Paa større Skiver bemærkes alt dette bedre end paa smaae. Grovere og tungere Støvdele kastes ud af Støvbølgerne, hvorved man end videre overbevises om en centrifugal Krafts Tilværelse deri. Bølgerne vorde mindre, jo nærmere man kommer Midtpunktet. Tilsidst blive de saa smaae, at man ikke formaaer at skielne dem fra Støvkornene selv, og her maae altsaa Bevægelsen ophøre, efterdi ethvert Støvgran kommer til at standse mellem modsat svingende Punkter. Ogsaa i de med Kanten parallele Linier sees Lydbølgernes Størrelse at aftage ved Svingningsbuerne. Jeg kan ikke holde mig fra den Tanke at Lydbølgerne, i Følge heraf, ogsaa maae følge paa hinanden med større Hastighed i disse Dele. Dette stemmer ogsaa fuldkomment med Theorien. Strængens Svingninger maae sammenlignes med Pendulets, og følgelig har, i en spændt Stræng, de Dele, som ere Befæstningspunkterne, nærmere en Tendents til hastigere Svingninger end de længere fraliggende. Herved forklares Lydbølgernes Formindskning i den med Kanten

parallele Retning. I den paa samme lodrette Linie aftager ligeledes Lydbølgernes Størrelse. Forklaringen er her ikke vanskelig. Man kan forestille sig Tavlen sammensat af lutter Strænge parallele med en af Sidelinierne. I det triangelformige Rum *chd* (Fig. 2) aftager disse Strænges Længde, som Afstandene fra Sidelinierne. Hastigheden i deres Svingninger maae altsaa tiltage i samme Grad, efter den Lov, at Hastighederne, hvormed Strængene svinge, forholde sig omvendt som disses Længder. Den indre Bevægelse voxer altsaa i Intensitet som den ydre aftager i Omfang. I de hvilende Dele hersker altsaa en overordentlig stærk indvortes Bevægelse, som fortsætter sig ud over den anden Side, hvor den aftager, og forvandler sig til udvortes Svingninger, efter de samme Love, hvorefter den først dannedes af saadanne.

Herved haaber jeg at have gjort det begribeligt, hvorledes Bevægelsen kan forplante sig ud over de hvilende Punkter, hvilket man uden dette neppe kunde gjøre klart.

Det torde vel ogsaa være mueligt heraf at forklare hvorledes en Stræng eller Plade, efterat have givet Hovedtonen, i Efterklangen giver en stigende Række af andre vel mindre hørbare, men høiere Toner. I Begyndelsen overdøves de høiere Toner af de lavere, som har en større Svingningsbue. Efterhaanden bliver den større Svingning svagere, men de mindre beholde endnu deres Zitringer, fordi de vare hæftigere. Saaledes trænger lidt efter lidt en høiere Tone frem for Øret, skjøndt altid med mindre Svingningsbuer, altsaa mindre hørbare.

At herved Strængen efterhaanden inddeles i nye Hovedafdelinger, er begribeligt. Jeg forbeholder denne Undersøgelse for Fremtiden, dersom ikke en mere Musikkyndig end jeg vil tage sig af den.

Man kan endnu gjøre Lydens Mechanismus mere kiendelig ved følgende Experiment. Man lægge paa den ene Rand af den Quadratiske Skive, en Række af smaae Dynger af Hexemeel, og frembringe derpaa en Tone. Man vil strax faae at see, hvorledes disse Støvdynge samle sig i smaae Høie, hvilke bevæge sig i krumme Linier, hvis Convexitet vender sig mod Strøgets Retningslinie, hen mod de Steder hvor Klangfiguren skal dannes. Lægger man Støvet paa det Sted, som i Fig. 21 er betegnet med *abc*, saa kastes de derfra baade frem, og tilbage mod Kanten.

Begge disse Forsøg findes afbildede under eet i Fig. 19. Den nederste Deel af Figuren fremstiller det første, den øverste derimod

det sidste. Man seer let af disse Retningslinier, at Tavlen maae være vel overstrøet med Støv, især mod Midten, naar Toppene af Hyperbolerne skulle uddannes. Man vil ogsaa i denne Figur see, skiøndt ikke saa tydeligt som i Virkeligheden, at Lydbølgerne komme hinanden desto nærmere, jo nærmere de komme Knudelinierne. Man seer ligeledes, at de i samme Grad vorde mindre.

Det samme som bemærkes i det her omtalte vidtløftigen beskrevne og afvexlede Forsøg, viser sig ogsaa, med Modificationer, som let forudsees, i alle andre Forsøg med Klangfigurerne. Her at give flere Afbildninger, vilde altsaa være overflødigt, og det saa meget mere som alt dog tydeligere sees i Virkeligheden. Kun paa det Forsøg, hvorved *Chladni* frembringer en Cirkel paa en rund Skive, vil jeg endnu gjøre opmærksom. Den *Chladniske* Afbildning sees Fig. 6; den med Hexemeel frembragte sees Fig. 17. For at anstille dette Forsøg holder man Skiven et Sted nær ved Peripherien, og stryger derpaa Kanten lige for Fingeren. Man seer i min Afbildning og endnu bedre i Forsøget selv, hvorledes Støvet fra begge Sider bevæger sig hen mod dette Punkt, og egentlig danner en dobbelt Kreds, som endeligen falder sammen til een. Stryger man 45 Grader fra dette Sted, saa erholder man Fig. 16. Stryger man noget nærmere Holdningspunktet, saa erholder man 6, 8, 12 o. s. v. Hyperboler altid desto flere jo nærmere man kommer det. Toppunkterne af disse Hyperboler ligge alle omtrent lige langt fra Midtpunktet, og ere desto længere fra hinanden jo flere der ere. Naar man altsaa stryger lige for Fingeren, maae de danne en Kreds. Denne Overgang sees særdeles tydelig i nærværende Figur, fordi de mangfoldige underordnede Svingningsknuder endnu ere blevne tilbage. Dog er det vel at mærke, at i det Strøget gaaer over til Cirkelfrembringelsen, sættes ogsaa Midtpunktet med i Bevægelse, og hæver sig og synker vexlende. Den indre Deel af Skiven danner derved uden al Tvivl et Kugelsegment, hvoraf den frembragte Cirkel er Omkredsen.

Vi have nu seet det væsentligste i den mekaniske Virksomhed, som Lydfrembringelsen medfører. Der gives endnu en anden Art af Virkning i disse Forsøg, hvilken jeg her vil stræbe at fremstille og forklare. Hovedsagen bestaaer deri, at Støvet hænger fastere ved Pladen i Klangfigurerne end andensteds. Undersøgelsen herover har jeg gientaget langt oftere end man ellers pleier at holde fornødent, for at overbevise sig om Rigtigheden af et Forsøg, og

altid har jeg faaet samme Udfald. Ikke blot Hexemelet men endog Sand viser denne Vedhængen. Metalfilspaaner derimod vise denne Egenskab i meget ringe Grad. For at finde dette Særsyn behøver man blot at vende Pladen, hvorpaa man har frembragt Figuren, om, saaledes at Støvsiden vender ned ad, og derpaa slaee bag paa den med den flade Haand, dog saaledes at ingen Tone frembringes. Naar man nu vender Skiven om, saa seer man, at Støvet er faldet af den hele imellem Støvlinierne indsluttede Plads, saa at man seer et Stierneformigt Rum i Midten næsten gandske blottet for Støv. Ligeledes falder Støvet af alle de Steder paa Pladen, hvor det ikke ved Klangen er blevet henkastet. En fiin Støvhinde, i alle sine Dele Klangfigurens Omrids lig, bedækker altsaa Tavlen, efterat man har bortslaaet det som let lader sig afslaae.

Man kan bruge denne Egenskab til at forskaffe sig Aftryk af Klangfigurerne. Man overdrager nemlig et Stykke sort Papiir med Gummi Vand, og naar dette er saa vidt tørret, at det endnu er klæbrigt, lægge man Pladen, hvoraf man har bortslaaet det overflødige Støv, derpaa. Naar man har presset det vel tager man Pladen af, og klæber det, medens det endnu er fugtigt, paa Glas, saa kan man være sikker paa bestandigen at bevare et saadant Aftryk, hvilket, naar det er lykket vel, er nøiagtigere end den bedste Tegning.

Det vil lettelig falde enhver ind at forklare denne Vedhængen mekanisk. Man vil ved første Øjekast, forestille sig, at Støvet lettest maae falde af, der hvor det meest har sammendynget sig; men denne Mening vilde ikke stemme med Forsøgene. Naar man har gjort Forsøgene med Sand som har været meget tyndt paastrøet, saa hæfter det næsten alt ved Klanglinien, og det med en Fasthed, som ikke kan andet end opvække Opmærksomhed. Naar man har foretaget Forsøget med Hexemeel, og fortsætter Strygningen, indtil Klangfiguren er kommen inden meget snævre Grændser, saa har Støvet ogsaa udbredt sig over de hvilende Linier, efterdi det saa stærkt var blevet opdynget ved deres Kant. Naar man nu slaer dette af, saa blottes de hvilende Linier gandske for Støv, medens de egentlige Støvlinier beholde det meste af deres tilbage. Her er det rigtig nok Tilfældet, at Støvet falder af de Steder som ere stærkest belagte dermed; men naar man forsøger at slaee Støvet af en saadan Figur, strax efter første Strøg, da det indsluttede Rum i Klangfiguren aldeles ikke er belagt med tykkere Støv, end før Strøget, falder Støvet dog meget fuldkomnere af det indsluttede Rum

end af Støvlinierne. Her strækker altsaa heller ikke hin mekaniske Forklaring til.

Denne Støvets Vedhængen synes altsaa at røbe en electrisk Virkning, som den der kunde frembringe de her omtalte Særsyn, med Tiltrækninger og Frastødninger. Den naturligste Tanke er den, at Støvet, hvilket vi af Erfaringen vide vorder electrisk ved at udrystes, hæfter sig fastere til de Steder, som ved Zittringerne erholde den modsatte Art af Electricitet, og derimod kommer til at ligge løsere paa de Steder, som erholde den af samme Art. At Skiven ved den indvortes Zittring erholder Electricitet, kan ikke forundre os, da enhver Gnidning, ethvert Stød, o. s. v. sætte Legemerne i electrisk Virksomhed. Men dersom denne Forestillingsmaade var rigtig, saa maatte saadanne Støvarter, som ved Udrystningen vorde positiv electriske, hænge ved de Steder, som mindst holdt fast paa de negativ electriske Støvarter; men dette er ikke Tilfældet. Det udrystede Støvs Electricitet har ingen Indflydelse paa Klangfiguren. Videre er det vel at mærke, at den samme Art af Vedhængen ogsaa finder Sted paa Metalplader, selv paa uisolerede. De paa de strøgne Plader forefundne Adhæsionsforandringer kunne altsaa neppe tilskrives en Electricitet, som vi opdage ved Electrometret.

Uagtet alt dette, behøve vi dog ikke gandske at forkaste Tanken om electrisk Virkning i disse Forsøg. Ved de Undersøgelser over de finere Electricitetsgrader, hvilke de nyere Tider have skiænket os, vide vi, at meget svage Electriciteter ingen saadan Isolation behøve, og dog ved deres Qvantitet kunne virke betydeligt. En saadan Electricitet er det uden Tvivl som opvækkes ved Tonefrembringelsen. Det er en bekiendt Erfaring, at naar to Legemer af samme Art rives mellem hinanden, saaledes at det ene lider en stærkere Virkning end det andet, saa erholder det stærkest revne, negativ Electricitet, det svagere revne derimod positiv. Saaledes synes det ogsaa her rimeligt, at de Deelee, hvor de svageste indvortes Zittringer have fundet Sted, maae være blevne positiv electriske, de derimod, hvor de heftigste fandt Sted, maae have erholdt negativ Electricitet. Det er med andre Ord, de Deele, som have havt de største udvortes Svingninger, hvorfra altsaa Støvet blev bortkastet, ere blevne positive i Forhold mod Knudelinierne, som ere blevne negative. Jeg forestiller mig videre, at det Støv, som ligger paa ethvert Sted, deeltager, under Svingningerne, i Electriciteten af det Sted, hvorpaa det ligger.

Naar altsaa Støvet kastes fra et af de Steder, som har en betydelig Svingningsbue, saa modtager det derfra en svag positiv Electricitet, hvorved det kommer til at hæfte mere ved de negative Dele, i Nærheden af de hvilende Linier. Paa de egentligen hvilende Steder faaer Støvet samme Electricitet som disse have, men da det ikke afkastes, saa forbliver det i Berøring med Dele, som have samme Electricitet som det selv, hvoraf en formindsket Adhæsion nødvendig maae følge. Den samme Modsætning, som finder Sted med Hensyn paa hele Klangfiguren og hele Tavlen, finder ogsaa Sted mellem de underordnede Lydbølger og enkelte Dele af Tavlen. Omkredsen af enhver af de smaae Støvophøininger er det samme for en lille Deel af Pladen, hvad de store Støvlinier ere for hele Pladen. Adhæsionen behøver heller ikke der at være mindre, thi er end den electricke Modsætning der mindre, saa har Støvet heller ikke en saa lang Vei, at giennemløbe, og taber følgelig en saa godt som intet af sin Electricitet paa Veien.

De Undersøgelser jeg i Korthed her har fremsat, tillade en meget vidtløftigere Anvendelse end blot i Læren om Lyden. Ethvert Stød frembringer en zittrende Bevægelse i Legemerne, og denne udbreder sig deri, efter samme Love, som ved Lydens Frembringelse, eller meget mere, ethvert Stød, som ikke er alt for svagt, frembringer en Lyd, og selv det svageste vilde frembringe en saadan, naar Høreredskaberne havde en større Fiinhed. Vel gives der Legemer af en saa ringe Elasticitet, at Zittringerne deri maae være overordentlig svage; men saa lidet som der gives et absolut uelastisk Legeme, saa lidet gives der noget, hvori Zittringerne aldeles ikke fandt Sted. Jeg troer derfor at man, paa samme Vei, hvorpaa vi have naaet Kundskab om Klangfigurerne, ogsaa maatte være i Stand til at finde Oplysning om Legemernes Forhold ved Bevægelsens indre Forplantning, og om dennes Forhold til Elasticiteten. *Chladni* har allerede heldigen anvendt Longitudinalsvingningerne til Bestemmelse af Legemers Elasticitet. Jeg troer, at adskillige af de her anførte Forsøg ville allerede bidrage noget til Bestemmelsen af Stødets indre Mechanismus; men sikkert er endnu det meste tilbage. Imidlertid tør man haabe, at Udviklingen af dette vigtige Capitel af Physiken vil gaae frem med større Skridt, naar man først med Klarhed indseer at Læren om Lyden, og Læren om den indre Bevægelse, er et og det samme.

Mærkværdigt er det ogsaa, i Klanglæren at see, hvorledes den

ydre Bevægelse gaaer over til den indre. Med den indre Bevægelse, som vi blot ved Slutninger kunde opdage, men ikke med Sandserne bemærke, syntes en stærkere electricisk Virkning forbunden. Tydeligere, end Experimentet kunde vise os det, maatte vi allerede af Tingens Natur kunne indsee, at der under saadanne Forhold maatte frembringes Electricitet, saa vist som Rivningen frembringer denne Virkning. Skulde det altsaa ikke være mueligt, at Totalbevægelsen, forvandlet i en giennemtrængende Deelbevægelse, tillige gik over fra en blot mechanic Bevegelse til en Kraftopvækkelser? (At jeg ikke tager dette Spørgsmaal i den Betydning, som den, hvori det maatte være taget for 20 Aar siden, haaber jeg at turde forudsætte). Mig er Tanken gandske klar, og fejler jeg ikke, maae enhver, som forstaaer noget derved, finde den saaledes.

Af Electricitetsfrembringelsen ved Lyden lader sig uddrage adskillige vigtige Følger for Hørelsens Theorie. Jeg benytter mig herved af adskillige fortræffelige Bemærkninger, som *Ritter*, (han har, paa en anden Vei, fundet en lignende Tanke) i Anledning af den første Notits om nogle af mine her foredragne Opdagelser bekiendtgjorde i *Voigts Magazin für das neuste aus der Naturkunde* 9ter Band S. 33 o. f. Han bemærker, at naar en Stræng bøies, og derved udvides mere paa den ene Side end paa den anden, saa maae den ene Side faae en større Bestræbelse til at vorde positiv, den anden til at vorde negativ electricisk. Ved hver Svingning, hvorved den Deel, som før var indhvelvet, nu vorder udhvelvet og omvendt, forvexle Delene deres Tilstand. Ligesaadan gaaer det med Luften. Den Sammenpresning, og derpaa følgende Udvidelse, som finder Sted i enhver Lydbølge, giver en lignende electricisk Afvexling. En saadan Afvexling af electricke Tilstande maae ogsaa finde Sted i Øret. Men enhver Overgang fra en electricisk Tilstand til en anden, giver et Stød, dette være nu nok saa svagt. Ved enhver Lyd følge en Mængde saadanne Stød paa hinanden. Hver af de foregaaende Tilstande forbereder Organet til en større Følsomhed for den efterfølgende; thi vi have lært af Erfaring, at en Deel af Legemet, som har været i den positiv electricke Tilstand, derved er bleven mere følsom for Indvirkningen af den negative Electricitet end forhen, og omvendt. Den hyppige Afvexling forøger endnu Ørets Følsomhed. Man seer deraf, at den Mængde af Electricitet, som udvikles ved et Stød, forenet i en Ladningsflaske, umuelig kunde frembringe den Virkning, som denne Række af

smaae Afvexlinger thi disse, skiøndt de hver for sig intet udrette, danne, naar de følge hinanden i saa smaae Tidsrum, at hver for sig ikke kan mærkes, et Heelt, og fornemmes som saadant. Jo hastigere de følge paa hinanden, jo fuldkomnere Continuum danne de. Ligesom den Ildvei, en omsvinget Brand beskriver, desto fuldkomnere udgjør en uafbrudt Linie, jo hastigere Svingningen gaaer for sig, saaledes erhoder ogsaa Tonen desto mere Gedigenhed, Eenhed og Individualitet, jo nærmere dens Elementer rykke mod hinanden. Jo mindre alt dette finder Sted, jo mere almindelig, ubestemtere, opløst, ligesom dybere, er Tonen. Denne drager Siælen ned, hiin op til sig. Meget lod sig her sige om Brugen af høiere og dybere Toner i Livet; hvorledes Sorg og Fryd, hver har sine egne, den første i Mol den anden i Dur, medens det Høje, langt over begge kun i den største Omfatning, og Ophævelse af hver Forskiel, vover at forkynde sit Udtryks Fylde.

Til disse Ideer, som vel er det største der nogensinde er sagt om Tonerne, føier *Ritter* endnu, at Intervallerne mellem to Lydsvingninger tilsidst kan vorde saa korte, at de ikke tillade Øret den nødvendige Udhvilning, hvorhos da hvert Indtryk selv vorder for kort, og for lidet stærkt, til overhovedet at afficere. Her forsvinder Tonen efterhaanden for Øret, den hele Virkning vender sig fra samme til et høiere Organ, til Øiet, Tonen gaaer over til Lys. Man forestille sig en spændt Stræng fuldbyrde sine langsomste Svingninger, vi ere i Stand til med Øiet at skielne enhver Svingning. Lad Hastigheden tiltage, og vi skielne nu ikke mere enhver Svingning fra den anden, vi see kun det hele Rum, hvorigiennem Strængen svinger, opfyldt af den. Mellem det Punkt, hvor denne de enkelte Svingningers Synbarhed ophører, til det hvor den dybeste Tone begynder, gives der en Pause. Man forestille sig nu Svingningerne gaae frem med stigende Hastighed, og frembringe høiere og høiere Toner; tilsidst vil Svingningernes Hastighed vorde for stor til at fattes med Øret. Svingningerne vedblive at stige, og efter et Mellemrum, som det der gives mellem den hastigste enkelt-synbare Svingning, og den laveste Tone, ville Svingningerne her hæve sig til Frembringelsen af den dybeste Farve. Den træder saaledes frem i mat blaa Dæmring for Øiet, og med stigende Svingninger opklarer det sig til høiere og høiere Farver, og giennemløber saaledes alle prismatiske Farver, indtil de have naaet det meest levende Rødt. Efter denne Forestillingsmaade blev nu i den

store Skale af Sandsefornemmelser, den ene Sandsningsart en Octav af den anden, og alle underkastede de samme Love. Alle Fornemmelser altsaa hidrøre fra den samme oprindelige Kraft, der i Lyset virker *in puncto*, i Galvanismus derimod udbreder sig i et Rum, hvor den dog saaledes giennemløber alle Svingningsarter, at den vorder fornemmelig for enhver Sands.

Sammenfatte vi nu alt det i Eet, hvad nærværende Undersøgelse har viist, saa kunne vi ikke andet end tabe os i den dybeste Beundring, af den Mangfoldighed, det Liv, den Harmonie, som er indsluttet i en Tone. Man tænke sig en Klangfigur. Dele saa smaae, at de ikke mere kunne skiælnes med det blotte Øie, forene sig til en lille Klode, der atter bevæger sig frem, for at danne en Deel af et større System, og saaledes vilde der bestandigen opstaae nye og større Sammensætninger, naar ikke vore Redskabers Størrelse tilsidst satte os Grændser. Man forestille sig nu videre, hvorledes hver af de mindre Svingninger optager sin bestemte Plads, og ikke kunde indtage en anden, uden at forstyrre det Heles Symmetrie. Man tænke sig, hvorledes disse harmoniske Svingninger giennemvandre hele Luften, i samme Orden, hvori de udbredtes fra det svingende Legeme. Hvilken stor og dybt indgribende og derhos i sig selv nødvendig Overeenstemmelse, hvilket Spor af en alt giennemtrængende Fornuft. Vi indsee her tydelig, at det ikke er den mechaniske Sandsepirren, som behager os i en Tone, men det Spor af usynlig Fornuft, som ligger deri. Og nu en Tonestrøm, som giennemtrænger vort hele Væsen med Vellyst. Hvilken Hørens ubevidst Dybsind ligger ikke skiult i en eneste Accord, hvilken uendelig Arithmetik i en heel Symphonie! Og nu hermed forbundet de usynlige Former, som i dunkle Anelser træde frem for vor Siel, medens Tonerne strømme ind i Øret. I Sandhed, vi kan med Glæde, og Triumph over vort aandelige Væsens Adel gientage, at det som i Tonekunsten henriver og tryller os, og lader os glemme alt, medens vor Siæl svæver hen paa Tonestrømmen, det er ikke spændte Nervers mechaniske Pirring; men det er Naturens, dybe, uendelige, ufattelige Fornuft, som igiennem Tonestrømmen taler til os.
