

NÄHTAVAD HELID I

Fenomeni avastaja Ernst Chladni

SAALE KAREDA



Ernst Florens Friedrich Chladni
aastal 1802.

Teadmine, et helid mõjutavad inimese hinge ja keha ning ka nn elutut materiat, on iidvana. Mütoloogiliste pärimuste järgi on maailm loodud helide abil. Moodne teadus, täpsemalt stringide teooria väidab, et kõik eksisteeriv on võnge. Pole olemas väikseimat elementaarosakest, pilt aatomituumast ja selle ümber keerlevast elektronist on lihtsalt materialistlikust maailmapildist tulenev järeldus. Tegelikult, arendades seda mõttekäiku edasi, läbib kogu universumit miski immateriaalne, koondmõistega energia, mis avaldub erineval võnkesagedusel erinevate nähtustena. Neist nähtustest tunneme nn elektromagnetilises spektris kosmilist kiirgust, gamma-, röntgen- ja ultravioletset kiirgust, inimsilmale nähtavat valgust, infrapunakiirgust nagu ka mikro- ja raadiolaineid. Teatud sagedusel kaotab energia oma elektromagnetilised omadused ja avaldub helina. Lõpuks võngub energia ka teatud nn tihedal sagedusel, mida nimetame aatomiteks ja molekulideks, niisiis materia ja vormi tasandil.

Iidne on ka teadmine, et helidega saab inimesi tervendada. Samamoodi saab helidega inimest muserdada, depressiooni viia; muusika võib olla võimas vahend massidega manipuleerimisel jne. Eksisteerib pärimusi, mille järgi müütilise Atlantise kõrgetsivilisatsiooni vaimne ja eetiline allakäik ning sellele järgnenud katastroof oli seotud energgeetilisel võimsate võngete, sealhulgas ka helide kuritarvitamisega.



Chladni kõrgseltskonnale oma kõlafiguure esitlemas. Pliiatsijoonis, 1800.

Käesolev artikliseeria keskendub millelegi tunduvalt käegakatsutavamale ja nimelt mateerias visualiseerunud helidele kolme teadlase elutöös. Goethe kaasaegne, loodusteadlane **Ernst Chladni** (1756 – 1827) pani viiulipoogna abil vibreerima peene liivaga kaetud õhukese plaadi ning avastas tema järgi nimetatud **Chladni kõlakujundid** (sks k chladnische Klangfiguren). Kahekümnenda sajandi 60. ja 70. aastail õnnestus šveitsi arstil, kunstnikul ja teadlasel **Hans Jennyl** (1904 – 1972) teha selle nähtuse uurimisel uusi avastusi ning rajada teadusharu **kümaatika** (kr k to kyma – laine). Saksa filosoof, kunstnik ja teadlane **Alexander Lauterwasser** (s 1951) uurib nähtavate helide fenomeni vee keskkonnas meie ajas ning on kuulsaks saanud oma sugestiivsete **VeeKõlaPiltidega**.

Universaalvaim Ernst Chladni

Mozarti sünniaastal ilmale tulnud ning Beethoveni surma-aastal lahkunud mitmekülgne saksa loodusteadlane **Ernst Florens Friedrich Chladni** tuli XVIII sajandi lõpul võnkuvate pindade ja kehade akustilisi fenomene uurides esimesena mõttele panna õhukesele peene liivaga kaetud klaas- või metallplaadid viiulipoogna abil vibreerima. Selle käigus tegi ta maailma hämmastanud avastuse – vibreerival plaadil tekkisid geomeetrilised mustrid, mis said nimeks **Chladni kõlakujundid** (vt illustratsioone lk 96). Chladni kaasaegsed olid kõlamustritest sedavõrd vaimustuses, et Chladni sai põhilise osa oma elatisest teenida loengute pidamise ja näidiseksperimentide korraldamisega, reisides mitu korda risti ja põiki läbi Euroopa ning peatudes kõigis tähtsaimates teaduskeskustes. Muide, tagasiteel Peterburist Saksamaale reisis Chladni 1794. aastal ka läbi Narva Tallinna. 1809. aastal esines Chladni Napoleonile ning teada on Napoleoni ütlus: „See mees teeb helid nähtavaks.“

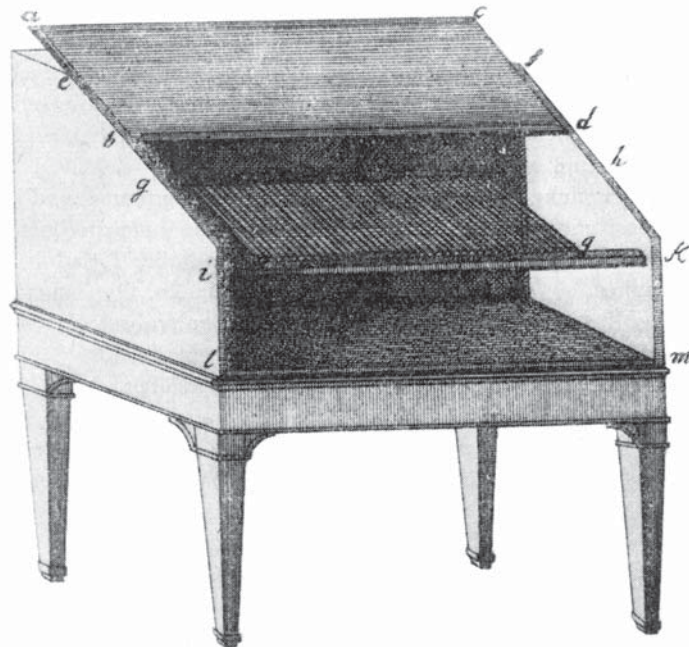
Chladni tähtsus teaduse ajaloos aga elastsete kehade võnkumise nähtavaks tegemisega ei piirdunud.

Ernst Chladni sündis 30. novembril 1756 Lutheri linnakeses Wittenbergis. Juuraprofessorist isa sunnil õigusteadust ja filosoofiat õppinud Chladni sai alles pärast isa surma järgida oma kutsumust pühendada end loodusteadustele. Üheks oluliseks uurimisvaldkonnaks tema elutöös sai eksperimentaalne akustika, kus ta saavutas suurt edu kindlasti ka tänu oma musikaalsusele ja väga heale kuulmisele. Ta tegi peaaegu kõigis akustika valdkondades eksperimentaaluurimusi ning pani 1802. aastal oma raamatus „Die Akustik“ („Akustika“) esimesena kirja süstemaatilise käsitlemise elastsete kehade võnkumise kohta. Raamatu moto „Helidega maalimise kunst“ pärineb Wielandilt.

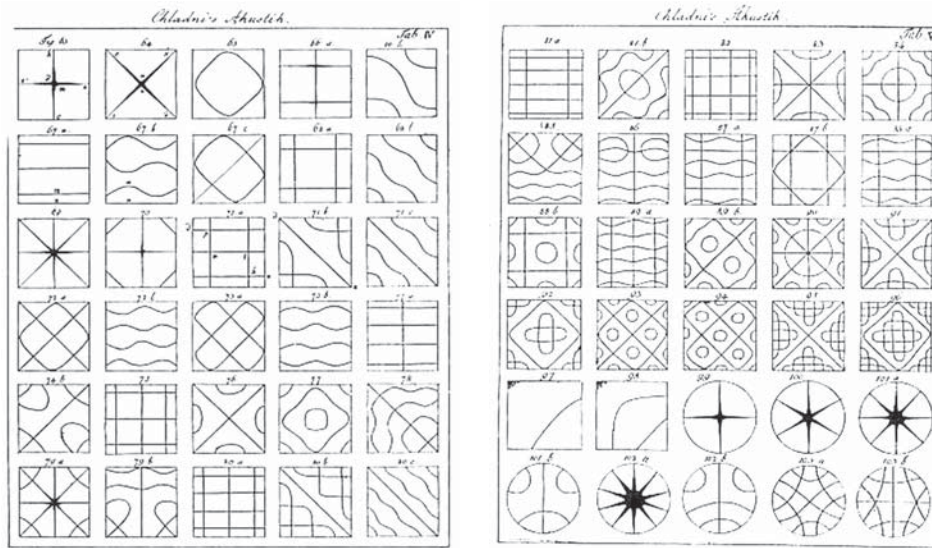
„Akustika“ ei ole mitte ainult esimene akustika õppe- ja käsiraamat – see teos rajas eksperimentaalakustika kui iseseisva ja teiste valdkondadega võrdväärse füüsika haru. Väga olulist osa akustika kui teadusharu edasises arengus etendas ka raamatu prantsuskeelne tõlge „Traité d’Acoustique“, mis ilmus esimest korda Pariisis 1809. aastal ning 1812. aastal kohe teises trükis. Akustika vallas oli Chladni sajandi lõpul avaldanud juba kaks olulist teost, kõige varasemast tuleb juttu tagapool seoses Chladni kõlakujunditega, järgmisena ilmus aga 1796. aastal „Über die Longitudinalschwingungen der Saiten und Stäbe“ („Keelte ja varbade longitudinaalvõngetest“). Pärast „Akustikat“ avaldas Chladni veel 1821. aastal raamatu „Beiträge zur praktischen Akustik und zur Lehre vom Instrumentenbau“ („Kirjutisi praktilisest akustikast ja instrumentide ehitamise õpetusest“) ning 1827 „Kurze Übersicht der Schall- und Klanglehre“ („Lühiülevaade akustikast“).

Metallvarbade võngete (sks k *Stabschwingungen*) seaduspärasuste uurimine viis ta kahe uudse instrumendi **eufooni** (sks k *Euphon*, tuletatud kreeka keelest ja tähendab „hästi kõlajat“; NB! – mitte segi ajada eufooniumiga¹, nagu on ekslikult juhtunud ingliskeelses Wikipedias) ja **klavisilindri** (sks k *Clavicylinder* või *Klavicylinder*²) ehitamiseni, mis jäädvustas tema nime ka instrumendiõpetuse ajalukku.

Esimene eufoon valmis Chladnil 1790. aastal ja selle ulatus oli kolm ja pool oktavit. Eufooni põhimõte on lühidalt järgmine. Peened, peaaegu poole meetri pikkused klaaspulgad asuvad tahvelklaveri-taolises korpuses horisontaalselt mängija ees, kes puudutab neid märgade sõrmedega. Klaaspulgad ise ei helise, nad on kinnitatud täisnurga all kõla tekitavate metallvarbade keskpunktidesse. Metallvarvad, mis on valitud vastavalt helikõrgusele, ei ole resonantskorpuse külge kinnitatud mitte otsest, vaid kahest kohast teatud võnke sõlmpunktidest, nii et metallpulgad saavad võnkuda



Chladni ehitatud esimene eufoon 1790. aastast.



Ruudukujulistel ja ümmargustel plaatidel tekkivaid Chladni ülesjoonistatud kõlafiguure raamatust „Akustika“ (1802).

vabalt. Sõlmpunktid tegi Chladni kindlaks liivaga testides. Kõla tekib metallvarbade transversaalvõngete läbi, mis on klaaspulkade longitudinaalvõngete kaudu võnkuma pandud. Eufooni kui reaalses kasutuses olnud pilli eluiga ulatus umbes 1790. – 1820. aastani, mil Chladni omaloodud instrumenti täiendas ja selles vallas uusi eksperimente ette võttis; samuti leidis üksjagu pilliehitajaid, kes seda instrumenti järele tegid. Eufoon sobis eelkõige aeglaste ja väljendusrikaste muusikapalade mängimiseks, pilli kõla olevat sarnanenud klaasharmonika ilusa maheda tämbriaga.

Klavisilinder on eufoonile lähedane instrument, varustatud aga klaviatuuri ning pedaali abil käivitatava ja klaasilindreid sisaldava võlliga. Esimese klavisilindri sai Chladni valmis 1800. aastal ning seejärel täiendas ta pilli, mille ulatuseks sai lõpuks neli ja pool oktavit. Rohkem veel kui eufooni puhul leidis klavisilindri järeleehitajaid ja selle ideega eksperimenteerijaid. Klavisilindril oli eufooniga võrreldes see eelis, et tekitatud heli sai kõlada piiramatult kaua,

samuti oli ka kõlatugevus klahvi surve abil reguleeritav. Chladni ise võrdles oma instrumente muusikalises mõttes järgmiselt: „Minule on klavisilindri mängimine ja kuulamine võrreldav tervisliku ja toitva söögiga, mida võib nautida tihti ja palju; eufooni mängimist ja kuulamist võrdleksin aga maiustamisega, mida peaks nautima vähem ja harvemini nagu magustoitu.“³ Oma reisidel esitles Chladni suure menuga ka oma leiutatud instrumente.

Chladni oli aga edukas veel hoopis teiselgi teadusalal. Oma sajandilõpul avaldatud publikatsioonides püstitas ta tol ajal revolutsioonilise teesi, et Maalt leitud meteoriidid on pärit maailmaruumist ning on jäänused meie päikesesüsteemi planeetide tekkimise ajast. See oli julge ja teedrajav väide, ehkki pörkus kaasaegsete, sealhulgas ka Goethe tugevale vastuseisule. Ent juba mõne aja möödudes kinnitasid uued teaduslikud tööd ja keemilised analüüsid Chladni uurimistulemusi. Tema 1794. aastal samaaegselt Riias ja Leipzgis avaldatud raamat, mis kannab pikka ja kohmakat

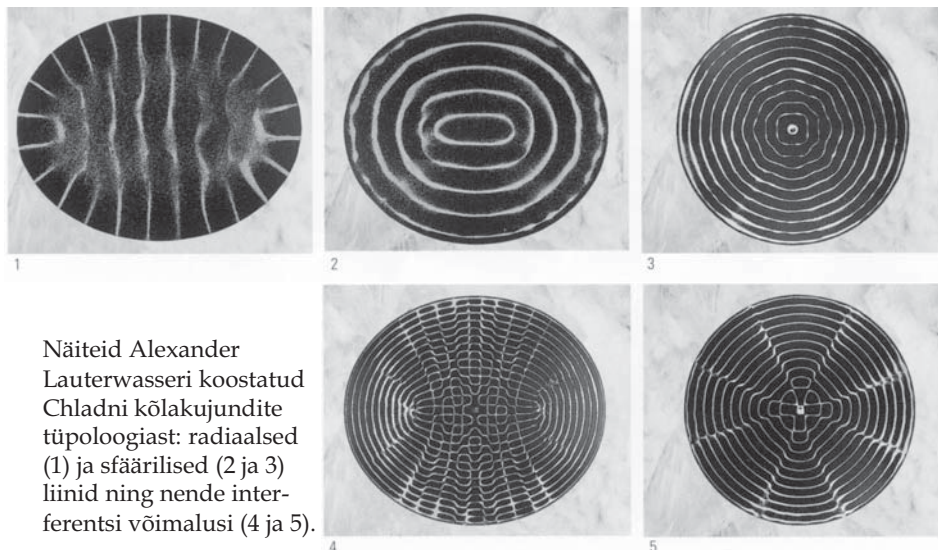
pealkirja „Über den Ursprung der von Pallas gefundenen und anderer ihr ähnlichen Eisenmassen, und über einige damit in Verbindung stehende Naturerscheinungen“ („Pallase leitud ja sellega sarnaste rauamasside päritolust ning mõningatest sellega seotud loodusilmingutest“), pani aluse meteoriiditeadusele ning kuulub koos „Akustikaga“ sajandivahetuse tähtsaimate teaduslike teoste hulka. Seega on Chladni kahe teineteisest suhteliselt kaugel asetseva teadusvaldkonna – eksperimentaalse akustika ja meteoriiditeaduse – rajaja.

Chladni harrastas loenguid pidava rändteadlase eluviisi kuni surmatunni, loobudes nii mõnestki kindla töökoha võimalusest. Ehkki Chladni oli teadlasena väga edukas, rajades aluse kahele suurele teadusvaldkonnale, ning leidis alati piisavalt kuulajaskonda, oli rändteadlase elu siiski üsna kurnav elatise teenimise moodus, välistades muu hulgas ka perekonna loomise võimaluse. Ernst Chladni suri 3. aprillil 1827 Wrocławis, olles vahetult enne surmatundi pidanud spontaanse ja särava loengu oma sõbra teesalongis ning väljendanud soovi lahkuda siit ilmast ootamatult ja kiiresti...

Ernst Chladni akustikaalaste avastuste austajate hulka kuulus ka Goethe, kellega Chladnit sidus pikaajaline kolleegiaalne sõprus.

Chladni kõlakujundid

Chladni tundis Galileo Galilei, Marin Mersenne'i, Joseph Saveuri, Athanasius Kircheri, William Noble'i, Thomas Pigot'i, Isaac Newtoni, Pierre Simon Laplace'i, Leonhard Euleri, Joseph Louis Lagrange'i jt uurimusi ja avastusi akustika vallas. Lugeses itaallase abt Mazzucchi kasutusele võetud meetodist – poogna kasutamisest klaasharmonika mängimisel –, võttis Chladni viiulipoogna üle oma kõlaeksperimentide metoodikasse. Otsustava tõuke helivõngete nähtavaks tegemise eksperimentideks sai Chladni aga elektrit uurinud teadlaselt Georg Christoph Lichtenbergilt. 1777. aastal oli Lichtenberg suutnud teha ühel dielektrilisel ainel, raputades mennik- ja väävlipulbrit selle pinnale, nähtavaks teatud elektrostaatilise fenomeni, mida nimetatakse Lichtenbergi kujunditeks (sks k *Lichtenberg-Figuren*). Need kujundid näevad positiivsete ja negatiivsete elektroodide puhul välja erinevad. Chladni sõnade ko-



Näiteid Alexander Lauterwasseri koostatud Chladni kõlakujundite tüpoloogiast: radiaalsed (1) ja sfäärilised (2 ja 3) liinid ning nende interferentsi võimalusi (4 ja 5).

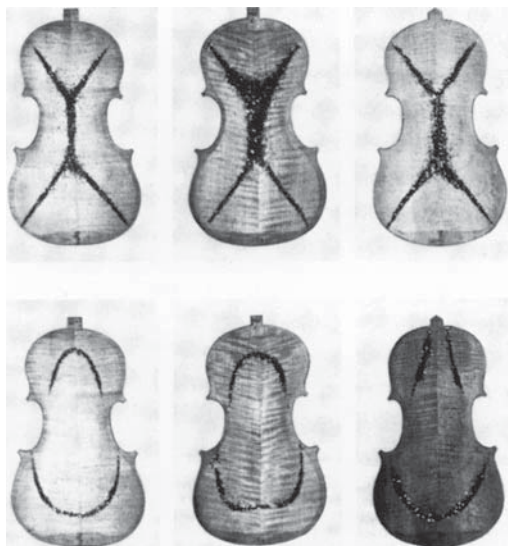
haselt andsid Lichtenbergi kujundid tal-
le mõtte kasutada oma eksperimentides
peent liiva.

Kõlakujundite tekitamise protsessi
algul on plaat ühtlaselt liivaga kaetud,
vibreerimise käigus paisatakse liiv neilt
plaadisegmentidelt, mis kaasa võngu-
vad, plaadi neisse piirkondadesse, mis
tekitatud sagedusega kaasa ei vibreeri.
Seeläbi tekivad erinevad geomeetrilised
kujundid, mis muutuvad vastavalt võn-
kesagedusele (uue võnkesageduse pu-
hul võivad vibreerivad ja mittevibreeri-
vad kohad plaadil asuda hoopis teistes
kohtades). Kaks kõrvuti asuvat, aga lii-
vajoonega eraldatud plaadi osa võngu-
vad vastupidises suunas. Chladni tegi
kindlaks, et kindlale kujundile vastab
alati kindel võnkesagedus, teatud kin-
del helikõrgus võib aga tekitada erine-
vaid kujundeid (olenevalt plaadi mater-
jalist, paksusest, kujust, suuruselt jne).
Mida kõrgem heli, seda komplitseeri-
tum muster. Chladni uuris kõlamust-
reid ringi-, ruudu- ja ristkülikukujulistel
plaatidel, avastades ka matemaatilisi
seaduspärasusi. Uurimistöö tulemused
jäädvustas ta raamatus „Entdeckungen
über die Theorie des Klanges“ („Avas-
tusi kõlateoorias“), mis ilmus 1787 Leip-
zigis ja kus oli ära toodud 11 tabelit kok-

ku 166 kõlafiguuriga. Tänu oma heale
kuulmisele määras Chladni ka kõlaku-
jundite helikõrguse, vabandades võima-
like ebatäpsuste pärast kõrgemate too-
nide puhul, mis jäävad väljapoole sel-
gelt eristatavat helikõrguste spektrit.

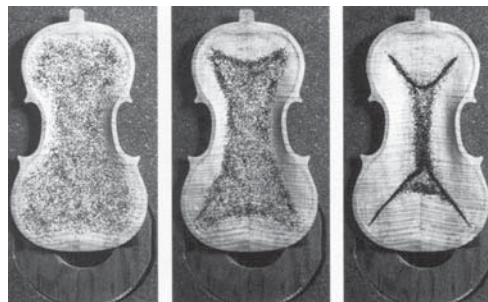
Chladni kõlakujundite fenomen ei
ole huvitav mitte ainult teaduse või
kunstilis-esteetilisest aspektist, vaid lei-
dis pilliehituses ka praktilise väljundi.
Nii saab näiteks uurida puuplaatide
võnkeomadusi optimaalse viiuli või ki-
tarri kõlakasti valmistamiseks.

Kuuest fotost koosneval illustrat-
sioonil käesoleval leheküljel on näha
kolme erinevat viiulipõhja, mis resonee-
rivad kahe erineva helikõrgusega. Va-
sakpoolne (nii ülal kui all) viiulikorpuse
on heade kõlaomadustega, mida väljen-
davad selged sümmeetrilised ja eelkõi-
ge peened jooned, samal ajal kui kesk-
misel ja parempoolsel on tunduvalt keh-
vemad kõlaomadused, mida piltlikusta-
vad ebasümmeetrilised ja jämedad joo-
ned piirkondades, kus puit helikõrguse-
ga kaasa ei võngu. Seega peegeldab kõ-
lamustri selgus ja struktuur instrumen-
di kõla kvaliteeti ja resoneerimisvõimet
või täpsemalt väljendudes resoneeri-
misvalmidust.



Vasakpoolne viiulipõhi resoneerib
hästi mõlema helikõrgusega, õige
kujuga mustrid näitlikustavad
puitplaadi väga head kvaliteeti;
keskmise viiulipõhja resoneerimis-
valmidus on alumisel näitel
visualiseeritud helikõrguse puhul
ideaalilähedane, aga ülemise puhul
kaugel heast kvaliteedist, näidates
selgelt puitplaadi liiga jäika kohta;
parempoolse viiulipõhja puhul on
alumisel fotol näha, et plaadi ülaosa
keskpaik on liiga paks, nii et poolkaare
asemel tekib kaks eraldatud joont.

Chladni kõlakujundi tekkimine viiulipõhjal: sellele ühtlaselt puistatud liiv (vasakul) hakkab helitugevuse suurenedes järjest rohkem võnkuma pandud puitplaadil liikuma sagedusele vastava kõlakujundi suunas, nii et võtab parempoolsel fotol teatud kindla kõlamustri kuju (sama, mis eelmise näite ülemisel real).



Järgmisel illustratsioonil (ülal) on näha, kuidas puuplaadile puistatud liiv hakkab vibreerides liikuma piirkondade suunas, kus asuvad kohad, mis kaasa ei vibreeri. Ka siin fotol ei resoneeri viiulikorpus ideaalselt, sest lisaks peentele joontele jääb liiva ka veel nende ümbrusse, mis näitab, et selles piirkonnas ei ole puul resoneerimisvalmidust. Puu ei ole siin valmis kaasa kõlama, ta jääb jäigaks ja liikumatuks. Alexander Lauterwasser tuleb seda nähtust käsitledes huvitava paralleeli peale inimpsüühikast: see piltlikustab inertsuse fenomeni kui sellist – jäik, eneses kinni olemine igas dialoogis, enese sulgemine võimalikule puudutatud ja liigutatud saamisele ja seega igasugusele resoneerimisele. Mida sügavamalt tegelda selle nähtusega, seda selgemalt on tunnetatav, kui väga sarnanevad need protsessid meie hingeseisunditega – kas me oleme kõnetavad, ligipäasetavad, vastuvõtlikud, avatud ja paindlikud või oleme kinnised, liikumatud, inertsed, jäigad, kahestunud või koguni kivistunud.

Chladnil õnnestus teada olevalt esimene kord inimkonna ajaloos käega katsutavalt tõestada, et helid ei puuduta ainult hinge, vaid on võimelised mõjutama ka materiat – milles aga võime omakorda leida hingeseisundite peegeldust. Erinevad nähtused meie justkui selgepiirilisel eristatavas ja tajutavas maailmas ei olegi üks teisest nii kaugel, kui argimõistusele tundub. Kõik on seotud kõige nähtamatu niidistiku abil.

Kirjandus:

Alexander Lauterwasser. Wasser Klang Bilder. Die schöpferische Musik des Weltalls. Aarau ja München: AT Verlag, 2002.

Curt Sachs. Handbuch der Musikinstrumentenkunde. 2., durchgesehene Auflage. Fotomechanischer Nachdruck. Leipzig: Breitkopf & Härtel, 1966.

Dieter Ullmann. Ernst Florens Friedrich Chladni. Leipzig: BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, 1983.

http://de.wikipedia.org/wiki/Ernst_Florens_Friedrich_Chladni

<http://users.physik.tu-muenchen.de/kressier/Versuche/ver1715.html>

http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph12/versuche/10chladni/chladni.htm

<http://members.aol.com/woinem6/html/chladni.htm>

<http://dispatch.opac.d-nb.de/DB=4.1/REL?PPN=118520490>

Kommentaarid:

¹ Eufonium on dtv muusikaatlases tõesti *Euphonium*, Curt Sachs kasutab aga sama pilli tähistamiseks nimekuju *Euphonion*.

² Curt Sachsil *Klavicylindre*.

³ Ernst Chladni. Beiträge zur praktischen Akustik und zur Lehre vom Instrumentenbau, einhaltend die Theorie und Anleitung zum Bau des Clavicylinders und damit verwandter Instrumente. Leipzig, 1821. Reprint Leipzig, 1980, lk 12. (Tsiteeritud Ullmanni raamatu järgi, vt kirjandus.)

(Järgneb)