

PROPAGANDA DE INSTRUÇÃO  
PARA  
Portuguezes e Brasileiros

BIBLIOTHECA DO POVO  
E DAS ESCOLAS

CADA VOLUME 50 RÉIS

# ACUSTICA

ILLUSTRADA COM 19 FIGURAS

e redigida especialmente em harmonia com o programma

DO

CURSO GERAL DOS LYCEUS

PRIMEIRO ANNO — TERCEIRA SERIE

Cada volume abrange 64 paginas, de composi-  
ção cheia, edição estereotypada, — e fórma um  
tratado elementar completo n'algum ramo de  
sciencias, artes ou industrias, um florilegio lit-  
terario, ou um aggregado de conhecimentos  
uteis e indispensaveis, expostos por fórma  
succinta e concisa, mas clara, despretenciosa,  
popular, ao alcance de todas as intelligencias.

LISBOA  
DAVID CORAZZI, EDITOR  
EMPRESA HORAS ROMANTICAS

Premiada com medalha de ouro na exposiçào do Rio de Janeiro

40 — RUA DA ATALAYA — 54

1882

NUMERO

23

Casa editora de DAVID CORAZZI, Lisboa, Rua da Atalaya, 40 a 52

# BIBLIOTHECA DO POVO E DAS ESCOLAS

Propaganda de instrução para portuguezes e brazileiros



PUBLICA-SE NOS DIAS 10 E 25 DE CADA MEZ



Esta publicação, notavel pela sua fabulosa barateza, tem a dupla vantagem de propagar a instrução geral e incitar ao estudo as classes escolasticas e populares.

Destina-se a formar em **Bibliotheca economica** uma verdadeira encyclopedia de conhecimentos humanos, um curioso repositorio onde os indoutos possam aprender e os doutos se não infastiem de recordar.

## VOLUMES PUBLICADOS

### 1.<sup>a</sup> Serie

N.º 1, *Historia de Portugal*. N.º 2, *Geographia Geral*. N.º 3, *Mythologia*. N.º 4, *Introdução ás sciencias physico-naturaes*. N.º 5, *Arithmetica practica*. N.º 6, *Zoologia*. N.º 7, *Chorographia de Portugal*. N.º 8, *Physica elementar*.

### 2.<sup>a</sup> Serie

N.º 9, *Botanica*. N.º 10, *Astronomia popular*. N.º 11, *Desenho linear*. N.º 12, *Economia politica*. N.º 13, *Agricultura*. N.º 14, *Algebra elementar*. N.º 15, *Mamíferos*. N.º 16, *Higiene*.

### 3.<sup>a</sup> Serie

N.º 17, *Principios gerais de Chimica*. N.º 18, *Noções gerais de Jurisprudencia*. N.º 19, *Manual do fabricante de vernizes*. N.º 20, *Telegraphia electrica*. N.º 21, *Geometria Plana*. N.º 22, *A Terra e os Mares*. N.º 23, *Acustica*.

Cada serie de 8 volumes, cartuada em percalina, 500 réis; lucadernada em papelinho, 700 réis. Capa separada, para cartonar cada serie, 100 réis.

## VOLUMES A PUBLICAR:

Mechanica. Geologia. Mineralogia. Cosmographia. Aves. Reptis. Peixes. Insectos. Anthropologia. O homem pre-historico. Meteorologia. Chronologia. Chorographia do Imperio do Brazil. As colonias portuguezas. Historia universal. Historia antiga. Historia da Edade-Media. Historia moderna. Historia da Grecia. Historia romana. Historia do Brazil. Historia sagrada. Historia ecclesiastica. Historia dos papas. Historia geral dos concilios. Historia das cruzadas. Historia da Inquisição. A Inquisição em Portugal. A conquista da India. O descobrimento do Brazil. Ephemerides notaveis da historia patria. Ephemerides notaveis da historia do Brazil. Geometria. Orthographia. Vocabulario orthographico. Civilidade. Pedagogia. Methodos de francez, de inglez, etc. Grammatica latina. Usos e costumes dos romanos. Anatomia. Physiologia. Medicina domestica. Gymnastica. Natação. Equitação. Esgrima. Tactica militar. Nautica. Noções de musica. Topographia. Pintura. Vinicultura. Jardinagem. Philosphia. Rhetorica. Poetica. Metrificação. Litteratura geral. Litteratura grega. Litteratura latina. Litteratura portugueza. Litteratura brazileira. Litteratura da India. Camões e os Lusíadas. Poetas portuguezes. Poetas do Brazil. As rainhas de Portugal. Os principes da casa de Aviz. Os duques de Bragança. Centuria de celebridades femininas. Invenções e descobertas. Artes e industrias. Manual do carpinteiro, do marceneiro, do ferreiro, do pedreiro, do relojoeiro, do ourives, do alfaiate, do cozinheiro etc., etc.

Para assignar esta publicação ou comprar qualquer volume avulso, dirigir-se ao editor DAVID CORAZZI, Rua da Atalaya, 40 a 52, Lisboa.

Todas as requisições devem ser acompanhadas da sua importancia em estampilhas, votes ou ordens sobre Lisboa.



O MUNDO  
DO LIVRO

11-L. da Trindade - 13  
Telef. 36 99 51  
Lisboa

96 Cop. 850256

lo Lar. ...



# INDICE

	Pag.
CAPITULO I — Producção e propagação do som.....	3
CAPITULO II — Velocidade do som.....	13
CAPITULO III — Reflexão e refração do som.....	20
CAPITULO IV — As vibrações sonoras.....	25
CAPITULO V — Theoria physica da musica.....	30
CAPITULO VI — Analyse e synthese dos sons.....	36
CAPITULO VII — Mechanismo acustico do aparelho au- ditivo.....	38
CAPITULO VIII — O Phonographo.....	40
APPENDICE.....	43
AS VIBRAÇÕES SONORAS :	
Avaliação experimental do numero de vibrações pelo methodo graphico e optico.....	44
Leis das vibrações sonoras nas cordas, nos tubos e nas placas.....	48
A VOZ HUMANA.....	60

# ACUSTICA

## CAPITULO I

### PRODUÇÃO E PROPAGAÇÃO DO SOM

1. Acustica se denomina a parte da Physica, onde especialmente se estudam os phenomenos do som e as leis por que se rege a sua formação, transmissão e propagação.

Som diz-se a impressão particular produzida no aparelho auditivo pelo movimento vibratorio dos corpos elasticos.

A Acustica é uma das mais interessantes partes da Physica.

Démos d'ella uma idéa geral, rapidamente esboçada no tratadinho de *Physica elementar* que constitue o n.º 8 da *Bibliotheca do Povo e das Escolas*, reservando-nos para em volume especial desinvolvermos as noções allí apenas enunciadas,—assim como o sobredito voluminho de *Physica* representa já por si o desinvolvimento de um dos capitulos da *Introdução ás sciencias physico-naturaes* (\*).

D'est'arte partindo do simples para o complexo, do rudimentar para o desinvolvido, e das generalidades para as especialidades, a *Bibliotheca do Povo e das Escolas* vae pouco a pouco desimpenhando o compromisso de proporcionar ao publico em seus livrinhos uma verdadeira encyclopedia.

No volume actual faculta-se-nos o ensejo de realizarmos

(\*) Vol. IV da nossa collecção.

em relação aos phenomenos, experiencias e leis da *Acustica*, o que relativamente a todas as outras partes da *Physica* havemos a seu tempo de cumprir.

2. *Phenomenos naturaes*.—E' impossivel imaginarmos o silencio absoluto, isto é, a não existencia do *som* na natureza. Para qualquer ponto que nos voltemos, esse phenomeno se manifesta a toda a hora, a todo o momento. Desde a esphera celeste,—n'esse *azul* que algumas vezes se tolda de nuvens, e onde se produz o spectaculo horrivel e ao mesmo tempo grandioso de uma trovoadá—desde o cume d'esses altos montes em que imperam perpetuamente as neves, até á profundidade dos abyssos, aonde affluem em catadupas as torrentes ruidosas: predomina este phenomeno que tão familiar nos é na vida.

Mas o que nos interessa mais é o som que os animaes produzem com o auxilio de orgãos especiaes, e o homem com a voz, para fazerem comprehender os seus sentimentos, traduzindo as suas necessidades, alegrias e dores. A mais poderosa de todas as artes, segundo a expressão de um escriptor francez,—a musica—foi inventada pelo homem para fazer sentir tudo quanto a linguagem articulada não pôde exprimir. «Os *sons* produzidos com este fim especial tem propriedades *physicas* carecteristicas que os distinguem dos *ruidos* irregulares, não continuos, indefinidos que descrevemos: formam uma serie ordenada, regular, mesmo quando se faz abstracção da composição que, n'uma obra musical, os faz succeder n'uma ordem determinada, segundo um *rhythmo* accentuado, e os combina em compassos harmoniosos. Esta serie constitue os *sons* musicaes cujo estudo é o principal objecto da *acustica*.»

Todos os phenomenos do som, qualquer que seja o seu modo de producção e por mais variados que pareçam, referem-se a um modo identico de movimento—o movimento vibratorio; affectam particularmente o orgão do ouvido, produzindo em nós a sensação do som. Trata-se agora de estudar a natureza das vibrações sonoras, de indicar que relações existem entre essas vibrações e as sensações auditivas, e de formular as leis por que umas regem as outras.

3. O som considerado phenomeno interior e exterior.—O som é uma sensação percebida pelo orgão do ouvido. A producção de um som exige necessariamente de uma parte um phenomeno exterior, e de outra parte uma materia sensivel que receba d'elle a impressão. O phenomeno exterior é o corpo sonoro em acção; a origem do som, o que, em condições e circumstancias particulares, determina fóra de nós um

movimento especial: este movimento, propagando-se do corpo sonoro ao ouvido, abala os nossos nervos e determina assim a sensação auditiva. O som desaparece naturalmente desde que uma ou outra das condições da sua produção ficou suprimida. Deixa de haver som, se o nervo auditivo estiver paralyzado; deixa de haver som, se o corpo sonoro estiver em repouso; deixa de haver som, enfim, se não existir um meio material servindo de meio de comunicação entre o ouvido e o corpo movido.

Todas estas observações são necessarias para estabelecermos a divisão da *Acustica*, ou sciencia do som, em duas partes distinctas. Uma d'ellas — *Acustica physica* — tem por fim estudar os phenomenos exteriores que determinam o som, sem dependencia dos nossos sentidos; e, se estes intervêm n'este estudo, é unicamente como meio de investigação. A outra occupa-se das sensações auditivas; é o som chegado ao ouvido, são as modificações que o movimento ou abalo sonoro produz em nós, é finalmente o papel representado pelas diversas partes d'este orgão e a comparação das proprias sensações, que se tem particularmente em vista na *Acustica physiologica*. Por isso podemos estabelecer que: a *Acustica physica* tem por objecto o som fóra do homem; e a *Acustica physiologica*, o som no homem.

Antes de passarmos adeante e desinvolvermos mais estas considerações, indiquemos os modos como o som se póde produzir.

4. Modos de produção.— A *percussão* ou o choque de dois corpos um contra o outro, é um dos meios mais vulgares para a produção do som. O badalo que faz resoar os sinos, as baquetas do tambor, e outros muitos exemplos de que o leitor se recordará, são outros tantos casos particulares em que os sons se acham produzidos pelo choque de dois corpos solidos. Podem-se assim obter os ruidos e os sons mais variados; mas veremos que esta variedade depende ao mesmo tempo da fórma e da natureza do corpo sonoro, e da maneira como o ruído se propaga até ao nosso ouvido.

A *fricção* ou *atrito* é um outro modo de produção do som ou do ruído: é assim que, com o auxilio de um arco cujas crinas estejam untadas de uma resina denominada colophonia, se fazem resoar as cordas entesadas: os sons da rebeca e de instrumentos semelhantes são produzidos d'esta maneira, que permite tambem fazer resoar as campanulas de vidro ou de metal. N'este caso a fricção é transversal. Mas obtêm-se tambem sons por uma fricção longitudinal sobre cordas ou

varas metálicas. Quando se arrasta um objecto sobre o solo, sobre madeiras, sobre pedras, etc., resulta um ruído produzido pelo atrito. O rodar de uma carruagem sobre a calçada dá lugar a um ruído que é devido em grande parte ao atrito, mas ao qual não é estranha a percussão.

A beliscadura de uma corda retesada, nos instrumentos chamados propriamente *de corda*, dá um som que participa ao mesmo tempo da percussão e do atrito. Os corpos líquidos e sólidos, em contacto por via de percussão ou de atrito, produzem sons e ruídos; mas os próprios movimentos nos líquidos, sem o intermediário de corpo algum sólido, determinam também sons: tal é o fremito que se ouve pela queda das gotas de chuva na superfície da água de um tanque, de uma ribeira.

Nos gazes, o som é devido a uma serie de condensações e de dilatações alternativas; mas estes movimentos podem ser produzidos pela percussão e pelo atrito. Assim, o ar sibila quando recebe a impulsão violenta de uma vara ou de um chicote; e o vento produz sons intensos, quando sopra contra as arvores, edificios ou quaesquer outros obstaculos sólidos. Emquanto ao ruído do vento que se ingolpha nas chaminés, phenomeno é esse devido a um modo de abalo do ar que estudaremos quando tratarmos dos sons produzidos pelos gazes nos tubos. Tal é o som nos instrumentos de musica conhecidos sob o nome de *instrumentos de vento*; taes são ainda a voz humana, os gritos dos animaes.

As detonações dos gazes, o ruído que acompanha a faísca electrica, as explosões do raio, são sons devidos ás bruscas mudanças de volume, ás dilatações e ás contracções successivas das massas gazosas.

Entre os modos mais curiosos de produção do som, é necessario citar o que resulta do contacto de dois corpos sólidos com temperaturas diferentes. Foi em 1805 que Schwartz, inspector n'uma fundição saxonica, assignalou pela primeira vez este phenomeno. Tendo collocado sobre uma bigorna fria uma barra de prata a uma temperatura elevada, ficou admirado de ouvir sons musicaes, durante o arrefecimento da massa. Em 1829, Arthur Trevelyan collocou accidentalmente um ferro para soldar, muito quente, sobre um pedaço de chumbo; quasi immediatamente brotou um som agudo do ferro; instigou-o isso a estudar o phenomeno sob todas as fórmulas e a imaginar instrumentos proprios para pôr em evidencia esta causa de produção do som.

A passagem de uma corrente electrica faz resoar uma bar-

ra que esteja suspensa pelo seu meio, e cuja extremidade corresponda ao centro de uma *bobina* de indução.

Finalmente a combustão dos gazes em tubos dá logar á produção de sons musicaes. Se accendermos o jacto de hydrogenio que sae de um aparelho, denominado pelos chimicos *lampada philosophica*, e o recebermos dentro de um tubo de maior diametro, aberto nas duas extremidades, ouviremos um som agudo ou grave segundo o comprimento, o diametro, a espessura e a natureza da substancia do tubo. Dispondo convenientemente um certo numero d'estes aparelhos, obteremos sons musicaes e harmonicos, e formaremos o instrumento de musica denominado *harmonica chimica*.

Resulta dos factos que precedem uma primeira consequencia: e é que o som, para se produzir, exige um certo movimento das moleculas dos corpos, um estremecimento ou fremito que a vista não percebe sempre, mas que é a miudo sensível ao contacto, quando se colloca a mão ou o dedo sobre o corpo sonoro. Os meios de provocar esses fremitos são variados, como se acabou de ver; a propriedade dos corpos que os torna possiveis é uma:—é a que se conhece em Phisica sob o nome de *elasticidade*.

5. *Corpos sonoros*.—Os corpos susceptiveis de emittir som, de *resoar*, segundo a expressão familiar e precisa, quando os submettem a uma percussão, a uma fricção, etc., são os que possuem, em um certo grau, a elasticidade. Os metaes, o vidro, as madeiras fibrosas, são entre os solidos os melhores conductores do som; mas esta sonoridade depende, até certo ponto, das dimensões e da fórma do objecto sonoro. Um boccado de aço, de fórma cubica, sendo vibrado por uma pancada de martello dará um som baço; se suspendermos o mesmo objecto por um fio,—e se applicarmos a pancada, um pouco distante do ponto de suspensão,—o som será mais intenso e forte; o mesmo boccado de metal transformado em uma haste cylindrica um pouco comprida, dará sons mais intensos pela fricção ou pelo choque. Em resumo:—a *sonoridade está na razão directa da elasticidade*.

Os liquidos e os gazes são corpos elasticos; já (no n.º 4) dissémos que são susceptiveis de emittir sons. Devemos, pois, collocál-os entre os corpos sonoros; mas teremos que considerál-os sobretudo debaixo do ponto de vista da propriedade que possuem de trasmittir os sons emanados dos solidos, registando ao mesmo tempo a sua aptidão para serem elles proprios fontes sonoras. Os liquidos e os gazes são meios transparentes para o som, como são transparentes para a luz; mas isto



não quer dizer que a transparencia sonora seja devida á mesma causa que a transparencia luminosa.

Os corpos não elasticos ou dotados de uma elasticidade fraca, assim como os corpos molles, resoam geralmente muito mal. Um pedaço de cera ou de cré um pouco humida está n'este caso.

Pela mesma razão, como se verá em breve, estes corpos são maus conductores do som; interceptam-n'o ou o abafam. São, relativamente ao som, os analogos dos corpos opacos com relação á luz.

As materias finamente pulverizadas, a lan, as pennas, o algodão, têm por si proprias pouca ou nenhuma sonoridade, e transmittem mal o som. Costumam-se encher com serradura de madeira, de aparas, de calça, os intervallos e forros dos tectos e dos soalhos, quando se deseja amortecer o som de um andar para o outro. As armações de estofa, os tapetes, os cortinados, tornam um quarto muito menos sonoro, mais *surdo*, porque são corpos pouco proprios para resoar ou re-inviar o som.

Eis pois estabelecida uma segunda consequencia não menos importante que a do n.º 4, a saber: que os corpos sonoros são corpos elasticos; isto é, as suas moleculas, desequilibradas por uma acção exterior, voltam e repassam pela sua posição de equilibrio, e oscillam assim durante um tempo mais ou menos longo. O som, como se viu já, tem a sua origem n'um movimento vibratorio das moleculas dos corpos, solidos, liquidos ou gazosos.

6. O som não se propaga no vacuo.—E' um facto conhecido por toda a gente que o som gasta um tempo apreciavel em propagar-se do corpo sonoro ao orgão do ouvido. Quando observamos em distancia uma pessoa que dá uma pancada de martello, por exemplo,—vemos o martello cahir sobre o corpo percutido antes que o ouvido sinta o ruido da percussão. Pelo mesmo motivo, a detonação de uma espingarda, de uma peça de artilheria, só chega ao ouvido um pouco depois de ter brilhado deante de nós a chamma produzida pela explosão. Nos fogos de artificio vemos fazer-se a explosão dos foguetes no meio do ar, observamos os grupos luminosos desvanecerem-se e apagamem-se, muito antes de ouvirmos o ruido que acompanha a explosão.

Em todos estes casos o intervallo, decorrido entre a vista do phenomeno e a audição do som, marca a differença entre a velocidade da luz e a do proprio som; mas, como a velocidade da luz comparada á do som póde ser considerada

como infinita, o mesmo intervallo dá sem erro sensivel o tempo que o som leva a propagar-se de um ponto a outro. Está tambem estabelecido, pela observação diaria, que o intervallo de que ora acabamos de falar augmenta com a distancia.

Assim o som propaga-se successivamente, e veremos em seguida com que velocidade. Mas qual é o meio que serve de vehiculo a este movimento? E' o solo? Communica-se elle por intermedio dos corpos solidos, do liquido ou do ar, ou ainda por todos estes meios ao mesmo tempo?

Eis uma experiencia que responderá a essas interrogações.

Colloquemos sob o recipiente da machina pneumatica um timbre, d'estes que ha movidos por um mechanismo de relojoaria, e ao qual se tenha previamente dado corda.

Antes de fazer o vacuo, ouve-se muito bem o timbre resoar sob as martelladas. Mas, á medida que o ar se rarefica, o som diminue de intensidade,—e desaparece completamente, desde que se fizer o vacuo quando tenhamos tido a precaução de collocar o apparelho sobre uma almofada formada de cortiça, de algodão, ou em geral de uma substancia molle sem elasticidade.

Vê-se então o martello bater sobre o timbre, mas não se sente ruido algum, nem som. Se então em lugar do ar que continha a campanula, introduzirmos um gaz qualquer, hydrogenio, acido carbonico, oxygenio, vapor de ether, etc., o som ouve-se de novo (\*).

Póde-se fazer a mesma experiencia com um apparelho mais simples. E' um balão de vidro, munido de uma dupla torneira, e que póde adaptar-se sobre a machina pneumatica. No interior está suspensa, por fios sem torsão, uma campainha que se agita sacudindo o balão com a mão; se o balão estiver vazio d'ar, não se ouvem os sons da campainha. Mas introduzindo-se pelo funil superior algumas gottas de um liquido volátil, este ultimo reduz-se a vapor penetrando no espaço vazio do balão, e conclue-se assim que os vapores transmittem o som, como os gazes, porque então a campainha resoa de novo. As experiencias de Biot fizeram ver que o som transmittido será tanto mais intenso, a uma pressão igual, quanto a densidade dos vapores ou dos gazes fôr maior.

Os physicos, ainda ha um seculo, duvidavam que o ar fosse

(\*) Experiencia analoga, realizavel com uma caixa-de-musica, ficou já registrada a psg. 16 do volume que a *Bibliotheca do Povo e das Escolas* publicou sob o titulo de — *A Terra e os Mares* — no n.º 22 da nossa colleção.

o vehiculo do som; restava provar que o corpo sonoro não perdía a propriedade para gerar o som, pela circumstancia de estar rodeado do vacuo. Hanksbée demonstrou claramente, com uma experiencia decisiva, a verdade do facto.

Para esse fim, encerrou elle n'um recipiente, capaz de alguma resistencia, e guardado por baixo de um circulo de cobre, uma campanula de um tamanho conveniente, e ajustou bem o orificio do recipiente sobre uma placa de cobre, por meio de um coiro humido entreposto. D'esta maneira o recipiente estava cheio de ar commum que não podia escapar se para fóra. Collocou-o em seguida sobre a machina pneumática, acobertou-o com outro grande recipiente, e extrahiu o ar contido entre estes dois recipientes.

Era certo, n'esta experiencia, que, quando o badalo batesse na campanula, haveria som no recipiente onde o ar tinha o mesmo grau de densidade que o da atmosphera, e que não soffreria alteração pelo vacuo que estava no exterior entre os dois recipientes.

Promptos os preparativos da experiencia, Hanksbée bateu com o badalo na campainha. Mas o som não se transmittiu atravez do vacuo apesar do experimentador estar certo de que havia ao mesmo tempo som produzido no recipiente.

7. Propagação do som.—D'este modo o ar e em geral todos os gazes são vehiculos do som. Mas não possuem todos esta propriedade no mesmo grau. Assim, segundo as experiencias de Tyndall, a conductibilidade do gaz hydrogenio para o som é muito menor que a do ar, em egualdade de pressão, —e comtudo a velocidade de propagação é quasi quatro vezes maior no hydrogenio do que no ar.

Os proprios solidos transmittem o som, mas n'uma proporção muito variada e que depende da sua elasticidade. Assim nas experiencias precedentes, mesmo quando o vacuo esteja feito, se se approximar o ouvido, percebe-se um som muito fraco, transmittido ao ar circumvizinho pela almofada e pelo prato da machina. O que demonstra mais ainda o facto d'esta transmissão pelos solidos, é que o som do timbre sob o recipiente da machina pneumática (n.º 6) apenas fica infraquicido, se collocarmos directamente o aparelho sobre o prato que supporta a campanula.

A agua e em geral todos os liquidos são tambem vehiculos do som, e, relativamente á intensidade e á velocidade, melhores vehiculos que o ar. Um mergulhador ouve debaixo de agua os menores ruidos, por exemplo, os que fazem as pedrinhas rolando e batendo umas nas outras. Estava-se em du-

vida ao principio se o som que se ouvia, não obstante a interposição de uma certa massa de agua, teria effectivamente a agua por vehiculo, — e se não seria o ar em dissolução no liquido que transmittia para fóra as vibrações sonoras. O abade Nollet, repetindo as experiencias de Hanksbée, teve a precaução de extrahir o ar da agua, atravez da qual o som se propagava, e não achou differença sensivel entre os sons produzidos no corpo sonoro mergulhado na agua arejada ou na agua privada de ar. A presença do ar na agua é necessaria á propagação do som; mas não lhe augmenta nem lhe diminue a intensidade.

Em resumo, a transmissão do som do corpo sonoro ao ouvido pode-se fazer por intermedio dos corpos solidos, dos liquidos e dos gazosos; mas a atmospherá é o intermedio mais habitual de similhante transmissão.

Resulta d'isso que o som não ultrapassa os limites da atmospherá. O ruido das explosões vulcanicas, por exemplo, não pode propagar-se até á Lua; da mesma maneira, os habitantes da Terra não ouvem os sons que se pudessem produzir nos espaços celestes. As detonações dos aerolithos (\*) indicam, pois, que estes corpos, no momento em que essas detonações têm logar, estão já na nossa atmospherá, o que nos pode dar esclarecimentos sobre os limites da camada gazosa de que o nosso planeta está envolvido. Sobre as altas montanhas, a rarefacção do ar é causa de um grande infraquecimento nos sons.

Segundo Saussure e todos os exploradores que se lhe succederam, — um tiro de pistola, dado sobre o cume do Monte Branco, faz menos ruido que uma pequena bomba. Tyndall repetiu diversas vezes esta experiencia: a primeira vez com uma pequenina peça d'artilheria, e mais tarde com pistolas. O que o espantou particularmente, foi a ausencia d'essa plenitude e clareza do som que caracteriza um tiro de pistola em logares menos elevados; o tiro produziu o effeito de uma garrafa de *Champagne*, e comtudo o som não deixava de ser ainda bastante intenso.

O distincto meteorologista francez Carlos Frederico Martins, descrevendo uma tempestade de que foi testemunha n'essas altas regiões, diz que «o trovão não ribombava; era

(\*) Com respeito aos *aerolithos*, pode o leitor consultar o que a esse respeito ficou dito a pag. 60 do tratadinho de *Astronomia* (vol. X da *Bibliotheca do Povo e das Escolas*).

um estampido sêco como a detonação de uma arma-de-fogo.»

Gay-Lussac, na sua celebre ascensão em balão, notou que os sons da sua voz estavam consideravelmente infraquecidos na altura de 7:000 metros a que elle se tinha elevado.

7. Causas que fazem variar a intensidade dos sons.— Estas causas são: a distancia do corpo sonoro, a amplitude das vibrações, a densidade do ar no logar em que o som se produz, a direcção dos ventos, emfim a vizinhança de outros corpos sonoros.

*A intensidade está na razão inversa do quadrado das distancias.*— Demonstra-se experimentalmente esta lei do seguinte modo. Supponhamos que temos cinco timbres sonoros, produzindo sons da mesma densidade (vibrados por martellos do mesmo pezo, cahindo da mesma altura), e que collocámos quatro d'estes timbres a uma distancia de 20 metros do ouvido, e um d'elles a uma distancia de 10 metros. Observaremos, que este ultimo, isoladamente vibrado, dá um som da mesma intensidade que os quatro primeiros vibrados simultaneamente, o que faz ver que, para uma distancia dupla, a intensidade é quatro vezes menor.

*A intensidade do som augmenta com a amplitude das vibrações sonoras.*— A amplitude das vibrações dá ao som mais ou menos intensidade, como se pode verificar por mil experiencias familiares. Quando friccionarmos com o arco, ou beliscarmos, a corda de uma rebeca ou de qualquer outro instrumento analogo, o som ir-se-ha infraquecendo á medida que o movimento de vac-vem da corda for menos pronunciado.

*A intensidade do som depende da densidade que tiver o ar no local em que aquelle se produz.*— Quando se colloca sob o recipiente da machina pneumatica uma caixa-de-musica em movimento, nota-se que a intensidade do som decrece á medida que se rarefica o ar. No hydrogenio, que é quasi 14 vezes menos denso que o ar, os sons têm uma intensidade mais fraca, ainda que a pressão seja a mesma. No acido carbonico, pelo contrario, cuja densidade, relativamente ao ar, é de 1,529, os sons tornam-se mais intensos. Sobre as altas montanhas, em que o ar está muito rareficado, é necessario falar com esforço para nos fazermos ouvir, e a explosão de uma arma-de-fogo (conforme ja ficou dito n'um dos precedentes paragraphos) não produzahi senão um som fraco.

*A intensidade do som é modificada pela agitação do ar e pela direcção dos ventos.*— Observa-se que, por um tempo calmo, o

som se propaga sempre melhor do que quando faz vento,— e que, em distancia igual, a intensidade é mais forte na direcção do vento do que em sentido contrario.

*O som é reforçado pela vizinhança de um corpo sonoro.*— Uma corda de instrumento, intesada ao ar livre, não dá senão um som fraco—enquanto, sendo fixa sobre uma caixa sonora, dará um som muito mais forte. E' n'isto que consiste o *reforçamento* do som, empregado nos instrumentos de corda—rebecas, violas, guitarras. O *reforçamento* aqui é devido á vibração unisona da corda e do ar contido na caixa sonora.

## CAPITULO II

### VELOCIDADE DO SOM

8. Velocidade do som no ar.—E' um facto reconhecido por toda a gente que o som não se propaga instantaneamente do corpo sonoro ao nosso ouvido, estando nós distantes. Ha sempre n'este caso um intervallo apreciavel entre o instante em que vemos o movimento que dá origem ao som e aquelle em que chega ao nosso ouvido impressão sonora.

Os primeiros physicos não encararam esta questão, positivamente complexa, debaixo do ponto-de-vista da propagação successiva do som atravez dos meios ponderaveis, nem perante as leis d'esse movimento, perante a velocidade de propagação, perante a constancia ou variação d'essa velocidade relativamente á distancia da fonte sonora, perante a differença de velocidade segundo o meio, perante a temperatura, perante a pressão barometrica, perante o estado hygrometrico do ar, perante a diminuição ou augmento (segundo a direcção do vento). Limitaram-se a medir grosseiramente a velocidade de propagação do som no ar, sem attender ás circumstancias que ora acabámos de mencionar.

Em geral as medições da velocidade do som são baseadas na differença que existe entre a velocidade da luz e a do proprio som; effectivamente foi sempre esta a differença que se determinou em todas as experiencias anteriores. De resto, sabido é hoje que não se commette n'este caso erro algum apreciavel considerando a velocidade da luz como infinita.

Eis pois o processo a seguir: mede-se com a maior precisão possivel uma distancia, nas duas extremidades da qual se collocam dois observadores. Um d'elles produz um som com o auxilio de um processo visivel,—pela detonação, por



exemplo, de uma arma-de-fogo, cuja luz, no momento em que os avista o segundo observador, marca o instante preciso em que começa o abalo sonoro. Este segundo observador, munido d'um instrumento proprio para avaliar o tempo (um relógio de segundos, supponhamos) nota o instante da apparição do signal luminoso, depois aquelle em que o seu ouvido percebe a impressão sonora: o intervallo indica em segundos e fracções de segundo o tempo decorrido entre estas duas phases do phenomeno. E' claro que, dividindo a distancia das estações pelo numero que mede esse intrevalllo, ter-se-ha o espaço percorrido pelo som n'um segundo, quer dizer, a sua velocidade. Isto suppõe, na verdade, que a velocidade do som é constante,—o que se póde verificar approximadamente, afinal, fazendo variar a distancia das estações extremas, ou estabelecendo postos de observação intermedios.

Historiemos summariamente as differentes experiencias que se fizeram para a medição da velocidade do som.

A mais antiga medição parece ter sido feita pela Academia de Florença, em 1660, dando o resultado de 1:148 pés ou 372<sup>m</sup>,90 por segundo. O padre Marsenne, fundando-se no echo e na reflexão do som, achou 972 pés ou 316 metros para o mesmo espaço de tempo. Por estes resultados se vê que é o primeiro d'elles comparativamente um numero muito alto e o segundo muito baixo. Não são, porém, para admirar estes erros porque as causas principaes d'elle consistem no conhecimento imperfeito das distancias das estações e, sobretudo na pouca precisão dos processos então empregados.

Para comparar os resultados obtidos tem que se attender á temperatura, ao estado hygrometrico de atmospherá, á força, velocidade e direcção do som.

Seguem-se a estas, experiencias exactas e precisas.

Em 1738, a Academia das Sciencias em França encarregou os sabios Lacaille, Cassini e Maraldie, de medirem a velocidade do som. Uma das estações que escolheram era no Observatorio de Paris e outra em Montlhery. A distancia entre ellas é de 11:756 toesas, a qual foi percorrida pelo som em 68,25. segundos. Por isso o resultado obtido foi de 178,25 toesas por segundo. Infelizmente, n'essa epocha, a medição sómente podia chegar aos meios-segundos; a maior parte dos tiros não foram reciprocos; a temperatura era vagamente indicada.

Foi então que se reconheceu a influencia do vento n'estas experiencias. Se o vento soprar em sentido opposto á direcção do tiro, diminuirá a velocidade do som. Se acontecer o

contrario, a estação opposta ouvirá o tiro muito depois do momento em que o devia ouvir. Por isso é que são necessarios os tiros reciprocos. Se o vento soprar n'uma direcção obliqua, a velocidade do som é augmentada ou diminuida, conforme o angulo que a sua direcção fizer com a do vento. A influencia é nulla desde que o vento sobre perpendicularmente entre as duas estações extremas.

Por estas experiencias reconheceu-se que a velocidade do som no ar é uniforme, isto é, percorrerá uma distancia dupla, tripla, quadrupla. . . , n'um espaço de tempo duplo, triplo, quadruplo. . . , etc. O que fez reconhecer este facto foram as estações intermedias.

De 1809 a 1811 Benzenberg fez perto de Dusseldorff muitas medições, entre duas estações que distavam entre si 9:072 metros. O resultado a uma temperatura de 2º acima de zero foi de 335<sup>m</sup>,2, por segundo; a 28º foi de 350<sup>m</sup>,78 (\*).

Em 1821, Goldingham, em Madrasta, obteve a 27º,56 o resultado de 347<sup>m</sup>,57 por segundo. Os tiros eram dados em dois fortes; o observador estava distante de um d'elles 4:246<sup>m</sup>,5 e do outro 9:059<sup>m</sup>,5.

Segundo a proposta de Laplace, o *Bureau des Longitudes*, de Paris, em 1822 por intermedio dos seus membros, Arago, Gay-Lussac, Humboldt, Prony, Mathieu Bouvard, escolheu para as experiencias as estações de Villejuif e Montlhery, arrabaldes da capital de França. A distancia ás estações era de 18:612<sup>m</sup>,52; a temperatura 15º,9; o estado hygrometrico 72º. *Resultados*:— Média do tempo gasto pelos sons em percorrer a distancia, 54,52 segundos (e, por conseguinte, a velocidade do som igual a 340<sup>m</sup>,88); erro provavel (avaliado por Arago), proveniente da incerteza da medição das distancias e avaliação do tempo, 1<sup>m</sup>,317.

Em 1829, Moll e Van-Beck, calculando a direcção do vento, por meio de bons anemometros, ao ar sêcco e á temperatura de 0º, obtiveram a velocidade de 332<sup>m</sup>,05. Os austriacos Stampffer e Myrbach em 1822, tiveram como resultado, a 0º e ao ar sêcco, 332<sup>m</sup>,44; Martins e Bravais, em 1844, fazendo as mesmas reduções alcançaram 332<sup>m</sup>,37.

A velocidade do som no ar decresce (como dissemos) com a temperatura: a 10º, é unicamente de 337 metros; a 0º, de 333 metros. Mas, para uma dada temperatura, é independente da densidade do ar, e, por conseguinte, da pressão.

(\*) Estes graus referem-se ao thermometro centigrado (instrumento já descrito no tratado de *Physica Elementar*, que constitue o vol. VIII da *Bibliotheca do Povo e das Escolas*).

Em temperaturas eguaes é ella a mesma para todos os sons, fortes ou fracos, graves ou agudos. Com effeito, Biot verificou, em experiencias fundadas sobre a conductibilidade dos tubos, que, quando se tocava flauta junto á extremidade de um tubo de metal fundido de 951 metros de comprimento, os sons conservavam o seu rhythmó na outra extremidade,—o que indica que os differentes sons se propagam com velocidades eguaes. Comtudo não deve isto admittir-se de uma maneira geral para os sons que têm uma origem dissimilhante, como a detonação de uma peça por exemplo, e o som de algum instrumento ou da voz humana. E' ao menos o que tende a provar a observação seguinte feita pelo capitão Parry, durante a sua expedição no Oceano Glacial. Tendo um dia mandado fazer exercicio de fogo-de-artilheria (exercicio, em que os artilheiros manobravam á voz de commando dada pelo official), muitas pessoas collocadas a uma grande distancia das peças, ouviram o estrondo do canhão antes de terem ouvido o commando de fazer fogo,—o que indicava que os sons produzidos com violencia se propagavam mais depressa.

Mas, para serem comparaveis os resultados das diversas experiencias sobre a velocidade do som na atmosphera, devem considerar-se feitos sempre n'uma egual temperatura.

Concorda-se em considerar a velocidade observada egual á que teria o som no ar sêcco, e á temperatura de 0<sup>o</sup> centigrados ou do gêlo fundente. Reciprocamente, sendo dada a velocidade n'estas circumstancias, pode-se achar a que teria o som a uma temperatura mais elevada ou mais baixa. A correcção a fazer é de 0<sup>m</sup>,626 para cada grau centigrado, quantidade para juntar se a temperatura se eleva, ou para diminuir se pelo contrario ella se abaixa. Discutindo as condições das diversas experiencias atraz mencionadas, Le Roux calculou o quadro seguinte da velocidade a 0<sup>o</sup>:

Academia das Sciencias .....	332 <sup>m</sup> ,00
Benzenberg.....	332 <sup>m</sup> ,33
Goldingham.....	331 <sup>m</sup> ,10
<i>Bureau des Longitudes</i> (*).....	330 <sup>m</sup> ,64
Stampffer e Myrbach.....	332 <sup>m</sup> ,44
Moll e Van-Beek .....	332 <sup>m</sup> ,05
Bravais e Martins.....	332 <sup>m</sup> ,37

Cinco sobre sete d'esta serie de experiencias, dão pouco

(\*) *Bureau des Longitudes* se chama officialmente em França a um celebre instituto destinado a observações astronomicas e meteorologicas. Foi fundado em 1795.

mais ou menos 332 metros para a velocidade da propagação do som. As duas outras dão um numero um pouco inferior. Mas é necessario não esquecer que as distancias percorridas eram mui desiguaes, que as temperaturas observadas eram as dos pontos extremos, e que, como notou Arago, a influencia do vento não foi sempre corrigida pelos tiros reciprocos. A differença de 1<sup>m</sup>,80 entre os resultados mais divergentes nada tem de extranho e explica-se pelas differenças provaveis das condições em que se encontravam as camadas de ar intermedias atravessadas pelo som no momento das experiencias.

*Medição das distancias pela velocidade do som no ar.* — Tomando agora o numero 330<sup>m</sup>,6 para a velocidade do som no ar livre e sêco, a 0<sup>o</sup>, e deduzindo os valores approximados d'esta velocidade a temperaturas differentes (acima e abaixo de 0<sup>o</sup>) segundo o processo de correcção apontado na pag. 16, eis o quadro que d'isso resulta:

Temperatura em graus centigrados	Velocidade por segundo em metros	Temperatura em graus centigrados	Velocidade por segundo em metros
— 5 <sup>o</sup>	327,45	+ 17 <sup>o</sup>	341,31
— 4 <sup>o</sup>	328,08	18 <sup>o</sup>	341,94
— 3 <sup>o</sup>	328,71	19 <sup>o</sup>	342,57
— 2 <sup>o</sup>	329,34	20 <sup>o</sup>	343,20
— 1 <sup>o</sup>	329,27	21 <sup>o</sup>	343,83
0 <sup>o</sup>	330,60	22 <sup>o</sup>	344,46
+ 1 <sup>o</sup>	331,23	23 <sup>o</sup>	345,09
2 <sup>o</sup>	331,86	24 <sup>o</sup>	345,72
3 <sup>o</sup>	332,49	25 <sup>o</sup>	346,35
4 <sup>o</sup>	333,12	26 <sup>o</sup>	346,98
5 <sup>o</sup>	333,75	27 <sup>o</sup>	347,61
6 <sup>o</sup>	334,38	28 <sup>o</sup>	348,24
7 <sup>o</sup>	335,01	29 <sup>o</sup>	348,87
8 <sup>o</sup>	335,64	30 <sup>o</sup>	349,50
9 <sup>o</sup>	336,27	31 <sup>o</sup>	350,13
10 <sup>o</sup>	336,90	32 <sup>o</sup>	350,76
11 <sup>o</sup>	337,53	33 <sup>o</sup>	351,39
12 <sup>o</sup>	338,16	34 <sup>o</sup>	352,02
13 <sup>o</sup>	338,79	35 <sup>o</sup>	352,65
14 <sup>o</sup>	339,42	40 <sup>o</sup>	355,80
15 <sup>o</sup>	340,05	50 <sup>o</sup>	366,10
16 <sup>o</sup>	340,68		

O conhecimento d'estes numeros pode servir para medir rapidamente, com uma certa approximação, a distancia entre dois pontos, quando nenhum obstaculo impeça a vista no intervallo que os separa. Os viajantes, os marinheiros, os soldados em campanha, podem utilmente tirar partido d'esta maneira prompta de medir as distancias. A luz que fuzila da bocca de uma arma-de-fogo vê-se mal, é verdade, por um tempo claro; mas, apenas enoiteça, ou se torne o tempo sombrio, o clarão do tiro pode ser visivel. A' falta do clarão pode-se observar o fumo. Tomemos um exemplo: uma bateria inimiga descarrega um tiro de peça, e contam-se, entre o clarão do tiro e o ruído, pouco mais ou menos 15 segundos; o official que observa suppõe uma temperatura de 12°. A distancia avaliada acha-se calculada em  $338^m \times 15$ , isto é, em 5:070 metros. N'este momento supponhamos que a temperatura marcada pelo thermometro fosse realmente 10°, e que um relógio tivesse dado 14,5 segundos; a distancia é pois em realidade de  $336,90 \times 14,5$  ou 4:885 metros. O erro é de 185 metros (quasi  $\frac{1}{26}$  da distancia verdadeira); o resultado obti-

do apresenta portanto a sufficiente exactidão para taes circumstancias. Vê-se, afinal, que o motivo do erro mais consideravel é o que pode provir da avaliação de tempo. Mas um relógio com a medição de segundos e um thermometro de algebrá, não são objectos tão raros, que se não possa a miúdo empregar o methodo precedente com uma certa probabilidade de exactidão.

O mesmo que dissemos com relação aos tiros, podemos applicá-lo á medição da distancia que medeia entre uma trovada e o ponto onde estamos, pela percepção da luz e do estrodo.

10. Velocidade do som nos diversos gazes.— A velocidade do som nos gazes calcula-se, em these, segundo uma lei muito simples em cujo desinvolvimento não podemos todavia intrar aqui por depender de principios mathematicos para que não está ainda preparada a pluralidade dos leitores da *Bibliotheca do Povo e das Escolas*. Medem-n'a tambem experimentalmente pelo methodo chamado das vibrações, servindo-se de tubos sonoros. Eis quaes os resultados obtidos por Wertheim e Dulong a 0°, — o primeiro pelo methodo experimental, o segundo pelo das vibrações:

Gases	Velocidades	
	Wertheim	Dulong
Ar.....	333 <sup>m</sup>	333 <sup>m</sup>
Acido carbonico.....	262 <sup>m</sup>	261 <sup>m</sup>
Oxygenio.....	317 <sup>m</sup>	317 <sup>m</sup>
Hydrogenio.....	1270 <sup>m</sup>	1269 <sup>m</sup>
Oxydo de carbonio.....	337 <sup>m</sup>	337 <sup>m</sup>
Ammoniaco.....	407 <sup>m</sup>	—

11. Velocidade do som nos liquidos e nos solidos. — A velocidade do som nos liquidos é muito maior que no ar.

Colladon e Sturm, acharam, por experiencias feitas, em 1827, no lago de Genebra, que a velocidade do som na agua é de 1:435 metros á temperatura de 8<sup>o</sup>,1. E' mais que o quadruplo da que tem logar no ar. Para os outros liquidos Wertheim achou:—para o alcool de 36<sup>o</sup> (a 20<sup>o</sup> de temperatura) 1:286<sup>m</sup>; para o ether sulphurico (a 0<sup>o</sup> de temperatura), 1:159<sup>m</sup>. Em liquidos que apresentem natureza e condições identicas succede o mesmo que succede no ar:—a velocidade do som augmenta com a temperatura.

Nos solidos a velocidade do som é ainda maior. Experimentando sobre tubos de ferro fundido destinadós ao incanamento das aguas de Paris, diz Biot que, no ferro fundido, o som propaga-se 10,5 vezes mais depressa que no ar. A velocidade do som nos outros solidos foi determinada theoreticamente por Ehladin, Savart, Masson e Wertheim, apoiando-se, ora sobre o numero de vibrações longitudinaes ou transversaes dos corpos, ora sobre o seu coefficiente de elasticidade. Chladin achou, com o auxilio das vibrações longitudinaes, que, nas diferentes especies de madeira, a velocidade é 10 a 16 vezes maior que no ar. Nos metaes é mais variavel; é de 4 a 16 vezes a que se observa no ar.



## CAPITULO III

## REFLEXÃO E REFRACÇÃO DO SOM

Sabe-se que a luz e o calor se propagam ao mesmo tempo directamente pela irradiação e indirectamente pela *reflexão*. Além d'isso, quando a propagação se effectua em meios cuja constituição molecular e densidade diffiram, a direcção das ondas luminosas e calorificas soffre um desvio particular conhecido pelos physicos sob o nome de *refracção*.

Existem para o som os mesmos phenomenos de reflexão e de refracção que para o calor e para a luz, e segundo pouco mais ou menos as mesmas leis.

12. *Reflexão do som. Suas leis.*— A reflexão do som segue leis muito simples, de que vamos dar o enunciado. São, como se demonstra rigorosamente, uma consequencia natural do movimento vibratorio que constitue o som, mas verificam-se experimentalmente.

Denomina-se *raio sonoro* qualquer linha recta que parta do centro inicial do movimento; quando chega a collocar-se em contacto com uma superficie reverberante, passa a chamar-se *raio incidente*; e chama-se *raio reflexo*, a linha segundo a qual o som é re-inviado por essa superficie para qualquer outro ponto. Os dois angulos que os raios incidente e reflexo fazem com a perpendicular ou normal á superficie no ponto de incidencia, dizem-se *angulos de incidencia e de reflexão*. Estando bem comprehendidas estas definições, eis como se enunciam as duas leis da reflexão do som:

1.<sup>a</sup> lei.— *O raio sonoro incidente e o raio reflexo estão no mesmo plano com a normal á superficie no ponto de incidencia.*

2.<sup>a</sup> lei.— *O angulo de incidencia e o angulo de reflexão são iguaes entre si.*

A verificação experimental d'estas duas leis é de uma grande simplicidade. Põem-se em frente



Fig. 1

um do outro, de maneira que os seus eixos co-incidam, dois espelhos metallicos parabolicos, isto é, que tenham a fórma segundo a curva denominada parabola, como se vê na fig. 1. Uma tal curva possui, perto de *A*, um fóco *F*, o qual apresenta por propriedade que todas as linhas taes como *FM*,

conduzidas por pontos diferentes da parábola, se reflectem segundo as parallelas  $MZ$ ,  $IH$ , etc., ao eixo da curva (continuação da recta  $AF$ ). N'uma palavra, os raios partindo do fóco e as parallelas ao eixo fazem angulos eguaes com as normaes á parábola, nos pontos  $M$ ,  $I$ , etc. Reciprocamente, se as linhas parallelas ao eixo vierem incontrar a parábola, vão reflectir-se no fóco.

Ora, se collocarmos um relógio no fóco de um dos espelhos parabolicos, as ondas sonoras provenientes do tique-taque do movimento serão re-inviadas parallelamente ao eixo e vão reflectir-se, depois de ter tocado na superficie concava do segundo espelho. O observador, munido de um tubo (a fim de não interceptar as ondas sonoras), ouvirá facilmente o ruído do relógio, se collocar a extremidade do tubo no fóco do segundo espelho. Em outra qualquer parte o som não é percebido, mesmo pelas pessoas que se collocam no intervallo dos dois espelhos, a uma fraca distancia do relógio.

A curva chamada *ellipse* tem dois fócos; e os raios, partidos de um, vão reflectir-se no outro. As salas, cuja abobada é de fórma elliptica, devem apresentar, pois, o mesmo phenomeno notado no systema dos dois espelhos parabolicos, e é isto o que a experiencia confirma. O Museu dos Antigos, no Louvre, possui uma sala d'este genero, na qual duas pessoas, collocadas nas duas extremidades oppostas, podem conversar em voz baixa, sem temer a indiscreção das pessoas que se achem n'uma posição intermedia. Phenomeno identico se observa n'uma curiosa sala elliptica, que existe em Mafra no mosteiro fundado por el-rei D. João V.

A reflexão do som é utilizada em muitos instrumentos de musica.

13. *Echo*. Resonancia.— Resulta da reflexão do som o phenomeno do *echo*. Quando nos achamos n'uma camara, cujas dimensões são sufficientemente grandes, e cujas paredes não estão guarnecidas de objectos que abafem o som, — a voz torna-se ahí reforçada, e o ruído dos passos ou o que resulta do choque de corpos sonoros, resôa com uma grandissima intensidade. N'uma sala de dimensões extraordinarias, as palavras são como que duplicadas, o que as torna muitas vezes confusas e difficeis de perceber. Este reforçamento dos sons, devido á reflexão sobre as paredes, é o que se chama *resonancia*.

Se a distancia do observador á parede r. percussiva exceder 20 metros, percebe elle claramente segunda vez cada uma das syllabas que pronuncia; é este o phenomeno do *echo simples*. (*Echo*, deriva-se do grego *êkos*, som.) Emfim, quando cada

syllaba é repetida duas ou muitas vezes, ha um *echo multiplo*.

As razões d'estes diversos phenomenos são as seguintes:

Por mais breve que seja a duração de um som, a sensação que elle provoca no ouvido persiste um certo tempo, quasi

$\frac{1}{10}$  de segundo. Durante este tempo, o som percorre pouco

mais ou menos 34 metros, de sorte que, se a distancia do observador á parede que reflecte o som é menor de 17 metros, a syllaba que elle pronunciou tem tempo de ir e de voltar ao seu ouvido antes da sensação estar completamente dissipada. O som reflexo misturar-se-ha, pois, com o som percebido directamente; e, como uma multidão de reflexões parciaes emanarão simultaneamente de pontos desegualmente distantes, resultará d'isso um zumbido confuso, a que nós acabámos de chamar uma resonancia. A mesma explicação se applica evidentemente ao caso de duas ou muitas pessoas occupando a mesma sala e falando quer junta, quer isoladamente; a confusão que d'isso resultará será tanto maior, quanto mais depressa falar o orador.

Se, porém, a distancia exceder 17 metros, quando o som da syllaba pronunciada volta ao ouvido pela reflexão, a sensação estará dissipada, e ouve-se uma repetição mais ou menos infraquecida do som directo. Ha *echo*. Se a distancia fôr maior, maior será o numero das syllabas ou dos sons distinctos assim repetidos. Por exemplo, supponhamos que esta distancia é de 180 metros, e que, n'um segundo, o observador pronuncia quatro syllabas, por exemplo, a palavra: *exposição*. Para ir á superficie de reflexão e voltar, o som leva pouco mais de um segundo; a sensação directa tem já passado e ouve-se por segunda vez e distinctamente: *exposição*. Assim acontece ao *echo simples*, que n'este caso é *polysyllabico*.

O *echo multiplo* effectua-se entre superficies de reflexão parallelas e sufficientemente afastadas. N'este caso, o som reflectido por una d'ellas vae reflectir-se por segunda vez sobre a outra, e assim por diante; mas é claro que, por estas reflexões successivas, os sons se infraquecem cada vez mais. Os edificios, os rochedos, as massas de arvores, nuvens até, produzem o phenomeno do *echo*. Os echos mais notaveis são o das proximidades de Verdun, que repete doze vezes o mesmo som, e o de Simonetta, em Italia, que repete mais de quarenta vezes o estrondo de um tiro de pistola.

14. **Refracção do som.**— O som propaga-se, como vimos, por intermedio de todos os meios elasticos, mas com velocidades diversas que dependem, até certo ponto, da densidade dos meios. Quando o som passa de um meio para outro, mudando a sua velocidade, resulta um desvio do raio sonoro, desvio que approxima este raio da normal á superficie de contacto entre os dois meios, se a velocidade é menor no segundo que no primeiro. Como a luz experimenta um desvio semelhante, que se verificou pela experiencia muito antes de se encontrar a verdadeira explicação theorica, e como o phenomeno é, desde muito tempo, conhecido sob o nome de *refracção*, deu-se ao desvio dos raios sonoros o nome de *refracção do som*. Eis como Sondhans poz fóra de duvida a existencia d'este desvio.

Tendo formado com membranas de collodion um sacco em fórma de lente, encheu-o de acido carbonico. N'este gaz a velocidade do som é menor que no ar. Os raios sonoros que vêm encontrar a superficie espherica e convexa da lente, refrangem-se passando atravez do gaz; e, sabindo pela superficie opposta, devem ir convergir em um ponto unico ou fóco. E com effeito, se collocarmos um relógio *R* (fig. 2), por exemplo, sobre o eixo *RO* d'esta lente *I Z*, reconhecemos que ha, sobre o eixo, e do outro lado, um ponto *O* em que o tique-taque do relógio se ouve distinctamente e melhor do que em outra parte qualquer. Ha, pois, evidentemente, convergencia das ondas sonoras para o ponto *O* do eixo da lente, de que tratamos, e portanto refracção do som.

Uma lente bi-concava (\*) que estivesse cheia de hydrogenio, permitiria verificar igualmente o phenomeno da refracção do som. Viu se, com effeito, que a velocidade do som no hydrogenio é maior que no ar; as superficies concavas de separação dos dois meios teriam, pois, o mesmo effeito sobre a duração dos raios sonoros, e desvial-os-hiam do mesmo modo que a lente convexa, cheia de acido carbonico.

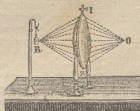


Fig. 2

(\*) Já na pag. 50 da *Physica Elementar* (vol. VIII da *Bibliotheca do Povo e das Escolas*) se explicou o que deve em *Physica* intender-se por lentes e as modificações de fórma que estas podem apresentar.

15. Porta-voz, corneta acustica.— O *porta-voz* e a *corneta acustica* são dois instrumentos fundados e baseados ao mesmo tempo no reforçamento e na conductibilidade do som pelos tubos.

O *porta-voz*, assim como o indica o seu nome, é destinado a transmittir o som a grandes distancias. E' um tubo de *folha de Flandres*, ligeiramente conico (fig. 3), e muito aberto n'uma das suas extremidades, que se denomina *pavilhão*.



Fig. 3

Este instrumento, que se imbocca pela outra extremidade, leva a voz tanto mais longe, quanto maiores forem as suas dimensões. Explicam-se, em geral, os effeitos do *porta voz* por uma serie de reflexões successivas das ondas sonoras sobre as paredes do tubo — reflexões em virtude das quaes as ondas tendem a propagar-se cada vez mais, seguindo uma direcção parallelamente ao eixo do instrumento. Objectou-se a esta theoria que os sons emitidos atravez do *porta-voz* não são reforçados unicamente na direcção do seu eixo, mas em todas as direcções,— e, ainda, que o *pavilhão* seria inutil para obter o parallelismo dos raios sonoros, enquanto pelo contrario exerce uma influencia consideravel sobre a intensidade dos sons transmittidos. Emfim, forrando com um estofa de lan o interior do *porta-voz*, o effeito torna-se sensivelmente infraquecido. Os effeitos d'este instrumento devem ser, pois, antes explicados por um reforçamento produzido pela columna de ar que está no tubo, a qual vibra unisona, á medida que se fala na sua extremidade. Enquanto ao effeito do *pavilhão*, ainda se não deu explicação sufficiente.

A *corneta acustica* serve para as pessoas que têm o ouvido duro.

E' um tubo conico de metal, do qual uma das extremidades, terminada em *pavilhão*, é destinada a receber o som, enquanto a outra se mantem introduzida no ouvido. O *pavilhão* serve aqui de imboccadura, isto é, recebe os sons vindos da bôcca da pessoa que fala. Estes sons transmittem-se por uma serie de reflexões no interior da *corneta*, de sorte que as ondas sonoras que tomaram um grande desinvolvimento acham-se concentradas no apparelho auditivo, e abi produzem um effeito muito mais sensivel do que teriam feito as ondas divergentes.

## CAPITULO IV

## AS VIBRAÇÕES SONORAS

16. Vibrações dos solidos, dos liquidos e dos gases.—E' n'este capitulo que vamos estudar propriamente o som em si mesmo e ampliar as verdades que entrevimos no primeiro capitulo d'este voluminho. Comecemos recordando essas verdades.

O som é resultado, como vimos, de um movimento vibratorio, e os corpos sonoros são corpos elasticos, cujas moleculas, por intermedio da fricção, da percussão, etc., communicam uma especie de movimento de vae-vem em redor da sua posição de equilibrio. Este movimento é transmittido pouco a pouco aos corpos elasticos circumvizinhos até que por fim vae impressionar o orgão auditivo e produzir a sensação do som, se o numero e a amplitude das vibrações tiverem valores convenientes.

E' facillimo certificarmo-nos d'isso, e phenomenos diarios comprovam o que ora affirmamos.

Se suspendermos uma pinça por meio de um pedaço de madeira ou de metal, e batermos nos seus dois braços, ouviremos um som; e, applicando os dedos sobre ella, sentiremos um estremecimento da pinça, mui facil de distinguir do movimento de oscillação visível. Se puzermos os dedos sobre a caixa sonora do piano, sentiremos a mesma coisa. Identico effeito resultará do som do clarim e do tambor ou da detonação de um tiro, que fará estremecer os vidros das janellas.

Nas cordas e nas varas metallicas apresenta-se nos o mesmo phenomeno. Se intesarmos uma corda de rebeca por meio de dois cavalletes (fig. 4), sobre uma superficie de côr sombria, e a fizermos vibrar por meio do arco ou por uma beliscadura no meio da corda, veremos esta ultima alargar se das duas extremidades para o meio, e apresentar n'este ultimo ponto uma tumefacção apparente devida ao movimento de vae-vem.

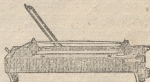


Fig. 4

Em lugar de uma corda consideremos uma vara ou haste



metallica flexivel, fixa n'uma das suas extremidades. Se a afastarmos da sua posição de equilíbrio (fig. 5), vel-a-hemos executar uma serie de oscillações, cuja amplitude vae diminuindo á maneira que o som se vae tornando mais fraco e termina por se annullar. Uma campanula de crystal, quando se lhe esfrega a borda com um arco de rebecca, produz sons frequentemente energicos. Verifica-se com grande facilidade a existencia das vibrações que lhe dão origem:— uma haste metallica, cuja ponta (fig. 6) toque levemente na borda da campanula, começa em resultado das vibra-



Fig. 5

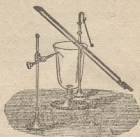


Fig. 6

ções d'esta, a percutil-a; e o ruido, que d'isso resulta, distingue-se facilmente do som propriamente dito. A bola de um pendulo é re-inviada com força e oscilla durante toda a duração do som. Pelo mesmo motivo uma espherasinha metallica, collocada no interior de um timbre, saltita quando este ultimo resoa e accusa assim a existencia das vibrações que animam as moleculas do corpo sonoro. Além d'estas vibrações, cujo sentido é perpendicular ao seu comprimento, e que se chamam por esta razão *vibrações transversaes*, as cordas, as hastes metallicas, enfim os proprios corpos que enumerámos, executam ainda *vibrações longitudinaes*, que se tornam sensiveis por meios semelhantes aos que ora acabámos de descrever. Tomemos, por exemplo, uma vara de ferro ou um tubo de vidro, que tenha uma das extremidades fixa, e esfreguemol-os com o auxilio de um pedaço de estofó besuntado com colophonia: produz-se um som; e, se lhe puzermos em contacto uma esphera (formando pendulo) com o extremo livre da vara ou do tubo, vel-a-hemos resaltar e oscillar enquanto

houver som; o seu movimento será então longitudinal como as vibrações que o produzem.

Até aqui, não temos considerado, para as pormos em evidencia, senão as vibrações dos corpos solidos. Mas as que a producção ou a transmissão do som determinam nas massas liquidas e nos gazes, podem-se tornar igualmente visiveis. Um copo, cheio de agua até metade, vibra como a campanula de que falámos, quando se lhe esfregam as bordas, quer com o dedo molhado, quer com um arco. Além d'isso, veremos então, sobre a superficie do liquido, grande abundancia de estrias, que se dividem em quatro, algumas vezes em seis grupos principais; e estas estrias são tanto mais apertadas quanto o som é mais agudo. Se augmentarmos a intensidade do som, a amplitude das vibrações torna-se tão viva que a agua salta de cada grupo em chuva fina.

Emfim, se adaptarmos a um folle um tubo sonoro, poderemos verificar as vibrações da columna de ar interior pela maneira seguinte: suspendemos (fig. 7), com o auxilio de um fio, um quadrado forrado por uma membrana intesada, no interior do tubo. Quando o tubo resoa veremos os grãos de areia que tivermos previamente espalhado por sobre a membrana, saltitarem á superficie, e provarem assim as vibrações da columna gazosa, transmittidas á propria membrana, e aos leves corpusculos de que ella estiver polvilhada. Notámos que as vibrações transmittidas pelo ar têm algumas vezes uma grande energia, visto que as vidraças estremecem e mesmo se quebram na proximidade de uma detonação um pouco forte, como a de uma peça-de-artilharia.

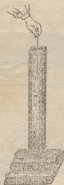


Fig. 7

*Avaliação experimental do numero de vibrações correspondentes aos diversos sons.*— Vimos já e veremos adiante (\*) que os sons se distinguem por muitos caracteres, como a intensidade, etc. O mais importante d'estes caracteres, tanto sob o ponto de vista physico, como sob o ponto de vista musical, é a altura, isto é, o grau de agudeza ou de gravidade do som. Toda a gente distingue os sons agudos dos sons graves, qualquer que seja o corpo sonoro que os produza. Dois sons da mesma altura dizem-se *unisonos*. Em geral, os ouvidos menos exerci-

(\*) Capitulo que trata da *Theoria physica da musica*.

tados reconhecem facilmente quando dois ou mais sons são unisonos, assim como distinguem tambem (se não forem unisonos) qual d'elles é o mais *alto* (ou o mais *agudo*) e qual o mais *baixo* (ou o mais *grave*). O que vamos estudar agora é a causa physica d'estas similhanças ou d'estas differenças.

A altura de um som depende unicamente do maior ou menor numero de vibrações que executam ao mesmo tempo o corpo sonoro e os meios com o auxilio dos quaes o som se propaga. Quanto mais agudo é o som, mais consideravel é este numero; quanto menor for o numero das vibrações, mais grave o som será: vejamos por que experiencias os physicos chegaram a determinar esta importante lei, e como procederam para contar estes movimentos que o olho ou os nossos outros sentidos sómente chegam a perceber de um modo confuso.

A *roda dentada de Savart* (assim chamada por ter sido Savart o seu inventor),

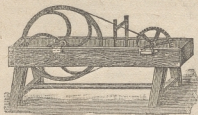


Fig. 8

permite contar o numero de vibrações que corresponde a um dado som. O som é produzido n'este aparelho pelo choque de um cartão (fig 8) contra os dentes de uma roda que se faz mover com o auxilio de uma manivella.

Quando a velocidade da roda é fraquissima, não se ouve senão uma serie de ruidos isolados, cujo conjuncto não produz verdadeiramente um som, e cuja altura é por conseguinte inapreciavel. Mas á medida que a velocidade augmenta, as vibrações multiplas do cartão, transmittidas ao ar, produzem um som continuo, cuja altura é tanto maior quanto a velocidade é por si menos consideravel. Um contador, adaptado á roda dentada, permite conhecer o numero das voltas que a roda faz n'um segundo; este numero multiplicado pelo dos dentes dá a metade do numero total das vibrações, porque é evidente que o cartão, começando por desviar-se, volta depois sobre si e produz duas vibrações simples a cada dente que passa. Savart obtinha de uma roda, munida de 600 dentes, até quarenta voltas por segundo, e por conseguinte 4:800 vibrações simples n'este mesmo espaço de tempo, o que corresponde a um som de uma extrema altura.

A *seriea*, cuja invenção é devida a um physico francez. Cagniard-Latour, permite tambem medir, e nesmo com uma precisão maior que a *roda dentada* de Savart, as vibrações de um dado som. N'este aparelho (fig. 9) o som é determinado pela corrente de ar, de um *bolle*, que passa por uma serie de orificios distribuidos a igual distancia sobre as circumferencias de dois pratos metallicos dos quaes um é fixo e o outro movel. Quando os orificios se correspondem, a corrente de ar passa; e a sua força de impusão, actuando sobre os canaes obliquos (*a*) que formam os buracos (fig. 10), determina o movimento do prato superior. Per este proprio movimento, a coincidencia cessa, depois restabelece se, cessa de novo, etc., o que determina uma serie de vibrações cada vez mais rapidas no méo que circunda o instrumento. Se houver vinte

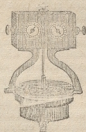


Fig. 9

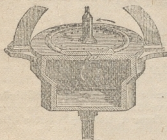


Fig. 10

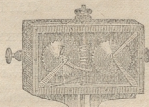


Fig. 11

buracos, são vinte vibrações para cada volta do prato,—de sorte que, contando o numero de voltas que se effectuam para um dado som em um segundo, pode-se calcular facilmente o numero total das vibrações. O eixo do prato movel (fig. 11) engrena, com o auxilio de um parafuso (*a*) sem fim, n'uma roda dentada (*b*), cujo numero de dentes é igual ao das divisões de um mostrador exterior. Quando a roda avança um dente, a agulha caminha uma divisão, de sorte que o numero das divisões percorridas pela agulha dá o das voltas, e, desde logo, por uma simples multiplicação o das observações

sonoras. No fim de cada giro, por uma disposição especial a segunda roda caminha uma divisão, de sorte que, se a primeira roda tem cem dentes, a agulha do segundo mostrador indica centenas de voltas. O contador está disposto de tal modo que não caminha senão á vontade, isto é — quando a velocidade attingida acabou por dar o som cuja aviliação é procurada. A dificuldade consiste em conservar a constancia de velocidade, afim de ter um som de uma altura invariavel durante um tempo sufficientemente longo. A *sereia* funciona tambem na agua; e é então o liquido, (sabindo pelos buracos sob a pressão de uma columna d'agua muito elevada), que determina as vibrações. O som, que d'isso resulta, prova que os liquidos entram directamente em vibração como os gazes, sem que o som lhes seja communicado pelas vibrações de um solido. O nome de *sereia* provém precisamente d'esta circumstancia — que o instrumento *canta* na agua com as phantasticas creaturas idealizadas pela mythologia do paganismo greco-romano sob a designação de *Sereias* (\*).

Ha ainda outros methodos de avaliação pela *sereia* de Seebeck (entre elles, o *methodo graphico*), que não expomos aqui por não serem indispensaveis.

## CAPITULO V

### THEORIA PHYSICA DE MUSICA

17. Som e ruido. — Agora vamos dar do *som* a definição mais approximada possivel do verdadeiro sentido em que essa palavra deve ser tomada, e fazer a distincção entre elle e o *ruido* propriamente dito.

O *som* é uma sensação excitada no orgão do ouvido pelo movimento vibratorio dos corpos, quando este movimento se transmite ao ouvido com o auxilio de um meio elastico. Nem todos os sons são identicos; e apresentam, como já temos tido occasião de ver, differenças assaz sensiveis para que se possa distinguil-os entre si, comparál-os e determinar as suas relações.

O *som* propriamente dito ou *som musical* é o que produz uma sensação continua e de que se pode apreciar o valor musical, enquanto o *ruido* é um som de uma duração muito

(\*) Veja-se o que a este respeito ficou dito a pag. 19 do nosso tratadinho de *Mythologia* (vol. III da *Bibliotheca do Povo e das Escolas*).

curtapara ser bem apreciado, como, por exemplo, o estampido do canhão,—ou antes é uma mistura confusa de muitos sons discordantes, como o ribombar do trovão, o ruído das vagas, et. Todavia a diferença entre o som e o ruído não está claramente definida; ha, diz-se, certos ouvidos privilegiadamente organizados para determinarem o valor musical do estrond produzido por uma carruagem rolando sobre a calçada da rua, etc.

Sendo um som determinado pelo numero de vibrações que lhe correspondem, convencionou-se, para comparar entre si os sons representál-os pelo seu numero de vibrações, não absoluto, mas relativo. Por exemplo, correspondendo tres sons aos numeros de vibrações 72, 144, 288, representa-se o primeiro numero por 1, o segundo por 2, e o terceiro por 3.

O ouvido distingue no som musical tres qualidades particulares. Estas tres qualidades são: a *altura*, a *intensidade* e o *timbre*.

18. *Alura*.—A *altura* é a impressão que resulta, para o órgão de ouvido, do maior ou menor numero de vibrações n'um tempo dado. Chamam-se *sons graves* os que são produzidos por um pequeno numero de vibrações, e *sons agudos* os que provém de um grande numero de vibrações. Sons absolutamente agudos ou graves, são os que se acham nas extremidade da escala dos sons perceptíveis. Todos os sons intermedia, não são graves ou agudos senão de uma maneira relativa. Todavia diz-se um *som grave* ou um *som agudo*, como se diz uma *temperatura baixa* ou uma *temperatura elevada*, comparndo-se o som dado com os que se ouvem mais ordinariament. A relação de gravidade ou de elevação de dois sons denomna-se *tom*, isto é, o grau de altura de um som; sob o ponto de vista musical, exprime o grau de altura da escala na qual se toca.

19. *Intensidade*.—Viu-se já que a *intensidade*, ou a força de um som, depende da amplitude das oscillações e não do seu numero. Um dado som pode conservar o mesmo grau de gravidade ou de elevação e tomar uma intensidade maior ou menor, quando se faz variar a amplitude das oscillações. E' o que acontece a uma corda intesada, que se afasta mais ou menos da sua posição de equilibrio.

20. *Timbre*.—Diz-se que ha *timbre* logo que dois instrumentos diferentes,—dando, cada um, um som da mesma altura e da mesma intensidade,—possam ser perfeitamente distintos um do outro; o som do oboé, por exemplo, é muito distincto do da flauta; o som da buzina, do do fagote. Pelo



mesmo motivo a voz humana apresenta um timbre bem differente, segundo os individuos, a idade ou o sexo (\*).

21. **Unisonos.**—Dois sons produzidos por igual numero de vibrações dizem-se *unisonos*: são então da mesma altura, isto é, igualmente graves ou agudos.

22. **Accordes e dissonancias.**—Denomina-se *acorde* a existencia de muitos sons produzido no ouvido uma sensação agradável. Se este orgão é desagradavelmente affectado, diz-se que ha *dissonancia*.

23. **Harmonicas.**—Chamam-se *sons harmonicos*, ou simplesmente *harmonicas*, os sons, cujos numeros de vibrações estão entre si como a serie natural dos numeros inteiros 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8... A sobreposição de dois d'estes sons dá um acorde tanto mais consoante, quanto mais baixo o tomarmos na serie. As harmonicas não dão senão accordes, d'onde lhes vem o nome. Todavia isto não é exacto senão para os primeiros sons da serie; porque, quanto mais os elevarmos, mais o acorde tenderá a mudar-se em dissonancia.

24. **Escala musical.**—A *escala musical* ou *gamma* compõe-se de uma serie de sons cada vez mais agudos, partindo do seu som fundamental para ir á sua oitava. Exemplo:

*dó, ré, mi, fá, sol, lá, si, dó*

25. **Intervallo.**—A distancia que existe entre cada som, ou antes a relação entre o numero de vibrações que produzem os sons, chama-se *intervallo*, *segunda*, *terça*, *quarta*, *quinta*, *sexta*, *septima*.

A physica estabeleceu o quadro seguinte dos intervallos segundo o numero das vibrações que fornece cada nota durante uma das do som fundamental:

$$\begin{array}{cccccccc} \text{dó} & \text{ré} & \text{mi} & \text{fá} & \text{sol} & \text{lá} & \text{si} & \text{dó} \\ 1 & \frac{9}{8} & \frac{5}{4} & \frac{4}{3} & \frac{3}{2} & \frac{5}{3} & \frac{15}{8} & 2 \end{array}$$

26. **Escala diatonica.**—As relações do *lá* ao *mi* e ao *sol*, formando a *terça* e a *quinta*, são as mais simples, e o ouvido passa sem difficuldade do primeiro som aos dois ultimos. As relações dos outros intervallos entre si, ainda que menos sim-

(\*) veja-se mais adiante o que dizemos a este respeito no cap. VI.

ples, são contudo pouco complicadas. Esta escala toma o nome de *escala diatonica*.

27. *Escala chromatica*.—Se examinarmos os intervallos que separam as septe notas da gamma diatonica, percebe-se que o intervallo do *mi* ao *fa* e do *si* ao *dó* são mais approxima-dos que os outros. Ora, se quizermos caminhar por intervallos eguaes, torna-se necessario intercalar uma nota entre cada nota d'esta escala, o que eleva o numero total das notas a quatorze; n'isto consiste a *gamma chromatica*.

As notas intercaladas chamam-se *sustenidos*, relativamente ao mais grave dos dois sons que ellas separam; e *bemoes*, relativamente ao mais agudo. As notas *sustenidas* e *bemoesadas* são inteiramente indispensaveis ao nosso systema musical.

28. *Diapasão*.—O *diapasão* é um pequeno instrumento com o auxilio do qual se reproduz á vontade uma nota invariavel, o que o torna proprio para regular os instrumentos de musica.

Consiste em uma haste de aço recurvada sobre si em fórma de pinça (fig. 12). Fazem-n'a vibrar roçando um arco de rebecca sobre as bordas ou afastando brus-camente os seus dois braços, por meio de um cylindro de ferro que se passa á força entre elles, como o mostra a figura.

As duas laminas, assim afastadas da sua posição de equilibrio, voltam á mesma vibrando, e produzindo um som constante para cada diapasão.

Reforça se o som d'este aparelho fi-xando-o sobre uma caixa de madeira branca, bem sêcca, aberta n'uma das extremida-des.

O numero de vibrações do diapasão, va-riando com o comprimento e a espessura das suas duas laminas, regula-se com o au-xilio da *sereia* ou, melhor ainda, pelo *processo graphico* de Duhamel que mais adiante descreveremos.

O numero das vibrações simples do diapasão foi ao princi-pio de 856 por segundo; mas como, para regular o som de seus instrumentos, os musicos não faziam uso d'este appare-lho, acontecia que o *tom* ia sempre elevando-se nos grandes theatros da Europa, e além d'isso não era o mesmo em Paris, que em Vienna ou em Milão. Os constructores eleva-ram então o numero das vibrações a 880; enfim, em 1859,



Fig. 12

uma comissão, escolhida para este effeito em Paris, adoptou um *diapasão normal*, obrigatorio para todos os estabelecimentos musicaes de França. Este diapasão, cujo padrão está depositado no Conservatorio de Musica em Paris, dá 870 vibrações por segundo, e produz a nota do segundo *lá* da rebeca.

29. Theoria dos principaes instrumentos de musica.—Na impossibilidade de desinvolvermos, muito esta parte, contentar-nos-hemos em expôr aqui unicamente o que o programma dos nossos lyceus oficialmente pede; mais adiante, porém, no appendice trataremos da analyse especial das vibrações nas cordas, nos tubos e nas placas e membranas.

Instrumentos de corda.—Antes de indicarmos o modo de producção do som n'estes instrumentos achamos conveniente descrever o que sejam o

Sonometro, nós e ventres.—Uma corda intesada e posta em vibração, executa diversos movimentos: primeiramente um movimento geral, em todo o seu comprimento; depois, outros pequenos movimentos particulares provenientes das partes aliquotas da corda, que vibram separadamente.

A experiencia seguinte é facilima de fazer, e concludente a este respeito.

Intesa-se e fixa-se uma corda de guitarra ou de rebeca, por maneira que forme uma especie de sonometro; divide-se esta corda em partes eguaes (fig. 13), tendo o cuidado de marcar com tinta os pontos de divisão.



Fig. 13

Colloca-se um cavallete sob o ponto C da corda AB; dobram-se, em duas partes, tantos pedacinhos de papel branco quantos os pontos marcados a tinta, e invertem-se sobre estes pontos que são os nós da corda; depois, no meio dos espaços que os pedacinhos de papel branco deixam entre si, collocam-se da mesma maneira outros boccadinhos de papel-de-côr.

Feito isto, passa-se um arco de rebeca sobre a porção da corda situada atraz do cavallete; immediatamente os pedaços de papel-de-côr agitar-se-hão e cahirão da corda, emquanto os boccados de papel branco ficam no seu logar.

A razão d'este phenomeno é esta: toda a corda assim intesada, é composta de nós e de ventres; os nós, representados pelos pontos de divisão, não sendo susceptiveis de vibrar, ficam immoveis, enquanto os ventres, representados pelos intervallos, vibram de um nó ao outro, e as suas vi-

braços são bastante fortes para fazerem cahir os pedacinhos de papel.

O *sonometro*, propriamente dito, ou *monocordio* (\*), é formado de uma caixa de pinho destinada a reforçar os sons; acima d'esta caixa, está fixa uma corda nas suas extremidades por pinças de ferro, e intesada por um peso que se pode augmentar ou diminuir, para medir a sua tensão.

Uma regua dividida, fixa debaixo da corda, serve para avaliar os comprimentos das partes vibrantes,—comprimentos que se fazem variar á vontade por meio de um cavallete moveel circulando ao longo da regua e por baixo das cordas.

Sobre um fundo negro, os nós e os ventres sonoros distinguem-se muito bem. Os primeiros mostram a corda branca reduzida á sua espessura propria; os outros deixam ver inchamentos semelhantes aos que assignálamos no meio de uma corda vibrando em sua totalidade (fig. 4).

Este phenomeno dos nós e dos ventres dá-se de certo modo nas vibrações das membranas, nas placas e nos tubos.

Posto isto, permitta-se nos transcrever o que diz o sr. Pina Vidal, com respeito ao assumpto de que tratamos.

Depois de nos fazer ver que para os instrumentos de corda se faz applicação de quatro leis (1.º—*o numero de vibrações da corda é inversamente proporcional ao seu comprimento*; 2.º—*ao seu raio*; 3.º—*á raiz quadrada da sua densidade*; 4.º—*directamente proporcional á raiz quadrada do peso tensor*), eis como se exprime o supra-citado Professor de Physica na Escola Polytechnica de Lisboa:

«Em alguns instrumentos, como os pianos e as harpas, ha muitas cordas que vibram em todo o comprimento,—emquanto que em outros, como a rebeca, o violoncello, etc., ha um limitado numero de cordas, e o artista multiplica os sons variando o comprimento d'ella, por meio da pressão, com os dedos. Nos primeiros, os sons graves são dados por cordas mais compridas, mais grossas e mais densas. No piano as cordas vibram, percutindo-as; na harpa e na guitarra, dedilhando-as; e na rebeca e violoncello, friccionando-as com o arco.

«Todos os instrumentos de corda são compostos, isto é, têm uma caixa de ar que reforça os sons das cordas, os quaes são muito fracos por isso que elles percutem o ar em uma pequenissima extensão.»

(\*) O sonometro é quasi similhante ao aparelho indicado na fig. 4, com a differença de haver uma regua graduada na mesa por debaixo da corda e de ser um dos cavalletes moveel.

**Instrumentos de vento.**—A'cerca d'elles, diz ainda o sr. Pina Vidal: «Os instrumentos de musica dizem-se *de vento* quando é o ar que vibra; já sabemos que isto se consegue com a imboceadura de flauta ou com as palhetas (\*).

«Nos orgãos ha tantos tubos quantas são as notas que se querem, por isso que cada uma dá apenas o som fundamental. Nos instrumentos de sopro ha só um tubo, e os diversos sons conseguem-se por varios artificios: já variando o comprimento do tubo, como no trombone e no cornetim à *piston*; já variando a posição dos ventres e o seu numero, por meio de furos que se podem abrir ou fechar com os dedos ou com as chaves; já variando finalmente, a intensidade da corrente de ar. Assim uma flauta cujo som fundamental é um *ré*, dá as notas *mi, fá, sol, lá, si, dó*, abrindo successivamente os seis orificios que estão distribuidos em toda a sua extensão, em posições convenientes; cobrindo todos os orificios e soprando com mais força, obtem-se a primeira harmonica *ré*<sub>2</sub>, e depois toda a *gamma* abrindo successivamente os orificios. Com o auxilio de chaves intermedias obtêm-se os sustenidos e bemoes.»

**Instrumentos de placas e membranas.**—Os principaes produzem o som por meio das vibrações d'esses corpos, e são o *tam-tam* chinéz, o tambor, o zabumba e o *bombo*, etc. N'estes ultimos instrumentos o som é reforçado pelas vibrações do ar contido entre as duas membranas, assim como pelas vibrações das ditas membranas.

## CAPITULO VI

### ANALYSE E SYNTHESE DOS SONS

**30. Sons simples e sons compostos.**—Chamam-se *sons simples* os que são produzidos por uma unica especie de vibrações sem mistura de harmonica, e *sons compostos* os que resultam de muitos sons sobrepostos. Podem-se obter sons simples por meio de um diapasão fixo sobre uma caixa sonora, com os *tubos fechados*, ou com a voz humana quando se canta a syllaba *ou*; mas os sons simples são raros, e os que habitualmente sentimos são compostos.

Com as cordas vibrantes que se subdividem em partes aliquotas do seu comprimento total, a corda inteira dá o som

(\*) Veja-se no appendice as nossas reflexões sobre *vibrações dos tubos*.

fundamental, ou o mais grave, e as partes aliquotas dão os sons harmonicos. O som composto assim formado é harmonioso; mas todo o som composto que não resulta da reunião do som fundamental e de uma ou muitas das suas harmonicas é discordante.

31. Analyse dos sons.—Foi Helmholtz quem no anno de 1863, fez ver que a maior parte dos sons considerados como simples são compostos.

O seu methodo é fundado sobre a *resonancia*, isto é, a propriedade que têm as caixas sonoras, quando são de dimensões convenientes, de vibrarem espontaneamente unisonas com um dado som, e de reforçá-lo. As caixas de Helmholtz são globos concavos, de latão, cujas dimensões variam de modo que possam reforçar todas as notas da escala e suas harmonicas. Estes globos que se chamam *resonadores* são furados nas duas extremidades de um mesmo diametro, por dois buracos circulares (fig. 14); a um está fixo uma tubuladura cylindrica (a) e ao outro uma tubuladura conica (b).



Fig. 14

A altura do som em que se afina um resonador depende das suas dimensões e da grandeza da abertura (a). E' este que recebe o som, enquanto o cone (b) está introduzido n'um ouvido, tendo se de tapar o outro. Experimentando assim, o ouvido não percebe som algum senão aquelle para o qual está afinado o resonador; mas, logo que este som esteja produzido, ainda que fraco e misturado com outros, o ouvido percebe-o facilmente. D'ahi, um processo muito sensivel para reconhecer um dado som entre muitos outros. Foi com resonadores diversamente afinados que Helmholtz decompoz os sons dos diferentes instrumentos de musica, da voz humana e mesmo dos ruidos.

32. Synthese dos sons.—Helmholtz não se limitou á decomposição dos sons; verificou os resultados da sua analyse pela synthese, isto é, reproduziu um dado som, pela reunião dos sons simples que lhe tinham indicado os resonadores. O apparelho que adoptou para esta synthese compõe-se de doze diapasões, dos quaes o primeiro dá o som fundamental de 258 vibrações simples ou  $d_2$ ; os nove outros, as suas harmonicas; e o undecimo serve de interruptor para fazer vibrar os diapasões por meio de electro-ímans. Cada diapasão tem o seu electro-íman especial, e, de mais, um que o reforça.



33. *Theoria do timbre.*— Viu-se já que o timbre é essa qualidade particular do som que faz com que dois sons da mesma altura e da mesma intensidade se distingam perfeitamente um do outro. Tinha-se ignorado até agora a causa verdadeira do timbre; mas Helmholtz, com os seus trabalhos sobre a analyse e sobre a synthese dos sons, fez ver que o timbre particular a cada som é devido ao cortejo dos sons harmonicos que o acompanham.

Os diversos instrumentos de musica não são egualmente ricos em sons harmonicos. Os mais ricos são a voz humana, as cordas, os tubos sonoros; as membranas intesadas, as varas, os diapasões, dizem-se pobres. N'uma corda vibrante, um ouvido exercitado reconhece muito bem o som fundamental e as suas primeiras harmonicas.

## CAPITULO VII

### MECHANISMO ACUSTICO DO APPARELHO AUDITIVO

34. Pertence especialmente aos tratados de anatomia e de physiologia (\*) o estudo do apparelho de audição, debaixo do ponto-de-vista descriptivo, e por isso sómente nos occupamos aqui do papel que cada uma das partes do ouvido tem a fazer para que o homem perceba o som.

Evidentemente o *pavilhão* tem por objecto reunir e reflectir as ondas sonoras para o interior do canal auditivo externo. O que o prova é que os animaes em que o pavilhão é movel, voltam esta abertura para o lado d'onde vêm os sons, desde que a sua attenção é provocada. O homem não tem esta faculdade; para obter o mesmo resultado, é obrigado a voltar a cabeça, de maneira que colloque o orificio do pavilhão na direcção d'onde os sons parecem provir; mas observou-se que os ouvidos mais delicados pertencem aos individuos que possuem um pavilhão mais afastado do craneo, e toda a gente sabe que, para melhor ouvir, basta augmentar artificialmente a superficie d'esse pavilhão com o auxilio da palma da mão. O canal *auditivo externo* transmite, reforçando-as, as vibrações soupras á *membrana do tympano*; e esta, pela ca-

(\*) Em occasião propria a *Bibliotheca do Povo e das Escolas* publicará volumes especiaes de *Anatomia e Physiologia*, ampliando as noções elementares que já de semelhante assumpto forneceu no tratadinho de *Zoologia* (vol. VI da nossa colleção).

deia dos quatro *ossinhos propios* (o *martello*, a *bigorna*, o *osso lenticular* e o *estribo*), ao *ouvido interno* (\*). A *trompa de Eustachio*, conduzindo o ar exterior para a caixa do tympano, mantém do lado interno da membrana a mesma pressão que externamente apresenta a face voltada para o canal auditivo externo. Emquanto aos *ossinhos*, além da sua função de transmittirem as vibrações ao ouvido interno mais facil e energicamente do que o faz um corpo *gazoso*, servem tambem, segundo Savart e Muller, para moderar o effeito dos sons que, por mui fortes, possam produzir a ruptura — sobretudo para intesar a membrana do tympano e a da *janella oval*, e tornál-as mais sensiveis ao movimento vibratorio; é assim, segundo Muller, que uma vara solida collocada entre duas membranas augmenta a intensidade da transmissão sonora.

D'ahi a differença que existe, sob o ponto-de-vista da sensação, entre os modos de audição que a nossa lingua caracteriza pelas palavras: *escutar*, *ouvir*. A pessoa que não faz senão *ouvir*, experimenta uma sensação menos forte, porque não faz intervir a acção da vontade. Pelo contrario, desde que *escuta*, dá instinctivamente ordem ao *musculo do martello* para actuar; as membranas intesam-se, o som parece mais intenso e mais distincto. Esta opinião, emittida por Bichat, é adoptada pelos physiologistas e pelos physicos. Parece que o grau de tensão da membrana do tympano varia tambem com o grau de altura ou de gravidade dos sons; para perceber os sons agudos, a membrana apresenta-se mais fortemente intesada que quando se trata dos sons graves.

O *ouvido interno* é a parte essencial do apparelho auditivo; e, com effeito, está provado que, mesmo quando se percam a membrana do tympano e os *ossinhos* do ouvido, pode não haver surdez, contanto que não haja ruptura nas duas *janellas* do tympano; porque então, sahindo para fóra os liquidos que banham o apparelho auditivo, os órgãos do ouvido seccam, perdem a sua sensibilidade, assim como as ramificações do proprio nervo.

☞ O *nervo auditivo* distribue as suas ramificações em dois ramusculos, dos quaes um, o que penetra no canal, se divide em uma multidão de filetes mui delicados, que se chamam as

(\*) As partes solidas da cabeça transmittem tambem o som ao ouvido interno. Pode-se provar isto do seguinte modo. Se suspendermos um timbre a um fio seguro pelos dentes, e se taparmos os ouvidos, perceberemos claramente um som grave transmittido ao ouvido interno por meio do fio, dos dentes e dos *ossos do rackedo*. E' este um meio empregado pelos surdos, cuja doença consista na má conformação dos órgãos exteriores do apparelho auditivo, para ouvirem

*fibras de Corti* (assim se chamava o sabio micrographo que fez tal descoberta).

Estas fibras, cujo comprimento varia e que são em numero de mais tres mil, vibram provavelmente cada uma unisonamente com um dado som, de sorte que formam uma serie regular analoga á escala musical.

Suppondo que duzentas d'entre ellas sejam affectadas nos sons situados fóra dos limites musicaes, restam 2.800 fibras para as sete oitavas dos instrumentos de musica, isto é, 400 para cada oitava, 33 para cada meio tom, e em todos os casos o bastante para explicar a distincção das fracções de meio-tom, no limite em que ella é possível.

Admittido este papel que exercem as *fibras de Corti*, comprehende-se como o mecanismo das vibrações sonoras se transmite até á origem dos nervos.

Simplees ou compostas, estas vibrações chegam pelo canal auditivo até á membrana do tympano; transmittem-se em seguida pela caixa do tympano, pela cadeia dos quatro ossos e das membranas das duas *janellas (redonda e oval)*, até ao ouvido interno. Chegadas a este ponto, as vibrações aereas mudam-se em vibrações de corpos liquidos e de solidos, até ás *fibras de Corti*.

Faz-se alli finalmente a selecção; e cada vibração simplee, de uma altura musical dada, encontra uma fibra para a receber. Assim, explicar-se-hia tambem a decomposição de um som composto e de sons harmonicos, e a sensação simultanea do som fundamental e da harmonica predominante, isto é, do timbre.

## CAPITULO VIII

### O PHONOGRAPHO

35. Edison chegou a reproduzir a palavra por intermedio de uma machina especial, fundada nas vibrações sonoras. O orgão essencial do phonographo é uma membrana metallica muito delgada *P* que fecha um porta-voz *E* (fig. 15), e deante da qual são emittidos os sons.

Per baixo da membrana acha-se um estylete metallico *S*, (fig. 16), rigido e muito curto, fixo á extremidade de uma mola, e que não communica com a membrana senão por dois supportes *X* em cautchuc (fig. 16) destinados a transmit

tir as vibrações da membrana, abafando as vibrações proprias da mola.

Em frente do estylete existe uma folha de estanho *C* (fig. 15 e 16), collocada sobre um cylindro de latão.

Este tem um sulco helicoidal e prolonga-se por um parafuso *A'* que gira n'um circulo fixo.

Quando se faz girar o cylindro, a folha de estanho passa

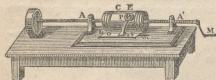


Fig. 15

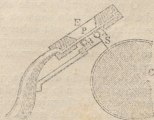


Fig. 16

em frente do estylete e este traça n'ella riscos e pontos persistentes, cuja fôrma é característica das vibrações communicadas pela membrana.

Para fazermos falar o phonographo, basta levantarmos o estylete, reconduzir o cylindro á sua posição inicial e fazer girar de novo a manivella *M*, de maneira que os riscos e pontos precedentemente traçados venham passar successivamente por deante do estylete.

Levantando o estylete *S*, levanta-se com elle a membrana *P*, de tal modo que, achando-se invertidas a causa e o effeito, a membrana executa vibrações identicas ás que a voz lhe communicou; estas vibrações transmittem-se ao ar, e o som produzido não differe do que tinha sido emittido deante do instrumento senão pela sua menor intensidade e por um timbre um pouco mais rouco.

No que fica dito, supponmos que as circumstancias do movimento de rotação do cylindro são identicas nas duas operações da impressão e da reproducção da palavra,—por exemplo, que o movimento do cylindro é nos dois casos perfectamente uniforme e de egual velocidade.

Se accelerarmos ou retardarmos a marcha do cylindro,—o numero de vibrações por segundo augmenta ou diminue, e o tom da palavra eleva-se ou abaixa-se.

A impressão, uma vez recebida, deveria theoreticamente permittir a reproducção indefinida da palavra.

Na pratica, porém, os riscos e os pontos do estanho tornam-se cada vez mais confusos a cada reproducção do som, e acabam por dar sómente ruidos indistinctos; mas seria sem duvida possivel obviar a este inconveniente por meio de *clichés* mais resistentes.

O phonographo pode servir para registrar e reproduzir toda a especie de sons ou de ruidos e para estudar os effeitos resultantes da sua sobreposição.

Assim muitas pessoas podem falar successivamente deante do apparelho, reconduzido por cada vez ao seu ponto de partida.

A impressão multipla obtida reproduzirá a mistura de vozes; e, prestando attenção a uma d'ellas em particular, o observador distinguirá muito bem as palavras que quer ouvir no meio do ruido geral.

É quasi litteralmente  
traduzido do *françes*.

## APPENDICE

---

Tendo em vista, como até aqui temos provado em todos os livrinhos publicados pela *Bibliotheca do Povo e das Escolas*, diffundir de preferencia a instrucção pelas classes menos illustradas (imbora nos seja grato saber que os doutos se não infastiam de recordar aqui noções de antemão adquiridas em tratados de maior tomo), seguimos sempre um systema completamente elementar, de que o presente volume da *Acustica* não se desviou.

Mas, além das noções que expuzemos já n'esta obra, julgamos conveniente, para mais clareza da materia por nós desinvolvida, addicionar-lhe um *Appendice*, sobre o estudo particular das *vibrações sonoras*.

Antes, porém, de começarmos esta parte, devemos advertir os nossos leitores de que n'alguma apparente discordancia que tenham até aqui incontrado entre este livrinho e o de *Physica Elementar* (\*) não existe positivamente erro.

Por exemplo, na *Physica Elementar* dissemos que a velocidade não dependia do estado barometrico e hygrometrico, porque a pressão e o grau de humidade do ar não influem de uma maneira tão positiva sobre a velocidade do som que fosse in-

(\*) Constitue o n.º VIII da nossa collecção.



dispensavel amontoarmos essa mesma influencia no breve estudo que fizemos da *Acustica* no supra citado 8.º volume da nossa collecção.

O mesmo se applica com relação ao que no volume de *Phy-sica Elementar* dissemos de ser a velocidade média do som no ar 340<sup>m</sup> por segundo em vez de 340<sup>m</sup>,05 — que no presente volume da *Acustica* apresentamos considerando como temperatura média 15º centigrados (\*);—o desprezo da fracção decimal não pode effectivamente, para apreciações menos rigorosas, ser taxado como causa de erro.

Posto isto, para evitar confusões possiveis,—comecemos o appendice.

## AS VIBRAÇÕES SONORAS

### I—Avaliação experimental do numero de vibrações pelo methodo graphico e optico

Além da *sereia* e da *roda dentada de Savart* existem outros methodos até certo ponto mais curiosos para a avaliação experimental do numero de vibrações concernentes a cada som. Temos em primeiro logar o

**Methodo graphico**, cuja idéa primitiva é devida a Savart e que foi recentemente imaginado. Consiste no seguinte:

Adapta-se a um diapasão ou a uma vara metallica um estylete de ponta muito fina.

Fazendo vibrar a haste ou o diapasão, o estylete traçará linhas onduladas sobre a superficie de um cylindro girante, revestido de *negro-de-fumo*.

O numero de sinuosidades assim marcadas é o das vibrações.

Este methodo é sobretudo empregado, quando se trata de comparar dois sons entre si, debaixo do ponto-de-vista da sua *altura*.

Por exemplo, pode-se fixar sobre um diapasão o estylete que traça as linhas sinuosas, e sobre um segundo diapasão a lamina revestida de *negro-de-fumo* em que estas linhas são traçadas.

(\*). Veja-se a tabella a pag. 17 d'este volume.

Fazendo vibrar em seguida simultaneamente os dois diapasões, a linha sinuosa que obtivermos será evidentemente o resultado da combinação de dois movimentos vibratorios, — parallelos — se os dois diapasões vibram no mesmo sentido, — rectangulares, — se estão collocados em angulo recto.

**Methodo optico.** — Ha vinte e dois annos, um physico francez, Lissajous, teve a idéa de estudar com o auxilio da vista os movimentos vibratorios dos corpos sonoros e substituir d'este modo o ouvido pelo orgão da vista para a apreciação das relações sonoras; e d'ahi o nome de *methodo optico* dado ao processo que elle empregou e de que nós vamos apresentar por um modo breve a descripção.

Com o auxilio do *methodo optico*, um surdo poder-se-hia intregar a investigações sobre a altura comparada dos sons.

«Não existe ninguem d'entre nós (dizia Lissajous n'uma lição em que expunha este novo methodo), que não tenha, na sua infancia, com o perigo de incendiar a casa paterna, mettido uma varinha no fogão, para agitá-la depois, e seguir, com a curiosidade natural á puericia, essas linhas brilhantes produzidas pela extremidade em braza como por um pincel magico cujo vestigio se apagasse n'um instante.»

Tal é a experiencia que serviu de base ao *methodo optico*.

Para tornar visiveis as vibrações de um diapasão, Lissajous fixa sobre a superficie convexa, na extremidade de um dos braços, um pequenino espelho metallico. Ao outro braço está adaptado um contrapeso para regular o movimento vibratorio.

«Observemos n'este espelho, diz elle, a imagem reflectida de uma vela collocada a alguns metros de distancia; depois façamos vibrar o diapasão. Vemos immediatamente a imagem alongar-se no sentido do comprimento dos braços. Voltando então o diapasão á roda do seu eixo, a apparencia mudará; e veremos no espelho uma linha brilhante e sinuosa cujas ondulações accusam pela sua propria fórma a maior ou menor amplitude do movimento vibratorio.»

Fazendo uso de um espelho que re-invie a imagem para sobre um alvo depois de ter atravessado uma lente convergente, torna-se o phenomeno visivel em toda a extensão de um amphitheatro.

N'este caso emprega-se uma fonte luminosa mais viva, a do sol ou a luz electrica, — e é o segundo espelho que se faz girar á roda de um eixo vertical para se obter a transformação da imagem rectilinea em uma curva sinuosa.

Não se trata até aqui senão de tornar visiveis as vibrações

de um corpo sonoro unico. Eis agora como, pelo mesmo methodo, Lissajous chegou a apreciar a altura comparativa de dois sons, para medir a relação dos numeros de vibrações que correspondem a cada um d'elles. Tomam-se dois diapasões, ambos munidos de espelhos; mas, enquanto o eixo de um é vertical, o outro está collocado horizontalmente por modo que fiquem os dois espelhos em frente um do outro.

Um feixe de luz, emanado de uma pequena abertura, cae sobre um dos espelhos, no qual se reflecte, e vae ferir o espelho do segundo diapasão que o re-invia para um espelho fixo. Uma terceira reflexão projecta o feixe luminoso para um alvo branco, sobre o qual se distingue uma imagem clara e brilhante do supra-mencionado orificio ou abertura, enquanto os dois diapasões estão em repouso.

Se fizermos vibrar o diapasão vertical, immediatamente o movimento de vae-vem da imagem, em lugar de um ponto, dará uma imagem luminosa, alongada no sentido vertical.

Se, enquanto o diapasão vertical está em repouso, fizermos vibrar o diapasão horizontal, a imagem alonga-se no sentido horizontal.

Se fizermos vibrar ao mesmo tempo os dois diapasões, a imagem achando-se sujeita a dois movimentos simultaneos, um no sentido horizontal, outro no vertical, descreverá uma curva luminosa sobre o alvo; e a fôrma d'esta curva dependerá da relação que existe entre as durações dos dois systemas de vibrações, da amplitude das oscillações e emfim da duração que separa os começos de duas vibrações consecutivas, executadas por um e outro diapasão; é esta ultima duração que constitue o que se denomina *diferença de phase*.

Lissajous determinou d'este modo as curvas luminosas dadas por diapasões afinados de modo que produzam os intervallos da *gamma* tal qual é adoptada pelos physicos.

Se os dois diapasões resoam *unisonos*, a relação do numero de vibrações é 1; isto é, *as vibrações effectuadas em tempos eguaes são do mesmo numero*. Se a *diferença de phase* é nulla, as vibrações começam ao mesmo tempo nos dois diapasões; resulta d'isso uma linha recta luminosa obliqua, — a diagonal de um rectangulo, cujos lados têm um comprimento que varia com a amplitude das vibrações simultaneas. Esta linha recta transforma-se em uma ellipse ou oval, quando a *diferença de phase* não é nulla.

Dois diapasões que resoam na *oitava* um do outro, dão uma serie de curvas, que mostram bem que um dos diapasões executa uma vibração horizontal, enquanto faz duas no sen-

tido vertical. Se o numero de vibrações está nas relações

$$\frac{3}{2}, \frac{4}{3}, \frac{5}{4}, \frac{5}{3}, \frac{9}{8} \text{ e } \frac{15}{8}$$

os diapasões estão afinados nos intervallos de quinta, de quarta, de sexta, de segunda maior e de septima. Vêem-se n'este caso as curvas opticas assim obtidas, com as variações de fórma que provêm das *diferenças de phases*. Com a simples inspecção d'estas curvas, pode-se verificar o numero das excursões feitas pelo ponto luminoso no sentido horizontal e no sentido vertical, e vêr como se effectuam umas e outras no mesmo espaço de tempo. Tem-se por isto mesmo a relação numerica dos dois sons.

Quando o accorde dos diapasões é rigoroso, a mesma curva persiste sobre o alvo durante toda a duração da sua resonancia simultanea, e acaba por se reduzir a um ponto.

Se, pelo contrario, o accorde não está completamente exacto,— se, por exemplo, a oitava não é perfeita,— o effeito é o mesmo como se houvesse uma mudança continua na differença da phase, e a curva passa insensivelmente por todas as fórmas determinadas. Estando notado o tempo que ella gasta em percorrer o circulo interior d'estas transformações, conclue-se que ha uma differença de uma vibração sobre o diapasão grave, de duas vibrações sobre o diapasão agudo,— relativamente ao numero que tivesse dado a oitava justa.

Este methodo é tão precioso, que por elle se torna distinguível a mais fraca differença. Assim, supponhamos primeiramente dois diapasões *unisonos*. A curva optica persistirá em toda a duração das vibrações. Se aquecermos levemente um dos braços do diapasão vibrante, resultará um abaixamento de som: a condição de *unisono* fica alterada, e immediatamente se vê produzir-se sobre o alvo a variação de fórma da curva optica que accusa a cessação do accorde.

O methodo optico, além de nos proporcionar a maneira de determinar as relações dos numeros de vibrações, habilita-nos tambem para contar o numero absoluto de vibrações que corresponde a um dado som.

Tendo assim constituido um diapasão que fornece o *lá* normal adoptado pelas orchestras, foi facil em seguida aproveitar este typo para construir diapasões que tenham a propriedade de resoar *unisonos*.

Lissajous applicou o seu methodo ao estudo das cordas vibrantes e mesmo ao dos sons propagados pelo ar. Para isto, illumina elle a corda n'um dos seus pontos pela projecção de um feixe luminoso estreito; e recebe os movimentos do ar so-

bre uma membrana, na superfície da qual está fixa uma pequena perola resplandecente (\*).

Esquecia nos dizer que, — se, em todas estas experiencias, as curvas traçadas pelos pontos luminosos são visíveis ao mesmo tempo em todo o seu campo, — isso provém de que a evolução se acha effectuada antes que a persistencia da impressão da luz sobre a retina tenha cessado; como a direcção d'essa resistencia é quasi de um decimo de segundo, isto supõe que tal é, no *maximum*, o tempo empregado pela imagem do ponto para percorrer a sinuosidade completa da curva.

Tal é em resumo o methodo original empregado por Lissajous para tornar sensiveis á vista os movimentos vibratorios dos corpos sonoros, e as delicadas particularidades d'estes movimentos.

Vê-se por este resumo e conclue-se, que uma pessoa — privada da faculdade de ouvir — poderia comparar os sons com uma precisão maior do que o executaria, sómente pela audição, o ouvido mais sensivel.

## II — Leis das vibrações sonoras nas cordas, nos tubos e nas placas

Vibrações das cordas elasticas. — A musica é hoje uma arte tão espalhada, que a pluralidade dos nossos leitores conhecerão, sem duvida, o mechanismo dos instrumentos de corda, (da rebeca, por exemplo). Quatro cordas de desigual grossura e de differente natureza, acham-se intesadas com o auxilio de caravelhas entre dois pontos fixos e dão, sendo esfregadas transversalmente com um arco, sons de diversas alturas. Os sons produzidos pelas cordas vibrando em todo o seu comprimento, devem conservar entre si certas relações de altura, das quaes falaremos em breve. Quando esta relação é destruida, o instrumento não está afinado. Que faz então o musico? Estende mais ou menos, apertando ou desapertando as caravelhas, as cordas que não produzem os sons requeridos. Se elle as intesar demais, o som torna-se mais agudo; mais grave, pelo contrario, se as relaxar. Mas quatro sons seriam insufficientes para dar as notas variadas de um trecho musical. O executante multiplica-as á vontade, collocando os dedos da mão esquerda sobre tal ou tal ponto de cada uma das cordas.

(\*) Este meio de tornar visíveis os movimentos vibratorios foi, desde muito, empregado por Wheatstone.

Procedendo assim, reduzem-se a comprimentos varios as partes d'estas cordas que o arco põe em vibração.

Estes factos, que toda a gente conhece, mostram que existem certas relações entre as alturas dos differentes sons (dados pelo instrumento) e os comprimentos, grossuras, tensões e natureza das cordas; como estas proprias alturas dependem do numero das vibrações executadas, resulta necessariamente que este numero é superior aos *elementos* de que já tratámos em paginas anteriores d'este livrinho.

A mais importante d'estas leis tinha sido quasi descoberta pelos antigos philosophos, e especialmente por Pythagoras. Mas é aos geometras do seculo xviii, entre os quaes citaremos os nomes illustres de Taylor, Bernouilli, d'Alembert, Euler e Lagrange, que a devemos completa, deduzida da pura theoria. A experiencia confirmou a exactidão do calculo.

São estas leis que vamos diligenciar tornar comprehensíveis aos nossos leitores.

Hoje emprega-se, para verificá-las, um instrumento particular denominado o *sonometro* (fig. 4), de que já demos (na pag. 35) descripção.

Consideremos uma corda qualquer,—corda de tripa ou metallica.

Intesemol-a com um pezo sufficiente para que ella dê um som perfeitamente puro e cuja altura seja apreciavel pelo ouvido.

O comprimento total d'ella, medido com o auxilio da regua (\*), é, supponhamos, de 1<sup>m</sup>,20; e o som que produz corresponde (verificação feita por meio da *sereia*) a 440 vibrações por segundo.

Colloquemos o cavallette movel successivamente na meta-

de, a  $\frac{1}{3}$ , a  $\frac{1}{4}$ , a  $\frac{1}{12}$  do comprimento total da regua; e, em

cada d'estas posições successivas, façamos vibrar a porção mais curta da corda.

Avaliando os diversos sons obtidos, acharemos por segundo os numeros seguintes de vibrações: 880, 1:320, 1:760 e 5:200.

Basta agora collocar em frente os numeros que medem os differentes comprimentos da corda, e os que indicam os numeros de vibrações, para facilmente se perceber a lei:

(\*) Veja-se a nota a pag. 35.



Comprimento das cordas....	} ou	120	60	40	30	10
		1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{12}$
Numero de vibrações.....	} ou	440	880	1:320	1:760	5:200
		1	2	3	4	12

¿ Não se torna evidente por esta experiencia que os numeros de vibrações vão crescendo, de modo que as suas relações são precisamente inversas das que formam entre si o comprimento das cordas?

Tal é a primeira lei das cordas vibrantes.

Agora, sem fazer variar o comprimento, se intesarmos a mesma corda, por meio de pesos diferentes, e compararmos os resultados obtidos, acharemos que para numero de vibrações duplas, triplas, quadruplas, etc., as tensões das cordas são 4, 9, 16, etc., vezes mais consideraveis.

Os numeros de vibrações, segundo a ordem dos numeros simples, seguem a ordem dos quadrados d'estes numeros.

As cordas são de fórmula cylindrica.

Façamos variar o diametro d'estes cylindros, e comparemos os sons produzidos por duas cordas da mesma natureza, intesadas por pesos eguaes e do mesmo comprimento, mas de diametro differente.

Esta operação será facil por meio do sonometro.

Acha-se então que as vibrações d'estes sons decrescem, quando os diametros das cordas augmentam; e tornam-se proximamente 2, 3, 4... vezes, menores—quando os diametros são 2, 3, 4... vezes, maiores.

E' a terceira lei das vibrações transversaes das cordas vibrantes.

Ha uma quarta que se pode verificar como as outras com o auxilio do *sonometro*, e que é relativa á densidade da substancia de que a corda vibrante é formada.

Se tomarmos duas cordas, uma de ferro e outra de platina, com o mesmo comprimento e o mesmo diametro,—intesando-as depois sobre o apparelho por meio de pesos eguaes, notaremos o seguinte.

Os sons que ellas derem, serão tanto mais graves quanto a densidade fôr maior, de maneira que a corda de ferro produzirá o mais agudo som, e a corda de platina o menos elevado; bastará o ouvido para julgar d'estas differenças.

Ora, se avaliarmos os numeros exactos de vibrações, que correspondem aos dois sons obtidos, teremos:

Para o ferro.....	1:640
Para a platina.....	1:000

Não se trata aqui dos numeros considerados isoladamente, mas das suas relações entre si.

Ora, se multiplicarmos estes numeros por si proprios,—ou antes se os elevarmos ao quadrado,—acharemos 2.689:600 e 1.000:000, que exprimem precisamente, em ordem inversa, as densidades dos metaes (platina e ferro).

A densidade do ferro é 7,8; a da platina 21,04. Estas densidades estão entre si como 1,00 está para 2,69.

Tal é a lei: *em completa equaldade de circumstancias, os quadrados dos numeros de vibrações estão na razão diversa das densidades dos materiaes, de que as cordas vibrantes estão formadas.*

Em tudo o que precede não se trata senão das vibrações transversaes das cordas, isto é, dos sons que resultam quer da beliscadura, quer da fricção com o auxilio de um arco.

Uma corda — esfregada no sentido do seu comprimento, por exemplo, com um pedaço de estofe besuntado de colophonia, — produz tambem um som; mas este som é muito mais agudo, de sorte que o numero das vibrações longitudinaes excede sempre o das vibrações transversaes.

Como não se emprega este meio de vibração das cordas, não falaremos mais a este respeito.

Mas não deixaremos as *cordas vibrantes*, sem desinvolvermos mais um assumpto de que já tratámos: queremos falar da formação dos *nós* e dos *ventres*, bem como dos sons particulares que os physicos denominam *sons harmonicos*.

Consideremos uma corda intesada sobre o sonometro ou sobre um instrumento qualquer.

Fixemos, tocando com o dedo, o seu ponto médio; e, com o arco friccionemos uma das metades: o som produzido será, como se deixa esperar, mais agudo que o som fundamental por ter dobrado o numero das vibrações.

Musicalmente falando, é a oitava do som musical.

Mas,— cousa notavel,— as duas metades vibram ao mesmo tempo. E d'isso nos podemos certificar por dois modos: primeiramente montando na parte média da metade livre pequeninas figuras de papel recortadas em fôrma de *cavalleiros* que saltitam e caem logo que o som se produza; depois, re-

conhecendo por meio da vista a existencia de um inchamento apparente nas duas metades.

Retirando-se o dedo sem abandonar o movimento do arco, nota-se mesmo que o som persiste assim como a divisão da corda em duas partes que vibram simultaneamente.

Façamos uma segunda experiencia,— e colloquemos o dedo a

$\frac{1}{3}$  da corda, atacando sempre com o arco a parte menos longa.

O som é ainda mais agudo; e vê-se a corda total subdividir-se em tres partes eguaes, vibrando separadamente, o que se reconhece collocando-se os supra-mencionados *cavalleiros* nos pontos de divisão, assim como no meio de cada terço da corda. Os primeiros ficam immoveis, os outros são projectados e derrubados,— o que indica a existencia de pontos immoveis ou de *nós*, e de partes vibrantes cujo meio é o que se denomina um *ventre*.

Sobre um fundo negro os nós e os ventres sonoros distinguem-se muito bem.

Os primeiros mostram a corda branca reduzida á sua espessura propria; os outros deixam ver inchamentos semelhantes aos que assignalámos na parte central de uma corda que vibre na sua totalidade (fig. 4, pag. 25).

Uma corda pode assim partilhar-se em 2, 3, 4, 5... divisões eguaes; e os sons cada vez mais agudos que ella produz então, são *sons harmonicos*.

Os ouvidos exercitados chegam a distinguir alguns dos *sons harmonicos* que se produzem simultaneamente com o som fundamental de uma corda vibrando em todo o seu comprimento,— o que faz ver que a divisão da corda em partes vibrantes se realiza, ainda mesmo que a fixação de um ponto não seja a causa determinante.

Os *nós* e os *ventres sonoros* são particulares ás cordas vibrantes: incontral-os-hemos nas columnas d'ar que vibram no interior dos tubos; observal-os-hemos ainda nas placas e membranas.

**Vibrações nos tubos sonoros.**— Os instrumentos de musica, denominados *instrumentos de vento*, são formados de tubos solidos, ora prismaticos, ora cylindricos, uns de fórma retilinea, outros mais ou menos contornados.

A columna de ar que estes tubos incerram, é vibrada por meio de uma imboccadura, cuja fórma e disposição variam segundo os instrumentos.

Não é nosso intento descrever aqui esses instrumentos; mas, para estudar as leis geraes que regem as vibrações das columnas gazosas contidas nos tubos, limitar-nos-hemos a considerar os tubos rectos em fórma de prismas ou de cylindros como são empregados nos *orgãos*.

Na parte inferior d'elles ha um canal por onde entra o ar fornecido por um folle: a corrente entra primeiramente n'uma caixa, escapa-se depois por uma fenda, e vae incontrar-se com a aresta de uma placa talhada em fórma de bizel.

Uma parte da corrente é expellida pela bocca para o exterior do tubo; a outra parte penetra-lhe no interior.

Esta ruptura da corrente dá logar a uma serie de condensações e de dilatações que se propagam na columna gazosa.

O ar d'esta columna entra em vibração e produz um som continuo cuja altura, como vamos ver, varia segundo certas leis.

A imboccadura que ora acabamos de descrever denomina-se *imboccadura de flauta*.

A experiencia mostra que, se substituirmos os proprios tubos por imboccaduras de fórmas differentes, faremos sómente modificar o timbre do som, sem mudar a sua altura.

Esta altura não depende tão pouco da substancia—madeira, marfim, metal, vidro, etc.,—que compõe o tubo; d'ahi se torna necessario concluir que o som resulta unicamente das vibrações da columna d'ar.

Foi ao padre Mersenne e a Daniel Bernouilli que a Acustica deveu a descoberta das leis por que se regem as vibrações dos tubos sonoros.

Vamos indicar succintamente as mais simples d'estas leis:

O primeiro d'estes sabios fez ver que, se compararmos os sons produzidos por dois tubos similhantes, mas de dimensões differentes,—isto é, por dois tubos dos quaes um tenha todas as dimensões duplas, triplas, etc., relativamente ás do outro, em todos os sentidos,—os numeros de vibrações do primeiro serão 2, 3... vezes, menores que as vibrações do outro. A descoberta d'esta lei é devida ao padre Mersenne.

Os tubos sonoros são ora abertos, ora fechados na sua parte superior. Mas a lei que vamos enunciar applica-se ao mesmo tempo aos tubos fechados e aos tubos abertos, contanto que o seu comprimento se gradue comparativamente ás suas outras dimensões.

E' necessario primeiramente fazer notar que cada tubo pode produzir diversos sons, tanto mais agudos e *altos* quanto a velocidade da corrente d'ar fôr maior.

O mais grave d'estes sons é o que se denomina *som fundamental*; os outros são os *harmonicos*, e sabe-se que, para os obter, basta activar progressivamente a corrente de ar. Emfim, quando se fazem resoar tubos de comprimentos differentes, reconhece-se que os mais longos dão sons fundamentaes mais graves, de tal sorte que os numeros de vibrações estão precisamente na razão inversa dos comprimentos.

Por exemplo, tomemos quatro tubos, dos quaes tres são 2, 3, 4 vezes, menores que o restante. Emquanto o mais pequeno d'elles dá 12 vibrações, os tres outros produzem no mesmo espaço de tempo 6, 4, 3,—isto é, 2, 3, 4 vezes menos, sendo os comprimentos 2, 3, 4 vezes menores. Repetimos: esta lei é applicavel tanto aos tubos abertos, como aos tubos fechados.

Mas, para comprimentos eguaes, o som fundamental de um tubo fechado é differente do som fundamental dado por um tubo aberto.

As vibrações são duas vezes menos numerosas, o que equivale a dizer que o som fundamental de um tubo fechado é o o mesmo que o de um tubo aberto de um comprimento duplo.

Resta-nos dizer qual é a successão dos sons harmonicos, n'uns e n'outros.

Dispondo estes sons na ordem do mais grave para o mais guado, a partir do som fundamental, achamos que nos tubos abertos, os numeros de vibrações crescem segundo a serie natural dos numeros inteiros, 1, 2, 3, 4, 5, 6... etc.

Nos tubos fechados, estes numeros crescem segundo a serie dos numeros impares, 1, 3, 5, 7... etc.

Resulta d'isso que, se tomarmos um tubo aberto, cujo comprimento equivalha ao dobro de qualquer de dois outros tubos (eguaes entre si, e dos quaes um seja aberto e o outro fechado), os sons successivos do primeiro serão representados pela serie dos numeros naturaes:

1 2 3 4 5 6 7 8 . . .

e os sons dos dois outros pelas series:

*Tubo aberto*... 2... 4... 6... 8...  
» *fechado* 1... 3... 5... 7...

isto é: os sons do tubo grande serão reproduziveis por outros tubos cujo comprimento equivalha exactamente á metade do primeiro.

Terminaremos o estudo dos phenomenos relativos aos tubos sonoros, dizendo que as columnas gazosas que vibram no interior d'estes instrumentos se dividem, como as cordas vibrantes, em partes immoveis ou *nós*, e em partes vibrantes ou *ventres*.

A existencia d'estas divisões torna-se manifesta por diversas maneiras. A mais simples (fig. 7—pag. 27) consiste em fazer descer, no interior de um tubo com o auxilio de um fio, uma membrana intesada,—e em examinar como ficam os grãos de areia com que ella foi polvilhada.

Estes grãos saltitam, sob o impulso das vibrações, quando a membrana está na altura de um ventre, como em toda a extensão da columna vibrante; ficam, pelo contrario, immoveis,—quando a posição da membrana coincide com um nó.

Além d'isso a theoria resolveu completamente todos os problemas relativos a esta ordem de phenomenos; e as experiencias dos physicos (sempre um pouco menos precisas do que o exigiria a analyse mathematica, por causa das circumstancias complexas, em que as effectuam) representam sómente verificações das leis descobertas pela analyse.

Pela nossa parte limitar-nos-hemos ás noções indispensaveis para a intelligencia d'estes factos e das applicações que d'elles têm feito a industria e as artes.

**Vibrações das varas ou hastes e das placas.**—As *varas sonoras* são hastes cylindricas de madeira, de metal, de vidro ou de outras substancias elasticas, que se podem fazer vibrar, esfregando-as longitudinalmente quer com um pedaço de panno besuntado de colophonia,<sup>6</sup> quer com um estofo molhado.

Produzem então sons puros e continuos, cuja *altura*, para uma dada substancia, depende do comprimento da haste. Com o auxilio de um torninho ou com o dedo, segura-se a vara,—cujo som queremos estudar,—quer por uma das suas extremidades, quer pelo seu meio, quer por um ponto intermedio.

A vara fica, pois, livre em ambos os seus extremos, ou simplesmente em um d'elles.

Ora, se compararmos o som produzido por uma vara—fixa em uma das suas extremidades—e o som produzido pela mesma haste ou por uma haste de igual comprimento e da mesma substancia—fixa no seu ponto médio,—acharemos que o primeiro é mais grave que o segundo; as vibrações n'este, duas vezes mais numerosas.

Se fizermos vibrar varas de comprimentos differentes, fixas



do mesmo modo, a experiencia mostrará que os sons serão tanto mais agudos quanto mais curtas forem as hastes. Os numeros de vibrações d'estes sons variam na proporção inversa dos comprimentos.

As vibrações das varas estão, pois, sujeitas ás mesmas leis que as das hastes sonoras ; e vemos que, se as varas livres

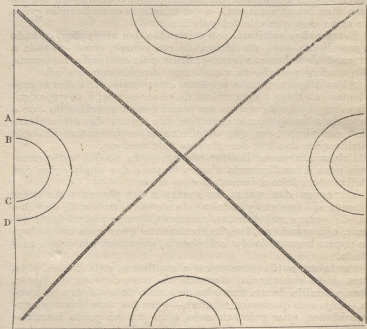


Fig. 17

nas duas extremidades são analogas aos tubos abertos, as varas fixas por um extremo correspondem aos tubos fechados.

A' semelhança de um tubo, uma haste faz ouvir, — além do som grave fundamental, — sons harmonicos, — cujas series se-

guem tambem as mesmas leis que os tubos abertos e fechados.

Os phenomenos que resultam das vibrações sonoras nos corpos de fórmulas variadas, seriam inexgotaveis. Limitamo-nos

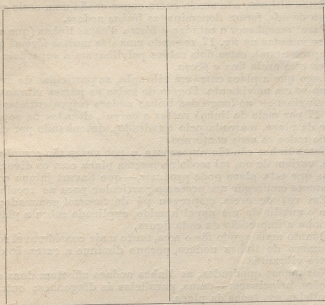


Fig. 18

ainda a fazer notar os que se reproduzem nas placas e nas membranas.

Se recortarmos de folhas delgadas de madeira ou de metal bem homogêneo placas quadradas, circulares ou polygonaes, e as fixarmos a um pé pelo seu centro de figura, conseguiremos que ellas produzam sons extremamente variados, logo que as suas bordas sejam friccionadas com um arco, — apoiando dois ou quatro dedos sobre pontos determinados do seu contorno (*A, B, C* e *D*, por exemplo, fig. 17).

Chladni (\*) e Savart, multiplicaram as experiencias sobre placas—diversas tanto na fórma, como na espessura e na superficie.

O phenomeno sobre o qual elles chamaram mais a attenção foi a divisão da superficie das placas em partes vibrantes e em partes immoveis.

Estas ultimas, não sendo outra cousa senão uma serie continua de nós, foram denominadas *linhas nodaes*.

Para reconhecer e estudar a fórma d'estas linhas (que vão representadas na fig. 17, segundo uma das muitas fórmas que se apresentam), estes dois sabios polvilhavam a superficie da placa com areia fina e sêcca.

Logo que a placa entra em vibração, as particulas de areia põem-se em movimento. Fogem de todas as partes vibrantes, e refugiam-se ao longo das linhas nodaes (representadas na fig. 17 por meio de linhas rectas e curvas, situadas na superficie da placa, marcada pelo quadrado), desenhando por este modo todos os seus contornos.

Estas linhas são tão numerosas e por vezes tão complicadas, variam de um tal modo na mesma placa com os diversos sons que esta placa pode produzir,—que Savart julgou conveniente empregar um processo particular para as recolher.

Em vez de areia, empregou pó de *tornesol* gommado; e, com o auxilio de um papel humido, applicado sobre a placa, obtinha a impressão de cada figura.

Quanto mais agudo fôr o som, tanto mais consideravel será o numero de linhas nodaes, porque diminue a extensão das partes vibrantes.

Nas placas quadradas, as linhas nodaes affectam duas direcções principaes:—umas, parallelas ás diagonaes; outras, parallelas aos lados da placa.

Nas placas circulares, as linhas nodaes dispõem-se quer em raios, quer em circulos concentricos.

As campanulas de crystal, os timbres, as paredes sonoras, dividem-se do mesmo modo em partes vibrantes e em linhas nodaes.

Acontece o mesmo relativamente ás membranas intesadas sobre caixilhos, e que se fazem vibrar approximando-as de

(\*) Assim se escreve (e não *Chladni*, como por um repetido lapso typographico se lê no decurso d'este livro) o nome do insigne physico allemão, a quem tanto deve o progresso da Acustica, e que pode mesmo afoitamente incluir-se entre os verdadeiros fundadores d'esta sciencia.

Ernesto Florencio Frederico *Chladni* nasceu em Wittenberg, em 1756, e falleceu em Breslau, em 1827.

um outro corpo sonoro, por exemplo, de um timbre que resoa.

As vibrações communicam-se pelo ar á membrana e á areia com que esta é revestida e desenham as linhas nodaes.

Reconheceu-se que no caso em que duas placas da mesma substancia e de figura analoga, mas de espessuras differentes,

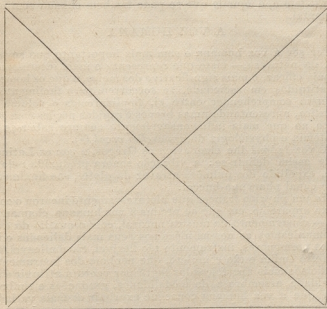


Fig. 19

dão as mesmas linhas nodaes, os sons produzidos variam com a espessura, se a superficie é a mesma; quer dizer, que os *numeros das vibrações são proporcionaes ás espessuras*. Se é a espessura que se conserva constante, *o numero de vibrações está na razão inversa das superficies*.

Não é por emquanto conhecida a lei, segundo a qual se

regem os sons produzidos por uma mesma placa, quando mudam as figuras formadas pelas linhas nodaes.

Sabe-se apenas que o som mais grave, produzido por uma placa quadrada fixa no seu centro, coincide com a circumstancia de serem as linhas nodaes duas parallelas aos lados e passarem pelo centro, onde se cruzam (fig. 18).

Quando estas duas linhas nodaes formam as duas diagonaes do quadrado (fig. 19), o som produzido é a quinta do primeiro som,— isto é, d'aquelle que se pode tambem chamar som fundamental.

### A VOZ HUMANA

Por ser a voz humana o som mais importante que se produz na natureza,— visto que representa o mais interessante, o mais efficaz, o mais significativo dos meios, a que os homens, constituídos em sociedade, se soccorrem para facilmente se fazerem comprehender entre si, finalizaremos o volume da *Acustica*, apresentando umas breves e rapidas noções com respeito ao que mais indispensavelmente cumpre saber-se da anatomia e physiologia do *apparelho vocal* (\*).

A voz (*phônê* lhe chamavam os Gregos, e *vox* os Latinos) pode assim definir-se: a vibração sonora produzida pelo ar que, expellido dos pulmões atravez da glotte, sae finalmente pelo canal pharyngo-buccal.

Ha um physico francez que picturescamente encarou o complexo apparelho, em que se produz a voz humana, chamando-lhe — «instrumento de musica natural, com o auxilio do qual communicamos as nossas idéas nos seus mais delicados e intimos pormenores, instrumento tão flexivel, tão malleavel, tão perfeito emfim e tão completo, que nenhum dos instrumentos artificiaes mais aperfeiçoados logra por ventura attingir a diversidade assombrosa de modalidades, gradações e timbres, com que a voz humana consegue exprimir os mais variados sentimentos e paixões.»

A voz humana distingue-se em: — *voz falada* e *voz cantada*. A voz falada revela-se pela *palavra*; *palavras* são articulações de sons variadamente executadas pelos movimentos combinados da larynge, das fauces, do veu palatino, da lingua, dos dentes e dos labios. A voz cantada, ou o *canto*, é — segundo o physiologista — a emissão de sons variados e modulados,

(\*) Nos volumes especiaes que a *Bibliotheca do Povo e das Escolas* ha-de publicar de *Anatomia* e *Physiologia*, encontrarão os leitores mais desinvolvido este ponto, em que aliás se tocou já no livrinho de *Zoologia* (vol. VI da nossa colleção).

produzida pelo exercicio funcional de diferentes peças do aparelho vocal; para o musico, o *canto* é especialmente a faculdade que a voz tem de percorrer todas as notas das diversas escalas musicas.

Para bem se perceber quão maravilhoso e delicado é o instrumento da voz humana, cumpre estudar-lhe minuciosamente as condições anatomicas e physiologicas,—isto é, a estrutura especial e o mecanismo funcional dos diversos órgãos que o compõem. E, para quem deseje conhecer bem os variadissimos recursos de semelhante instrumento, indispensavel se torna tambem um profundo estudo da *gymnastica vocal* (consinta-se-nos a expressão), porque só d'est'arte se ficará possuindo o meio de avaliar quantos esmeros na organização d'esse prodigioso instrumento a natureza prodigalizou.

O *aparelho vocal* não é outra coisa mais do que um *instrumento de vento*,—quer dizer, um instrumento musical em que os sons são produzidos pelas vibrações mais ou menos rapidas do ar em sua passagem atravez de uma abertura mais ou menos apertada. O ar,—que depois de haver servido nos pulmões ao phenomeno physiologico da hematose (\*), regressa d'elles por um tubo ou canal chamado *trachéa-arteria*,—passa para a *larynge* (onde entra em vibração e produz os sons da voz), acabando por se expandir na *pharynge* (especie de funil que continúa a parte posterior da bocca). O som chega então ás cavidades das *fossas nasales* e da *bocca*; essas desimpemham verdadeiramente o papel de *caixas de reforço*, e imprimem no som um timbre especial.

O *aparelho pulmonar*, essencialmente constituido pelos dois *pulmões*, acha-se alojado na cavidade thoracica, e circumscreve até certo ponto com a sua massa o coração. Em tres lobulos se acha dividido o pulmão direito; o esquerdo, sómente em dois. Na constituição da massa pulmonar entra especialmente o labyrinthico aggregado das *ramificações bronchicas*, as quaes terminam afinal (no limite maximo das subdivisões) por pequenissimas vesiculas (as *vesiculas bronchicas* ou *vesiculas aereas*, onde se effectua o phenomeno da hematose). Estas ramificações e vesiculas, unidas entre si por tecido connectivo, constituem propriamente o *parenchyma esponjoso* dos pulmões.

A *trachéa-arteria* (ou simplesmente *trachéa*) é um canal ir-

(\*) Já no citado volume de *Zoologia*, a pag. 32, ficou explicado o que deve entender-se por *hematose*.



regularmente cylindrico, formado essencialmente de aneis multiples e cartilagineos, — aneis incompletos na parte posterior do canal e substituidos ahi por simples substancia membranosa.

Verticalmente situado na parte anterior da columna vertebral, o canal da trachéa pode considerar-se a continuação inferior da larynge. Inferiormente bifurca-se a trachéa em dois canaes (os *bronchios*), cada um dos quaes penetra no parenchyma do pulmão correspondente, e ahi se vae dividindo e sub-dividindo nas *ramificações bronchicas*, de que já nos occupámos.

A *larynge* (prolongamento superior da trachéa) é uma especie de caixa membranoso-cartilaginea. Tem esta caixa superiormente, servindo-lhe de tampa, uma especie de valvula movel, susceptivel de elevar-se ou abaixar-se, — a *epiglottle*.

Abaixando-se sobre a larynge, evita a epiglottle que os alimentos na occasião da deglutição, quando vão a passar para a pharynge, penetrem na larynge, — o que daria ensejo a phenomenos de suffocação. Sob o ponto-de-vista musical, a epiglottle, participando tambem do movimento vibratorio do ar, pode contribuir para modificar o timbre da voz. A larynge é um órgão complexo, em cuja composição entram (além de vasos e nervos) varias cartilagens, fibro-cartilagens, membranas, diversos musculos, e as denominadas *cordas vocaes* (*superiores e inferiores*). Das cartilagens — além da epiglottle (que é antes propriamente uma fibro-cartilagem) — a mais notavel é a *cartilagem thyroidéa*; tem esta a fórma de um escudete situado na parte anterior da larynge; d'ella depende a pronunciada saliencia, que se observa na parte anterior do pescoço, em adultos do sexo masculino, e que o vulgo picturadamente denomina *maçan de Adão*.

As *cordas vocaes* são pregas que em sua parede interna apresenta a larynge, formadas por ligamentos essencialmente elasticos; existem duas de cada lado (uma, *superior*; e outra, *inferior*). A abertura que fica entre os bordos livres das cordas vocaes, é o que se chama *glotte* — que alguns distinguem em *glotte superior* (ou *abertura superior da larynge*) e *glotte inferior* (ou *glotte propriamente dita*) segundo a consideram nas cordas vocaes superiores ou nas vocaes inferiores. Geralmente os physiologistas não attribuem ás cordas vocaes superiores a mesma importancia que ás inferiores. A verdade é que a perda d'aquellas não implica a extincção da voz; a perda das cordas vocaes inferiores redundando sempre em aponia completa.

Postas estas considerações, facil se torna deduzir o mechanismo por que se effectua a producção da voz, e o papel que faze essa producção desimpemham as diversas partes do aparelho vocal. Os pulmões servem de *folle*; a trachéa, de *caixa da voz*; e as cordas vocaes representam as *palhetas* dos *instrumentos de vento*. Subordinadas a pequenos musculos que entram na constituição da larynge, as cordas vocaes vibram perante a corrente d'ar que sae dos pulmões; e essas vibrações variam do *grave* ao *agudo*, conforme a glotte se dilata ou se estreita, conforme as cordas se retesam ou se relaxam.

As vozes de homem, differençando-se muito das de mulher e de criança pela sua *gravidade*, devem esse caracter ás dimensões maiores da glotte. O desinvolvimento que esta adquire nos adolescentes do sexo masculino, quando attingem a epocha da puberdade, é a causa da transformação que se observa na sua voz.

FIM