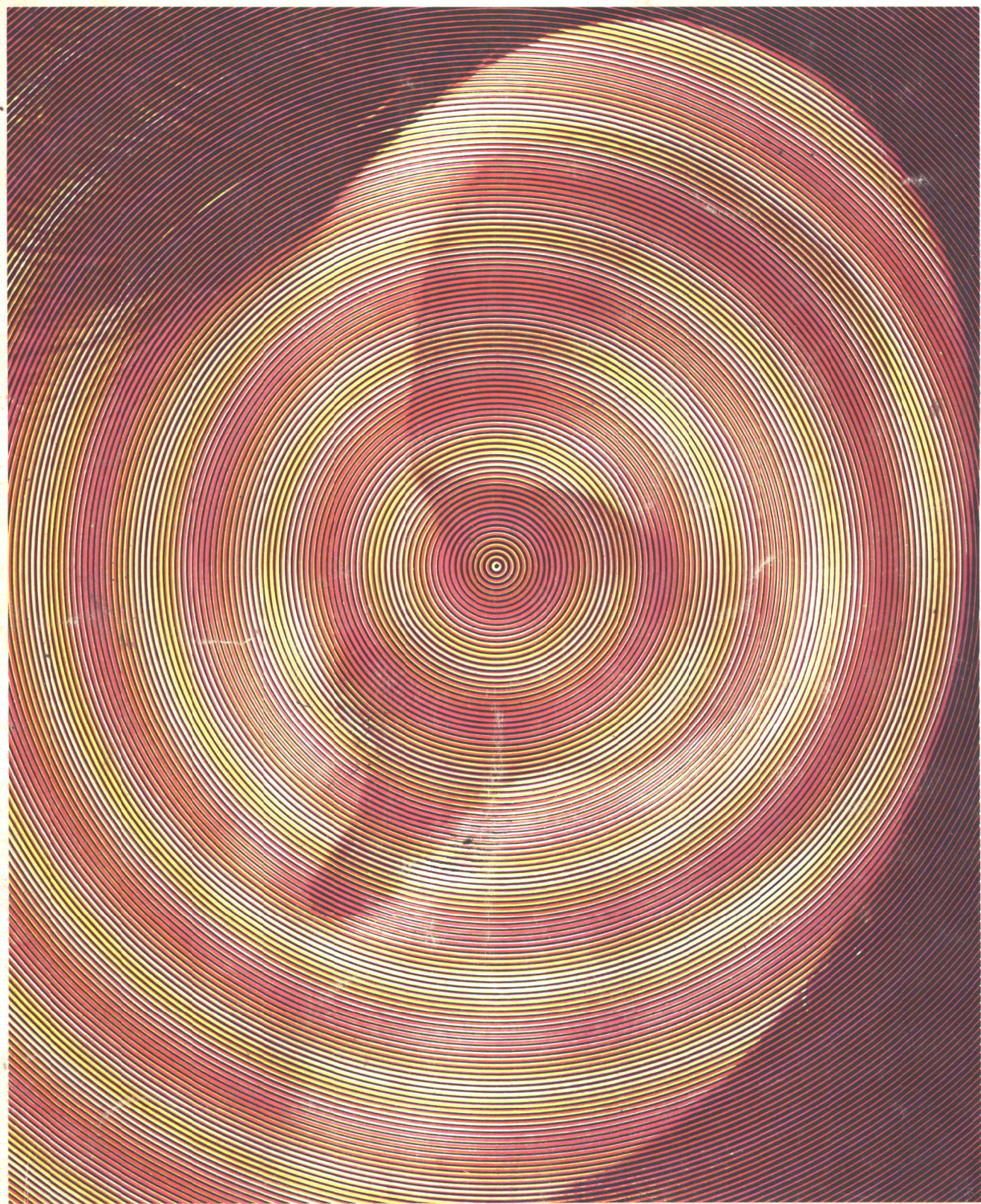


生活科学文库

声和听觉

13(2)

106-9



生活科学文库

声 和 听 觉



丛书:

航海的人们
第二次世界大战
人类的行为
世界原野奇观
世界各大城市
缝纫的艺术
人类的起源
时代生活园艺百科全书
生活摄影丛书
世界烹饪丛书
时代生活艺术文库
人类的伟大时代
生活科学文库
生活自然文库
家庭实用丛书

专辑:

生活杂志精粹
生活的电影世界
生活在战争中
婴儿是怎样形成的
濒临绝种的动物
摄影的技术

SERIES:

THE SEAFARERS
WORLD WAR II
HUMAN BEHAVIOR
THE WORLD'S WILD PLACES
THE GREAT CITIES
THE ART OF SEWING
THE EMERGENCE OF MAN
THE TIME-LIFE ENCYCLOPEDIA OF GARDENING
LIFE LIBRARY OF PHOTOGRAPHY
FOODS OF THE WORLD
TIME-LIFE LIBRARY OF ART
GREAT AGES OF MAN
LIFE SCIENCE LIBRARY
LIFE NATURE LIBRARY
FAMILY LIBRARY

SINGLE TITLES:

BEST OF LIFE
LIFE GOES TO THE MOVIES
LIFE AT WAR
HOW BABIES ARE MADE
VANISHING SPECIES
THE TECHNIQUES OF PHOTOGRAPHY

生活科学文库

声 和 听 觉

S·S·史蒂文斯

弗雷德·沃肖夫斯基

与时代 - 生活丛书编辑合著

原出版者：时 代 公 司
特辑版出版者：科学出版社
时 代 公 司

目录

1	声波在浩茫无限的大气中 图与文：声音的有序型式 16	8
2	听觉的结构 图与文：耳：工程中的杰作 38	30
3	到脑的通路 图与文：耳的进化 62	52
4	心理的影响 图与文：音乐的声音 84	76
5	人的两耳 图与文：贮存的声音 106	98
6	用回音认识世界 图与文：在黑暗中能“看”的动物 132	120
7	听觉缺陷 图与文：为能在无声的世界里讲话而斗争 154	144
8	有害的声音 图与文：声学：控制到达耳朵里的声音 180	170
	声和听觉词汇 193	
	各种声音所处的位置 194	
	参考书目及志谢 196	
	索引 197	
	图片来源 200	

时代 - 生活丛书

总编辑: Jerry Korn

生活科学文库特辑版

校订者: 沈淑敏

编辑: 王龙华

本书译者: 沈钧贤 蔡浩然

Authorized Chinese language edition

© 1981 Time Inc.

Original U.S. English language edition

© 1980 Time-Life Books Inc. All rights reserved.

Second edition. First printing.

内容提要

声音世界和听感觉是本书的主题。书中分析了声音的物理性质，描述了耳与脑将振动转化为音乐、消息或噪音的方法，并说明了人怎样根据对声和听觉的了解，在其各种实践和艺术中利用这些知识。在诸章正文及图与文中，本书探讨了动物界中听觉的进化过程，证明了听觉不仅对于人类，而且对于以听觉为其生存的主要机制的各种动物，都是极端重要的。

紧接在每章正文之后的是图与文。尽管两者可以分开阅读，不过，每篇图与文均补充其正文。例如，第二章“听觉的结构”，接着的图与文就详细地描绘了人耳的结构。

作者

S·S·史蒂文斯(S. S. Stevens)是声和听觉研究的一位权威，任哈佛大学心理物理学教授和心理物理学研究室主任。他是《听觉的心理学和生理学》一书的作者之一，曾获得美国心理学协会和实验心理学会的奖励。

弗雷德·沃肖夫斯基(Fred Warshofsky)是一位科学作家，他撰写的不少文章发表在一些主要杂志上。他曾著《重建的人》一书，并于1963年成为斯隆-洛克菲勒先进科学作家协会的会员。

1

声波在浩茫 无限的大气中



将声音放大

在一次总统的记者招待会召开前，白宫的草坪上耸立着一堆准备就绪的传声器（话筒）。在当今依靠快速通讯的世界上，声音本身传不远，也传不快。但是，借助于能将声波转换为电流的传声器，这时的声音只要几秒钟就能传遍全世界。

若要选择五种感觉中哪种最宝贵，很少人会挑选听觉。然而在人类与外界的一切联系中，听觉看来还是一种不可缺少的感觉，是使人能成为人的一种主要感觉。

听觉是多么宝贵，这个问题在失去听觉时就清楚了。一个生下就盲目的，或者痛觉迟钝的婴儿，一般都能克服障碍过着有意义的生活。一个生下就耳聋的婴儿，可能就无法挽救了。智育发展的头几步，他就力不能及。生活中的各种声音——他妈妈的催眠曲，拨浪鼓的丁冬声，甚至他自己饥饿的呼喊声——所有这一切，他全不知晓。他不能学着模仿怀有意图的声音，因为他听不见。除非通过超人的努力使他复聪，否则他将永远不能真正地掌握他自己的语言；他被隔绝在人类之外生活着。正是听觉，及其产物——语言，赋予人们无比的交谈通信的能力：传送辛辛苦苦得来的知识，利用这些知识，并以此管理整个星球。

人类听觉的精湛技巧，象其重要性一样，也是非凡出奇的。人们能听见窗外蚊虫的营营声，即使到达人耳的声音功率小于千万亿分之一瓦（ 1×10^{-15} 瓦）。（如果把十亿亿个 $\sim 100,000,000,000,000,000 \sim$ 这样的营营声集中起来，并转化为电能，刚能点亮一只阅读照明灯。）身体的听觉中枢，既十分敏感，又积极主动。在人醒着的时候，它从外界接收连续的消息流——听得见的消息，必须经过审查、分类、归档或采取行动。汽车喇叭的高声鸣叫，发出一种紧急的请求讯号。汽笛的呜呜声，警察吹响的尖锐哨声，电话铃响——每种声音都给听者带来明确的消息。

确切地说，声音是什么呢？两个世纪以前，在当时欧洲的学者名流中间一直在热烈地争论这个问题。十八世纪的思想家问道，“如果在森林中倒下一棵树，而没有一个人听见，可以说存在着声音吗？”

当时正拼命进行测量、分析和验证周围所发生的一切的物理学家认为，“当然是存在的。声音是由确定的物理活动组成的，这些活动可以在人们听到或者听不到的地方发生。声音是在若干媒质——如水、空气、岩石等——中振动着的物体所引起的分子的有序运动。”

一些在研究“实在”世界时，对自然界的一切均表示怀疑的哲学家回答说：“当然不存在，声音是一种感觉，只有听者的思想才能知道的一种感觉——那是一种我们使它和我们的身体及情感活动发生联系的感性经验。”

这个问题至今还使人感到迷惑不解——迷惑得甚至毫无意义。因为它把原因（某些物质的物理学振动）和效果（动物脑中的生理感觉）混为一谈。这两者之中究竟哪一个是声音呢？回答是这两者都是。

当一个物体快速地来回运动，足以能发出波，流经它振动时所在的媒质时声音就产生了。但是，声音作为一种感觉，必须被耳接收，并传送到脑，在脑中作为听者周围环境中发生的事情而留下印象。二百年过去了，科学探索了声音的双重性。今天，我们终于能够对声音的物理学，及大部分听觉的生物学作出真正精确的描述。

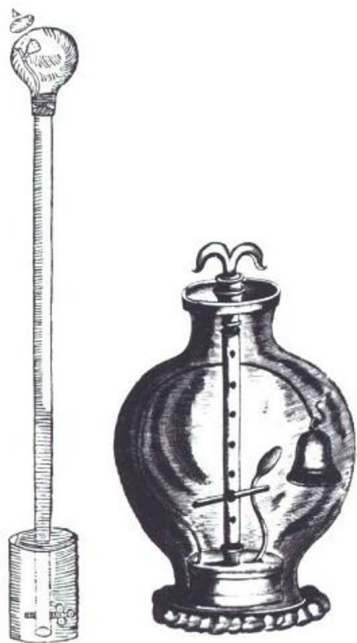
声音的媒质

声音的本质是一种物理现象，这是1660年英国科学家波义耳(Robert Boyle)进行了一次简单的实验后才更加明确的。波义耳用一根细绳把一只“带有警铃的钟”悬挂在一个玻璃坛子里。然后，他把坛子里的空气抽掉。“我们静静地盼着警铃快要响起来的这一时刻……令人满意的是，我们根本听不到钟声。于是，放一些空气进去，我们再专心倾听，这才开始听到铃响。”

波义耳证明了声音需要媒质，声音的振动要通过某些物质才能传播。如波义耳实验所表明的那样，媒质不一定是空气。声音显然能在水中传播，这是任何一位游泳者都知道的。声音能十分良好地通过金属传播。在古代的西方，火车工人——或许还有一些拦劫犯——将耳朵贴在铁轨上来倾听远方的火车；钢铁传送火车的声响要比大气更加快速。

然而，我们平常听到的声音，是在空气中传播的。我们生活在看不见的浩茫空气海洋的最底层。正常情况下，我们只是在空气流动时才注意到它——例如，当飓风刮断了树枝，或者在盛夏的夜晚，微风吹动，空气凉爽。可是，空气无论在静止时或运动中，都是一种富有弹性的松软物质，它传播声音，有点象在一潭池水中投进一卵石后引起的涟漪。组成空气的分子传递着振动，然后被耳和脑收集、分类选择和分析之。如果没有声音透过空气的传播，我们就听不到讲话，听不到音乐，也听不到隆隆的雷鸣以及其他各种声响。

至于声音如何正确地传送，可以通过对空气特征更为周密的试验来看。空气分子处于一种飘忽不定的运动状态中，它们好比是在拥挤的夜总会里的一对对跳舞者，在随意地跳舞。设想有一位服务员冒犯进入舞池的边缘，把附近的一群跳舞者强行推开叫他们让路。后退的跳舞者冲撞着他们周围的人；而后者又依次推挤周围的人，如此等等。这样就引起了连锁反应。碰撞以挤压波的方式在房间里行进着，从服务员开始的流动穿过跳舞者到达舞池的对面边缘。跳舞者立刻如波浪涌回，再次占据他们原先所



声音在真空中消失是在十七世纪中期由波义耳证明的。他做了许多实验，他在其中的一个实验中表明，在真空坛子中响着的钟声是听不见的(右图)。在十年之前，德国科学家柯切尔(Athanasius Kircher)利用一根顶上带钟的管子(左图)来做同样的试验，但是没有成功，因为他不能从管子中抽走足够的空气。他以为有了真空，还听到了钟声，这样柯切尔就错误地得出结论：声音不需要媒质传递就能传播。

在的位置——只是下一次服务员再挤入舞池的边缘时他们又给撞了回去。声音穿越空气的运动，其方式活象跳舞者之间的碰撞运动，横穿整个夜总会舞场。替代冒失的服务员的就是声源：一只振动着的铃，或鼓面，或声带。振动着的物体重复地推动着邻近的空气分子，好比服务员推动跳舞者。扰动的分子碰撞它们的紧邻，然后又弹回到原先的位置，除非再次被推动。邻近的分子同样地动作，如此等等。在这过程中，单独的分子——象单个跳舞者——从来不会走得太远。穿越空气的（或者穿过舞池的）是扰动。分子碰撞在一起造成空气的压缩：弹离开的分子形成了稀疏。压缩和稀疏，以压力波（声波）的方式在空气中传播。声波，与无线电波、光波和水波一样，也受许多相同规律的支配。

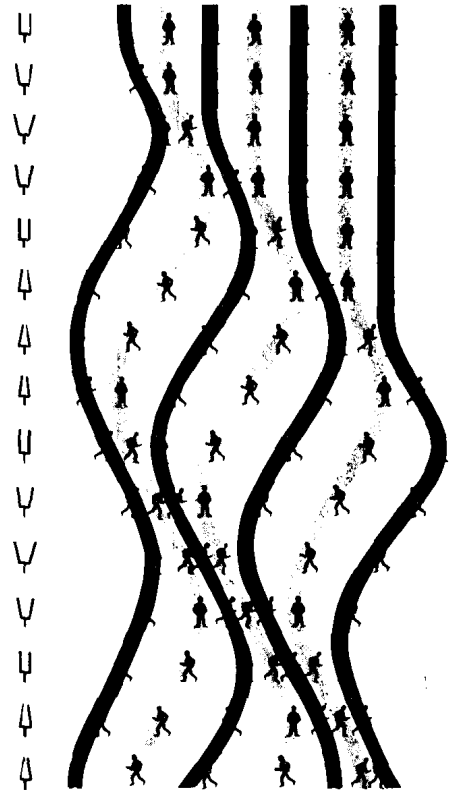
运动波的记时

声波比水波传得快，但是，比无线电波和光波慢很多。声波在空气中的速度，大约是在1640年首次测出的。当时，法国数学家默塞恩（Marin Mersenne）计算了回声通过一段已知距离返回声音发源地所花的时间。他估算出声速为每秒1,038英尺（等于316米/秒）。

大约二十年以后，两位意大利研究人员，鲍勒里（Borelli）和维维安尼（Viviani）设计出一种测量声速的更精确的方法，该方法是以大炮声到达观测者所花时间为依据的。他们的方法，于1708年由英国的德黑姆（William Derham）进一步改善，他甚至计算了包括风对测量声速的影响，德黑姆登上埃塞克斯郡的厄普明斯脱教堂的高塔，观察射向布莱克希思的炮火，射程横跨泰晤士河，相距约12英里（19公里）。他计算了看到炮火的时刻和听到爆炸的轰鸣声的时刻之间的时间间隔。他重复地进行测量，考虑了风的变化，并将结果得出平均数，他得到的读数很接近于在68°F（20℃）的气温下每秒1,125英尺（343米/秒）的真实数值。

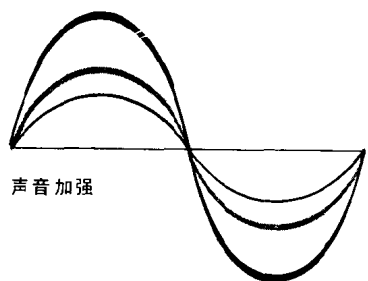
温度是重要的，因为声速受传递声音媒质的温度的影响。在冷的媒质中，分子运动缓慢——于是，声音传播的速度减低。当相同的媒质受热时，媒质分子更加快速地相互推撞——这样就加快了声音的传播。例如，在32°F（0℃）时，水能结成冰，声音在空气中的传播速度为1,087英尺/秒（331米/秒）；在212°F（100℃）时，水的沸点，声音速度增快到1,266英尺/秒（386米/秒）。

媒质的性质对声速甚至有更明显的影响。例如，68°F（20℃）的水要

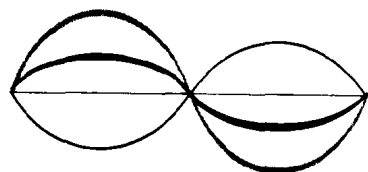


声音穿越大气的运动是空气粒子在起作用。空气粒子由上图中的小人为代表，它连续地彼此碰撞，从而传送着由声源提供的能量。当音叉展开时（左图，上端），粒子被推开，直至碰撞它们的近邻为止。这样就形成了碰撞的稳定运动区，叫做压缩。同时，音叉收缩时形成空区——稀疏——空气粒子弹回到这一区域。实际上，每个粒子的行进范围，不超过若干分之一英寸。

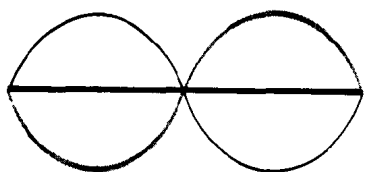
波的相互作用能影响声音的响度。这种现象就是通常所说的干涉。下面的第一图表示两个声波（黑线与灰线）是同相位的。即它们的压缩波在时间与空间上刚好相合。波的强度，由直线上方的高度表示，经加强而产生更强的声音（紫线）。其他图表示半波长的波反相位。当它们的强度不同时，总强度被减少（中图）；如果它们的强度相同，就根本听不见声音。



声音加强

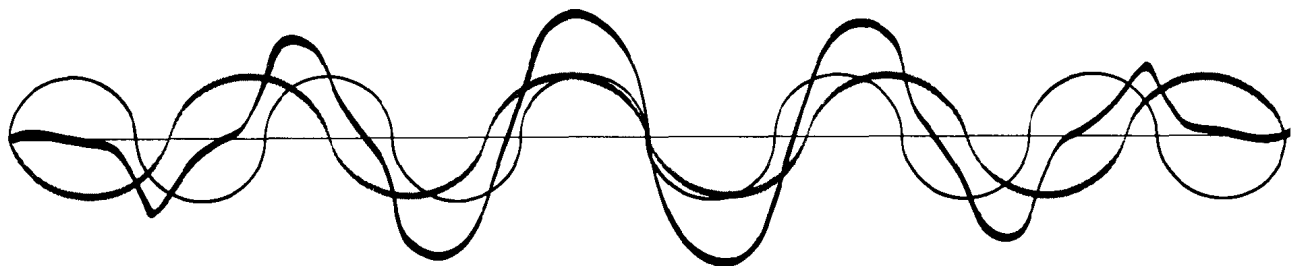


声音减弱



声音抵消

下图表示的是强度相同、频率稍有不同的两个波相互作用时出现的声波的复杂干涉现象。二波以反相位的半波开始，这时，合成的强度为零（紫线），在波行进中，交替地彼此加强或抵消。耳朵所听到的这种干涉声，犹如微弱的搏动，当钢琴上同时弹出两个毗连的律音时就是这种情形。



比同样温度下的空气携带声波快四倍以上。约为4,856英尺/秒（1,480米/秒）。固体甚至以更大的速度传播声音。石英中声速为18,000英尺/秒（5,486米/秒），钢中声速为20,000英尺/秒（6,096米/秒）。

这些声波的曲线图，有助于解释我们听到的种种现象的原委。与传声器连结的墨水笔记录仪，描绘出声波通过时的压力变化图。压力上升到压缩波峰，然后降落到稀疏波谷，这是与空气分子以压力波方式出现的压缩与稀疏相称的。可是，图形揭示的内容更多：峰的高度，说明最大压力，是声音强度的精确度量。这与响度有关（尽管不完全相同）。邻近峰之间的距离，说明传给传声器的速率，是声音频率的度量。这与我们所听到的音调有关（尽管也不是完全一样）。

频率，简单地讲，就是扰动空气分子的物体每秒钟来回振动的次数。再回到夜总会的例子，假如夜总会十分热闹，服务员们快速且经常地登上舞池边缘。他们打扰得愈频繁，正在跳舞的人退落和流动的局面愈常见。同样地，压力波的频率随着发出声音的物体振动的变快而加大。音乐的律音或音调，也由频率来决定：位于中C调之上的A调，为每秒440次振动。中C调的标准，是按美国仪器调制的，为261.6次振动/秒。显然，频率愈高，音调也愈高。

相位，寂静与“哇哇声”

当两个或更多的声波彼此干扰时，响度和音调二者均会发生变化。假设两个声源以相同的频率同时开始振动。如果声音完全是“同相位的”。即它们的压缩峰和稀疏谷每一步彼此都匹配得很好。声波就会彼此增强，以致产生一个更高强度的声音。如果两个声音“相位完全不同”，一个声音的压缩时刻正好与另一个声音的稀疏时刻相一致，它们就会趋于中和，或者彼此抵消（相同强度和相反相位的两个声音，实际上在耳朵听起来却是寂静无声）。现在，假设两个声波的频率稍有不同。在某一时刻，它们彼此加强；在另一时刻，它们将全部或部分地彼此抵消。耳朵将听见一种新的声音，与这两个声音组分均不相同：一连串有节奏的振动或敲击声，忽高忽低，成为缓慢的“哇—哇—哇”声。

不同频率混合的相反的极限情形，是难得听到的一种单一频率的声音。音叉，适当地敲一下，就发出这种声音。记录音叉的声波，得到的是一种平滑弯曲的峰与谷组成的对称的图形，这些峰与谷均等距离相间。这种“纯”

音，叫做正弦波，在声音物理学中具有特殊的重要性。正弦波是声音的基本组成成分，可以与物质中的原子相比。正象复杂的混合物和化合物可以分解为原子一样，交响乐的许多不同音调，也能分解为许多个正弦波。

正弦波的综合

正弦波作为复杂声音基本的结构成分所起的作用，是1801年由卓越的法国数学家福里埃(Jean Baptiste Fourier)首先清楚地阐明的。当时，他并不是在研究声音。福里埃正在研究热流经物体的方式。这使他得到一项强有力的数学技术——福里埃分析——能将任何一连串波形，不管它多么复杂，分解为一系列简单的正弦波。这些正弦波的综合，等于原来的复杂波形。

福里埃伟大的成就在于将复杂的波运动——任何一种波，不管是无线电波、热、光、声或水波——和一种与古希腊同样古老的数学思想联系起来。远在福里埃时代前的二千多年，希腊数学家毕达哥拉斯(Pythagoras)发现，在音乐声音中存在着一种简单的数字关系。他指出，拨弦的振动能发出音阶中各种律音。拨弦的长度可以表示为整数之比。于是，如果一根弦的声音为C调，另一根长为 $16/15$ 的弦将发出下一个较低的音调，B调；而一根长为 $18/15$ 的弦，将发出A调，低于B调；一根长为 $20/15$ 的弦，将发出G调，这样下去，以至全部音阶。一根弦为原长的两倍时，将再发出C调，不过是低八度音。

福里埃把声音分解为组成声音的许多正弦波，这是向前进了一大步。组成音乐的律音的各个正弦波，结果证明彼此之间表现为最简单的关系。每个正弦波都是基音——即最低的声音——的泛音，或称谐音，而每个谐音的频率为基频的倍数。例如，用弓拉小提琴的A弦，不仅产生每秒振动440次的基音A律音，而且有第二谐音，高一个八度，为880次振动/秒，第三谐音为1,320次振动/秒，如此类推。

谐音频率和振动弦长度之间的关系，可以从摇动结在树上的一根绳子看出。缓慢地摇动绳子，沿绳出现一个单一波。这个波代表振动的基频——第一次谐波。然后，以两倍快的速度摇动绳子，将有两个短波向树行进。这时的振动频率为两倍大，每个波的长度折一半。以三倍快的速度摇动，即三倍于基频，将产生第三谐波——三个明显的波，每个波长为基波长度的三分之一。

正是谐波使乐曲的声音变得悦耳动听：能听到的谐波愈多，声音就愈丰富、完美。小型的收音机声音细弱，因为它只能产生窄带频率，这就略去了许多谐波。一只好的高保真度唱机，声音丰富而且逼真，因为它能产生人耳能听到的所有频率，其中包括高次谐波。人的可听频率范围是很宽的。每秒20次振动的频率，大部分人都可以听到。年轻人可探测到高1,000倍的律音；随着年龄的增长，对较高频率的敏感度会急剧地下降。但是，能立即被人听到并被人欣赏的谐波数目也有个限度——不论每个谐波的频率是多少。在同一时间内，谐波的数目太多，超过六或七个，就会产生刺耳的、令人不愉快的效果。

从营营声到轰鸣声

人耳的频率范围，尽管很大，还远不如它的强度范围大。声音的强度或等级，和频率一样，也是一个可以准确测量的物理学性能。正如频率有其主观感觉的配对——音调一样，强度是以响度为人们所感知的。

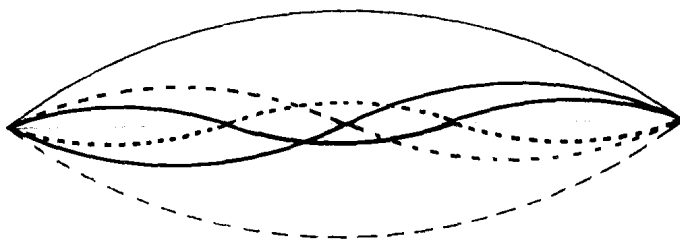
物理学家是以落在1平方厘米任何表面上(譬如耳鼓膜的表面)的功率瓦特数来度量强度的。尽管瓦特是一个十分小的单位，但它还是不能广泛地用来度量声音。自动车床的声强可以达到0.000001瓦特，而这种声音就是令人烦恼的噪声。大炮开炮时的声音强度为0.001瓦特——比最微弱的可以听见的声音高10万亿倍——这种声响使人体感觉痛苦。

声音的响度不直接与它的强度成正比。某种固有的机制使耳朵在声音的强度增加时会降低其灵敏度，因此，大炮的轰鸣声不会比蚊虫的营营声响10万亿倍。当声音强度加倍时，响度仅增加约23%。

为了度量不同声音的相对强度，科学家研究了响的声音与较弱的声音的比率。科学家用度的度量单位是分贝(decibel)，deci是十分之一的意思，bel取自电话的发明家亚历山大·格雷厄姆·贝尔(Bell)的姓。一个声音比另一个声音强10倍，就叫做强10分贝，强度的10次幂项每增加1次，声级就再增加10分贝。一个声音是另一个声音强度的1,000倍，则强30分贝；一个声音强达100,000倍，就是大50分贝，如此类推。

分贝的度量，在声音的物理学强度和声音引起的主观响度之间建立了粗略的联系。近似3分贝的强度变化，会引起平常的人耳能感觉到的响度的最小变化。在测量日常生活中的声音时，零分贝声级代表正常人耳能听到的最微弱的声音。在130分贝以上，声音使得人体痛苦难受。对于绝大多数

谐波如何使律音圆润这个曲线图可以说明。此图表示一根弹拨的弦能以复杂的方式振动。除了有使弦产生基音的全波振动以外，同时还有更短波长的振动，这些振动使弦的长度构成精确的等分——这里，是二分之一和三分之一。这些较高的组分使基音圆润生色。



数人来说，谈话的声级为60—80分贝。

声波，象其他波一样，会受到同样的影响。声波所穿越的环境，能以难以捉摸的，或者戏剧性的方式影响波动过程。例如，回声——声波从墙壁或者悬崖弹回来——是反射波，象光波或水波的反射。山间雷声隆隆，乃是一连串的反射，以称为回响的方式反射、再反射。

回响现象，是由哈佛大学的一位物理学家萨拜因(Wallace C. Sabine)首次测到的。在1895年，有人要求萨拜因尝试修改哈佛福格美术馆主讲演厅糟糕的音响结构。他工作一开始，就用一只记秒表和他的耳朵来测量声波在大厅墙壁上来回碰撞时声音的缓慢衰减过程，为了消除衣服和身体的吸收效应，在进行试验时，他藏身在一只箱子里，只让头部伸出来。他用这些方法，发现新大厅中回响是如此之大，以致用正常音调讲的一句话，来回碰撞达5秒半钟之久。一位讲师已讲完由15个词组成的一句话，可是，他讲的第一个词还在耳边回响。

“桑德剧院的一个坐垫”

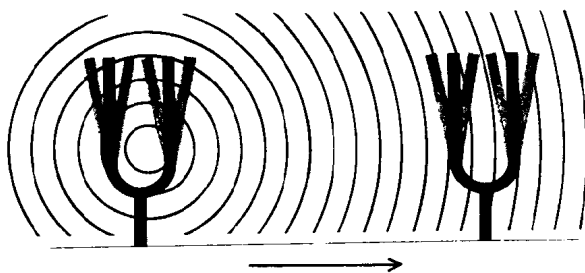
在讲演厅里的各种吸音材料能使回响时间降到什么程度呢？萨拜因开始通过小心的测量来寻找答案。他选用的第一批试验材料，是附近桑德剧院的软坐垫。他采用单管风琴的声音作为稳定的声源。他写道：“当他在讲演厅里放上总长为8.2米的坐垫时，可听声的持续时间降到5.33秒。放上17米长的坐垫时，在单管风琴停止后，在4.94秒的时间内，仍可听见大厅里有声音。”

萨拜因对试验的结果感到欢欣鼓舞，以致他把全部坐垫拿到大厅，一次只拿几个。“当所有的坐位(436个)均铺上坐垫时，在2.03秒内仍可听到声音。然后，走廊里铺上垫子，讲台也铺上垫子。但还有许多坐垫——几乎还有一半。再把这些坐垫拿到大厅……，挂在直立于大厅四周的支架上。最后，当从近1,500个坐位的剧院里把所有坐垫都放进大厅时——覆盖着坐位、走廊、讲台和后墙，直至天花板——可以听到残留声音的持续时间为1.14秒。”

利用不同的吸音材料和方法，萨拜因继续发展了各种技术，利用这些技术就能将建筑物音响效果从一种杂乱无章的艺术转变为一门相当精确的科学。可是，有一段时间，声音吸收率就是以桑德剧院的一个坐垫为单位的。

甚至空气也吸收声音。这种效应是颇有选择性的，高频的可吸收率要

形成一个声音，两只音叉实际上只要敲击其中之一，二者都能发出声音，这就证明它们共鸣。左边的音叉被敲响，发出声波，声振动与右侧相同音叉的固有振频精确地配合。第二只音叉也发出回响——它开始发出嗡嗡声，然后发出声波，并加强了第一只音叉发出的声波



比低频的大。这就是为什么由很广的频率谱组成的雷鸣声，在一段距离外听起来是隆隆声，而在近处听起来象尖锐的爆炸声的道理。构成独特的爆炸声的高频被空气滤掉了，只有低频的隆隆声能传到远距离的收听者耳中。

声音与它的环境相互作用，在共鸣或共振现象中尤为引人注目。一种物体最容易以某一个特有的频率振动，称之为共振频率。例如，小提琴的A弦，指定在约440次振动/秒时最容易被振动起来：即A调。如果相同的音调不是在这把小提琴上高声奏出，而是在它旁边的一把小提琴上奏出，则这把小提琴的A弦会共鸣，发出哼哼声。这种现象偶而可见。然而，小提琴的琴身是经过精心设计易起共鸣作用的，因为它的形状就能使它内部的空气随所有的弦振动起来，加大声音。

不过，任何声音效应或其变化——反射，回响或共振——都有赖于听觉的能力。一个声波在撞响那最好的接收仪器耳朵以前，是毫无意义的。

声音的 有序型式

声音似乎常常是难以理解，难以预测的，不服从任何规律。它可以从一堵墙返回，又可被另一堵墙吸收。它可以直上九霄，似乎永远消失，又出人预料地返回到几公里外的地面，弄得人们惊惶失措。它能挤进几乎没有敞开的窗户进入房间，而显示声音的存在。不过，声音的活动决不是变幻莫测的。它是一种物理现象，并呈现波的形式：它遵循某些永远不变的物理学定律。声音开始是机械扰动——譬如，由讲话、砰地关门或者用弓擦响小提琴的弦所引起的机械扰动。声源的振动，导致波的形成，并向各个方向辐射出去。正是这些运动着的波，听起来成为声音。从它们产生的时刻开始，经历着一次又一次地弹碰、弯曲或消失，声波这些各式各样的奇怪现象都是能够予以解释，测量和用图画来说明的（如右图所示）。

带拍的声音

同时听两个频率稍有不同的声音时，合成声音的响度时而增加，时而下降，这种现象通常叫做拍。在本图中，两组同心圆每15个蓝色圈有14个红色圈，代表两个声

音。在圆圈相互重合的地方，声音最响。当圆圈彼此交替错开，两个声音的影响减小时，声音最弱。