



课 外 天 地 丛 书
物 理 系 列

万 籁 有 声





课外天地丛书·物理系列·

万 籁 有 声

李春霖 李 敏 王维正

山西教育出版社

社 长 任兆文
总 编 辑 左执中
责任编辑 彭琼梅
封面设计 马正华

课外天地丛书·物理系列

万 籁 有 声

李春霖 李 敏 王维正

玫 孜 插图

*

山西教育出版社出版 (太原并州北路 69 号)

新华书店经销 山西人民印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/32 印张:5.875 字数:124 千字

1997 年 1 月第 1 版山西第 2 次印刷

印数:5 001—9 000 册

*

ISBN 7—5440—1076—7

G·1077 定价:5.60 元

序 言

科学的源头没有气势磅礴的滚滚巨浪，只有无数迷人的涓涓细流。正是这些细流穿过原始的莽原，在无知和愚昧的顽石上历经万千跌撞之后，才汇成恢宏壮美的大河。

这条大河是尊严和力量的象征，是创造和毁灭的魔带。谁在这条大河上泛舟航行，谁就能主宰世界；否则，就会沦为自然或他人的奴隶。

科学既是人类共同创造的文化资源，又是通向美好境界的唯一通道。追求科学，就是追求享受人类共同财富的权利，就是追求生存的资格；崇尚科学，就是崇尚人格的自尊，就是崇尚崛起的本领；弘扬科学，就是弘扬理性的觉悟，就是弘扬创业精神。

现代文明之树在汲取了科学养料之后，正枝繁叶茂，生长在她底下的迷信的杂草逐渐枯萎死去，然而，她本身的枝叶所围的苍暗又形成新的神秘和玄虚。于是，科学成为时髦的字眼和迷离的幻影，许多人不知道怎样与科学对话和怎样为科学服务。

所谓科学，并非永恒不变的结果，她是一个进步和积极活动的过程。科学的意义和价值，只能在一定时空区域中给予评估，托勒玫的地心说，虽然是错误的，但它在起初的一段时间内，推动了天文学的发展，从这个意义上讲，它当时

是科学的；牛顿的力学体系中，物体的质量被定义为不变的物理量，这在远小于光速的条件下是正确的，而在物体接近光速运动的状况下，质量则会变大；关于光的以太假说，虽被后来的科学遗弃，但正是因为它为光的波动说挡风遮雨，使其登上理论的宝座，并导致场概念的诞生。

今天看起来是不科学的东西，不等于昨天也是不科学的；今天视为科学的东西，明天也许会被放进思想的历史博物馆。因而，科学不承认永恒的权威，没有最高的峰顶。科学精神的实质就是破除迷信，不断进步。

科学有时是一位冷酷的女子，尽管当事人对她忠心耿耿，满腔痴情，她甚至也不露芳容。这正说明仅有热情是不够的，她的微笑代表特殊的荣誉和价值；她的微笑，是对技巧和方法的肯定，是对严谨和勇敢的赞赏，是对勤奋和拼搏的报酬。

难题是科学最亲密的敌人，科学是对无穷难题的挑战。正如马克思所说：“在科学上没有平坦的大道，只有不畏劳苦沿着陡峭山路攀登的人，才有希望达到光辉的顶点。”

科学没有固定的模式，但有光辉的典范，典范可以帮助人们特别是青少年悟出怎样为科学效力的答案——这就是激励作者写作此系列丛书的一个最主要的思想，权作序言。

谨以此系列丛书献给立志从事祖国科学事业的人！

作者 于湖南长沙
一九九一年六月

目 录

第一章 唤醒沉睡的世界	(1)
一、信息的天使	(1)
二、高明的魔术师	(10)
三、美妙的旋律	(17)
四、共振的魔力	(23)
五、有趣的回声	(32)
六、传声的媒质	(39)
七、三百五十年之后	(47)
八、揭示声音本质的旗手	(55)
第二章 新声学的崛起	(62)
九、大展宏图	(62)
十、“看见”的声音	(70)
十一、“绝望”中的报警声	(77)
十二、时代的凯歌	(83)
十三、“宇宙大爆炸”	(93)
十四、岁月悠悠二百年	(99)
十五、“近代声学之父”	(108)
第三章 在空间回荡	(116)
十六、飞翔的声音	(116)
十七、录音的先驱	(124)

十八、震惊世界的海上悲剧	(132)
十九、神奇的超声波	(141)
二十、次声的魅力	(149)
二十一、建筑声学中的奇迹	(159)
二十二、绚丽多采的“立体声”	(168)
二十三、神话变为现实	(173)

第一章 唤醒沉睡的世界

一、信息的天使

世界有色也有声。声音可交流思想，声音可传达感情，声音是信息的天使。你听：

开国大典，礼炮轰鸣；新春佳节，爆竹声声。喜庆锣鼓，气壮山河；悲悼管弦，泪花盈盈。晴天霹雳，震聋发聩；月夜鸟啼，如泣如诉。高山飞瀑，洪钟长鸣；涧谷清溪，浅唱淙淙。春色满园，百鸟弄喉；夏塘池涨，蛙声阵阵。秋临大地，凉风习习；冬至北国，白雪沙沙。虎吼马嘶鹿呦呦，山呼浪涌海啸啸。轻弹琵琶慢吹箫，人间喜忧在其中。这千姿百态的声音，给人多少情思，多少信息！

声音就是生活，生活有声亦有色。你看：有的声音像花朵，有的声音像彩虹。热烈之声如火焰，澄澈之声如碧水，兴奋之声似鹅黄，失意之声若铅灰。这斑斓缤纷之声，勾勒出人们的心田，描绘出眼中的世界。

声音是如此壮阔，声音是如此富丽！

那么，究竟什么是声音？

凡是声波传到人的耳朵引起的具体感受就是声音。所谓声波，就是机械振动在媒质中的传播。人们常说的声音，实际上就是声波。

形成声波必须有两个要素：一是波源，即产生机械振动的装置，由它给声波提供能量。波源振动频率决定音调的高低，振幅的大小决定音响的强弱。二是媒质，即传播声波的弹性物质，如气体、液体、固体都是。

没有波源就谈不上声波，没有振动就形不成声波。振动是物体围绕某一位置周期性的往复运动。最简单的振动叫简谐运动。

找一根轻弹簧，一端固定，另一端连接一个小球，中间用一个没有摩擦的杆支持。这样就做成一个弹簧振子。我们拉一下小球，使它离开平衡位置，然后放手，小球就围绕原来的平衡位置作有规律的往复运动。观察可见，在任一时刻，小球所受的弹力与小球到平衡位置的距离成正比。因为这个弹力的方向永远指向平衡位置，所以又叫回复力。凡是回复力有这样的规律的振动都叫简谐振动。研究表明，小球到平衡位置的距离即位移符合下面的变化规律：

$$x = A \cos(2\pi ft + \varphi_0)$$

式中 x 为位移； A 为最大位移的绝对值，叫做振幅； f 叫频率，它和周期 T 互为倒数； φ_0 叫初相或初相位，它可以描述物体在计时起点的位置。



弹簧振子

上式表明了位移 x 随时间的变化规律。式中涉及三个物理量：振幅 A 、频率 f 和初相 φ_0 ，这就是简谐振动的三要素。只要知道了这三个要素，简谐振动的情况就可精确地描述。

简谐振动是一种最基本的振动。在百货商店的钟表柜台前面，一些顾客特别是小孩儿常常为某种钟表的有趣装置所吸引。这些钟表的上方或下方，有的是一个小丑不停地做着一种滑稽的动作，有的是一个母鸡不停地点头啄米，招呼旁边的小鸡前来吃食。其实，这就是运用了简谐振动的原理。如果我们在一根不伸长的细绳下端挂上一个小球，加力使其摆动，当摆角小于 5° 时，就可以看作它在做简谐振动。



弹簧下挂物体的钟

如果没有摩擦力，简谐振动就会永远地继续下去。我们把这种振动叫自由振动。

实际上，摩擦力是客观存在的，摩擦阻力使振动的能量不断减少，振幅也就越来越小，直至振动停止，声音也就消失。美妙的旋律，正是由此使然。受到各种阻力作用下的振动，都叫阻尼振动。在阻尼振动中，如果受到的阻力不太大，它的频率变化也不太大，自然振幅的衰减也比较小。

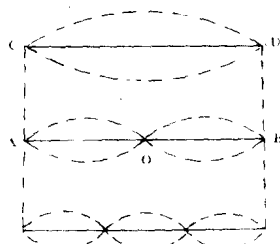
要想使一个实际的振动系统，维持较长时间的振动，就必须由外界给振动系统补充能量。在振动形成后，如果按振动系统的情况周期性地给它补充很小的能量，用以弥补摩擦力做功变热的损失，振动就能继续维持下去。把钟表里的发条上紧，就可以给摆不断补充由于摩擦损耗的能量，使钟表一直走个不停，这就是振动的“自持”。

给振动系统加一个外来的周期性的策动力，物体所作的振动为“受迫振动”。这样，一开始，振动系统原来的振动

“秩序”就会被打乱，然后，振动系统的振动周期变得完全与外来策动力的周期一致。假若外界策动力的频率恰好等于振动系统的“固有”频率，此时，振动的振幅就会达到最大值。这就是通常所说的“共振”现象。

简谐振动的周期（或频率）是最容易研究的。对于弹簧振子，其振动频率与弹簧的弹性系数的平方根成正比。与振子的质量的平方根成反比。对于单摆，振动频率与重力加速度的平方根成正比，与摆长的平方根成反比。

在自然界中，存在着许多复杂的振动。它们是由若干简谐振动构成的。比简谐振动复杂一些的是弦振动。我们平常所见的各类弦乐器上的琴弦的振动，就是一种弦振动。当用琴弓在琴弦上摩擦时，弦就开始振动起来，图中 CD 为一根琴弦。琴弦振动时，



琴弦振动图

弦就以原来静止时的位置为平衡位置振动起来，形成图中所示的图形： OA 等于 OB 。这时发出的频率为 $f_1 = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{F}{\mu}}$ ，式中 L 表示弦 CD 的长度。 F 表示弦受的张力， μ 表示弦单位长度的质量。同一把二胡，若用力拧紧弦，音调就随着变高，放松弦后，音调也就降低了。固定弦的松紧程度，并用手调整弦长，美妙的乐音便随之而生。

唐代著名诗人白居易曾这样描写琵琶的声音：“大弦嘈嘈如急雨，小弦切切如私语。嘈嘈切切错杂弹，大珠小珠落玉盘。间关莺语花底滑，幽咽泉流冰下难。冰泉冷涩弦凝绝，凝

绝不通声暂歇。别有幽愁暗恨生，此时无声胜有声。银瓶乍破水浆迸，铁骑突出刀枪鸣。曲终收拨当心画，四弦一声如裂帛。”

其音之妙，驰魂夺魄。究其之实，只不过是振动的变化。

弦 CD 振动时，也可能发出频率等于 f_1 2 倍的第二种频率 f_2 ，还可能发出频率等于 f_1 3 倍的第三种频率 f_3 等等。人的耳朵听到的音调只由 f_1 决定，其它频率为 f_1 的整数倍，它不影响人耳听到的音调，通常把这个最低频率 f_1 叫做基频。其它频率的声音是基频的整数倍称为“泛音”。泛音的数目以及它们各自的强度决定声音的音色。

在自然界，这种弦振动的声源随处可见。

人的声带就好像两端固定的“弦”。从气管中呼出的气流冲击声带，声带发生振动，就发出声音。声带可用喉肌调节张力，来改变声带振动的频率。这是人类生就的发声器官，当然也是人类自己最早利用的声源。

在那远古洪荒的年代，人类为了生活，不断与大自然搏斗。他们群居生活，共同狩猎，用喊声叫声交换信息和感情，逐渐产生了语言。这是人类最早的声音。在古书记载中，提到人们在和自然界作斗争的时候，幻想音乐、舞蹈的力量能影响自然界。有一个叫士达的人就“作五弦瑟，以来阴气，以定群生”。这种目的自然不能够实现，但从这些古老的传说中，我们可以知道，音乐是在原始社会的劳动中产生的。

那时候，古人一起捕获野兽，共同战胜洪水。他们齐声发喊，威慑猎物；一齐“咳唷”，移动重物。胜利归来，欢呼跳跃，手舞足蹈，其乐融融，用歌声抒发喜悦的心情。这就是古书记载的“作乐昭功”，意思是用音乐伴奏跳舞等来庆祝

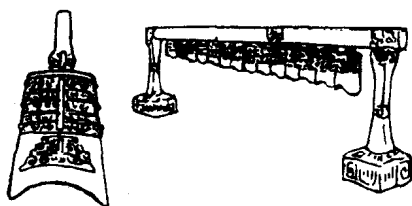
胜利和成功。原始音乐与声学就在人们积极的劳动、娱乐、休息中产生形成。

那些远古的原始人用什么来给舞蹈“伴奏”呢？当然不是前面提到的“土达之瑟”；起初是有节奏的喊声，或用木棒或石块敲击作响。木棍敲击大木头就是木鼓，木棍敲击中空的石头就是“磬”。相传距现在 4600 多年前，即公元前 26 世纪的神农氏时代，就有了木鼓。在稍后的黄帝与蚩尤的涿鹿之战中，元女曾造出牛皮鼓 80 面，敲响后如同雷霆一般，使黄帝的军威大壮，为黄帝战胜蚩尤助了一臂之力。空心的小鼓中放入石子，就做成一个拨浪鼓；据考证，它是世界上最古老的普及乐器。木鼓直到现在，也不曾绝迹。在我国的贵州、云南等少数民族地区，至今还有人用木鼓。非州黑人，长期以来用敲击木鼓传递消息。19 世纪时，英国博物院的考古学家哈塞尔登曾到过尼日利亚的离海岸很远的内地伊巴丹城。有一天，那里的木鼓声昼夜不停地响着。当时他听到当地人议论一件事：“白人的一条大船沉没了，白人死了很多。”过了三天，他收到因交通中断而迟到的电报，说：“卢西丹尼亚号船沉没了”，证实了用木鼓声所传递的消息是很准确的。令人惊异的是，当时用木鼓传递消息所经过的地区，有不同的方言，甚至有几个地区正在打仗。

用敲击的办法发声作乐器用的其它物品也不少。除中空的石“磬”外，还有陶制的瓦盒叫“罄”，铜制的一端开口的筒状物品叫“钟”。在我国东周以及春秋战国时代，这些打击乐器就很普遍了。

近年在河南信阳出土了稀世之宝“𠩺簠”蟠螭文编钟，其铸造时间在公元前 525 年。它是用 13 个扁圆形状如同瓦的钟

由大到小排列而成，其音阶完全符合自然规律。音色清纯，没有延长音的哼声，互不干扰，可以演奏出优美的乐曲来。



编 钟

还有出土的公元前 443 年的湖北隋县曾侯公墓的编钟，共 64 件，总重量达 2500 公斤。其中最小的一个钮钟高 0.2 米，重 2.4 公斤，在演奏中能起到定调作用。每件甬钟都有两个乐音，只要准确地敲击钟上镌刻的标音位置，就能发出一定频率的声音，音色优美，音域宽广。把这一套编钟全部排列好演奏，场面十分壮观，俨然象现代的交响乐队。演奏的音域可以跨五个八度，古今乐曲都能演奏，效果甚好。

以上这些编钟，是在一定的声学理论指导下由杰出的能工巧匠手工制作而成。据文献记载，春秋战国年代，古人就知道钟的厚薄对振动发声的音调的影响，就是古书所说的“薄厚之所震动，清浊之所由出”。这在古代声学史上确是一项重要的成就。

很早以前，人类就知道利用竹管的振动作声源。相传在黄帝时，黄帝命令臣子伶伦制定乐律。伶伦来到昆仑山，在山北面的山涧溪谷砍下竹子，制成竹管。他一吹竹管，管里的空气振动就发出了声音。这声音召来了一对凤凰。凤凰的鸣叫声有高有低，伶伦依照凤凰鸣声的高低，制成了长短不同的 12 根竹管，吹起来十分美妙。于是就依这 12 根竹管的发音制定成十二律，这就是古书记载的“黄帝令伶伦取竹作

律，增损长短成十二律”的传说。

在4000多年前的虞舜时代，人们已经会把长短不同的竹管组合成“排箫”之类的乐器了。到了殷代，出现了笙和埙。吹奏这些乐器，竹管里的空气柱由于长短不同而发出不同频率的声音，振动情况与两端固定的弦的振动基本相同。空气柱越长，发出的声音就越低。反之空气柱越短，发出的声音的音调就越高。这样用人的手指操作，就可以吹奏出动听的乐曲来。我们的祖先很早就对笛子有深入的研究，早在公元3世纪的晋朝时期，已经总结出长笛音调低，短笛音调高的规律，认为“歌声浊者用长笛长律，歌声清者用短笛短律”。

古人还会把动物筋或皮革条晒干或把丝拧成弦，两端固定后绷紧，利用弦振动制成乐器。古书有“伏羲作琴”的记载。传说这位善于发明的帝王，第一次利用弦制成琴，成为人类的第一个弦乐器。可以想象，当时要找合适的弦多么困难，而要想把这些弦固定又谈何容易。正因为这样，在我国直到公元前3世纪的东周列国时代，琴、瑟、琵琶等各种弦乐器才流行开来。

在国外，第一把小提琴大约在三四千年前问世。据说它首先在印度诞生。当时的琴壳是用椰子壳制成，上面绷着两根弦，用琴弓一拉，便发出悦耳的声音。

至于弦振动的发声理论，在我国春秋战国时代就早有研究。史书记载，学者医清告诉齐宣王“瑟者，小弦大声，大弦小声。”意思是对于瑟这种弦乐器，用细一点的弦弹出的声音就音调高，用粗一点的弦弹出的声音就音调低。这和近代声学中，弦线的振动频率与弦线单位长度的质量的平方根成反比这一结论是一致的。

最早对弦振动比较细致地进行研究的要数古希腊的毕达哥拉斯(公元前 580~前 500 年)。这位距今 2500 多年的大数学家,在西方第一个发现勾股定理。他对声学也有卓越的贡献。

自古以来,不知有多少弹琴者都会用手指按住琴弦,调整弦的长度来改变音调,演奏出动听的曲子,但谁也不去问个为什么,不去总结有什么规律。

毕达哥拉斯却不是这样。他怀着对弦振动的浓厚兴趣,找来一把独弦琴,一边拨弦一边琢磨,为什么同一根琴弦,能弹奏出不同的曲调呢?他又找来两把独弦琴进行比较,发现只要两琴的弦材料完全相同,绷紧的张力也一样,弦长也相等,则发出的音调就一定相同。如果一把琴的琴弦是另一把琴弦长的 2 倍,它弹奏出的音调就比另一把的音调低八度。两琴同时弹奏,发出的声音听起来很和谐。毕达哥拉斯继续试验,找出了弦长与音调高低的数量比例关系,总结出下面的规律:同度音弦长比例为 1:1,八度音弦长比例为 1:2,七度音弦长比例为 8:15,六度音弦长比例为 3:5,五度音弦长比例为 2:3,四度音弦长比例为 3:4,三度音弦长比例为 4:5,二度音弦长比例为 8:9。这就是著名的“五度相生律”,人称毕律,它为古代声学和音乐学奠定了基础。

毕达哥拉斯以及被他吸引在周围的许多数学家和物理学家,曾形成一个学术团体,后人称为“毕达哥拉斯学派”。他们在数学、天文、音乐和声学等各方面都作出了重要的贡献。特别是对乐音声源的研究,这个学派初步揭开了“声音”的面纱,正式开创了物理声学系统理论研究的先河,为声学的发展起了重大的推动作用。

二、高明的魔术师

自从有了人类历史，就有了歌曲与音乐，也就产生了声学。声音是情感的纽带，是精神的食粮，是高明的魔术师。声音，时刻伴随着人类的生活；没有声音，就没有人类社会。自古以来，人们就用语言、歌声和器乐来表现自己的内心世界，诉说自己的悲欢离合。民歌和民乐，就是劳动人民为满足情感的需要而诉诸于声音的艺术产品。

据说在春秋时期已经流传的我国第一部诗歌总集《诗经》，就记载下了 2500 年前约 500 年间的诗歌创作精品。而其中的精华，正是叫做“国风”的民间歌谣。这些发自古代劳动人民内心的声音，或愤怒控诉统治阶级的剥削压迫，或冷嘲热讽贵族阶层的不劳而获，或抒发深沉的爱恋之情，或歌唱劳动的豪迈与高兴。其歌也，情寄以声，丰富多彩。

到战国末期的《乐记》中，人们对民歌已有了深刻的认识。其文曰：“凡音者，生人心者也。情动于中，故形于声，声成文谓之音。是故治世之音安，以乐其政和；乱世之音怨，以怨其政乖；亡国之音哀，以思其民困。”意思就是说，声音，产生于人们的心中。感情在心中激动起来，就要表露出来形成声音。声音按一定规律组合起来，就形成音乐。太平盛世音乐安详，表现其为政通人和而高兴；动乱年代的音乐怨愤，表现人民对时政黑暗的怨恨；被灭亡的国家的音乐悲哀，表现人民的困苦。由此可见，歌声就是人们思想感情的外形。

古人也很善于用琴声来表达自己的思想。《三国演义》中的军事家诸葛亮，虽然身陷重围，大兵压境，但仍然不慌不