



中小學生書架

ZHONG XIAO XUE SHENG SHU JIA

中學物理探究讀本

破譯聲波密碼

POYISHENGBOMIMA



YZLI0890143731

長 春 出 版 社

全國百佳圖書出版單位

中学物理探究读本



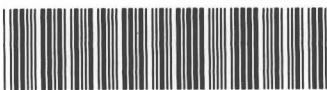
破译声波密码

Poyishengbomima



主 编 于今昌

编 者 尚涤非 杨寓涵 兰振生 冯 鑫
刘 莉 王子军 崔志远 张 贺
宋 尧 李玉芹 韩淑英 宋小光



YZLI0890143731

长 春 出 版 社

全国百佳图书出版单位

图书在版编目(CIP)数据

破译声波密码 / 于今昌 主编. — 长春: 长春出版社, 2012.1

(中学物理探究读本)

ISBN 978 — 7 — 5445 — 1949 — 6

I. ①破... II. ①于... III. ①中学物理课—课外读物 IV. ①G634.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 220632 号

破译声波密码

责任编辑: 杜 菲 姚 池

封面设计: 大 熊

出版发行: 长春出版社

总编室电话: 0431 — 88563443

发行部电话: 0431 — 88561180

邮购零售电话: 0431 — 88561177

地 址: 吉林省长春市建设街 1377 号

邮 编: 130061

网 址: www.cccbs.net

制 版: 长春大图视听文化艺术传播有限责任公司

印 刷: 吉林省吉育印业有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 787 毫米×1000 毫米 1/16

字 数: 220 千字

印 张: 12.75

版 次: 2012 年 1 月第 1 版

印 次: 2012 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 23.80 元

版权所有 盗版必究

如有印装质量问题, 请与印厂联系调换。

印厂电话: 0431 — 84652148

现代物理学是现代科学革命和现代技术革命的先导。它推动了现代化学、天文学、地学和生物学及新能源、新材料、信息、生物、空间、海洋等技术的进步，对社会经济和信息时代的到来、人们的生活方式和国家的综合实力乃至世界格局都产生了巨大影响，其思想和方法也大大改变了人们的思想观念和思维方式。为了满足青少年对学习科学知识、掌握高新技术的强烈愿望，按照教育部提出的素质教育的基本要求，我们组织专家学者精心编撰了一套适合中小学生阅读、适合物理教师作为教学参考的丛书——《中学物理探究读本》。丛书共5册，分别是《挑战万有引力》、《遨游电子王国》、《破译声波密码》、《驾驭原子世界》和《探索天空奥秘》。

其中《挑战万有引力》，讲述经典力学、热力学和流体力学中许多耐人寻味的有趣现象和奇闻逸事，详解第一、第二、第三宇宙速度，以及宇航员驾驭宇宙飞船克服地球引力飞出了地球；《遨游电子王国》简述电子学、电磁学和光学的基本知识，介绍了它们在各自领域的独特作用；《破译声波密码》不仅讲述了鲜为人知的趣味横生的声波故事，而且详解了人类听不见、看不见的超声波、次声波，以及它们对生产生活所起的巨大作用；《驾驭原子世界》客观评价了桀骜不驯的原子辐射给人类带来的危害以及成功地驾驭原子让它造福于人类，重点介绍了核武器的相关知识；《探索太空奥秘》揭示了宇宙间星云、恒星、行星、小行星、彗星和月球的神秘身世，介绍了宇宙飞船、航天飞机、太空实验室、轨道站和国际空间站，以及我国航天事业在国际上的显要地位。



本丛书汇集了物理学最前沿的知识，通过五百多则妙趣横生的小故事和四百多幅生动有趣的插图，深入浅出点拨了力学、电学、光学、声学、原子物理学、天体物理学、环境物理学等学科门类的重点与精髓。既为青少年读者细细梳理了现代物理学的发展脉络，重点诠释了从经典物理学到现代物理学的完美嬗变，同时也展现了物理学未来发展的光明前景，是青少年学习和了解最新科技知识的良师益友。书中提出的一些悬而未决的疑难问题必将激发出青少年探索物理奥妙的激情与浓厚兴趣，从而树立攀登科学高峰的雄心壮志。



无处不在的声音

- 2 声音共鸣的故事
- 4 寒山寺的钟声
- 6 永乐大钟
- 8 回音壁·三音石·圜丘
- 10 来历不明的声音
- 12 莺莺塔中传出的神秘声音
- 14 人体器官也能发出声音
- 16 火车的汽笛声远近不一样
- 18 深海“声道”和深海“浮云”
- 20 飞在声音前面
- 22 动物王国里的音乐家
- 24 绝妙的蟋蟀声通信
- 25 蜘蛛的音响探测器
- 27 鸟儿歌唱的秘密
- 29 从鹦鹉学舌说到动物语言
- 31 会“唱歌”的害人虫
- 33 雄象海豹鼻子发音的奥秘
- 35 海上神秘的歌声
- 37 小虾引爆水雷阵
- 39 有生命的声响
- 41 蝙蝠的声响
- 43 会唱歌的沙子
- 45 喊泉之谜
- 47 从狼嚎到贝多芬听琴声
- 49 我国最早的乐器

- 51 世界上最早的古代铜鼓和编钟
- 53 从“余音绕梁”到“响彻天宇”
- 55 最初的留声机
- 57 储存声音的工具——唱片
- 59 光学录音机和磁性录音机
- 61 激光唱机
- 63 数码唱片
- 65 神秘的“黑盒子”
- 67 无簧无弦生妙音
- 69 从雪崩说到爱纪毕特桥突然坍塌
- 71 古老的声学旧貌换新颜
- 73 声音的脾性
- 75 耳朵听声音
- 77 鉴别声纹

声音的利用

- 80 “认奶歌”与“鹿笛”
- 82 彩色音乐与多彩的音乐建筑
- 84 音乐与体育运动
- 86 音乐能对人及其他生物产生奇妙的影响
- 88 最早的听诊与叩诊
- 90 音乐与健康
- 92 音乐是启迪创造性思维的钥匙
- 94 音乐治疗与艺术医学
- 96 催眠音乐枕



- 98 能调节人情绪的唱片
- 100 从婴儿爱听妈妈的心音说起
- 102 声音与发育
- 104 用牙齿收听广播
- 106 犹如身临其境的立体声广播
- 108 耳塞机·耳机与听力损伤
- 110 让“哑巴”讲话
- 112 人工耳蜗
- 114 佩戴助听器
- 116 预防“卡拉 OK”病
- 118 从“对牛弹琴”说起
- 120 鱼声与渔业生产
- 122 水下侦察兵
- 124 敲击探伤
- 126 声波唤雨
- 128 声呐技术的贡献
- 130 崭露头角的“声控”技术和声发射技术
- 132 音乐搭桥天外觅知音

听不见的声音

- 135 长跑健将“次声波”
- 137 水母的“顺风耳”
- 139 多功能的次声波
- 141 用超声波诱捕老鼠
- 143 超声驱蚊
- 145 神通广大的超声波

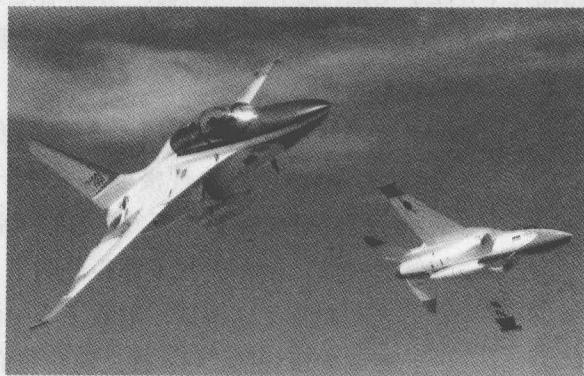
- 147 超声波与胆结石
- 149 医生的得力助手——B 超
- 151 B 超的负效应
- 153 超声波促农作物增产
- 155 超声波清洗

战胜噪音

- 158 不明真相的爆炸
- 160 海洋噪音
- 162 音乐也有污染
- 164 噪声与交通
- 166 驾驶员的听觉
- 168 信息科学的天敌——噪声
- 170 从声炸弹说开来
- 172 从杀人说到 MP3
- 174 家电噪音的污染
- 176 谨防儿童电视噪音病
- 178 噪音对儿童发育和大脑的影响
- 180 噪音与睡眠
- 182 噪音与高血压
- 184 呼啸着的建筑物
- 186 地球的嗡鸣声
- 188 振动·噪声与营养
- 190 汽车噪音何时消
- 192 能够吸噪音的路面
- 194 树木吸尘杀菌降噪音
- 196 噪音的妙用



无处不在的声音



声音共鸣的故事

唐朝开元年间，洛阳有一座寺院出了一件怪事：寺里有一个磬，在没有人敲打的情况下，常常自己“嗡嗡嗡”地响起来，把寺院里的和尚都吓坏了。

那个磬样子像个瓦钵，放在老和尚的房间里。老和尚每天早晚烧香念经，都要用椿锤敲磬，磬就发出“当！当……”的清脆的响声。可是不知怎么搞的，有时候，老和尚并没有敲它，它却无缘无故自己响了起来。寺里的和尚以为出了什么妖魔，请了许多会法术的人来降妖伏魔，都没有结果，那个老和尚疑神疑鬼，吓得生了病。

老和尚有个朋友叫曹绍夔，听说老和尚病得很厉害，就到寺院里来探望他。老和尚把磬自己发出响声的怪事一五一十地告诉了他。曹绍夔很懂音乐，会修理各种乐器。他一面听，一面在心里捉摸。他想：这个磬自己发出响声，绝不是什么妖魔作怪，总会有什么原因。正巧吃饭的时候到了，小和尚到钟楼里撞起大钟，老和尚房里的磬又响起来了。曹绍夔心里完全明白了，他笑着对老和尚说：“你明天好好请我吃了一顿饭，我来给你除怪。”

老和尚不相信曹绍夔真能除怪，但是看他说得那么肯定，觉得也许有一线希望，就真的张罗了一桌很丰盛的饭菜，把曹绍夔请了来。曹绍夔吃过饭，从怀里取出一把锉，在磬上这儿锉几下，那儿锉几下，锉了几处，他对老和尚说：“你放心吧，磬再也不会自己响了。”

打这以后，磬真就不再自己响了。老和尚问曹绍夔：“为什么那个磬被你锉了几下，以后就不再自己响了呢？”

《 共鸣 》

共鸣，也叫“共振”。当振动系统做受迫振动，而外力的频率与其固有频率接近或相等时，振幅急剧增大的现象。发生共振时的频率称为“共振频率”。在声学中，由于声波的作用而引起的共振现象，叫“共鸣”。

曹绍夔回答说：“这个磬的律跟你们钟楼那口大钟的律正好相同。因此，只要钟楼里的大钟一响，这个磬就跟着响起来。我用锉把磬锉了几下，它们的律就不相同了。所以撞那口大钟的时候，这个磬就不再跟着响了。”

老和尚听了这番话，消除了心中的疑惑，病也就好了。

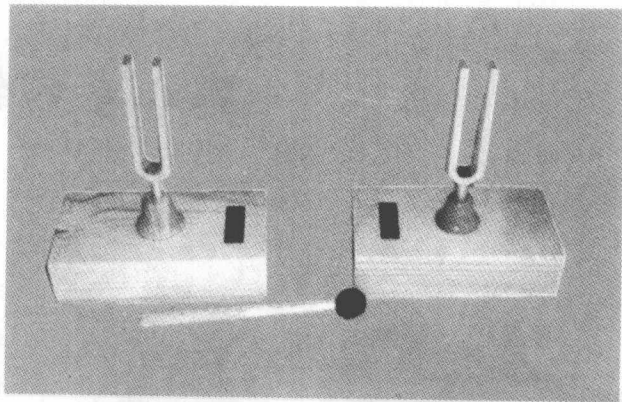
曹绍夔所说的“律”就是现在我们所说的乐器的“频率”。什么是频率呢？就是乐器在发声的时候，每秒钟振动的次数。老和尚房里的磬和饭堂里的大钟，频率恰好相同。小和尚一敲大钟，大钟振动起来，发出一定频率的声波。声波通过空气，

传到老和尚房里的磬上，磬的频率因为和声波的频率相同，就跟着振动起来，发出了响声。这种现象，在物理学上叫做“共振”，或叫做“共鸣”。曹绍夔把磬锉了几下，就改变了磬的频率。磬的频率和大钟不相同了，就不会再跟大钟发生共鸣了。

磬，是中国古代击打乐器，用石或玉雕成，悬挂于架上，以槌击之而鸣。商代已有单一的特磬，周代常有十几个大小相次成组的编磬。

特磬用木槌击奏。殷墟出土的磬，有半圆形与曲折形两种，后多作曲折形。周代以来用于雅乐。编磬是由悬挂在木架（古称“虞”或“簨虞”）上的一系列的磬组成，用小木槌击奏。各时代形制大小不一，枚数不等。《初学记》卷十六引《三礼图》：“凡磬十六枚同一簨虞谓之编磬。”清乾隆时玉制的磬各枚大小一律，因厚薄相异而发音不同。

《辞海》上说：磬是“佛寺中敲击以集僧的鸣器，状如云板。姚合《寄无可上人》诗：‘多年松色别，后夜磬声秋。’又佛寺中钵形的铜乐器也叫磬。”



▲ 共振音叉

寒山寺的钟声



▲ 寒山寺

唐代诗人张继途经寒山寺，写有《枫桥夜泊》诗：“月落乌啼霜满天，江枫渔火对愁眠；姑苏城外寒山寺，夜半钟声到客船。”从此，诗韵钟声，脍炙人口，寒山寺因此名扬天下。寺院历经沧桑，张继诗中所咏古钟早已失传，明嘉靖年间所铸寺钟传说流入日本。光绪三十一年(1905)寒山寺重修时，日本人士募铸仿唐式青铜乳头钟送归，现悬于大殿右侧。

《枫桥夜泊》这首诗不仅在我国为人们所熟知，在日本也广为流传。许多日本人梦寐以求在除夕聆听寒山寺钟声。1980年12月从下旬开始，有500多名日本朋友陆续来到苏州，等待聆听除夕钟声。

日本民间相传，除夕之夜敲钟108下，就能除尽世间烦恼，迎来锦绣前程。除夕晚10点整，日本朋友一批批来到寒山寺，午夜11点40分，寒山寺性空法师走上钟楼，敲响了新年的钟声。

江南古城苏州的城西，有座千年古寺——寒山寺。始建于梁天监年间，初名“妙利普明塔院”。相传唐贞观年间高僧寒山、拾得曾在此住持，遂更名寒山寺。寒山寺屡建屡毁。清咸丰十年(1860)全寺再次毁于战火，现存建筑均为清末重建。有大殿、藏经楼、钟楼、枫江楼、碑廊等建筑。新中国成立后经两次全面修整，黄墙绿树，庄严幽深，引人入胜。



▲ 寒山寺大钟

当钟声响到 108 下的时候，正是元旦零点整。顿时，日本朋友欢呼雀跃，高兴极了。

《枫桥夜泊》这首诗，除了描写深秋时节苏州城外的景色和旅客的心情，还道出了一个有趣的物理现象。

枫桥与寒山寺相隔几里远，到了深夜却能清晰地听到它的钟声。是因为夜深人静，所以钟声特别清晰吗？有点关系，却不完全是，真正的原因要从空气里寻找。

我们知道，大气的底部是对流层，对流层中空气的温度随着高度的升高而递减。对流层的厚度一般有十多千米。再往上就是平流层，在平流层的底部一直到距地面 50 千米左右的地方，形成了一个温度随高度递增的区域，称为逆温层。升到 50 千米以上，气温再次下降，在 80 千米处取得第二个极小值。然后又继续上升，这是第二个逆温层。

由于声音在空气中传播的速度随温度的上升而增大（更确切地说是与温度的平方根成正比），在对流层中，由于温度随高度的升高而递减，所以声音的传播路线向上曲折，使大量声波能量散失在空中，这样，在距离声源稍远的地面就听不到声音，这里就是静区（或称影区）。但往上传播的声音到达对流层的顶部和平流层的底部时，我们知道这里存在逆温层，于是声波的上部比下部传播得快，所以声波往下曲折。这样声波又被反射回到地面，于是在距离声源更远的地面上又能听到声音，这里就是响区。由于地面的强烈反射，上述的过程又能重复，这就是静区和响区相间的原因。“夜半钟声到客船”，正是这种情况。

在 1921 年，德国奥本地区的一个大型化工厂发生了一次惊人的大爆炸。爆炸声传得很远，许多人在 200 多千米以外的地方都听到了轰隆轰隆的爆炸声。奇怪的是，离爆炸中心 100 ~ 200 千米之间的地区却听不到爆炸声响。同年 5 月，在莫斯科近郊也发生过一次大爆炸，在半径 70 千米以内和 160 千米以外的地方都能听到爆炸声，而恰恰在 70 ~ 160 千米这个范围内，连一点声音也没有听到。这都是声波在大气中传递时发生拐弯而造成的。

对流层

对流层是大气圈底部对流运动显著的气层。受地表影响很大。厚度在赤道地区约 17 ~ 18 千米，中纬度约 12 千米，两极为 8 千米；夏季厚而冬季薄。层内气温随高度增高而显著降低，平均减温率达 6.5 摄氏度/千米。大气中水汽大部分集中于此层，因此，常产生云和降水等天气现象。对流层顶厚度从数百米到 2 千米，平均气温在低纬度地区约为 -83℃，在高纬度地区约为 -53℃，对垂直气流有很大阻挡作用。

永乐大钟

在北京海淀区魏公村东，北二环路北侧的觉生寺，因藏有明永乐年间铸造的大钟，俗称大钟寺。

1398年，明建文帝朱允炆以“消藩”为名兵围燕王朱棣府邸，朱棣乘机起事，经三年鏖战，攻入南京，建文帝不知所终，朱棣株连屠戮数万众，登基后迁都北京，是为明成祖，1403年改年号为永乐。他笃信佛教，因为靠武力称帝，慑于来世报应，认为搞一个铸满经咒的佛钟，可以消灭灾祸，所以永乐大钟铭文与众不同。钟口铸有《金刚经》，钟内铸有《华严经》、《金光明经》，钟外铸有《诸佛如来菩萨尊者名号集经》、《弥陀经》、《十二因缘咒》。钟身四外铸满佛教经咒17种，总计227000多字。字为楷书，字形恭楷端正，古朴遒劲，排列合理巧妙，据传是明代著名书法家沈度所书。明代又有“唯功大者钟大”之规，因此钟便铸得出奇得大。它通高6.75米，钟唇厚22厘米，最大外径3.3米，重达46.5吨，是中国古代最大的钟。如此庞大之钟，含有“歌功颂德，南面定鼎”之意。当时每年除旧布新之际，轰然108响，其声夜半响彻禁城市井。

永乐大钟是在北京鼓楼西铸钟厂铸造的。大钟制造精巧，采用我国优秀的传统工艺——无模铸造法，一铸而就。大钟铸造至今已达600多年，铜质致密而坚固，钟身上无一损伤，更无生锈的现象，显示了我国古代冶炼技术的高超水平。

永乐大钟悠扬悦耳，其声学特性，堪称世界大钟之最。据专家测试，大钟的声音振动频率与音乐上的标准频率相同或相似，声学特性极佳，钟声轻击时圆润深沉，重击时深厚洪亮，音波起伏，节奏明快优雅。在音乐上可以定为“A”调。经测定其振动频率最低为22赫兹，最高在860赫兹以上，主要频率在400赫兹以下。声音最远可传四五十千米，击钟时尾音长达2分钟以上。《长安客话》载：“昼夜撞击。声闻数十里，时远时近，有异它钟。”由于钟顶部、中腰、钟唇各部位的厚度不同，所以振动的频率也不同，发出的声音就带有音乐感。这说明我们的祖先早就把声学知识成功地用在铸钟技术上了。

据记载，大钟原名华严钟，因钟身上铸有《华严经》而得名，因铸于明朝永乐年间，所以人们也称它为“永乐大钟”。原藏德胜门内汉经厂，明万历五年（1577），搬入西部万寿寺。清朝雍正十一年（1733），“风水先生”根据金、木、水、火、土五行之说，判定北

京城西北方面是风水宝地，觉生寺更是吉祥之处，就上奏皇帝，将永乐大钟迁入了这座寺庙。钟的左右靠八根主柱倾斜支撑，上面三层横竖过渡梁，合理分散大钟的重量，从而增强了大木架的稳定性。

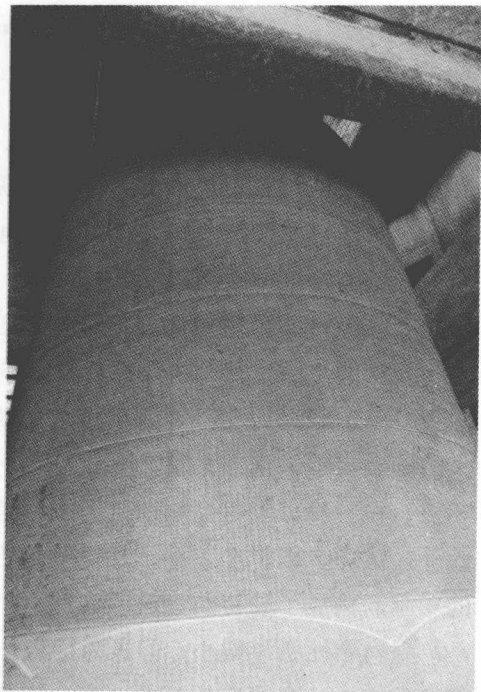
如此巨大的华严钟在古代是怎样搬运、悬挂起来的？据说，在严寒的冬季，用水泼成冰道，将钟移来，然后在钟楼基地上堆土为山，泼水结冰，把钟推到小山上，挂到用粗壮木料搭起的钟架上，再将土撤出，大钟就悬挂起来了。至今大钟已悬挂 200 多年了，经历了 1976 年的唐山大地震，大钟依然未动。几百年来，大钟吸引了成千上万的中外游客，受到了高度的赞扬。一位外国铸造专家说：“永乐大钟的铸造成功，是世界铸造史上的奇迹，就是科技高度发达的今天，也难以实现。”

事实正是这样，根据现代国外文献记载：世界各国古钟按重量排列，永乐大钟是第三位。第一大钟为俄国 1735 年 11 月 25 日在莫斯科铸成，重 216 吨，直径为 5.91 米，高 5.87 米，钟壁最厚处为 61 厘米。这口大钟，在敲第一下时，就震裂为哑钟，被称为“世界上一声没响过的大钟”。1737 年该钟毁于一场大火，一块重 12 吨的碎片从上面掉了下来。自 1836 年 4 月 4 日以来，这座“钟王”一直安放在克里姆林宫的一个平台上，那块碎片“躺”在一边，陪伴着它的母体。

目前仍在使用的最重的钟是缅甸曼德勒的明空大钟，位居世界第二。其重 101.4 吨，钟顶端的直径为 5.87 米，用柚木槌从外面撞钟。这座钟是波多帕亚国王（1782 ~ 1819）执政后期制造的。

我国的永乐大钟虽处于第三位，但铸造时间要早于这两口钟三四百年，而且 500 多年来，人们不断地敲击，至今完好无损。

1985 年 10 月，大钟寺辟为古钟博物馆，它集全国闻名的古钟于一寺。在这里保存和陈列着 160 口古钟。陈列的最古老的钟为西周铸造，最重的钟有 46.5 吨的永乐大钟，最小的钟只有 100 多克。钟的造型各异，丰富多彩，反映了中国钟的演变过程，也显示出中华民族古老文明。



▲ 永乐大钟

回音壁·三音石·圜丘

天坛位于北京市正南部，是我国现存的最大的一座坛庙。始建于公元 1420 年，原为明、清两代封建帝王“祭天祈谷”的地方。

天坛的建筑技术高超，布局精美，色彩协调，从设计到完工，共用了 14 年时间，占地约 4000 亩，比故宫的面积大两倍，相当于我国一个中等县城的规模。

天坛的主要建筑有祈年殿、皇穹宇、圜丘坛。祈年殿为一座三重檐圆殿，底部是三层白石台基，殿高为 38 米，直径为 30 米。全部采用和天空相映的深蓝色琉璃瓦，殿顶有巨大的鎏金宝顶；整个大殿，没有大梁、长檩、钢筋、水泥、铁钉等。全部用 28 根巨形木柱和枋、桷、椽、檩等互相衔接而成，是世界建筑史上罕见的。因此，祈年殿又称无梁殿。此外，这座大殿把年、季、月、节气巧妙地地和支撑大殿的圆木柱数量相吻合，并配以精美的彩画，构成了独特的建筑风格。

皇穹宇比祈年殿小，但极为精巧。顶盖像一把张开的蓝色大伞，它是存奉“皇天上帝”牌位的地方。皇穹宇的外面，有一座围墙，为圆形磨砖对缝砌成，这就是闻名中外的回音壁。皇穹宇石阶前的石板上，有著名的“三音石”。这些均为游人所津津乐道。

圜丘坛为一座三层白石圆坛，包有外方里圆的双重围墙，它是祭天的地方。坛面、台阶、栏杆所用的石块、栏板的数目和尺寸均按一、三、五、七、九和它们的倍数而定。其建筑特点既严谨务实，又科学、新颖。

天坛不仅具有宏伟庄严的风格，并且还有几个奇妙的声学景观，即前面提到的驰名中外的回音壁、三音石和圜丘。

回音壁是一个圆形的围墙，高约 6 米，半径为 32.5 米。靠北边的围墙有一个圆形的建筑物，叫做“皇穹宇”，是封建皇帝祭祀的地方，离围墙 2.5 米。此外还有两个方形建筑物。整个围墙都很光滑，是一个很好的声音反射体。



▲ 天坛

如果有人在围墙 A 处说话，站在离 A 处 45 米 B 处的人可以听得非常清楚，就像说话的人站在身边一样；同样，在 B 处说话，A 处也听得非常清楚。

在一般情况下，低声耳语，隔开 6 米的距离便听不见了；而在回音壁的 A 处和 B 处相隔 45 米左右，却能听得很清楚，这就非常奇怪了。

回音壁为什么会有这样的功能呢？要知道听到的声音不是直接从 A 处传到 B 处的，而是从 A 处发出的声音，沿着围墙经过多点反射后到达 B 处。声音在围墙上被不断反射，它传播的路线形成圆的内接多边形。好像打弹子一样，让弹子沿着墙壁辗转碰撞，由于碰撞时能量的损失很少，最后弹子还保持着跟原来差不多的能量。声音在空气中传播时减弱得很快，但这样在回音壁的多次反射中，声音减弱较慢，到 B 处还是和原声差不多，可以听得很清楚，虽然它已经传播了 100 米以上的距离。

三音石是在围墙中心位置的一块石头。从皇穹宇的台阶走向围墙的大门，有一条白石铺的路，从台阶数起的第三块石头便是三音石。如果站在这块石头上鼓一下掌，就可以连续听到“啪、啪、啪”三响。倘若掌鼓得再响些，听到的不止是三响，而可能是五六响。在三音石上鼓掌时声音传播到围墙上的各部分，反射后都经过围墙的中心，所以在中心处听起来回声也特别响些。反射的回声，经过中心后，又继续沿着圆的半径传播，碰到了对面的围墙，又依然沿半径反射回来，这时我们听到的是第二次的回声。声音往返于围墙间，接着便听到第三次回声、第四次回声……

围墙的半径是 32.5 米，声音在半径上往返一次约需五分之一秒钟，如果鼓掌声响些，在 1 秒钟内可以连续听到“啪、啪、啪、啪、啪”五响。五响以后由于能量的损失，声音已微弱得听不见了。

圜丘是一个由青石筑成的圆形平台，底层占地很大，在东西南北方向上各有一石阶，最高层的平台离地面有 5 米高，半径是 11.4 米。除东西南北的出入口外，周围都有石栏杆。平台的面并不是真正的平面，中心略高，四周靠石栏杆处要低些。如果有人站在台的中央鼓掌，他自己听到的掌声就非常响亮，甚至有些震耳。在圜丘上两人互相交谈，都会觉得对方讲话的声音比平时要响得多。原来由台中心发出的声音，碰到了石栏杆，一部分声音反射到栏杆附近的台面上，再由台面反射到台中心。因为时间很短，回声和原声合在一起，耳朵不能分辨，就觉得声音比平时要响得多。另一部分声音沿着相反的路线由台中心传播到栏杆附近的台面，再反射到栏杆上，同时又由栏杆反射到台中心，这样使声音加强。

天坛显示了我们中华民族高超的建筑艺术水平，也反映了我国古代劳动人民丰富的声学知识。天坛不但在我国建筑史上占有极其重要的地位，而且在国际上也享有极高的声誉。

来历不明的声音

英国人瑞利首先阐明了伦敦圣保罗大教堂圆屋顶中神秘的回音长廊的本质，在这条长廊中，耳语失去其应有的保密性。例如，一位朋友在长廊周围的某处对着墙低语，沿着长廊，不管你站在哪里，你总是能够听到他的低语声。说也奇怪，他愈是面对着墙或者愈是接近墙，你就会愈清楚地听到他的低语声。

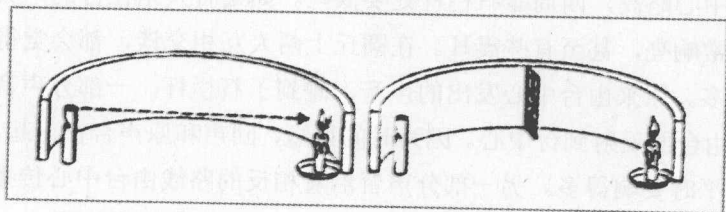
这个现象仅仅是直接反射和聚焦的问题吗？瑞利为了查明真相，做了一个很大的长廊模型。他把一个哨子放在模型长廊的一个位置上。当哨子发出的声波冲击蜡烛的火焰时，火焰就会摇曳如下图（左）所示，火焰成了哨子声的检测器。但在如下图（右）中所示，瑞利安置了这样一块狭屏之后，火焰就不再摇曳。所以屏必定以某种方式阻挡了声波的传送。

值得深思的是，为什么会有这样的结果呢？

原来，由于圆屋顶的壁不断地反射声波，因而声波在围绕墙壁周边的一个窄长的带形区域内被增强了。如果听的人就站在这个带形区域内，他就可以听到低语声。但是进一步远离墙壁时，增强的效果就会减弱，低语声就听不见了。低语声的效果比较好，是由于它与正常的讲话声相比含有更多的高频音，而音频越高，可以听到声音的带形区域就越宽。

西西里有一座叫吉尔真提的大教堂，教堂的内部呈椭圆体。我们知道，椭圆体有两个焦点，倘若在一个焦点上发出声音，在另一个焦点上听来就和原来的声音一样响。吉尔真提大教堂落成后，其中的一个焦点被无意地选择为放置忏悔椅的地方。一个人偶然发现在

另一个焦点能听到忏悔人对牧师所做的忏悔，并以此作为一种乐趣，他甚至还邀请他的朋友一起去偷听。有一天恰好是他妻子来做忏悔，他和他的朋友们偷听到了什么呢？这正好印证了一句古谚：“靠在墙边



▲ 左图：瑞利的回声长廊模型，哨子声引起火焰摇曳

右图：屏风靠近墙壁放置时，哨声不能使火焰摇曳