



21世纪科学·探索·实验文库·第四辑  
21SHIJI KEXUE TANSUO SHIYANWENKU DISIJI

总顾问◎赵忠贤  
学术指导◎胡炳元 刘炳升  
总主编◎杨广军 吴玉红

# 另一个世界 另一种存在

## 场与波的对话

提出一个问题往往比解决一个问题更重要，因为解决问题也许仅仅是一个教学上或实验上的技能而已。而提出新的问题、新的可能性，从新的角度看旧的问题，都需要有创造性的想象力，而且标志着科学的真正进步。

——爱因斯坦



04-49/41



21世纪科学·探索·实验文库·第  
21SHIJI KEXUE TANSUO SHIYANWENKU

2007

# 另一个世界 另一种存在

## 场与波的对话

总 顾 问◎赵忠贤  
学术指导◎胡炳元 刘炳升  
总 主 编◎杨广军 吴玉红

光明日报出版社

图书在版编目(CIP)数据

另一个世界另一种存在:场与波的对话/杨广军,吴玉红主编.

北京:光明日报出版社,2007.6

(21世纪科学·探索·实验文库(第四辑))

ISBN 978-7-80206-456-0

I.另… II.①杨…②吴… III.物理学—青少年读物 IV.04-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第065232号

## 另一个世界另一种存在——场与波的对话

◎ 总 主 编: 杨广军 吴玉红

本册主编: 刘苹

◎ 出 版 人: 朱庆

责任校对: 徐为正 祝惠敏 姜克华

◎ 责任编辑: 田苗

版式设计: 麒麟书香

◎ 封面设计: 红十月设计室

责任印制: 胡骑

◎ 出版发行: 光明日报出版社

◎ 地 址: 北京市崇文区珠市口东大街5号, 100062

◎ 电 话: 010-67078234(咨询), 67078235(邮购)

◎ 传 真: 010-67078227, 67078233, 67078255

◎ 网 址: <http://book.gmw.cn>

◎ E-mail: [gmcbs@gmw.cn](mailto:gmcbs@gmw.cn)

◎ 法律顾问: 北京盈科律师事务所郝惠珍律师

◎ 印 刷: 北京一鑫印务有限公司

◎ 装 订: 北京一鑫印务有限公司

本书如有破损、缺页、装订错误, 请与本社联系调换

◎ 开 本: 720×1000 1/16

印 张: 83

◎ 字 数: 890千字

◎ 版 次: 2007年6月第1版

印 次: 2007年6月第1次印刷

◎ 书 号: ISBN 978-7-80206-456-0

◎ 总定价: 125.00元(全六册)

版权所有 翻印必究

科学是属于大众的，  
公众对科学的了解  
会极大地促进科学  
的发展。

赵忠贤

2007年5月31日

中国科学技术协会副主席、中国科学院院士赵忠贤  
为《21世纪科学·探索·实验文库》题词

# 《21世纪科学·探索·实验文库》

## 编辑委员会

### 总顾问:

赵忠贤 中国科学技术协会副主席、中国科学院院士

### 学术指导:

胡炳元 华东师范大学物理系教授、博士生导师,全国高等物理教育研究会理事长,教育部物理课程标准研制组核心成员,上海教育考试院专家组成员

刘炳升 南京师范大学教授、博士生导师,中国教育学会物理教学专业委员会副理事长,教育部物理课程标准研制组核心成员

主任: 杨广军 吴玉红

副主任: 舒信隆 宦强 黄晓 武荷岚 尚振山

成员: (排序不分先后)

胡生青 章振华 徐微青 张笑秋 白秀丽 高兰香 韦正航  
朱焯炜 姚学敏 马书云 梁巧红 李亚龙 王锋青 蔡建秋  
马昌法 金婷婷 李志鹏 申秋芳 徐晓锦 陈书 张志祥  
周万程 黄华玲 卞祖武 陈昕 刘莘 岂晓鑫 王宏  
仇妍 程功 李超 李星 陈盛 王莉清

责任编辑: 田苗

总策划: 尚振山

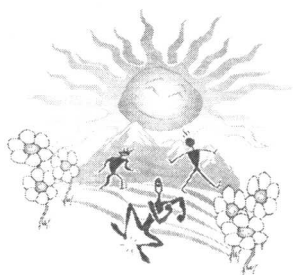
出版人: 朱庆

丛书总主编○杨广军 吴玉红

副总主编○舒信隆 宦 强 黄 晓 武荷岚 尚振山

本册主编○刘 莘

副 主 编○陈 盛 徐晓锦 王海生 周 哲



## 场与声波的对话 / 001

- 遥远的呼唤——声的轨迹 / 002
- 戏说声波——声的传播系列(一) / 007
- 声音会跳舞——声的传播系列(二) / 010
- 隔墙有耳——声音的衍射 / 012
- 音乐厅里的秘密——声的室内传播 / 016
- 去而复返——声音的反射 / 022
- 水里有只耳朵——声在水里的传播 / 025
- 雷达的密友——声纳 / 029
- 各显神通——生物声学 / 032
- 来自钟的陈述——单摆 / 036
- 听听“她”的诉说——回顾音乐声学 / 040
- 何为“丝不如竹”——乐器发声的原因 / 043
- 振动的“源头”——共振历史的回顾 / 047
- 不合时宜的共鸣——共振的危害 / 050
- 琴瑟和弦——共振的应用 / 055
- 无声变有声——空气柱“共鸣” / 061
- 从“鱼洗”沿擦出的水花——固体中的驻波 / 064
- 以小见大——多普勒的发现 / 068
- 宇宙的年龄——多普勒效应的应用 / 072
- 无影检测法——声波探测的运用 / 075
- 飞跃音障——声在大气的传播(一) / 080
- 是雷公电母在施威吗——声在大气的传播(二) / 083

## 目 录





- 大雪后为什么很寂静——声在大气的传播(三) / 086  
远钟沉响缘云湿——声在大气的传播(四) / 087  
恶魔地震波——声在固体中的传播(一) / 091  
真有十八层地狱吗——声在固体中的传播(二) / 096  
丽颜再现——声卡再现波形 / 099  
电与声的亲密接触——声电仪器 / 101  
多面手——声的现代应用 / 106  
从无到有——波的认识和发展 / 112

## 场与电磁波的对话 / 115

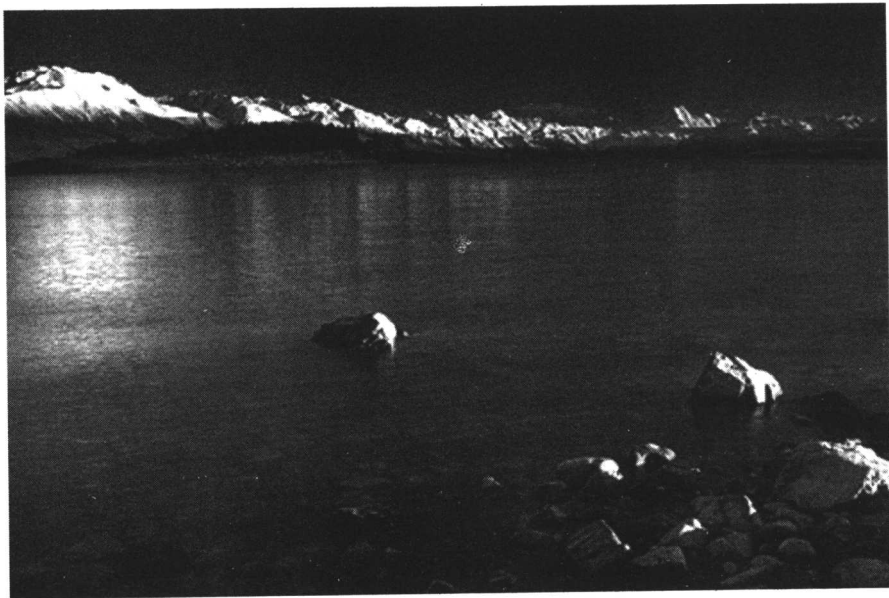
- 打开神秘之门——电现象的探索(一) / 116  
打开神秘之门——电现象的探索(二) / 118  
真实中不真实的描述——电场线的模拟 / 123  
神秘的引力——磁现象的探索 / 128  
脚下的巨型磁铁——地磁场 / 131  
我拿什么描绘你——磁场 / 136  
无处不在的应用——磁的运用 / 139  
麦克斯韦“金口玉言”——电磁波的理论探索 / 143  
“不可能错过你”——“捕捉”电磁波 / 147  
“五光十色”——电磁波谱 / 151  
穿过你的黑发我的手——神秘的 X 射线 / 155  
来去无影的邮递员——无线电波 / 160  
箱子里面的秘密——电视机 / 163  
现代“千里眼”——雷达 / 168  
隐蔽选手大显身手——微波的应用 / 175  
“火眼金睛”——遥感技术 / 181  
你能传什么——传感器 / 185  
搜索的脚步——电生磁与磁生电 / 194







# 场与声波的对话



声学是物理学的分支学科之一,主要是研究媒质中机械波的产生、传播、接收及其效应的学科。在人类诞生以前,自然界即有声源的存在,如雷声、风声、海浪拍击声以及山崩地裂声等。声波的传播需要媒介物质。媒质按照物质形态可以分为固体、液体和气体等;也可以按媒质的类型分为:弹性媒质和非弹性媒质。声以波的形式传播,它是机械波的一种。机械波在物理学上的定义是指:质点运动变化(包括位移、速度、加速度中某一种或几种的变化)的传播现象。声学作为自然科学中最古老的学科之一,属于经典物理学范畴,历史非常悠久。随着人类对声学研究的深入,声学焕发出更多的光彩,成为前沿学科领域研究之一,在新时代定能奏出更加嘹亮的科学篇章。





## 遥远的呼唤——声的轨迹

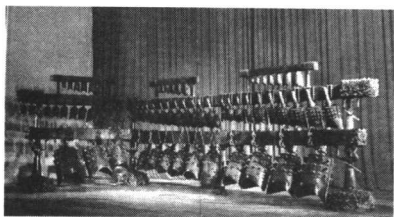
在19世纪以前,人们把声音理解为可听声的同义语。关于这点,我们可以从古今中外的历史文献资料中看出。中国先秦时的文献有云:“情发于声,声成文谓之音”,“音和乃成乐”。说明了声、音、乐三者虽有不同,但都指可以听到的现象。同时又说“凡响曰声”,声引起的感觉(声觉)是响,但也称为声,与现代对声的定义相同。西方也是如此,acoustics的词源是希腊文 akoustikos,意思是“听觉”。

世界上最早的声学研究工作是关于音乐。劳动人民创造了历史,他们在劳动过程中为了某种需要还创造了音乐。也许在当时还没有“音乐”这个名词,但可以说音乐伴随着人类文明前进的脚步。

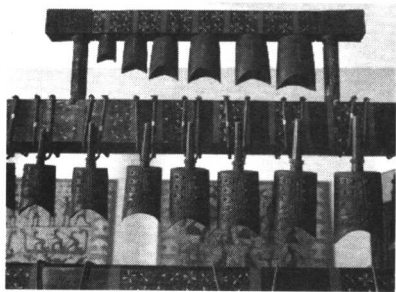
声学研究的是声的发生、传播、接收、性质以及声与其他物质的相互作用。古今中外,研究发声常常是对弦和管的发声来进行的。对声的传播的研究也多用钟、弦的传声远近以及室内乐音,对音质的要求也是考虑的音乐声;对共振、驻波的研究则使用琴弦、琴室等。因此可以说,声学的发展离不开音乐。

中国古代劳动人民在声学方面取得了杰出的成就,主要的成果是乐器制造。中国1957年河南信阳出土的“帛侣”蟠螭文编钟,据考证,是为纪念晋国于公元前525年与楚作战而铸的,其音阶完全符合自然律,音色清纯,甚至可以用来演奏现代音乐,可以说是中国古代在声学方面成就的证明。

关于声的传播也是人类最早研究的声学问题之一。资料记载显示:大约2000年前中国和西方就有人把声与水面波纹相类比。1635年有人做了一个实

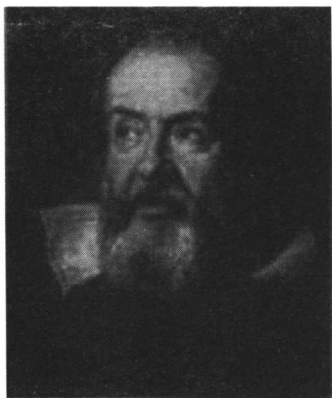


中国古代乐器

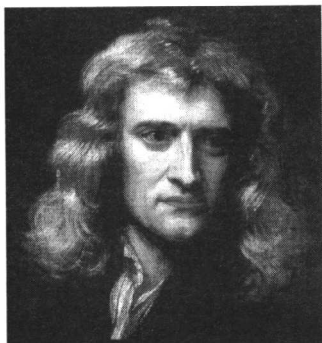


河南信阳出土的蟠螭文编钟

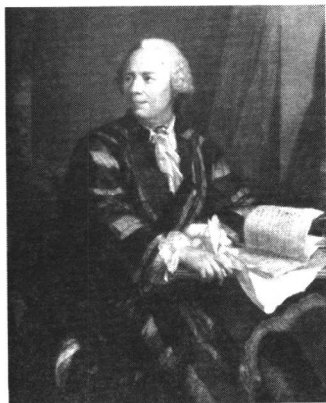




伽利略



牛顿



欧拉

验:在两处地方,一人鸣枪,另一人一看见火药的光就开始计时,假设闪光传播不需时间,以此来测声速。随着科学方法的不断改进,1738年巴黎科学院用炮声测量,测得结果为到 $0^{\circ}\text{C}$ 时,声速为 $332\text{m/s}$ ,与目前最准确的数值 $331.45\text{m/s}$ 相比,只差 $1.5\%$ ,这在当时“声学仪器”只有停表和人耳的情况下的确是了不起的成绩。

古代除了对声传播方式的认知外,对声本质的认识也达到令现代人吃惊的程度——居然与今天人类对声本质的认识完全相同。比较东西方的研究结果,都认为声音是由物体运动产生的,在空气中以某种方式传到耳,从而引起人的听觉。这种认识现在看起来很简单,但是从古代人们的知识水平来看,却很了不起。

对声学的系统研究是从17世纪初伽利略研究单摆周期和物体振动开始的。从那时起直到19世纪,几乎所有杰出的物理学家和数学家都对研究物体振动和声的产生原理做过贡献。

很长时期内人们对日常遇到的光和热还没有正确的认识,一直到牛顿生存的时代,对光还有粒子说和波动说的争执。因为当时牛顿在科学界的地位,他赞成粒子说,以至于当时的粒子说也占据优势地位。至于热,“热质”说的影响时间则更长。直到19世纪后期,F·恩格斯还对它进行过批判。





牛顿在 1687 年出版的《自然哲学的数学原理》中推理：振动物体推动邻近媒质，后者又推动它的邻近媒质，以此往复，求得的声速应等于大气压与密度之比的二次方根。L·欧拉在 1759 年根据这个公式提出更清楚的分析方法，求得的结果为声速 288m/s，与实验值相差很大。

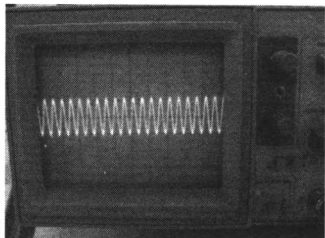
直到 1816 年，P·S·M·拉普拉斯指出只有在声波传播中空气温度不变时牛顿的推导才正确，而实际上在声波传播中空气密度变化很快，不可能是等温过程，而应该是绝热过程，因此，声速的二次方应是大气压乘以比热容比  $\gamma$ （定压比热容与定容比热容的比）与密度之比。据此算出声速的理论值与实验值就完全一致了。

到 19 世纪末，接收声波的仪器仍只有人耳。人耳能听到的最低声强大约是  $6\sim 10\text{W}/\text{m}^2$ （声压  $20\mu\text{Pa}$ ），在 1000Hz 时，相应的空气质点振动位移大约是 10pm（10~11m），只有空气分子直径的十分之一，可见人耳对声的接收确实惊人。到 19 世纪，爱迪生发明记录声音的留声机后人类有了记录声音的仪器。至今，英国的音响博物馆还有世界上第一次记录下来的“玛丽有只小羊羔”的珍贵资料。

到了近代，对声学的研究不仅更加深入，而且新的分支也日益丰富起来。G·S·欧姆于 1843 年提出人耳可把复杂的声音分解为谐波分量，并按分音大小判断音品的理论，开启了与听觉有关的生理声学和心理声学的研究。

建筑声学研究是后来发展起来的声学分支，它涉及到在房间、教室、礼堂、剧院等内部听语言、音乐的效果问题。1900 年 W·C·赛宾得到他的混响公式，成为建筑声学的重要公式之一。

瑞利于 1877 年出版了两卷《声学原理》，总结了经典声学在 19 世纪及以前



物理实验：示波器测量声速



欧姆





两三百年的大量声学研究成果,开启了现代声学的先河。

到 20 世纪,由于电子学的发展,电声换能器和电子仪器设备的广泛使用,使产生、接收和利用任何频率、任何波形和任何强度的声波成为可能,也因此开始了电声学的研究。



瑞利

以后,随着频率范围的扩展,又发展了对超声学和次声学的研究;对语言和通信广播的研究,推动了语言声学的发展。在第二次世界大战中,超声在水下的应用,促使水声学得到很大的发展。20 世纪 50 年代以来,由于工业、交通事业的巨大发展,引发了对噪声环境污染问题的关注,进而有了噪声学分支。对生物发声的研究促使了生物声学的发展。这样,逐渐形成了完整的现代声学体系。

## ■ 人物点击：牛顿

### 牛顿的故事

牛顿被誉为近代科学的开创者,在科学发展史上作出了巨大贡献。他的三大成就——光的分析、万有引力定律和微积分学,为现代科学的发展奠定了基础。

许多著名科学家的家境都是清贫的。他们在通往成功的道路上,都曾与困苦的境遇作过顽强的斗争。牛顿少年时代的境遇也是如此。

1642 年牛顿出生在一个英国普通农民的家里。在牛顿出生前不久,他的父亲就去世了。母亲在他两岁时改嫁。当牛顿 14 岁的时候,他的继父又不幸故去,母亲只好回到家乡。牛顿被迫休学回家,帮助母亲种田过日子。母亲想培养他独立谋生的能力,要他经营农产品的买卖。

一个勤奋好学的孩子多么不愿意离开心爱的学校啊! 牛顿伤心地哭闹了几次,母亲始终没有回心转意,最后只得违心地按母亲的意愿去学习经商。每天一早,他跟一个老仆人到十几里外的大镇子去做买卖。牛顿非常不喜欢经商,把一切事务都交托老仆人经办,自己却偷偷跑到一个地方去读





书。

时光渐渐流逝，牛顿越发对经商感到厌恶，心里喜欢的只是读书。后来，牛顿索性不去镇里经商，仅嘱老仆人独去。他怕家里人发觉，每天与老仆人一同出去，到半路停下，在一个篱笆下读书。每当下午老仆人归来时，再一同回家。

这样，日复一日，篱笆下的读书生活倒也其乐无穷。一天，他正在篱笆下兴致勃勃地读书，恰巧被过路的舅舅看见。舅舅一看这个情景，很是生气，大声责骂他不务正业，把牛顿的书抢了过来。舅舅一看他所读的是数学书，上面画着种种记号，颇受感动。舅舅一把抱住牛顿，激动地说：“孩子，就按你的志向发展吧，你的正道应该是读书。”

回到家里后，舅舅竭力劝说牛顿的母亲，让牛顿弃商就学。在舅舅的帮助下，牛顿如愿以偿地复学了。

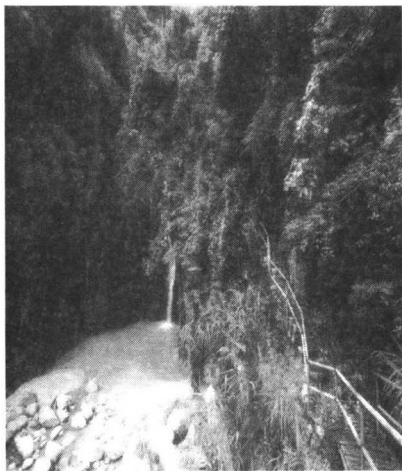


### 拓展思考

- 问题 1. 除了书中所说的科学家，你还知道哪些？
- 问题 2. 未读本书前，你是怎样理解声学的？
- 问题 3. 牛顿对声学的贡献有哪些？
- 问题 4. 欧姆对声学的贡献有哪些？



## 戏说声波——声的传播系列(一)



溪水

摸不到它,却能听见它,带着疑问让我们走进声音的世界吧。

声音是一种波,也叫声波。既然是波,自然具有波的物理性质,比如波的叠加、干涉和衍射的性质。声波在空气里是沿直线前进的,并且具有一定速度,大约每秒 140 米。利用这一点可以测量距离。



鸟鸣

在空旷的山谷中,美丽的自然景色让人不由得生出一股豪情壮志想高声大呼,于是山谷中便回荡起我们的回声;在广阔的水域上我们忍不住放声歌唱,于是水波里夹杂着我们的歌声,带着祝福传向远方。我们知道鹦鹉学舌,看来鸟儿不仅可以发出动听的声音,还可以模仿人类的语言。回声的悠远绵长,水声的清脆欢快,鸟声的婉转愉悦,千姿百态的世界里多姿多彩的声音是那样的让人着迷。那么声音是什么呢?我们看不见它,

摸不到它,却能听见它,带着疑问让我们走进声音的世界吧。

课间操或午间时候,我们走在宽阔的校园里,会听到广播里的播音,校园里安放的扬声器不止一个,因此我们经常能同时听到两个扬声器发出一先一后的声音。产生这种现象的原因是听者与两个扬声器之间的距离不同,而且相差较大,声音传播具有一定速度,所以到达听者耳里就有了差距。

我们知道声速与波长和频率之间具有以下关系: $V=\lambda f$ 。通常我们使用超声

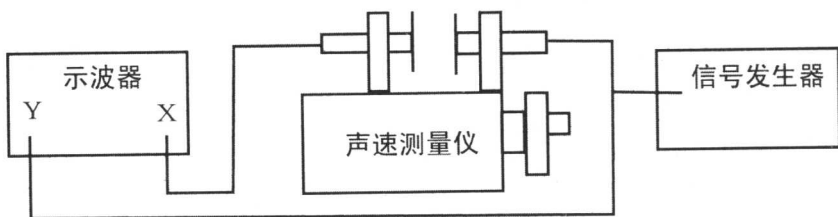




波,因为超声波波长短、定向传播性能好,进行声速测量时比较方便。超声波的发射和接收一般通过电磁振动与机械振动的相互转换来实现,最常见的是利用压电效应和磁致伸缩效应。超声波除了测距,还能用于液体流速的定位测量、材料弹性模量的测量、气体温度的瞬间变化测量等。



物理实验:

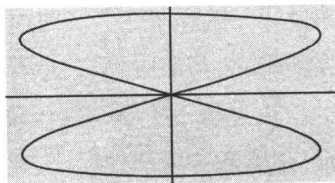


驻波法测波长实验装置示意图

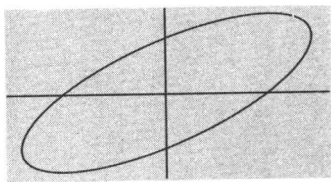
实验声波的频率由信号发生器确定,波长可用驻波法(共振干涉法)或者行波法(相位比较法或李萨如图形法)测出。利用压电陶瓷换能器完成声压和电压之间的转换,即在交变电压作用下,压电体产生机械振动,从而在空气中激发出声波,反过来接受声波的原理也是如此,从而实现对超声波在空气中的传播速度这一非电量的测量。

用驻波法测波长时,考虑到声波是一种纵波,可以证明:驻波在波节处的声压最大。当发生共振时,接收端面处为一波节,接收到的声压最大,转换成的电信号也最强。移动接收器到某个共振位置时,如果示波器上出现了最强的信号,继续移动接收器,再次出现最强的信号时,则两次共振位置之间的距离即为  $\lambda/2$ 。

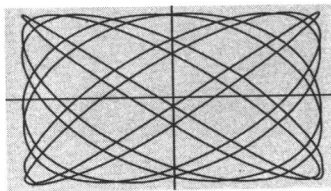
实际操作中,由于换能器振动的传递或放



成简单整数比关系的李萨如图形



频率相等的李萨如图形



频率比较复杂的李萨如图形





大电路的相移,示波器接受器端面处的声波与声源并不同相,总是有一定的相位差。为了判断相位差并测量波长,可以利用双线示波器直接比较发射器的信号和接收器的信号,进而沿声波传播方向移动接收器寻找同相点来测量波长;也可以利用李萨如图形寻找同相或反相时椭圆退化成直线的点。



### 拓展思考

- 问题 1. 声波具有怎样的物理特征?
- 问题 2. 声速与波长和频率之间有着怎样的关系?
- 问题 3. 超声波具有怎样的特性?
- 问题 4. 如何利用驻波法测波长?

