

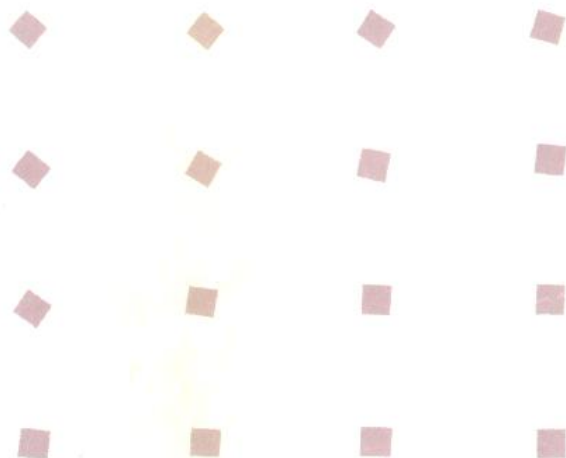


● 科学家谈物理

超声和它的 众多应用

ULTRASOUND AND ITS
NUMEROUS APPLICATIONS

应崇福 查济璇

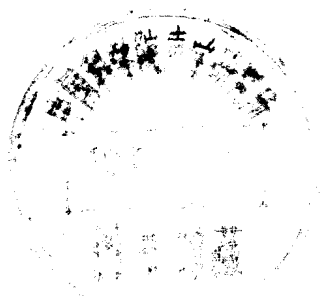


湖南教育出版社

超声和它的 众多应用

ULTRASOUND AND ITS
NUMEROUS APPLICATIONS

应崇福 查济璇



湖南教育出版社

1125571

《科学家谈物理》第三辑
超声和它的众多应用

应崇福 查济璇 著

责任编辑：谭清莲

湖南教育出版社出版发行（东风路附1号）
湖南省新华书店经销 湖南省新华印刷二厂印刷

850×1168毫米 32开 印张：4.625 字数：90,000

1994年12月第1版 1994年12月第1次印刷

ISBN7—5355—2134—7/G·2129
定价：6.70元

本书若有印刷、装订错误，可向承印厂调换

编者的话

科学技术的发展，改变着人们的意识，改变着国家的战略，更加速了世界各国综合国力的激烈竞争。

全球性科学技术的竞争，实质上是人才的竞争。我们的国家，学校每年在校人数逾两亿，他们都是 21 世纪的主人，这些人的文化科学素养，标志着国家未来的盛衰强弱，标志着我国在世界之林的竞争能力，尽多尽快地培养科技人才，是时代的当务之急。自 17 世纪以来，物理学一直为自然科学的领头学科，推动着各学科的发展，诱发出许多交叉分支学科和技术领域。物理学作为一门基础学科，又总是向人类智慧提出一些最深刻的挑战。因此，向青少年介绍一些现代物理前沿科学、物理学思想，将有利于青少年开阔眼界、诱发思维、启迪心智，有利于吸引和培养优秀的青少年从了解科学到热爱科学，早日选定自己的志向从而献身科学。有鉴于此，在 1991 年中国物理学会第五次全国会员代表大会期间，由中国物理学会和湖南教育出版社共同主持，正式成立了《科学家谈物理》编委会，讨论并制定了丛书宗旨、编写目的、编写原则和编写计划。

丛书内容包括物理学新知识博采、物理学新领域探奇、物理学重大发现觅踪、物理学佯谬的启示，著名物理学家

成才轨迹等。作者将以严谨的科学内容、活泼的物理思想、通俗流畅的文字表述，为广大青少年提供一套优秀的科普读物。

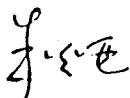
经过四年的努力，作者和编者，殚精竭虑，丛书终于与广大读者见面了。本丛书的编辑出版，得到“国家杰出贡献科学家”钱学森的关怀和指导；中国科协主席、中国工程院院长朱光亚和国家教委副主任柳斌在百忙中为丛书作序；中国老一辈著名科学家、中国科学院院士严济慈、谢希德、王淦昌、**钱三强**，中国科学院院长周光召，中国物理学会理事长、中国科学院院士冯端为丛书题词，寄托了他们对新一代科技人才成长的殷切希望；中国物理学会、中国科学院物理研究所给予了大力支持，中国物理学会副秘书长程义慧做了大量工作，在此一并表示衷心感谢。本书作者都是卓有成就的学者，对他们从繁忙的教学、科研和社会工作中挤出时间，花费大量精力，满腔热情来撰写这套科普读物的精神表示敬佩。

古今中外有不少的名人、专家、学者，就是因为青少年时代受过一些优秀科普读物的熏陶、感染，从而早日选定了自己的志向，终生为之奋斗，终于功成名就，为后世留下可歌业迹。倘若读者能从这套丛书得到启示，在若干年后出现这样的成果，我们将感到无限欣慰。

《科学家谈物理》编委会

1992年9月

序 一



中国物理学会主编、湖南教育出版社出版《科学家谈物理》丛书，是一件很有意义的工作。半个世纪、特别是近二、三十年来，物理学从亚核世界到整个宇宙广阔领域的探索研究，又取得了惊人的进展和成就。物理学在理论方法和实验技术上的新突破，使它同数学、生物学、化学、材料科学等邻近学科的结合与相互作用更密切了，促进了许多边缘、交叉学科以及高、新技术与产业的诞生及迅速发展，出现了步伐越来越快的新的技术革命。这一切不仅广泛而深刻地丰富了人们对自然界规律的认识，并预示下世纪将会出现新的重大突破，而且已使人们的社会生活在短短的几十年间发生了从前难以想象的变化。

当然也应当看到，这种变化还只限于一部分发达国家和地区，而且变化的程度是很不平衡的。全人类的社会进步并不是仅由科学技术的进步所能决定的。我们面对的仍是一个充满矛盾和激烈竞争的世界。即使是自然科学基础之一的物理学的重大发现，例如 20 世纪 30 年代关于铀核裂变现象的发现，揭示了人类有可能从自然界获取一种巨

• 朱光亚：中国科协主席，中国工程院院长、院士。

大新能源的美好前景，然而它却不幸地被首先用于军事和争霸，带来了危及人类生存安全的严重威胁。

由我国一批著名科学家撰写专文，向广大读者介绍物理学思想、物理学发展，特别是近代和现代物理学发展，让大家获得新知识，增加对物理学各分支学科的主要内容及其作用和影响的认识和理解，激励大家为追求美好未来而努力奋斗，无疑是非常有益的。

《科学家谈物理》丛书侧重以广大青少年读者为对象，这又有特殊意义。人类社会正在动荡和不安中准备迎接世纪之交。国际上的种种竞争，关键是科学技术的竞争，进一步说又在于培养科技人才上的竞争。“科技增强国力。青年开创未来”，下一世纪在我国科技领域承担开拓前进重任的，只能是当前正在学习的青少年一代。种种事实表明，包括近年来我国中学生参加国际数学、物理学、化学、信息学奥林匹克竞赛不断取得优异成绩在内，我国青少年聪明勤奋，是大有希望的一代。青少年处在长知识、增才干的时期，既要努力学习，又要善于学习，勤于思考，重视实践，勇于探索，并注意拓宽知识面。希望《科学家谈物理》丛书能对献身科学、立志攀登高峰、振兴中华、实现祖国四化的青少年朋友们的茁壮成长有所帮助。

1992年7月27日

序 二

柳 斌

自然科学是生产实践和科学实验经验的总结，是人类征服自然、改造社会的有力武器。物理学则是自然科学中一门重要的基础学科。

十七世纪前后物理学发生了一次巨大的飞跃。以牛顿为代表的一批科学家用观察和实验的方法研究自然现象，他们建立了以经典力学、热力学、统计物理学、经典电动力学为基础的一个完整、严密的经典物理学的理论体系。这个理论体系的建立，大大扩展了人类对客观世界物质结构及其运动规律的认识，在科学技术领域和哲学领域均产生了划时代的影响，推动了自然科学和工业革命的迅猛前进。

十九世纪末二十世纪初，物理学再一次发生巨大飞跃。以爱因斯坦为首的一批卓越的物理学家创立了相对论、量子力学，为现代物理学奠定了坚实的理论基础。现代物理学克服了经典物理学形而上学的局限。相对论揭示了物体在高速（接近光速）运动状态下的各种规律；量子力学打开了微观世界的大门，发现了微观物质运动的规律。现代物理学在更深的物质结构层次和更广阔的时空领域内扩展

• 柳斌：国家教委副主任

了人类对自然界的认识，揭开了伟大的现代自然科学革命的序幕。

在现代物理学的基础上，原子能、电子计算机、新型材料、空间技术、海洋开发等新技术相继产生，新技术革命蓬勃兴起。

现代科学技术的发展是现代经济发展的基础和前提条件。当前世界各国为了争夺二十一世纪在世界上的有利地位，无不把发展现代科学技术作为战略重点。我国人民长期以来遭受帝国主义的侵略和剥削，近百年来沦于贫穷落后的殖民地半殖民地地位。为了迅速缩小我国与发达国家在经济上的差距，为了把我国建设成为一个社会主义的现代化强国，中国人民在中国共产党的领导下，奋斗了七十多年。积正反两个方面的经验，我们深知，人民大众在取得政权以后，必须大力改革各种束缚生产发展的政策、法令、规章、条例以及各种不合理的管理制度，以更大地解放生产力；必须高度重视科学技术工作和教育工作，尊重知识、尊重人才，以更快地发展生产力。1983年，邓小平同志为北京景山学校题词：“面向现代化，面向世界，面向未来”，高瞻远瞩地指出了教育工作、实际上也包括科学技术工作的奋斗方向。老一辈科学家艰苦奋斗，为祖国的现代化事业立下了汗马功劳。现在的中学生是跨世纪的一代，是二十一世纪我国各项事业的生力军，肩负着人民的重托和历史的重任。当代中学生要有志气，继承老一辈科学家们的未竟事业，从小热爱包括物理学在内的各门自然科学，做到爱科学、学科学，用现代科学技术装备我国的工业、农业和国防，加速四个现代化的历史进程，使我们的祖国尽

快繁荣昌盛起来。

《科学家谈物理》丛书的出版，对当代中学生来说是件喜事，年轻的朋友们不仅可以从中学习许多宝贵的知识，进一步掌握打开科学殿堂的钥匙，而且可以从中学习科学家们那种为科学事业而执著探索的精神，那种自觉献身的精神，以及那种实事求是的宝贵品质。我相信，这套丛书的出版，必将受到读者的欢迎。

1992年7月30日

目 录

前言	1
第一章 蝙蝠的超声绝技	4
§ 1 蝙蝠夜间飞翔靠什么导航	4
§ 2 声、次声、超声	6
§ 3 科学地揭开蝙蝠盲目飞行之谜	12
§ 4 考一考蝙蝠的飞行本领	13
§ 5 蝙蝠怎样谋生	14
§ 6 蝙蝠发射怎样的超声	17
§ 7 从超声特性和检测原理看蝙蝠的选择	19
§ 8 白鯨豚和其他发（或听）超声的动物	22
第二章 人类发现、认识、应用超声的过程	25
§ 1 声音的音调可以多高	25
§ 2 一个航海悲剧和一次世界大战	29
§ 3 灼痛的手所引起的	33
§ 4 甚高频超声的新天地	34
§ 5 人们要求多花色地发射和“听”到超声	36
§ 6 压电换能器	38
§ 7 其他种类的超声换能器	42
第三章 B 超和超声“检测”族	44
§ 1 家喻户晓的 B 超	44

§ 2	超声检测到处渗透	48
§ 3	超声检测对固体材料的无损探查	53
§ 4	超声检测在液体和气体中也大显身手	59
§ 5	地质勘探中应用的超声检测	63
§ 6	江湖里也有超声检测	65
第四章	超声加湿器和超声“处理”族	68
§ 1	从超声加湿器说起	68
§ 2	超声处理本领的源泉在哪里	70
§ 3	超声乳化	74
§ 4	超声清洗	76
§ 5	超声焊接	80
§ 6	超声加工	84
§ 7	声化学	87
§ 8	超声治疗	92
第五章	声表面波电子学器件	97
§ 1	从地震到电视机的电子滤波器	97
§ 2	声表面波怎样登上了电子学的舞台	99
§ 3	换能器为声表面波塑像	101
§ 4	表面结构为声表面波导向	107
§ 5	非线性增添声表面波的才能	110
§ 6	种种色色的声表面波电子学器件	112
第六章	应用光环后面的辛勤研究	121
§ 1	超声的光环	121
§ 2	为超声应用提供坚强基础的辛勤研究	122
§ 3	散射和逆散射	123
§ 4	很小的气泡、极高的温度和压强、电击穿	129

前 言

——道是无声却有声

超声，这个名词在国内可能不太陌生，至少是不少人知道医院里有B超。那么超声是什么？超声有没有其他用途？这是本书希望能够多少讲清楚的。

本书从蝙蝠讲起，因为蝙蝠在飞行时不是靠光而是靠超声来导向和捕捉食物的。还有一些其他的动物也靠超声做类似的事，本书只简略提到了中国的珍宝白鱔豚。蝙蝠那么巧妙地利用超声，以致它在高速飞行中能够穿过和自己展翅时同样宽度的缝隙。这也反过来说明超声的功能。由此，在描述蝙蝠时，本书穿插介绍了什么是超声。超声只是频率高到人耳听不见的声音。

蝙蝠靠超声已飞行了几十万年，而人类知道有超声才不过一百七八十年。本书的第二章简要地追溯了这段历史。问题还在，一旦了解到超声的存在和它的少数特性，人们不久便发明和发现了超声的大量用途。这有力地引起了人们对超声的兴趣，促进了人们对超声的深入研究，形成超声学。研究中放到前提地位的课题，是创造发射超声和“听”（以及“看”）超声的方法，因为人们自身无法做到这些。由于超声是丰富多彩的，这项工作20世纪一直在进行，今后必然还将继续。

超声的生命力在于它的可用性。到目前，超声已用到人类活动的许许多多领域：机械、冶金、材料、轻工业、交通、能源、地质勘探、电子工业、通讯、医学、化学、生物等等。本书的第三章到第五章列举了超声的三大类应用。第一大类是用作检测，就是用来探查和测量材料和自然界的一些非声学量。蝙蝠寻找和追踪会飞的猎物就属于这一大类。超声在大海大洋中的检测应用是那么重要、那么规模庞大，从而已独立成为一个分支学科，叫水声学，不属于本书的讨论范围。但在超声学中，超声不仅在空气里和海里活动，还登上了“陆地”，就是应用到了固体。这在声学中可以算是一项开拓，因为经典声学主要讨论流体里的声波，而讨论固体宏观性质的原来主要是固体力学。第二大类应用是用作大功率处理，就是用来改变材料的某些非声学性质，像在玻璃里钻个六角孔。这些内容大部列在第四章。第三大类应用是声表面波电子器件，在第五章有所描述。这类应用只有约 30 年的历史，但是发展十分迅速，并正在扩大应用领域。声学为电子学提供处理电子信号的器件，这件事本身粗看起来便有些难以想象。超声其实还有第四大类应用，那便是用在物理微观世界的检测和处理，不过本书不详加介绍了。

超声多方面的和多花样的应用，常常掩盖了对超声进行基础研究所起的作用以及所经历的辛劳。实际上，如果没有这些基础研究，有许多应用是不可能想到的，而有些应用虽然是通过实验或者实践被发现的，却由于基本规律没有掌握，必然性只显露了偶然性，因而长时期发挥不了应有的作用。最近十年重新得到承认并掀起了高潮的声化

学也许是个例子；它过去浮沉了 50 年。（我们希望、更深入的有关基础研究能尽快跟上，让它不再经受新的起落。）为此，本书写了个较短的第六章，来说明超声基础研究的重要性 and 艰难性。

这里，还想对超声及其应用说几句不利的话。作为应用手段，超声有它一些固有的弱点。例如，它几乎可以进入任何材料，但能够进入的深度是有限的，尤其是高频率的超声。又例如，由于它的波长不大不小，许多看似单纯的材料或环境，对于它来说，常是有结构的、复杂的。至于超声应用，它也要经受可行性和竞争的考验。

本书共六章，第三、四章由查济璇执笔，其余由应崇福执笔，并审定全书。第一章中关于白鱀豚的材料是由中国科学院水生生物研究所王丁博士提供的，第六章图 6-1 的照片则是中国科学院声学研究所超声散射组提供的，在此一并致谢。

第一章

蝙蝠的超声绝技

§1 蝙蝠夜间飞翔靠什么导航

蝙蝠是夜间静悄悄飞行的哺乳动物。它们遍居全球的较温暖地区。根据化石考证，它们已存在至少 5000 万年，到现在已演变成 800 多个种类，分属两大亚目、17 个家系。小的重量不到 10 克；大的有 1 千克多重，双翼张开时可达 1 米。不少种类成群地住在深邃阴暗的洞穴里，也有的种类住在岩石的裂缝中、森林内和人类住家的隐蔽地方。

这些昼伏夜出的动物是怎样在漆黑的夜空无声翱翔呢？它们又怎样寻找食物呢？

本来，夜间活动的动物很多，不只蝙蝠，人们最熟悉的是猫。不过，蝙蝠的飞行有些奇特；现在知道，如果在它自由出入的地下深穴里放上一卷敞开的照相底片，放几个小时甚至几天，底片冲洗后可以丝毫没有曝光的迹象。可是这是后话，历史上人们对蝙蝠的注意是从一个偶然事件开始的。

早在 1793 年，意大利一位教授，L. 斯帕兰赞尼 (Spalazani) 无意中看到一只捉来的猫头鹰飞得太靠近蜡

烛，不小心把蜡烛煽灭了，它马上变得跌跌撞撞，不再能有把握地飞行。出于好奇，斯帕兰赞尼引来蝙蝠，却发现同样没有烛光照明的情况下，蝙蝠仍然无阻碍地飞来飞去。这位教授以为，这是因为蝙蝠比猫头鹰更能利用弱光，便把蝙蝠的头用一块全不透光的布蒙起来，果然蝙蝠失去了顺利飞行的能力。过了几天，他感到证据不充分，便把布换成透光的，却奇怪地看到，虽然有少数蝙蝠不再受干扰，很多蝙蝠照样会碰撞。于是教授做了一个更有决定意义的试验，他用外科手术把蝙蝠的眼睛弄瞎了。蝙蝠倒飞得很畅快，能够躲开包括一根竿子的种种障碍物。

这是怎么一回事？教授想多做些试验，却因为是冬天捉不到更多的蝙蝠，于是他多方写信给他的朋友们，请他们帮助研究。这些信被日内瓦的一位外科医生知道了，这位医生在1794年把一个蝙蝠的耳朵用蜡塞起来，发现它飞行时屡犯错误，到处碰壁。这个试验结果第二天便有人用信件通知了斯帕兰赞尼。斯帕兰赞尼接着进行了大量的试验。由于缺乏更多的测量手段，直到1799年去世，这位教授只能得出这样的结论：蝙蝠是否可能用耳朵，而不是眼睛，为飞行导航？同时他提出一个猜想：蝙蝠听到的可能是自己翅膀的拍打被障碍物反射回来的声音。

斯帕兰赞尼的假设不久便被法国一位自然历史方面的权威否定了。这位权威说，蝙蝠的那些行为完全可由触觉器官来解释，而不必依靠所谓第六感觉的设想。此后100多年，斯帕兰赞尼的推论被束之高阁。

1912年，一艘豪华游轮从英国首航美洲。在大西洋上，正当船上的名人贵族消暇之际，轮船毫无警备地触上一座