

声学 与 物理 教育 及 科学 研究

魏 荣 爵

(南 京 大 学)

声学这门学科的核心问题是研究机械波和它的辐射，它和电磁波以及其它波动有不少共同之处，它在物理学的发展中曾起过很好的作用。远在麦克斯韦建立电磁场理论之前，声波就常被用来模拟光波和电磁波的性质，这当然是科学史上的事。光学上理想的单频相干光只是在激光出现以后才算获得，可是声学上的单频相干声却早就为声学家们所利用了。声只能在媒质中传播，因此它和传播媒质有多种多样的作用。根据声的频率(相应波长长达地震波，短至固体中的原子间距)和环境(如温度)的不同，作用也不一样。根据这一点，获得1957年诺贝尔物理学奖金的巴丁-库珀-施里弗(简称BCS)理论(即微观超导理论)在被发现之前，已有声学实验预言过了。

声学研究将更广泛地促进物理学的发展。例如，晶格振动高频声子方面的研究工作，将为进一步探索固体物理提供有力的工具；超流液氦(He^4 和 He^3)中各种声波模式、分子声学和离子声波方面的研究等都对物理学各有关分支起促进作用。

由于声学的外延性及技术性都很强，所以它常被人们误认为不属于物理学的正宗。其实，它不仅与整个物理学有着千丝万缕的联系，而且仍然是物理学中很有活力的一员。很多在声学方面很有造诣的人原来就是物理学家，他们并且在自己的工作历程中不断地给物理学提出新课题。例如，一个厅堂音质的好坏一般物理学家并不甚关心，可是给音质从几何解释到波动解释奠定基础的人，却是有着深厚的近代物理学基础的声学家(或者确切地说是声学-物理学家)，不过，目前遗留的问题也还不少。又例如，

在听觉机理方面取得重大成就并获得诺贝尔生理学和医学奖的倍开西(von Békésy)原来也是一位物理学家，在他获得此项荣誉后声称：“问题不是解决了，而是带来了更多的新的问题”，这意味着被称为“耳蜗力学”的这门学问要求物理学家对它继续进行研究，当然也必须要求和生理学家相互配合。

瑞利是一位杰出的物理学家，他尤其在声学方面有突出贡献。他没有能提出量子论，然而他对普朗克是有启发的。由于他晚年兴趣的转移，并适逢原子和电子等的相继发现，他曾从事过的非线性弹性力学和声光相互作用等一系列重要物理问题未能继续研究下去，这些在当时被认为是纯数学计算或是无足轻重的问题，目前已引起许多领域科学家的注意。海森堡曾提出，物理现象皆是非线性的，最近又有人说，八十年代是非线性世界的时代。然而岂知，最早的非线性物理现象是在声学领域中观察到的！因为当声功率达到 10^{-3} W/cm^2 时就会看到非线性波，这个数值仅是光波的非线性阈值功率的 10^{-11} 倍，而它的非线性效应却比光波大一万倍。

在地面上失重状态模拟的非线性声学方法是有重要意义的基础研究课题之一，此外还有很多有意义的研究课题，下面略举几例。

其一就是流体力学和非线性声学结合的问题。1834年英国科学家罗素(Scott Russel)在河流中发现一个高速前进的孤立的波，嗣后应用数学家以至许多领域中的物理学家把它发展成孤子概念。最近，南京大学吴君汝等人在美国在 $29 \times 2.54 \text{ cm}^2$ 的小水槽(水深约2 cm)中做了实验，当水槽以10 Hz左右的频率作振动

时,发现了非传播性孤子,并已有理论物理学家用非线性薛定谔方程作出了解释。最近我们又从实验方面继续做了些工作,感到理论仍有待完善。这一从自然界中偶然地观察到的现象,进入了抽象数学和理论物理领域,现在又直观地重现于实验室里,其启示和内涵甚为深邃。正如李政道先生所说:“孤子具有既存在于经典级又存在于量子级的束缚态”的特征。

其二就是声学系统次谐波(现在称分岔,这现象瑞利已观察到过)以及混沌的研究。这类问题虽然由来已久,但只是近年来才被科学家们重视并深入研究,成为涉及自然现象和生命现象的重要课题。

其三就是声、光、电(子)的结合,发展成扫描电子声显微镜,用它能观察到固体亚表面层,分辨率达到原子大小数量级。

有的科学家认为,如果瑞利当年继续从事声光方面的研究,说不定他早就推导出直到七十年代激光出现之后才发展起来的光全息照相技术的理论公式(英国科学家 Gaber 因此项发现荣获1971年诺贝尔奖金)。

以上所举事例说明,声学并不是一门无足轻重的物理学分支,虽然从事上述研究的工作者不一定是声学家,但这正是科学相互渗透的结果。可是,在我们物理学教科书中,对声学却很不重视甚至忽略。在若干大学普通物理学书中竟没有声学这一独立章节,或者只是包括在力学中以“振动与波”为名,内容不但没有介绍声学的新发展甚至某些很基本的概念也加以删节,至于和其它物理学分支的联系就更少提到了。

下面是1983年“中美物理学考试及申请”(简称CUSPEA)“经典物理”考试中一个声学试题:

在已知密度及速度分别为 ρ_1 , ρ_2 和 c_1 , c_2 的两种媒质中,用一个不可穿透的平面界面将两部分媒质分开。设媒质(1)中的声压振幅是 A , 频率是 f 的平面声波向媒质(2)垂直传播(如图1所示),求解:

(a) 这个界面应具备的边值条件;

(b) 应用这些边值条件,导出反射回媒质(1)的声波的声压振幅 A_r 及透射入媒质(2)的声压振幅 B 。

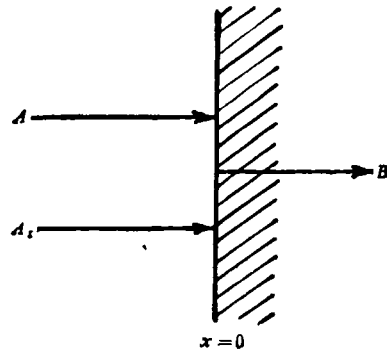


图 1

这道题属于最简单的声波传输问题,只要稍有声学知识,便可立即解出。类似问题在光学和电磁学中皆有,不过有些考生由于感到生疏,宁可选择其它更复杂的题目(那次考试是七题中任选六题)而放弃解这题,是舍易求难乎!另外也有一些考生的解题路子不对。

其实这个问题非常简单,解法如下:如图1所示,取界面坐标为零,在 $x=0$ 处,声压和声质点速度都必须连续,即

$$A + A_r = B. \quad (1)$$

设和 A , A_r 和 B 所对应的质点速度分别为 v_A , v_{A_r} 和 v_B ,则在 $x=0$ 处有

$$v_A + v_{A_r} = v_B. \quad (2)$$

在一种媒质中,密度和声速的乘积称为特性阻抗,其值在平面界限两侧分别为 $\rho_1 c_1$ 和 $\rho_2 c_2$ (又称法线比声阻抗),它是声压和声质点速度的比值,对平面波来说,

$$\rho/v = 1/\rho c. \quad (3)$$

如题,前进波取正值,反向波取负值。由于 $x=0$ 处比声阻抗的连续性,即

$A/v_A = \rho_1 c_1$, $B/v_B = \rho_2 c_2$, $A_r/v_{A_r} = -\rho_1 c_1$, 所以代入(2)式,即得

$$A/\rho_1 c_1 - A_r/\rho_1 c_1 = B/\rho_2 c_2. \quad (4)$$

(1)式和(3)式即为(a)的答案。由(1)式及(4),可求得

$$A_r = A \frac{\rho_2 c_2 - \rho_1 c_1}{\rho_2 c_2 + \rho_1 c_1},$$

$$B = A \frac{2\rho_2 c_2}{\rho_2 c_2 + \rho_1 c_1} \quad (5)$$

回答此题是纯代数运算,用不上微积分,可是美方公布的(b)的解法,是由声压 p 和质点的速度 ξ 的关系开始,即 $p = -\rho c^2(\partial\xi/\partial x)$,在声学里 $-\partial\xi/\partial x$ 习惯称为稠密,常用 s 来表示,这样就使得解题走了大弯路,这是否也说明解题者对声阻抗的概念也并不熟悉?

因此,声学(及有关的流体力学等)教学不仅在我国,而且在其他国家如欧美国家也未受到应有的重视。我曾与若干同行,包括欧美学者,以至三十年前的苏联科学院声学所所长布里霍夫斯基谈过,大家都有同感。1985年春我访美时,许多从事与声学有关的物理学家主动表示赞同作者的观点。实际上,有关声学(特别是物理声学)在物理教育和科学研究中的重要性,若干年来国际上也有不少人给与关注,可是这个倾向至今却一直没有得到应有的扶正。解上述试题的失败,也许会对从事物理学教育和科研的工作者们略有启示?!描述声学中的媒质特性阻抗一类基本概念应与光学中的折射率等放在同等的重要位置才对。

我们大学课程中,四大力学是物理学学生必修的,其深度大致相当于美国研究生院的水平。在整个四年教学中似乎求高深有余,但让学生独立思考,如何把物理学各门课程融会贯通,则有所欠缺。学生在低年级时,缺乏了解本学科的新进展,高年级时,又因专业分得太细,知识面偏窄,学习缺乏主动性。杨振宁先生认为中国大学教育制度里的专业制度是个很坏的制度¹⁾,这些都有待改革。

P. M. 莫尔斯(Morse)早在三十多年前就说过:“声学如果脱离了物理学其它部分,它不可能走得很远;其逆亦真,即去掉了声学,其它物理学分支也不可能走得很远”。

科学随时代滚滚前进,物理学面貌不断在改观,声学当然也不例外,立足于物理学教育和

科学研究观点,无论是基础训熟还是前沿研究,声学不应该成为被遗忘的分支,它仍然是物理学中的一个不可缺少的部分,应占有一定的地位,万万不能忽略。莫尔斯还引证五十年代在美国麻省理工学院召开的一次核物理讨论会上与会者的话:“有问题可查阅瑞利的《声学原理》”这句话是有道理的。

1985年春在我访美期间,我听到布朗大学前物理系主任林赛(R. B. Lindsay)教授逝世的噩耗,最近又听到麻省理工学院物理系莫尔斯(P. M. Morse)教授的不幸消息,这篇短文也算是对这两位知识渊博、才华卓绝的一代声学大师的怀念和追忆吧!

参 考 文 献

- [1] P. M. Morse, *J. Acoust. Soc. Am.*, **27** (1955), 213.
- [2] R. B. Lindsay, *ibid*, **37** (1965), 361.
- [3] R. T. Beyer, *Phys. Today*, No. 2 (1973); No. 11 (1981).
- [4] 魏荣爵, *物理学进展*, **2** (1982), 389.
- [5] L. L. Kinsler, A. R. Frey et al., *Fundamentals of Acoustics*, Wiley, New York, (1982).
- [6] 杜功焕、龚秀芬、朱哲民, *声学基础*, 上海科学技术出版社, (1981).
- [7] D. Sette (ed.), *New Directions in Physical Acoustics (Proc. Int. School Phys. Enrico Fermi LXII)*, North Holland, New York, (1976).
- [8] W. Lauterborn, *Report on FASE/DA6A*, (1982).
- [9] Junru Wu (吴君汝), I. Rudnick et al., *Phys. Rev. Lett.*, **52** (1984), 1421.
- [10] T. D. Lee (李政道), *Particle Physics and Introduction to Field Theory*, Harwood Acad. Publisher, (1981).
- [11] A. Larraza, S. Puttermon, *Phys. Lett.*, **103 A** (1984), 15; *J. Fluid Mech.*, **148** (1984), 443.
- [12] J. Miles, *J. Fluid Mech.*, **148** (1984), 450.
- [13] 魏荣爵, *物理教师*, No. 5 (1984); *Phys. Today*, No. 2 (1985).
- [14] Rongjue Wei (魏荣爵), Benren Wang (王本仁), Yi Mao (毛毅), Xiaoyu Zheng (郑晓瑜), *Technical Papers, Westpac II, Hong Kong*, (1985), 198.
- [15] S. Putterman, *Acoustics, Classical Hydrodynamics and Modern Physics* (1984年在南京大学讲学稿,已由王本仁和吴君汝译为中文,科学出版社将出版).

1) 杨振宁教授《1983年8月1日在美国石溪纽约州立大学对中国访问学者与留学生的讲话》。