

常声衰减现象曾使水声学家困惑了将近10年之久。美国曾花费大量的人力和物力进行海上(包括大的淡水湖)实地测量,科学家们提出了九种可能的衰减机理。由于海水低频声吸收的实验室测量存在极大的困难,直到1975年才由Fisher和Simmons首先用球共振器法证明是海水中存在的硼所引起的化学弛豫吸收。但因所用共振器尺寸的限制,无法由声共振器法获得弛豫频率数据。

我国学者发表了一系列论著,对海水低频声吸收作了系统、深入的研究^[20],其中包括:

(1)对测量海水低频声吸收的共振器法作出了重大的改进,解决了低千赫频段低吸收溶液和海水声吸收的高精度测量难题。最低测量频率可低至3kHz,最小可测量的吸收值达到0.02dB/km,得到国际上最好的室内测量结果。

(2)首次从理论上估计了压力对硼酸吸收的影响。在理论和实验上都证明硼酸的最大波长吸收随温度升高而显著增大,从而否定了以往认为温度和压力对硼酸最大波长吸收的影响可以忽略的结论。

(3)首次用共振器法获得了人工海水和天然海水的声吸收与pH值的关系,揭示了某些预报公式与实测值之间的偏离,并解释了偏离的原因。

(4)利用由混响瓶法测得的海水高频声吸收数据,并在低千赫频段内验证了MgSO₄弛豫吸收数据。

- [1] C. L. Pekeris, *Geol. Soc. Am. Mem.*, **27** (1948), 1.
- [2] D. E. Kornhauser and W. P., Raney, *J. Acoust. Soc. Am.*, **27**-3 (1955), 689.
- [3] 张仁和, *声学学报*, **2**-1(1965), 24.
- [4] R. Zhang and Z., Lu, *J. Sound & Vib.*, **127**-1 (1989), 121.
- [5] 侯温良等, *声学学报*, **13**-1(1988), 38.
- [6] 张仁和等, *海洋学报*, **3**-1(1981), 57.
- [7] R. Scholz, NATO AST Proceedings, Enschede, (1976), 210—300.
- [8] 张仁和等, *声学学报*, **6**-1(1981), 9.
- [9] L. M., Brekhovskikh, *Sov. Phys. Acoust.*, **11**-1 (1965), 126.
- [10] P. W. Jr., Smith, *J. Acoust. Soc. Am.*, **55**-5 (1974), 1197.
- [11] D. E., Weston, *J. Acoust. Soc. Am.*, **68**-2(1980), 269.
- [12] 张仁和, *海洋学报*, **3**-4(1981), 535.
- [13] J. S. Cohen, and B. F., Cole, *J. Acoust. Soc. Am.*, **61**-1(1977), 213.
- [14] 王勤,张仁和, *声学学报*, **15**-1(1990), 1.
- [15] 张仁和, *声学学报*, **5**-1(1980), 28.
- [16] 张仁和等, *声学学报*, **6**-3(1981), 198.
- [17] 张仁和等, *声学学报*, **19**-1(1990), 10.
- [18] H. P. Bucker, and H. E., Morris, *J. Acoust. Soc. Am.*, **44**-4(1968), 827.
- [19] 张仁和,金国亮, *声学学报*, **9**-1(1984), 12.
- [20] Qiu Xinfang et al., *Chin. J. Acoust.*, **7**-2(1988), 295.

尘埃等离子体物理

李 芳

(中国科学院电子学研究所,北京 100080)

尘埃等离子体物理是近年来发展起来的新的研究领域。本文介绍了尘埃等离子体物理的研究内容,特点及研究近况。

近年来,一个新的专业名词“尘埃等离子体”经常被人们提到。它不仅出现在等离子体物理领域,而且也常出现在空间物理、电波传播、半导体科学、材料科学等领域。顾名思义,尘埃等离子体不是“纯”的等离子体,而是被尘埃

“污染”了的等离子体。

一、尘埃粒子和尘埃等离子体

尘埃粒子相当普遍地存在于自然界。在天

体空间,星际云、彗星、行星的环、地球的磁层和电离层都有各种尺度和不同密度的尘埃粒子。以星际云为例,尘埃粒子可能是电介质,如冰、硅粒等,也可能是类金属的物质,如石墨、磁铁矿等物。这里尘埃物质与气态物质的密度比约为 10^{-3} ,尘埃粒子的尺度为 $0.05-0.2\mu\text{m}$ 。在太阳系中,人们已探测到各种形态和各种来源的尘埃粒子,如空间物质的碎片、陨石微粒、月球的抛射物、人类对空间的“污染”物等。太阳系的黄道光即是分布在太阳周围约 3—19 个地球半径处的、尺度为 $2-10\mu\text{m}$ 的尘埃粒子对太阳辐射的散射,或吸收后的热辐射。这里的尘埃可能是来源于彗星的物质碎片。近十年来,空间飞船对土星、火星的探测证实了它们美丽的光环是由尺度从 1m 到 10^{-8}m 的各种大小的尘埃粒子组成。尘埃粒子也普遍存在于实验室装置中,实际上人们对实验室中尘埃粒子的认识远早于对空间尘埃粒子的认识。早在 1924 年,朗缪即发表了第一篇讨论实验室尘埃粒子的论文。在电子学实验室中,尘埃粒子来源于电极、电介质的器壁,或来源于充入的气体等。尘埃等离子体则是一个由电子、离子和中性原子组成的等离子体以及“浸”在其中的尘埃粒子所形成的体系。

近几年对尘埃粒子,特别是对等离子体中的尘埃粒子的研究引起了人们的极大兴趣。如研究地球大气层中的带电的尘埃粒子对电磁波传播的影响;在微电子工业中,研究等离子体刻蚀及溅射镀膜等技术中的尘埃粒子的行为;研究等离子体中的尘埃粒子形成聚合物现象等。这些研究涉及到现代物理的一些基本内容,同时又联系着一些非常有应用价值的问题。如世界最大的非相干雷达 EASCAT 观察到极区夏季很强的电磁波回波,观测表明这种很强的回波与出现在 $80-90\text{km}$ 高度处的冰粒形成的尘埃层有关。理论研究尘埃等离子体中的电波传播表明,尘埃粒子对电磁波有很强的“反常”散射作用。又如 1993 年在法国召开的尘埃等离子体的讨论会上,报道了尘埃粒子在等离子体中出现的自组织现象,即形成尘埃等离子体晶

物理

体,或生成称为 Cluster 态的物质。这将可能开辟一条在实验室组成新物质的途径。

二、尘埃等离子体特性

在等离子体中的尘埃粒子通常带负电荷。但这决不能将尘埃等离子体简单地看作仅由原来的等离子体加上带负电荷的重粒子组成的、与原等离子体性质相似的体系。我们知道等离子体的重要特征是其“集体效应”。这种集体效应改变了等离子体中单个粒子的一些特性,诸如碰撞截面、散射截面等。集体效应还导致在等离子体中出现新的电磁波模式,出现各种不稳定性。而等离子体中的尘埃粒子则可能在很大程度上改变这种集体效应,因而也改变了原等离子体的一些性质。这些改变基于下述尘埃粒子的一些特性:

1. 尘埃粒子大的荷电特性

以一个球型尘埃粒子为例,设这个球形尘埃粒子的半径 a 远小于等离子体的德拜长度 λ_D ,则此尘埃小球具有的电势,将使其上的电子的温度与等离子体中的电子温度同量级,即 $e\phi \sim kT$ (k 为玻耳兹曼常数)。对应于这个电势,尘埃粒子上的电荷为 $eZ_d = a\phi$ 。 Z_d 通常有很大的数值,一般尘埃粒子带有 10^2-10^4 电子电荷。

等离子体对尘埃粒子具有屏蔽作用,即形成尘埃粒子的屏蔽云。实际上带负电荷的尘埃粒子排斥电子,吸引离子,在屏蔽云中缺少大约 Z_d 个电子(如果电子温度与离子温度相等,则屏蔽云中的电荷数为 $1/2$ 的尘埃电荷量)。在这种情况下,一个波长大于德拜长度的电磁波将受到屏蔽电子云的相干散射。其散射截面是一个电子汤姆孙散射截面的 $Z_d^2/4$ 倍,更远远大于一个尘埃粒子在没有等离子体情况下的散射截面(反比于尘埃粒子质量的平方)。

2. 尘埃粒子荷电量的可变性

先看单个尘埃粒子。当尘埃粒子间的平均距离 d 远大于等离子体的德拜长度时,可不考虑尘埃粒子间的相互作用,即孤立地研究单个

尘埃粒子。在等离子体中有多种过程可使尘埃粒子带电,如等离子体中电子、离子的热运动形成对尘埃粒子的充电电流等。一个带负电的尘埃粒子,它将排斥电子,吸引离子,引起电子电流减小,使离子电流增大。又如当碰撞尘埃粒子的初次电子具有足够大的能量时,可能引起尘埃粒子二次电子发射,而导致尘埃粒子电势升高。再如,在尘埃粒子处于强的紫外辐射的环境中(如太阳系中的一些情况),尘埃粒子可辐射光电子,相当于存在一个正的充电电流。其他如尘埃粒子表面的化学反应,激光或射频电磁场的作用等都可能影响尘埃粒子的荷电状况。一个孤立的尘埃粒子,其表面平衡电势取决于所有可能的尘埃粒子的充电电流的和等于零,即 $\sum I_i = 0$ 。若忽略其他因素,只考虑等离子体中电子、离子热运动的充电电流,在电子温度与离子温度相同的氢等离子体中,一个球形尘埃粒子的表面电势 $\phi_s = -2.51KT_e/e$,即尘埃粒子带负电。很明显,有多种因素可影响尘埃粒子的荷电状况,如等离子体中的电荷密度扰动、温度扰动,以及一些外界环境条件的改变等。当条件 $d \gg \lambda_D$ 不满足时,则需要考虑尘埃粒子间的相互作用,这时尘埃粒子的荷电状况将变得更为复杂。一般来说,尘埃粒子间的相互作用将导致尘埃粒子荷电量的减小。

尘埃粒子荷电的可变性使电磁波在其中传播的行为变得复杂,特别是对于与尘埃粒子的充电时间尺度可比的低频电磁扰动。

3. 尘埃粒子的运动特性

与等离子体中的其他荷电粒子相比,尘埃粒子具有大的质量及大的荷电量。其荷质比远小于电子和离子,因此其运动形态与这些带电粒子也很不相同。研究尘埃粒子的运动,除通常要考虑的电磁作用之外,还常常要考虑重力、热压力、离子风和中性粒子的拖曳力。

尘埃粒子的这些特性使尘埃等离子体的集体效应表现出一些“非常”特性。一是尘埃粒子产生的集体效应并非“短期”现象,也就是说尘埃粒子是一个非常有效的集体效应激发源。这是因为尘埃粒子产生的集体效应(如不稳定性

等)对尘埃粒子本身的反作用非常小,因此它的作用决不只限于临近它的一些集体过程。另一个特点是强的非线性效应。尘埃粒子具有势场 $e\phi \sim kT_e$,在尘埃粒子附近线性近似已经不适用(线性近似条件 $e\phi \ll kT_e$)。尘埃粒子好比一个非线性现象的产生源。

三、尘埃等离子体物理的研究近况

目前尘埃等离子体物理已成为一些学科中的重要研究内容。这首先表现在空间等离子体物理中。尘埃粒子在行星的形成中起着重要作用。在星际云,行星的环,彗星以及太阳风中存在着大量尘埃粒子,对其中的一些物理过程有决定性的影响。近10年来,宇宙飞船提供的有利的实验数据,推动了对太阳系中尘埃等离子体的研究,特别是对行星环的研究。挪威特罗姆瑟大学的 O. Havnes 教授在这领域有较突出的工作。最近几年尘埃等离子体物理的研究又在与现代技术联系较紧密的一些领域得到很快的发展,如前面提到过的对电磁波在尘埃等离子体中的传播特性的研究。目前这一研究还在继续发展中,除了利用大功率的非相干雷达外,还同时发射卫星,利用激光雷达等进行多方位的探测,理论研究工作在进一步深入。另一个非常值得注意的领域是迅速开展起来的实验室尘埃等离子体物理研究。在实验室模拟各种等离子体环境,研究尘埃粒子的各种特性,研究尘埃粒子与电磁波的相互作用等。其研究结果与微电子工业及材料科学有关。据文献报道,半导体材料生产中50%的损失来源于在等离子体蚀刻及喷镀工艺中的尘埃粒子污染。目前美国、德国、法国、日本等国都有实验室在进行这方面的研究工作。美国一些原有的等离子体实验室改建进行尘埃等离子体实验。现在已有专门供做尘埃等离子体实验的装置,还有各种标准尺寸的尘埃粒子出售,以供实验使用,可见对实验研究的重视。一个非常让人振奋的实验研究成果是在实验室观察到尘埃等离子体晶体和 Cluster 态物质的生成。带电的尘埃粒

子在等离子体中的相变(由“液相”变为“固相”)在1992年已有实验室研究及计算机模拟结果的论文发表。这些现象都联系到尘埃粒子间的强耦合作用。尘埃等离子体中 Cluster 态物质的生成向人类显示了在实验室合成新物质的前景,同时也激发了人们研究强耦合等离子体的热情。强耦合等离子体将可能成为现代物理研究中的热门话题。

- [1] C. K. Goertz, *Rev. Geophys.*, **27**(1989), 271.
- [2] O. Havnes et al., *J. Geophys. Res.*, **92** (1989), 2281.
- [3] J. P. Bocuf, *Phys. Rev. A*, **46** (1992), 7910.
- [4] V. T. Tsytovich and O. Havnes, *Comments Plasma Phys. Controlled Fusion*, **15** (1993), 281.
- [5] *IEEE Transaction on Plasma Sci.*, **22** (1994). (1994年4月将出一期尘埃等离子物理专刊)

非线性导波光学与波导全光开关器件

李淳飞 张 雷 徐建东

(哈尔滨工业大学物理系, 哈尔滨 150001)

综述了非线性导波光学的研究内容,着重介绍了基于三阶非线性的波导光开关器件的研究成果,其中包括频率调制型器件,振幅调制型器件及孤子非线性波导器件。此外,还讨论了非线性光波导材料的优化问题。

关键词 非线性光学,导波光学,全光开关

Abstract

Research of nonlinear guided-wave optics was reviewed. Emphasise is placed on the introduction of the results of optical waveguide switches based on third order nonlinearity, including frequency modulation, amplitude modulation and soliton nonlinear waveguide. the Material optimization of nonlinear optical waveguide was also discussed.

Key words nonlinear optics, guided-wave optics, all-optical switches

1961年美国 Franken 等人首次实验发现光学二次谐波现象^[1],标志着非线性光学的诞生。在诺贝尔奖金获得者 Bloembergen 进行了理论阐述^[2]之后,非线性光学作为现代光学的的一个分支迅速发展起来。目前世界各国已召开多次非线性光学专题会议,出版了专门的学术刊物。我国也于1991年和1993年分别在广州和南京举行了有国外专家参加的全国非线性光学会议。

非线性光学是一门研究激光与各种物质相互作用的学科,非线性光学技术是对激光的频率、相位和强度进行控制的有效方法。目前人

们关注的非线性光学课题如光开关、光限幅、光折变、相位共轭、光学混沌、光孤子等,与光计算、光通讯、光学的军事应用以及基础科学研究有密切的关系。

研究光波通过具有波长量级横向尺寸的波导(包括薄膜波导和光纤)的传播规律与各种效应的学科称为导波光学。在波导中由于横向尺寸的限制导致很高的光功率密度和很长的光与介质无色散相互作用长度,使得光波导中的非线性光学效应十分显著,有可能在低功率下实现对光波的有效控制。因此由非线性光学与导波光学相结合而形成的非线性导波光学有重要