理论物理所在复杂波动系统基本问题研究中取得进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/8190.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

对波动现象的研究贯穿了人类探索大自然奥秘的历程。除了一些简单理想的情形，波在传播过程中会经历复杂的微观散射过程，而这些微观过程可导致复杂波动体系呈现丰富多彩的宏观行为。例如，1958年安德森发现无序的多重微观散射可导致一个大尺度的奇特波动现象——安德森局域化，即量子几率波扩散被完全抑制，奠定了无序凝聚态物理的基础并因此获得了1977年诺贝尔物理奖。长期以来，人们着重研究的是宏观上空间均匀的无序系统。然而，绝大多数天然和人工合成无序材料在宏观上具非均匀性；波在这些材料中如何传播是甚为基本的问题。早在上世纪中叶，钱德拉塞卡等就以天体物理为背景对非均匀无序介质中的光扩散现象进行研究；但这些工作把光看成经典粒子，忽略了其波动性。近年来，非均匀无序材料在介观物理特别是介观光学中得到了大量应用；但这些工作由于把整个介质看作一个“黑箱”，给出的介质内部波传播的信息非常有限。

近期，中国科学院理论物理研究所研究员田蠡舜与合作者对一大类非均匀无序介质的波动物理进行了深入研究，从数学上证明并用实验验证了波在此类介质内部传播时遵守一个反直觉但非常普遍的规律，称之为“不变原理”。该原理指出，虽然波场对介质结构极端敏感，但波的统计行为却相反，只依赖于从观测点到介质表面的净散射和反射强度。换句话说，当观测点位置及上述两个强度给定，无论介质如何改变，在该点的任何可观测量的统计分布都不变；这就好比观察者对其前方或后方的环境变化完全“视而不见”。这个规律不仅给出了复杂波动系统物理的一个基本原理，也为调控复杂介质中波能量存储和流动的模式开辟了新的途径。

田蠡舜与合作者发展了其建立的开放无序介质中波传播的超对称理论，并结合黎曼对称超空间G/K的热核方法对波统计进行研究。例如，当非均匀性由嵌入介质内部深度x0的反射镜（附图）引起时，可把深度x处的任意物理量或其统计分布O(x;x0)用热核及相关量一般地表为：

$$O(x;x_0)=\int DQ(x)M_O[Q(x)]\times\begin{cases}W(Q_L,Q(x);L-x)\tilde{W}(Q(x),\Lambda;x,x_0), & x>x_0\\ \tilde{W}(Q_L,Q(x);L-x,x_0-x)\tilde{W}(Q(x),\Lambda;x), & x<x_0\end{cases}$$

利用此表达式和热核的性质，可证明当且仅当x不等于x0时，

$$\partial_{x_0}O(x;x_0)=0$$

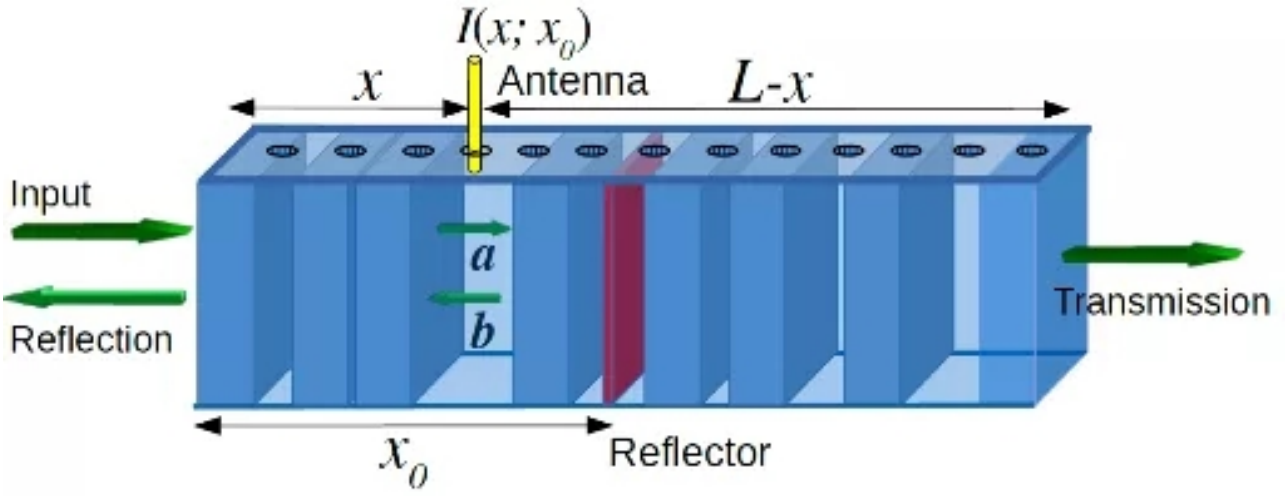
此即不变原理的一个特例。他们还结合随机矩阵理论解析推导了一些重要物理量或其统计分布的

表达式，阐明波能量在结构不同的非均匀介质内部扩散时展示普适标度行为。

此工作用微波实验对理论预言进行了检验（如图）。为了制备非均匀无序介质，用陶瓷片和特氟龙U-通道空气隔离器随机地填充波导管，然后把反射镜嵌入波导管中。一根连接到矢量网络分析器的天线被插入波导管以测量该点的微波波场。对于每一组固定的(x,x0)，对100个无序用品进行数据采集。实验测量表明，当x固定而x0在前方或后方移动时，波能量在x的统计分布不发生任何变化，从而验证了不变原理的基本预言。当x0固定而x扫过整个波导管时，可测得波能量的空间结构；测量结果证实了波能量扩散存在普适标度行为。研究成果发表于《物理评论快报》。

此工作得到国家自然科学基金委重点项目“小量子系统的动力学研究”、国家杰出青年科学基金、中科院理论物理前沿重点实验室和国家自然科学基金委理论物理专款“彭桓武理论物理创新研究中心”的支持。

论文链接



微波实验示意图

研究团队单位：理论物理研究所

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发