

## PT对称理论及其在非线性光学中的应用研究取得进展

【大中小】 【打印】 【关闭】

在量子力学中,通常我们所研究的物理量都必须是可观测的,这就要求描述该物理量的对应算符具有实数本征值。从数学上,令算符满足厄米性质通常作为一个众所周知的充分条件用以保证实数本征值,然而实际上非厄米算符也可能具有实数本征值,对应可观测的物理量。Bender等人于1998年提出一系列特殊的PT对称哈密顿量,详述了PT对称性与实数能谱(本征值)的关系。所谓的PT对称性是指在宇称变换和时间反演变换下的对称性。

2008年Muslimani基于解析结果,利用光学材料的复折射率构造PT对称非线性系统,得到PT对称Scarff-II外势下光孤子解析解,同时研究了光学格子中的光孤子。由于非线性薛定谔方程所描述的非线性光学系统可以作为研究量子系统的近似模型,且随着光学实验技术与新材料的制备研究的不断发展,光学实验已广泛应用于量子力学基本原理以及量子相干等现象的实验验证,在2010及2012年的Nature期刊及其子刊上都有对PT对称光学系统进行实验观测研究的相关报道。

过去对经典可积系统的研究表明,一般而言孤子很难在非保守系统中存在。但由于PT对称外势可能对非线性波存在某种特殊的平衡关系,故对可积系统或非可积模型加入特殊的PT对称外势进行调制作用,也能得到稳定的非线性波演化行为。Ablowitz和Muslimani在2013年提出了一种具有非线性自调控产生的PT对称结构,即可积的非局域非线性薛定谔方程,该方程具有Lax对和无穷守恒律,通过反散射方法能得到显式的呼吸单孤子解。Yan在2015年提出了可积的PT对称局域与非局域向量非线性薛定谔方程,对方程所具有的P对称、T对称及PT对称性质进行了分类讨论,并给出若干双周期和孤子解。目前,研究和推广可积的PT对称系统仍在发展之中,处理离散的问题,考虑更丰富的PT对称耦合结构,这些都有待于进一步挖掘。

在非线性光学的应用研究中,除了系统本身的色散效应和非线性调制作用,也可以根据实际情况的需要设计一些具有良好性质的PT对称外势,以便研究非线性光学系统中的光孤子在外势调制作用下仍保持稳定的动力学性质,因此PT对称结构的光学实验设计与研究具有重要的应用前景。Yan等人于2015年研究了在具有PT对称结构的单阱势和双阱势分别调制下的非线性薛定谔方程,在PT对称破缺的参数区域内均找到了相应的稳定非线性模态。且基于参数的绝热调控设计了一个稳定非线性模态的激发方法,即由某个调制参数位于PT对称非破缺区域内的稳定非线性模态,激发得到调制参数进入PT对称破缺区域后所对应的另一个稳定非线性模态,并通过数值模拟验证了该模态激发方法的有效性。

此外,在研究超短波光脉冲的传播时,必须考虑三阶色散效应、自陡峭和自频移效应的作用,因此对含高阶色散项的PT对称系统及其自发PT对称破缺的研究也具有重要的理论指导意义。先进制造部沈雨佳等人于2016年研究了含三阶色散效应和PT对称外势(类Scarff-II外势和简谐高斯外势)调制作用的非线性薛定谔方程,对该系统中孤子的动力学行为及孤子间弹性碰撞的性质进行了模拟。通过参数的绝热调控,将所得的解析孤子初始模态激发到另一新的稳定非线性模态,从而验证了在高阶非线性光学系统中PT对称破缺的参数区域内也能存在稳定的非线性模态。该结果在研究超短波光脉冲的非线性光学以及相关物理领域中具有一定的应用潜力。

参考文献:

[1] Z. Yan, Integrable PT-symmetric local and nonlocal vector nonlinear Schrödinger equations: A unified two-parameter model, Applied Mathematics Letters, 47, 61-68 (2015).

[2] Z. Yan, Z. Wen, V. V. Konotop, Solitons in a nonlinear Schrödinger equation with PT-symmetric potentials and inhomogeneous nonlinearity: Stability and excitation of nonlinear modes, Physical Review A, 92, 023821 (2015).

[3] Y. Chen, Z. Yan, Solitonic dynamics and excitations of the nonlinear Schrödinger equation with third-order dispersion in non-Hermitian PT -symmetric potentials, Scientific Reports, 6, 23478 (2016).



欢迎访问国家数学与交叉科学中心

地址：北京海淀区中关村东路55号 邮编：100190 电话：86-10-62613242 Fax: 86-10-62616840 邮箱：ncmis@amss.ac.cn