

# 500 篇孤子摘要总结

Leichao Xu and Tie Zhang

September 12, 2020

## Abstract

从 web of knowledge 中搜索关键词 soliton, 导出排名 500 的文献及摘要, 通过阅读部分文献, 了解当前孤子研究的主流方向, 例如: 特殊材料中孤子的产生以及其稳定性研究, 光纤中孤子解的研究, 利用孤子来产生逻辑门的研究, 以及求孤子解的问题等, 另外有一些前沿性的研究, 如超光速孤子的概念, 量子图概念。此外, 还有一些研究宏观世界下孤子的问题, 例如高速运行的火车头部的孤子解, 海洋中鱼群相关的孤子理论以及黑洞孤子概念等。

## 1 Indroduction

孤子最开始来源于水波波峰长时间保持形状传播, 之后产生了非线性的研究, 即孤子解属于非线性系统的解。对于微观系统, 如玻色爱因斯坦系统 (BEC), 非线性周期系统, 会产生孤子解, 同时相同带隙中的孤子解与对应非线性布洛赫波有对应关系 [1]。而对于宏观系统, 孤子解依然可以解释一些自然现象, 例如对黑洞中孤子的研究 [2], 海洋相关的孤子研究 [3,4], 海洋中鱼群与孤子的关系 [5], 高速运行的火车头部的空气研究 [5]。无论在微观领域还是宏观领域, 孤子的研究与应用非常广泛, 本篇综述将从孤子的研究现状, 研究应用, 以及当前孤子研究的新方向与新领域做大致的阐述, 一方面作为文献摘要阅读的总结, 也为孤子研究的方向确定做总结, 该综述的严谨性会比较差, 有错误的地方或者有争议的地方, 望指出或一起讨论。

## 2 孤子研究现状

孤子研究大致可以分为两个方向, 第一是理论与数值模拟, 第二是实验研究。数值模拟围绕求解非线性薛定谔方程来得到孤子解, 然后对孤子的稳定性展开叙述。对孤子的求解不仅限于亮孤子, 而且还有暗孤子 [6,7], 暗孤子只孤子解为凹陷型, 孤子的形状也是一个研究方向, 主要研究孤子解的曲线弧度 [8]。对于孤子的求解, 本质上是求解非线性薛定谔方程 [9], 有人也致力于求解精确的解析解 [10,11], 这类问题偏向于数学方向, 对于物理研究, 数值解应该是首选, 毕竟物理是要解释现象。得到孤子解后就需要讨论孤子解的稳定性, 不稳定孤子在实验中难以观测, 在一定时间内可以保持固定形状的孤子被称为稳定孤子, 而不稳定的孤子也有其特性, 例如有研究孤子超光速但是具有不稳定性 [12], 孤子的稳定性研究同样有数值模拟微扰法 [13]。数值方法有分步傅里叶方法 [14], 通过该方法可以直观的看到孤子随时间的演化。

### 3 实验研究

理论与实验研究不能分割,实验结论需要用理论去解释,从而去促进理论发展、去发现更多有趣有用的实验现象,相反,理论需要用实验去验证,做理论物理不能脱离实际,如果理论中需要的外界环境在现实中根本不存在或者难以制备,那么理论的研究意义将大打折扣。这里的实验研究指将理论应用到实际或者研究理论落地。

#### 3.1 光孤子实验研究

孤子的特性之一是稳定传播,因为可以作为信息传播的载体,故而光学孤子 [15,16] 和光纤中孤子 [14,17-19] 的研究是热点。光学研究中的参数对理论研究意义重大,理论计算中的某些常数需要从实验中获取,否则可能会脱离实际,例如 Zhaoyiwu 讨论了关于一种单晶体 [20] 论文的参数可能会影响到带宽从而影响到孤子解的存在与否,孤子持续时长直接影响到孤子的稳定性。

既然光孤子可以稳定的存在,人们自然可以想去操纵光孤子,例如操作光孤子实现逻辑门 [21],不过该研究还处于概念性研究,还有 LiGuangying 也研究孤子的操作 [22]。既然孤子可以被操作,甚至可以实现逻辑运算,未来应该可以设计基于孤子的电子设备或者通讯设备。

#### 3.2 材料学中的孤子

新材料有助于物理理论落地。当代对新材料有很强需求,所以孤子最终以什么样的形式融入到平常生活,理论得出的孤子解究竟是否可以被实验观测,都需要材料学的支持。首先需要提到的就是 Kerr 非线性模型,在非线性的薛定谔方程中存在一项非线性项,在光学中这一项等于  $\beta|E|^2$ ,其中  $E$  为光场强度,这一项称为 Kerr 非线性。在

Kerr 非线性材料中,可以产生一种与孤子有相同特性的微梳齿 [23],或许可以通过孤子理论获得新的思路。另有文章说做出了一种可以产生方形锯齿波的材料 [24],这种如果被证明是孤子,可以为孤子的家族增加新的成员。近些年较火的石墨烯也有相关的孤子研究,一种扶手椅型石墨烯材料产生一种双极化子现象 [25],从描述来看可以用孤子理论做一些解释。石墨烯虽然与孤子的联系不是很大,但石墨烯属于狄拉克材料,这就说明石墨烯中可能出现孤子理论可以解释的现象,不妨关注一些石墨烯的新材料,狄拉克三维模型 [26]。

### 4 宏观孤子

孤子最初是在宏观世界下发现,所以宏观世界的孤子研究可以一门值得关注的方向,毕竟可以做直接的预测与直接的感官感受。孤子在大气中的应用可以对气象学产生影响,例如台风,土星红斑。再如海洋中孤子研究 [3],海啸进入大陆架与孤子的关系 [4],孤子甚至可以拓展到天文领域,例如黑洞中孤子 [2],星云、土星的非线性研究 [27]。无论是微观还是宏观,只要系统存在非线性特性,都可以尝试用孤子的理论在建模解释。

### 5 新的领域

最后说一些比较新的物理概念,量子图概念 [28],具体概念还说不清楚,如果是一种图模型,那么就可以跟现在计算机领域中的概率图模型接合,产生一种新的交叉学科。量子本身有概率,概率图模型也需要概率,然而概率图模型的求解一直处于近似求解,如果可以借鉴量子力学的理论,或者可以对概率图模型做更好的建模。

## References

- [1] Y. P. Zhang and B. Wu. Composition relation between gap solitons and bloch waves in nonlinear periodic systems. *Physical review letters*, 102(9), 2009.
- [2] Irina Dymnikova. Regular black holes and self-gravitating solitons with de interiors. *International Journal of Modern Physics A*, 35:2040053, 2020.
- [3] Y A Stepanyants. Nonlinear waves in a rotating ocean (the ostrovsky equation and its generalizations and applications). *Izvestiya Atmospheric and Oceanic Physics*, 56(1):16–32, 2020.
- [4] Xi Zhao, Zhiyuan Ren, and Hua Liu. The evolution of undular bore in coastal zone: Effect of bottom slope, friction and special topography. *Journal of Earthquake and Tsunami*, 13:1941005, 2019.
- [5] Irina Dymnikova. [arXiv:2006.00031](https://arxiv.org/abs/2006.00031), 2020. doi:10.31857/S2686739720060031, 2020.
- [6] V. Kumar, B. Suthar, and A.K. Nagar. Stability of intersite dark solitons in a parametrically driven discrete nonlinear schrödinger equation. *Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics*, 10:391–397, 08 2019.
- [7] Hiroki Ohya, Shohei Watabe, and Tetsuro Nikuni. Decay of phase-imprinted dark soliton in bose-einstein condensate at non-zero temperature. *Journal of Low Temperature Physics*, 2017.
- [8] Zhanbala Umbetova, Kuralay Yesmakhanova, and Tolkenay Myrzakul. Soliton surfaces associated with the (1+1)-dimensional yajima-oikawa equation. *Journal of Physics: Conference Series*, 1391:012034, nov 2019.
- [9] 俄罗斯. [arXiv:2006.00031](https://arxiv.org/abs/2006.00031), 2020. doi:10.4213/tmf9734, 2020.
- [10] Mahima Poonia and K. Singh. Exact traveling wave solutions of diffusive predator prey system using the first integral method. In *ADVANCEMENTS IN MATHEMATICS AND ITS EMERGING AREAS*, 2020.
- [11] Preeti Devi and Karanjeet Singh. Exact traveling wave solutions of the (2+1)-dimensional boiti-leon-pempinelli system using (g g2) expansion method. volume 2214, page 020030, 03 2020.
- [12] Ildar Gabitov Katherine A. Newhall, Gregor Kovačič. Polarization dynamics in a resonant optical medium with initial coherence between degenerate states, 2020.
- [13] Dmitry Pelinovsky and P Kevrekidis. Stability of discrete dark solitons in nonlinear schrödinger lattices. *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, 41:185206, 04 2008.

- [14] V. Kumar, B. Suthar, and A.K. Nagar. A theoretical study of the propagation of light soliton produced by semiconductor quantum dots through optical fibers. *Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics*, 10:273–281, 06 2019.
- [15] Barturen Mariana, Maglio Benjamin, and Costanzo Caso Pablo Alejandro. Latest advances in optical frequency combs based on quadratic non-linearity. *IET Optoelectronics*, 14(3):143–147, 2020.
- [16] VD Kulakovskii and AA Demenev. Coherence dynamics of the exciton-polariton system in gaas microcavities under pulse resonant photoexcitation. *Semiconductors*, 53(10):1308–1313, 2019.
- [17] P Morin, S Boivinet, J-P Yehouessi, T Berberian, F Druon, S Vidal, G Machinet, F Guichard, Y Zaouter, and J Boullet. Sub-150-fs all-fiber polarization maintaining tunable laser in the mid-infrared. In *Fiber Lasers XVII: Technology and Systems*, volume 11260, page 112601M. International Society for Optics and Photonics, 2020.
- [18] Yuhao Chen, ShaoXiang Chen, Kun Liu, Sidharthan Raghuraman, Qijie Wang, Dingyuan Tang, and Seongwoo Yoo. Toward high peak power ultrashort pulses using normal dispersion thulium fiber in all-fiber amplifier and compressor. In *Fiber Lasers XVII: Technology and Systems*, volume 11260, page 112600Z. International Society for Optics and Photonics, 2020.
- [19] Thawatchai Maytevarunyoo, Boris A Malomed, and Dmitry V Skrybin. Spatiotemporal solitons and vortices in graded-index multimode lossy fibers. In *Fourth International Conference on Photonics Solutions (ICPS2019)*, volume 11331, page 113310W. International Society for Optics and Photonics, 2020.
- [20] Yiwu Zhao, Desheng Zhao, Runmin Liu, Wanzhuo Ma, and Tianshu Wang. Generation and optimization of 2- $\mu$ m square-wave noise-like pulses in a modified figure-eight fiber laser. *Optical Engineering*, 59(6), 2020.
- [21] Vakhtang Jandieri, Ramaz Khomeriki, Tornike Onoprishvili, Douglas H Werner, Jamal Berakdar, and Daniel Erni. Functional all-optical logic gates for true time-domain signal processing in nonlinear photonic crystal waveguides. *Optics Express*, 28(12):18317–18331, 2020.
- [22] Guangying Li, Rui Lou, Xu Wang, Zhe Sun, Yishan Wang, Xiaoping Xie, Guodong Zhang, and Guanghua Cheng. Dissipative soliton operation of a diode-pumped yb: Kgw solid-state laser in the all-positive-dispersion regime. *Optical Engineering*, 59(6):066105, 2020.
- [23] Sergey Turitsyn, Egor Sedov, Alexey Redyuk, and Mikhail Fedoruk. Non-linear spectrum of conventional ofdm and wdm return-to-zero signals in nonlinear channel. *Journal of Lightwave Technology*, 38(2):352–358, 2019.

- [24] Yiwu Zhao, Desheng Zhao, Runmin Liu, Wanzhuo Ma, and Tianshu Wang. Generation and optimization of 2- m square-wave noise-like pulses in a modified figure-eight fiber laser. *Optical Engineering*, 59:1, 06 2020.
- [25] Ana Virgínia Passos Abreu, Luiz Antonio Ribeiro Junior, Gesiel Gomes Silva, Marcelo Lopes Pereira Junior, Bernhard Georg Enders, Antonio Luciano Almeida Fonseca, and Geraldo Magela e Silva. Stability conditions of armchair graphene nanoribbon bipolarons. *Journal of Molecular Modeling*, 25(8):245, 2019.
- [26] Kelvin JA Ooi, YS Ang, Q Zhai, X Sun, P Xing, CK Ong, LK Ang, and Dawn TH Tan. Dirac terahertz plasmonics in two and three dimensions. *Optics Communications*, 462:125319, 2020.
- [27] A Ludu and A Raghavendra. Rotating hollow patterns in fluids. *Applied Numerical Mathematics*, 141:167–184, 2019.
- [28] KK Sabirov, JR Yusupov, and Matyokubov Kh Sh. Dynamics of polarons in branched conducting polymers. : , , , 11(2), 2020.

1

---

<sup>1</sup>[3] 为俄文文献，字符集不支持显示，所以给出了 doi 号码