
精密测量院等确定性观测到自旋-电荷分离现象

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/19195.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！

中国科学院精密测量科学与技术创新研究院管习文科研团队与美国莱斯大学教授兰迪·休利特和教授浦晗团队合作，通过囚禁一维超冷费米气体首次确定性观测到自旋-电荷分离的奇特现象，并发现该体系中由自旋反向散射（backward scattering）引起的非线性朝永-拉亭戈液体效应。相关研究成果于6月17日发表在《科学》上。

粒子间复杂的相互作用和系统丰富的内部自由度通常给系统物理特性的描述带来挑战。在一维量子多体物理中，朝永-拉亭戈液体理论通常被用来描述一维多体系统的低能普适行为。一维相互作用费米子的低能激发通常分裂成两支独立的朝永-拉亭戈液体，它们分别刻画携带自旋和电荷的分数化准粒子的集体运动，该现象被称为自旋-电荷分离（图1），是一维量子多体物理中独特的普适规律。科学家在一维固体材料发现一些与自旋-电荷分离现象相关的证据（evidence），然而对于该现象至今缺乏确定性（conclusive）的实验验证，理论如何表征自旋-电荷分离现象以及相关实验的调控方法是公认的难题。

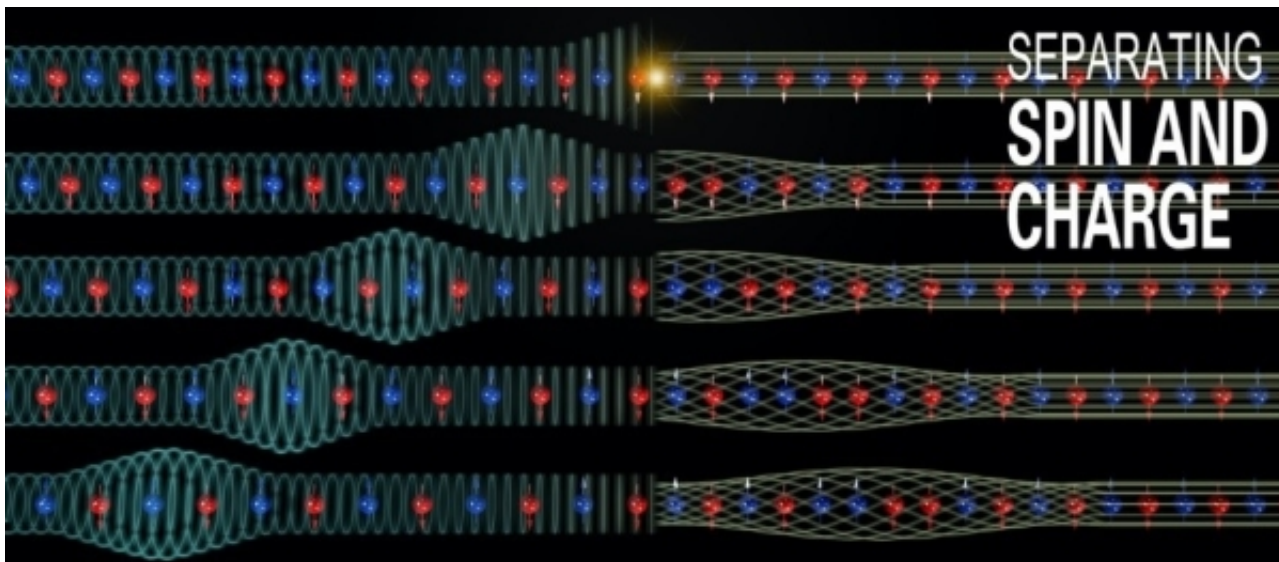
2018年起，研究团队通过研究一维相互作用费米气体杨-高丁模型（Yang-Gaudin model）的精确解，发现在长波极限下该模型中的电荷自由度的粒子-空穴集体激发和自旋自由度的分数化准粒子（自旋子）激发可完美形成分离的自旋密度波和电荷密度波，通过布拉格谱可以分别测得自旋和电荷的动力学结构因子【dynamics structure factor（DSF）】，该物理量揭示了量子液体中多体关联的本质。因此，通过对相关集体激发谱的DSF的测量可以实现对自旋-电荷分离现象的确定性验证，该理论预言在2020年发表在《物理评论快报》上【Physical Review Letters 125,190401 (2020)】。

2020年至今，研究团队进一步合作通过囚禁一维超冷原子实验验证了该量子多体物理的普适规律。在囚禁的一维超冷 ^6Li 费米原子中，科研人员对电荷DSF的测量选择了精细能级 $1>$ and $2>$ ($F = 1$, $M_F = \pm 1/2$)作为自旋态， $2P_{3/2}$ 态为激发态，对自旋DSF的测量选择了精细能级 $1>$ and $3>$ 作为自旋态， $3P_{3/2}$ 态为激发态（图2A-D）。研究通过布拉格光分别激发电荷与自旋密度波，并调控不同相互作用强度测量出其相应的电荷和自旋的布拉格谱（图2E）。在不同相互作用下布拉格谱的峰值给出了相应的电荷和自旋的传播声速（图2F）。在理论方面，科研人员通过复杂的三维粒子数分布获得了一维管状系统中的密度分布，进一步利用一维相互作用费米气体杨-高丁模型精确解和朝永-拉亭戈液体理论精确计算了囚禁冷原子电荷与自旋的DSF。考虑了电荷激发谱中的曲率修正和自旋激发谱中的反向散射引起的非线性效应后，理论与实验结果十分吻合。该工作在国际上首次通过超冷原子实验验证了自旋-电荷分离现象的朝永-拉亭戈液体理论，并给出非线性拉亭戈液体理论的有力证据，为将来基于原子分子和光物理的精密测量科技提供了新思想。

相关研究成果以《具有可控相互作用一维费米气体中的自旋-电荷分离》（Spin-charge separation

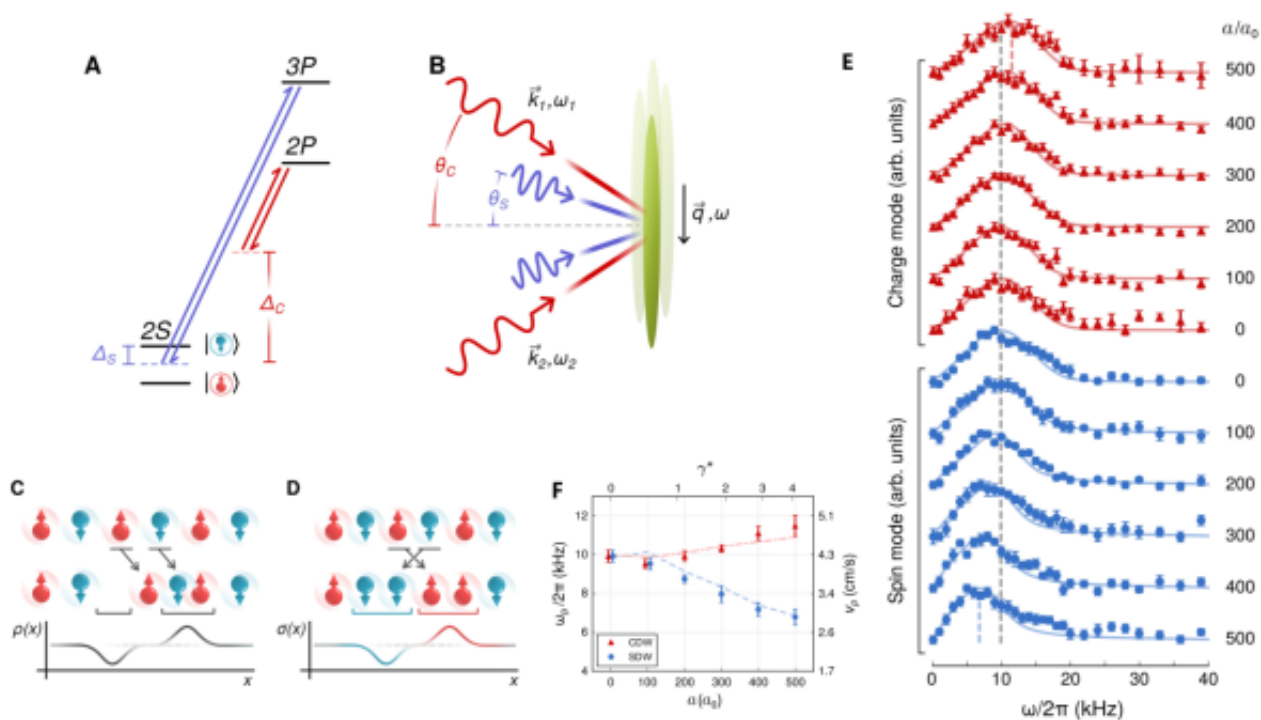
in a 1D Fermi gas with tunable interactions) 为题，发表在《科学》(Science) 上。研究工作得到国家自然科学基金项目及科技部重点研发计划的资助。

[论文链接](#)



一束激光照射在一维相互作用费米液体上可同时激发了两种分离的集体运动密度波：一种波只携带自旋（向右），另一种波只携带电荷（向左），这种奇特的现象称之为电荷-自旋分离：一维量子多体的独有特征^[1]

图1



A. ${}^6\text{Li}$ 原子的部分能级图及相关能级跃迁、自旋失谐量 (Δ_S) 和电荷失谐量 (Δ_C)。B. 布拉格激光束相对一维轴方向的照射角度 (电荷 θ_C , 自旋 θ_S), 动量转移量 $\vec{q} = \vec{k}_1 - \vec{k}_2 \approx 0.2k_F$, 相对失谐 $\omega = \omega_1 - \omega_2$, k_F 为费米动量。C. 和 D. 分别是电荷和自旋的激发示意图。E. 布拉格电荷激发的实验数据 (红色符号) 及理论计算结果 (红色实线) 及布拉格自旋激发的实验数据 (蓝色符号) 及理论计算结果 (蓝色实线), 这里理论计算采用试验温度 250nk, 没有任何自由参数。F. 在小动量激发时, 电荷与自旋激发都具有声子色散关系, 但以不同的群速度传播, 红色符号 (实线) 是电荷声速的实验数据 (理论计算), 蓝色符号 (实线) 是自旋声速的实验数据 (理论计算)。

图2

《科学》亮点作品介绍配图

研究团队单位：精密测量科学与技术创新研究院

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](http://www.iikx.com)转发