



<http://www.ipc.cas.cn/>

当前位置 >> [首页](#) >> [新闻中心](#) >> [科研进展](#)

## ● 科研进展

# 理化所揭示液态金属机器内生磁体属性并提出寻找磁单极子新线索

稿件来源： 发布时间：2021-12-22

近日，中科院理化技术研究所液态金属与低温生物研究中心，在Soft Science期刊上发表了一篇题为“Insights into fluidic endogenous magnetism and magnetic monopoles from a liquid metal droplet machine”的研究论文，首次揭示出溶液中的自旋液态金属机器具有内生磁性，由此解释了一系列经典试验现象，并提出了4条构建磁单极子的技术途径和猜想。文章第一作者为2020级直博士生周颖欣，通讯作者为刘静研究员。

磁和磁单极子是物理学领域中最经典的基础科学问题之一。长期以来，从微观磁性颗粒、生物细胞到宏观的天然或人工磁体，乃至借助加载颗粒形成的磁流体等磁性物质多由刚体材料制成（图1），以全液态方式呈现的磁体鲜有报道；与此同时，磁单极子更是科学界迄今最为持久且始终悬而未决的神秘物质之一，以往工作的出发点也多建立在刚性材料基础上。从崭新层面出发，本研究首次揭示出溶液中的自旋液态金属机器可引发其表面电荷动态分布及内部电场变化，这使得电、磁、流体、自旋一体化（文中将此物质定义为电磁流体-electromagnefluid）成为可能，也为揭开磁单极子的神秘面纱提供了前所未有的技术线索。

作为一大类新兴功能物质，有着“终结者”机器人材料之称的常温液态金属如镓基合金等近年来的研究取得了长足进展。试验表明，液态金属置于电解液如NaOH溶液中时，会在外电场作用下发生旋转（图2），形式与外磁场作用下带电球体内激发的涡流相似；施加交流会进一步加剧涡流，甚至使液滴发生共振。本文研究指出，这类由电场诱发的金属液滴自旋体系具有内生磁性，其磁场由外加电场及带电液态金属液滴因自旋而产生的内部涡流共同形成，整个体系处于全液体状态。该发现很好解释了电场作用下两个金属液滴相互靠近时，会出现迅速融合的现象，其部分原因正是由自旋液滴磁极动态调整和吸引所致。

除此之外，液态金属还可实现完全无需外部电力或磁场的自驱动乃至自主融合，其同样可因自旋而形成流态化内生磁性，这更是传统刚体机器普遍不具备的超常特性。比如，若将液态金属液滴置于NaOH溶液并使其吞食铝箔，将引发其表面电双层的电荷分布发生改变从而产生磁场（图3），这种自旋电流体产生的内生磁性以往从未被认识到。理论上，若两个金属液滴的表面电荷分布特性相同，由于存在电斥力，二者彼此靠近时总会发生相互排斥，但实际过程中却是液滴机器的融合与反弹均有出现，最后合并为一个液态金属机器。由此，可以推测这种现象不仅受流体动力学的影响，也与其自旋产生的流态化磁性作用有关。

研究进一步指出，通过外磁场可评估和控制带有内生磁性的液态金属马达在溶液中的运动行为。这里，由于外界引入的永磁体边界处磁通量变化率最大，在液态金属马达中会激发出感应电流，继而与吞铝反应产生的电流叠加，在此过程中伴随液态金属马达的快速旋转会在其内部产生磁场。由于旋转运动的随机性，马达产生的磁极方向不断变化，与固定的外磁体发生吸引或排斥，这导致液态金属微马达在永磁体边界附近发生聚集并来回弹跳（图4）。

此项研究揭示的自旋液态金属机器内生磁性具有普遍性。事实上，除物理途径之外，在化学环境下通过电偶腐蚀、化学-电化学交替作用机制引发涡流与振荡，也能改变液态金属的内部电场，从而导致电荷与涡流的重新配置，继而不断激发出内生磁场。为评估液态金属液滴电磁场激发的机制，论文构建了两类电流模型，分别刻画液态金属吞铝获得自旋动力以及借助外电场实现自旋的情形。前者的电流简化为原电池及自旋涡流，后者则是传导电流及自旋涡流，通过电流密度得到矢势，可分析该旋转带电液滴的磁感应强度。

此项研究中最令人兴奋的发现还在于，这种全流态磁体或为解答物理学的经典谜题-磁单极子提供了前所未有的实验线索。磁单极子是指一些仅带有N极或S极单一磁极的磁性物质，由于其重大意义，一直成为科学界竞相探索和努力追寻答案的重要目标。自狄拉克于1931年预言磁单极子后，不少物理学先贤如费米、杨振宁、威滕等也相继从理论上指出磁单极子存在的可能性。经过数十年的发展，促成了一系列经典假设与模型的建立（图5），如大统一理论（GUTs）、弦理论、M理论等。目前，磁单极子仅以准粒子态出现在固体材料体系的凝聚态物理中，例如自旋冰的翻转激发，超冷铷原子在玻色-爱因斯坦凝聚态（BEC）下形成的“漩涡”以及在外磁场作用下的磁性斯格明子（一种自旋结构）合并等。

液态金属马达集自旋、流体、电子及内生磁性于一体机制的揭示，为寻找磁单极子提供了不同于传统刚性物质的电磁流体线索，作者们为此提出了4条实现磁单极子的可能技术途径（图6）：1. 调控自旋液态金属内部涡旋与电子流的匹配；2. 自旋液态金属马达与外部电磁场相互叠加；3. 自旋液态金属马达与外加磁性颗粒复合实现磁场重构；4. 液态金属机器与基底反应引发电荷再分配与内生磁场的动态变化结合。液态金属机器这些流体多相态多结构形式使得合成磁场具有各种丰富的可能，而且从宏观到微观均有对应自旋液滴电子机器，可望打破常规固体磁性物质面临的瓶颈和难题。至此，磁体也基本上完成了从刚性、柔性到流态化内生磁体的过渡（图7）。

总的说来，该研究首次揭示出溶液中液态金属机器因自旋而具有内生磁性的物质基础属性，开辟了实现液态磁体的途径，可望改变人们对于经典磁学的基本认识。这一发现也为构建磁单极子提供了全新的实验方法，还为制造新概念液体机器开辟了前景，有望在未来的基础物理、信息技术、智能设备与先进功能材料等方面发挥重要作用。

此项研究得到国家自然科学基金重点项目No. 91748206资助。

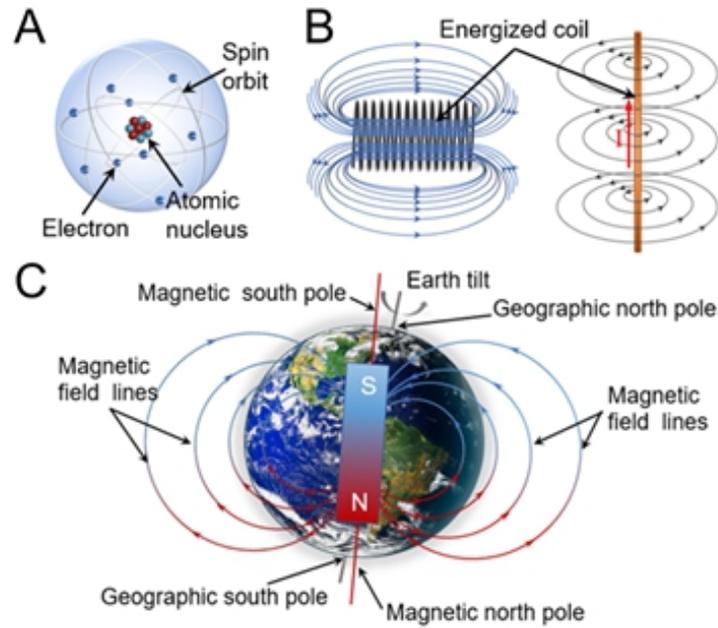


图1. 几种经典的磁场类型

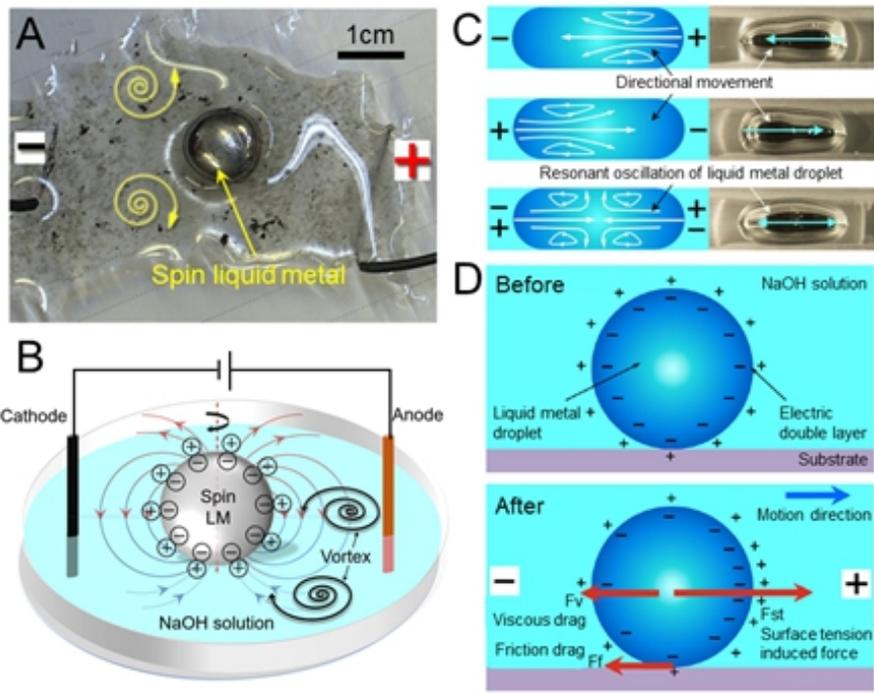


图2. 外电场作用下液态金属的自旋涡流及磁场产生机制

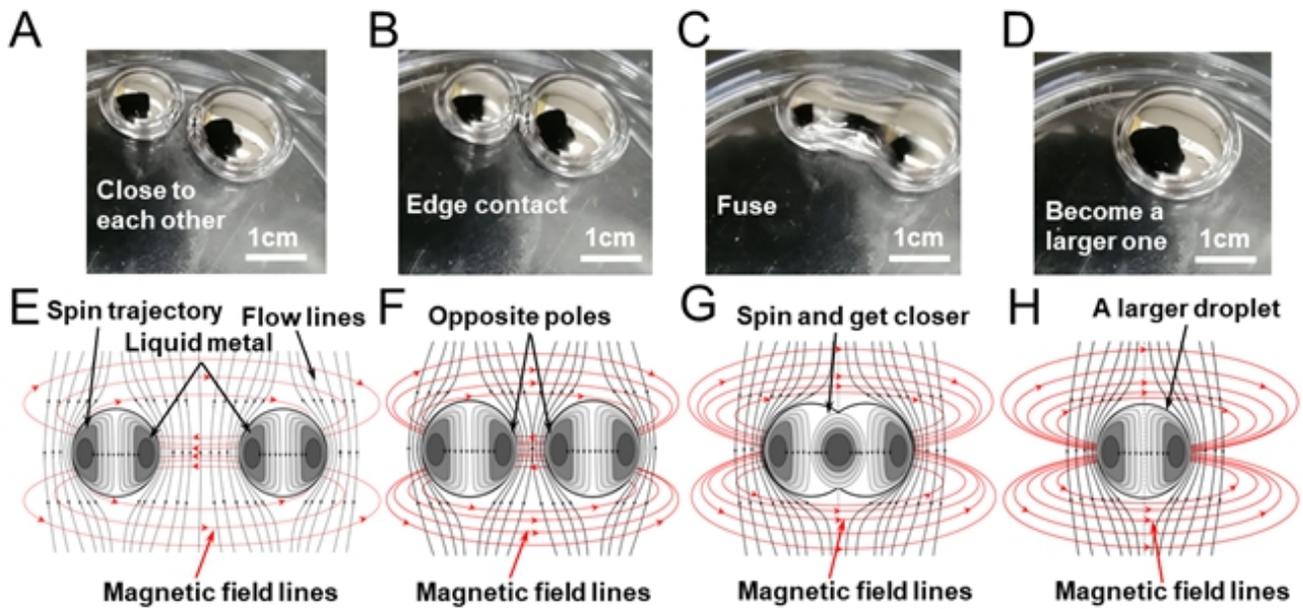


图3. 自旋液态金属马达靠近时迅速合并

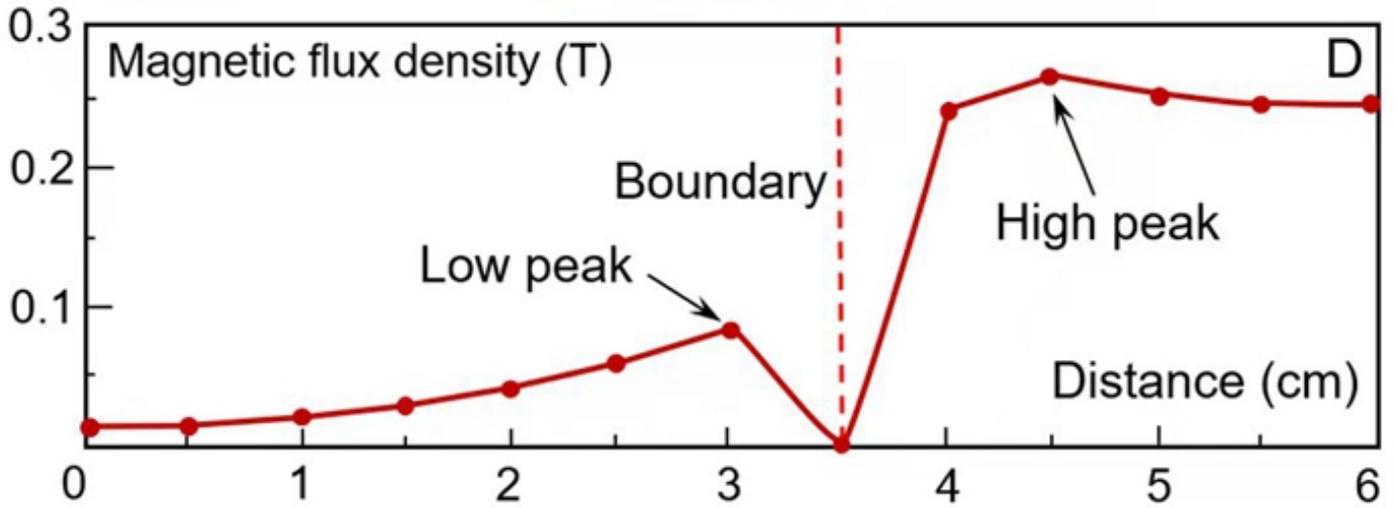
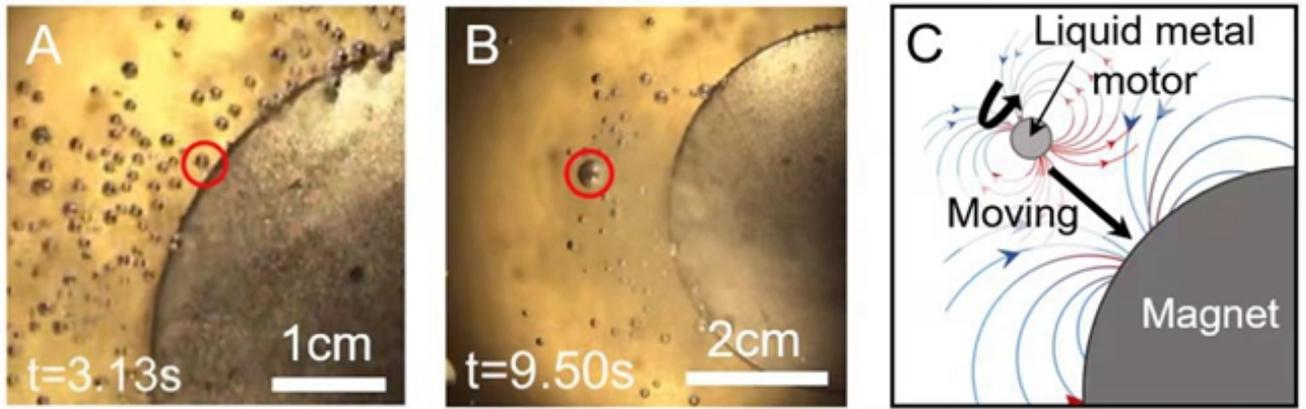


图4. 自旋液态金属马达与外磁体的相互作用

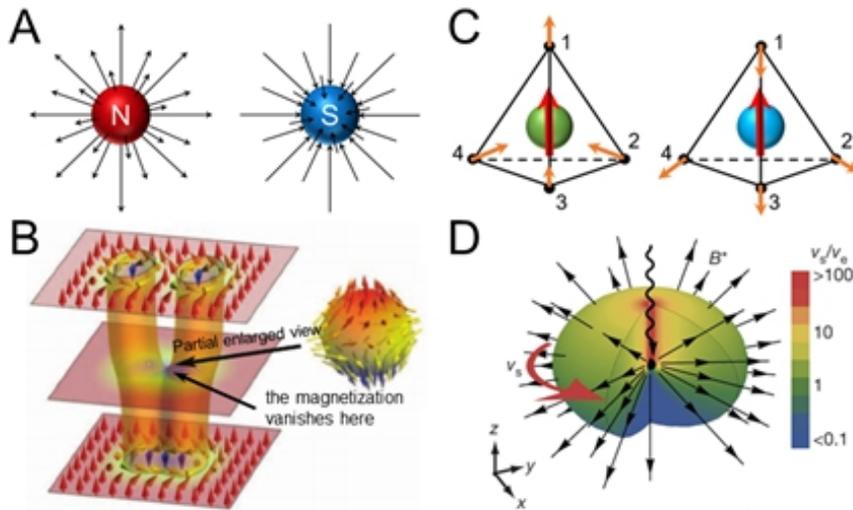


图5. 磁单极子的经典假设与模拟

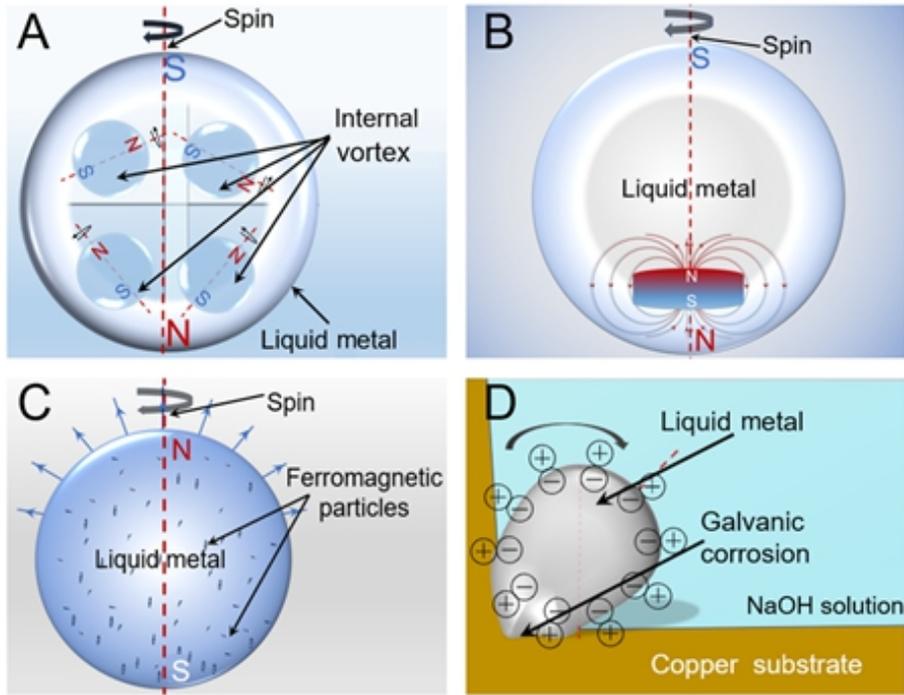


图6. 基于流态化自旋液态金属构建磁单极子的4条可能途径

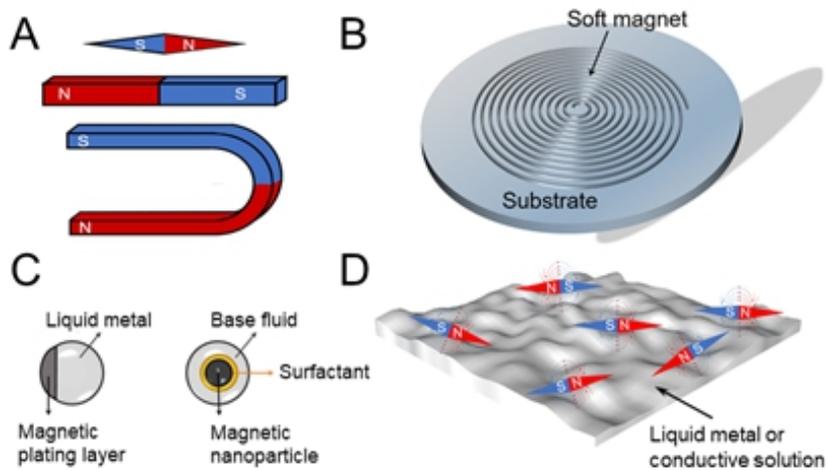


图7. 不同形式磁体: (A) 刚性磁体; (B) 软磁体; (C) 半液态磁体; (D) 液态磁体。

**论文链接:**

<https://softscijournal.com/article/view/4439> (<https://softscijournal.com/article/view/4439>).



(<http://www.cas.cn/>).

版权所有: 中国科学院理化技术研究所 Copyright 2002-2023

地址: 中国.北京 京ICP备05002791号