

磁悬浮的惊人秘密

吴建永

(美国乔治城大学医学院神经科学系, 美国华盛顿特区 DC 20007)

一提到磁悬, 大家马上想到磁悬列车。但我这里讲的不是列车的磁悬技术, 而是把几块磁铁巧妙地摆在一起, 把另一块磁铁托在空中的现象。这种技术不耗电不用电, 全靠个巧劲儿。磁悬列车虽然神气却绝没那么巧, 一停电就只能呆在铁轨上, 寸步难移。

人类有史以来就知道磁铁拥有神奇的力量。两块磁铁不但能相吸亦能相斥。斥力之大足以把重物托起。因此几千年来人们一直在尝试着用磁铁的斥力来抵抗地球重力, 把物体浮在空中。传说在纪元之初, 一位宗教领袖的陵寝就是用磁铁砌成, 把用磁铁做成的棺木悬在空中。

可也怪了, 人们试了几千年, 却从来没有成功过。到如今还有人孜孜不倦的试着。时间到了十九世纪时, 科学有了突飞猛进的发展。对磁场的描述也从感性进步到理性。一组麦克斯韦方程(Maxwell's equations)就把电磁场描述得准确精致。比麦克斯韦方程还早一些的时候有一位数学家叫山姆·恩绍(Samuel Earnshaw), 于1842年写了一篇论文, 用数学方法证明静态磁悬浮不可能实现。这就是著名的恩绍定理(Earnshaw's theorem), 后来被写进大学物理教程。大一的学生刚入道就会学到恩绍大定理。大二学到麦克斯韦方程后, 对恩绍定理有了新的理解, 用麦氏方程的语言来讲, 磁力线是不发散的, 在空间中没有极小值, 这样磁场的斥力在空间就无稳定点。磁铁的斥力虽然能把重物托在空中却不能稳定, 就好像用铅笔尖不能把铅笔稳定地站在桌上一样。

恩绍定理虽然给出了科学的证明, 却没能挡住后人的好奇心和继续尝试。一方面是许多人没学过物理, 根本不知道什么恩绍大定理(比如我); 另一些人虽然知道不行却不信邪, 静态磁悬毕竟太诱人了。但是如果某个物理学家在实验室里摆弄磁悬浮, 常常会招来同事们一片讥笑, 被认为在做蠢事。

可时间到了20世纪90年代, 美国市场上居然出现了一种叫“莱维托”(Levitron)的玩具, 能把一个磁铁陀螺稳稳地浮在半空, 时间达几分钟之久, 直到陀螺因空气阻力逐渐减慢转速而跌落。一位叫罗德·专诺(Rod

Driver)的教授闻讯立即买了一台, 并在说明书的指导下花了两个多小时掌握了磁悬的技巧。但他也因此产生了强烈的好奇心, 他觉得自己是在说明书的指点下还要花两个小时才能学会, 那么是什么灵感的力量引导着发明家, 在黑暗中反复摸索终获成功呢?

带着这种好奇, 专诺博士拨通了专利持有者比尔·霍思(Bill Hones)和他的父亲爱德华·霍思(Edward Hones, 美国拉斯维加斯国家实验室的物理学家)的电话。可是与爷儿俩谈了一个多小时, 他仍感到一头雾水。两位大科学家怎么也讲不清如何获得灵感并取得第一次成功。放下电话, 专诺博士仍坚持不懈地追寻这个问题。很快他竟然发现了一个令人吃惊的秘密: 霍思父子并不是这项技术的发明者, 他们是在一位名不见经传的民间人士的指点下学会这一技术并将其据为己有。

1993年, 比尔·霍思看到一项美国专利(专利号: 4, 382, 245), 阐述旋转磁体的悬浮技术。他和他的父亲抱着极大的怀疑态度与专利持有者联系。他们很快收到一盘录像带, 清楚地拍下旋转的磁体在空中漂浮。受到恩绍定理的影响, 作为物理学家的霍思父子怎么也不能相信。不久他们带着怀疑和兴趣拜访了这位科学的白丁——一位住在弗尔蒙特的民间发明家罗来·哈里根(Roy Harrigan)。哈里根先生花了几天时间耐心地教这两位科学家。最后他们终于学会如何在磁铁强烈地斥力下稳定地旋转一个陀螺并轻轻地把它托起, 使之自由悬浮在空中(图1)。

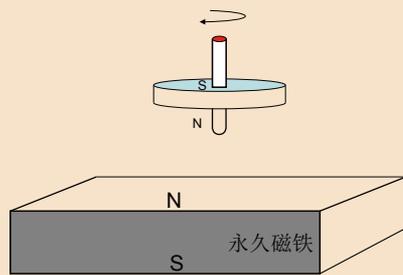


图1 旋转的磁铁陀螺可以漂浮在永久磁铁上

霍思父子激动地提议与这位民间发明家合作。儿子比尔是一位专营科学玩具的商人。他说可以把利润的5%分给哈里根先生, 并在每个玩具的包装上印上哈里根的名字和专利号。哈里根先生平静地面对着两位亢奋的科学家和商人。这位民间发明家的小屋里堆满了磁铁、电池、仪器和各种稀奇古怪的玩艺儿。他认为这磁悬技术比起他几十年来的其他发明不过是小菜一碟。同时, 作为一个民间发明家多年来挨过不少专家和其他合作者的欺骗。为此他从一开始就征得客人的同意, 用录像机录

下了他们会面的一切活动。他愿意和霍思父子合作，却怀疑为什么他们竟不肯留下1000美元作信用抵押。最后这位固执的民间发明家虽然拒绝在合同上签字，但在霍思父子的极力游说之下，看着他的磁悬装置在摄像机前被装进盒子，由霍思父子带回去研究。

父亲爱得华是拉斯维莫斯(国家原子弹基地)有名的物理学家。回去之后他用基地的超级计算机仔细地研究了磁悬的理论，并作了一些小修改，随即用自己的名字申请了专利。之后，他们与中国大陆的厂商联系，利用中国生产的廉价强磁铁“钹铁硼”为原料，大批生产这种磁悬陀螺玩具。几年来，莱维托风靡美国，迷倒了无数对科学充满好奇的青少年(图2)。根据维基百科，从1994到1999年他们就卖了75万台。但是，他们不仅对哈里根先生分文不付，甚至只字不提他的原始贡献。



图2 商品玩具“Levitron”

谎言重复多了似乎连自己都信以为真，对着电视台采访的摄像镜头，父子俩信誓旦旦地说这是他们多年的研究成果。他们确实研究了多年，但完全是失败的记录，若无哈里根先生指点迷津，他们可能还在徒劳无功地摸索中。

专诺博士对自己的发现十分震惊。他把事实写成两篇文章，于1999年在普怀登斯杂志(*The Providence Journal*, September 22, 1999)上公布于众。霍思父子的一位代理商谢洛克夫妇(Mike and Karen Sherlock)知道真相后亦十分气愤，马上停止销售莱维托，并在自己的网站上公布了真相。霍思父子回敬了谢洛克夫妇一场官司，告他们诽谤和滥用别人的冠名商标莱维托。至今在网上仍能查到美国第十上诉庭2000年编号为CV-97-1266LH/WWD的案例记录。待尘埃落定，莱维托依旧在霍思的玩具网站上畅销。谢洛克夫妇决定帮助发明家哈里根先生用自己的专利制造出商品与莱维托竞争。但历经沧桑的发明家已不再相信任何人，并发誓再不与他人合作。

专诺博士进一步的研究竟然又有更惊人的发现，原来在哈里根先生之前，另一位民间发明家约瑟夫·谢夫(Joseph Chieffo)在完全不知道哈里根先生的情况下于1984年独立作出同样的发现，用旋转的磁场悬浮重物。谢夫的遭遇更惨。他无力说服制造商收买他的发明，也无钱申请专利。1988年他在四处碰壁的情况下在一家科普杂志上登广告，用5元的价格出卖磁悬秘密的说明书，但应者寥寥，不久就销声匿迹。

到此读者一定感到奇怪，既然恩绍已经用数学方法严格地证明了静态磁悬是不可能的，为什么还会有磁悬陀螺的成功？这岂不违反基本的科学原理吗？原因是磁悬陀螺并不违反恩绍定理。磁悬陀螺用的是旋转磁体，玩过陀螺的朋友都知道旋转的陀螺利用一种特殊的力量——“进动”来保持稳定。不转的陀螺是不能站立在桌子上的。旋转的陀螺是靠进动来维持平衡，立在桌

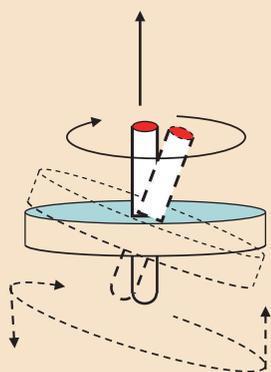


图3 旋转的磁铁陀螺靠进动维持稳定

上。同样，虽然磁场不能稳定地托起静态的陀螺，但磁铁陀螺旋转时，不稳定的偏斜使陀螺出现绕轴旋转的进动，并通过进动使陀螺转回稳定点，进而飞升漂浮于磁场之上(图3)。

但是，陀螺立在磁场上需要的条件远比立在桌上苛刻。1997年，纽约州罗切斯特大学的钟斯(TB Jones)及合作者在美国应用物理杂志(*J. Appl. Phys.*, 1997, 82(2):15)上发表一篇文章，详细阐述了磁悬陀螺的稳定条件及其转速、重量的关系。他们的分析进一步证明民间发明家们确实身手不凡：陀螺在磁体上几十毫米的空中浮动，但稳定区域只有4 mm左右宽，看不见摸不着。陀螺必须在磁体强烈的斥力下转到一定的转速，并保持在这一狭小区域中才能稳定。不仅如此，陀螺的重量必须精确到1%左右，轻则飞出，重则落地。加之陀螺的稳定还随环境温度变化，必须随时调整。同时满足所有这些条件是非常困难的。只有上帝才知道哈里根和谢夫等人是怎么能在无数的失败中找出这么多条件的最佳组合。从这点看，高人在民间。相比之下，学院里的科学家们倒是照葫芦画瓢只会照本宣科写公式的庸人。

写到这里我必须坦白，作为一个生物学家，我对物理常识才疏学浅，“不知有汉”。我也玩过静止磁悬浮，重复了过万人的好奇、无知和失败。我听说莱维托这种玩具后

也是毫不犹豫，立即买了一台，但照着说明书却怎么也玩不好。无奈之下把它带到实验室中去让我那些天才的学生们去玩，果然不过一个周末，就收到德国学生迈克的电子邮件，附带他面对悬浮的陀螺欣喜若狂的照片。

在迈克的指导下，不出十分钟我也学会了，差不多能百发百中。我深深地体会到天才的发明家与跟随的模仿者的能力竟有百分之九十九不相上下，唯一不同只是那灵机一闪的第一推动。没有这灵机一闪，百年来多少受过正规教育的物理学家受到恩绍定理的影响而无所建树。著名的计算机科学家，Mathematica的创始人斯洛德·格瑞(Theodore Gray)在一本科普杂志中写到“为什么那么多科学家在这么长的时间内(对静态磁悬)这个问题毫无建树呢？这正表明负面思维(negative thinking)是威力强大的”。如果你在书中学到某些事是不可能的，你多半会不再多想。只有那些不信邪的人，先认为这可以实现，然后再找理论漏洞，突破就是这样产生的。

我作为一个科学界中的过来人，在此要提醒那些跃跃欲试、准备突破科学重大难题的年轻人和民间科学家，违反常理的研究代价极大而且大多都要失败的。科学研究的重大发现的过程与生命进化产生成功者的过程类似，有极大的随机性。生命进化是靠随机突变和自然选择结合。突变的生物绝大多数是要死去的，但在亿万次失败的突变事件中，会有个把成功者脱颖而出

出。正是这些成功者，使生物进化出了眼睛、翅膀和大脑，统治了世界。所以，你要想做出个重大发现，就要准备好一辈子一事无成，当个失败的垫底数字。但是，科研与随机进化还是有不同，有捷径的。这捷径就是遍读关于一个问题的所有文献，用前人的知识和教训武装自己，站在巨人的肩膀上。在互联网发达的今天，利用谷歌和维基百科的研究已经成了最快捷有效的文献查询手段。民间科学家虽然负面思维少，敢于创新，但一般都输不起。所以利用互联网这种低成本的前期研究是极为重要的。同时，为了避免哈里根和谢夫那样的悲摧故事，自己的发明也应该利用互联网尽早告知天下。

题外话：超导磁悬和反磁磁悬

超导磁悬和反磁磁悬是静态磁悬浮的两个特例，都不违反恩绍定理。超导磁悬就是所谓迈斯纳效应(Meissner effect)，指磁力线不能穿过超导体。用通俗的话讲，就是因为超导体内没有电阻，因此没有电压。所以根据法拉第定律就不容许有变化的磁场。这样当磁铁接近超导体时，磁力线就像碰到一面镜子。由超导表面无限大的感生电流产生与磁铁磁场完全相同但方向相反的磁场，把磁铁托在空中(图4)

反磁磁悬是利用物质对磁场的排斥力实现磁悬。可



图4 一块磁铁悬浮在一片高温超导材料上

是大多数物质的反磁性都太弱了，不足以抵抗重力。只有在磁场非常强的时候才能实现。安德·根姆(Andre·Geim)，是个俄裔，英德血统(有点乱)的科学家。他在那明根大学做博士后的时候用学校的16T强磁铁浮起了一只青蛙(图5)(文见 *Eur. J. Phys.*, . 1997, 18: 307)。然而无论他如何强辩这项工作的意义，还是难逃于2000年获得搞笑诺贝尔奖(Ig Nobel Prize)。



图5 在16T超强磁场中悬浮的青蛙

可是根姆这老兄也不是吃素的，几年后他到了曼彻斯特大学当教授，并于2004年发表了石墨烯的文章，于2010年得了真的诺贝尔奖。也算科学界的一段佳话。

科学界里也有像哈里根和谢夫先生那样真正的高人。九十年代中，爱尔兰的几位科学家想出了一种巧妙的方法，用普通磁体承担重力而只用物质的反磁性来维持稳定。这样可以不用超级强磁铁就足够维持几克磁铁的稳定悬浮。比如，用人手指的反磁性就足以使一块小磁铁悬浮在空中(图6)。这种“手指磁悬”非常巧妙且具有轰动的新闻效果。让他们在科技界的顶级杂



图6 用手指的反磁性来实现浮空磁铁的稳定

志自然(*Nature*, 1999, 400: 324)上发表了这篇文章。

静态磁悬浮这种千年老问题在几年前还会有这些惊人的故事，说明创新是一种艺术，是没有止境的。说不定下一个大轰动就是您的巧妙发明呢。

物理新闻和动态

噪音能增进鸟类的定向功能吗？

按照双自由基模型，某些候鸟利用电子自旋的量子现象用地球磁场来导航。这一想法近来得到新加坡物理学家的研究工作的支持。他们指出，鸟类罗盘的灵敏度可以因环境的噪声增加而提高（而不是降低）。在该领域工作的其他科学家则对这个结论有争议。

许多鸟类利用地球的磁场来进行长距离飞行的导航。某些鸟类，如欧洲知更鸟，并不依赖地球磁场的极性，而是根据地球磁场相对于水平面的取向来确定南北方向。一般认为这些鸟类对磁场灵敏的器官是镶在它们眼睛里的。

双自由基假设认为，入射的光子激发鸟类视网膜中的分子，导致一个电子在相邻的两个分子之间转移，结果这两个分子都产生一个不成对的电子自旋。在分子仍处于激发态时，这些不成对的自旋取向相同或者相反(即所谓的自旋三重态或独态)依赖于这些分子相对于外磁场的取向。

沿着磁力线取向的分子有利于形成独态。这样鸟就可以通过比较地磁场对分布在视网膜不同角度上的分子产生的效应来确定地磁场的方向。一种流行的观点认为，独态和三重态产生不同的化学信息，这些信息传递到鸟类的大脑中。

2011年，Oxford大学的Gauger和在新加坡国立大学的同事们计算了在一般情况下这些分子对保持在激发态的时间。计算中使用了振荡磁场如何破坏欧洲知更鸟的方向感的研究数据。计入使定向失灵的最小磁场强度后，Gauger小组得到最小“双自由基寿命”大约为100 μ s，考虑到可能的环境噪声，他们发现，由激发的分子产生的量子态也保持大约相同长的时间(见 *Phys. Rev. Lett.*, 2011, 106: 040503)。研究人员指出，这一时间超过了实验室中达到的量子态的寿命。

但是在一项新的研究工作中(见 *Phys. Rev. Lett.*, 2012, 109: 110502)，新加坡国立大学的Dagomir Kaszlikowski等认为，这项早期的工作是错误的，因为没有考虑到另外一种研究工作，那种工作考虑了静磁场对欧洲知更鸟定向功能的影响。这项研究表明，欧洲知更鸟在经受比地磁场强三分之一左右的总场强时将失去方向感，Kaszlikowski的研究组认为，考虑到这项研究结果后，双自由基的寿命只有5—7 μ s。

研究者认为，这一数据与隐花色素的激发时间相符合，隐花色素是在欧洲知更鸟的视网膜中产生双自由基的色素分子。他们还指出，理论上在一定条件下，知更鸟的罗盘在有环境噪声时比无环境噪声时对地球磁场的相对取向更敏感。因此长寿命的量子态有时会妨碍知更鸟的导航。

Gauger和他在新加坡的同事Benjamin则指出，Kaszlikowski在分析中使用的数据是有选择性的，因而所得到的双自由基的寿命是不可靠的。Benjamin认为，无论如何，双自由基寿命是未解之谜：知更鸟为什么要用那么长的时间来获得磁场信息？决定磁场的方向可以在几十分之一甚至几百分之一的纳秒内完成而不需要微秒长的时间。

(树华 编译自 *Physics World News*, 20 September, 2012)