

超导“小时代”之三 鸡蛋同源

罗会仟[†]

(中国科学院物理研究所 北京 100190)

2015-10-27收到

[†] email: hqluo@iphy.ac.cn

DOI: 10.7693/wl20151113

“鸡蛋，从外面打破就是个蛋，从里面打破则是只鸡。”

——源自：李嘉诚

自从泰勒斯这位科学老祖记录摩擦起电和磁石吸铁这两个物理现象以来，2000多年过去了，人们对电和磁的理解还是极其有限。无论是中国风水先生用罗盘定乾坤，还是哥伦布靠指南针航海发现新大陆，抑或是诺莱特的奇妙人肉电学实验，都是止步于电和磁极其常见的现象认识和利用。甚至到19世纪初期，许多人依然认为电和磁风马牛不相及，电是电，磁是磁，电没法搞出指南针，磁也没法生成闪电。然而，当真如此？

如果仔细思考摩擦起电和磁石吸铁两个现象，不难发现它们有一个共同特征：吸引作用。富兰克林认为电之间也存在异种电荷相吸，和磁石的南北极相吸其实一样，所谓阴阳，是为相吸。

发现电和磁之间的小秘密，需

要一点点童话般的幻想，加上细致入微的观察，还有大量的实验验证。19世纪的一个丹麦人，他符合上述所有条件。喔，您别想多了，他不是安徒生。确实，我们伟大的童话大王，安徒生先生，创作了《卖火柴的小女孩》、《丑小鸭》、《海的女儿》等著名的童话故事。他还写了更多不那么出名的童话，《两兄弟》就是其一，人物原型是他的一位好基友。话说，这位朋友整整比安徒生大了28岁，是他报考哥本哈根大学的主考官，也算是老师了。或许是暗恋老师的小女儿的缘故，安徒生每年圣诞节都喜欢往老师家里跑，一起吟诗作乐，顺便聊聊科学^[1]。也许是受到了安徒生这位文艺青年的感染，这位普通的物理系老师依靠他童话般的想象力，发现了一件极其不平凡的事情。某一次

物理实验课，一切似乎都是老样子，连电路，打开关，讲课，断电，收工。然而不经意间，一个小磁针放在了电路旁边，又是不经意间，他注意到开关电一瞬间，小磁针都会摆动几下。就像童话世界里用魔法棒隔空操控磁针一样，电就是那根神奇的法杖，万分激动的这位仁兄差点摔到讲台下面去。之后，这位40多岁的普通物理教师，在实验室里愣是乐此不疲地玩了三个月的电路和小磁针，宣布发现了电和磁的魔法奥妙——运动的电荷可以让静止的磁针动起来(图1)。1820年7月21日，一篇题为《论磁针的电流撞击实验》的4页短论文发表，署名汉斯·奥斯特，这位安徒生的老师兼好友，一举成名。

原来，同时期的许多物理学家都在研究静电和静磁之间的联系，但是静电和磁针之间总是过于冷淡，啥作用都不发生，也无法相互转换。奥斯特的发现，关键在于突破思维框架，在运动的电荷里寻找和磁的相互作用。电和磁之间的小秘密，终于被人们发现。奥斯特这个名字，后来于1934年被命名为磁场强度的单位，简写为Oe，沿用至今。

奥斯特的实验报告犹如投入池塘里的一颗小石子，让本已归于平静的欧洲电磁学研究，激起了层层涟

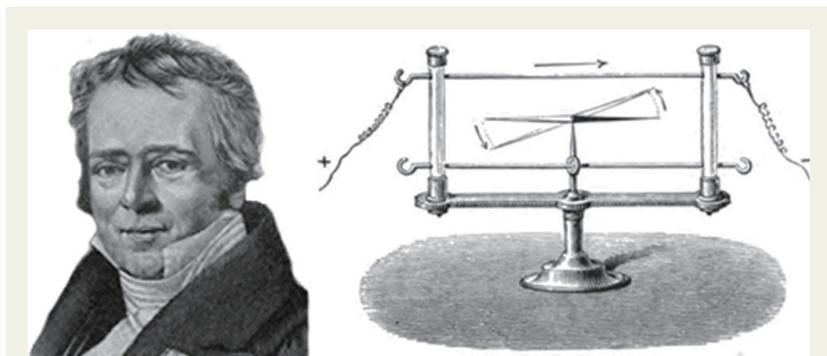


图1 奥斯特和他的实验(引自 <http://www.mattiko.com/img/oersted.jpg>)

漪。几位法国科学家在1822年里相继做出重要贡献：阿拉戈和盖·吕萨克发现绕成螺线管的电线可以让铁块磁化；安培发现电流之间也存在相互作用；毕奥·萨伐尔发明了直线电流元理论解释这些实验结果。

和库仑一样，安培也是一个痴迷于物理研究的富二代科学家，从小就在父亲的私人图书馆里接受科学的熏陶，从小学、中学、大学到教授，再到法国科学院院士，学术之路一直一帆风顺。安培勤于思考各种物理问题，无论何时何地，想起来就根本停不下来。他曾将自己的怀表误当鹅卵石扔进了塞纳河，也曾把街上的马车当做黑板来推公式。可以想象这样一个科学痴人，当他得知奥斯特的实验结果之后是多么地兴奋。安培在第一时间重复了奥斯特的所有实验，并把结果总结成一个非常简单的规律——右手螺旋定则^[2]。现在，用你的右手，轻轻握住通电的导线，拇指沿着电流方向，四根手指的指向就是电流对磁针作用力的方向，没错，就是环绕电线的一圈(图2)。安培把电线绕成螺线管，就直接用电流做成了一颗“磁铁”，根据右手定则可以轻松判定这个电流磁铁的磁极方向。安培利用螺线管原理发明了第一个度量电流大小的电流计，成为电学研究的重要法宝之一(图3)。既然通电导线会有磁作用力出现，那么两根通电导线之间也会存在类似的吸引或排斥作用，为此安培同样总结了电流之间的相互作用规律。关于电可生磁的奥秘，安培继承了奥斯特的童话思维模式，想象磁铁里面也有一群小电精灵，就像一个个电流小圈圈，形成了一大堆小电流磁针，并且指向一致，如同群飞的鸟儿或海洋里群游的鱼儿一样，集体的力量最终形成了极大的磁作用力。安培给他

的小小电精灵取了个形象的名字，叫做分子电流。要知道，那个时代对微观世界的认识只到分子层次，关于是否存在原子以及原子内部是否有结构属于超越时代的问题，能创新地想象分子里面有环状电流已经十分大胆前卫了。虽然分子电流最终被实验证明并不存在，但是其概念雏形为解释固体材料里面的磁性起到了抛砖引玉的效果——磁虽然不是来自分子电流，但和材料里的电子运动脱不开关系。为纪念安培的贡献，后人将电流单位命名为安培，简写为A。

好了，我们现在知道，电，可生磁。那么，下一个问题自然是：磁，可以生电吗？

答案是肯定的。用实验事实回答这个问题的第一个人，是英国一位仅有小学二年级文凭的年轻人。他不是因为太笨而辍学，而是因为家里实在太穷了——铁匠老爸想让儿子早点出去打工，好挣钱养家糊口。可怜的孩子，小小年纪就到伦敦街上去卖报，去文具店站柜台，还去书店搞装订，不为什么，就为混口饭吃不被饿死。幸运的是，科学与贫富无关，穷人的孩子同样可以对科学感兴趣，甚至作出极其重要的科学贡献。这位叫做迈克尔·法拉第的孩子，利用他在书店打工的机会，

用他仅有的小学二年级语文水平，博览群书，特别是《大英百科全书》。法拉第对科学非常感兴趣，时下最火热的当属电学研究，他甚至自己捣鼓起简单的电学实验，还拉着小伙伴们一起讨论科学问题。看书不能满足他日益增长的好奇心，法拉第从19岁开始频繁出现在伦敦市里各种科学讲座现场。一位叫做戴维的大科学家用渊博的知识征服了法拉第，很快他就成为戴维爵士的铁杆忠实粉丝，精心记录他的每一次演讲，并用他的装订技术做成了一本《戴维讲演录》，寄给了他作为圣诞礼物。戴维显然被这位渴望科学知识的穷孩子粉丝感动了，事出凑巧，他在做化学实验时不幸把

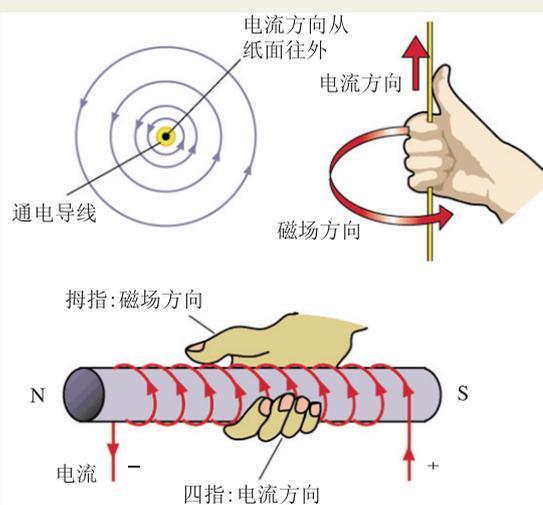


图2 安培右手螺旋定则(引自 <http://psat.yangtzeu.edu.cn/>)

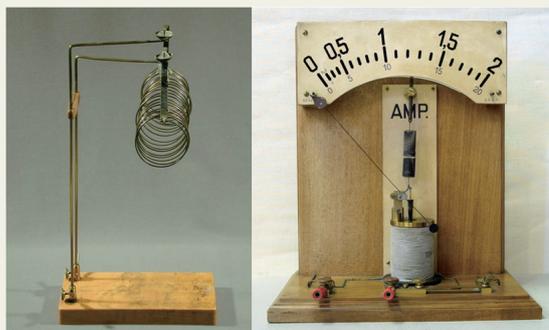


图3 安培实验用的螺线管和电流计(引自 <http://physik.uibk.ac.at/>, <https://en.wikipedia.org/wiki/Ampere>)

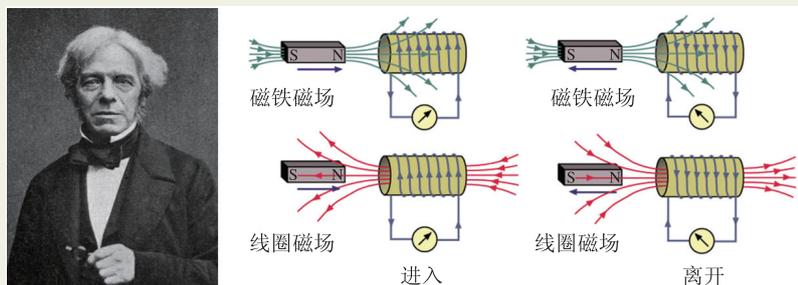


图4 法拉第与电磁感应现象(引自 https://en.wikipedia.org/wiki/Michael_Faraday, <http://psat.yangtzeu.edu.cn/>)

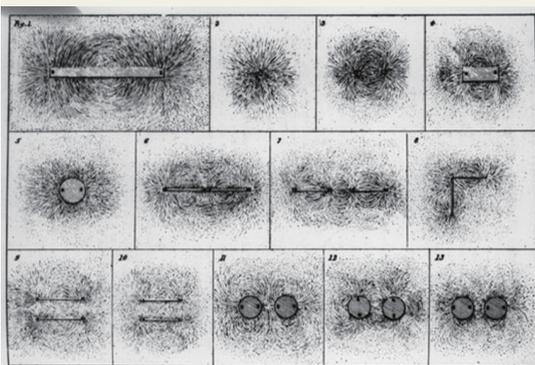


图5 法拉第手绘的磁力线图(引自 <http://discovermagazine.com/>)

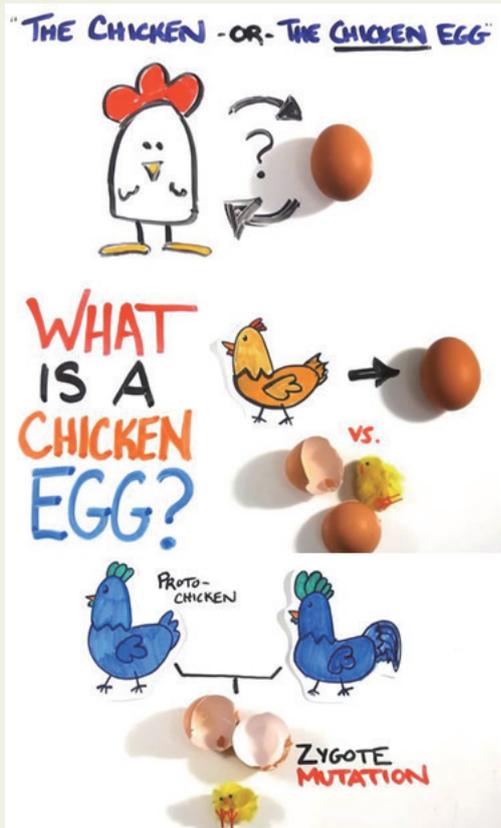


图6 先有鸡还是先有蛋?(引自 asapscience.com)

眼睛弄伤了，急需一名助手。法拉第同学就这样，从一个伦敦街头打工仔，变成了皇家研究所的科研助理。对其他人来讲，无非是换个地方打工，混饭吃的还是继续混饭吃。然而对于法拉第来说，接触到真正的科学就等于插上了梦想的翅膀。他毫不介意以仆人的身份陪戴维老师访遍欧洲科学家们，也从无怨言老师给的各种化学研究任务，在出色地完成一名科研助理工作的同时，他也努力继续着电学和磁学的实验。话说19世纪初的电磁学研究领域大多数都是些不愁吃穿的富家子弟，法拉第在紧衣缩食的情况下，以一个寒门子弟的身份，用大量的物理实验证实：磁可生电。

磁是如何生电的？关键还是三个字：动起来。既然运动的电荷会产生磁作用力，那么运动的磁铁也会产生电流。法拉第用磁铁穿过

安培发明的金属螺线管，发现磁铁在进入和离开线圈时会产生电流，也发现在两块磁铁间运动的金属棒会产生电压(图4)。法拉第把磁产生电的现象叫做电磁感应，后来美国的亨利研究了感应电流的大小与磁强度之间的关系。俄国的楞次总结出了电磁感应的规律，也就是楞次定律：感应电流的方向与金属棒和磁铁相对运动方向相关。为了更加形象地理解电磁感应现象，法拉第创造性地发明了“磁场”的概念。他认为磁铁周围存在一个看不见摸不着的“力场”，就像一根根的磁力线，从磁北极出发跑到磁南极结束。让金属棒做切割磁力线的运动，就会产生电压或电流，电流方向由磁力线与金属的相对运动方向决定。为了证实磁场的存在，法拉第在各种形状的小磁铁周围撒上了细细的铁屑，清楚地看到了铁屑的密度分布(图5)。力场的概念至今仍然是物理学的最重要理论基础，没有之一。法拉第凭借仔细的实验观察，非常形象具体地解释了电磁感应现象。翻开他的实验记录本，里面几乎找不到一个数学公式，都是一张张精美的手绘实验图表，让人一目了然。正是如此，法拉第的发现非常适合公众演示，他本人也是一个科普达人，组织过无数次科普讲座和演示，并编写了《蜡烛的故事》，成为科普典范，期待着某一个角落里的某一个孩子能够走上和他类似的科学之路。法拉第于1825年接任戴维成为皇家研究所的国家实验室主任，但是他拒绝了皇家会长的提名，也拒绝了高薪等一切会干扰科研工作的东西^①。为了纪念法拉第的贡献，后人把电容的单位命名为法拉第，简称为F。

动电生磁，动磁生电。多么妙的领悟！

然而，究竟是先有磁，还是先有电呢？如同一个古老争论不休的问

题，究竟是先有鸡，还是先有蛋呢？很多人认为当然是先有蛋再有鸡，因为原则上鸡和鸟类一样，都是恐龙进化而来，想当年恐龙时代，大伙都下蛋，就没有听说过什么叫做鸡！但是最近英国科学家发现有一种蛋白质只能在鸡的卵巢里产生，这下还是先有鸡比较靠谱。也就是说，得先有个叫做“原鸡”的动物，下了一个蛋，叫做“鸡蛋”（图6）。那么，有没所谓的“原磁”或“原电”呢？这才是产生电或磁的根源？

莫慌，莫慌，别凌乱。来自英国剑桥大学的天才，来告诉你答案。

剑桥大学三一学院，伟大的牛顿工作的地方，那里有砸中牛教授的苹果树，和万有引力的智慧，还有许多世界闻名的大科学家。有一天，数学教授霍普金斯去图书馆借一本数学专业书，发现已被一个刚来的年青人借走了。教授找到借书者，看到他正在笔记本上乱糟糟地摘抄书里面的内容，教授对这位年青人敢于读如此艰深的数学书而惊讶，同时善意提醒他记笔记要注意整洁性——这是学习数学的基本要求。年青人透露了他对数学的兴趣动力，因为他对刚读过的法拉第

《电学实验研究》十分感兴趣，但苦于找不到合适的数学工具来理解其中大量的实验规律。不久，霍普金斯将他收入门下攻读研究生，同门师兄还有大名鼎鼎的威廉·汤姆孙（开尔文勋爵）和斯托克斯。1854年，年仅23岁的他顺利闯过师兄斯托克斯主持的学位考试，毕业留校任职。有了强悍的数学功底，这位叫做詹姆斯·麦克斯韦的年青人正式开始了电磁学方面的理论研究。一年后，他用两个微积分方程描述了法拉第的实验，并发表了论文《论法拉第的力线》。又过了4年，

麦克斯韦转到伦敦国王学院任教，终于有机会前去拜访他的偶像——迈克尔·法拉第，这位比他大了整整40岁的著名科学家。一个是实验高手，一个是理论高手，巅峰对决，顶级交锋，思维的火花不断迸发。法拉第显然对微积分公式感到一片茫然，他赶紧提醒麦克斯韦，要让实验学家懂你的理论，最好建立一个物理模型。哥俩决定给这个模型取一个高大上的名字，叫做“以太”，源自亚里士多德，指的是天上除了水、火、气、土之外的另一种神秘东西。麦克斯韦做到了！

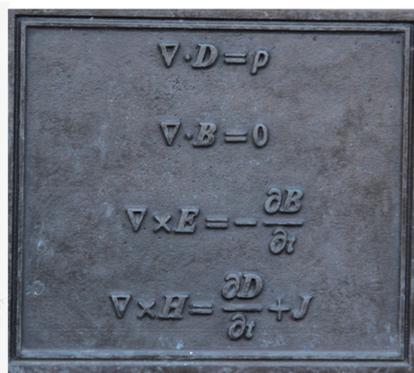


图7 麦克斯韦和他的电磁学方程组(引自 <http://voer.edu.vn/>, <https://commons.wikimedia.org/>)

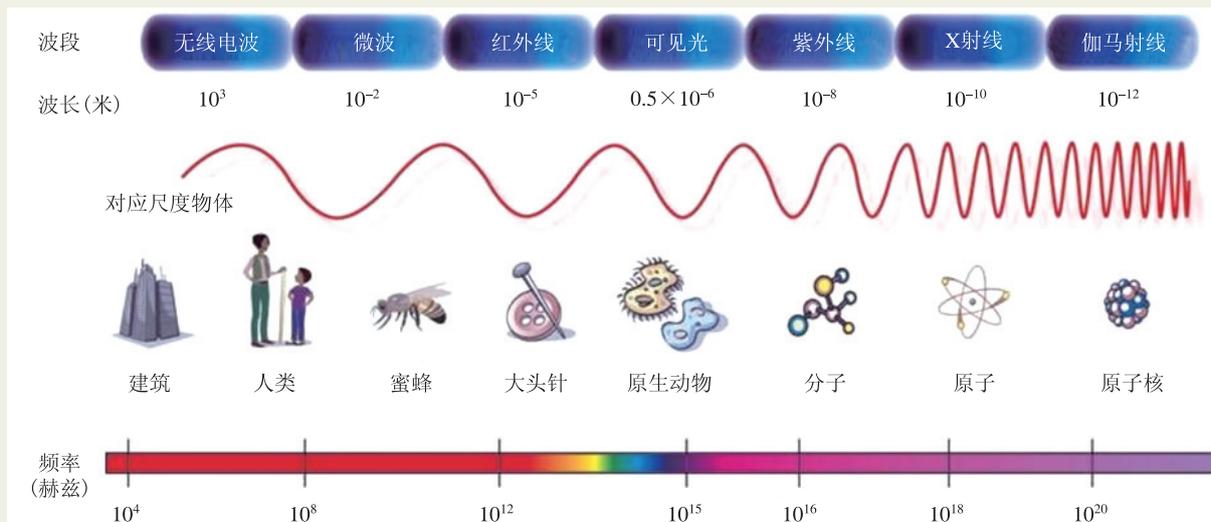


图8 电磁波谱(引自 <http://pansci.asia/archives/32191>)

他在接下来的论文《论物理学的力线》里，完成了另外两个描述电磁现象的公式。至此，麦克斯韦的“以太”模型世界里描述电磁理论的方程一共有四个，被称为“麦克斯韦方程组”，是物理学里面最优美的公式之一(图7)^[4]。

终于，无论是电生磁，还是磁生电，都可以用麦克斯韦方程组来解释。这些看不见摸不着的“超距作用”原来就是电场或磁场在作祟。然而事情没有那么简单，麦克斯韦发现，这个方程组可以预言一种既有电场又有磁场的东西，而且

传播速度是光速！接下来，他在《电磁场动力学》里用数学论证了这种“电磁波”(时称“位移电流”)的存在。也就是说，电和磁完全可以在一起，而且，我们天天看到的光，其实就是电磁波！这是何等大胆的推断！原来电和磁本来就可以不分家的，电里可以有磁，磁里也可以有电，他们同属于电磁相互作用。究竟是先有电还是先有磁的问题，在麦克斯韦方程组里不攻自破，既然俩娃都不分彼此了，那就甭管谁先谁后的问题了。

1873年，麦克斯韦完成《电磁学通论》一书，宣告电和磁相互作用被统一描述，成为继牛顿力学之后的第二个集大成者。一个16岁的德国科学家赫兹看到了这本书，决心找到麦克斯韦预言的电磁波。15年后，实验终于成功，电磁波被证实存在。再往后，马可尼、爱迪生、特斯拉、伦琴、劳厄等人的发现和发明让电磁波成为造福人类社会的重要利器(图8)。

故事远远没有结束。

尽管电和磁都统一了，但是电毕竟是电，磁毕竟是磁，两者细究起来还是有区别。话说，你吃个鸡和吃个蛋，味道能一样么？至于毛鸡蛋，味道更那啥不是。一个简单的问题，关于电，我们知道有正电荷和负电荷的

存在，但是关于磁，为什么没有听说过南磁荷和北磁荷的存在？事实是，我们至今没有发现过！一块条形磁铁无论你怎么切，每一块都是有南北极同时存在。仔细看麦克斯韦方程组就会发现，里面电场是有源的，而磁场是无源的。这……，何解？

1879年，麦克斯韦去世。同年，爱因斯坦出生。麦克斯韦方程组里提到的物理模型——“以太”，最终在19世纪末引发了物理学的一场革命，爱因斯坦是发起这场革命的中坚力量。再之后，相对论和量子力学建立，电磁学的研究进入到了一个崭新的时代。又是一个英国的年青人，叫做保罗·狄拉克，建立了一个相对论形式的量子力学波动方程——狄拉克方程(图9)^[5]。在这个方程里面，不仅存在带负电的电子(负电子)，也存在带正电的电子(正电子)，还预言了只有南极或北极的磁单极子。关于磁单极子的寻找，至今仍然是一个谜。虽然近几年科学家们在一种叫做自旋冰的固体材料里面发现了类似磁单极子的准粒子(图10)，但严格来说它并非是我们理解的单粒子，只是可以用磁单极子的理论来描述^[6]。

随着对微观世界认识的不断深入，人们逐渐了解到，宏观的电磁现象实际上都来自于材料内部微观电子的排布方式和相互作用模式。而电磁相互作用力，属于自然界四大基本相互作用力之一。关于电磁学的研究，一直在继续。



图9 狄拉克和刻在他墓碑上的方程(引自 https://en.wikipedia.org/wiki/Paul_Dirac)

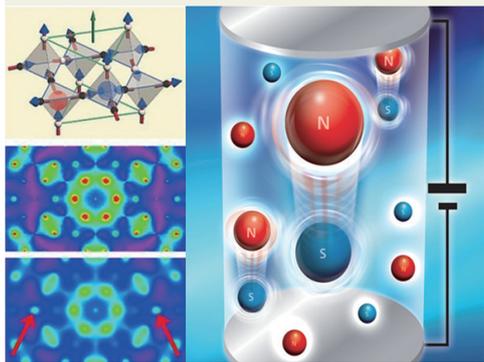


图10 自旋冰材料里的磁单极子(引自 <http://www.wired.com/>, <http://www.sciencedaily.com/>)

参考文献

- [1] 武夷山. 作家安徒生与科学家奥斯特的友谊. 科学, 2006, (4):26
 [2] 陈熙谋. 中国大百科全书(74卷(第二版). 2009
 [3] 中国教育文摘:迈克尔·法拉第. 2007

- 年11月6日
 [4] 朱照宣. 中国大百科全书(74卷(第一版).1985. p.353
 [5] Kragh H著, 肖明, 龙芸, 刘丹译. 狄拉克:科学和人生.长沙:湖南科学

技术出版社, 2009

- [6] Castelnovo C, Moessner R, Sondhi S L. Nature, 2008, 451:42