

大脑中的磁性物质^{*}

钱霞[†] 阮树仁 牟娟 盛淑芳 孙桂芳

(聊城大学物理科学与信息工程学院 山东聊城 252059)

摘要 很多生物体内存在磁铁矿粒子,人类大脑中同样存在磁性物质,并且测量结果表明,无论是成人还是胎儿,大脑的海马部位都表现出较明显的磁性,其他测量部位没有表现出超出仪器灵敏度的明显的磁性.这种生物体内磁性矿物可以作为“磁接收器”载体,并与生物的运动和记忆有着密切的关系.

关键词 生物, 大脑, 磁性物质, 磁接收器

Magnetosome in the brain

QIAN Xia[†] RUAN Shu-Ren MOU Juan SHENG Shu-Fang SUN Gui-Fang

(School of Physics Science and Information Engineering, Liaocheng University, Liaocheng 252059, China)

Abstract Magnetic particles are found in many living bodies. They are found in the human brain, and measurement results show that the hippocampi exhibit evident magnetism in both fetus and adult brains, while no such magnetism can be detected instrumentally at other positions. These magnetosomes in the living body can be used as a magnetic receptor, and have a consanguineous relationship with the motion and memory functions.

Keywords living body, brain, magnetosome, magnetic receptor

长期以来,人们一直关注并试图解释一些弱的、低频的磁场能够影响很多生物,甚至包括人类的现象.亚铁磁材料、磁铁矿 Fe_3O_4 (magnetite) 在很多生物体中的发现为这种现象提供了部分解释^[1-4]. 磁性矿物质最早是 20 世纪 60 年代在一种海洋软体动物——石鳖齿舌的主要横向牙齿中发现的,在随后的几十年中,又陆续在其他物种中被发现,如在趋磁细菌(图 1(b))、藻类(图 1(c))和鲑鱼中(图 1(d),(e)),等等;曾经生活在 40 亿年前火星陨星上的碳酸盐类水泡中也发现了磁化石(图 1(a)). 研究表明,2.1 亿年前地球中同样存在着磁化石^[5].

很多动物体内存在磁铁矿,地磁场的变化能够影响它们的行为,并可能对生物圈的演化产生影响. 实验表明,许多候鸟、鱼类和海龟等动物能够利用地磁场进行导航,进行上千公里的长距离迁徙,譬如鸽子;而这种生物体内磁性矿物被认为是生物利用地磁场导航的“磁接收器”载体. 早在 19 世纪,就有学者认为鸽子的定向和磁场信息的获得是相关的,它可以在夏季栖息场所和越冬场所之间进行准确的迁

徙. 科学家们认为,在这些过程中,地磁场和在鸽子头部存在着的磁铁矿粒子起到了重要作用. 鸽子利用磁铁矿粒子与地磁场的相互作用分析地球的磁场信息,并且把这些信息记忆下来,从而可以往返于它们在地球上的居住点^[6]. 2008 年, Kirschvink 在他的文章中也指出,在蝙蝠的可能性感觉细胞中含有可自由旋转的磁铁矿颗粒,可探测地球磁场^[7]. 同样的还有蜜蜂. 蜜蜂腹部存在磁铁矿粒子,这些磁铁矿粒子埋藏在滋养细胞中,滋养细胞又处于神经网络的包围中(图 1(f),(g)),这很容易让人联想到,这些磁性粒子与神经系统的作用导致蜜蜂对方向的认识和记忆^[8].

实验表明,这些生物体内的磁性物质几乎都是在生物体内自己合成的,且所有磁场感应器官的生物功能都来自于这些高度进化的,被包覆在感觉系统内的,单畴的亚铁磁晶体^[5].

^{*} 聊城大学博士科研发启动资金资助项目

2010-04-07 收到初稿;2010-10-12 收到修改稿

[†] 通讯联系人. Email: qianxia@lcu.edu.cn

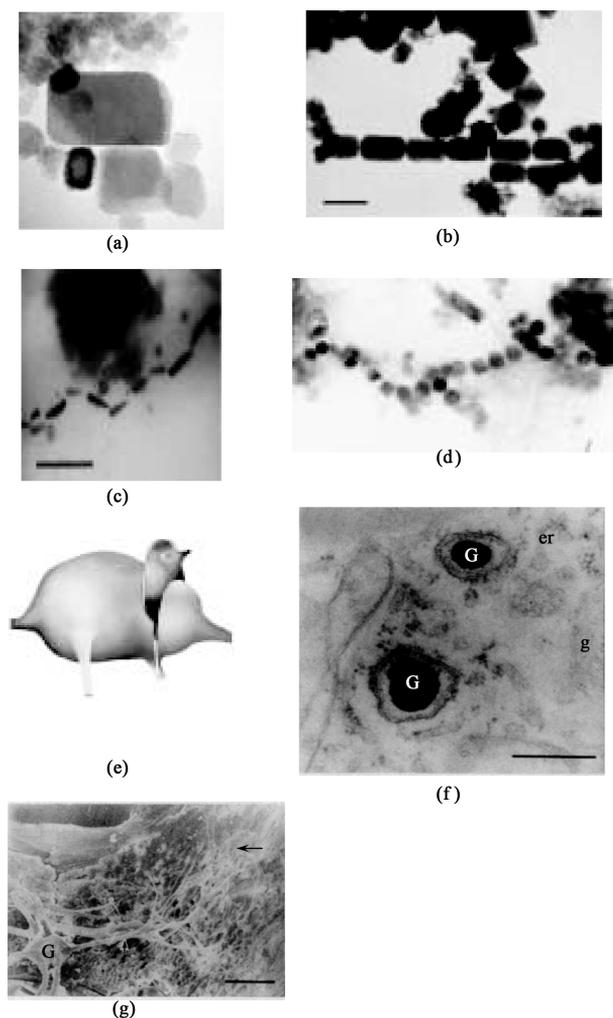


图1 以磁铁矿晶体为基础的磁接收器的几种关键的进化及进展过程 (a)最早报道的是40亿年前火星陨星上生活的碳酸盐类水泡中发现的磁化石,在地球发现的最早的磁化石是在2.1亿年前;(b)从趋磁细菌中发现的典型生物合成磁铁矿链;(c)真核藻类中发现的子弹形状的磁性物质;(d)北印地安鲑鱼前沿组织中发现的磁铁物质链;(e)由共焦显微镜制作的鲑鱼中以磁铁矿为基础的感官细胞的三维图像,其中一个包含磁性物质链的光学切片被分离出来,以显示它在细胞中的位置;(f)蜜蜂腹部的磁性颗粒;(g)蜜蜂腹部滋养细胞处的神经网络^[5, 8]

很多动物体内存在磁铁矿物质,在人类大脑中是否也同样存在磁性纳米粒子呢? 很多人认为,人类大脑中不存在磁性物质,比如,磁共振成像研究的前提假设之一就是人类大脑里不存在铁磁或亚铁磁物质^[9-11]. 人们用电子感应的副作用或可能的抗磁和顺磁之间的相互作用来解释人类处于静态的或极低频的磁场中显示出的某些不适应性;用热扰动来解释磁场对人类所产生的某些作用^[12-14].

然而,我们知道,具有地磁场强度的磁场所起的作用要远远超过热扰动所产生的影响,亚铁磁材料、磁铁矿 Fe_3O_4 在很多生物中都能通过生物矿化

形成. 亚铁磁材料与外磁场的相互作用比相同体积的抗磁和顺磁材料与外加磁场的相互作用要大100万倍还多^[15-18]. 同时,生物矿化形成的磁铁矿是在目前生物体中发现的,唯一能在室温下具有亚铁磁特性的材料^[19-20],因此,需要重新验证和评价人类大脑中是否存在磁性物质的问题. 为此,多个研究小组先后对此做了大量的实验,得到了一些结果,证明人类大脑中的确存在着磁铁矿粒子.

1992年,Joseph L. Kirschvink 等率先利用高灵敏度的超导量子干涉磁强计(SQUID)在干净的实验室环境里,在大范围的人类大脑组织中,发现了亚铁磁物质. 他们通过采用高分辨透射电子显微镜、电子衍射以及元素分析等方法辨认出,从溶解了的大脑组织中分离出来的铁矿物粒子属于磁铁矿-赤铁矿家族范围(图2). 实验结果还表明,在每克人类大脑组织中,至少存在500万单畴晶体,在每克软脑膜和硬脑膜中,则有大约100万磁铁矿粒子出现;并且这些粒子的磁特征数据表明,它们以大约50到100个成团分布. 成年人大脑的重量大约为1400克,刚出生的婴儿的大脑重量约为80克,按上面所说,成年人大脑中的磁铁矿粒子至少有 7×10^9 个,婴儿大脑中应至少有大约 3.5×10^7 个单畴磁铁矿粒子^[21, 22]. 实验证实,这些大脑中发现的磁铁矿粒子与先后在其他生物体中发现的磁铁矿粒子在晶体结构及外形上相似,而且几乎所有在生物体内的磁性物质的组织结构都有着惊人的相似.

为了进一步探讨磁性物质在大脑不同部位的分布状况、磁性物质含量是否随年龄增长而变化等问题,2002年,我们研究小组采用了超导量子干涉磁强计,对胎儿和老人大脑的额叶、颞叶、海马等多个部位的脑组织进行了等温剩磁测量(铁磁性物质和亚铁磁性物质所特有的特征).

综合对各个胎儿大脑不同部位的测量结果,得到的胎儿大脑的等温剩磁曲线如图3所示. 从图3可以看出,胎儿海马(颞叶)部位表现出明显的磁性,其饱和磁化强度大约为 $4.8 \times 10^{-5} \text{ emu}$,而其他部位则没有明显的磁性存在. 在我们的实验中,由于胎儿的脑发育尚未完全,颞叶和海马两部位没有分开,所以在图3中曲线1为颞叶和海马的共同测量结果,其他部位的测量结果与枕叶、顶叶等部位的测量结果在误差范围内相同.

图4为不同老人不同大脑部位的综合等温剩磁测量结果. 从图中可以看出,海马部位表现出了较明显的磁性,其饱和磁化强度大约为 $9 \times 10^{-5} \text{ emu}$,而

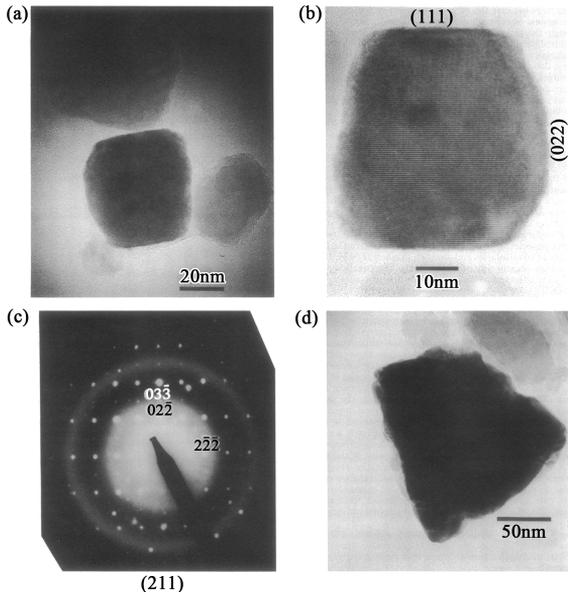


图2 人类大脑中的磁铁矿晶体的透射电镜图像和衍射图像(a)小粒子的聚集体;(b)磁铁矿粒子的高分辨透射电子显微镜图像,图中显示了(111)和(022)晶面,其中粒子长度方向沿着[111]晶向;(c)磁铁矿晶体沿着(211)晶面的电子衍射图像;(d)其中的一个磁铁矿晶粒^[21]

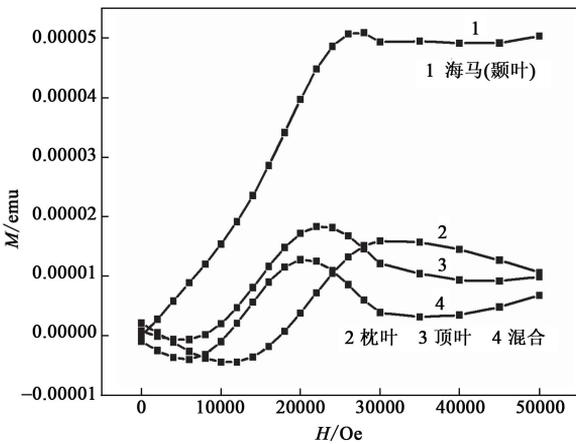


图3 胎儿大脑不同部位的等温剩磁曲线

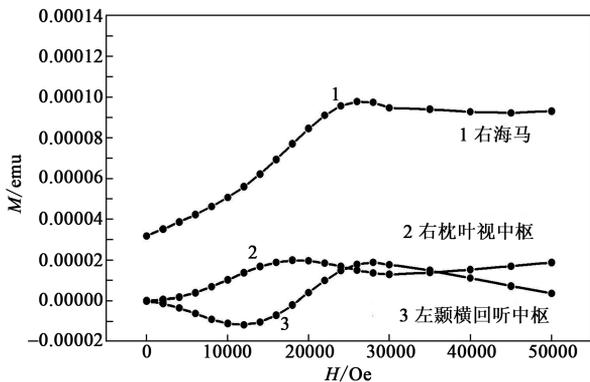


图4 老人大脑不同部位的等温剩磁曲线

其他部位则没有明显的磁性。

在我们实验中还可以得知,胎儿大脑海马(颞

叶)部位的饱和磁化强度大约为 4.8×10^{-5} emu,样品质量大约为 118mg,每克样品的磁化强度为 4.07×10^{-4} emu/g;老人大脑海马部位的饱和磁化强度大约为 9×10^{-5} emu,样品质量大约为 134mg,每克样品的磁化强度为 9.72×10^{-4} emu/g,所以胎儿海马(颞叶)部位中磁性矿物质的分布密度大约为老人海马部位中磁性物质分布密度的二分之一^[22]。

当然,单凭我们小组的实验结果,并不能证明存在于脑部的磁性物质是铁磁性的还是亚铁磁性的(磁铁矿 Fe_3O_4 是亚铁磁物质),而且由于分区中并没有包含硬脑膜和软脑膜,所以不能完全验证 Kirschvink 的实验结果。

总之,人类大脑中存在着磁性物质,无论成人还是胎儿,大脑的海马部位都表现出较明显的磁性,而其他部位则没有表现出超出仪器灵敏度的明显的磁性。

如果人类大脑中与其他生物体一样确定存在着磁铁矿物质,那么它又具有什么样的生物功能呢?

有报道指出,支配记忆力的是海马,外界送来的信息通过大脑的颞叶被送入海马,在海马停留一段时间后,被再次送到颞叶,在那里被作为记忆保管起来.海马发挥着根据重要性来筛选信息的调度作用,也可以说海马负责“短期记忆”.我们又知道,阿尔茨海默病(Alzheimer disease)是一种进行性发展的致死性神经退行性疾病,临床表现为认知和记忆功能不断恶化,随着年龄的增加,发病率增加,老年人发病率更高.实验证明,阿尔茨海默病患者脑部的铁含量比同样条件的其他健康人群要高出 3 倍(铁的存在形态还不是很清楚).医学还表明,铁水平升高与多种神经退行性疾病如阿尔茨海默氏症、帕金森氏症和亨廷顿疾病都有关^[23].在我们的实验结果中,海马部位表现出明显的磁性,其他部位没有明显的磁性,而且老人脑部含有的磁铁矿大于胎儿脑部的磁铁矿.考虑到磁性物质的磁存储功能及上述报道,能否认为大脑中磁性物质与大脑的短期记忆效应或许有着一定的联系呢?如果这些磁性物质参与到记忆功能中,那它们又是怎样具体参与的,这是不是一个普遍的现象?随着科学的进一步发展,这些问题一定会得到解决.当然,大脑中的这些磁性物质可能还有其他的生物功能,比如 Kirschvink 认为,它们或许可以解释磁共振成像 T1 值和 T2 值中的高场下饱和效应及低频作用下的生物效应^[22]。

参考文献

[1] Frankel R B, Blakemore R P. J. Magn. Magn. Mater., 1980,

18:1562

[2] Kirschvink J L, Gould J L. *Biosystems*, 1981, 13:181

[3] Lowenstam H A, Weiner S. *On Biomineralization*. New York: Oxford University Press, 1989

[4] Robert K A. *Bioelectromagnetics*, 1993, 14: 1

[5] Joseph L K, Michael M W, Carol E D. *Current Opinion in Neurobiology*, 2001, 11:462

[6] Charles W, James L G, Kirschvink J L. *Science*, 1979, 205:10279

[7] Richard A H, Joseph L K, Thomas G D *et al.* *PLoS ONE*, 2008, 3 (2):e1676

[8] Hsu C Y, Li C W. *Science*, 1994, 265 :95

[9] Mansfield P. J. *Phys.*, 1977, 10:55

[10] Mansfield P, Pykett I L. *J. Magn. Res.*, 1978, 29:355

[11] Pykett I L, Rzedzian R R. *Magn. Res. Medicine*, 1987, 5:563

[12] Wertheimer N, Leeper E. *Ann NY Acad Sci.*, 1987, 502:43

[13] Adair R K. *Phys. Rev. A.*, 1991, 43:1039

[14] Adair R K. *Health Phys.*, 1991, 61:395

[15] London S J *et al.* *Am. J. Epidemiol.*, 1991, 134:923

[16] Kalmijn A D J. *Experimental Evidence of Geomagnetic Orientation in Elasmobranch Fishes*, *Animal Migration, Navigation and homing*. Edited by Schmidt-Koenig and Keeton. New York: Springer-Verlag, 1978

[17] Lowenstam H A. *Science*, 1981, 211:1126

[18] Lowenstam H A, Kirschvink J L. *Magnetite Biomineralization and Magnetoreception in Organisms: A New Biomagnetism, Iron Biomineralization——a geobiological perspective*. Edited by Kirschvink J L, Jones D S, Mac F B J., New York: Plenum Press, 1985

[19] Yorke E D. J. *Theor. Biol.*, 1979, 77:101

[20] Kirschvink J L *et al.* *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 1992, 89: 7683

[21] Kirschvink J L *et al.* *Bioelectromagnetics Supplement*, 1992, 1:101

[22] 钱霞, 赵见高, 景小棠. *生物磁学*, 2002, 5:376 [Qian X, Zhao J G, Jing X T. *Biomagnetism*, 2002, 5:376 (in Chinese)]

[23] Hautot D, Pankhurst Q A, Khan N *et al.* *Proc. Biol. Sci.*, 2003, 270(Suppl. 1):S62—S64

• 物理新闻和动态 •

看到了最遥远的星系

最近,来自法国巴黎天文台的 M. D. Lehnert 等通过反复的光谱观察,确认了一个迄今为止最遥远的星系. 这个星系位于所谓哈勃超深场(Hubble ultra deep field)天区,与地球的距离大于 40 亿秒差距(1 秒差距=3.26 光年),而红移 $z=8.56$. 这一发现打破了先前对 γ 射线暴(gamma-ray burst)观察所保持的 $z=8.2$ 的高红移记录. 值得指出,对 γ 射线暴的观察只可能持续几个小时,因为其发光强度衰减极快;而这次观察持续了 16 小时,因为观察对象是一个可能包括 10 亿颗恒星的星系. 它形成于大爆炸之后的 6 亿年,原则上可以以我们今天见到的水平发光,持续数千万年. 根据前期哈勃太空望远镜光学和近红外成像,这个星系原已经被命名,叫做 UDFy-38135539.

由于在源和观察者之间存在星际间介质,其中的中性氢原子将吸收高能光子,以至于一个红移量为 z 的星系,在观测时不可能看到它发出的波长短于氢-赖曼- α 的红移谱线(其波长为 $0.1216(1+z)\mu\text{m}$). 应该指出:由于技术上的某些困难,上述红移量估计有大约 $z\sim 0.5$ 的不确定性(即误差). Lehnert 等的观察利用了位于智利的甚大望远镜阵列中的 SINFONI 积分场单元谱仪(integral field unit spectrograph). 对结果谱的分析表明,一条 $1.1616\mu\text{m}$ 的发射线,可以归于来自 UDFy-38135539 的氢-赖曼- α 发射,具有很高的统计置信度,但没有 100% 的把握.

Lehnert 等的工作代表了宇宙观察中的一个跨越式进展. UDFy-38135539 是第一个被发现的、完全处于重新电离周期的星系,这个周期发生在大爆炸之后的 6 亿年. 在此期间,来自宇宙早期发光体的辐射使得在大爆炸期间形成的氢原子重新电离. 电离氢(气体)可能以气泡的形式包围着 UDFy-38135539(半径大于 1Mpc, 即 1M 秒差距),以致于氢-赖曼- α 光子有足够的时间逃逸,避开吸收,进入到中性的星际间介质.

在哈勃超深场天区红移量大于 8 的 5 个可能的目标中,UDFy-38135539 的亮度居第三位,这对光谱收集是有利的. Lehnert 等表示,未来利用地基望远镜探测到 $z\sim 8$ 类似于 UDFy-38135539 的氢-赖曼- α 发射线的几率较小,只有 50%. 期待中的空基新手段主要是 James Webb 太空望远镜(James Webb Space Telescope, JWST),它将有能力应对许多观察方面的挑战,例如,排除地球大气发射线的干扰、缩短曝光时间,以及提高信噪比等. 有专家认为,天文工作者不应坐等先进的观察设备,而应该像 Lehnert 等那样积极进取.

(戴闻 编译自 *Nature*, 2010, 467:924 和 940)

• 读者和编者 •

《弹性理论》以旧换新启事

朗道、栗弗席兹的理论物理学教程第七卷《弹性理论》新译本将于今年出版. 凡已购买了 2009 年 3 月出版的该书旧译本读者均可以旧换新,办法如下:

请读者于 2011 年 3 月 30 日之前,将旧译本并附您的姓名、邮寄地址和联系方式,寄至北京市朝阳区惠新东街 4 号富盛大厦 1 座 15 层的高等教育出版社自然科学学术著作分社 王超 收;邮编:100029. 我们将向所附的地址回寄同等册数的新译本. 逾期(以邮戳日期为准)或地址不明恕不赔偿. 敬请读者理解与支持.

高等教育出版社自然科学学术著作分社
2011 年 1 月