

交叉磁学的新进展

李 国 栋

(中国科学院物理研究所,北京 100080)

本文在当代磁学研究深入、领域扩大和应用广泛的背景下,介绍了当前若干交叉磁学在科学研究和高技术应用方面的一些新的进展。目前,交叉磁学的研究和应用领域已经突破传统磁学的概念,而属于广义磁学的范畴。文中介绍的交叉磁学有:生物磁学、原子核磁学、基本粒子磁学(粒子磁学)、地磁学和天体磁学。

目前,一般提到的磁学主要是关于强磁性材料(简称磁性材料)的磁性来源、各种磁性能和磁效应等的研究和应用的科学,它不但在传统的电力、通信和仪器仪表等技术中得到广泛和重要的应用,而且也在信息、新能源、新材料、生物、空间和海洋等高新技术中显示出独特而重大的作用^[1]。但是,这种传统观念的磁学由于主要仅限于强磁性的研究和应用,因而使一般人认为磁性是少见的,磁性材料是种类不多的特殊材料,而习惯上把非强磁性材料称为“无磁性”或“非磁性”材料。

现代科学技术的发展已经揭示:任何物质都具有磁性,只是强弱不同;任何空间都存在磁场,仅有高低差别。从众多的科学实验和理论研究中已经认识到:小至原子、原子核和基本粒子的微观物质,大至地球、太阳和各种天体,都是具有磁性的;近自我们身体和生活的环境,远至太阳系、银河系和星际空间,都存在着磁场。这样,磁现象(磁性和磁场)的研究和应用已经突破了传统磁学的领域,而与众多的科学和技术互相联系,互相渗透,形成了很多交叉学科^[2]。图1示出一部分交叉磁学。同当代其他许多科学的发展一样,在从传统磁学向包括交叉磁学在内的当代磁学(广义磁学)发展的过程中,其显著的特点是研究更加深入,领域不断扩大,应用日益广泛,尤其在高新技术和科学前沿领域中表现出旺盛的生命力和难于估计的潜在力量。本文将对几个交叉磁学领域的若干新进展作一简明扼要的介绍。

物理

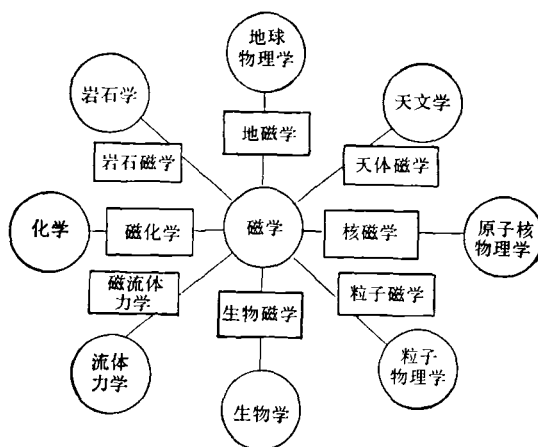


图1 磁学的一些交叉学科

一、生物磁学

生物磁学是研究物质磁性、磁场与生命活动、生物特性之间的相互联系和影响的交叉学科。它的主要内容有:(1)生物自身产生的磁场和生物磁性与生命活动的联系,称为(狭义)生物磁学;(2)外加磁场和环境磁场对生命活动的影响,称为磁生物学;(3)磁学方法和技术在生物学中的应用,称为生物磁技术;(4)生物磁学在工业、农业、医学 and 环境保护中的应用,称为应用生物磁学^[3-5]。

最近,对人体磁场的观测已逐渐从实验室研究推广到初步的临床诊断。人体的心、脑、眼

和肌肉等活动伴随有电子传递和离子移动,这些带电粒子的运动会产生电流和磁场,肺部残留的磁化强磁物也会产生磁场,这些磁场随时间的变化称为心(脑、眼、肌)磁图,类似于相应电场产生的心(脑、眼、肌)电图。这些磁图的强度很微弱(约 10^{-9} — 10^{-13} T, $1\text{T}=10^4\text{G}$)(表 1),

表 1 人体磁场和环境磁场的强度和频率

磁场源	磁场强度 $B(\text{T})$	磁场频率 $\nu(\text{Hz})$
心脏(正常)	$\leq 10^{-10}$	0.1—0.4
心脏(病变)	$\leq 5 \times 10^{-11}$	0
脑(正常)	$\leq 5 \times 10^{-13}$	交变
脑(癫痫)	$\leq 5 \times 10^{-12}$	交变
肌肉	$\leq 10^{-11}$	1—100
眼	$\leq 10^{-12}$	交变
肺(职业病患者)	$\leq 5 \times 10^{-8}$	0
基本地磁场	约 $(3-5) \times 10^{-5}$	0
磁暴干扰	5×10^{-9} — 5×10^{-7}	0.1—100
城市电磁干扰	约 10^{-7}	0.1—100

容易受地磁场(约 10^{-4} — 10^{-5} T)的干扰,但却反映了人体该部分的生理和病理状态,而且与相应的心(脑、眼、肌)电图比具有无电极接触干扰,能进行交、直流分量和三维空间的测量(电图只能进行交变分量和二维空间的测量),以及分辨率较高等优点。由于高灵敏度磁强计[如超导量子干涉式(SQUID)磁强计]和多层磁屏蔽室的应用,或直接应用 SQUID 梯度磁强计,或应用多道 SQUID 磁强计,大大促进了人体磁图的研究和应用。例如,对心室肥大症和高血压症的确诊率,心磁图已分别达到 55% 和 40%,而心电图仅有 13% 和 20%。又如,我国已经建成居世界前列的多层大型磁屏蔽室(图 2),已用于气功师发功时其发功部位磁场有否异常的研究。

一般生物体组织都由弱磁性(抗磁性和顺磁性)物质构成,但从 70 年代中后期起,却相继在一种水生细菌、蝴蝶、蜜蜂、鸽子和海豚中发现微量的强磁性 Fe_3O_4 ; 进一步研究表明,这种细菌在水中循地磁场方向游动(称为向磁性)与体内的 Fe_3O_4 微粒有关;微粒直径约 50nm,正符合单磁畴的要求,而微粒过大(产生多磁畴)

或过小(产生超顺磁性),都将减弱细菌的向磁性功能。弄清楚这种微生物产生磁微粒和磁导向的机制,是十分有意义的。

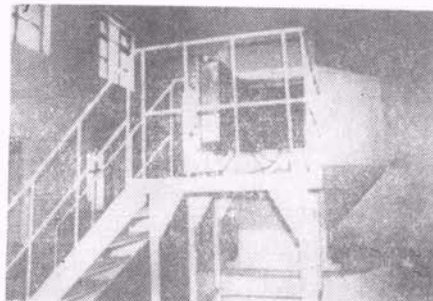


图 2 我国 1989 年建成的大型(约 8m^3)多层磁屏蔽室

利用一定强度的磁场治疗疾病(称为磁疗)是目前国内应用较广的一种物理疗法。大量的临床实践表明,磁疗对于消炎肿、治疗扭伤和小儿斜颈、腹泻等多种疾病具有较为显著的疗效,其特点是设备和操作简单、无副作用。但磁疗的机制目前尚未很好解决,是需要多方面进行探讨和研究的。

此外,利用高梯度磁分离和施加“磁性种籽”的磁分离技术可以分离血液中的红血球和白血球;利用核磁共振成像技术(将在下节中介绍)诊断疾病等都是生物磁学中重要的新进展。

二、原子核磁学

原子核磁学是研究和应用原子核的磁性与核结构和核的化学环境的关系,介于原子核物理与磁学之间的交叉学科^[6]。在元素周期表中,92 种天然元素中约有 80 种元素的原子核具有核磁矩(一种元素可能有几种同位素具有不同的核磁矩)。例如氢的三种同位素 ^1H , ^2H 和 ^3H 的核磁矩(括号中为天然丰度)为: 2.79 (0.99985), 0.86(0.00015)和 $2.98 \mu_N(0)$, μ_N 为核磁子。原子核的磁矩是很微弱的,仅约为原子(实际上为电子)磁矩的 0.1% 或更低,这是因为原子核的质量比电子约重 10^3 倍或更高的缘故。因此在一般情况下,可以略去原子核的

磁性(磁矩),但在一些特定情况下,原子核磁性却起着重要的作用^[6-8]。例如,利用核磁共振探测物质微观结构^[7],利用核绝热退磁获得超低温,以及一些物质在超低温下实现核磁有序等^[6]。

具有核磁矩的物质在一定的恒定磁场和交变磁场同时作用下,会对这交变电磁场产生强烈的共振吸收现象,称为核磁共振。不同的核和同种核在不同的微观环境(化学环境)中会产生不同的共振谱线,好像不同的人有不同的特征“指纹”一样。因此可以利用核磁共振谱来认证和确定各种物质的组成、结构、构像、状态和变化过程等,在物理、化学、生物、地学、医学和工农业生产上都有广泛的应用。例如,乙醇(酒精)(C_2H_5OH)的氢核(1H)核磁共振谱具有强度比为3:2:1的三条谱线,正好反映 CH_3 , CH_2 和 OH 三种化学基团的特点;又例如,利用核磁共振谱研究活体的白内障病变的生物化学过程,比较活体正常组织与肿瘤组织的谱差异,都能获得有关的重要信息。

在核磁共振基础上,进一步采用梯度磁场扫描和电子计算机层析成像(CT)技术^[8],可以得到人体、生物和材料内部某种核(目前应用的还仅限于氢核 1H)的浓度和状态的截面像,并可由此获得立体像和假彩色像。这对于人体内病变的诊断和物质内部结构的观测都极为有用,而且这种成像方法没有X射线层析成像对人体的电离辐射伤害作用。目前,核磁共振层析成像技术已在国内外医学诊断上得到重要的应用,也正在进一步向提高磁场(已达4T)和提高分辨率,扩大成像核的种类(如 ^{13}C , ^{31}P 和 ^{23}Na 等),以及开拓电子自旋共振层析成像等方面发展。我国已经研制生产了永磁式和超导式的核磁共振层析成像仪,并在临床诊断中得到应用。

同利用顺磁物质的绝热退磁方法获得mK级的超低温一样,利用原子核的绝热退磁方法,已可产生 μK 级甚至纳开(nK)级的超低温。这是目前能获得 μK 和nK级超低温的唯一方法。1989年芬兰学者和我国访问学者殷实共同创造了核自旋系统达2nK的世界纪

物理

录。

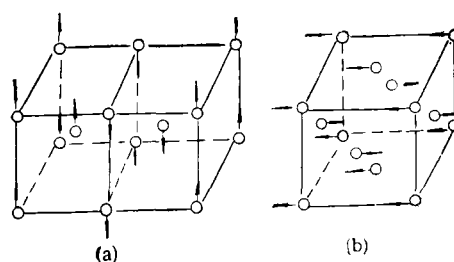


图3 (a) 固态 3He 核在约mK和(b)Cu核在约16nK的核磁(矩)有序

在超低温下,原子核间的交换作用和磁偶极相互作用已可能克服热骚动作用而形成核磁矩有序^[6]。例如,目前已发现固态 3He 核[图3(a)]在mK级, CaF_2 和LiH的F, Li和H核在 μK 级,Cu核[图3(b)]在nK级的超低温下产生核磁矩有序。这是同一般磁性材料的电子磁矩有序相似的,其研究具有创新和重要的科学意义。

三、基本粒子磁学

基本粒子磁学是研究和应用构成物质的各种基本粒子的磁性与粒子结构性能等关系的,介于粒子物理学与磁学之界的交叉学科^[9,10]。目前,许多基本粒子和复合粒子的磁矩已经从实验上测定,或者从理论上计算出来,有的与实验符合,有的尚待实验证实。表2列出一些基本粒子的磁矩和有关物理参量的实验值或理论值(加**号),可以看出:如果中微子的静质量不为零,则中微子将具有微弱磁矩。而中微子的静质量问题是当前正在热烈从实验上探测和理论上探讨,并涉及太阳中微子之谜和宇宙演化等的重大科学问题。

值得注意的是构成原子核的中子虽没有电荷,但却有磁矩($-1.91\mu_N$)。这已可以从目前粒子物理学理论得到解释:中子是由一个u夸克和二个d夸克组成的,这三个夸克的电荷虽然互相抵消,但它们的磁矩却未完全抵消。

目前基本粒子磁学中,仍在积极从实验上

表 2 一些基本粒子的磁矩和相关参量

名称	质量 m	寿命 τ (s)	自旋 $I(\hbar)$	磁矩 μ^*
电子 (e)	$1m_e$	稳定	1/2	$1.001\mu_B$
μ 子 (μ)	$206.7m_e$	2.2×10^{-6}	1/2	$8.88\mu_N$
τ 子 (τ)	$3500m_e$	2.6×10^{-12}	1/2	—
电子中微子 (ν_e)	$<0.0005m_e$	稳定	1/2	$1.25 \times 10^{-27} m(\nu_e) eV/G$
μ 子中微子 (ν_μ)	$<0.0005m_e$	未定	1/2	$1.85 \times 10^{-27} m(\nu_\mu) eV/G$
τ 子中微子 (ν_τ) (?)	$<490(?) (m_e)$	—	1/2	—
u 夸克	$0.331 GeV/c^2$	—	1/2	$1.8875\mu_N$
d 夸克	$0.331 GeV/c^2$	—	1/2	$-0.9348\mu_N$
s 夸克	$0.510 GeV/c^2$	—	1/2	$-0.6318\mu_N$
W^\pm 玻色子 (W^\pm)	$81 GeV/c^2$	—	1	$\frac{e}{2m_W} (1+k)^{**}$

* 玻尔磁子 $\mu_B = 9.27 \times 10^{-24} J/T$, 核磁子 $\mu_N = 5.05 \times 10^{-27} J/T$; k ——磁矩参量又称 g 因数反常因数。

探测和从理论上探讨的一种磁性基本粒子是磁单极子^[11]。根据早期的 Dirac 磁单极子理论, 在磁单极子 (N, S 为相当于正、负电荷 $+e$ 、 $-e$ 的正、负磁荷) 存在并设磁荷密度为 ρ_m 、磁流密度为 J_m (相当于电荷密度 ρ_e 和电流密度 J_e) 的情况下, 不对称的 Maxwell 电磁方程组 (左边) 将变为对称的 Maxwell-Dirac 电磁方程组 (右边):

$$\begin{aligned} \operatorname{div} \mathbf{E} &= \rho_e, & \operatorname{div} \mathbf{E} &= \rho_e, \\ \operatorname{div} \mathbf{B} &= 0, & \operatorname{div} \mathbf{B} &= \rho_m, \\ \operatorname{curl} \mathbf{B} - \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} &= \mathbf{J}_e, & \operatorname{curl} \mathbf{B} - \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} &= \mathbf{J}_e, \\ \operatorname{curl} \mathbf{E} + \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} &= 0, & \operatorname{curl} \mathbf{E} + \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} &= -\mathbf{J}_m, \end{aligned}$$

其中 E 为电场强度, B 为磁通密度。Dirac 还证明

$$g \cdot e = n \left(\frac{\hbar c}{2} \right),$$

其中 g 和 e 分别为单位磁荷和电荷, n 为正整数, $\hbar = 2\pi\hbar$ 为普朗克常数, c 为光速。这就又解释了磁荷和电荷的量子化。磁单极子理论的进一步发展, 研究微观世界的大统一理论和研究宇观世界的极早期宇宙学都应有超重磁单极子 (质量约 $10^{23} eV/c^2$) 的存在。磁单极子 (N, S) 和电荷 (电单极子, $\pm e$) 的静场分布 (图 4) 和运动感生场 (图 5) 具有相似的性质。半个多世纪以来, 不断地从高能加速器, 海底和古老岩石, 宇宙线, 陨石和月岩等探测磁单极子, 真可

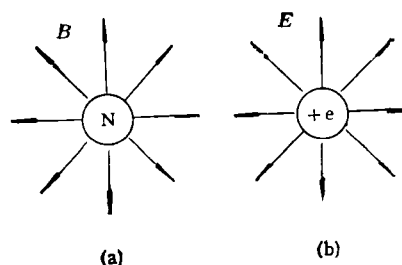


图 4 (a) 静止正磁荷 (N) 和 (b) 静止正电荷 (+e) 产生的静磁场 B 和静电场 E

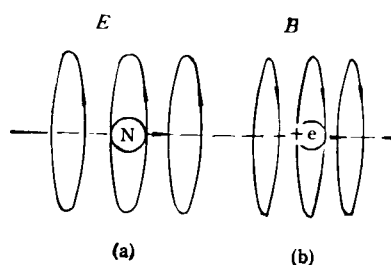


图 5 (a) 运动的正磁荷 (N) 和 (b) 运动的正电荷 (+e) 产生的电场 E 和磁场 B

谓“上穷碧落下黄泉”, 但只有 1975 和 1982 年两次磁单极子事件报道而尚未经重复验证。目前各种磁单极子探测实验都尚未得到肯定的结果, 由此推出的磁单极子密度上限为 (90% 置信度): $3.8 \times 10^{-13} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{Sr}^{-1}$ (1990)。但是, 由于磁单极子涉及微观世界和宇观世界研究的重要问题, 因而一直受到实验和理论的高度重视。

粒子物理学理论还提出过一种双荷子

(dyon) 理论,假设这种基本粒子具有电荷和磁荷(不是磁矩!),但是目前也没有发现这种粒子。

关于电子和 μ 子磁矩的测量不但是目前最精确的测量,而且也是与量子电动力学等理论符合得最好的结果。下面是最近关于电子和 μ 子由磁矩得到的 g 因数反常因数 α 的实验测量值 α_e 和理论计算值 α_t 的结果:

$$\alpha_e(\text{电子}) = 1159652410(200) \times 10^{-12},$$

$$\alpha_t(\text{电子}) = 1159652400(400) \times 10^{-12},$$

$$\alpha_e(\mu\text{子}) = 1165924(8.4) \times 10^{-9},$$

$$\alpha_t(\mu\text{子}) = 1165851(2.3) \times 10^{-9},$$

括号中为误差值。从上面的结果可以看出:磁矩实验测量得这样精确,实验与理论符合得这样好,在现代科学中是极为罕见的。这也说明粒子磁性研究的重要性。

利用基本粒子磁性发展了一些重要的新技术,如利用中子磁矩的中子衍射和散射技术可以研究物质晶体结构、磁结构和多种磁性;利用 μ 子磁矩的 μ 子自旋旋转(进)(μ SR)技术可以研究多种磁性体、磁性超导体和其他固体的内磁场及相关问题。

四、地磁学

地磁学是研究地球磁场和磁性的起源、变化以及与其他地学问题的联系,介于地球物理学与磁学之间的交叉学科。近年来地磁学的新发展,不但大为丰富了地磁学的内容,解决了一些重大的地学问题,而且在一定程度上对确立新的地球观起了十分重要的作用^[12-14]。地磁场是随时间(表3)和空间变化的矢量场。

从不同地质时期不同大陆地区的古岩石磁性的测量,可以确定该岩石从熔融状态冷凝时的地磁场方向和强度等地磁参量。这样的古地磁研究结果表明:相同地质时期不同大陆地区测得的地磁极位置,有的很不相同,甚至远离南北极区;相同大陆地区不同地质时期的岩石磁化方向相反。在大量观测结果的积累和分析基础上,提出并证实了“大陆漂移”和地磁场反向

物理

表3 地磁场变化的主要时间谱

由地球内部因素引起的变化		
变化种类	周期	变化幅度 (10^{-9}T)
(1) 最小可测周期	3.7 年	—
(2) 磁极移动	10^3 — 10^4 年	—
(3) 磁极性转变	10^3 — 10^4 年	约 10^3
(4) 主偶极矩振荡	约 10^4 年	—
(5) 长期磁场变化	10^3 — 10^4 年	—
(6) 磁极性反转间隔时间	10^3 — 10^7 年	—
由地球以外因素引起的变化		
变化种类	周期	变化幅度 (10^{-9}T)
(1) 磁暴	几小时—几天	约 10^2 — 10^3
(2) 太阳日变化	24 小时	约 20—30
(3) 太阴(月)日变化	约 25 小时	约 1—2
(4) 太阳 27 日自转周期变化	27 日	—
(5) 年变化	1 年	—
(6) 太阳黑子变化	约 11 年	—

的学说。例如,喜马拉雅山便是由原在南半球的印度次大陆向北漂移在约 5—7 千万年前与欧亚大陆相碰撞挤压隆起的结果,这可由山上的海洋生物化石和目前仍在缓慢上升的事实所证明。基于地磁场反向已发展出古地磁年代学的纪年方法,用这方法定出的北京猿人、蓝田猿人和元谋猿人的年代与其他方法测定的结果相符合。

对太平洋、大西洋和印度洋的地磁场详测发现,在三大洋的海岭两侧的地磁场呈左右对称的起伏现象。经过仔细分析和模型模拟,提出了“海底扩张”学说,即认为地球内部从海岭喷出的炽热岩浆在冷凝时受到当时地磁场磁化,随后新岩浆不断喷出,把已磁化的旧岩石向两侧推挤。由于地磁场经若干年后反向,因此海岭岩石便呈现磁化方向的变化,岩石好像磁记录带记录下地磁场的周期性反向变化。海底岩石扩张到两侧大陆而沉没到大陆下面,重入地球内部而熔化。海底未发现很古老的岩石是海底扩张的有力证据。

由大陆岩石和海底岩石磁性的系统观测有力地证实了“大陆漂移”和“海底扩张”学说,在这两大学说基础上建立了新地球观的“板块学

说”，即认为地球表面岩石圈是由若干巨大的“板块”（如欧亚板块、非洲板块和太平洋板块等）构成，板块接触处很不稳定，形成大地震带，如环太平洋地震带和喜马拉雅地震带等。磁法勘探也是研究地质构造和普查重要矿产的一种常用的地球物理方法。

这样可以看出：地磁场及其引起的效应提供了极为重要的地球构造和演化的信息。因此，由古地磁学和考古磁学研究古代地磁变化，从陆地、海洋、高空和空间研究地磁情况，都具有重要的科学意义和实际应用价值。

地磁场是怎样产生的？地磁场为什么会反向？它们是地磁学中至关重要的基本问题。曾经提出过永磁体说、电流说、温差电说、Hall效应说和旋转效应说等十多种假说^[14]。目前一般接受的是“磁流体发电机”（简称“发电机”）学说，认为是地球内部的液态金属（主要是铁）流动时切割磁力线引起的感应电流又产生磁场，由磁场正反馈和电流损耗两种相反的作用维持动态平衡。关于地磁场反向的机制近年也提出过近十种假说^[15]，除一种认为是银河系旋涡臂干扰外，其他都来自地球内部的原因^[15]。

五、天体磁学

天体磁学是研究天体和星际磁场与天体和宇宙结构及相关问题的，介于天体物理学与磁学之间的交叉学科^[16-18]。由于观测波段的扩展和空间宇航技术的发展，天体磁学已从单纯可见光谱塞曼效应的应用扩大到多种效应的研究及磁场的直接测量。大量观测和研究结果表明，宇宙不但处处有磁场（表4），而且有目前已知最强和最弱的磁场，是地球上难于甚至不能达到的超弱磁场和超强磁场的“天然实验室”。

长期的观测研究表明，太阳表面的主要活动（如黑子、耀斑、日珥和太阳风等）都是与太阳磁场有关的活动，而这些活动是影响新创的为空间通信和宇航服务的“宇宙天气学”的重要因素，也对地球上的极光、无线电通信和气候等产生影响。最近我国已建成具有世界先进水平的

表4 一些天体和星际空间的磁场

磁场源	磁场强度 $B(T)$
地球	约 $3 \times 10^{-5} - 5 \times 10^{-5}$
太阳一般磁场	约 10^{-4}
太阳黑子磁场	约 $10^{-1} - 1$
月球	约 $10^{-9} - 10^{-7}$
水星	约 2×10^{-7}
金星	$< 10^{-8}$
火星	约 10^{-8}
木星	约 4×10^{-4}
土星	约 2×10^{-5}
磁(恒)星	约 $10^{-1} - 1$
白矮星	约 $10 - 10^2$
脉冲星(中子星)	约 $10^8 - 10^9$
行星际磁场	约 $10^{-9} - 5 \times 10^{-9}$
恒星际磁场	约 10^{-10}
星系际磁场	$\leq 10^{-12}$

观测太阳磁场分布的太阳磁场望远镜。

60—70年代的 Apollo 宇宙飞船的登月活动，在其众多的科学观测研究中，也观测了月球表面和月球高空的磁场，还研究了多种月岩的磁性，由此不但可以推断月球内部全为固体，不像地球内部有液态地核，而且还提供了月球磁场起源的重要根据。这项研究表明天体磁场可以提供天体表面和内部构造的丰富信息，这是目前其他天体观测方法还难于做到的。

70年代宇宙飞船经过木星附近时，观测到这颗太阳系最大的行星具有比其他行星强得多

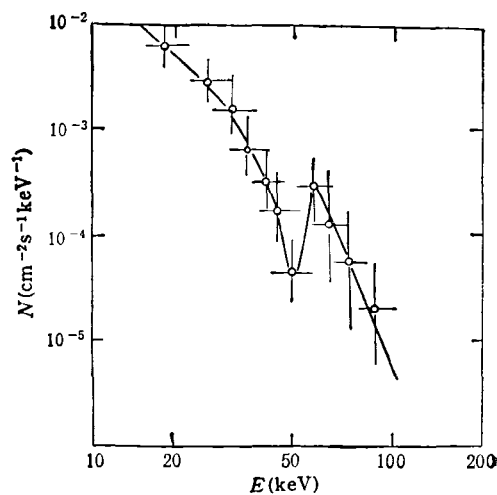


图6 武仙座 X-1 脉冲双星发射的 X 射线谱

的磁场(表4),因而推测木星内部有金属氢存在。

首先由射电天文学发现(1981)的脉冲星及相关研究曾获得1974年的Nobel物理学奖。从多波段观测和理论研究,脉冲星是恒星演化到晚期的具有超高密度、超高压力和超强磁场(约 10^8-10^9T)的中子星。后来由武仙座X-1脉冲双星发射的X射线谱中的锐峰(图6),推知为电子在强磁场(约 $5 \times 10^8\text{T}$)中的回旋共振谱线,与理论预言相符合。这是目前观测到的最强磁场。

天体和星际磁场是怎样起源的?目前主要有两种学说:一种是“磁流体发电机学说”,它类似于地磁场起源,但流体可以是等离子体(子)体和导电流体;另一种是“化石磁场学说”,即宇宙演化初期就存在微弱磁场(可由不均匀电荷流或磁单极子产生),由于电导率高和尺度大使磁场衰减(扩散)时间远长于宇宙演化时间而保留下来,又由于星体凝聚收缩而增强。

[1] 李国栋,百科知识, No. 8 (1984), 622.
[2] 宋德生、李国栋,电磁学发展史,广西人民出版社, (1987).
[3] S.J. Williamson (ed.), Biomagnetism: An Inter-

disciplinary Approach, New York, Plenum (1983).

[4] [美] F.L. 辛克勒著,曾治权等译,地磁场和生命,地质出版社,(1985). [俄文本: A.П. Дубров, Геомагнитное Поле и Жизнь, (1974); 英文本: F. L. Sinclair, The Geomagnetic Field and Life, (1978).]
[5] 李国栋,生物磁学及其应用,科学出版社,(1983).
[6] A. Abragam and M. Goldman, Nuclear Magnetism: Order and Disorder, Oxford, Clarendon Press, (1982).
[7] M. Mehring, Principles of High Resolution NMR in Solids, Berlin, Springer, (1983).
[8] P. Mansfield and P. G. Morris, NMR Imaging in Biomedicine, (1982).
[9] С.В. Вонсовский, Магнетизм Микрочастиц, (1973).
[10] N.S. Craigie et al.(ed.). Monopole in Quantum Field Theory, Singapore, World Scientific Publishers, (1982).
[11] 李国栋,百科知识, No. 9(1982), 45.
[12] [英] D.H. 塔林 (Tarling), 同书名翻译组译,古地磁学的原理和应用,地质出版社(1978).
[13] [美] V 瓦奎尔 (Vacquier), 于联生等译,海底地磁学,科学出版社,(1984).
[14] 李国栋,自然杂志, 7-11(1984), 854; 7-12(1984), 914.
[15] J.A. Jacobs, Phys. Reports C, 26(1976), 183.
[16] E.N. Parker, Cosmic Magnetic Fields, Oxford, Clarendon Press, (1979).
[17] Beck, R. et al., Interstellar Magnetic Fields, Observation and Theory, Berlin, Springer, (1987).
[18] 李国栋,天文学参考资料(上海天文台), No. 4(1977), 43.

关于召开“物理学人才问题”座谈会的通知

在今年3月5日召开的中国物理学会第五届全国会员代表大会上,上届理事长黄昆先生在他的工作报告中指出:

“尽管几年来全国的物理学事业蓬勃发展,学会的工作在大家的努力下,在各方面都做了大量的工作,取得很大的成绩;然而,我们也面临着一些对我国物理学事业今后发展有重大影响、为广大物理工作者十分关注的严重问题。这就是社会对物理学的认识和重视问题,支持物理事业的经费紧张问题,人才与队伍的问题(一般称为‘人才断层’问题)。这些问题不需要多作解释,是大家都十分了解的。”

常务理事会在讨论这个工作报告时,强调应当提出这些问题,并不是说,我们学会就能解决这些问题,但是应当代表广大的物理工作者,就这些问题提出呼吁,希望得到社会上和有关领导的重视。另一方面,也是希望强调在今后应想方设法,通过学会各方面的工作,

为推动这些问题的解决,多作些工作。……

黄先生的这段话在代表大会上引起了很大的反响,讨论时许多代表对这些问题表示关切,要求中国物理学会作些努力,以利于改善当前的状况。现在我们决定委托《物理》杂志举办一个“物理人才问题”征文活动(详见该杂志编委会的启事),为此我们敦请各省(市)物理学会和各地理事以及《物理》杂志各地的编委作配合,组织分散的“物理学人才问题”小型座谈会。一方面可将会上的发言整理成文应征,另一方面,若发现有特别精彩的内容,还可专门组稿。日后在征文的基础上,我们将和《物理》杂志编辑部一起,进一步组织力量写作更有份量的文章,争取在全国性报纸上发表,以引起各界广泛的重视。

中国物理学会
1991年7月