

23.6nm 的软 X 射线激光的增益饱和输出^[4]。随后, LLNL 使用薄膜靶实现了类氙 Se 离子的 X 射线激光(波长为 20.6nm 和 20.9nm)的增益饱和输出。中国的研究工作者用平板厚 Ge 靶也得到了很好的结果^[5]。

大量的理论计算和实验结果证明, 采用电子碰撞激发机制不可能在现有的激光装置上产生波长比 20nm 短得多的饱和增益 X 射线激光。工作在“水窗”波段的饱和 X 射线激光需要泵浦激光能量至少大于 10kJ(图 5)。因此, 要想实现 X 射线激光的第二个目标, 必须采用其他的对泵浦激光能量要求较低的机制, 或对电子碰撞机制进行重大修改才有可能。

令人高兴的是, 近一两年来, 世界范围对这

个方面的探索研究都非常活跃, 取得了一系列振奋人心的重大进展, 为在“水窗”波段实现增益饱和输出的 X 射线激光带来了巨大的希望。这几方面的进展, 我们将在另一篇文章中论及。这另一篇文章将在本期稍后发表。

参 考 文 献

- [1] D. L. Matthews and M. D. Rosen, *Scientific American*, 259-6 (1988), 60.
- [2] B. J. MacGowan et al., *Phys. Fluids B*, 4(1992), 2326.
- [3] P. Hagelstein, *Plasma Physics*, 25(1983), 1345.
- [4] A. Carillon, *Phys. Rev. Lett.*, 68(1992), 2917.
- [5] 王世绩、顾授、傅思祖等, *中国科学 (A 辑)*, 2(1991), 151.

中子散射与 1994 年诺贝尔物理奖¹⁾

孙 向 东

(中国科学院物理研究所, 北京 100080)

摘要 中子以它特有的性质, 使它成为继 X 射线和电子衍射之后的又一研究微观物质结构的有效方法。由于中子散射技术的发展, 人们才得以在声子色散曲线和同位素效应的研究等方面有所收获。中子散射可以说是对 X 射线衍射和电子衍射的一个重要的和不可缺少的补充。Shull 和 Brockhouse 由于在这一领域中的杰出贡献而获得 1994 年诺贝尔物理奖。

关键词 中子, 散射, 结构

Abstract Neutron scattering is an efficient method for detecting the microstructure of matter by which we can study, for example, details of the phonon spectrum in solids, and the isotopic effect. Bertram N. Brockhouse and Clifford G. Shull earned the Nobel physics prize in 1994 for their significant contributions in this domain.

Key words neutron, scattering, structure

瑞典皇家科学院 1994 年 10 月 12 日宣布, 将 1994 年诺贝尔物理奖授予加拿大麦克马斯特 (McMaster) 大学教授布罗克豪斯 (Bertram N. Brockhouse) 和美国麻省理工学院 (MIT) 教授沙尔 (Clifford G. Shull), 以表彰他们对中子散射技术的发展所作的贡献。50 几年来,

中子散射技术在固体物理、高温超导、化学催化剂、电子器件、蛋白质结构、微生物构造及储氢材料的研究等广泛的领域中, 有着极其重要的应用。

1) 1994 年 11 月 11 日收到。

人类对物质结构在原子尺度上的认识,起源于劳厄(Max von Laue, 1914年诺贝尔物理学奖获得者)和布拉格父子(William Bragg和Lawrence Bragg, 1915年诺贝尔物理学奖获得者)。他们以其深厚的数学基础和敏锐的物理思想,用X射线作工具,打开了探索微观世界的大门。这项被称之为X射线衍射的技术,使得我们能够测量(而不是推算)出物质中原子间的距离并了解它们的空间位置关系。但正如其他所有有效的工具一样,X射线也是有其局限性的。例如原子的X射线的散射振幅随着原子序数的增大而急剧上升。当原子质量相差较大时,我们难以用X射线在轻重原子共存的材料中精确测定较轻原子的位置。对一项新技术的渴求也应运而生。

衍射是波所特有的现象。根据波粒二象性原理,粒子具有波动性,因此也应产生衍射现象。这一点已由电子衍射得到证实。中子被发现后,由于它的许多特殊性质,引起了人们对其波动性的极大兴趣。中子的波长和X射线一样,与物质中原子的间距同数量级。从理论上讲,一定可以象X射线一样用来探测物质的微观结构。中子与X射线相比,有几个显著的不同:

(1) 中子为一中性粒子。由于没有电相互作用,原子核外电子云的大小和分布状况对其几乎没有影响。原子与物质相互作用时,代表其散射本领的物理量——散射长度主要取决于原子核的性质。因此可对物质进行更深一层的了解。

(2) 与X射线明显不同的是,到目前为止我们还没有发现中子散射长度与原子序数之间的函数关系。随着原子序数的增加,中子散射长度或者增加,或者减少,或为正,或为负,显得那样的杂乱无章。与X射线相比,它们的绝对数值相差并不很大(图1)。这样较轻原子对散射谱的贡献就大大地提高了。如铅的中子散射长度比碳的仅大50%,但其X射线散射振幅之比却为20:1。由于散射谱线的强度正比于散射长度(或散射振幅)的平方,在X射线衍射

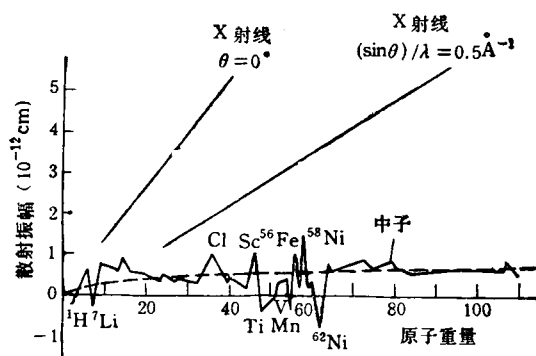


图 1

中,铅碳混合材料中碳原子的贡献是微不足道的,故难以精确测量碳原子在结构中的位置。中子散射恰恰弥补了这一不足,因为在中子散射中,碳原子的贡献是显而易见的。

(3) 同一元素的同位素,其化学性质是相同的。由于它们的核外电子数完全一样,对X射线的散射也基本相同。但中子散射的主体是核散射。原子核内中子数的变化可以极大地影响其散射长度。例如氢(^1H)的相干散射长度为 $\sim 0.374 \times 10^{-12}\text{cm}$,但氘(^2H)的相干散射长度则是 $0.667 \times 10^{-12}\text{cm}$,铁的几个同位素 ^{54}Fe , ^{56}Fe , ^{57}Fe , ^{58}Fe 的相干散射长度分别为0.42, 1.01, 0.23, 1.50 ($\times 10^{-12}\text{cm}$)。同一种元素对同一束光源(或粒子流)反映出如此不同的结果,是中子相对于目前已知各种探测物的一个独一无二的特性。利用这一特性,可以在实验中进行同位素替换,得到对比结果,必能更深刻地揭示物质的本质。

(4) 中子的磁矩使它能与磁性材料产生磁散射。虽然磁散射的贡献相对于核散射来讲是较小的,但随着中子通量的加大及实验仪器精密度的提高,尤其是极化中子的使用,使我们增加了一项测量物质磁结构的方法。该方法与传统的磁测量方法的区别在于,我们不是停在宏观测量上,而是真正直接地测到了物质的微观磁结构。

以上特点吸引着众多物理学家的注意。1936年,人们终于成功地进行了首次中子衍射实验^[1,2]。但是由于条件的限制,当时的实验只证实了中子的衍射能力,但却无法提供定量的

数据。

第二次世界大战后期原子核反应堆的建立,使物理学家们得到了稳定且相对高通量的中子源。他们充分地利用了这个条件,开始了用中子衍射方法探测物质结构的工作。当年为此作出过贡献而目前仍然健在的物理学家中,Shull 是最杰出的一位。

虽然有 X 射线可以类比,但由于中子的特性及中子产生的特殊环境,早期的开拓性工作是非常艰苦的。1941 年,Shull 从纽约大学取得物理学博士学位后,进入了橡树岭国家实验室。在 Wollan 教授(已去世)的领导下,开始了建设中子散射谱仪以及利用中子散射研究物质结构的工作。

反应堆中引出的中子,其强度随波长的变化遵从麦克斯韦分布呈一连续谱线。它的峰值位置与反应堆内部的温度有直接的关系。例如在反应堆的温度为 0°C 和 100°C 时,峰值波长分别是 1.55\AA 和 1.33\AA 。令物理学家们感到兴奋的是,这一波长段恰好是研究物质结构所需要的。

用来探测物质结构的射线(或粒子流),其本身的波长必须是已知的。由反应堆中出来的包含所有波长的中子,经过单色器过滤后,反射中子的波长由布拉格公式决定:

$$\lambda = 2d \sin \theta, \quad (1)$$

式中 λ 为反射中子的波长, d 为晶面间距, θ 为入射中子流与晶面的夹角。这样选出的中子照射到样品上产生散射,经中子计数器可探测出散射谱线的强度随 2θ 角度的变化。对比已知的散射理论,则可反推出样品的晶体结构。

Shull 教授作为一名优秀的实验物理工作者,不仅在准直器光学系统角分辨率的确定、单色器的制作^[3]、中子散射长度的测定^[3]、同位素对比^[4]、核自旋效应^[5]等几乎所有中子散射领域都做过很好的工作,而且对中子散射理论的发展作出过突出的贡献。

如果说 Shull 是以中子散射界元老的身份获得诺贝尔物理奖, Brockhouse 的贡献则是设计了一种全新的方法用以探测中子的非弹性

散射^[6,7]。众所周知,任何一种探测源在与样品发生作用时,不仅会产生与入射源相同能量的散射束——弹性散射,还会产生与入射源能量不同的散射束——非弹性散射。非弹性散射的产生是由于入射束在与样品发生碰撞时有能量交换,即入射粒子流(或光)吸收了晶格振动的能量或释放能量给晶体。由于晶格振动(或称声子)的能量级为 $0.01-0.1\text{eV}$,与 X 射线的能量(大约为 10^4eV)相比是如此的微不足道,以致于我们很难探测出 X 射线散射中非弹性散射的发生。而热中子的能量与声子的能量的数量级相同,中子获得(或损失)一个声子的能量可使中子的速度以及与之相关的波长发生很大的变化,当中子与晶体碰撞后,如有声子的产生或湮灭是很容易探测出来的。因此,中子散射成为目前已知的测量声子色散曲线的最为有效的方法。

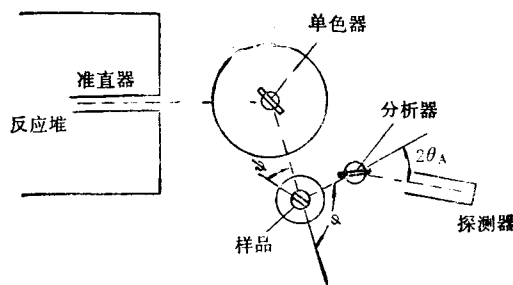


图 2

图 2 给出了测量中子非弹性散射的三轴谱仪的示意图。三轴谱仪的第一轴为单色器的转动。通过改变单色器与入射中子的夹角,可选择并确定入射中子的能量和动量。样品台为第二轴,转动样品可测量晶体的不同晶面。分析器成为三轴谱仪的第三轴,由(1)式可知,转动分析器可使中子探测器接收到不同能量和动量的中子。三个转轴配合,可测量中子能量的改变与动量变化之间的关系,即晶格的声子色散曲线。这一方法使我们得以直接测定晶体振动频率与晶体空间结构的关系,从而使人们能更深刻地了解原子的本质以及原子在晶格中的作用。

第一次中子散射实验至今已有将近 60 年

了。中子散射领域有了很大的发展。当年只能产生 $2 \times 10^{12} \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 中子通量的反应堆已由众多通量高得多的反应堆所代替,其中法国 Grenoble 的高通量堆通量已达 10^{15} 。在我国目前已有包括中子三轴谱仪、四圆衍射谱仪、飞行时间谱仪、小角散射谱仪在内的研究中子散射所必需的实验手段。同时在多年的科研实践中,我们还培养和锻炼了一支研究中子散射的队伍。最近获知,我国将在北京建立我们自己的高通量堆。通过大家的共同努力,相信中子散射这一探索微观世界的有效方法必将在中国发挥越来越重要的作用。

参 考 文 献

- [1] D. P. Mitchell and P. N. Powers, *Phys. Rev.*, **50**(1936), 486.
- [2] H. Halban and P. Preiswerk, *C. r. hebdom. Seanc. Acad. Sci. Paris*, **203**(1936), 73.
- [3] C. G. Shull and E. O. Wollan, *Phys. Rev.*, **81**(1951), 527.
- [4] C. G. Shull, G. A. Morton and W. L. Davidson, *Phys. Rev.*, **73**(1948), 842.
- [5] C. G. Shull, *Trans. Am. Cryst. Assoc.* **3**(1967), 1.
- [6] B. N. Brockhouse, *Phys. Rev.*, **99**(1955), 601.
- [7] B. N. Brockhouse, In *inelastic scattering of neutron in solids and liquids*, IAEA, Vienna, (1961), 147.

信息新技术进展和信息高速公路¹⁾

侯 自 强

(中国科学院声学研究所,北京 100080)

摘要 计算机技术与消费电子的结合出现了多媒体技术,多媒体通信的需求导致信息高速公路的产生。计算机、消费电子与通信的结合使人类进入信息时代并导致产业结构的重组。文章从个人计算机的微型化与移动数据通信、多媒体个人计算机及消费电子数字化、高速光纤骨干网技术、有线电视综合业务网、全球卫星通信网等几个方面来阐述这场信息革命。

关键词 信息高速公路,有线电视网,交互式电视,机上变换器

Abstract The combination of computer and consumer electronics has given birth to the multimedia industry, and multimedia communications have resulted in the emergence of the information superhighway. Various aspects of the information technology revolution are presented, such as the miniaturization of personal computers, movable data communication, multimedia PCs, digitization of consumer electronics, high speed optical fiber network technology, CATV integrated service networks, and global satellite communications.

Key words information superhighway, CATV network, interactive TV, set-top-box

随着信息技术的发展,信息技术的应用已深入到人类社会政治和经济生活的各个方面,对社会进步产生重大影响。人们在谈论 21 世纪人类将进入信息社会。1993 年,美国克林顿政府提出“全美信息基础设施”计划就是通常说的信息高速公路计划。该计划在美国乃至全世

界引起了强烈反响,掀起了一场信息技术革命热潮,各国政府纷纷推出信息高速公路建设计划。当今信息技术发展迅速,新产品层出不穷,令人眼花缭乱。

¹⁾ 1994 年 9 月 15 日收到第一稿,1994 年 11 月 5 日收到修改稿。