

1994年诺贝尔物理学奖

姜宏 编译

北京大学技术物理系

据瑞典皇家科学院信息部10月12日提供的信息,瑞典皇家科学院已将1994年诺贝尔物理学奖授予利用中子散射技术来研究凝聚态物质作出先驱贡献的两位学者:一位是为中子谱学发展作出贡献的加拿大安大略省哈密尔顿-麦克马斯特大学的布罗克豪斯(Bertram N. Brockhouse)教授,另一位是为中子绕射技术作出贡献的美国麻省剑桥麻省理工学院的沙尔(Clifford G. Shull)教授。本文将对他们的贡献作简单的介绍。

一、对于物质的结构和动力学的揭示

大家都知道,可以用X射线和显微镜来研究物质的细致结构,尽管这些方法在不断改进,但它仍不能满足研究物质结构和动力学的要求。现在的两位获奖者发展了一种利用中子散射技术来研究固体和液体的有效方法。这种技术是在第二次世界大战以后利用低功率的反应堆发展起来的。随后的发展导致了当今大规模的技术应用。在美国,法国,英国以及其他国家都在计划建造专门的装置用于凝聚态物理的研究。

他们的方法都利用了核反应堆产生的中子流。当中子碰撞样品中的原子时可以发生散射,中子的方向改变依赖于原子之间的相对位置。即通过观察中子的弹性散射可以了解样品中的原子是怎样排列的,即样品的结构。中子速度的改变依赖于样品中的原子的运动,如原子整体或个别振动。通过中子的非弹性散射可以得到物质的动力学知识。简而言之,沙尔回答了原子在“哪儿”,布罗克豪斯回答了原子在“干什么”。

现在,中子散射技术已被广泛应用于不同的领域,如新型陶瓷超导材料,高分子聚合物的弹性性质以及病毒的结构等项研究。

二、动力学的发展



布罗克豪斯早在1940年,沙尔早在1950年就分别在美国和加拿大第一座反应堆上作出了他们的先驱贡献。由于中子散射技术在近些年取得了相当大的进展,所以它已被愈来愈广泛地用于研究固体和液体的结构和动力学。数以千计的科研人员正在全世界多个中子散射装置上进行广泛的科学研究。例如,在法国格兰诺堡,劳-兰吉文研究所的高产额反应堆是欧洲在70年代初建造的大型研究设备之一。这里的研究包括:新型超导材料的结构和动力学(1987年贝诺兹和米勒因此而获诺贝尔奖)。高分子聚合物的有规则和无规则结构的联系和弹性性质(1991年詹诺斯因此而获诺贝尔奖)。为那些希望使用这些仪器的研究人员编写的手册至少描绘了16种研究结构的仪器和14种研究动力学的仪器。

在英国卢瑟福阿普里顿实验室有为类似目的而建造的利用加速器产生的中子源。在美国国家科学技术研究院(NIST)有一个在1990年改进的格兰诺堡装置。现在正准备在欧洲,美国和亚洲建一些新的,先进的设备,人们希望通过使用它们而获得新的基本知识,另外也可以发展技术上的应用(计算机存储)和环境方面的应用(污染化学)。

三、原理

下图是从反应堆产生的中子如何被用来研究物质的结构和动力学的示意图。在图的左边,中子束首先在晶体上被折射,因为中子具有波动性和晶体中的原子是按某种规则模式严格排列的,在某一折射方向上的中子必有一个确定

的波长(布拉格条件)。将这个晶体放于一个合适的角度,就可以选择出某一特定的波长的中子,用这种“单色”的中子去照射被研究的样品。因为中子是电中性的,它有很强的穿透力,因而能研究整个样品。多数中子离开样品时能量基本不变(弹性散射)只是倾向于偏转到某一个方向(绕射作用),通过一个转圈的计数器对中子计数,可以得到一个绕射花纹,它能表明样品中的原子的相对位置。正是由于对中子散射技术所作的这种改进,沙尔荣获了诺贝尔奖。他指出了怎样利用中子束来判定物质的结构。

图的右边表明了布罗克豪斯提出的基本原理,可以通过沿轴(1)转动的晶体选出从反应堆中出来的某一单色中子,当中子穿过沿轴(2)转动的晶体时,它能抵消或激发样品中原子的振动,这种所有原子都集体参加的运动被称之为声子,如果中子能够激发声子,则中子会损失能量(非弹性散射)。当中子离开样品时,它们的能量被绕轴(3)转动的晶体进行分析,最后被一个计数器计数,使用这种仪器——三轴谱仪,可以研究一块物质或晶体的动力学。正是由于发展了这种研究凝聚态物质的谱学技术,布罗克豪斯荣获了诺贝尔奖。

四、起源

费米很早就发现慢中子或热中子较之快中子更容易与物质发生反应(1938年费米和其他人一起获诺贝尔奖)。正是由于慢中子的这些特

性,使它很适合于探测原子的位置和运动。甚至在核反应堆真正用于研究工作之前,使用简单中子源的结果已经表明中子束可以用来研究固体和液体,但它真正被实施还有很多困难。1942年费米提出了铀裂变的中子可以支持可控的链式反应。二战以后一些美国物理学家已可获得高额的中子源,甚至可以利用那些相对小功率的核反应堆提供的中子束,这就为中子束用于凝聚态物质的研究提供了条件。

在美国橡树岭核反应堆上,沃伦等人组成了一个小组来研究利用中子束及其装置来确定物质结构的可能性。沙尔很早就与这个小组有联系,不久就担任其主要工作。类似的工作也在别处进行着,但沃伦-沙尔小组以及后来沙尔和同事们以令人吃惊的速度取得了成功的进展,沙尔对于简单晶体的研究为现代中子晶体学家对复杂结构的解释提供了一个理论基础。

五、哪里有氢原子?

氢是物质中一种最常见的元素,它也常存于对工业很重要的无机元素中。利用早期的X射线技术实际上不可能探测出氢在这些结构中的位置,因为X射线束被原子外围的电子散射,而氢原子只有一个电子,所以氢原子对X射线只有很小的散射作用。与这相反的是,氢的原子核——质子,存在一个很强的中子散射中心,因此它的位置可由绕射中子来确定。沙尔通过他首次成功的实验,为研究原子是怎样在象冰、

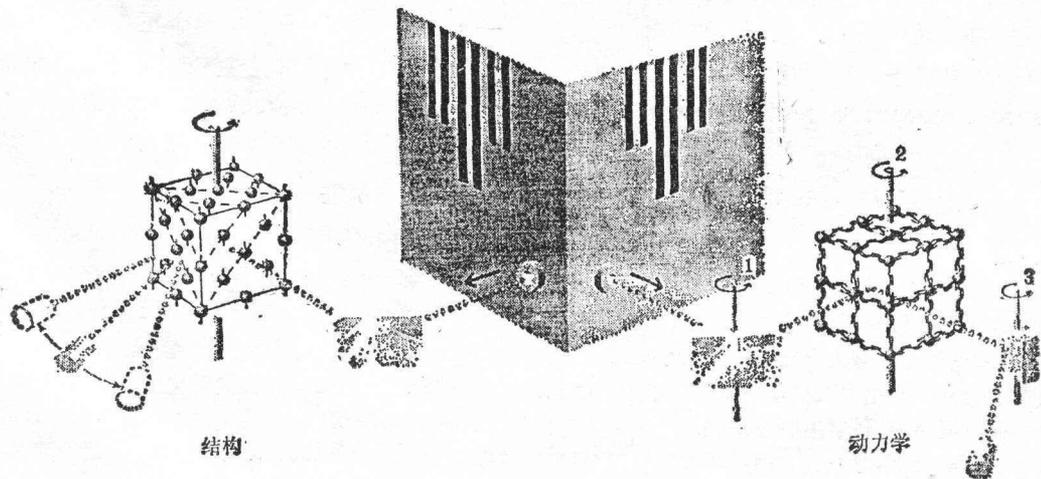


图: 中子用于物质结构和动力学研究的示意图

金属氢化物和有机化合物等物质中束缚开拓了一个广阔的领域。

六、磁性结构

中子是个小磁体。原子也是磁性物质，所以中子束射到这种物质上，中子就会与物质中的原子发生磁相互作用而改变方向。这就给出了一种新的中子绕射类型（上面描述的类型依赖于中子和原子核的作用）。这种新的散射可以用来研究小原子磁体的相对取向。在这里，X射线是无能为力的，中子绕射在这个领域起着主要作用。若没有这种中子绕射技术，很难想象如何能进行现代的磁学研究。

七、一个新突破

当沙尔发展了基于弹性中子散射的中子散射技术时，布罗克豪斯在加拿大的乔克河反应堆上正在考虑非弹性的中子散射。他设计了一个三轴的谱仪并发展了一种研究散射中子能谱的方法。这需要对于中子的深入了解和伟大的天才。正是由于布罗克豪斯的贡献，非弹性中子散射才变成研究凝聚态物质的有力工具。中子还有一种独特的散射性质，因为中子的能量与固体、液体中的声子的能量具有相同的量级。在1955年——1966年蓬勃发展的时期，布罗克豪斯的先驱工作中子谱学中是无可匹敌的。这使得这一技术在很多方面发展成为描述原子动力学的唯一信息来源。例如，原子在晶体中的振动，在液体中的扩散运动，在磁性物质中的涨落。这种信息可以阐明固体中使原子束缚和引起相变的相互作用力。

八、声子和磁量子

在宏观物体中原子的数目是很大的。这就导致它在固体和液体中各种各样的运动。如晶体振动，能量和波长的关系，称作声子色散关系，它是一种非常复杂的函数。色散曲线的形状是晶体的一种特性，这种曲线为了解物质特性提供了有用信息。早在1955年布罗克豪斯和斯图尔特就报道了他们在铝晶体等物质中声子的研究结果，并第一次从实验上确定了它们的色散曲线。

在磁性晶体物质中，如磁铁矿，在原子的基本磁体间可以产生一种集体的波动，中子可以激发这种波动。布罗克豪斯首先研究了这种称为磁量子的基本激发，测定了它的色散曲线。

九、无序运动

象在磁物质中的无序运动一样，对液体和熔融物质中的无序运动，范赫夫在1950年就建立了一套关于原子的一种排列记忆性以及如何随时间逐渐消失的理论。中子使我们能够跟踪观察原子结构随时间的变化。布罗克豪斯首次测量了中子在水、重水及一些材料中的散射。在实验上确定这种“关联”或“记忆”函数。以同样的方法，他的液体铝的实验提供了可以效仿的模型。

总的来说这种实验是液体和无序系统理论迅速发展的起点。点阵动力学和扩散现象的研究由此及随后的研究成果而经历了一种革新。

由于布罗克豪斯和沙尔发展的中子散射技术，可以获得一些有用的信息，如发展新物质，一个很重要的例子就是现今正深入研究的陶瓷超导材料，尽管它现在还未发展到商业用途。

她用物理的情趣，引我们科苑揽胜
她用知识的力量，助我们奋起攀登

欢迎订阅《现代物理知识》

* 《现代物理知识》创刊于1989年元月，是一份中、高级科普杂志，侧重于介绍现代物理知识、物理学前沿最新成果、发展动态和有关物理学的新技术及其应用。

* 《现代物理知识》由中国科学院主管，中国科学院高能物理研究所主办，科学出版社出版。

* 《现代物理知识》，双月刊，国内邮发代号2-824，国外代号BM609，国内外发行，各地邮局均可订阅，

每期定价1.50元，全年9.00元。

* 本刊编辑部办理邮购：每期2.00元，全年11.00元，合订本20.00元，均含邮费、包装费。

* “现代物理知识与教学现代化”增刊，16开，200页，定价6.50元（含邮资），由本刊编辑部办理邮购，欲购者请汇款至：100039北京918信箱《现代物理知识》编辑部收。