

早在本世纪 20 年代,人们已经通过实验发现,物质对 X 射线的吸收曲线在吸收限的高能一侧,不是单调变化,而有振荡现象。从吸收限到大约高于吸收限 1000eV 范围的振荡,称为扩展 X 射线吸收精细结构 (Extended X-Ray Absorption Fine Structure),简称 EXAFS。

$$\chi = \frac{\mu - \mu_0}{\mu_0}$$

一般将其定义为  $\chi = \frac{\mu - \mu_0}{\mu_0}$ ,  $\mu$  为实测吸收系数,  $\mu_0$  为吸收系数单调变化部分。长期以来,人们对 EXAFS 现象做了各种解释,但都不能令人满意,理论上一直处于混乱状态。直到 70 年代初, Stern, Sayers, Lytle 等人在理论及实验上做了一系列工作,首次明确指出 EXAFS 的理论基础是短程有序 (Short Range Order) 理论。从 SRO 理论出发,对 EXAFS 现象公认的解释是: EXAFS 来源于吸收原子周围的原子对光电子波散射导致的干涉效应,由此可以精确计算出原子间距、配位层等原子近邻结构的信息,

从而揭示了 EXAFS 与物质原子结构的密切关系。

早期 EXAFS 实验是以常规 X 光机为光源的。由于 X 光机光源自然发射角大,连续谱部分光通量很低,所以一次 EXAFS 实验往往需要几小时甚至几天。同步辐射光源具有辐射光谱宽广连续,高通量,高亮度,

准直性好,发射角小,偏振性好,稳定性高等一系列独特的优点,因而是理想的 EXAFS 实验光源。同步辐射应用于 EXAFS 实验,使实验时间缩短到十几分钟甚至几分钟,信噪比大大提高,因而不但使常规 EXAFS 实验质量获得极大改进,而且使研究痕量元素的近邻结构及动态过程成为可能。同步辐射使得 EXAFS 实验从一种有趣的新奇方法转变为分析化学中广泛应用的手段。

北京同步辐射实验室 (BSRL) EXAFS 实验装置是国家重点工程北京正负电子对撞机工程 (BEPC) 的一个组成部分,它包括 4 W1B 光束线及 EXAFS 实验站两大部分。4 W1B 光束线是一条 22 米长的高真空管道,其中包含了限光狭缝,双晶单色器等多种精密设备。它的作用是将对撞机产生的广谱同步辐射光单色化,并送入实验站。EXAFS 实验站主要由探测及数据采集系统组成。整个 EXAFS 实验装置由计算机控制,具有高度的自动化。该实验装置是在吸收借鉴当代国际同类工作经验的基础上,由我国科技人员自行设计研制成功的,从而实现了我国在同步辐射 EXAFS 原子近邻结构分析领域内零的突破。

目前在国际上各大同步辐射实验室中,EXAFS 是一大用户。例如,在美国斯坦福同步辐射实验室 (SSRL),每年约 1/4 左右的运行时间用于 EXAFS 实验,约有近百个不同的研究组进行 EXAFS 方面的实验,在研究晶态、非晶态固体、液体、生化体系,催化剂,高温超导材料等的结构问题方面做出了许多有意义的工作。

目前已经发展起来的 EXAFS 探测方法包括透射法、荧光法,光电子产额等多种方法。图 1 为同步辐射 EXAFS 实验系统示意。晶体单色器将同步辐射广谱白光单色化,从中分离出单一波长的 X 光,其能量分辨率  $\Delta E/E$  达到  $2 \times 10^{-4}$ ,同时

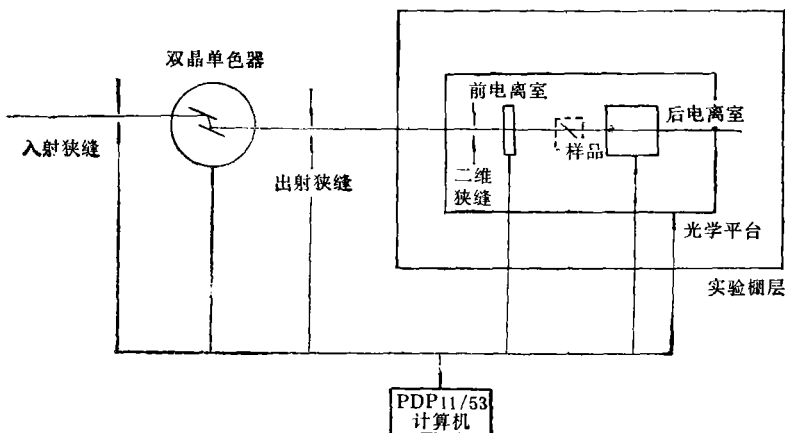


图 1 EXAFS 实验站框图

根据实验的设定,在计算机控制下,在一定的光子能量范围内进行扫描。样品前后各有一个电离室,其输出正比于它所吸收的 X 光强度。在每个采样点,由计算机读取前、后电离室强度  $I_0$ 、 $I$ ,并记录下来。由物质吸收定律  $I = I_0 \cdot e^{-\mu t}$ ,即可得到吸收系数  $\mu$  的表达式  $\mu = \frac{\ln(I_0/I)}{t}$ 。将各个光子能量点  $I_0$ 、 $I$  值代入,则可得到  $\mu(E)$  对于光子能量  $E$  的曲线。

图 2 是 BSRL EXAFS 实验系统实际测量得到的铜的 K 吸收边的  $\mu(E)$  的谱。应用 EXAFS 离线分



《现代物理知识》是我的良师益友，是我们学生最喜欢的课外读物，我们师生与她结下了不解之缘。

我是个教《普通物理学》的教师，《现代物理知识》以她那新颖的内容，鲜明的特色，丰富的知识，开阔的视野，流畅的文笔激发了我们师生头脑的灵性，她定期给我们师生输入新鲜血液，使我们呆板枯燥的教与学呈现出盎然生机。她的许多文章，被我们原封不动地搬上课堂，有定性叙述，有定量推导，联系实际，图文并茂，兴味浓烈，老师乐意讲，学生乐意听；有的文章，我们加以整理摘录，作为课文的注释和补充，很容易记忆。

在《普物》教学中，我不断地介绍“物理前沿问题”，什么是“物理前沿问题”？资料从哪里来？一直是个头痛问题。《现代物理知识》的“物理前沿”栏目，系统地介

绍物理学的新发展，新成果，新材料，新技术，解决了这一大难题；《普物》教学要讲些“物理学史”，我也从《现代物理知识》上找到了资料；特别是她对我国广大知识分子的楷模，热爱祖国，值得我们民族自豪的中国著名物理学家，在介绍他（她）们的出身经历、顽强的求学毅力，艰苦卓绝的科研精神和科研教学丰硕成果的同时，还让他们的音容笑貌呈现在读者眼前。当我阅读这些文章时，如同正在面对面地同他（她）们谈话，聆听这些伟大科学家们的教诲，可敬可爱可亲，催人上进；在日常教学和工作的间隙，看“今日中国物理”，“今日国外物理”和“现代物理信息”栏目，几句话一条信息，都是精文之髓，现代物理之热点。饭后茶余，眨巴眨巴眼便能知道物理发展的新动态，颇有状元不出门，便知天下事之感。有一册《现代物理知识》在手，使我的头脑逐步跟上了物理科技发展的新步伐，其乐无穷。

每届新生的第一次课，我总要搬上一摞子《现代物理知识》，摘读其中几段文章，并向学生推荐这册刊物，使我的“绪论”课的讲法调换了口味，引起了学生的兴趣；每到期中，《普物》成绩好者，便能得到我赠阅的《现代物理知识》，学生们把她作为最有意义的奖品。

当我获得教书育人先进工作者称号，手捧荣誉证书时，我向北京深施一礼、感谢《现代物理知识》编辑和出版的同志们，给了我一个好老师。

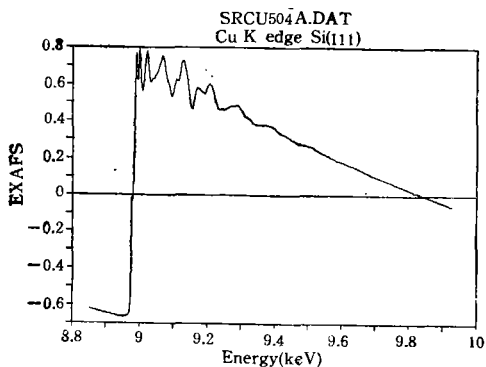


图2 实测铜的吸收谱(K边)

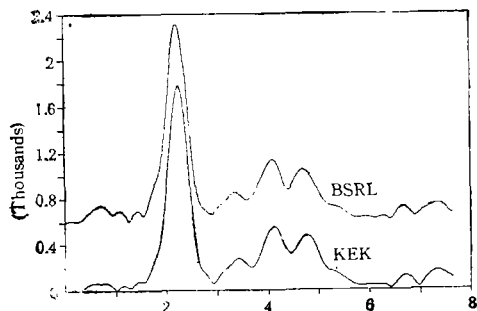


图3  $\phi(r)-r$  曲线

析程序对实验获得的吸收谱进行分析处理，即可得到  $r_i, N_i, \sigma_i$  等物质结构信息。图3为分析中间过程得到的  $\phi(r)-r$  曲线。图中各峰位距离即表示铜原子各配位层相对距离。图4为分析得到的  $\chi_i K^2-K$  曲线。图3、图4中上部曲线为我们实验的结果，下部曲线则是

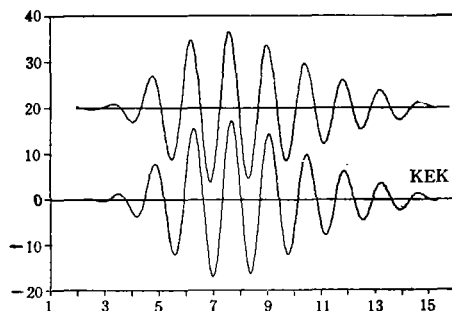


图4  $\chi_i K^2-K$  曲线

日本 KEK 光子工厂同类实验系统上获得的结果，两者吻合得十分好。由此可见，我国第一个同步辐射 EXAFS 实验装置的各项指标已基本达到了当前的国际水平。有理由相信，随着该实验装置的不断完善，它必将对广泛的学科领域中结构研究的发展起巨大的推动作用。