

[联邦德国] U. 贡泽尔 编

穆斯堡尔谱学 (II)

—方法的奇异方面



科学出版社

穆斯堡尔谱学(II)

——方法的奇异方面

[联邦德国] U. 贡泽尔 编

夏元复 章佩群 译

顾元吉 胡文祥

徐英庭 ~~应育槐~~ 等校

科学出版社

1988

内 容 简 介

穆斯堡尔谱学是一种发展十分迅速的谱学技术,已经广泛应用于科学技术的许多领域。本书是我社1979年版《穆斯堡尔谱学》一书的姊妹篇,介绍了穆斯堡尔谱学在生物学、引力红移研究、激光、同步辐射、离子注入等方面的进展和许多探索中的奇特的课题,内容新颖,很有特色,撰写者都是该领域的著名科学家。

本书可供大专院校师生及有关科技人员阅读。

U. Gonser (ed.)

MÖSSBAUER SPECTROSCOPY II

— *The Exotic Side of the Method*

Springer-Verlag, 1981

穆斯堡尔谱学(II)

——方法的奇异方面

(联邦德国) U. 贡泽尔 编

夏元复 章佩群 译
顾元吉 胡文祥

徐英庭 应育浦 等 校

责任编辑 荣毓敏 王旭

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1988年9月第一版 开本: 787×1092 1/32

1988年9月第一次印刷 印张: 8

印数: 0001—1,280 字数: 179,000

ISBN 7-03-000085-4/O·24

定价: 4.30 元

译 者 的 话

在过去的二十多年中，穆斯堡尔谱学已发展成为一门引人注目边缘学科。它的应用领域仍在不断开拓与深入、每年发表的论文数目尚在持续增长，这充分说明它仍有着强大的生命力和光辉的前景。贡泽尔编的《穆斯堡尔谱学(II)》着重介绍了穆斯堡尔谱学领域中一些尚待解决的和探索中的课题，这些课题的研究对推动科学和技术的发展可望产生重要的作用。我们相信，该书也一定会象它的第一卷一样，对我国读者有所裨益。

近五、六年来，穆斯堡尔谱学在我国有了较快的发展。目前有上百名科学工作者正在从事这方面的研究工作，每年发表的论文在六十篇以上，研究领域也在不断深入与扩大。在这种情况下，本书的翻译和出版对于启发我国广大科技工作者利用穆斯堡尔谱学方法去开拓一些新的研究领域无疑是有意义的，并对于促进穆斯堡尔谱学在我国的发展也将会起到一定的作用。本书第一、二、八章由夏元复翻译，第五、七章由章佩群翻译，第六、九章由顾元吉翻译，第三、四章由胡文祥翻译，全书由徐英庭、应育浦、李哲作了仔细校订。译完后不少同志曾详细阅读了译文的有关章节，提出了宝贵意见，我们对此深表谢意。限于我们的水平，译文中错误仍在所难免，尚祈读者指正。

上海原子核研究所所长程晓伍先生曾对本书的出版给予热情的支持；原书的编者贡泽尔教授也始终关心我们的翻译工作，并热情地为本书写了“中文版序”，在此一并表示感谢。

译者

1983年10月

中 译 本 序

《穆斯堡尔谱学(II)——方法的奇异方面》中文版的出版适逢鲁道夫·穆斯堡尔发现无反冲 γ 共振吸收(现在被称为穆斯堡尔效应)二十五周年。在过去的二十五年间,我们见到了这个方法引人注目的飞速发展,它使我们对一些基本的自然现象有了更深刻的了解。今天,穆斯堡尔谱学被广泛地应用到自然科学的所有领域,从核物理直到生物和医学,甚至考古学和艺术也因此而受益;并且它的应用还存在着广阔的前景。本书从另一方面通过它的一些发展来说明穆斯堡尔方法仍在不断取得进展,新应用还在继续出现。有关穆斯堡尔谱学的出版物的数量每年有上千种,而且估计有一千名以上的科学家正在使用穆斯堡尔方法作为他们的研究工作的主要手段。

去年我很高兴有机会访问中国,见到了这样多的中国穆斯堡尔科学工作者,特别是高兴地见到了本书中文版的各位译者。在我逗留中国期间,我很高兴地与他们就穆斯堡尔谱学的应用以及就科学和生活的各个方面进行了有意义的讨论。他们的那些正在取得进展的研究工作以及对研究工作的热情给我留下了深刻的印象。我愿借此机会对我在中国各地所受到的热情款待再次表示诚挚的谢意。

作为一座桥梁,我期望不仅在本书所描述的原子尺度范围内,而且在不同国家和人民之间能够建立起彼此心领神会的相互联系。

U. 贡泽尔

1983年5月于萨尔勃鲁根

• vii •

前 言

有些新发现的效应在短暂地令人激动之后很快就失去了它们的魅力,可是另外一些却能长期保持其魅力,并且即使当它们成熟时,仍然有着不可估量的前景。穆斯堡尔效应就属于后一种。1957年,鲁道夫·穆斯堡尔(Rudolf Mössbauer)关于无反冲 γ 射线发射的发现立即引起了人们极大的关注,而且对它的验证工作也几乎同时开始了。从此以后,论文的数目与日俱增。大部分研究工作沿着可以预料的途径进行,这些“常规”实验的基本方面已在本书第一卷*中作了介绍。然而,比较简单而直接的“常规”实验并没有对这个领域中的所有问题作出研究,也没有使人感到无事可作,而且没有预料到的许多应用还在不断出现。在本卷中,贡泽尔(Uli Gonser)收集了能表现穆斯堡尔效应“奇异性”方面的论文、包括从巧妙地描述红移实验到清楚地说明如何有效地解决晶体学中古老而又棘手的相位问题。书中每一章都展示了无反冲 γ 射线的—个不同的侧面。它们总的表明,这个研究领域是非常活跃的,并且使我们继续为古老课题的完美解决,为意外地观察到新的现象,为巧妙地应用新技术的可能性,以及为能创造性地应用于远离物理学的领域而感到欣喜。我相信,穆斯堡尔效应的新奇特点还会不断地表现出来,各种新的应用仍有待于发现。本书将为新领域的探索工作提供启示和指南。

H. 弗朗菲尔德

(*Hans Frauenfelder*)

1981年5月于伊里诺斯州艾巴拿城

*) U. Gonser(ed.), Mössbauer Spectroscopy, Topics in Applied Physics, Vol. 5(Springer, Berlin-Heidelberg-New York, 1975), 徐英庭、李国栋、李哲、应育浦译,科学出版社,1979年。——译者

目 录

译者的话	(vi)
中译本序	(vii)
前言	(viii)
第一章 引言	U. 贡泽尔 (1)
第二章 测定生物大分子结构时解决相位问题的一种方法	
.....R. L. 穆斯堡尔 F. 帕拉克和 W. 霍普	(5)
2.1 导论	(5)
2.2 大分子结构分析中的相位问题及其实验解决方法	(7)
2.2.1 基本状况	(7)
2.2.2 利用 γ 射线共振散射进行相位测定的一般特点	(13)
2.2.3 γ 辐射的共振散射	(15)
2.3 实验细节	(22)
2.3.1 γ 射线源	(22)
2.3.2 蛋白质晶体的兰姆-穆斯堡尔因子	(25)
2.3.3 肌红蛋白晶体的相位测定	(26)
2.4 对前景的展望	(29)
2.4.1 细菌过氧化氢酶的研究	(29)
2.4.2 二维位置灵敏正比计数器	(31)
第三章 引力的红移效应	R. V. 庞德 (37)
3.1 穆斯堡尔的发现	(37)
3.1.1 等效原理和红移效应	(38)

3.1.2	天文学中红移效应的研究	(38)
3.1.3	穆斯堡尔效应的应用	(40)
3.2	探测微小能量移位的调制技术	(42)
3.2.1	杰斐逊物理实验室的封闭塔	(45)
3.2.2	温度效应	(47)
3.2.3	监控系统和放射源装置	(48)
3.2.4	主吸收体	(51)
3.3	数据获取和结果	(53)
3.3.1	系统误差	(54)
3.4	近期的其他红移实验	(54)
3.4.1	展望	(55)

第四章 γ 激光的发展前景.....V. I.

	戈尔登斯基 R. N. 库兹明和 V. A. 纳米脱	(58)
4.1	问题的提出	(59)
4.2	一般考虑	(61)
4.3	长寿命同质异能素 γ 激光	(65)
4.4	脉冲抽运 γ 激光	(71)
4.5	γ 激光发射放大的动力学	(77)
4.6	共振腔	(79)
4.7	带电粒子运动产生的短波辐射	(81)
4.8	非穆斯堡尔 γ 激光	(85)
4.9	近期的主要趋向	(88)
4.10	γ 激光的可能应用	(91)

第五章 同步辐射源的核共振实验.....R.L.科恩 (93)

5.1	概述	(93)
5.2	单核激发	(97)
5.2.1	穆斯堡尔效应	(97)
5.2.2	非穆斯堡尔效应的核激发	(101)
5.2.3	实验结果	(103)

5.3	原子核布喇格散射	(107)
5.3.1	建议的实验方案	(107)
5.3.2	实验上的问题	(112)
5.3.3	掠入射的反射膜——一项新发展的技术	(114)
5.3.4	结论	(115)
第六章 共振 γ 射线极化测量术		
 U. 贡泽尔和 H. 菲希尔	(116)
6.1	穆斯堡尔跃迁中辐射的强度和极化	(117)
6.1.1	极化的密度矩阵描述	(118)
6.1.2	超精细谱线的密度矩阵计算	(121)
6.1.3	γ 射线在共振吸收材料中的传播	(125)
6.2	^{57}Fe 中的超精细相互作用	(128)
6.2.1	磁偶极相互作用	(130)
6.2.2	电四极相互作用	(137)
6.3	极化 γ 射线	(139)
6.3.1	磁化的铁磁性放射源	(140)
6.3.2	四极分裂的放射源	(140)
6.3.3	滤波器技术	(141)
6.4	极化测量技术	(142)
6.4.1	圆极化 γ 射线	(144)
6.4.2	线性极化 γ 射线(磁超精细相互作用)	(145)
6.4.3	线性极化 γ 射线(四极相互作用)	(147)
6.4.4	特殊应用(非晶态金属)	(149)
6.5	γ 射线旋转极化计	(152)
6.6	双折射极化测量技术	(155)
6.6.1	穆斯堡尔法拉第效应	(156)
6.6.2	“光学”旋转	(161)
第七章 用内转换电子穆斯堡尔谱学研究铁离子注入		
 B. D. 萨维卡和 J. A. 萨维凯	(164)
7.1	铁离子的注入	(165)

7.1.1	离子受阻及离子射程	(165)
7.1.2	离子注入后的材料	(168)
7.1.3	铁注入材料的穆斯堡尔谱学研究	(171)
7.1.4	^{57}Fe 注入技术	(172)
7.2	内转换电子穆斯堡尔谱学	(172)
7.2.1	方法	(172)
7.2.2	^{57}Fe 注入的内转换电子穆斯堡尔谱学	(174)
7.2.3	实验技术	(176)
7.3	铁注入各种基质的研究	(180)
7.3.1	铝	(180)
7.3.2	其他金属	(185)
7.3.3	硅、锗和金刚石	(190)
7.3.4	化合物	(197)
7.4	评论	(198)

第八章 若干奇异的应用

 R. S. 普雷斯顿和 U. 贡泽尔	(201)
8.1	相对论的检验	(201)
8.1.1	狭义相对论	(201)
8.1.2	狭义相对论还是广义相对论?	(204)
8.1.3	广义相对论	(207)
8.2	宏观物体微小运动的检测	(209)
8.3	γ 射线量子的调制	(210)
8.4	大气中的气溶胶	(214)
8.5	考古学和艺术	(215)
8.5.1	陶器	(215)
8.5.2	艺术品	(217)
8.6	医学和生物学	(218)

第九章 ^{57}Fe 的穆斯堡尔效应中磁超精细相互作用的发现

S. S. 汉纳 (221)

参考文献.....	(228)
索引.....	(240)
译后记.....	(246)



第一章 引言

U. 贡泽尔

大约在四分之一世纪以前，鲁道夫·穆斯堡尔 (Rudolf Mössbauer) 发现 γ 射线的发射和吸收能以无反冲方式发生^[1.1,2]，这一观察结果发展成一种重要的新方法，即穆斯堡尔谱学。这个方法现在已经达到了成熟阶段，自然科学的所有学科在应用这一方法之后都获得了丰富的信息，就是对这一结论的最好证明。此外，现在已经在一百多个同位素和约一百二十个激发态中观察到了穆斯堡尔共振，发表的有关穆斯堡尔方法的论文数目已达到 10^4 数量级。

1975 年出版的前一卷书^[1.3]所涉及的是“经典方法”，也就是说，它叙述了穆斯堡尔方法以“经典方式”用于诸如化学、磁学、生物学、地质学和矿物学，以及物理冶金学这样一些“经典学科”时的有效性。

“经典方式”一词表明，大多数实验结果是由常见的实验装置获得的，它有四个基本组成部分，即单线源，吸收体，驱动系统（它使源相对于吸收体运动，从而产生 γ 射线能量的多普勒调制）和探测器。图 1.1 是这种实验装置的示意图，图中源和吸收体用它们各自的核激发态和核基态来表示。原子核的共振跃迁用连接这二个状态的粗箭头来表示。

与上卷相比，本卷所阐明的是有关穆斯堡尔效应的高深的理论和技术问题。在这里我们的意图是要说明，在“穆斯堡尔效应”的通常含义之外， γ 共振仍有着多样性和巨大潜力。

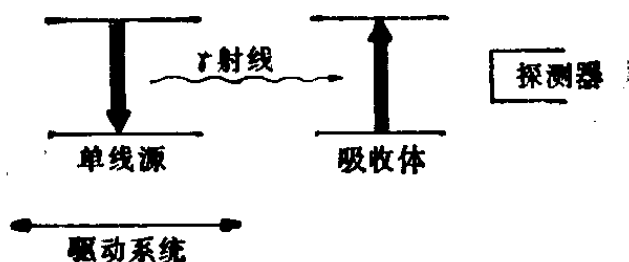


图 1.1

事实上，所叙述的某些思想和某些应用是如此地不寻常，因此，用“奇异”这个词尤为合适。所用的实验装置也不相同，其中有些目前正在实验室中进行试验，而另一些至今还纯属是“设想的”实验装置，也许会在将来的某个时候得以实现。

在表 1.1 中，我们试图指出以下六章在穆斯堡尔谱学方法学上的特点。从表中可见，在图 1.1 中所看到的经典装置的某些基本组成部分在这里仍然存在或尚可辨认，但有些则已经过重大修改。

穆斯堡尔效应已在很多领域中作出了贡献，有些应用可以说是有趣的、深奥的、奇异的或者是令人惊叹的。这些实验将在第八章中叙述。最后，在第九章中叙述的是在这项发现的初期那些激动人心的日子里的一些历史事实，自那时起人们开始相信穆斯堡尔效应确实存在。

当然，在这本内容比较多样化的文集中，各章都必须自成体系，因而假定读者已经熟悉穆斯堡尔谱学的基本原理^[1·3]。尽管如此，我们还是能在各章之间找到一些联系。例如，人们如果对同步辐射领域持乐观态度，那就跨进了一个具有广泛应用的新的的重要手段的大门。这样，利用同步辐射就可以以更高的精度来处理第二章中讨论的相位问题和第三章中论述的引力红移。

本书和上卷^[1·3]一样，并非专门写给专家们看的。说得更恰当一些，是写给这样的读者的，他们有兴趣了解用 γ 共振方

表 1.1

		“经典的”穆斯堡尔组件			
章	次	源	吸收体 (散射体)、(透射体)	“驱动系统”(调制)	探测器
二、	相位问题	强度(~居里)	γ 共振散射体		大面积位置灵敏正比计数器
三、	引力红移	源和吸收体远离, 精确的能移测量		重力势	
四、	γ 激光	增殖(抽运)核激发态, 穆斯堡尔 γ 受激发射	共振体	正反馈	
五、	同步辐射	同步辐射	核激发, 布喇格散射	单色器	选通技术和延迟技术
六、	极化测量术	极化的 γ 射线(偏振器)	极化的 γ 射线(分析器), 双折射透射体	极化	
七、	离子注入, 内转换电子穆斯堡尔谱学		共振核的注入, 发射的电子		电子计数器

法已经做了些什么，还有哪些可以做，以及哪些是有可能做的。很自然，有些问题常常是提出来了而没有解答。但可以预期，在八十年代，这些问题之中有一些将会得到解答。本书概述了学科之间交叉探索的典型例子，它将传播开拓科学新领域的精神。

可以认为这些文章是部分地实现了穆斯堡尔在1961年诺贝尔奖金获奖演说结束语中所表达的愿望，他希望这个以他的名字命名的效应“在这个充满未知现象和未知效应的激动人心的世界中将会取得新的进展”。

第二章 测定生物大分子结构时解决相位问题的一种方法

R. L. 穆斯堡尔 F. 帕拉克 和 W. 霍普

用单晶衍射技术测定生物大分子结构，需要从实验上解决结构分析中所固有的相位问题。本章阐述一种定相位的方法，它采用 ^{57}Fe 原子核的核共振散射作为参考。文中讨论了这一方法的基本特点，并将不同的技术作了比较，还推导出有关核共振散射的振幅，叙述了利用肌红蛋白单晶所进行的一个试验。由于所用的 γ 射线源在强度上有一定的限制，从而带来了一些技术上的问题。本文还专门讨论了 ^{57}Co 源的最佳使用条件、大面积位置灵敏正比计数器的发展，以及蛋白质晶体必需冷冻的问题，估计了确定细菌过氧化氢酶结构所需的测量时间。

2.1 导 论

了解蛋白质的生物活性必须先了解其结构。近年来，由于用了X射线衍射分析，生物大分子的结构信息显著地增多了，因而从分子水准上迅速加深了对生物过程的了解。对生物大分子活性中心的研究也越来越多地采用谱学技术。但要想有效地应用这类方法，通常事先要作结构分析。

目前，蛋白质的结构测定几乎都用蛋白质单晶的X射线衍射测量法。这种结构测定所依靠的是在各种可能的布喇格

方向上进行散射波强度的测量和其相位和实验测定。作为辅助手段的相位测定，几乎总是采用由 Perutz 和 Kendrew 发展起来的“多重同构置换法”^[2.1-4]。但是这种方法受到所研究体系分子量的限制。表 2.1 给出分子量不同的蛋白质的实例。摩尔分子量 $M = 150000 \text{ g/mol}$ 的免疫 γ 球蛋白是用多重同构置换法来确定结构的典型上限。超过这一上限就需要新的实验技术，例如我们可以采用共振散射技术。其中之一就是 ^{57}Fe 核 γ 辐射的无反冲共振散射（穆斯堡尔效应）。这个方法利用了被晶体中所有原子的电子所散射的 γ 辐射（瑞利散射）和被植入在晶胞中特定位置上的某些 ^{57}Fe 核所散射的（穆斯堡尔散射） γ 辐射线间的干涉。

表 2.1 几种蛋白质的分子量

蛋 白 质	分子量(g/mol)
铁氧还蛋白	6000
肌红蛋白	17000
血红蛋白	65000
免疫 γ 球蛋白	150000
过氧化氢酶	240000
原胶原	360000
血蓝蛋白	8900000
烟草花叶病病毒	39400000

我们顺便说一下穆斯堡尔效应用于生物分子结构测定的另一种可能性。蛋白质的 X 射线衍射必须使用单晶，在很多情形即使有可能形成蛋白质单晶，事实上也是很困难的。然而，重的大分子通常由更小的亚基组成的，而通常我们只需知道这些亚基(四级结构)的组合情况。原则上可以由重原子标记的非结晶状态的生物聚合物的小角度 X 射线散射研究^[2.5]来获得这方面的知识。Parak 等人^[2.6]讨论了用穆斯堡尔效