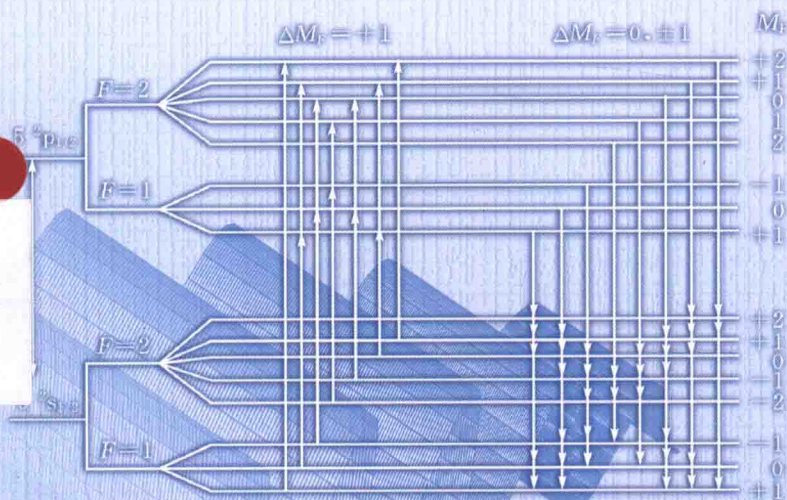




西安交通大学 本科“十二五”规划教材
“985”工程三期重点建设实验系列教材

综合与近代物理实验

王红理 张俊武 黄丽清 主编



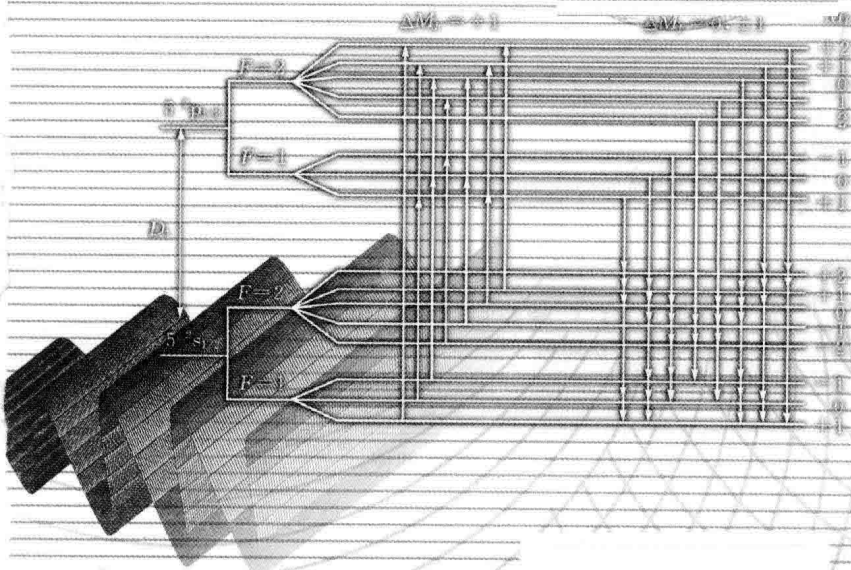
西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS



西安交通大学 本科“十
“985”工程三

综合与近代物理实验

王红理 张俊武 黄丽清 主编



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书是高等理工科院校近代物理实验课程的通用教材,它是在吸取西安交通大学几十年实验教学改革经验的基础上编写的。全书分为九章,涵盖了超声波技术、微波技术、原子物理技术、磁共振技术、核物理技术、X射线技术、光谱技术、光纤技术、真空技术、材料制备技术、半导体技术、计算机技术、磁技术等共46个实验项目,附录还收编我国法定计量单位以及物理常数等以供参考。

本书可作为高等理工科院校和师范院校物理类专业学生、非物理类高年级本科生和研究生的实验教学用书,也可供从事科学实验的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

综合与近代物理实验/王红理,张俊武,黄丽清主编.

—西安:西安交通大学出版社,2015.7

ISBN 978-7-5605-7285-7

I. ①综… II. ①王… ②张… ③黄… III. ①物理学-实验-高等学校-教材 IV. ①04-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第091144号

策 划 程光旭 成永红 徐忠锋

书 名 综合与近代物理实验
主 编 王红理 张俊武 黄丽清
责任编辑 王 欣

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路10号 邮政编码 710049)

网 址 <http://www.xjtupress.com>
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)
(029)82668315(总编办)

传 真 (029)82668280
印 刷 陕西奇彩印务有限责任公司

开 本 727mm×960mm 1/16 印张 18.25 字数 334千字
版次印次 2015年8月第1版 2015年8月第1次印刷
书 号 ISBN 978-7-5605-7285-7/O·501
定 价 36.50元

读者购书、书店添货,如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82668133

读者信箱:lg_book@163.com

版权所有 侵权必究

编审委员会

主 任 冯博琴

委 员 （按姓氏笔画排序）

邓建国 何茂刚 张建保 陈雪峰

罗先觉 郑智平 徐忠锋 黄 辰

Preface 序

教育部《关于全面提高高等教育质量的若干意见》(教高〔2012〕4号)第八条“强化实践育人环节”指出,要制定加强高校实践育人工作的办法。《意见》要求高校分类制订实践教学标准;增加实践教学比重,确保各类专业实践教学必要的学分(学时);组织编写一批优秀实验教材;重点建设一批国家级实验教学示范中心、国家大学生校外实践教育基地……。这一被我们习惯称之为“质量30条”的文件,“实践育人”被专门列了一条,意义深远。

目前,我国正处在努力建设人才资源强国的关键时期,高等学校更需具备战略性眼光,从造就强国之才的长远观点出发,重新审视实验教学的定位。事实上,经精心设计的实验教学更适合承担起培养多学科综合素质人才的重任,为培养复合型创新人才服务。

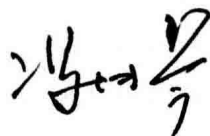
早在1995年,西安交通大学就率先提出创建基础教学实验中心的构想,通过实验中心的建立和完善,将基本知识、基本技能、实验能力训练融为一炉,实现教师资源、设备资源和管理人员一体化管理,突破以课程或专业设置实验室的传统管理模式,向根据学科群组建基础实验和跨学科专业基础实验大平台的模式转变。以此为起点,学校以高素质创新人才培养为核心,相继建成8个国家级、6个省级实验教学示范中心和16个校级实验教学中心,形成了重点学科有布局的国家、省、校三级实验教学中心体系。2012年7月,学校从“985工程”三期重点建设经费中专门划拨经费资助立项系列实验教材,并纳入到“西安交通大学本科‘十二五’规划教材”系列,反映了学校对实验教学的重视。从教材的立项到建设,教师们热情相当高,经过近一年的努力,这批教材已见端倪。

我很高兴地看到这次立项教材有几个优点:一是覆盖面较宽,能确实解决实验教学的一些问题,系列实验教材涉及全校12个学院和一批重要的课程;二是质

量有保证,90%的教材都是在多年使用的讲义的基础上编写而成的,教材的作者大多是具有丰富教学经验的一线教师,新教材贴近教学实际;三是按西安交大《2010版本本科培养方案》编写,紧密结合学校当前教学方案,符合西安交大人才培养规格和学科特色。

最后,我要向这些作者表示感谢,对他们的奉献表示敬意,并期望这些书能受到学生欢迎,同时希望作者不断改版,形成精品,为中国的高等教育做出贡献。

西安交通大学教授
国家级教学名师



2013年6月1日

Foreword 前言

近代物理实验与综合物理实验课程,是为高年级本科生开设的重要的实验课程,具有多种理论、多种技术和多种学科交叉的特点,在培养学生综合思维能力、实验创新能力、科学研究能力等方面有着非常好的作用,在国内外高校都得到了高度重视。

自 1984 年成立物理系以来,我校陆续给应用物理系学生开设过中级物理实验、专门物理实验、科技综合训练、综合物理实验、近代物理实验、高等物理实验等课程,编写过《中级物理实验讲义》、《科技综合训练讲义》和《专门物理实验讲义》。这些实验课程所开设的实验项目有在近代物理学发展史上堪称里程碑的著名实验,有获得诺贝尔物理学奖的实验,也有与现代科学技术中常用实验方法或技术有关的实验。与普通物理实验相比,这些实验所涉及的知识面很广,具有很强的综合性和技术性,因此都收到了良好的教学效果,一方面使同学们进一步认识物理实验对近代物理规律发现和近代物理理论建立所起的重大作用,加深对近代物理概念和规律的理解;另一方面,使同学们能掌握近代物理及现代技术中的一些常用实验方法和实验技能,进一步培养良好的实验习惯和严谨的科学作风,使同学们获得一定程度的用实验方法和技术研究物理以及相关学科科学问题的工作能力。

近年来科学技术飞速发展,物理实验课程也必须随之发展,要将现代科技进步的成果应用到实验教学当中,将教师的科研成果转化为教学实验。因此,除了传统的超声波技术、微波技术、原子物理技术,我们也将磁共振技术、核物理技术、X 射线技术、光谱技术、光纤技术、真空技术、材料制备技术、半导体技术、计算机技术等现代技术融入到近代物理实验、综合物理实验课程中,并在这本《综合与近代物理实验》教材中得到体现。

全书分为九章,涵盖了原子物理与核物理类、光学类、微波类、磁共振类、超声波类、X 光类、半导体技术类、材料制备类以及综合类共 46 个实验项目,附录收编我国法定计量单位及物理常数等。

实验教学是一项集体的事业,这本书也凝聚了我校几十年来从事物理实验教

学的教师和技术人员的智慧和劳动成果。实验室的前辈陆兆祥、鲁从勛、赵正平、李锦泉、胡柱国等都为近代物理实验室的建设、实验课的开设付出了辛勤的劳动，他(她)们的无私奉献永远不会被忘记。在新教材出版之际，谨向他(她)们表示衷心的感谢！

本书由王红理、张俊武、黄丽清主编。王红理参加了第 2、3、4、5、7、8、9 章的编写，黄丽清参加了第 1、2、9 章的编写；程向明参加了第 2 章的编写；张俊武参加了第 6、7 章的编写；武霞参加了第 3、9 章的编写；王雪冬参加了第 1、8、9 章的编写；方湘怡参加了第 4、5、9 章的编写；高博参加了第 9 章的编写。全书由王红理、张俊武、黄丽清统稿。

在编写本书过程中，编者参阅了兄弟院校的有关教材，借鉴了不少宝贵的教学经验，在此对关心、支持本书编写的所有同仁表示衷心的感谢！在此还要感谢西安交通大学教务处领导的大力支持！由于业务水平有限，疏漏之处难免，望不吝指正！

编者

2015 年 2 月

Contents 目录

第 1 章 原子物理与核物理类实验	(1)
实验 1.1 α 粒子散射	(1)
实验 1.2 弗兰克-赫兹实验	(7)
实验 1.3 塞曼效应	(13)
实验 1.4 电子衍射	(19)
实验 1.5 用快速电子验证相对论效应	(24)
第 2 章 光学类实验	(35)
实验 2.1 空间频率滤波(附 θ 调制)	(35)
实验 2.2 光学传递函数的测量和像质评价	(41)
实验 2.3 测定光源的辐射能谱	(45)
实验 2.4 电子俘获材料荧光光谱特性的研究	(50)
实验 2.5 全息光栅的制作	(57)
实验 2.6 像面全息图	(64)
实验 2.7 数字全息	(68)
实验 2.8 光学双稳态现象	(77)
实验 2.9 液晶的电光效应	(82)
实验 2.10 单光子计数	(88)
实验 2.11 利用透射光谱测定滤光片透过率	(99)
实验 2.12 利用白光干涉测定薄膜厚度	(105)
第 3 章 微波类实验	(111)
实验 3.1 微波工作波长和波导波长测量	(111)
实验 3.2 用谐振腔微扰法测定微波电介质的介电常数	(115)
实验 3.3 微波分光仪	(119)
实验 3.4 微波布拉格(Bragg)衍射	(122)
第 4 章 磁共振类实验	(128)
实验 4.1 核磁共振	(128)

实验 4.2	脉冲核磁共振与核磁共振成像	(133)
实验 4.3	射频段电子自旋共振(ESR)	(148)
实验 4.4	微波段电子自旋共振	(153)
实验 4.5	光泵磁共振	(159)
第 5 章	超声波类实验	(166)
实验 5.1	超声光栅	(166)
实验 5.2	超声波测量及超声探伤	(170)
第 6 章	X 射线类实验	(181)
实验 6.1	X 射线在单晶上的衍射	(181)
实验 6.2	X 射线能谱与管电压和发射电流的关系	(189)
实验 6.3	钨阳极 X 射线特征谱线的精细结构	(193)
实验 6.4	用杜恩-亨特关系测定普朗克常数	(197)
实验 6.5	边缘吸收: X 射线滤波	(200)
实验 6.6	莫斯利定理测定里德堡常数	(203)
实验 6.7	康普顿效应: 研究散射 X 光量子的能量损失	(206)
第 7 章	半导体技术类实验	(211)
实验 7.1	半导体激光器的电学和光学性能测试	(211)
实验 7.2	锗的带隙宽度测量	(216)
第 8 章	材料制备类实验	(221)
实验 8.1	射频磁控溅射镀膜	(221)
实验 8.2	用气氛程控高温炉制备材料	(227)
第 9 章	其他综合性物理实验	(232)
实验 9.1	非线性电路振荡周期的分岔与混沌	(232)
实验 9.2	制冷系数的测定	(239)
实验 9.3	铁电体电滞回线及居里温度的测量	(245)
实验 9.4	表面等离子体共振	(251)
实验 9.5	用磁阻效应测量地磁场	(256)
实验 9.6	用交直流磁化率法测定稀磁合金的自旋玻璃态特性	(262)
实验 9.7	用双光栅测量微弱振动	(269)
附录 A	中华人民共和国法定计量单位	(276)
附录 B	常用物理数据	(279)

第 1 章 原子物理与核物理类实验

实验 1.1 α 粒子散射

电子被发现以后,人们普遍认识到电子是一切元素的原子的基本组成部分。但通常情况下原子是呈电中性的,这表明原子中还有与电子的电荷等量的正电荷,所以,研究原子的结构首先要解决原子中正负电荷怎样分布的问题。从 1901 年起,各国科学家陆续提出了各种不同的原子模型。

第一个比较有影响的原子模型,是 J. J. 汤姆逊于 1904 年提出的“电子浸浮于均匀正电球”中的模型。他设想,原子中电子在与正电荷间作用力以及电子间的斥力的作用下浮游在球内,这种模型俗称为“葡萄干布丁模型”。汤姆逊还认为,不超过某一数目的电子将对称地组成一个稳定的环或球壳;当电子的数目超过一定值时,多余电子组成新的壳层,随着电子的增多将造成结构上的周期性。因此他设想,元素性质的周期变化或许可用这种电子分布的壳层结构作出解释。汤姆逊的原子模型很快地被进一步的实验所否定,它不能解释 α 射线的大角度散射现象。

卢瑟福从 1904 年到 1906 年 6 月,做了许多 α 射线通过不同厚度的空气、云母片和金属箔(如铝箔)的实验。英国物理学家 W. H. 布拉格(W. H. Bragg, 1862—1942)在 1904—1905 年也做了这样的实验。他们发现,在此实验中 α 射线速度减慢,而且径迹偏斜了(即发生散射现象)。例如,通过云母的某些 α 射线,与它们原来的途径约偏斜 2° ,发生了小角度散射。1906 年冬,卢瑟福还发现 α 粒子在某一临界速度以上时能打入原子内部,由它的散射和所引起的原子内电场的反应可以探索原子内部结构,而且他还预见到可能会出现较大角度的散射。

1911 年,卢瑟福对大角度散射过程的受力关系进行计算,得出一个新的原子结构设想,认为原子中有一个体积很小、质量很大的带正电荷的原子核,它对带正电荷的 α 粒子的很强的排斥力使粒子发生大角度偏转;原子核的体积很小,其直径约为原子直径的万分之一至十万分之一,核外是很大的空的空间,带负电的、质量比原子核轻得多的电子在这个空间里绕核运动。盖革和马斯顿 1912 年所做的实验证实了原子核的存在。1913 年莫斯莱定律的发现以及 1919 年阿斯顿(F. W.

Aston, 1877—1945) 用质谱仪测定各种元素的同位素的实验进一步证实了卢瑟福的原子模型。

但是, 卢瑟福原子模型由于同经典电磁理论存在着尖锐矛盾而遇到困难, 所以发表后没有很快引起国内外的重视。1913 年玻尔把量子理论用于原子, 与卢瑟福有核原子模型结合起来, 使它发展成为卢瑟福-玻尔原子模型, 迅速受到各国科学界的高度重视, 大大提高了卢瑟福和玻尔的声音。

从 1898 年发现镭到 1911 年发现原子核和原子有核结构, 出现了根本变革以往原子论的划时代科学硕果。原子有核结构的发现意味着原子物理学和核物理学的出现, 也是现代结构化学即将诞生的前奏。

一、实验目的

1. 初步了解近代物理中有关粒子探测技术和相关电子学系统的结构, 熟悉半导体探测器的使用方法;
2. 实验验证卢瑟福散射的微分散射截面公式;
3. 测量 α 粒子在空气中的射程。

二、实验仪器

粒子源, 真空室, 探测器与计数系统, 真空泵。

三、实验原理

1. 瞄准距离与散射角的关系

卢瑟福把 α 粒子和原子都当作点电荷, 并且假设两者之间的静电斥力是唯一的相互作用力。如图 1 所示, 设一个 α 粒子以速度 V_0 沿 AT 方向入射, 由于受到核电荷的库仑作用, α 粒子将沿轨道 ABC 出射。通常, 散射原子的质量比 α 粒子的质量大得多, 可近似认为核静止不动。按库仑定律, 相距为 r 的 α 粒子和原子核之间库仑斥力的大小为

$$F = \frac{2Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (1)$$

式中: Z 为原子序数。 α 粒子的轨迹为双曲线的一支。原子核与 α 粒子入射方向之间的垂直距离 b 称为瞄准距离(或碰撞参数), θ 是入射方向与散射方向之间的夹角。

由牛顿第二定律, 可导出散射角与瞄准距离之间的关系为

$$\cot \frac{\theta}{2} = \frac{2b}{D} \quad (2)$$

其中

$$D = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2Ze^2}{mV_0^2/2}$$

式中: m 为 α 粒子的质量。

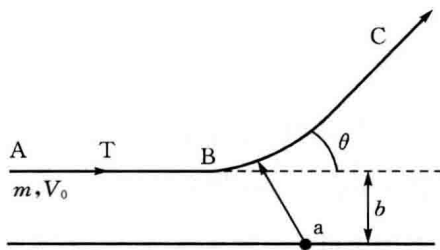


图1 散射角与瞄准距离的关系

2. 卢瑟福微分散射截面公式

由散射角与瞄准距离的关系式(2)可见,瞄准距离 b 越大,散射角 θ 就越小;反之, b 越小, θ 就越大。

只要瞄准距离 b 足够小, θ 就可以足够大,这就解释了大角度散射的可能性。但是从实验上来验证式(2),显然是不可能的,因为我们无法测量瞄准距离 b 。然而我们可以求出 α 粒子按瞄准距离 b 的分布,根据这种分布和式(1),就可以推出散射 α 粒子的角分布,而这个角分布是可以直接测量的。

如图2所示,设有截面为 S 的 α 粒子束射到厚度为 t 的靶上。其中某一 α 粒子在通过靶时相对于靶中某一原子核 a 的瞄准距离在 $b \sim b + db$ 之间的概率,应等于圆心在 a 而圆周半径为 b 、 $b + db$ 的圆环面积与入射截面 S 之比。若靶的原子数密度为 n ,则 α 粒子束所经过的这块体积内共有 nSt 个原子核,因此,该 α 粒子相对于靶中任一原子核的瞄准距离在 b 和 $b + db$ 之间的概率为

$$dw = \frac{2\pi b db}{S} nSt = 2\pi ntb db \quad (3)$$

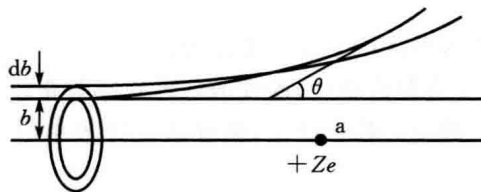


图2 入射 α 粒子散射到 $d\theta$ 角度范围内的概率

这也就是该 α 粒子被散射到 $\theta \sim \theta + d\theta$ 之间的概率,即落到角度为 θ 和 $\theta + d\theta$ 的两个圆锥面之间的概率。

由式(2)求微分可得

$$b|db| = \frac{1}{2} \left(\frac{D}{2}\right)^2 \frac{\cos(\theta/2)}{\sin^3(\theta/2)} d\theta \quad (4)$$

代入式(3)中,得

$$d\omega = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 nt \frac{\cos(\theta/2)}{\sin^3(\theta/2)} d\theta \quad (5)$$

另外,由角度为 θ 和 $\theta + d\theta$ 的两个圆锥面所围成的立体角为

$$d\Omega = \frac{dA}{r^2} = \frac{2\pi r \sin\theta r d\theta}{r^2} = 2\pi \sin\theta d\theta \quad (6)$$

因此, α 粒子被散射到该范围内单位立体角内的概率为

$$\frac{d\omega}{d\Omega} = \left(\frac{D}{4}\right)^2 nt \frac{1}{\sin^4(\theta/2)} \quad (7)$$

上式两边除以单位面积的靶原子数 nt , 可得微分散射截面

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{D}{4}\right)^2 \frac{1}{\sin^4(\theta/2)} = \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\right)^2 \left(\frac{Ze^2}{mV_0^2}\right)^2 \frac{1}{\sin^4(\theta/2)} \quad (8)$$

这就是著名的卢瑟福 α 粒子散射公式。代入各常数,以 E 代表入射 α 粒子的能量,得到

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = 1.296 \left(\frac{2Z}{E}\right)^2 \frac{1}{\sin^4(\theta/2)} \quad (9)$$

式中: $d\sigma/d\Omega$ 的单位为 mb/sr , E 的单位为 MeV 。

实验过程中,设探测器的灵敏面积对靶所张的立体角为 $\Delta\Omega$,由卢瑟福散射公式可知在某段时间间隔内所观察到的 α 粒子数 N 应是

$$N = \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\right)^2 \left(\frac{Ze^2}{mV_0^2}\right)^2 \frac{nt\Delta\Omega}{\sin^4(\theta/2)} T \quad (10)$$

式中: T 为该时间内射到靶上的 α 粒子总数。由于式中 N 、 $\Delta\Omega$ 、 θ 等都可测,所以公式(10)可和实验进行比较。由该式可见,在 θ 方向上 $\Delta\Omega$ 内所观察到的 α 粒子数 N 与散射靶的核电荷数 Z 、 α 粒子动能 $\frac{1}{2}mV_0^2$,以及散射角 θ 等因素都有关。

对卢瑟福散射公式可以从以下几个方面加以验证:

①固定散射角,改变金靶的厚度,验证散射计数率与靶厚度的线性关系 $N \propto t$ 。

②更换 α 粒子源以改变 α 粒子能量,验证散射计数率与 α 粒子能量的平方反比关系 $N \propto 1/E^2$ 。

③改变散射角,验证散射计数率与散射角的关系 $N \propto 1/\sin^4(\theta/2)$ 。这是卢瑟福散射公式中最突出和最重要的特征。

④固定散射角,使用厚度相等而材料不同的散射靶,验证散射计数率与靶材料核电荷数的平方关系 $N \propto Z^2$ 。由于很难找到厚度相同的散射靶,而且需要对原

子数密度 n 进行修正,这一实验内容的难度较大。

在本书中,只涉及到第③方面的实验内容,这是卢瑟福理论最有力的验证。

四、实验装置及步骤

α 粒子散射实验装置主要包括散射真空室部分、电子学系统部分和步进电机的控制系统部分,下面主要介绍散射真空室和相关部分。

散射真空室中,主要有 α 散射源(^{241}Am 或 ^{238}Pu 源,其能量分别为 5.486 MeV 和 5.499 MeV)、散射样品台、 α 粒子探测器、步进电机及传动机构等,如图 3 所示。

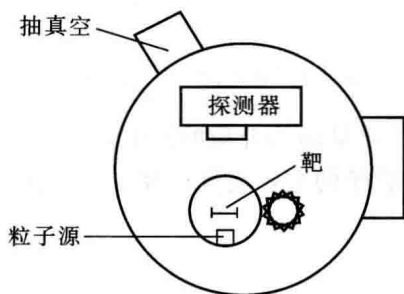


图3 散射真空室装置内部图

步进电机控制系统,可以按照实验操作者的指令来改变粒子探测器与样品台之间的相对位置,这样就可以测量出在样品台旋转平面内任意位置,探测器所接收到的散射粒子数。

五、实验步骤

1. 若打开真空室上盖,可以直接观察并调节散射源准直孔大致与探测器准直孔对正,盖紧真空室盖子。
2. 打开机械泵,对真空室抽真空,以减少空气对 α 粒子的阻碍作用。
3. 通过步进电机细调散射源准直孔与探测器准直孔的相对位置,同时观察计数器窗口显示,所接收到的粒子数最多时,两准直孔处于对正状态,称为物理零点。
4. 若不打开真空室上盖,可直接利用步骤 3 来寻找物理零点。
5. 数据测量时,先倒转 10° (350°),并开始测量范围从 -10° 至 50° ,共转过 60° 区间,其中在 $\theta = -10^\circ \sim 20^\circ$ 间,每转 1° 记录 5 组数据, $\theta = 20^\circ \sim 50^\circ$ 时,每转过 5° 记录 5 组数据。

6. 测量值按同一测量时间归一。以散射角为横坐标,散射计数为纵坐标作图。

以函数形式 $N = \frac{P_1}{\sin^4(\theta/2)}$ 进行曲线拟合,并在同一坐标上画出拟合曲线。其中,

N 为散射计数, P_1 为拟合参数。

7. 认真总结, 得出结论。

8. 选作实验(测量 α 粒子在空气中的射程)。改变 α 粒子源与探测器间的距离, 每次改变的距离为 $0.5 \sim 1 \text{ mm}$ 。记录每次测量的数据, 以距离为横坐标, 所接收到的粒子数为纵坐标作图。

注意: α 散射源表面与散射源屏蔽体表面的距离为 20 mm , 半导体探测器表面与探测器准直孔表面距离为 2.5 mm 。

能量为 $E(\text{MeV})$ 的 α 粒子在空气中的射程 $R(\text{cm})$ 可以按照以下经验公式计算

$$R = 1.78 \times 10^{-4} \frac{1}{\rho} A^{\frac{1}{3}} E^{\frac{3}{2}}$$

式中: A 为介质的相对原子质量; ρ 为介质的密度, g/cm^3 。

根据所用放射源中 α 粒子的主要能量计算 α 粒子在空气中的射程, 并与实验测量结果比较。

六、思考题

1. ^{241}Am 或 ^{238}Pu 放射源发出的 α 粒子在空气中的射程是多少?
2. 卢瑟福散射实验中的实验数据误差应如何计算?
3. 在 α 粒子的射程末端附近, 为什么射程曲线是逐渐下降的?

附: 关键词解释

α 粒子: 由原子核放出的带正电的粒子(质子), 其质量为 $M_e = 6.64 \times 10^{-24} \text{ g}$, 是电子质量 $m_e = 9.11 \times 10^{-28} \text{ g}$ 的 7289 倍, 所带电量等于两个电子的电荷量, 相当于氦的原子核。

β 粒子: 从围绕原子核的轨道上跳出的电子, 带负电。

中粒子(中子): 存在于原子核中, 不带电, 但其有相当大的质量, 且运动速度高, 具有很大的动能。它与其他元素的原子和分子相互作用, 常常会释放出 α 粒子、 β 粒子、 γ 射线。

散射角 θ : α 粒子趋近原子核时的渐进方向与它离开时的渐进方向间的夹角。当 α 粒子以瞄准距离 $0 \sim b$ 射向靶核时, 由于两粒子间的相互作用, 设靶核静止不动, α 粒子将以角度 θ 或者更大的角度散射。散射角 θ 可以利用关系式

$$\cot \frac{\theta}{2} = \frac{4\pi\epsilon_0 T}{Ze^2} b$$

得出, 其中: T 为 α 粒子的能量; Z 为靶核电子数。

瞄准距离:原子核与 α 粒子入射方向之间的垂直距离 b 称为瞄准距离(或碰撞参数)。

散射截面:通常把面积 πb^2 称为相互作用截面,也叫作散射截面。常用符号用 σ 表示。

实验 1.2 弗兰克-赫兹实验

根据光谱分析等建立起来的玻尔原子结构模型指出:原子的核外电子只能量子化地长存于各稳定能态 $E_n(n=1,2,\cdots)$,它只能选择性地吸收外界给予的量子化的能量差值($E_n - E_k$),从而处于被激发的状态;或电子从激发态选择性地释放量子化的能量 $E_n - E_k = h\nu_{nk}$,回到能量较低的状态,同时放出频率为 ν_{nk} 的光子。其中 h 为普朗克常数。

1914年,德国科学家弗兰克(J. Franck)和赫兹(G. Hertz)用慢电子与稀薄气体原子碰撞的方法,使原子从低能级激发到高能级。并通过对电子与原子碰撞时能量交换的研究,直接证明了原子内部能量的量子化。弗兰克和赫兹的这项工作获得了1925年度的诺贝尔物理学奖。

弗兰克-赫兹实验仪重复了上述电子轰击原子的过程,通过具有一定能量的电子与原子相碰撞进行能量交换,使原子从低能级跃迁到高能级,直接观测到原子内部能量发生跃变时,吸收或发射的能量为某一定值,从而证明了原子能级的存在及玻尔理论的正确性。

一、实验目的

1. 通过测氩原子第一激发电位,了解弗兰克和赫兹在研究原子内部能量量子化方面所采用的实验方法;
2. 了解电子和原子碰撞和能量交换过程的微观图像。

二、实验仪器

FH-1A 弗兰克-赫兹实验仪、示波器等。

三、实验原理

图1是充氩四极弗兰克-赫兹实验原理图。电子与原子的碰撞过程可以用以下方程描述: