



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

普通物理学

第五分册

量子物理学基础

(第三版)

梁绍荣 刘昌年 盛正华 主编 梁绍荣 管 靖 修订



高等教育出版社

04/71=2

:5

2008

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

普通物理学

第五分册 量子物理学基础

(第三版)

梁绍荣 刘昌年 盛正华 主编

梁绍荣 管 靖 修订



高等教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

普通物理学. 第五分册, 量子物理学基础 / 梁绍荣, 刘昌年, 盛正华主编. —3 版. —北京: 高等教育出版社, 2008. 1

ISBN 978 - 7 - 04 - 022668 - 3

I. 普… II. ①梁…②刘…③盛… III. ①普通物理学 - 高等学校 - 教材 ②量子论 - 高等学校 - 教材 IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第190091号

策划编辑 刘 伟 责任编辑 张海雁 封面设计 王 睢 责任绘图 尹 莉
版式设计 马敬茹 责任校对 张 颖 责任印制 陈伟光

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	涿州市星河印刷有限公司		http://www.landaco.com.cn
开 本	787×960 1/16	畅想教育	http://www.widedu.com
印 张	21.25	版 次	1989 年 5 月第 1 版
字 数	390 000		2008 年 1 月第 3 版
		印 次	2008 年 1 月第 1 次印刷
		定 价	22.40 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 22668-00

内 容 提 要

本书是在原《普通物理学》(第二版)的基础上修订而成的,原书是针对师专编写的,本次修订在保留原书特色的基础上,根据 2003 年教育部制定的普通高中物理课程标准中对中学物理教师的要求和近年来高等教育大众化的发展情况,按照高等师范院校和理工类高校物理专业本科普通物理学的教学标准,在保持原书主干内容的基础上,新增了部分拓展内容,使本书在适合本科少学时使用的同时,兼顾了师专院校的物理教学。

本书分力学、热学、电磁学、光学和量子物理学基础等五册。本册为第五分册量子物理学基础,内容包括量子物理学的基础知识、多电子原子及分子光谱、量子统计物理学初步、原子核物理学、粒子物理学。

这次修订在基本保持原有结构和特色的基础上,在内容结构上作了较大的调整,将相对论调到第一分册,去掉了固体物理学,增加了量子统计物理学初步(加 * *)。在第一章中增加了利用计算机数值计算结果和计算机模拟实验对波粒二象性和一维波函数的定性讨论。

本书可作为师范类、理工类高等学校物理类专业本科的教材,去掉加 * 和 * * 号的章节后并不影响知识结构的完整性,可作为师专、教育学院、函授等物理专业的教材,也可作为中学教师的培训参考书。

著名物理学家的教育思想

中国传统教育提倡按部就班的教学方法,认真的学习态度,这有利于学生打下坚实的基础,但相对来说,缺少创新意识;美国提倡“渗透式”的教育方法,其特点是学生在学习的时候,对所学的内容往往还不太清楚,然而就在这过程中已经一点一滴地学到了许多东西,这是一种“体会式”的学习方法,培养出来的学生有较强的独立思考和创造能力,易于很快地进入科学发展的前沿,但不如前者具有扎实的根基。中美两种教育方式各具特色,长短互补,若能将两者的优点和谐地统一起来,在教育方法上无疑是一个突破。

——杨振宁

发展独立思考和独立判断的一般能力,应当始终放在首位,而不应当把获得专业知识放在首位。

——爱因斯坦

教育的目标,不只限于知识的传授,尤其是高等教育,其主要任务是教导学生思考。

——吴大猷

进步道路上的绊脚石是,也一向是不容怀疑的传统。

——吴健雄

我们主张采取“既讲清楚,又不讲清楚”、“言犹未尽”的讲授方法。应该力求讲清一些基本概念,使大多数同学经过思考即可容易地掌握这些知识。但对于已经学过的内容,我们提倡让同学自己去做“温故而知新”的工作;对于我们认为同学们经过思考可以掌握的内容、可以导出的公式,则留给同学们自己去做;有时我们留一些“伏笔”,过几章之后再作解答。

——杨福家

想像力比知识更重要,因为知识是有限的,而想像力概括着世界上的一切,推动着世界前进,并且是知识进化的源泉。严格地说想像力是科学研究中的实在因素。

——爱因斯坦

第三版前言

本书于1987—1989年期间出版了第一版;于1993—1995年期间修订再版。现根据教育部2003年制订的普通高中物理课程标准中对中学物理教师的要求和近年来的高校发展情况,按高等师范院校和理工类高校物理专业本科普通物理学教材标准而修订成为第三版。本书分力学、热学、电磁学、光学和量子物理学基础等五册。

本书第一版是受当时国家教委高校理科物理教材编审委员会普通物理编审组的委托,为卫星电视师范、师范专科等物理专业的需要而编写的。出版后受到各方面的欢迎和好评。曾获1992年全国优秀教材国家教委二等奖,并于1994年根据当时的使用情况和国家教委颁发的新大纲编写出版了第二版。

当前,我国已进入高等教育大众化阶段,一些兄弟院校的同行老师们希望能将本书重新修订,使本书可作为本科物理类专业的普通物理教材使用,经过慎重的考虑,我们将新版教材定位为本科物理类专业教材,同时兼顾师范物理教学。为此,对本套书中的部分章节标以“*”、“**”号,并以小字排印,“**”内容为选学内容,删去这些内容并不影响知识结构的完整性,而对于师范专科、教育学院、函授等院校物理专业的教学,可删去标有“*”、“**”的内容,在实际教学过程中,教师可根据需要对内容作灵活调整。

这次修订除保留原书的内容简明、科学严谨、阐述清晰、深入浅出、增加物理学导论和浅、宽、准的编写思想外,主要改革之处为:①加强物理学思想方法的讲授,教材中不仅在讲述过程中注意这方面的内容,而且在适当章节作回顾、评述等加以强化,以便由知识加方法以形成能力,进而有助于创新精神的培养;②注意分段小结、层层提高,如在力学中以牛顿定律的思想体系为主线,热学中加强统计规律的思想,电磁学中突出场的概念,光学中注意讲清波动理论及其承上启下的作用,量子物理学中将引导学生进入人们所不熟悉的微观领域等;③进一步增加近代物理学内容;④进一步加强联系实际等。总之,全书以物理学导论为开端,由机械运动到热运动,由实物到场,由宏观到微观,由经典到近代,用物理学的基本思想贯穿全书,逐步提高,直至前沿。

这次修订在内容结构上有较大调整,将相对论由第五分册调到第一分册,并在第一分册中增加一章(加**) Matlab 在普通物理学中的应用(在其他分册中,相应部分则作为附录,以便使用);在第四分册中,将原附录Ⅱ扩为一章(加

*) ; 去掉第五分册中的固体物理学, 增加量子统计物理学初步(加**); 将第五分册的名称由近代物理学基础改为量子物理学基础等。各分册中的具体修改情况在相应的分册中另有说明。

本册的主要修改之处为: ① 将相对论调到第一分册, 去掉固体物理学, 增加量子统计物理学初步; ② 将计算机数值计算结果引入教材, 在此基础上对一维波函数作较深入的定性讨论(§5-1-11); ③ 将计算机模拟实验引入教材, 在此基础上对波粒二象性作较深入的定性讨论(§5-1-15); ④ 简单介绍了量子力学理论和实验的新进展(§5-1-15)。

修订中增加了一些内容, 以适应中学物理教学改革的需求, 主要是强化了对波粒二象性和统计规律性的讨论。与此同时, 为了篇幅不致太大, 更主要的是为了读者可以集中精力学习量子物理知识, 适当地删减了一些非量子问题的推证。

由承德民族师专承办的《基础物理学》研讨会上, 编者借机征求对本书的修改意见, 与会的师大、师院、师专、综合大学和理工类高校等多位老师提出了很多宝贵意见和建议; 川北教育学院的许弟余教授等几位老师提出了很多的具体书面意见; 唐山师院的石凤良副教授对本书第五分册也提出了不少书面意见; 唐山师院的王耀华副教授和承德民族师专的高新意副教授对本书的第三分册提出了很多有益的改进意见。

北京师范大学王春风老师对修订本册做了大量调研工作, 并提供了部分章节的初稿。

高等教育出版社理工出版中心的陶铮和刘伟编辑对本书的修订作了精心策划, 提出了许多有益的意见。陈海柳和张海雁编辑为本书的出版做了出色的编辑工作。

本册由北京师范大学裴寿镛教授审阅。

在此一并对上述各位女士、先生表示诚挚的谢意。

本书由梁绍荣、管靖主持修订, 各分册分别由管靖、王天泰、唐伟国编写。在成书过程中我们共同讨论, 确定编写原则、书的水平、篇幅和体例等事宜, 分别执笔, 最后由梁绍荣、管靖核定。我们虽尽心尽力, 力图编好, 但水平所限, 书中错误、缺点在所难免, 恳请专家、同行和读者批评指正。

编者

2004年5月于北京

第二版前言

全书共五册,是适应师专教学改革的要求及培养、提高初中物理师资的需要,参照师专、教育学院、中学教师进修高等师范专科等三种教学大纲编写而成。于1987—1989年陆续出版后,受到各方面的欢迎和好评。本书是受当时国家教委高校理科物理教材编审委员会普通物理编审组委托编写的,现根据国家教委1991年12月颁发的中学教师进修高等师范专科物理教育专业教学大纲,并考虑师专、教育学院及函授等各方面的需要修订再版。全书分力学、热学、电磁学、光学和近代物理学基础等五个分册。

全书加强了普通物理学各分册之间的联系;增加了物理学导论作为全书的第一章,使读者在学习物理学之初对它的全貌有一大致的了解,以图消除“只见树木,不见森林”的弊端;全书力求具有体系严谨、深入浅出、概念准确、叙述简明、知识面宽、求实求新、便于自学等特点。

本书由原编者共同讨论确定修改原则后,由梁绍荣执笔修订。在此期间,承蒙川北教育学院许弟余副教授、邯郸地区教育学院赵国晴先生提出了许多意见和建议,特别是许弟余同志提出了一系列可行的、中肯的意见和建议。几年来,不少热心的教师和读者来函提出了若干改正意见。第五章由原作者北京师范大学史天一教授进行了复核。高等教育出版社钟金城编审为本书出版付出了辛勤的劳动,作出了有益的贡献。全书由北京师范大学胡镜寰副教授审校,提出了许多宝贵的意见和建议。在此,对以上各位先生表示衷心的感谢。

编者

1993年11月于北京师范大学

第一版前言

这是《普通物理学》的第五分册——近代物理学部分,该书是在国家教委高等学校理科物理教材编审委员会的指导下,根据有关大纲,为适应卫星电视教育、教育学院等校培训初中物理教师以及师专物理专业的教学需要而编写的。

我们在编写本分册时,考虑到上述学校与师范院校本科不同,因为在这类学校中再没有后续课,所以应在《普通物理学》的层次内讲清物理学的全貌。基于这种认识,我们在第五分册中增加了近代物理的成分。首先,从量子物理学的观点讲解原子物理学的内容;其次,增写了一篇粒子物理学(17学时)和一篇固体物理学(10学时)。本册共需96学时。这是本书改革的初次尝试。如不拟这样做,即不讲粒子物理学和固体物理学部分,本册用70学时即可。还有,狭义相对论部分如在力学中已经讲过,本册用60学时也就够了。

本册共分五篇十四章,第一、二、三、四章由北京师范大学梁绍荣同志和唐山师专、唐山教育学院王天泰同志编写,梁执笔初稿,王负责整理、选配思考题和习题;第五、六、七、八、九、十四章由宜昌师专王正清同志编写;第十、十一、十二、十三章由北京师范大学史天一同志编写。在编写过程中,作者之间经多次讨论,相互吸取有益的意见和建议并进行修改。全书由梁绍荣同志复核定稿。

本书承山东大学余寿绵教授(主审)、北京大学许祖华同志、北京教育学院张维善同志、衡阳师专曾锡滨同志、内江师专朱洪玉同志等审定,他们提出很多中肯的意见和建议,对此,我们深表谢意。

由于我们水平所限,书中难免有错误和不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编者

1988年6月

目 录

第一章 量子物理学的基础知识	1
§ 5-1-1 微观客体的波粒二象性	2
§ 5-1-2 原子的核模型	9
§ 5-1-3 氢原子光谱的实验规律	15
§ 5-1-4 玻尔理论	18
§ 5-1-5 量子力学的建立	27
§ 5-1-6 波函数的统计解释	28
§ 5-1-7 薛定谔方程	33
§ 5-1-8 无限深势阱	36
* § 5-1-9 线性谐振子	39
§ 5-1-10 势垒贯穿 隧道效应	41
* § 5-1-11 一维定态薛定谔方程的数值解与定性讨论	43
§ 5-1-12 氢原子	62
§ 5-1-13 电子自旋	72
§ 5-1-14 不确定关系	75
§ 5-1-15 总结、拓展与评述	81
思考题	106
习题	107
第二章 多电子原子及分子光谱	110
§ 5-2-1 碱金属原子	110
§ 5-2-2 两个价电子的原子	127
§ 5-2-3 氦氖激光器原理	134
§ 5-2-4 元素周期表	137
§ 5-2-5 X 射线	150
* § 5-2-6 磁场对原子能级的影响	155
* § 5-2-7 分子结构和分子光谱	166
思考题	177
习题	178
** 第三章 量子统计物理学初步	181
§ 5-3-1 系统微观态的量子描述	181
§ 5-3-2 三种系统的热力学概率和最概然分布	182

§ 5-3-3 M-B 分布的半经典表示 固体热容量	186
§ 5-3-4 量子统计理论的经典极限条件和能量连续条件	190
§ 5-3-5 量子理想气体的定性讨论	192
思考题	197
习题	197
第四章 原子核物理学	199
§ 5-4-1 原子核的基本性质	200
§ 5-4-2 原子核衰变的基本规律	213
§ 5-4-3 α 衰变 β 衰变	221
§ 5-4-4 γ 衰变和内转换	231
* § 5-4-5 放射性的应用和防护	234
§ 5-4-6 原子核结构模型	238
§ 5-4-7 原子核反应	250
* § 5-4-8 核反应截面和反应机制	258
* § 5-4-9 加速器	262
§ 5-4-10 核裂变 核聚变	264
思考题	274
习题	275
第五章 粒子物理学	277
§ 5-5-1 粒子物理学的发展概况	278
§ 5-5-2 粒子间的相互作用	283
§ 5-5-3 粒子的分类和基本性质	289
§ 5-5-4 夸克模型	296
* § 5-5-5 同位旋 奇异性	299
* § 5-5-6 对称性和守恒定律	305
思考题	315
习题	315
附录 Matlab 在量子物理学中的应用举例	317
习题参考答案	320
常用物理常量及换算关系表	325
主要参考文献	326

第一章 量子物理学的基础知识

量子力学是继狭义相对论之后建立的又一个重大的物理理论,它是人类智慧发展史中的一场革命.这两个重要理论赋予自然科学以新的生命力,并且对哲学和文化也有很大影响.量子力学研究微观粒子作低速运动时的统计规律.当微观粒子的速度与真空中光速 c 可比时,研究它们的学科称为相对论量子力学.本书仅研究低速运动的微观粒子,属于非相对论部分.

量子力学首先应用于原子光谱,取得了很大的成功,进而对原子核、分子等微观现象提供了较好的说明.现在,量子力学的应用范围极其广泛,凡是与原子内部电子运动以及电子、原子之间的相互作用有关的问题,都必须以量子力学作为其理论基础,如物理学中的原子物理、固体物理等;天文学中的天体演化、宇宙学等;自然科学中的化学、生物学以及医学等.至于各种新技术(如半导体、激光等),它们的诞生都与量子力学有密切关系.

时至今日,没有量子力学方面的知识作基础就难以学习现代自然科学,其中不少内容已开始进入中学教材.本书是在普通物理学的层次讲解量子力学的基本原理和简单应用,称之为量子物理学基础.本章首先讲述微观客体的波粒二象性;其次,以氢原子光谱为例讲解量子理论.

由于微观粒子的运动不能直接观察到,所以量子理论的正确性是通过间接的实验事实来验证的,如原子光谱反映原子中的电子运动时能量的变化,因此,学习量子物理学时更需注意严密的逻辑推理和善于抽象思维.

由于描述的对象不同,量子物理学与经典物理学相比,有下列主要特点:

① 波和粒子的统一 在经典物理学中质点运动与电磁辐射的波动二者是截然不同的,是宏观客体的两种运动形式;在量子物理学中,微观客体既有粒子性又有波性,二者统一于同一客体中.当然,这里的波和粒子的性质和经典的波和粒子也有原则上的区别.

② 概率性描述 在经典力学中质点于某时处于某处是完全确定的;在量子物理学中,对微观粒子(如电子),只能说于某时它处于某处的可能性(概率)有多大,而不能肯定于某时它究竟在何处.

③ 物理量的不连续性 在经典物理中,描述质点的物理量(如速度、能量等)的取值是连续的.但有的物理量的取值是不连续的,如物体所带电荷量 q 只能是元电荷 $e(1.6 \times 10^{-19} \text{C})$ 的整数倍,即

$$q = ne, n = 1, 2, 3, \dots$$

这称为电荷的量子化. 在量子物理学中, 物理量的取值可以是不连续的, 如微观粒子在某种情况下的能量只能取某一数值的整数倍, 这称为能量的量子化. 所谓物理量的量子化就是该物理量只能取离散(即不连续)的某些值的意思. 由于描述微观客体的各种物理量常有此特性, 因此研究它们的学科才冠以“量子”二字, 如量子物理学、量子化学等.

在学习量子物理学时, 要注意与经典物理学的重要区别, 对上述三方面的新概念要充分重视、认真思考, 以便学好近代物理学的这个重要分支.

§ 5-1-1 微观客体的波粒二象性

微观客体既有粒子性又有波性, 这与经典质点和经典波有根本区别. 对于光的波粒二象性在本书第四册(光学)中已经讲过, 本节首先对此作一简单回顾, 接着讲电子的波动性和它的实验验证, 再将此结果推广到一般实物粒子. 最后对微观客体的性质作一总结性的说明.

(一) 光的波粒二象性的回顾

我们知道, 光在传播过程中显示出波动性. 光的波动说圆满地解释了干涉、衍射和偏振等现象, 在麦克斯韦电磁理论建立之后, 波动说几乎取得了完全的胜利. 另一方面, 光与物质相互作用时显示出粒子性. 光量子或光子的假设成功地解释了黑体辐射、光电效应和康普顿效应. 这说明电磁波(或光)是由光子组成的, 它传播的是光子流. 光子的能量和动量分别为

$$\begin{cases} \varepsilon = h\nu \\ p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} \end{cases} \quad (5.1.1)$$

(5.1.1)式中第二式也可写为

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (5.1.2)$$

将光子视为微观粒子, 说明光具有粒子性; 另一方面, 从干涉、衍射以及偏振等现象中, 说明光又具有波动性. 这样, 光就具有粒子和波动的双重性质, 称之为光的波粒二象性.

但须注意, 光的粒子性所说的粒子并不是经典力学中的质点, 经典质点的运动服从牛顿力学的规律, 如已知质点某时的位置、速度和受力情况, 就能决定下一个时刻质点的位置和速度, 从而确定质点的运动轨迹. 而光的粒子性是指它是由光子组成的, 光子的能量和动量由(5.1.1)式决定, 该式说明, 光与物质相互

作用时交换的能量是一份一份的(即量子化的,一份就是一个光子),或者只能是这一份的整数倍,不能取其间的任意值,即光子或者完全被吸收或者不被吸收,光的粒子性的实质就在于此!所以,光的粒子性并不是微粒说的复活,二者有本质的区别.光的粒子性除“粒子”一词与经典物理中的“质点”有相似之处外,其余的性质几乎都有原则性的区别.例如,光子具有能量,但它的能量是量子化的;光子也有质量,但它的静止质量却为零,等等.

光的波粒二象性实质上是光子的波粒二象性.光子具有粒子性,而由(5.1.1)式知,它的能量和动量又与波长或频率通过普朗克常数直接联系在一起.所以,可以说,作为微观客体的光子具有波粒二象性.这是光的本性的反映,是对光的认识的深化.

(二) 德布罗意波

对光的本性的认识争论了几个世纪,最后确认了光的波粒二象性.这是一个极有启发性的物理事件.人们可以这样设想:既然过去被认为是波动的光,同时也具有粒子性,那么过去一向被认为是粒子的实物微粒(如电子),会不会也具有波性呢?

1924年,德布罗意大胆地提出,对于光子成立的关于能量、动量与波长、频率之间的关系式(5.1.1)对实物粒子也成立,并设实物粒子的波长按(5.1.2)式应

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (5.1.3)$$

式中, p 为实物粒子的动量.实物粒子的这种波称为“物质波”或德布罗意波.上式称为德布罗意关系式, λ 称为德布罗意波长,对微观粒子(如电子),其德布罗意波长是很短的.例如,当电子的动能为100 eV时,它的德布罗意波长为

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2m_0 E_k}}$$

式中, E_k 表示电子的动能,则

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{6.63 \times 10^{-34}}{(2 \times 9.1 \times 10^{-31} \times 100 \times 1.6 \times 10^{-19})^{1/2}} \text{ m} \\ &= 1.2 \times 10^{-10} \text{ m} = 0.12 \text{ nm} \end{aligned}$$

德布罗意的理论由于缺乏实验验证,当时并未引起人们的注意.他曾指出:“让一束电子通过一个非常小的窄缝,也许能够出现衍射现象”.由上面计算知,电子的波长与原子的线度相近,要刻出缝足够细的光栅,在当时是不可能的.1924年11月,德布罗意在他的博士论文《关于量子理论的研究》的答辩会上,曾建议用电子在晶体上作衍射实验.经三四年后,德布罗意的理论果然为实验所证实.

当时德布罗意的导师郎之万将这篇博士论文寄给了爱因斯坦,爱因斯坦对德布罗意的工作大加赞赏,认为这个工作已经揭开了一幅大幕的一角.

德布罗意波关系式(5.1.3)看来很简单,但它的意义却十分深远.这可与狭义相对论中的质能关系式 $E = mc^2$ 相比.质能关系将以前认为完全不同的两个概念,质量和能量联系了起来;而德布罗意关系式也将以前认为完全不同的两个概念,动量和波长联系在了一起.前者的比例常量是 c^2 (一个大的常量),后者的比例常量是 h (一个小的常量).这两个常量 c 和 h 在物理学中起了重要的作用.1927年,电子的波动性已得到令人信服的证明,使人们对物质世界的认识取得革命性的进展.由于这个开创性的工作,德布罗意被授予1929年度的诺贝尔物理学奖.

例题1 计算下列粒子的德布罗意波长.

(1) 质量为 50 g、速度为 20 m/s 的高尔夫球;

(2) 速度为 2 200 m/s 的质子.

解:由 $\lambda = \frac{h}{p}$

$$(1) \lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{0.05 \times 20} \text{ m} = 6.63 \times 10^{-34} \text{ m}$$

这个波长实在太小了,以至于无法检测.经典质点的波性极不明显.

$$(2) \lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{1.67 \times 10^{-27} \times 2\,200} \text{ m} = 1.80 \times 10^{-10} \text{ m}$$

这个波长与 X 射线的波长具有同一数量级.

例题2 欲得到 $\lambda = 0.10 \text{ nm}$ 的电子,它的动能应是多少?如使电子从静止时加速,其加速电压为多少?

解:(1) 由 $\lambda = \frac{h}{p}$, 设电子的动能为 E_k , 则

$$\begin{aligned} p &= \frac{h}{\lambda} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{1 \times 10^{-10}} \text{ kg} \cdot \text{m/s} \\ &= 6.63 \times 10^{-24} \text{ kg} \cdot \text{m/s} \\ E_k &= \frac{1}{2m} p^2 = \frac{(6.63 \times 10^{-24})^2}{2 \times 9.1 \times 10^{-31}} \text{ J} = 2.4 \times 10^{-17} \text{ J} \end{aligned}$$

(2) 设加速电压为 U , 则 $eU = E_k$

$$U = \frac{2.4 \times 10^{-17}}{1.6 \times 10^{-19}} \text{ V} = 150 \text{ V}$$

(三) 电子衍射实验

戴维孙是美国物理学家,主要研究热离子学和金属在电子轰击下的电子发

射. 他于 1919 年偶然发现镍晶体在电子轰击下发射的一些次级电子的角分布有两个极大值. 1920 年他用不同金属重复上述实验, 没有得到预期的效果. 1925 年, 他用的靶由于液态空气瓶爆炸而被氧化, 于是他延长加热时间以使靶得到清洁. 随后的实验有明显的变化, 次级电子角分布与晶体取向有强烈的关系, 这是晶体结构发生了变化的缘故. 1926 年, 戴维孙得知德布罗意的关于电子波动性的假设, 他相信, 他在实验中观察到了晶体对电子的衍射.

当时已经知道了 X 射线被晶体衍射的情况, 1913 年, 布拉格父子提出了这方面的理论. 如图 5-1-1, 圆点表示晶格上的原子 (实际是离子), 每一行表示一个晶面, 当一束 X 射线入射到不同晶面 (如上边的两个) 时会产生反射波, 它们产生相长干涉的条件为

$$2d \sin \theta = k\lambda \quad (5.1.4)$$

在满足这个条件的方位将观测到强衍射峰.

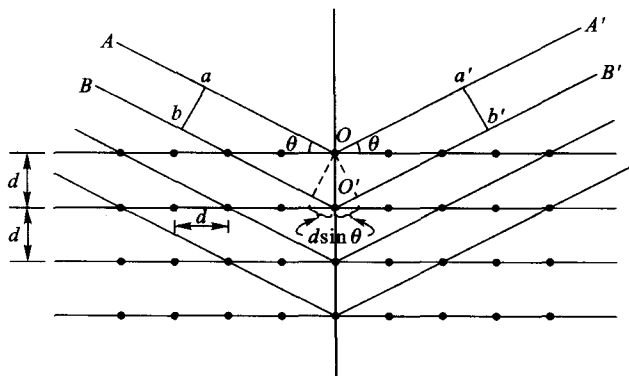


图 5-1-1

1927 年, 戴维孙和革末最先用实验证实了电子的波动性质. 他们的实验装置如图 5-1-2 所示. 由电子枪的炽热灯丝发射电子, 经电压 U 加速而获得动能, 通过两细孔后形成电子束, 垂直投射在镍单晶上. 一方面, 由于入射电子把动能传给金属内束缚不紧的电子, 使其脱离镍表面而形成次级发射. 次级发射电子流的能量随散射方向而缓慢变化. 另一方面, 由于电子衍射而出现电子流. 戴维孙和革末发现, 除了一般的次级发射外, 当加速电压为 54 V 时, 在 $\varphi = 50^\circ$ 处有一明显的峰值. 如图 5-1-3 所示.

$\varphi = 50^\circ$ 时, $\theta = (180^\circ - 50^\circ)/2 = 65^\circ$, 对镍而言, $d = 0.91 \times 10^{-10}$ m, 按 (5.1.4) 式, 取 $k=1$, 则

$$\lambda = 2d \sin \theta = 2 \times 0.91 \times 10^{-10} \times \sin 65^\circ \text{ m} = 1.65 \times 10^{-10} \text{ m}$$

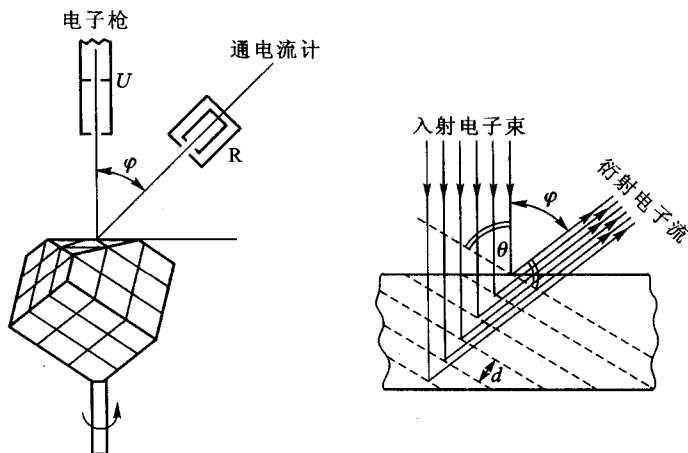


图 5-1-2

另一方面,根据德布罗意关系式求出电子的波长 λ ,为此,需先求电子的动量 p ,由

$$\frac{p^2}{2m} = eU, \quad p = \sqrt{2meU}$$

则

$$p = 5.4 \times 10^{-25} \sqrt{U}$$

所以,

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{12.27}{\sqrt{54}} \times 10^{-10} \text{ m} = 1.67 \times 10^{-10} \text{ m}$$

与用(5.1.4)式算得的结果符合的很好,这就证实了德布罗意的假说.

使电子束穿过金属箔时也能显示波动性,因为箔是一种多晶结构,当一束电子投射在金属箔上时,总会有一些晶格上的原子(实际是离子)的取向使

(5.1.4)式得到满足而出现衍射环.如图5-1-4,它是用210 kV加速电子束穿过金箔摄取的.这与X射线穿过金属箔的情况极为相似.由金箔的点阵常数、照片上圆环半径以及金箔到照片的距离等可以算得电子衍射的波长,所得结果与德布罗意关系式也是一致的.

上述实验是G. P. 汤姆孙在与戴维孙-革末实验大致相同的时期完成的.由于他们的这一突出贡献,戴维孙和汤姆孙二人分享了1937年度的诺贝尔物理学奖.有趣的是,G. P. 汤姆孙是获得1906年度诺贝尔物理学奖的J. J. 汤姆孙的儿

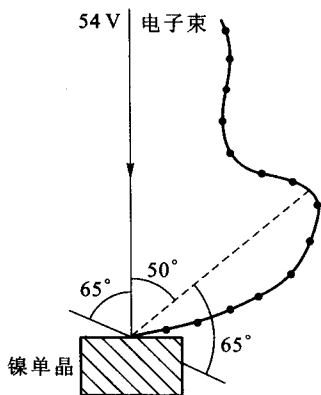


图 5-1-3