

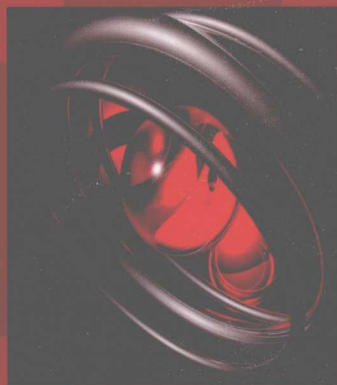
中国科学技术大学国家基础科学人才培养基地物理学丛书

主 编 杨国桢 副主编 程福臻

原子物理与量子力学

[上册]

朱栋培 陈宏芳 石名俊 编著



科学出版社

www.sciencep.com

0562
30-上

中国科学技术大学国家基础科学人才培养基地物理学丛书

主 编 杨国桢

副主编 程福臻

原子物理与量子力学

(上册)

朱栋培 陈宏芳 石名俊 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书根据普通物理与理论物理的内在联系和各自特点,将原子物理和量子力学两部分内容放在一个统一的框架下统筹安排,从理论与实际的结合上讲清科学规律的发现、归纳与应用的整个过程,加强整体性和系统性,避免不必要的重复。

本书分上、下两册,上册内容包括原子和量子,状态和薛定谔方程,力学量和算符,带电粒子在电磁场中的运动,原子核、粒子和宇宙演化。

本书可作为普通高等院校物理或应用物理专业本科生学习原子物理学的教材,也可供相关专业的师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

原子物理与量子力学.上册/朱栋培,陈宏芳,石名俊编著. —北京:科学出版社,2008

(中国科学技术大学国家基础科学人才培养基地物理学丛书/杨国桢主编)

ISBN 978-7-03-021890-2

I. 原… II. ①朱…②陈…③石… III. ①原子物理学-高等学校-教材
②量子力学-高等学校-教材 IV. O562 O413.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 064289 号

责任编辑:贾 杨 唐保军 / 责任校对:刘小梅
责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008年7月第一版 开本:B5(720×1000)

2008年7月第一次印刷 印张:21 1/4

印数:1—3 500 字数:398 000

定价:32.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新蕾〉)

丛 书 序

2008 年是中国科学技术大学建校五十周年. 值此筹备校庆之际, 由几位长年从事基础物理教学的老师建议, 编著一套理科基础物理教程, 向校庆五十周年献礼. 这一建议在理学院很快达成了共识, 并受到学校的高度重视和大力支持. 随后, 理学院立即组织了在理科基础物理教学方面有丰富教学经验的老师, 组成了老、中、青相结合的班子, 着手编著这套丛书, 并以此进一步推动理科基础物理的教学改革与创新.

中国科学技术大学在老一辈物理学家、教育家吴有训先生、严济慈先生、钱临照先生、赵忠尧先生、施汝为先生的亲自带领和指导下, 一贯重视基础物理教学, 历经五十年如一日的坚持, 现已形成良好的教学传统. 特别是严济慈和钱临照两位先生在世时身体力行, 多年讲授本科生的力学、理论力学、电磁学、电动力学等基础课. 他们以渊博的学识、精湛的讲课艺术、高尚的师德, 带领出一批又一批杰出的年轻教员, 培养了一届又一届优秀学生. 这套丛书的作者, 应该说都直接或间接受到过两位先生的教诲. 出版这套丛书也是表达作者对先生的深深感激和最好纪念.

这套丛书共九本:《力学与理论力学(上、下)》、《电磁学与电动力学(上、下)》、《光学》、《原子物理与量子力学(上、下)》、《热学 热力学与统计物理(上、下)》. 每本约 40 万字, 主要是为物理学相关专业本科生编写的, 也可供工科专业物理教师参考. 每本书的教学学时约为 72 学时. 可以认为, 这套丛书系列不仅是普通物理与理论物理横向关联、纵向自洽的基础物理教程, 同时更加适合我校理科人才培养的教学安排, 并充分考虑了与数学教学的相互配合. 因此, 在教材的设置上,《力学与理论力学(上、下)》、《电磁学与电动力学(上、下)》中, 上册部分分别是普通物理内容, 而下册部分为理论物理内容. 还要指出的是, 在《原子物理与量子力学(上、下)》、《热学 热力学与统计物理(上、下)》中, 考虑到普通物理与理论物理内容的界限已不再那样泾渭分明, 而比较直接地用现代的、实用的概念、物理图像和理论来阐述, 这确实不失为是一种有意义的尝试.

这套丛书在编著过程中, 不仅广泛吸取了校内老师的经验, 采纳了学生的意见, 而且还征求了中国科学院许多相关专家的意见和建议, 体现了“所系结合”的特点. 同时, 还聘请了兄弟院校及校内有丰富教学经验的教授进行双重审稿, 期望将其错误概率降至最低.

历经几年,在科学出版社大力支持下,这套丛书终于面世,愿她能在理科教学改革与创新中起到一点作用,成为引玉之砖,共同来促进物理学教学水平的提高及其优秀人才的培养,并望广大师生及有关专家们继续提出宝贵意见和建议,以便改进.最后,对方方面面为这套丛书编著与出版的完成所付出艰辛努力及其给予关心、帮助的同志表示深切感谢!

中国科学技术大学理学院院长

杨国桢 院士

2007年10月

前 言

本书的基础是作者在中国科学技术大学讲授原子物理和量子力学两门课程的讲义。

原子物理和量子力学是普通高校物理专业学生必修的两门基础课,分属普通物理和理论物理,过去都是分开教学.这两门课实际是实验与理论、基础与提高的关系.本书根据普通物理与理论物理的内在联系和各自特点,将这两门课有机地贯通在一起讲授,加强整体性和系统性,避免不必要的重复,提高教学质量.

本书包括原子物理(近代物理)与量子力学的内容,现在是放在一个统一的框架下,授课教师可统筹安排,从理论与实际的结合上讲清科学规律的发现、归纳与应用的整个过程.这样的安排可能更加符合科学的历史和实际.

本书一般需要讲两个学期.对于只需了解原子物理、近代物理基础和量子力学基本框架的学生,只需学习上册就可以了.而对于需要学习上、下两册的学生,在教学安排上,可以把上册的第5章(原子核、粒子和宇宙演化)安排在最后讲.

现在这种写法,只是我们的一种尝试,不当之处在所难免,恳请读者提出批评和建议.

编 者

目 录

丛书序

前言

第 1 章 原子和量子	1
1.1 原子学说	1
1.1.1 思辨的原子论	1
1.1.2 化学原子论	1
1.1.3 物理原子论	2
1.2 电子和汤姆孙模型	4
1.2.1 电子的发现	4
1.2.2 汤姆孙模型	6
1.3 原子的核式结构	8
1.3.1 放射性的发现	8
1.3.2 α 射线	8
1.3.3 α 粒子散射实验	9
1.3.4 卢瑟福核式模型	11
1.3.5 卢瑟福散射公式	11
1.3.6 原子核的大小	16
1.3.7 高能散射实验	16
1.4 黑体辐射与能量子	17
1.4.1 黑体辐射实验	17
1.4.2 基本结果	18
1.4.3 经典理论的解释	20
1.4.4 普朗克公式	21
1.4.5 能量子	22
1.5 光电效应与光量子	24
1.5.1 光电效应	24
1.5.2 爱因斯坦关于光电效应的图像	26
1.5.3 光电效应方程的实验验证	27
1.5.4 爱因斯坦关系	28
1.5.5 康普顿效应	29

1.5.6	光的波粒二象性	33
1.6	原子光谱与玻尔模型	35
1.6.1	原子光谱	35
1.6.2	玻尔氢原子理论	38
1.6.3	弗兰克-赫兹实验	47
1.6.4	玻尔理论的局限	51
1.7	物质的波粒二象性	52
1.7.1	德布罗意假设	52
1.7.2	实验验证	54
1.7.3	物质的波粒二象性	58
第2章	状态和薛定谔方程	59
2.1	状态和波函数	59
2.1.1	微观系统运动状态	59
2.1.2	归一化	60
2.1.3	态叠加原理	62
2.1.4	动量空间波函数	64
2.2	薛定谔方程	65
2.2.1	薛定谔方程	65
2.2.2	定态	68
2.2.3	概率守恒定律	69
2.3	一维无限深方势阱	70
2.3.1	方势阱	70
2.3.2	分区解	71
2.3.3	连接条件	72
2.3.4	能级和波函数	73
2.3.5	物理意义	73
2.4	隧道效应	75
2.4.1	一维散射	75
2.4.2	散射边界条件	76
2.4.3	反射系数与穿透系数	77
2.4.4	隧道效应	78
2.5	氢原子	79
2.5.1	有心力场	79
2.5.2	球谐函数	80
2.5.3	径向波函数	84

721	2.5.4	库仑势	87
081	2.5.5	氢原子	91
061	2.5.6	电子云	94
111	2.6	谐振子	96
221	2.6.1	简谐振子	96
321	2.6.2	能级和波函数	98
131	2.6.3	半谐振子	99
	第3章	力学量和算符	100
121	3.1	力学量的平均值	100
721	3.1.1	坐标平均值	101
761	3.1.2	动量平均值	102
1301	3.1.3	算符	103
541	3.2	算符	104
521	3.2.1	算符运算	104
541	3.2.2	对易关系和反对易关系	105
111	3.2.3	线性算符	107
741	3.2.4	本征值和本征波函数	107
741	3.2.5	本征谱与简并度	107
811	3.2.6	厄米算符	108
1201	3.2.7	厄米算符的重要性质	110
061	3.2.8	力学量用线性厄米算符代表	112
521	3.3	均方差和本征态	113
121	3.3.1	均方差	113
021	3.3.2	本征态	114
221	3.3.3	代表力学量的算符的线性	115
221	3.4	常用算符	116
721	3.4.1	坐标算符	116
921	3.4.2	动量算符	117
1201	3.4.3	海森伯代数	119
111	3.4.4	动量算符的物理意义	120
141	3.4.5	角动量算符	120
481	3.4.6	一般力学量	124
111	3.4.7	能量算符	125
511	3.4.8	宇称算符	126
511	3.5	力学量本征态的完备性	127

78	3.5.1	叠加态的分布	127
12	3.5.2	本征态的完备性	129
40	3.5.3	连续谱情形	130
60	3.5.4	一般谱	131
80	3.5.5	完备性关系	132
80	3.5.6	量子力学第三假定	132
90	3.6	态空间和表象	133
90	3.6.1	态空间	133
96	3.6.2	力学量的表示	134
101	3.6.3	矩阵表示	135
101	3.6.4	狄拉克记号	137
80	3.6.5	酉变换	139
40	3.6.6	物理性质的表示无关性	142
101	3.7	状态的完全确定	142
101	3.7.1	自由度问题	142
70	3.7.2	共有完备本征态条件	144
70	3.7.3	完全力学量组	147
70	3.7.4	定态系统的形式解	147
80	3.7.5	守恒量	148
90	3.8	不确定关系	150
111	3.8.1	实验分析	150
81	3.8.2	两种分布	152
81	3.8.3	理论证明	154
111	3.8.4	应用	155
111	3.9	粒子数表象中的谐振子	156
81	3.9.1	吸收算符和发射算符	156
81	3.9.2	粒子数算符的本征态	157
71	3.9.3	各算符的矩阵形式	159
91	3.9.4	谐振子谱	161
91	3.9.5	状态波函数	161
第4章 带电粒子在电磁场中的运动			164
111	4.1	玻姆-阿哈拉诺夫效应	164
111	4.1.1	哈密顿量	164
111	4.1.2	运动方程	165
71	4.1.3	概率守恒	165

118	4.1.4 玻姆-阿哈拉诺夫效应	166
118	4.2 朗道能级	169
118	4.2.1 不对称规范	169
218	4.2.2 对称规范	171
118	4.3 原子磁矩和塞曼效应	172
118	4.3.1 原子磁矩	172
118	4.3.2 塞曼效应	174
088	4.3.3 理论解释	175
288	4.4 电子自旋	176
288	4.4.1 施特恩-格拉赫实验	176
288	4.4.2 钠原子光谱线的精细结构	179
888	4.4.3 电子自旋假设	180
088	4.4.4 自旋波函数	181
088	4.4.5 自旋算符	182
888	4.4.6 自旋在任意方向投影的波函数	185
888	4.4.7 泡利方程	186
888	4.4.8 自旋磁矩在磁场中的转动	187
888	4.5 角动量理论	188
888	4.5.1 角动量算符的本征值和矩阵表示	189
888	4.5.2 自旋角动量算符	193
888	4.6 角动量的耦合	194
001	4.6.1 两个角动量的耦合	194
018	4.6.2 矢量耦合系数	199
118	4.6.3 自旋态的耦合	201
718	4.7 自旋轨道耦合和能级精细结构	202
818	4.7.1 托马斯耦合	202
018	4.7.2 CSCO	202
018	4.7.3 角向本征波函数——球旋量	203
818	4.7.4 一般解	204
018	4.7.5 能级修正	205
201	4.7.6 相对论动能修正	206
768	4.7.7 波函数零点值修正	208
828	4.7.8 光谱项符号	209
088	4.8 自旋电子的塞曼效应	210
888	4.8.1 原子总磁矩	210

4.8.2	总磁矩在总角动量方向投影	211
4.8.3	自旋电子的塞曼效应	211
4.8.4	反常塞曼效应	214
4.8.5	帕邢-巴克效应	215
4.9	元素周期表	216
4.9.1	泡利原理	217
4.9.2	原子的壳层结构	219
4.9.3	自旋轨道耦合	220
第5章 原子核、粒子和宇宙演化		225
5.1	原子核的基本性质	225
5.1.1	原子核的组成	226
5.1.2	原子核的大小	228
5.1.3	核物质密度	230
5.1.4	原子核的自旋和核磁矩	230
5.1.5	电四极矩	232
5.1.6	原子核的宇称	232
5.2	核力	233
5.2.1	原子核的结合能	233
5.2.2	核力	235
5.3	原子核结构的模型	238
5.3.1	原子核的稳定性	238
5.3.2	原子核的结构	239
5.3.3	液滴模型	240
5.3.4	壳模型	241
5.3.5	集体模型	245
5.4	核衰变	246
5.4.1	核衰变及放射性	246
5.4.2	原子核衰变的一般规律	246
5.4.3	放射系	248
5.4.4	α 衰变	249
5.4.5	β 衰变	252
5.4.6	γ 衰变	257
5.4.7	放射性的应用	258
5.4.8	穆斯堡尔效应及其应用	260
5.5	核反应	263

5.5.1	核反应	263
5.5.2	原子核的裂变	268
5.5.3	原子核的聚变	271
5.6	粒子的基本性质和分类	273
5.6.1	粒子的基本性质	274
5.6.2	粒子的分类	277
5.6.3	反粒子	284
5.7	强子的夸克模型	286
5.7.1	夸克的基本性质	288
5.7.2	重子和介子的夸克组成	292
5.8	基本相互作用与守恒律	295
5.8.1	电磁相互作用	295
5.8.2	弱相互作用	296
5.8.3	电弱统一	298
5.8.4	强相互作用	301
5.8.5	守恒定律与对称性	303
5.9	粒子物理标准模型	311
5.9.1	粒子物理的标准模型简述	311
5.9.2	其他物理理论模型	313
5.10	宇宙演化	315
5.10.1	宇宙学标准模型	315
5.10.2	三大验证	317
5.10.3	恒星的演化	320
5.10.4	太阳的一生	323
5.10.5	问题和挑战	323

第1章 原子和量子

1.1 原子学说

世界是物质的,物质是运动的,运动是有规律的,规律是能被人认识和应用的,这是学习自然科学者的基本认识.但是什么是物质,它由什么组成,相互作用如何,等等,这些都不是简单的问题,是人类长期科学研究的内容.

在《费恩曼物理学讲义》的第一卷的第一章第二节,美国物理学家费恩曼(R. Feynman, 1918~1988)提出了这样一个问题:

“假如由于某种大灾难,所有的科学知识都丢失了,只有一句话传给下一代,那么怎样才能用最少的词汇来表达最多的信息呢?我相信这句话是关于原子的假设(或者说原子的事实,无论你愿意怎样称呼都行):所有的物体都是由原子构成的——这些原子是一些小小的粒子,它们永远不停地运动着.当彼此略微离开时相互吸引,而过于接近时又互相排斥.只要稍微想一下,你就会发现,在这一句话中包含了大量的有关世界的信息.”

1.1.1 思辨的原子论

原子这个概念最早是在公元前5~前4世纪由希腊的自然哲学家们引入的.在希腊语中“原子”是“不可分割”的意思,即物质最小的组成成分,不可能再作进一步的分割.公元前5世纪的古希腊哲学家留基伯(Leucippus)在致力于思考分割物质问题后,得出一个结论:分割过程不能永远继续下去,物质的碎片迟早会达到不可能分得更小的地步.他的学生德谟克里特(Demokritos, 公元前460~?)接受了这种物质碎片会小到不可再分的观念,并称这种物质的最小组成单位为“原子”.亚里士多德(Aristoteles, 公元前384~前322)认为水、火、空气和泥土是构成物质的基本元素,中国古代的哲学家早在周代就提出五行说,即万物都是由金、木、水、火、土五种基本要素构成.这是思辨的原子论阶段.

1.1.2 化学原子论

直到18世纪,随着实验化学逐渐地量化,氢和氧的发现,法国化学家拉瓦锡(A. L. Lavoisier, 1743~1794)根据化学的观念,提出存在一些基本的元素,它们是不可分解的.他称这为化学元素或简称元素.任何物质由各种元素或元素的化合

物组成.

18~19 世纪,基于一系列的实验事实,在化学反应实验中发现了定比定律(1799 年由普劳斯特(J. L. Proust, 1754~1826)提出,一种化合物无论用什么方法制得,其组成的元素间都有一定的质量比). 1803 年英国化学家道尔顿(J. Dalton, 1766~1844)发现倍比定律(相同的两种元素生成两种或两种以上的化合物时,若其中一种元素的质量不变,另一种元素在化合物中的相对质量成简单的整数比). 他在此基础上提出了科学的原子论,即物质由分子组成,分子是保持物质化学性质的最小单元,分子又是由一种或几种化学元素的原子组成. 原子是组成化学元素的、非常微小的、不可再分割的物质微粒,在化学反应中原子保持其本来的性质,原子是化学元素的最小单元.

1811 年,意大利科学家阿伏伽德罗(A. Avogadro, 1776~1856)在道尔顿的原子论及法国科学家盖吕萨克(J. Gay-Lussac, 1778~1850)的关于化学反应气体的体积有简单的比例关系(如 1 体积的氮和 3 体积的氢反应生成 2 体积的氨)的基础上提出阿伏伽德罗假说(经许多实验证实,后来称为阿伏伽德罗定律),即在同样的温度和压力条件下,同体积的任何气体含有的分子数相同. 在道尔顿的原子说基础上,就可以比较不同原子(分子)的相对质量(称为原子量). 通过化学的方法发现各种元素的原子量都几乎是氢原子量的整数倍,如氮的相对原子量为 14,氧为 16. 阿伏伽德罗定义 1 摩尔(mol)物质就是质量对应于相对分子量的克数的物质. 通过各种实验给出,在标准条件下(0°C 和 101.3 kPa), 1 mol 质量气体的体积为 22.4 L,且在这体积中总是含有一定数目的分子,这个数称为阿伏伽德罗常量. 当时得到的阿伏伽德罗数误差较大, $(40 \sim 120) \times 10^{22} \text{ mol}^{-1}$, 现在的实验值为 $N_A = (6.022\ 141\ 5 \pm 0.000\ 001\ 0) \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$. 由摩尔质量和阿伏伽德罗常量就可以得出分子的绝对质量. 自 1961 年起,国际上统一决定以碳原子 ^{12}C 的原子量定义为 12 个原子质量单位,所以原子质量单位 $1\text{u}(1\text{amu})$

$$1\text{u} = \frac{1}{12} \times \frac{A(^{12}\text{C})}{N_A} = (1.660\ 538\ 9 \pm 0.000\ 000\ 3) \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$= (931.494\ 04 \pm 0.000\ 08) \text{ MeV}/c^2$$

上式最后一个表示式是由爱因斯坦关系 $E=mc^2$ 转换得到的, MeV 是能量的度量单位, c 是光速. 以上阶段基本上是从化学方面来探讨物质的原子结构,故可称为化学原子学说.

1.1.3 物理原子论

19 世纪以后开始了原子论的物理阶段. 基于原子说,英国物理学家焦耳(J. P. Joule, 1818~1889)用气体分子运动理论,即认为原子(分子)是有一定质量和大小的小球,在气体中原子(分子)间的间隔很大. 在两个分子发生碰撞前,它们各自以

一定的速度做直线运动. 高速运动的气体分子(原子)和器壁的碰撞, 使容器壁受到压力, 由此他首先导出气体分子的速度. 1827年, 英国植物学家布朗(R. Brown, 1773~1858)在显微镜下观察到了花粉颗粒在水中的无规则运动, 即布朗运动. 这种运动是由花粉与气体或液体中高速无规则运动的分子进行激烈碰撞引起的. 英国物理学家麦克斯韦(J. C. Maxwell, 1831~1879)和奥地利物理学家玻尔兹曼(L. Boltzmann, 1844~1906)基于分子和原子学说, 发展和建立的气体分子动力学和统计力学取得了很大成功. 根据这理论可以得到分子的平均自由程, 气体的热容等, 确立了物质的原子论. 由测量黏滞系数 η 、X射线在晶体上的衍射测晶格常数 d 和范德瓦耳斯真实气体方程式中的共体积(covolume) b 等方法可得到原子的大小尺寸为 10^{-10}m . 各种方法测得的原子半径数值见表1.1.1. 1905年爱因斯坦(A. Einstein, 1879~1955)用分子论对布朗运动作出了理论说明. 1908~1913年法国物理学家佩兰(J. B. Perrin, 1870~1942)进行了一系列实验, 成功地验证了爱因斯坦的分子理论, 在不同的实验条件下计算出了分子的大小和阿伏伽德罗常量. 佩兰的实验证实了分子、原子的真实存在. 由于他关于物质的非连续性结构的工作, 特别是淀积平衡的发现, 佩兰获得了1926年的诺贝尔物理学奖.

表 1.1.1 各种方法测得的原子半径(单位: 10^{-10}m)

物 质	由 η 推得	由晶格常数 d 推得	由共体积 b 推得
氖(Ne)	1.18	1.60	1.2
氩(Ar)	1.44	1.90	1.48
氙(Kr)	1.58	1.97	1.58
氙(Xe)	1.75	2.20	1.72

从表1.1.1可以看到, 不同方法测得的值并不一致. 到底原子的大小的含义是什么? 对一个刚性球, 它的大小或半径是可以精确定义的, 但对原子而言, 它的大小是与所用的测量方法中对原子尺度的定义相关的. 不同的测量方法依据的常常是对原子不同方面性质的描述. 例如, 由黏滞系数得到的是对原子热运动的间距的测量. 由于原子不是一个硬球, 用这种方法定出的半径是速度的函数, 另外也和原子的形状有关. 而实际气体的共体积 b 是在假设原子是弹性球的前提下推得的, 晶格面的间距 d 实际上测量的是格点上粒子间的平衡距离.

曾经激烈反对原子论的奥斯特瓦尔德(W. Ostwald, 1853~1932)在1908年9月的《普通化学概论》第四版的序言中公开承认:“我现在确信, 我们最近已经具有物质离散性或颗粒性的实验证据了, 这是千百年来原子假设劳而无功地寻求的证据. 一方面, 分离和计数气体离子, 汤姆孙长期而杰出的研究已获成功; 另一方面, 布朗运动与运动论的要求相一致, 已由许多研究者并且最终由佩兰建立起来. 这一切使最审慎的科学家现在也理直气壮地谈论物质的原子本性的实验证据了. 原子

假设于是已被提升到有充分科学根据的理論的地位……”

1869年,门捷列夫(D. I. Mendeleev, 1834~1907)指出,假如将元素按原子量大小的次序排列,则元素的性质呈现出周期性的行为.对这种现象由原子论几乎不可能给出解释.元素周期表显示出原子似乎并不是简单地不可分的物质最小单元.

今天我们已经清楚知道,原子只是物质结构的一个层次,原子本身也是有结构的.

1.2 电子和汤姆孙模型

1.2.1 电子的发现

19世纪70年代,对气体放电现象有许多的研究.将一对电极放在密闭的玻璃管内并加上几千伏的电压,当玻璃管中的气体压强降到较低时会发生放电的现象,称为真空放电,如图1.2.1所示.随着气压的降低,管内气体放电时发光的现象会不一样,电极间有电流.这电流的载体是什么?实验还观察到在与阴极相对的玻璃壁上有磷光,认为是阴极发出的射线打在玻璃壁引起的.产生阴极射线的管子以它的发明人克鲁克斯(W. Crookes, 1832~1919)命名为克鲁克斯管.克鲁克斯对阴极射线的性质做了许多研究:在真空管的阴极和管壁之间放一个十字形云母片,当放电时管端的壁上并不都有磷光,壁上会出现十字形的影像,见图1.2.2.这说明阴极射线确实是由阴极发出,并且是直线行进的,当它打在云母片上被阻挡住就会形成阴影.当时对阴极射线的理解有两种不同的观点,一派是以英国物理学家为主体,他们认为射线是阴极发出的快速带电的物体,而另外一派主体是德国物理学家,认为射线是某种以太的振动或波.

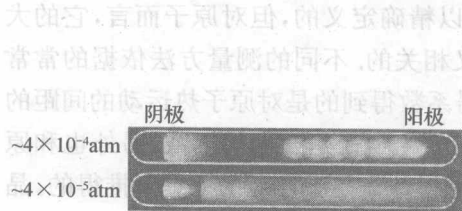


图 1.2.1 真空放电管

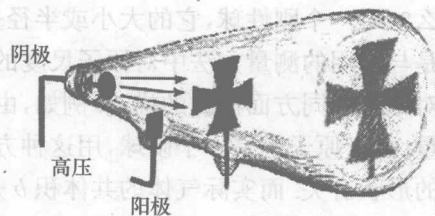


图 1.2.2 阴极射线打出阴影

人们发现阴极射线在磁场中会发生偏转,可以认为它是带电的.但当观测它们在电场中的行为时,却没有得到肯定的结论.英国物理学家汤姆孙(J. Thomson, 1856~1940)认为阴极射线是由阴极发出的带负电的高速运动粒子流.在放电管的真空度得到进一步提高的基础上,他设计了如图1.2.3所示的实验装置,并在管内放置有几个电极,在阴极C和阳极A之间加上高压,阴极射线穿过空心阳极和狭