

21世纪高等院校物理实验教学改革示范教材

总主编 周 进 沙振舜

近代 物理实验

主 编 谭伟石



南京大学出版社

014007097

041-33

19

21 世纪高等院校物理实验教学改革示范教材

近代物理实验

主 编 谭伟石
副主编 江兴方 徐永祥
参 编 (按姓氏笔画为序)
马春光 王海燕 王晓雄 王海林
王 欣 司嵘嵘 杨 庆 赵 艳
蒋剑莉 蒋立勇



北航

C1690334

南京大学出版社

041-33

19

图书在版编目(CIP)数据

近代物理实验/谭伟石主编. —南京:南京大学出版社,

2013.9

21 世纪高等院校物理实验教学改革示范教材

ISBN 978 - 7 - 305 - 10896 - 9

I. ①近… II. ①谭… III. ①物理学—实验

IV. ①O4 - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 301316 号

出版发行 南京大学出版社

社 址 南京市汉口路 22 号 邮 编 210093

网 址 <http://www.NjupCo.com>

出 版 人 左 健

丛 书 名 21 世纪高等院校物理实验教学改革示范教材

书 名 近代物理实验

主 编 谭伟石

责任编辑 惠 雪 沈 洁 编辑热线 025 - 83593962

照 排 江苏南大印刷厂

印 刷 江苏南大印刷厂

开 本 787×1092 1/16 印张 14 字数 336 千

版 次 2013 年 9 月第 1 版 2013 年 9 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 305 - 10896 - 9

定 价 30.00 元

发行热线 025 - 83594756

电子邮箱 Press@NjupCo.com

Sales@NjupCo.com(市场部)

* 版权所有,侵权必究

* 凡购买南大版图书,如有印装质量问题,请与所购
图书销售部门联系调换

序

实验教学是学生培养中一个非常重要的环节,对理工科学生来说更是不可缺少,它不仅仅培养学生的基本科学实验技能和素养,更重要的是可以培养学生的科学思维和创新意识,提高学生的综合能力和创新能力。

物理学是一门以实验为基础的科学。物理实验是科学实验的先驱,体现了大多数科学实验的共性,在实验思想、实验方法以及实验手段等方面是其他学科实验的基础。物理实验内容覆盖面广,具有丰富的思想、方法和手段,同时能提供综合性很强的基本实验技能训练,是培养学生科学实验能力、提高科学素质的重要基础。它在培养学生严谨的治学态度、活跃的创新意识、理论联系实际和适应科技发展的综合应用能力等方面具有其他实践类课程不可替代的作用。

为了加强实验教学,2005年教育部开展了实验教学示范中心建设的质量工程,相应地,各省也开始了一批省级实验示范中心建设。对高校的物理实验,教育部2010年提出了理工科大学物理实验课程教学的基本要求。为了加强物理实验室建设和提高物理实验教学水平,2010年在江苏省高等院校物理实验教学联席会议上,建议编写出版一套大学物理实验系列教材,以满足各不同类型的高校物理实验教学的需要。在南京大学出版社的大力支持下,经过充分酝酿和讨论,成立了江苏省21世纪高等院校物理实验教学改革系列教材编委会,丛书总主编由南京大学国家级物理实验教学示范中心主任周进教授和沙振舜教授担任。该丛书拟定的物理实验分册主要有:《大学物理实验(理科)》《大学物理实验(工科)》《大学物理实验教程》《物理演示实验》《近代物理实验》等。

该套系列教材的特点是:

1. 在参编学校多年的教学实践基础上,教材适用性强,同时也充分展示了近年来物理实验教学改革成果。
2. 采用新的实验模式,教学体系新,满足不同层次不同专业的教学需要。
3. 削减或改编了大量验证性实验,增加了综合性、设计研究性及开放性实验。
4. 重视科学研究的新成果,体现先进性。

该丛书的编写和出版是江苏省物理实验示范中心建设的一项成果,也是我们工作的一次尝试,在教材中可能存在一些错误与不妥之处,敬请广大读者和同行专家提出意见和批评。

编委会

2011年11月

前 言

根据高等学校物理学与天文学教学指导委员会物理基础课程教学指导分委会制定的《理工科类大学物理实验课程教学基本要求(2010年版)》,科学界定了大学物理实验课程(普通物理实验和近代物理实验)在人才培养体系中的地位和作用。近代物理实验是大学物理实验的重要组成部分,是物理类相关本科生在修完大学物理实验后,为了进一步地拓展和深化物理思想和实验技能等方面而必须修读的一门基础课程。近代物理实验因其涉及的物理知识面更深更广,与学科前沿结合更紧密,因此具有更强的综合性、技术性和现代性。修读近代物理实验课程,将对进一步培养学生的实验动手能力、分析和解决问题的能力以及创新意识和创新能力等方面起到不可或缺的重要作用,以及培养拔尖创新人才的培养也是重要的训练环节。

《近代物理实验》教材由南京理工大学和常州大学合编。在构建近代物理实验课程体系时,我们充分考虑到两校所具备的人才优势、学科特点以及多年的近代物理实验教学实践等因素,既保留了部分在物理学史上堪称里程碑式的经典实验,又增加了部分反映现代科学技术发展成就的实验。从各专业人才培养的角度考虑,我们认为有必要开设一定数量的学科专门化实验,同时全书应具备一定的前瞻性,预留一定的开设新实验的余地。在开设学科专门化实验时,我们也考虑联合其他有条件的院系共同开设实验,由有关院系提供实验设备和授课师资。将学科专门化实验纳入近代物理实验教学体系,是我们所做的一个尝试。不同类别的物理实验将在提高学生的学习兴趣,培养学生的物理思想,训练学生的实验技能,提高学生的创新意识和创新能力等方面起到互相支撑和互相补充的作用。

本书涵盖原子物理、光学、磁共振、微弱信号测量、功能材料的制备及其结构和物理性能表征等领域,从内容体系上分为基础性实验篇和综合性实验上下两篇。在编写实验内容时,注重突出实验的物理思想、测量方法和实验设计思路,不是罗列过于详细的实验步骤,而是设计了思考题和讨论题,尤其是讨论题,这就需要学生在课外花费较多的时间才能研究清楚。这样安排的目的是希望给学生留下思考和自主实验的空间,让实验教材在人才培养过程中扮演一个引导者而不是包办者的角色,将学习的主动权交给学生。本书不设计数据表格,将这项工作交由学生自主完成。本书在编写时力求行文规范,专业术语的使用符合国家标准。

本书由南京理工大学谭伟石教授任主编,常州大学江兴方教授和南京理工大学徐永祥副教授任副主编。谭伟石编写了实验 1.17,实验 1.19 和实验 2.15,并负责全书统稿。实验 1.5,实验 1.6,实验 1.7,实验 1.10,实验 1.11,实验 1.14,实验 1.15,实验 1.16,实验 2.6,实验 2.7,实验 2.8,实验 2.10,实验 2.11 和实验 2.12 由江兴方编写,实验 1.18,实验 1.20,实验 2.2,实验 2.3,实验 2.4 和实验 2.9 由徐永祥编写,实验 1.1 和实验 1.8 由司嵘编写,实验 1.2 和实验 2.13 由杨庆编写,实验 1.3 和实验 1.12 由王海燕编写,实验 1.4 和实

验 2.14 由马春光编写,实验 1.9 由王晓雄编写,实验 1.12 由王海林编写,实验 2.1 由王欣编写,实验 2.5 由赵艳编写,实验 2.16 由蒋剑莉编写,实验 2.17 和实验 2.18 由蒋立勇编写。实验教学和实验教材的编写历来是一项集体性的工作,本书正是物理实验中心全体老师的智慧和劳动的结晶。在编写本书时,编者还借鉴了许多参考资料,包括学术论文、部分院校的物理实验教材及厂家的仪器说明书,编者谨对此表示衷心感谢。

由于编者水平所限,书中的错误或不当之处在所难免,竭诚欢迎批评指正。

编 者

编 委 会

顾 问 孙尔康

总主编 周 进 沙振舜

编 委 (按姓氏笔画为序)

于 瑶 万春华 江兴方 刘 平

刘柯林 朱育群 沙振舜 吴志贤

陈秉岩 周 进 胡小鹏 郭小建

高惠滨 高文莉 谭伟石

目 录

上篇 基础性实验

实验 1.1 弗兰克-赫兹实验	1
实验 1.2 塞曼效应	5
实验 1.3 微波特性的研究	11
实验 1.4 超声波探伤实验	17
实验 1.5 光速测定	24
实验 1.6 光学多道分析实验	31
实验 1.7 单光子计数实验	35
实验 1.8 色度的测量	41
实验 1.9 表面磁光克尔效应	47
实验 1.10 晶体的电光效应	52
实验 1.11 单模光纤数值孔径的测量	57
实验 1.12 光纤带宽的测量	61
实验 1.13 微波电子顺磁共振	64
实验 1.14 核磁共振	70
实验 1.15 铁磁共振	78
实验 1.16 光磁共振	83
实验 1.17 磁性材料 $B-H$ 特性的测量	90
实验 1.18 高温超导体电阻温度特性的测量	95
实验 1.19 X 射线衍射实验	101
实验 1.20 原子力显微镜	107

下篇 综合性实验

实验 2.1	荧光光谱的测量和分析	111
实验 2.2	紫外可见分光光度法测量分子吸收光谱	116
实验 2.3	傅里叶变换红外光谱仪分析分子红外吸收光谱	122
实验 2.4	激光拉曼光谱实验	131
实验 2.5	氦氖激光特性的综合测试	137
实验 2.6	声光调制锁模激光器实验	145
实验 2.7	椭偏法测量薄膜厚度	152
实验 2.8	光纤通信综合实验	159
实验 2.9	用移相式数字波面干涉仪测量平面的面形偏差	164
实验 2.10	半导体泵浦及晶体的倍频效应	169
实验 2.11	Talbot 长度的测量	173
实验 2.12	多尺度小波变换测量微小长度	179
实验 2.13	空间滤波与光信息处理	185
实验 2.14	微弱信号的测量	190
实验 2.15	脉冲激光沉积法制备薄膜	196
实验 2.16	用溶胶凝胶法制备薄膜	201
实验 2.17	电化学沉积法制备薄膜	206
实验 2.18	用矢量网络分析仪测量材料电磁参数	210

上篇 基础性实验

实验 1.1 弗兰克-赫兹实验

在原子物理学和量子力学发展史上,弗兰克-赫兹实验是证实原子能量量子化的最重要和最著名的实验之一。1913年,丹麦物理学家玻尔(N. Bohr)在前人大量实验工作和理论工作的基础上,提出了第一个将量子概念应用于原子结构的理论——玻尔原子理论。该理论为原子结构的量子理论奠定了基础,加速了量子论的发展,为此玻尔获得了1922年的诺贝尔物理学奖。

1914年,德国物理学家弗兰克(J. Franck)和赫兹(G. Hertz)巧妙地改进了勒纳德(P. Lenard)用于测量电离电势的实验装置,他们采用慢电子(几到几十电子伏)与单原子气体的原子碰撞,研究碰撞前后电子能量的变化情况,间接地了解原子能量的变化,发现了原子量子化吸收和原子的激发能态,并观察到原子由激发态跃迁到基态时辐射的光谱线。1920年,弗兰克及其合作者对原先的装置进一步做了改进,测得了亚稳能级和较高的激发能级,从而证实了原子内部能量是量子化的,论证了原子能级的存在,为玻尔原子理论提供了有力的实验证明。为此,弗兰克和赫兹2人于1925年获得了诺贝尔物理学奖。

【实验目的】

- (1) 了解弗兰克-赫兹实验的设计思想及原理方法。
- (2) 测定氩原子第一激发电势,加深对原子能级的理解。

【实验原理】

一、玻尔原子理论要点和激发电势

玻尔提出的原子理论有2个基本假设。

(1) 定态假设:原子只能较长时间地停留在一些稳定状态(简称定态),在这些稳定状态下,电子围绕原子核做圆周运动,既不辐射也不吸收能量。各定态的能量是不连续的,且原子的能量无论采用什么形式发生改变,都只能使原子从一个定态跃迁到另一个定态。

(2) 跃迁假设:原子吸收能量时可以从低能态跃迁到高能态,而发射能量时可以从高能态跃迁到低能态。若原子从某一能量为 E_m 的定态跃迁到另一能量为 E_n 的定态,其辐射频率 ν 是一定的,且满足:

$$h\nu = E_n - E_m \quad (1.1.1)$$

式中, h 为普朗克常量。

通常情况下有 2 种方式可以使原子状态发生改变:一是当原子吸收或发射电磁波时;二是用某种粒子碰撞原子而发生能量交换时。弗兰克-赫兹实验是通过具有一定能量的电子与原子发生碰撞,进行能量交换而实现原子从基态到激发态的跃迁,证明原子能级的存在。

若原子与一定能量的电子发生碰撞时,从基态 E_0 跃迁到第一激发态 E_1 ,则有:

$$eU_1 = E_1 - E_0 \quad (1.1.2)$$

式中, U_1 称为原子的第一激发电势。只要测出第一激发电势 U_1 ,便可计算出基态与第一激发态的能量差。

二、弗兰克-赫兹实验的基本原理

弗兰克-赫兹实验原理如图 1.1.1 所示,其中弗兰克-赫兹管(简称 F-H 管)是一只具有双栅极结构的柱面型四极管,管中充以待测量的气体(如汞蒸气或氩气、氖气等惰性气体)。F-H 管内有 4 个电极:阴极 K、第一栅极 G_1 、第二栅极 G_2 、板极 A。各极之间施加 4 个电压,分别为灯丝加热电压 U_F 、正向电压 U_{G_1K} 、加速电压 U_{G_2K} 、减速电压 U_{G_2A} 。

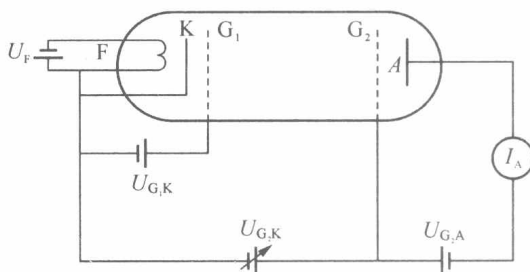


图 1.1.1 弗兰克-赫兹实验原理图

在灯丝加热电压 U_F 的作用下,阴极 K 发射出电子。第一栅极 G_1 与阴极 K 之间加上正向电压 U_{G_1K} ,其作用主要是消除阴极电子散射的影响,提高发射效率。在第二栅极 G_2 和阴极 K 间的加速电压 U_{G_2K} 的作用下,电子被加速并向第二栅极 G_2 运动。由于 F-H 管中充有气体(本实验以氩气为例),电子在加速运动过程中可能会与氩原子发生碰撞。如果电子可以穿越加速区间到达 G_2 ,并且能克服栅极 G_2 和板极 A 之间减速电压 U_{G_2A} 的作用,就能到达板极 A 并形成电流 I_A 。F-H 管内空间电势分布如图 1.1.2 所示。

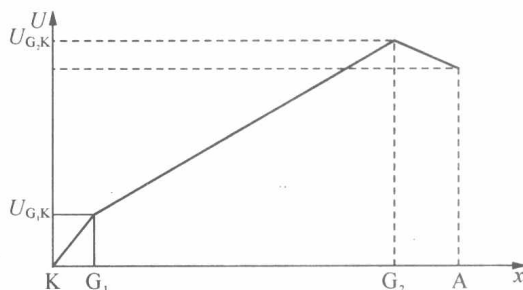


图 1.1.2 弗兰克-赫兹管电势分布

实验过程中保持 U_{G_1K} 和 U_{G_2A} 的数值不变,而使加速电压 U_{G_2K} 由零逐渐慢慢增加,测量板极电流 I_A 随加速电压 U_{G_2K} 的变化关系,从而确定氩原子的第一激发电势 U_1 。其原理如下:

当 U_{G_2K} 由零开始增加时,电子的能量较小(小于氩原子的第一激发能 eU_1),即使在运动过程中与氩原子发生碰撞(弹性碰撞),能量损失也极小(连续 10^4 以上弹性碰撞的能量才有明显的损失)。随着 U_{G_2K} 的缓慢增加,电子的能量增大,越来越多的电子穿越 G_2 且克服 U_{G_2A} 的作用到达板极 A,使得板极电流 I_A 也随之增加。

当 U_{G_2K} 增加到氩原子的第一激发电势 (13.1 V) 时,电子在 G_2 附近与氩原子发生非弹性碰撞,电子把从加速电场中获得的全部能量传递给氩原子,使氩原子从基态激发到第一激发态,而电子本身由于损失了能量,即使能穿过 G_2 ,也不能克服反向电压 U_{G_2A} 的作用到达板极 A,所以板极电流 I_A 将显著减小。此后,随着 U_{G_2K} 的继续增加,电子与氩原子发生非弹性碰撞后余下的能量也随之增大,逐渐克服 U_{G_2A} 到达板极 A,所以板极电流 I_A 又开始增大。当 U_{G_2K} 增大到氩原子第一激发电势的 2 倍时,电子在加速区间会与氩原子发生第二次非弹性碰撞,从而再次损失能量,导致板极电流 I_A 的再次下降。

以此类推,随着加速电压 U_{G_2K} 的不断增加,电子会在 G_2 附近发生多次非弹性碰撞,导致 I_A 下降,形成周期性起伏变化的 $I_A - U_{G_2K}$ 曲线(如图 1.1.3 所示)。该曲线是能量量子化导致能量被吸收的结果,也是原子能级量子化的体现。图 1.1.3 中,相邻两峰值之间的加速电压差值就是氩原子的第一激发电势 U_1 。

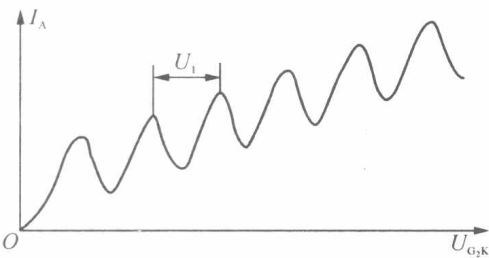


图 1.1.3 $I_A - U_{G_2K}$ 曲线

若 F-H 管中充以其他元素,则用该方法均可测量它们的第一激发电势,如表 1.1.1 所示。

表 1.1.1 几种元素的第一激发电势

元素	U_1/V	元素	U_1/V
钠(Na)	2.12	氩(Ar)	13.1
钾(K)	1.63	氖(Ne)	18.6
镁(Mg)	3.20	汞(Hg)	4.90

【实验器材】

ZKY-FH-2 型智能弗兰克-赫兹实验仪,示波器

【实验内容及步骤】

1. 手动测试

(1) 按原理图连接实验面板上的接线,反复检查是否连接正确,确认后方可开机。

(2) 预热 10 min(U_{G_2K} 设置为 30 V,其他参数按仪器上标牌参数设置)。

(3) 手动增加 U_{G_2K} ,记录相应的板极电流值,并在坐标纸上绘出 $I_A - U_{G_2K}$ 曲线,计算氩原子的第一激发电势。

2. 自动测试

(1) 启动自动测试,观察 $I_A - U_{G_2K}$ 曲线,记录数值,并在坐标纸上绘出曲线。

(2) 改变灯丝电压(如增加 0.3 V),其他电压不变,再次利用自动测试方法观察并记录曲线。

(3) 比较两条曲线的异同,并解释原因。

【注意事项】

(1) 因 F-H 管各极间所加电压大小与方向不尽相同,故确保正确接线后方能开机。

(2) 实验过程中, U_{G_2K} 最高不能超过 82 V,否则 F-H 管有被击穿的危险。

(3) F-H 管如果发生击穿(电流增加很快),应立即调低 U_{G_2K} ,以免 F-H 管损坏。

【思考题】

(1) 玻尔的能级跃迁理论是如何描述的? 什么叫做第一激发电势,其物理意义是什么?

(2) 为什么 $I_A - U_{G_2K}$ 线上的各谷点电流随 U_{G_2K} 的增大而增大?

(3) 改变灯丝电压对弗兰克-赫兹实验有何影响? 对第一激发电势有何影响?

【讨论题】

(1) 实际测量结果中,第一峰位位置与第一激发电势有无偏差? 试分析原因。计算时,在选择数据处理方法上应注意哪些问题?

(2) 试分析实验中影响 $I_A - U_{G_2K}$ 曲线形状,如峰宽、峰位、峰谷起伏大小及本底电流等的各种因素。影响第一激发电势测量精度的主要原因是什么?

(3) 若要测量较高激发电势和电离电势,在仪器设计及测量方法上应做哪些改进?

【参考文献】

[1] 李相银主编. 大学物理实验 2 版[M]. 北京:高等教育出版社,2009.

[2] 姚斌. 弗兰克-赫兹实验曲线的物理分析[J]. 太原师范学院学报:自然科学版, 2010,9(2):87-89.

[3] 张里荃. 弗兰克-赫兹实验最佳实验条件及第一激发电位的研究[J]. 物理实验, 2011,31(8):37-38.

实验 1.2 塞曼效应

1896 年荷兰物理学家塞曼 (P. Zeeman) 发现当光源放在足够强的磁场中时, 原来的一条光谱线分裂成几条光谱线, 分裂的谱线成分是偏振的, 分裂的条数随能级的类别而不同。后人称此现象为塞曼效应。

通常把那些谱线分裂为 3 条, 而将裂距按波数计算正好等于一个洛伦兹单位的现象叫作正常塞曼效应 (洛伦兹单位 $L = eB/(4\pi mc)$)。正常塞曼效应用经典理论就能给予解释。实际上, 大多数谱线的塞曼分裂不是正常塞曼分裂, 分裂的谱线多于 3 条, 谱线的裂距是洛伦兹单位 L 的简单分数倍, 称这类现象为反常塞曼效应。反常塞曼效应只有用量子理论才能得到满意的解释。

【实验目的】

- (1) 观察汞的 546.1 nm 谱线在磁场中分裂的情况, 加深对原子结构的认识。
- (2) 测量上述谱线在磁场中分裂的裂距, 求出 e/m 值。
- (3) 了解法布里-珀罗标准具的测量原理, 掌握其调节方法。

【实验原理】

原子中的电子由于做轨道运动产生轨道磁矩, 电子还具有自旋运动产生的自旋磁矩, 根据量子力学的结果, 电子的轨道角动量 P_L 和轨道磁矩 μ_L 以及自旋角动量 P_S 和自旋磁矩 μ_S 在数值上有下列关系:

$$\begin{aligned}\mu_L &= \frac{e}{2m} P_L, & P_L &= \sqrt{L(L+1)} \hbar \\ \mu_S &= \frac{e}{m} P_S, & P_S &= \sqrt{S(S+1)} \hbar\end{aligned}\quad (1.2.1)$$

式中, e 、 m 分别表示电子电荷和电子质量; L 、 S 分别表示轨道量子数和自旋量子数。

轨道角动量和自旋角动量合成原子的总角动量 P_J , 轨道磁矩和自旋磁矩合成原子的总磁矩 μ , 由于 μ 绕 P_J 运动只有 μ 在 P_J 方向的投影 μ_J 对外平均效果不为 0 (图 1.2.1), 可以得到 μ_J 与 P_J 数值上的关系为:

$$\mu_J = g \frac{e}{2m} P_J \quad (1.2.2)$$

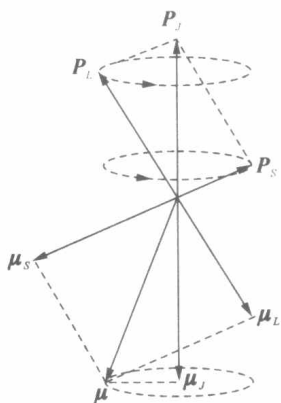


图 1.2.1 角动量和磁矩矢量图

$$g = 1 + \frac{J(J+1) - L(L+1) + S(S+1)}{2J(J+1)}$$

式中, g 为朗德(Lande)因子。

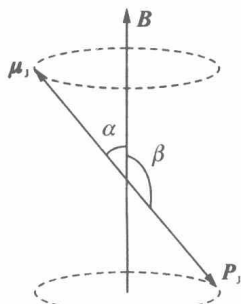
当原子处在外磁场中时, 原子的总磁矩 μ_J 将绕外磁场 B 的方向做旋进, 使原子获得附加的能量。

$$\Delta E = -\mu_J B \cos \alpha \quad (1.2.3)$$

将式(1.2.2)代入上式得

$$\Delta E = g \frac{e}{2m} P_J B \cos \beta \quad (1.2.4)$$

式中, β 是 α 的补角, 其角度关系如图 1.2.2 所示。



由于 μ_J 或 P_J 在外磁场中取向是量子化的, 则 P_J 在外磁场方向的分量 $P_J \cos \beta$ 也是量子化的, 它只能取如下数值, 即

$$P_J \cos \beta = M \hbar, M = J, (J-1), \dots, -J \quad (1.2.5)$$

磁量子数 M 共有 $(2J+1)$ 个值,

$$\Delta E = M g \frac{e \hbar}{2m} B \quad (1.2.6)$$

这样, 无外磁场时的一个能级, 在外磁场的作用下分裂成 $(2J+1)$ 个子能级, 每个能级附加的能量由式(1.2.6)决定, 它正比于外磁场 B 和朗德因子 g 。

设未加磁场时跃迁前后的能级为 E_2 和 E_1 , 则谱线的频率 ν 满足:

$$\nu = \frac{1}{h} (E_2 - E_1) \quad (1.2.7)$$

在磁场中上下能级分别分裂为 $(2J_1+1)$ 和 $(2J_2+1)$ 个子能级, 附加的能量分别为 ΔE_1 、 ΔE_2 , 新的谱线频率 ν' 决定于

$$\nu' = \frac{1}{h} (E_2 + \Delta E_2) - \frac{1}{h} (E_1 + \Delta E_1) \quad (1.2.8)$$

分裂谱线的频率差为

$$\Delta \nu = \nu' - \nu = \frac{1}{h} (\Delta E_2 - \Delta E_1) = (M_2 g_2 - M_1 g_1) \frac{e}{4\pi m} B \quad (1.2.9)$$

$$\text{用波数来表示为: } \tilde{\Delta \nu} = \frac{\Delta \nu}{c} = (M_2 g_2 - M_1 g_1) \frac{e}{4\pi m c} B \quad (1.2.10)$$

令 $L = \frac{eB}{4\pi m c}$, L 称为洛伦兹单位, 将有关参数代入可得

$$L = \frac{eB}{4\pi m c} = 0.467 B \quad (1.2.11)$$

式中, B 的单位为 T(特斯拉); L 的单位为 cm^{-1} 。

但是并非任何两个能级间的跃迁都是可能的, 跃迁必须满足以下选择定则: $\Delta M = 0, \pm 1$ 。当 $J_2 = J_1$ 时, $M_2 = 0 \rightarrow M_1 = 0$ 禁戒。

(1) 当 $\Delta M = 0$, 垂直于磁场的方向时, 能观察到线偏振光, 线偏振光的振动方向平行于磁场, 称为 π 成分, 平行于磁场方向观察时 π 成分不出现。

(2) 当 $\Delta M = \pm 1$, 垂直于磁场观察时, 能观察到线偏振光, 线偏振光的振动方向垂直于磁场, 叫做 σ 线。平行于磁场方向观察时, 能观察到圆偏振光。 $\Delta M = 1$, 是以磁场为正向的右旋圆偏振光(顺时针方向), 频率增加; $\Delta M = -1$, 是以磁场为正向的左旋圆偏振光(逆时针方向), 频率减小。

本实验所观察到的汞原子 546.1 nm 谱线是能级 $6s7s^3S_1 \rightarrow 6s6p^3P_2$ 之间的跃迁。

在外磁场的作用下, 能级间的跃迁以及偏振态如图 1.2.3 所示。

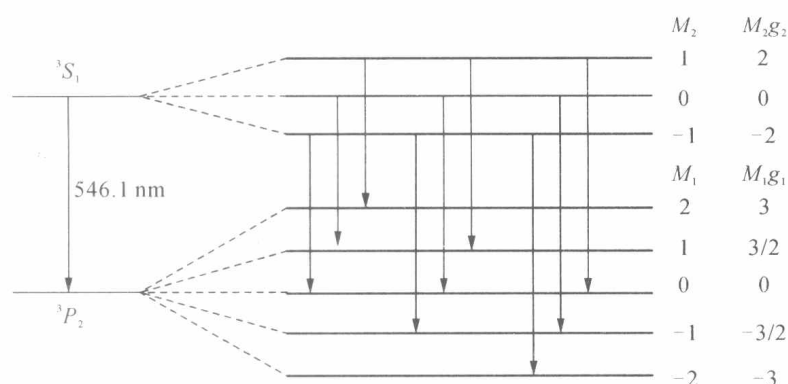


图 1.2.3 汞 546.1 nm 谱线的塞曼效应示意图

塞曼分裂的波长差是很小的, 因此一般的光谱仪难以观察到其分裂现象。F-P 标准具的分辨率很高, 而且构造简单, 该实验采用该标准具观察和测量谱线的分裂。F-P 标准具由两块平面平晶及中间的间隔圈组成。平晶内表面经过精密加工, 精度高于 $\lambda/20$ 。内表面镀有高反射膜, 反射率高于 90%。间隔距离可通过螺丝调节, 以保证两内表面严格平行。

设 A, B 两内表面间的距离为 d , 则相邻两束透射光之间的光程差便是 $\Delta = 2nd\cos\theta$, 因此, 产生干涉极大时应满足

$$\Delta = 2nd\cos\theta = N\lambda \quad (1.2.12)$$

式中, d 为两平行板之间的距离; N 为整数; θ 为入射角; n 为两平行板之间介质的折射率, 在空气中折射率近似为 $n=1$ 。

由于标准具间距是固定的, 对于波长一定的光, 不同的干涉级次 N 对应不同的入射角 θ 。如果采用扩展光源照明, F-P 标准具产生等倾干涉, 它的条纹是一组同心圆环。

用透镜把 F-P 标准具的干涉条纹成像在焦平面上, 条纹相应的光线入射角 θ 与条纹的直径 D 有如下关系:

$$\cos\theta = \frac{f}{\sqrt{f^2 + (D/2)^2}} \approx 1 - \frac{1}{8} \frac{D^2}{f^2} \quad (1.2.13)$$

式中, f 为透镜的焦距。

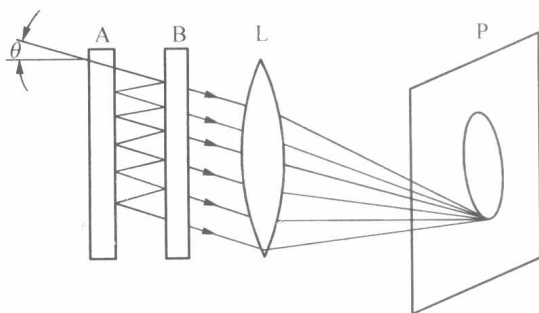


图 1.2.4 F-P 标准具干涉示意图

将式(1.2.13)代入式(1.2.12)得

$$2d\left(1 - \frac{1}{8} \frac{D^2}{f^2}\right) = N\lambda \quad (1.2.14)$$

由上式可见,干涉级次 N 与条纹直径的平方成线性关系,随着条纹直径的增大,条纹越来越密。式(1.2.14)等号左边第二项的负号表明干涉环的直径越大,干涉级次 N 越小。中心条纹干涉级次最大。

对同一波长的相邻两级次 N 和 $N-1$,条纹的直径平方差用 ΔD^2 表示,得

$$\Delta D^2 = D_{N-1}^2 - D_N^2 = \frac{4f^2\lambda}{d} \quad (1.2.15)$$

由上式可知, ΔD^2 是与干涉级次 N 无关的常数。对同一级次,不同波长 λ_a 和 λ_b 的波长差为

$$\Delta\lambda = \lambda_a - \lambda_b = \frac{d}{4f^2N}(D_b^2 - D_a^2) \quad (1.2.16)$$

测量时所用的干涉条纹只是在中心条纹附近的几个级次。考虑到标准具间隔圈的厚度比波长大得多,中心花纹的干涉级次是很大的,因此用中心条纹的干涉级次代替被测条纹的干涉级次,引入的误差可以忽略不计,即 $N=2d/\lambda$,将其代入式(1.2.16),得

$$\Delta\lambda_{ab} = \lambda_a - \lambda_b = \frac{\lambda^2}{2d} \frac{D_b^2 - D_a^2}{D_{N-1}^2 - D_N^2} \quad (1.2.17)$$

用波数差表示, $\Delta\tilde{\nu} = \Delta\lambda/\lambda^2$, 则

$$\Delta\tilde{\nu}_{ab} = \frac{1}{2d} \frac{\Delta D_{ab}^2}{\Delta D^2} \quad (1.2.18)$$

将式(1.2.18)代入式(1.2.10),便得到电子荷质比的公式

$$\frac{e}{m} = \frac{2\pi c \Delta D_{ab}^2}{(M_2 g_2 - M_1 g_1) B d \Delta D^2} \quad (1.2.19)$$

【实验器材】

ZM2000B2 型塞曼效应实验仪

ZM2000B2 型塞曼效应实验仪包括直流电磁铁磁场及稳流电源、毫特斯拉计、笔形汞