

近代物理实验

吴咏华 沙振舜 编著
孙大明 陆同兴

jīn dài wù lǐ shí yàn



安徽教育出版社

近代物理实验

吴咏华 沙振舜 编著
孙大明 陆同兴

安徽教育出版社

近代物理实验

安徽教育出版社出版

(合肥市跃进路1号)

安徽省新华书店发行 六安新华印刷厂印刷

◆

开本: 787×1092 1/16 印张: 19.25 字数: 480,000

1987年9月第1版 1987年11月第1次印刷

印数: 4,000册

ISBN7-5336-0218-4/G·611

统一书号: 7276·611 定价: 3.00元

近代物理实验是高等学校物理专业本科生的必修课。本书内容包括原子物理学等十个方面的实验共五十一个，满足该课程教学大纲的要求。全书采用实验讲义与手册相结合的编写体例，突出实验方法的介绍，同时给出一些较好的思考题和参考资料。

本书可作为高校物理专业近代物理实验教学用书，还可供化学、生物、材料科学、化工和地质等有关专业师生及科技工作者参考。

序

近代物理实验是人类知识宝库中的瑰宝。许多近代物理实验，如X射线的发现、油滴实验、光电效应实验、电子衍射实验、光子电子散射实验、……等等，都是人类认识自然过程中的重大突破。这些创造性的实验至今对我们有着巨大的吸引力。我们可以从中学习前辈科学家们的创造精神和实验精神，我们可以研究、学习他们是如何思考问题和提出问题，如何设计实验和进行实验，如何分析数据和得到结论的。

物理学是实验科学，学习物理学要十分重视实验。同学们要通过物理实验课程，逐步培养自己对实验的爱好和独立进行实验的能力，培养严肃认真的科学态度和细致踏实的工作作风。不要把做实验看作应付差使，而要把做实验看作认识自然规律的创造性活动。做实验不是参观，而要自己动手。不要受规定的实验内容所限制，而要多独立思考，在实验室允许范围内，学会自己去改变实验条件和观察物理现象。

《近代物理实验》是一本内容比较丰富的教学参考书，由吴咏华（主编）、沙振舜、孙大明、陆同兴等同志编写。这几位作者多年来在有关学校中从事近代物理实验室建设和教学工作，具有丰富的教学经验，因此这本书是集体经验的总结。我相信它会对高等学校近代物理实验教学工作起着很好的作用。

唐孝威

AM31/07

编者的话

本书是根据原教育部1980年制定的综合大学物理专业近代物理实验教学大纲,并参照高等师范院校物理专业近代物理实验教学大纲编写的。大纲规定的实验题目,除个别实验考虑到各校条件,以及有的实验拟放在其它实验课程比较合适外,基本上都编入本书。另外,还收入了一些反映近代物理和实验技术发展,而又适合于近代物理实验内容的题目,供使用时参考。

我们编写本书,是想尽快地有一本近代物理实验方面的参考书,为教师和学生进行近代物理实验提供一些方便。

在本书编写过程中,吸收了一些兄弟院校的先进经验,注意到一些院校教学设备的差异,既照顾到一般,也反映一些较新实验;内容力求简明扼要,方法尽量灵活多样;全书采用国家法定计量单位(即国际单位制),收集了较多的实验参考数据和图表;对“大纲”所列几个方面的实验,及其在物理学的发展中所处的地位和作用,在每部分引言中都作了简要的叙述;实验中还设计了一些思考题,以启发学生独立思考,鼓励学生积极主动地学习。思考题有些可作预习用,有些可作复习用,请自由选择。

使用本书时,应先阅读各部分实验的引言,然后再读所做实验的全部材料。为了更好地了解实验内容和培养学生独立工作能力,一般不给实验操作步骤,而由学生自行拟定;虽然少数实验因具体情况给出了简要步骤,但学生不要因此受到束缚。希望读者认真分析实验装置的结构原理,重视并仔细阅读仪器说明书,独立地、创造性地完成实验。有些实验内容过多,方法几套,可根据各自情况酌情取舍;有些也可作为“开放”实验让学生独立进行。

实验数据处理、微机在近代物理实验中应用、公用实验仪器等,在本书最后附录中做了概括性的介绍,供使用时参考。 c 、 ϵ_0 、 e 、 h 、 m_e 、 μ_B 、 μ_N 、 R_∞ 、 R_H 等常用符号,除特别注明者外,将分别表示真空中光速、介电常数、电子电荷、普朗克常数、电子质量、玻尔磁子、核磁子、里德伯常数、氢原子里德伯常数等,书中不再注明。

本书是由吴咏华(主编)、沙振舜、孙大明、陆同兴等编写的。参加本书编写的还有:方林瑞、田天恩、李宗民、金广湘、沈德勋、高兴奎、徐国柱、滕敏康、尹传元、娄明连、赵华正、赵献章、卢秉嵩、胡启中诸同志。

唐孝威同志在百忙中审阅了本书部分初稿,提出了宝贵意见,并为本书作序,编者对此深表感谢。

编者水平有限,编写时间短促,书中缺点、错误在所难免,诚恳希望各校老师和广大读者批评指正。

目 录

绪 论.....	1
----------	---

I. 原子物理

引言.....	4	实验 I—5	电子衍射.....	20	
实验 I—1	氢与氘原子光谱.....	4	实验 I—6	受激喇曼散射.....	26
实验 I—2	钠原子光谱.....	9	实验 I—7	光谱分析.....	31
实验 I—3	塞曼效应.....	12	实验 I—8	富兰克—赫兹实验.....	36
实验 I—4	油滴法测量电子电荷.....	17	实验 I—9	光电效应.....	40

II. 原子核物理

引言.....	45	实验 II—4	闪烁谱仪测 γ 能谱.....	60	
实验 II—1	G-M 计数管.....	48	实验 II—5	穆斯堡尔效应.....	63
实验 II—2	β 和 γ 吸收.....	53	实验 II—6	正电子湮没寿命实验.....	70
实验 II—3	符合测量法测定放射源强度.....	56	实验 II—7	X荧光分析.....	74
		II—附 录	光电倍增管.....	78	

III. 光 学

引言.....	84	实验Ⅲ—6	He—Ne激光器的模式研究 与兰姆凹陷.....	105	
实验Ⅲ—1	激光全息.....	84	实验Ⅲ—7	光电探测器的光谱特性	110
实验Ⅲ—2	傅里叶光学.....	89	实验Ⅲ—8	偏光显微镜.....	116
实验Ⅲ—3	法拉第效应.....	94	实验Ⅲ—9	激光参数测量.....	120
实验Ⅲ—4	椭圆偏光法测薄膜厚度和折 射率.....	98	实验Ⅲ—10	单光子计数.....	125
实验Ⅲ—5	光速测量.....	102			

IV. 真空技术

引言.....	130	实验Ⅳ—4	质谱与残余气体分析.....	150	
实验Ⅳ—1	高真空的获得和测量.....	137	实验Ⅳ—5	气体放电等离子体的研究.....	154
实验Ⅳ—2	真空镀膜.....	141	Ⅳ—附 录	复合真空计使用说明.....	160
实验Ⅳ—3	He—Ne激光器放电条件 对输出功率的影响.....	146			

V. X光技术

引言.....	166	实验 V—2	劳厄照相法.....	177	
实验 V—1	德拜—谢乐粉末法.....	171	实验 V—3	X射线标识谱.....	183

VI. 磁共振技术

引言.....	187	实验 VI—3	电子自旋共振.....	197	
实验 VI—1	核磁共振稳态吸收.....	189	实验 VI—4	光磁共振.....	201
实验 VI—2	核磁共振弛豫时间 T_1 和 T_2 的测量.....	193	实验 VI—5	铁磁共振.....	206
		实验 VI—6	核电四极矩共振.....	210	

VII. 微波技术

引言.....	214	实验Ⅶ—2	顺磁共振.....	222	
实验Ⅶ—1	反射速调管的工作特性、 波导管工作状态研究.....	219	实验Ⅶ—3	微波的布喇格衍射.....	227

VIII. 低温技术

引言.....	230	实验Ⅷ—2	低温实用温度计.....	240
实验Ⅷ—1	西蒙气体温度计与蒸汽压	实验Ⅷ—3	低温下固体材料热导率的	
温度计.....	236	测量.....	244	

IX. 固体物理

实验 IX—1	霍耳效应.....	250	实验 IX—2	位错观测和金相显微技术.....	255
---------	-----------	-----	---------	------------------	-----

X. 声学

实验 X—1	超声探伤.....	259	实验 X—3	超声光栅衍射及超声场的观测.....	267
实验 X—2	脉冲干涉法测量液体的声速和吸收.....	263			

附录

附录 A	最小二乘法处理实验数据简介.....	272	附录 C	物理学常数.....	295
附录 B	公用仪器介绍.....	278	附录 D	中华人民共和国法定计量单位.....	296

绪 论

物理学是一门以实验为基础的科学。物理实验教学是培养合格物理学工作者必不可少的教学组成部分。近代物理实验在整个物理实验教学中是重要的一环。它处在普通物理实验与专门化实验之间,具有承上启下的作用。

一、近代物理实验的重要意义

近代物理实验是一门综合性较强的实验课程,除包括物理学发展史上堪称为里程碑的著名物理实验外,还包括近代的实验方法及应用广泛的实验技术。通过近代物理实验教学,培养学生用实验的方法研究物理现象与物理规律的习惯,同时培养学生在科学实验中发现问题和解决问题的能力、严谨的科学态度及认真踏实的工作作风等优良素质,为进一步的学习与工作打下坚实的基础。

近代物理实验课程的教学内容和方法,具有不同于普通物理实验的特点。如内容涉及范围广,要求的预备知识面宽,学生自行设计实验方案的比例增加,所涉及的仪器数量多、结构复杂等,使这门课程在实验教学中具有重要地位。进行实验时,学生不应依赖教师把仪器完全准备好,而要逐步学会自行查阅文献、选择实验方案,选择实验仪器,进而完成实验、给出数据处理及结果。学生进行实验之前,一定要清楚地了解要做什么、应怎样做、为什么要这样做以及预计应得到什么结果等,这样的训练对今后工作会大有好处的。

近代物理实验内容包括原子物理、原子核物理等共十个部分。这些内容都是基本的物理现象、基本的物理规律和基本的实验技术。通过实验应该学习实验的设计思想、实验方法以及基本的实验技术。实验中的真空技术,X光技术以及低温技术等都是应用极为广泛的技术,通过近代物理实验的学习,应初步掌握这些技术。

实验物理在物理学发展史上占有重要的地位,并对科学发展和社会进步具有很大的推动作用。实验是物理科学的基础,它既为物理学提供了丰富的资料来源,同时又是检验理论正确与否的唯一根据。我们可以列举历史上的几个例子说明这一点。

本世纪初,在归纳了一些初步实验事实的基础上,曾提出了两种原子结构模型,其一为汤姆逊(J·J·Thomson)提出的所谓“西瓜”模型;另一为卢瑟福(E·Rutherford)提出的有核模型。这两种模型究竟哪一个反映原子结构的真实面貌,要靠实验结果来检验。随后,盖革(H·Gerger)和马斯登(E·Marsden)观察氦原子核在金属箔上的散射规律,发现存在偏转角度大于 90° ,甚至接近 180° 者。经过分析计算,这只有在原子中的正电荷是集中在很小的区域内时才有可能,从而支持了卢瑟福的有核模型,否定了认为原子中正电荷是均匀分布在原子中的西瓜模型。这说明实验是检验理论正确与否的唯一标准。

在物理学发展史上,类似的例子很多。如,作为量子力学奠基人的法国物理学家德布罗意(De-Broglie)在1924年提出,对于动量为 p 的电子有波长 $\lambda = \frac{h}{p}$ 的波与之对应。这是受了光有二象性的启发而得出的,是很自然而又很巧妙的联系,但在实验证实之前只能作为假说提出来。当美国人戴维逊(C·J·Davisson)和革末(L·S·Germer)在1926年用电子束轰击

晶体表面，摄取了类似于光的衍射花样之后，说明作为粒子的电子确实表现出波动性质。就是这张具有历史意义的衍射环纹照片，使得德布罗意的假说得到公认，从而， $\lambda = \frac{h}{p}$ 被称为德布罗意关系，而德布罗意本人也因此荣获1929年度诺贝尔物理学奖。

五十年代曾经轰动物理学界的李政道、杨振宁关于基本粒子弱相互作用宇称可能不守恒的看法，和吴健雄的著名极化核 β 衰变实验，也很好体现出物理学理论和实验之间的关系。李、杨是在审查了当时已经做过的大量实验事实之后，认识到已往的实验结果并未能直接证明在弱作用中宇称是守恒的，而只是由一般情况下的守恒律成立推理得到的，因此结合着当时的 $\theta \sim \tau$ 之谜，他们大胆地提出了“在弱作用中宇称是不守恒”这一看法。这一新的观念问世时，确实引起了物理学界甚至整个学术界的轰动，激发了很多人的兴趣。而对这一新观念本身，却是众说纷云。很多物理学家并不能接受这一新观念，一时争论不休。而在吴健雄成功地做出了极化核 β 衰变的实验之后，给出了被极化的核 β 衰变时，放射出的电子数目多少是与外磁场方向有关系的。反着磁场方向发射的电子数目多些，也就是说，在弱作用中宇称不守恒。这一实验的成功，就刺激了许多理论物理学家，纷纷去寻找一个理论，试图去解释弱作用时宇称不守恒。很快在1957年，李、杨和萨拉姆（Salam）等人就提出了中微子二分量子理论，可以说明宇称守恒律在弱作用中不成立。

以上三个例子都说明实验是审定物理学理论的铁面无私的法官。说明物理学的任何理论都要接受实验的考验，都是以其是否能解释实验事实为标准的。我们在这里举出这几个例子并不想说明实验高于理论，这只是为强调应该引起人们对实验科学的重视，应当正确地看待实验工作。我们认为理论与实验是分不开的，是相互促进、共同发展的。理论上一个新的假说的提出，就激励实验物理学家去设计新的实验，去验证理论，实验的结果又会对理论的正确程度给出评价。一个新的实验现象的发现，一个新的效应的发现，也激励理论物理学家去设想模型，去寻找规律，试图去解释实验事实。哪个模型，哪种理论能解释实验事实，它就是成功的理论。由此看出，理论和实验二者是相辅相成的。物理学的许多重大成就都是理论与实验相结合的结晶。

二、近代物理实验的安全规则

近代物理实验室的安全规则十分重要，有必要作些简明介绍，因为在近代物理实验中要涉及到高能、高压、高温及低温、低气压、激光、化学等方面。提出一些必要的注意事项是为了实验的顺利进行，同时也是为了使人身和仪器设备不致受到损害。这里只对实验人员必须共同遵守的规则作些介绍。各实验室还应按着各自情况给出具体的规则。

1. 用电注意事项

实验室内电源除最常用的交流220V或380V外，在近代物理实验室还使用X光管、激光管、放电管等，需要使用高达上万伏的高压电源。如果人体直接接触这些电源，都是可能致命的，使用时要特别注意。

- (1) 要先检查所用电源与仪器设备要求的额定电源是否相符（如注意直流、交流、低压、高压，直流的+、-极性，电机运转方向等）；
- (2) 通电前应先先将负载接好，并通过开关控制电源通断；
- (3) 接通高压电源开关时，应单手操作；
- (4) 注意地线是否接好。

2. 放射性防护

核物理实验中要使用放射性同位素，这些天然或人工的放射性辐射，能引起生物体内细胞损伤，因此应引起足够重视。近代物理实验中安排的核物理实验所使用的放射性同位素的活性比较弱，正常情况下人所接受的剂量是很有限的，不会对人体造成明显伤害。但要养成良好习惯，一定要严格遵守操作规程，要避免发生事故。

(1) 放射源应有专人保管，学生实验时须登记领取，实验结束后交回、验收、销帐；

(2) 取拿放射源应使用专用的夹物钳或长柄镊，打开放射源防护盒盖时应尽可能远离眼睛，手不要碰到放射源的表面；

(3) 在有放射源的实验室内不得进食饮水，实验结束后应先洗手。

3. 电磁辐射的防护

在X光、激光、电子衍射、气体放电、微波以及其它电源电压超过15kV的有关实验中，都可能产生X射线或其它波长的电磁辐射。它们对人体的过量照射，将会使皮肤灼伤并会产生其它生物效应，特别是X射线和激光，即使是较低强度的辐射也将对人体，尤其是对眼睛视网膜造成损害，从而使视力减退甚至失明。

(1) 实验前应测量X射线、激光及微波等的可能发射范围，以便屏蔽和避开；

(2) 在人体受X射线可能照射的较强部位，应加防护罩；

(3) 注意眼睛千万不能直视激光束，即使某些光滑表面反射的激光束也要避开。

4. 真空和低温操作规则

真空和低温实验，常用到玻璃真空器皿、汞、液氮等。在器皿损坏或操作失误时，可能抛出碎片、汞滴、液氮，使人体遭受损伤。

(1) 玻璃扩散泵在工作时，切不可有冷水等突然喷射到泵底“油锅”处；

(2) 盛汞容器必须加盖（或加油、水等）封严，并放在阴凉处，不可敞口存放和让汞滴散落地上。如果汞滴已散落地上，要用硫磺粉掩盖，也可用多硫化钙处理，使汞变成硫化物。由仪器中逸出的汞蒸汽，可用溴和碘处理后的活性炭吸收。玻璃工人在吹接含汞器件时，务必使用吹气瓶；

(3) 装液氮时，应戴安全手套；每次新灌液氮的容器，应先灌少量液氮预冷，然后再慢慢将液氮灌满。

I 原子物理

引言

在本书第一部分实验中，我们用实验方法来揭示原子物理与量子力学中的几个基本概念，例如，原子的能级和辐射，光子和电子的波粒二象性，原子的磁矩和外磁场对原子的作用等。在历史上，这些实验对了解原子的结构和性质起过重要的作用。

根据近代物理实验教学大纲，原子物理方面的实验包括一些光谱实验。原子光谱的研究对原子物理和量子力学的发展起过很大作用，特别是氢原子光谱，由于它是最简单、最典型、规律性最明显的一种光谱，研究得最早、最透彻，成为原子物理学和量子力学的重要依据。对原子光谱的分析解释及夫兰克—赫兹实验，都有力地证实了原子中分立能级的存在。后者提供一个测量激发电位与电离电位的方法。塞曼效应是研究原子结构的重要途径之一。

鉴于喇曼光谱学已成为探索物质结构、能级和相变等问题的有力手段之一，应用日益广泛，所以这里也安排了相应的实验，使得通过实验学习喇曼散射的理论和实验方法，训练有关喇曼光谱的基本操作。

这部分还有几个有关电子的实验，其中密立根的油滴实验测量电子电荷是久负盛名的，被推为实验物理的典范。还包括通过观测电子在晶格上的衍射来直接证明电子的波动性，这是对德布罗意波假说的实验验证。众所周知，德布罗意波的假说已成为量子力学的基石。

光电效应实验证实了光量子概念的正确性，提供了比光谱研究更加直接的关于电磁辐射粒子性的证据。

光的二象性——既有波动性又有粒子性，通过普朗克常数 h 联系起来。普朗克常数在近代物理中占有重要地位，这里通过光电效应实验测量它。同样，里德伯常数也是一个重要的物理常数，在氢原子光谱实验中对它进行测量。

安排这些实验的目的，除了加深对原子物理和量子力学基本概念的理解外，还要掌握现代研究中使用的实验方法，同时熟悉所用的基本仪器。此外要学习前辈物理学家们是如何去思考，如何设计实验、安排实验和分析结果的。

实验 I—1 氢与氘原子光谱

氢光谱波长的规律，是瑞士巴尔末(Balmer)于1884年发现的。在巴尔末开始研究之前，人们已经测量过可见光区和紫外光区的若干条氢光谱谱线，但这些数据是零散的。巴尔末的工作就是从已知的几条氢光谱线的波长中找出它们的规律，终于得到了巴尔末公式。

氢光谱规律的发现，对于原子物理学和量子力学的发展起过重要作用。至今人们还在研究氢光谱的规律，是为了想了解原子核和电子结合的更深刻的意义。

氢的同位素——氘(D)是尤莱 (Uery) 在1932年根据里德伯常数随原子核质量不同而变化的规律, 对重氢赖曼(Lyman)线系进行摄谱分析发现的。氘的里德伯常数 R_D 略大于氢的里德伯常数 R_H 。与氢相比, 氘原子光谱线略偏向波长短的一边。

实验原理

通过对氢和氘原子光谱的分析及对里德伯常数的测定, 验证巴尔末规律的正确性, 加深对原子能级和“同位素位移”的理解; 并了解摄谱仪的结构和使用, 对光谱测量所要达到的精度有进一步认识。

氢原子光谱是最简单、最典型的原子光谱。用电激发氢放电管(氢灯)中的稀薄氢气(压强在 10^2 帕左右), 便可获得线状氢原子光谱。巴尔末根据实验结果给出氢原子光谱在可见光区域的经验公式

$$\lambda_H = \lambda_0 \frac{n^2}{n^2 - 2^2}, \quad (I-1-1)$$

式中 $\lambda_0 = 3,645.7 \text{ \AA}$, 是经验常数; n 是连续整数 3、4、5……。上式用波数 $\tilde{\nu}$ 表示, 有

$$\tilde{\nu}_H = \frac{1}{\lambda_H} = \frac{1}{\lambda_0} \left(\frac{n^2 - 2^2}{n^2} \right) = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad (I-1-2)$$

这里 R_H 称为氢的里德伯常数。

同理, 对于氘原子光谱有

$$\tilde{\nu}_D = \frac{1}{\lambda_D} = R_D \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (I-1-3)$$

根据玻尔(Bohr)理论对氢和类氢原子的里德伯常数的计算, 有

$$R_Z = \frac{2\pi^2 m_e e^4 Z^2}{(4\pi\epsilon_0)^2 h^3 c} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{m_e}{M_Z}\right)}, \quad (I-1-4)$$

式中 M_Z 为原子核质量, Z 为原子序数。当 $M_Z \rightarrow \infty$, 即假定原子核不动, (I-1-4)式变为

$$R_\infty = \frac{2\pi^2 m_e e^4 Z^2}{(4\pi\epsilon_0)^2 h^3 c}, \quad (I-1-5)$$

并有

$$R_Z = \frac{R_\infty}{\left(1 + \frac{m_e}{M_Z}\right)} = \frac{R_\infty \cdot M_Z}{M_Z + m_e} \quad (I-1-6)$$

由于氢和氘的原子核质量分别为 M_H 、 M_D , 又知

$$M_D = 2M_H \doteq 2M_P, \quad (I-1-7)$$

于是, 可得出氢和氘光谱的相应谱线的波长差为

$$\Delta\lambda = \lambda_H - \lambda_D = \left(\frac{1}{R_H} - \frac{1}{R_D} \right) / \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (I-1-8)$$

故有

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_H} \doteq \frac{m_e}{2M_P} \quad (I-1-9)$$

由此可知, 通过实验测得氢与氘的巴尔末线系的前几条谱线的波长及其波长差, 可由(I-1-2)、(I-1-3)和(I-1-9)式求得氢与氘的里德伯常数, 以及电子与质子质量比。

里德伯常数 R_∞ 是重要的基本常数之一, 它反映了原子核与电子之间的结合性质, 把原

子状态与原子通过吸收或发射一份能量而改变其状态的能力联系起来了。由于测量 R_∞ 的精度比一般物理常数高，所以成为检验原子理论可靠性的标准和测量其它基本物理常数的依据。

氢和氘的巴尔末线系前十条谱线的波长如表 I-1-1。

表 I-1-1 氢和氘巴尔末系波长表

氢 (H)		氘 (D)	
符 号	波长 ($\text{\AA}$)	符 号	波长 ($\text{\AA}$)
H α	6,562.80	D α	6,561.00
H β	4,861.33	D β	4,859.99
H γ	4,340.47	D γ	4,339.28
H δ	4,101.74	D δ	4,100.62
H ϵ	3,970.07	D ϵ	3,968.99
H ξ	3,889.06	D ξ	3,887.99
H η	3,835.40	D η	3,834.35
H θ	3,797.91	D θ	3,796.87
H ι	3,770.63	D ι	3,769.62
H κ	3,750.15	D κ	3,749.15

实验仪器

摄谱仪（光栅摄谱仪或棱镜摄谱仪）、光谱投影仪、比长计、氢灯和氘灯、交流电弧发生器等。

摄谱仪种类虽很多，但其基本组成常可分为平行光管（包括入射狭缝和准直系统）、色散元件和暗箱（包括物镜及与物镜焦面相吻合的暗盒）等三部分。以光栅为色散元件的叫光栅摄谱仪，以棱镜为色散元件的叫棱镜摄谱仪。这里仅介绍平面光栅摄谱仪的结构原理和使用方法；棱镜摄谱仪参见附录 I。

平面光栅摄谱仪的光学系统示于图 I-1-1。它采用了艾伯特——法斯提（Ebert—Fastie）装置。由光源 L 发出的光线经消色差三透镜（ O_1 、 O_2 、 O_3 ）系统均匀照明狭缝 S ，再经平板反射镜 M 转折 90° 射到凹面镜 C 、经 C 反射后，光束平行地射在平面光栅 G 上，光栅 G 把白光分解为单色平行光，又经凹面镜聚焦在光谱感光板 P 上。该装置的入射狭缝 S 与光谱感光板 P 是在垂直平面对称于光栅 G 放置的，由于光路对称，各种像差可减至很小以致可忽略不计。同时，由于使用凹面镜 C 作为准直物镜和摄谱物镜，所以也不易产生色差，且谱面平直。

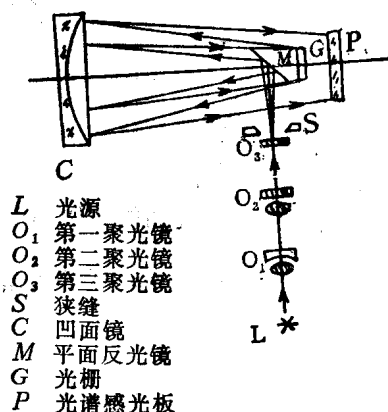


图 I-1-1 平面光栅摄谱仪光学系统

仪器照明系统的安装、调焦（出厂时已调好）、光栅转角和狭缝倾斜的补偿等，可参照附录中平面光栅摄谱仪使用说明或仪器说明书要求进行。

使用光谱投影仪和标准铁谱图辨认谱片、寻找谱线时，应首先注意很强的或排列有特点的铁光谱，这样易于和标准铁谱图对照。

使用比长计测量两条谱线相对位置之间的距离，应注意将被测谱片放在比长计工作台的正确位置上，使谱片和显微镜轴垂直，谱线和螺旋移动方向垂直，和标尺刻线平行。

实验内容

1. 拍摄光谱 移动哈特曼(Hartman)光栏(图 I-1-2)，把铁光谱(比较光谱)、氢光谱和氘光谱并排地拍摄在一条谱板上，如图 I-1-3 所示。

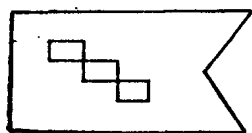


图 I-1-2 哈特曼光栏

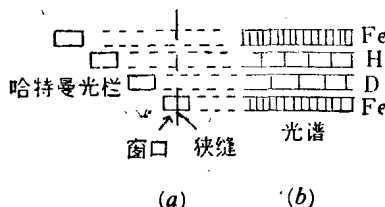


图 I-1-3 比较光谱

为了取得更多的氢和氘的巴尔末线系的谱线，可将氢灯和氘灯各自分别以纵向位置与横向位置放在摄谱仪的狭缝前面。

2. 与标准铁谱图对比辨认所拍摄的铁谱线的波长 将拍摄后冲洗好的谱板放在光谱投影仪上，与标准铁谱图片进行对比，找出待测谱线中与标准铁谱图完全相同的光谱区域，对照标准铁谱图上标出的铁谱线波长值，标定待测铁谱的各波长值。

3. 用阿贝(Abbe)比长计精确测定氢和氘各条光谱线的波长值，计算诸谱线的里德伯常数，求 R_H 、 R_D 的平均值。如图 I-1-4 所示的方法比较光谱，把所摄的铁谱图上谱线波长标定后，就可作为已知波长，另一排的氢或氘的谱线是待测波长。在光谱图片很小间隔范围内，摄谱仪的线色散可认为是个常数，于是谱线间隔与谱线波长差成正比。设图 I-1-4 中 λ_x 为待测的氢(或氘)谱线的波长， λ_1 和 λ_2 分别为待测谱线 λ_x 附近两侧的两条已标定的铁谱线的波长，则有

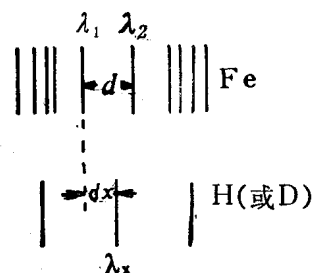


图 I-1-4

$$\lambda_x = \lambda_1 + \frac{d_x}{d}(\lambda_2 - \lambda_1) \quad (\text{I-1-10})$$

λ_1 和 λ_2 是在投影仪上测定了的， d 和 d_x 值用阿贝比长计测出，即可算出氢和氘谱线的波长值与 R_H 、 R_D 值。

在计算 R_H 、 R_D 时，应该用氢和氘谱线在真空中的波长，故要对在空气中测量的波长进行修正，即 $\lambda_{\text{真空}} = \lambda_{\text{空气}} + \Delta\lambda_{\text{修}}$ ，而 $\Delta\lambda_{\text{修}}$ 的各值如下：

氢和氘谱线	α	β	γ	δ	ϵ	ξ	η	θ	ι	κ	
$\Delta\lambda_{\text{修}} (\text{\AA})$	1.81	1.36	1.21	1.16	1.12	1.10	1.08	1.07	1.06	1.06	

注意事项

1. 摄谱仪是精密贵重仪器, 必须倍加爱护; 特别是狭缝, 非经教师允许, 切不可随意调节。摄谱时可移动哈特曼光栏, 不得移动暗箱。

2. 氢灯、氘灯和铁弧光源都用了高压电源, 使用时务必注意安全。调节铁弧电极时应先断开电源, 使用铁弧光源时要戴防护眼镜。

3. 铁弧电极上不能有氧化物, 应经常磨光, 呈圆锥形; 铁电极成像切勿在光栏内。

思考题

1. 巴尔末线系极限波长是多大?

2. $H_\beta(4,861.33\text{\AA})$ 谱线附近的色散率是多大?

3. 在氢光谱中, 怎样判断你所看到的那些谱线是氢原子发出的, 而不是氢分子发出的? 氢分子光谱与氢原子光谱有什么不同?

4. 由测量 λ_H 、 λ_D 的误差定出 R_H 、 R_D 的误差。讨论本实验最重要的误差来源是什么?

5. 用由比长计测出的氢的各谱线波长, 画出氢的巴尔末线系能级图(氘的巴尔末线系能级图怎样?), 描出 $\frac{1}{\lambda_H} \sim \frac{1}{n^2}$ 关系曲线。

参考资料

(1)、(2)、(3)、(4)。

附录

一、平面光栅摄谱仪使用说明

光栅摄谱仪是精密贵重仪器。使用前应先阅读仪器说明书, 各调节部分应在教师指导下按操作规程进行。现就使用中几个主要问题说明如下:

1. 电极架与光源照明系统 a. 检查电极、透镜系统与狭缝应等高共轴, 保证弧焰准确投射到狭缝上。电极中心高度的控制, 可利用电极后的对光灯调整, 即让电极隙成像在三透镜照明系统中的 O_2 前的中间光栏上(参看图 I-1-1), 并按此像调整极隙大小和位置, 使电极隙略大于中间光栏, 并上下左右对称于光栏, 注意不要使电极头的像进入光栏。

b. 点燃电弧, 细调透镜 O_2 , 使中间光栏像对称充满准直镜——凹面反射镜下部, 从装暗箱的位置观察照相物镜——凹面反射镜上部时, 能看到中间光栏像上下左右对称的充满光栅, 此时固定 O_2 (在细调 O_2 时应随时调整 O_1 及光源 L , 使光能通过 O_2 射入仪器), 并使电极对称成像在中间光栏上。c. 细调 O_1 , 使通过 O_2 所成之像——圆光斑——均匀对称地照在狭缝前兼作保护用的调整盖上的十字线, 光斑充满整个黑线圆圈, 然后固定 O_1 , 此过程中亦应随时调整光源 L 。d. 最后微调光源 L , 使电极清晰对称地成像在中间光栏上。

2. 光栅台与中心波长指示 光栅台是放置光栅和转动光栅来改变中心波长用的回旋小平台, 以期得到不同的波长范围。它的转动是通过旋转手轮来达到的, 光栅转角可直接在转盘上读出。

3 滤色片的使用 由光栅方程 $d(\sin\alpha \pm \sin\theta) = k\lambda$, 可得 $k_1\lambda_1 = k_2\lambda_2 = \dots$, 亦即一级光谱的某些谱线可能和二级或三级光谱的某些谱线重叠。为了消除这些重叠, 要在狭缝前加滤色片。

二、棱镜摄谱仪的简介和使用

1. 棱镜摄谱仪的结构 图 I-1-5 是棱镜摄谱仪的光学系统。由光源 L 发出的光线经消色差三透镜系统均匀照明狭缝 S , 再经准直物镜变成平行光。棱镜的作用是把照亮狭缝的多色光按不同波长偏折到不同方向, 在谱板 P 上得到一排被分开的狭缝单色像, 即一排不同波长的谱线, 这就是被分析的光谱。

棱镜摄谱仪的棱镜一般使其中心波长处于最小偏向角的位置, 这时三棱镜的角放大率为 1, 像差最小。

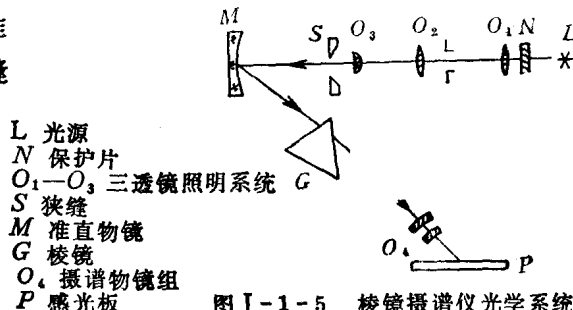


图 I-1-5 棱镜摄谱仪光学系统

2. 照明系统的安装 摄谱仪采用的照明系统中, 有单透镜的, 两透镜的和三透镜的系统。在一般定性实验中可用单透镜系统, 光谱定量分析时, 应采用三透镜照明系统。三透镜照明系统可保证光源中一定部位照明摄谱仪的入射狭缝, 使谱板上所获得的谱线沿高度的强度分布均匀; 同时亦可充分利用摄谱仪的聚光本领和分辨本领, 且几乎不会产生杂散光。

光路调节, 应按照仪器说明书规定距离, 安装好光源与透镜。首先把光源放在一定位置, 中间加上一个透镜, 点燃电弧, 将透镜移动到靠近狭缝, 使光源在狭缝盖上成缩小像, 上下左右移动光源的位置, 使缩小像对称于狭缝盖上的十字丝中心; 把透镜移近光源, 使光源在狭缝上是放大像, 上下左右移动透镜, 使放大像对称于十字丝中心。反复几次, 调好光源和透镜的位置, 取下透镜, 换上另一透镜, 同样调节。

实验 I-2 钠原子光谱

钠原子序数为 11, 是既有稳定的满内壳层, 又有自由电子的简单原子, 其光谱结构比较简单, 既可用吸收光谱, 也可用发射光谱进行研究。在激光光谱日益发展的今天, 钠光谱仍是深入研究的对象之一。

实验原理

本实验将学习用光栅摄谱仪拍摄钠原子发射光谱并测定其谱线波长, 通过里德伯关系式计算原子能级和量子数, 并绘制其能级图。

氢原子发射光谱线的波数可写成

$$\tilde{\nu} = \frac{R_H}{n_1^2} - \frac{R_H}{n_2^2} \quad (I-2-1)$$

其中 R_H 是里德伯常数。当 $n_1 = 2$, n_2 依次为 3、4、5、……时为熟知的巴尔末线系。

原子能级 E_n 可表示为