

高等学校试用教材

物理实验

近代与综合部分(工科用)

哈尔滨工业大学



高等教育出版社

高等学校试用教材

物 理 实 验

近代与综合部分
(工科用)

哈尔滨工业大学 编

高等教育出版社

本书以全国各高等工科院校开设的近代物理实验为基础，精选出比较典型、成熟的实验，经补充修改写成。全书共包括十三个实验：实验一《氢原子光谱》、实验二《弗兰克-赫兹实验》、实验三《电子电荷的测量（密立根油滴法）》、实验四《光电效应法测普朗克常数》、实验五《盖革-弥勒计数器和闪烁计数器》、实验六《 β 射线的吸收》、实验七《微波光学实验》、实验八《钨的逸出功的测量》、实验九《真空的获得与测量》、实验十《声光衍射》、实验十一《迈克耳孙干涉仪》、实验十二《多普勒效应》、实验十三《光学全息照相的基本技术》。此外，还有三篇附录：附录I《偶然误差的数学处理简述》、附录II《用最小二乘法作曲线拟合》、附录III《常用物理常数》。

本书中的一些实验介绍了多种实验方法，使用者可根据具体情况酌情选用。书中有些地方采用提问式的写法，可以帮助读者更好地学习和掌握这部分知识。

本书可供高等工科院校本科生及研究生作为近代物理实验教材。

高等学校试用教材

物 理 实 验

近代与综合部分（工科用）

哈尔滨工业大学 编

*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

河北省香河县印刷厂印装

开本787×1092 1/16 印张6.25 字数143 000

1987年9月第1版 1987年9月第1次印刷

印数00,001—5,150

ISBN 7-04-000037-7/ O·20

书号13010·01435 定价 1.15元

前 言

本书是为工科院校学生编写的物理实验（近代与综合部分）教材。它所选的13个实验题目是以1980年制定的高等工业学校普通物理实验教学大纲为依据，并听取了原物理实验教材编审小组的意见而确定的。其中“全息照相技术”实验在华中工学院、天津大学、上海交通大学合编的《物理实验》一书中已经收入，选入本书时对内容作了较大的修改。目前各校对“误差与数据处理”的教学都很重视。这部分内容我们认为应予以加强。为此，我们在华中工学院等三校合编教材绪论部分的有关内容基础上，增写了“偶然误差的数据处理”及“用最小二乘法作曲线拟合”这两个题目。并将它们作为附录放在书后，供感兴趣的读者参考。

为适应当前各校教学方法的现状，本书的编写力求作到使学生阅读后，明确实验目的及意义；明确实验所依据的原理及应该完成的基本内容。文中采用了一些提问的方式，其用意在于引导学生思考、发挥学生的主动性。考虑到各校所用仪器的差异，本书对实验装置的介绍尽量作到有较大的适应性，个别实验还介绍了几种实验方法与实验装置，以便于选用。某些实验对数据处理的曲线拟合要求，只供有计算条件的学生选用。

本书在编写过程中受到朱竹林、李化平、万良风、刘鑫森、钟安、潘人培等同志的热情关怀与悉心指导。本书编写过程中参考了由清华大学、南京工学院、北京钢铁学校、北京工业学院、天津大学、浙江大学及上海交通大学等十二所高等学校供稿，由哈尔滨工业大学主编的《物理实验（近代物理与综合部分）》一书，同时也参考了其它许多兄弟院校的实验讲义和工作。编者在此一并表示谢意。

本书由耿完楨编写实验三、四、九、十一、十三及附录一；薛洪福编写实验一、二、七、八及附录二，邹立勋编写实验五、六、十、十二。全书由李化平主审。

编者水平有限，书中一定有不少缺点与错误，望各兄弟院校的同事们及广大读者予以批评指正。

编者

一九八六年十二月

目 录

实验一	氢原子光谱	1
实验二	弗兰克-赫兹实验	7
实验三	电子电荷的测量(密立根油滴法)	12
实验四	光电效应法测普朗克常数	17
实验五	盖革-弥勒计数器和闪烁计数器	23
实验六	β 射线的吸收	34
实验七	微波光学实验	44
实验八	钨的逸出功的测量	49
实验九	真空的获得与测量	56
实验十	声光衍射	63
实验十一	迈克耳孙干涉仪	66
实验十二	多普勒效应	73
实验十三	光学全息照相的基本技术	76
附录I	偶然误差的数学处理简述	83
附录II	用最小二乘法作曲线拟合	89
附录III	常用物理常数	93

实验一 氢原子光谱

十九世纪后期, 光谱学得到很大发展。1853年有人在氢火花中观察到氢红线, 继而从星体光谱中发现了一系列氢原子谱线。1915年伍德 (Wood) 用低压气体放电管通过氢气放电拍摄氢光谱。巴耳末 (J. J. Balmer) 对上述谱线进行归纳, 得到以下关系:

$$\lambda = B \frac{n^2}{n^2 - 4} \quad (1)$$

式中, $B = 3645.7 \text{ \AA}$, $n = 3, 4, 5, \dots$ 等正整数。

由 (1) 式算得的波长 λ 值与实验测得的 H_α 、 H_β 、 H_γ 、 H_δ 等谱线的波长值一致; 当 $n \rightarrow \infty$ 时, $\lambda \rightarrow B$, 二相邻谱线的波长差趋近于零。(1) 式称为巴耳末公式。符合巴耳末公式的一组氢原子光谱线, 称为巴耳末系。

巴耳末公式还可以用波数表示:

$$\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (2)$$

式中 $R = 4/B$, 称为里德伯 (Rydberg) 常数。巴耳末还预言将上式 2^2 换成其它整数平方后, 可以得到氢原子光谱的其它线系。实验证明了巴耳末的预言。这样所得的关系式为:

$$\tilde{\nu} = R_H \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (3)$$

$m = 1, 2, 3, \dots$; $n = 2, 3, 4, \dots$ ($m < n$)。

$m = 1, n \geq 2$, 为赖曼 (Lyman) 系;

$m = 3, n \geq 4$, 为珀那 (Paschen) 系;

$m = 4, n \geq 5$, 为布拉开 (Brackett) 系;

$m = 5, n \geq 6$, 为普芳德 (Pfund) 系。

通过实验及实验所总结的经验公式, 可以看出氢原子光谱具有以下特点:

- (1) 光谱是线状的, 有确定的波长值, 而且谱线的波长值是分立的;
- (2) 谱线之间有一定的关系, 构成谱线系, 可以用公式表示它们的波长;
- (3) 每条谱线的波长可以表达为两项之差。

上述特点所表示的氢原子的规律性无法用古典理论解释。根据卢瑟福 (Rutherford) 的原子模型, 电子在原子中绕核运动。这种加速运动的电子不断辐射能量。辐射频率等于电子绕核转动频率。原子能量因此要逐渐减少, 轨道半径逐渐变小, 辐射频率也要逐渐改变, 因此原子所发射的光谱应该是连续的。同时电子逐渐接近原子核, 最终落在核上。这些推论都与实验事实不符。这些矛盾使古典理论遭到一次严重危机。

为解决这一困难, 玻尔 (Bohr) 于1913年提出自己的氢原子理论。他以卢瑟福模型为基础, 应用库仑定律和牛顿定律, 并且将普朗克 (Planck) 量子论用于原子系统, 使

氢原子光谱规律得到初步解释。玻尔理论得到的原子总能量

$$E_n = -\frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 n^2 h^2} \quad n=1, 2, 3, 4, \dots \quad (4)$$

在(4)式中, m 为电子质量; e 为电子电量; ε_0 为真空介电常数; h 为普朗克常数。 E_n 有分立的确切值, 这就是说, 玻尔认为原子处于一些分立的稳定状态; 原子从一个稳定状态跃迁到另一个稳定状态时, 能够发射或吸收单色光。发射光的频率为

$$\nu_{kn} = \frac{E_n - E_k}{h} = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^3} \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (5)$$

令
$$R = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^3 c} \quad (6)$$

则波数
$$\tilde{\nu}_{kn} = \frac{\nu_{kn}}{c} = R \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (7)$$

(7)式形式上与巴耳末公式一致。将(6)式中 $c = 2.997925 \times 10^8$ 米/秒及其它有关物理常数代入, 算得 $R = 1.0973731 \times 10^7$ 米⁻¹。这与实验测得的里德伯常数符合得很好 (R 的实验值为 1.0967758×10^7 米⁻¹)。这样, 玻尔理论就成功地解释了氢原子光谱。但玻尔理论也有严重的缺陷, 它以古典理论为基础, 却又引入了与古典理论相抵触的假设; 它只解释了谱线的频率, 却无法解释谱线的强度、宽度等一系列问题。玻尔理论的成功与不足都给人们以很大的启发。它促成薛定谔 (Schrödinger)、海森伯 (Heisenberg) 等人于1926年建立起描述微观粒子规律的完整理论体系——量子力学。

玻尔理论给出的里德伯常数表达式(6)在推导中认为原子核静止不动, 只是电子绕核转动, 这就意味着把核的质量看成是无穷大的。而实际情况是原子核与电子都围绕公共质心运动。所以公式(6)应表达核质量无穷大的里德伯常数, 记作

$$R_\infty = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^3 c} \quad (8)$$

将式中 m 换成折合质量 $\mu = \frac{mM}{m+M}$, 则得到实际原子的里德伯常数表达式

$$R_A = \frac{\mu e^4}{8\varepsilon_0^2 h^3 c} \left/ \left(1 + \frac{m}{M} \right) \right. = R_\infty \left/ 1 + \frac{m}{M} \right. \quad (9)$$

(9)式适用于各种原子。由于 M 值不同, 不同原子的 R_A 值不同。测得氢原子的 R_A 值后, 可由(9)式确定 R_∞ 值。由 R_∞ 值又可反过来确定其它原子的 R_A 值。

近年来, 高分辨激光光谱技术大大提高了谱线波长的测量精确度, 从而使里德伯常数的测量精确度也显著提高。由氢原子光谱测得里德伯常数的最新结果为 $R_\infty = 109737.31476 \pm 0.00032 \text{ cm}^{-1}$ 。目前公认值 $R_\infty = 109737.3177 \text{ cm}^{-1}$ 。

【实验目的】

1. 学习光谱实验技术: 用摄谱仪摄谱; 用铁谱比较法(内插法)测量谱线波长。
2. 了解光谱实验与物理学发展关系的历史; 验证巴耳末公式; 用巴耳末公式测定氢原子的里德伯常数。

【实验原理】

1. 摄谱: 用摄谱仪摄谱是最基本的光谱记录方式。摄谱仪按分光方式可分为棱镜摄谱

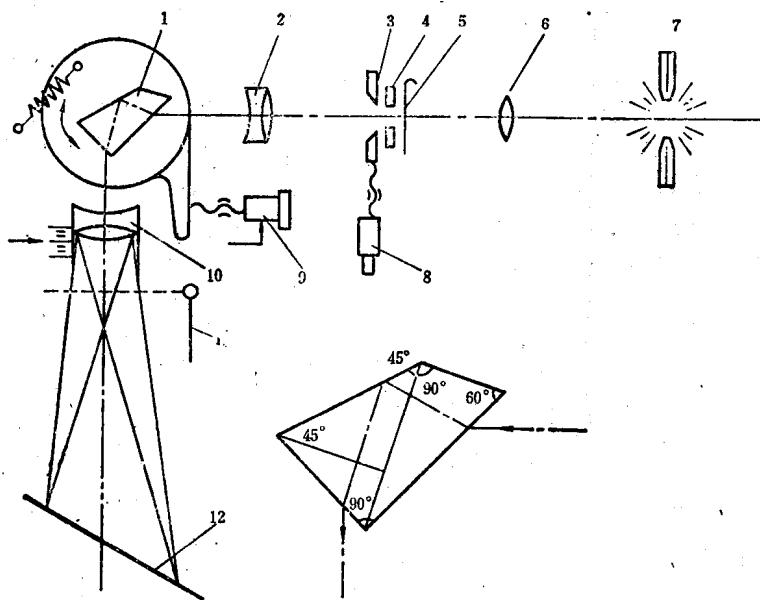


图 1-1 小型摄谱仪光路图

1—分光棱镜；2—平行光管透镜；3—狭缝；4—哈特曼光阑；5—挡板；6—聚光镜；7—光源；8—狭缝宽度调节鼓轮；9—棱镜位置调节鼓轮；10—透镜；11—曝光开关；12—底板

仪及光栅摄谱仪两种。本实验选用小型棱镜摄谱仪，其光路及基本结构如图1-1所示。

原子（或分子）发射的辐射光经透镜6聚焦到摄谱仪的狭缝上并射入狭缝。进入狭缝的光经平行光管变为平行光，然后经棱镜分光，以不同角度从棱镜中射出单色平行光。它们经透镜10会聚到底板12的不同位置上，形成一条条按波长排列的谱线。对于摄谱仪这一光学系统，每条谱线都是狭缝在底板上呈的象。因此为了得到清晰、细锐的谱线，应该在摄谱时选择适当的狭缝宽度。

摄谱仪调整好以后，影响摄谱质量的主要因素是曝光量。曝光时间的选择与光源情况、聚光情况及底片性质等因素有关。具体参数由实验确定（参看实验室提供的数据）。

为得到样品的发射光谱，首先应使样品气化，然后使呈气态的原子激发。激发方式很多，如热激发、共振吸收激发及外加电场引起的碰撞激发等等。经常使用电弧发生器作为摄谱光源。本实验采用的低压交流电弧发生器的电极之间加220伏的交流电压为电弧提供能量；同时还加有高频高电压，其作用是使电极间空气击穿以引燃电弧。在电弧区，气化的样品原子具有很高的热运动速度。这样一来，原子之间就会发生非弹性碰撞，使某些原子吸收其它原子的动能由基态跃迁到激发态。

对气体原子的激发采用放电管。将玻璃管抽真空后充入样品气体。在玻璃管两端装有电极。当二电极间加上几千伏的高电压后，管内气体放电。气体原子或离子在导电的过程中受到碰撞，从而被激发。本实验采用的氢放电管如图1-2所示。

3. 用铁谱比较法测量未知谱线波长

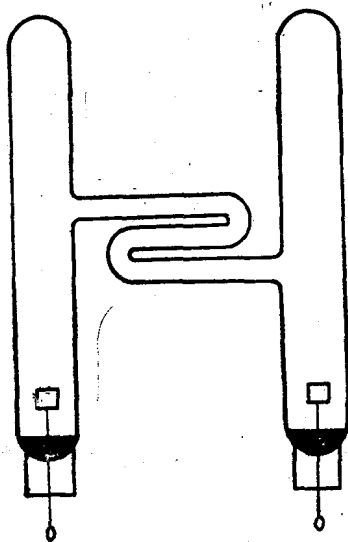


图 1-2 氢放电管

铁谱在 $4000\text{\AA} \sim 6600\text{\AA}$ 波长范围内有4600多条谱线，这些谱线的波长已经由光谱工作者精确地测定，铁光谱经过放大印成谱图，称为铁谱图。铁谱图上标有每条铁谱线的波长。

将铁谱与氢原子光谱并列拍摄在同一底板上，铁谱线的波长可对照铁谱图查出，让未知波长的氢原子谱线与其邻近铁谱线比较，就可以用铁谱作为“尺子”量出未知谱线的波长。

氢原子谱线与铁谱一般不会完全对齐，二者间距所相应的波长差可由线性内插法确定。当二谱线间距很小时（波长差很小），可以忽略棱镜线色散率随波长的变化，认为底板上谱线间的距离与其间的波长差成正比。因此位于波长为 λ_1 与 λ_2 的两条铁谱线之间的氢谱的波长 λ_x 可由下式计算：

$$\lambda_x = \lambda_1 + \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{d} x \quad (10)$$

(10)式中 d 为谱板上波长为 λ_1 与 λ_2 的两条已知铁谱线间距， x 为未知氢谱线与 λ_1 铁谱线间距，见图1-3。

为了将铁谱与样品谱并列拍摄，需要使用哈特曼光阑。哈特曼光阑由三个方孔组成，如图1-4所示。左右移动光阑，可以使三个孔与狭缝不同部位对正，从而实现两种谱的并列拍摄。

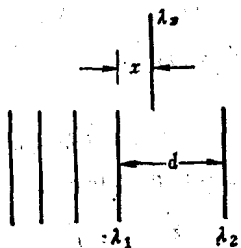


图 1-3 未知谱线波长的测定

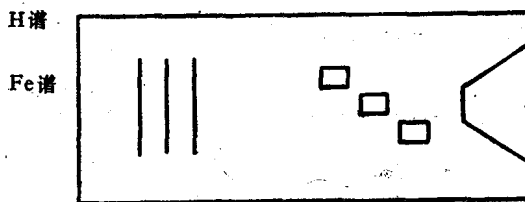


图 1-4 哈特曼光阑

【实验内容】

1. 摄谱：用哈特曼光阑并列拍摄氢原子光谱及铁光谱，为使氢谱的弱线拍得清晰，而强线又不至于过粗，应选用不同曝光时间拍摄两组（每组都包括铁谱）。

2. 冲洗底板（显影、定影、冲洗、吹干）。

3. 观测光谱：用映谱仪观察你所拍摄的光谱。首先熟悉映谱仪及比长仪的结构及应用方法，然后完成以下任务：①识别铁谱：从长波端开始将铁谱图逐张与你所拍摄的底板上

的铁谱对照，记下每张铁谱图对应的谱板位置。②观察氢光谱。在映谱仪上用卡尺粗测、粗略估算每条氢光谱的波长。③用比长仪精确测定一条氢谱线的波长，要求测量5次以上，并计算误差。

4. 数据处理：

(1) 从粗测氢谱线的波长，求出其倒数。寻求合适的 n 值，使 $1/\lambda$ 和 $1/n^2$ 尽可能呈线性关系（由巴耳末公式(2)）。验证所选的各个 n 是否为3、4、5等连续整数并看一下实验曲线 $1/\lambda-1/n^2$ 与线性关系的吻合程度。注意：由于波长 λ 值可以测得很精确，其它的计算及画图都必须有相应的精确度。计算可用计算器或计算机进行。

(2) 用精确的波长测量值测间距用比长仪)及其对应的 n 值代入公式(2)，求出氢原子的里德伯常数 R_H ①。由 λ 的测量误差计算 R_H 的测量误差。与公认的 R_H 测量值比较。

【实验技术】

(a) 为使实验顺利进行，你应该参照实验室提供的数据资料制定一个摄谱操作程序，内容应包括：①狭缝宽度；②哈特曼光阑孔号（哈特曼光阑见图1-4）；③曝光时间；④电弧电流等。

(b) 检查一下摄谱仪的状况，如暗盒的倾斜位置，聚焦透镜的位置等是否合乎规定。如有错动请老师帮助恢复。熟悉摄谱仪各部分的性能及操作技术。譬如电极的安装与调整，狭缝的调节，暗盒的装卸等。在此基础上作一次摄谱预演（不装底板）。预演中检查：①曝光时间控制得是否准确？②光源是否准确聚焦到狭缝上？③电弧电流是否稳定？

(c) 制定摄谱程序时应该注意用改变哈特曼光阑孔的方式而不用板移来拍摄对照的氢谱和铁谱，想一下这样做的必要性；在拍摄一组对照光谱的过程中，暗盒如果发生错动，会产生什么结果？怎样处置。

(d) 装卸底板应在暗室中进行。在此之前应在明处用照过的底板作装卸练习。学会在暗室中判别底板的乳胶面；想一下，乳胶面应朝向哪一边？如果装反了会产生什么结果？

(e) 冲洗底板，用与底板配合的指定显影液与定影液、严格控制显影液温度与显影时间。此外还应注意乳胶面朝上放在显影盆中，以免损伤乳胶面。

(f) 用映谱仪看谱时，谱板乳胶面朝上。比长仪的结构及使用见附录。

【附录】比长仪

比长仪是一种精度较高的测长仪器（见图1-5）。它有两个显微镜、左边是看谱显微镜，右边是读数显微镜。显微镜下的载物台，可以手推粗动，也可以转动微动轮而微动（此时要旋紧制动螺丝）。主标尺（每格1毫米）固定在置片台右侧，可随载物台左右移动。副标尺分10格，每格0.1毫米，固定在读数显微镜上，不随载物台移动。

① 实验是在空气中进行的，因此 λ 的测量值是氢原子谱线在空气中的波长。严格地讲，在计算 R_H 时，应取真空中的波长。否则将产生一系统误差。由空气折射率($n=1.00029$)可以推算出此系统误差值约为0.03%。

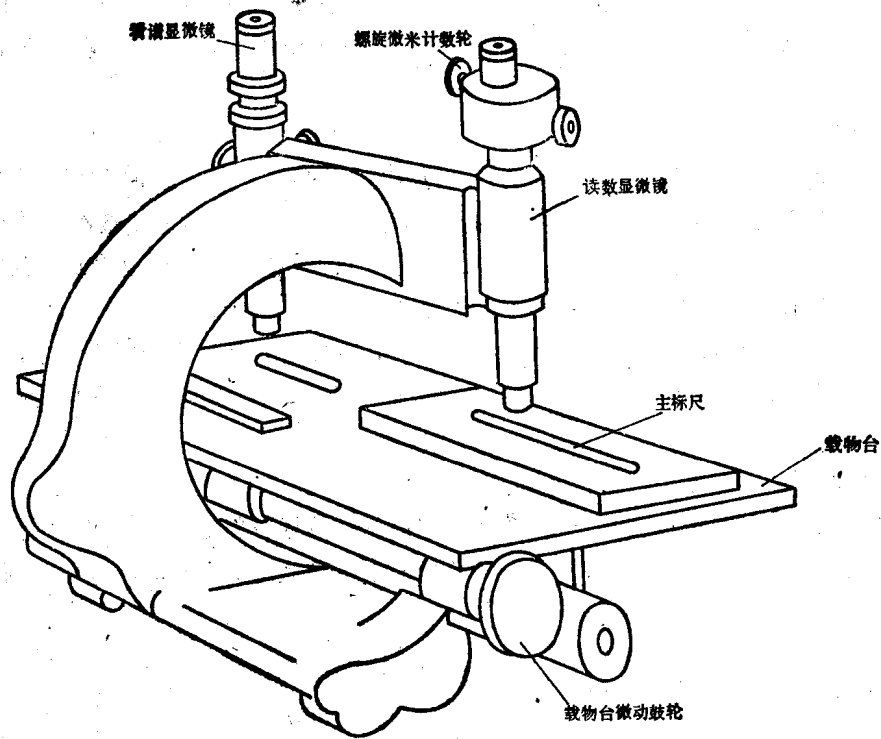


图 1-5 比长仪的外形图

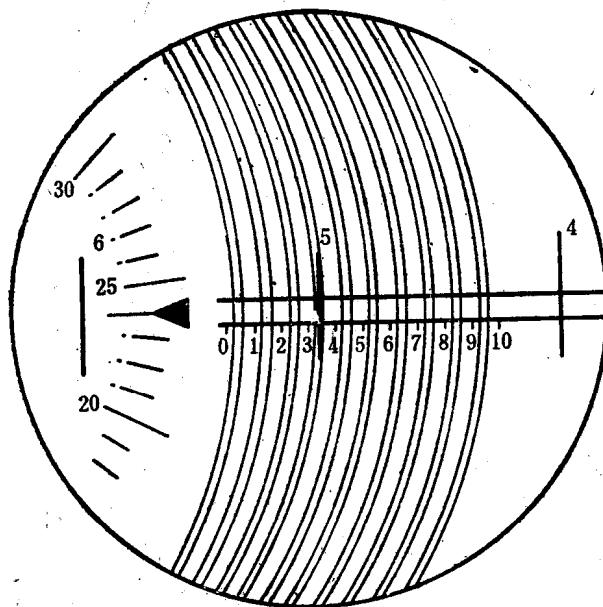


图 1-6 比长仪读数显微镜的视场

当主标尺与副标尺的零线对齐时，载物台与读数显微镜的相对位置为零位置。因此，进行测量时，主副二标尺的零刻度线间的距离表示载物台相对于零位置移动的距离。此距离的读数由主标尺、副标尺及螺旋微米尺给出。

螺旋微米尺装在读数显微镜上，其读数部分为十组螺旋双线及一圆形刻度尺。可在读数显微镜的视场里看到（见图1-6）。当转动螺旋微米尺的鼓轮时，从视场中可看到，圆形尺相对于副标尺端部的箭头转动，与此同时，螺旋双线相对于标尺刻度移动。可以将螺旋线转至与副标尺的刻度一一对齐。此时副标尺的每条刻线一一夹在十组双线之间；副标尺左端的箭头恰指圆形尺的零位置。螺旋双线相对于副标尺移一小格（0.1mm）时，圆形尺恰好转一圈（100个分度），因此圆形尺的最小刻度为1微米。

使用比长仪测谱线间距时，将谱板放在载物台左侧，移动台子，使看谱显微镜的叉丝与所测的某条谱线对齐，固定载物台，由读数显微镜读出此位置的读数。读数方法可参照图1-6说明。图中主副尺零刻度距离在5.3mm与5.4mm之间。多于5.3mm的部分由螺旋微米尺读出。读出方法如下：转动微米尺鼓轮，使螺旋双线与主尺刻线5对齐，此时圆形尺的读数24.0即为所需读数。置片台此位置的读数5.3240mm可视为所测谱线坐标值。

实验二 弗兰克-赫兹实验

玻尔发表原子模型理论后的第二年（1914年），弗兰克（J·Franck）和赫兹（G·Hertz）用慢电子碰撞稀薄气体原子的方法，把原子从低能态激发到高能态。他们对电子与原子碰撞能量交换规律的研究，直接证明了原子内部能量的量子化。后来他们又在同样的实验中测得被慢电子激发的原子返回基态时辐射的光频率，发现这种辐射服从玻尔假设的频率定则。因此，弗兰克-赫兹实验就成为玻尔理论的一个重要实验依据。他们的这项工作获得了1925年度的诺贝尔物理学奖金。

【实验目的】

测定汞原子的第一激发电位，证明原子能级的存在。

【实验原理】

量子理论认为原子处于一系列不连续的能量状态。这些状态具有分立的确定的能量值，称为定态。原子从一个定态向另一个定态的过渡称为跃迁。跃迁伴随着电磁波的辐射或吸收。电磁波的频率 ν 可由发生跃迁的二定态能量 E_m 、 E_n 确定，它们之间的关系为

$$h\nu = E_m - E_n \quad (1)$$

式中 h 为普朗克常数。

原子在正常情况下处于基态（低能态）。当原子吸收电磁波或受到其它具有足够能量的粒子碰撞时，可由基态跃迁到能量较高的激发态。从基态跃迁到第一激发态所需的能量为临界能量。本实验用电场加速电子，并使运动的电子与汞原子发生碰撞。当碰撞前电子的能量小于汞原子激发的临界能量时，碰撞后电子不损失能量。这种碰撞可视为二质量相差悬殊的物体间发生的弹性碰撞。如果碰撞前电子的动能大于汞原子激发的临界能量，通

过碰撞它可以把数量的 $\Delta E = E_2 - E_1$ 的能量交给汞原子，本身只保留剩余部分。这种碰撞可视为非弹性碰撞。设电子被加速前初动能为零，被加速到汞原子的临界能量所需外加电压 U_0 ，称为汞原子的第一激发电位，如果以 e 表示电子电荷则 $eU_0 = E_2 - E_1$ 。

实验中，电子与原子的碰撞在密封的玻璃管中进行。管子密封前抽真空后充汞，管中装阴极、栅极及阳极。这种实验用的真空管称为弗兰克-赫兹管。

实验基本装置如图2-1所示。弗兰克-赫兹管放在控温加热炉中。实验温度在 $120^\circ\text{C} \sim 200^\circ\text{C}$ 内取值。在实验温度下，管中汞由液态变为气态。在热阴极 K 与栅极 G 之间加电压 U_{GK} 。在电场作用下，从阴极 K 发出的电子，在 KG 空间向栅极加速运动。在 G 与板极 A 之间加一较小的反向电压 U_{AG} ，此电压使电子受到阻力。通常称此电压为拒斥电压。弗兰克-赫兹管内极间电位分布见图2-2。当电子由 KG 空间进入 GA 空间时，如果电子的动能足够大，电子就能冲过拒斥电场达到 A ，形成阳极电流。如果电子在 KG 空间与汞原子发生了碰撞，并把自己的一部分能量交给汞原子，电子所剩余的动能就可能很少。这类电子就不能越过拒斥电场区 GA ，达不到阳极 A ，不能形成阳极电流。如果这类参与了原子激发的电子很多，微电流计中的电流将显著地下降。

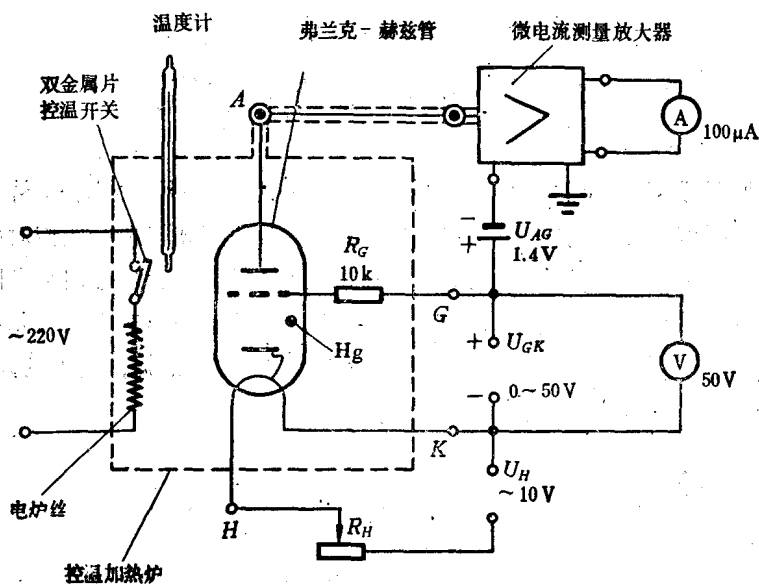


图 2-1 弗兰克-赫兹实验装置

逐渐增加栅极电压 U_{GK} ，观测阳极电流 I_A 随 U_{GK} 的变化。可以给出 $I_A \sim U_{GK}$ 曲线如图2-3所示。

从图2-3曲线可以找出以下规律：

- (1) 电流不是单调地上升。曲线中间出现多次凹陷。有若干极大值与极小值。
- (2) 相邻的二极大值或极小值对应的 U_{GK} 之差都是4.9伏，只有第一峰值点电位不是4.9伏。这可以解释成仪器接触电位差的存在，使整个曲线发生平移。以上规律可解释如下：

a. 当 $U_{GK} < 4.9$ 伏时，电子的能量随 U_{GK} 的增大而增大，但是大部分电子不具有使汞

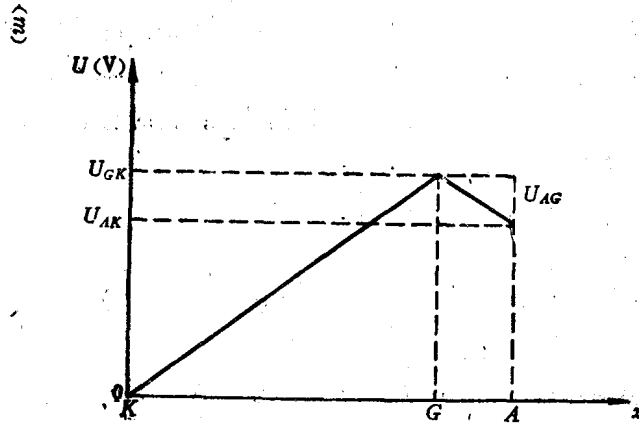


图 2-2 弗兰克-赫兹管内极间电位分布

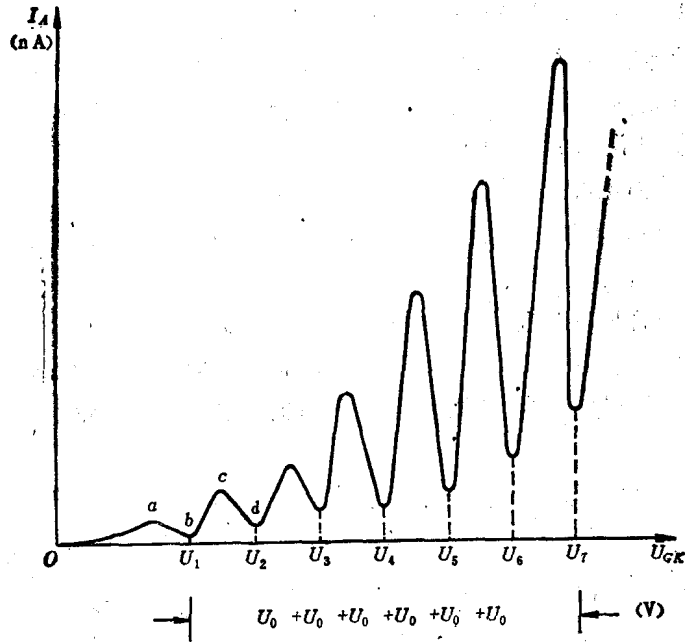


图 2-3 弗兰克-赫兹曲线

原子激发的动能，只能与汞原子发生弹性碰撞、碰撞后电子能量损失很小。如果注意到电子初速度的统计分布，可以解释板极电流 I_A 随 U_{GK} 的增加而单调的上升。当 U_{GK} 达到4.9伏时，那些在栅极附近与汞原子发生碰撞的电子，由于其能量已经大于或等于 eU_0 ，能将汞原子从基态激发到第一激发态。碰撞使电子动能大部分损失掉。这样的电子将没有能力越过拒斥电场达到阳极。 I_A 将显著下降。

b. 如果 U_{GK} 继续增加到大于4.9伏时，电子在没到达栅极之前就可能有足够的能量与汞原子发生非弹性碰撞。碰撞后电子还可以继续被 U_{GK} 加速。这样一来，到达栅极时，电子重新又积累起穿过拒斥电场的能量。这就解释了bc段 I_A 的上升趋势。当 $U_{GK}=2 \times 4.9$ 伏时，很多电子在KG空间可能与汞原子发生第二次非弹性碰撞，从而再度失去穿越拒斥电

场的能力。于是 I_A 再度下降，曲线出现第二个凹陷。以此类推，可以解释曲线其它极值的产生。从以上解释中自然地得出结论：汞原子的第一激发电位值为4.9伏。

处于激发态的汞原子经一短暂的时间会自发返回基态，同时有量值等于4.9eV的能量以光波形式辐射出来。光频率由(1)式给出：

$$eU_0 = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$$

波长
$$\lambda = \frac{hc}{eU_0} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^8}{4.9 \times 1.6 \times 10^{-19}} \text{ (m)}$$

$$= 2.5 \times 10^8 \text{ (Å)}$$

实验测量从弗兰克-赫兹管中辐射出的一光波波长为2537Å。与弗兰克-赫兹实验的测算结果相符。

实验时，需使弗兰克-赫兹管维持一定温度。由于管内装有足够的液态汞，温度一定时，饱和态的汞蒸气有确定的密度。因此电子与汞原子的碰撞有较确定的几率。这样可以测得稳定的弗兰克-赫兹曲线。但是实验温度不能太低，否则汞蒸气密度太小。电子与汞原子碰撞的平均自由程太大；在 U_{0K} 较高时，两次碰撞之间积累的能量可能将汞原子电离。这时 I_A 突然急剧增大，这就可能损坏仪器。

弗兰克-赫兹管内也可充入其它元素。这样，用同样的实验装置，可测得其它元素的第一激发电位。如果充入氩、氦等气体，可以在常温下作弗兰克-赫兹实验，并测得氩、氦原子的第一激发电位。

将弗兰克-赫兹管加以改进，可测得汞原子高激发态的电位。

由弗兰克-赫兹实验可以看到，原子激发到不同状态时，吸收一定数值的能量，这些数值是不连续的。足见原子的内部能量是量子化的，也就是说确实证实了原子能级的存在。

【实验装置】

整套实验装置见图2-4，其主要部件为：

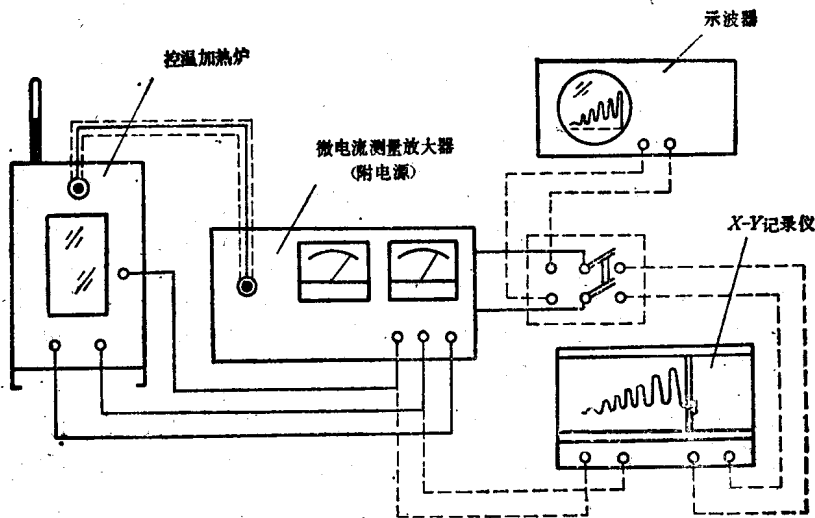


图 2-4 弗兰克-赫兹实验接线图

1. 弗兰克-赫兹管;
2. 控温加热炉;
3. 微电流测量放大器;
4. 弗兰克-赫兹管电源;
5. 示波器 (超低频);
6. X-Y记录仪。

有的厂家把3、4两部分作成是一个仪器 (见图2-5)。

微电流测量放大器的功能是将阳极电流放大, 然后由直流电流表显示读数。放大器的放大倍数可调节。弗兰克-赫兹管电源提供管子的灯丝电压 U_H 、栅极电压 U_{GK} 、拒斥电压 U_{AK} , 三者的大小均可调节。 U_{GK} 的调节有两种形式: ①由电位器手动调节; ②由锯齿波电压自动调节。自动调节部分用于示波器显示或X-Y记录仪描绘弗兰克-赫兹曲线。

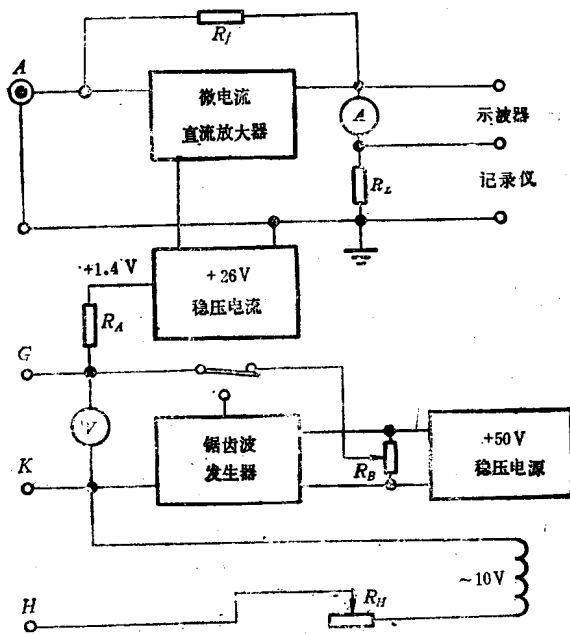


图 2-5 微电流测量放大器框图

【实验内容】

1. 测量汞原子的第一激发电位 U_1 。
用手动档调节栅压 U_{GK} 。先进行一次粗略和全面的观察, 然后使 U_{GK} 从零开始逐渐增加, 逐点测试对应不同电压的电流。要特别注意与电流峰值 (和谷值) 对应的电压。
2. 用示波器或X-Y记录仪进行曲线的观察和描绘。
3. 改变炉温和灯丝电压进行重复测量和观察。
4. 数据处理要求:
 - ①利用所测数据画出一条弗兰克-赫兹曲线。
 - ②利用测得的对应电流峰值 (或谷值) 的各电压值, 用最小二乘法原理, 求汞的第

一激发电位 U_0 及接触电位差 U_c 。

提示：关于最小二乘法原理，参见本书附录II。令 $U_c=b_0$ ，各电流峰值（谷值）点的 U_{GK} 为 y ， $U_0=b_1$ ，而各点的序号为 x 。则

$$y=b_0+b_1x$$

由附录II之公式（12）、（13）及（20），可分别算出 U_0 、 U_c 以及回归系数 γ 。利用 γ 值可以验证线性关系

$$U_{GK}=U_c+U_0x$$

是否成立。

5. 利用实验结果讨论选用不同炉温对弗兰克-赫兹曲线形状的影响，并给予解释。

【预习思考问题】

1. 未达到最底实验温度之前就给管子灯丝加电压并加上较高的栅压，将会造成什么问题？
2. 实验温度的高低对弗兰克-赫兹曲线形状会有什么影响？
3. 如果在实验过程中，发现管内呈现较强的辉光，同时电流急剧增加，这是出现了什么问题？这时应如何操作？

【实验技术与注意事项】

1. 连接测试仪与管子间的连线时，注意A、G、H、K必须一一对应，不可混接或短路。
2. 使用测试仪时，应先调好“零点”和“满度”（见仪器说明书）测量过程中，注意根据情况随时调整放大器的放大倍率。
3. 由于有热惯性的影响，调整炉温后，需过一会，炉温稳定后才能测量；由于同一原因，在改变灯丝电压后，也需等一、二分钟，待灯丝电流稳定后，才能测量。
4. 炉温过低时，不可加灯丝电压和栅压。
5. 灯丝温度的选取，以充分利用放大器的功能后能满足测量要求为准，可适当把灯丝电压选得低些（一般在6.3伏左右）。
6. 加热炉外壳温度很高，小心避免灼伤。

【参考文献】

- 【1】褚圣麟 《原子物理学》，人民教育出版社，2.5，42（1979）

实验三 电子电荷的测量(密立根油滴法)

电子是人类认识的第一个基本粒子。作为这一认识过程的先驱者，首先应该提到J.J 汤姆孙（J.J. Thomson）。他在1897年测定了阴极射线的电荷与质量比 e/m （电子的荷质比），从而以无可辩驳的实验事实证明了电子的存在。接着，美国杰出的物理学家密立根（R.A. Millikan）在前人工作的基础上，经过多年努力终于成功地采用油滴法精确测定了电子的电量（1911年），并且令人信服地揭示了电结构的量子本性。