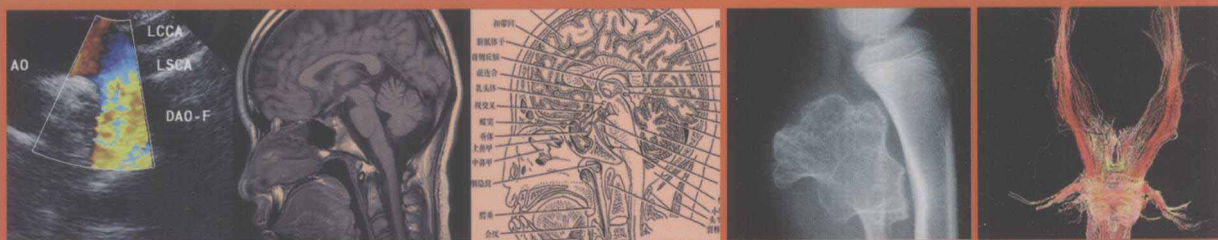


全国高等学校配套教材
供医学影像学专业用


医学影像物理学

实验

第 3 版



主编 仇惠吉 强

 人民卫生出版社
PEOPLE'S MEDICAL PUBLISHING HOUSE

普通高等教育“十三五”规划教材
医学影像学系列教材

医学影像物理学

实验

第 2 版



主 编 王 强

副 编 王 强 王 强

人民卫生出版社
北京

全国高等学校配套教材
供医学影像学专业用

医学影像物理学

实 验

第 3 版

主 编 仇惠 吉强

编 者 (以姓氏笔画为序)

丁晓东 (大连医科大学)	邬志韧 (昆明医学院)
王亚平 (辽宁医学院)	李绍新 (广东医学院)
仇 惠 (牡丹江医学院)	吴小玲 (南京医科大学)
甘 平 (重庆医科大学)	侯淑莲 (华北煤炭医学院)
吉 强 (天津医科大学)	贺奇才 (中山大学)
刘东华 (新乡医学院)	温 良 (中国医科大学)
刘迎九 (北华大学)	谢晋东 (泰山医学院)

人民卫生出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

医学影像物理学实验/仇惠等主编. —3 版. —北京:
人民卫生出版社, 2011. 2

ISBN 978 - 7 - 117 - 13966 - 3

I. ①医… II. ①仇… III. ①影像诊断 - 医用物理学 -
实验 - 医学院校 - 教材 IV. ①R445 - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 260177 号

门户网: www.pmph.com	出版物查询、网上书店
卫人网: www.ipmph.com	护士、医师、药师、中医 师、卫生资格考试培训

版权所有, 侵权必究!

医学影像物理学实验 第 3 版

主 编: 仇惠 吉强

出版发行: 人民卫生出版社 (中继线 010 - 59780011)

地 址: 北京市朝阳区潘家园南里 19 号

邮 编: 100021

E - mail: pmph@pmph.com

购书热线: 010 - 67605754 010 - 65264830

010 - 59787586 010 - 59787592

印 刷: 北京人卫印刷厂

经 销: 新华书店

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 9

字 数: 213 千字

版 次: 2002 年 11 月第 1 版 2011 年 2 月第 3 版第 4 次印刷

标准书号: ISBN 978 - 7 - 117 - 13966 - 3/R · 13967

定 价: 21.00 元

打击盗版举报电话: 010 - 59787491 E-mail: WQ@pmph.com

(凡属印装质量问题请与本社销售中心联系退换)

第3版前言

原《医学影像物理学实验》教材第1版和第2版经过近十年的使用得到了全国各院校的肯定,并取得了很好的社会效益。从这一版开始该实验教材正式成为教育部、卫生部“十一五”国家级规划教材《医学影像物理学》的配套教材。

经过多年的教学实践和改革,新一届编委会对《医学影像物理学实验》教材建设有了新的构思和设想,主要从以下三个方面进行了尝试:首先,统一和规范了医学影像物理学实验项目,全书实验编排顺序力争与第3版主干教材一致。新版实验内容涵盖了医学影像所涉及的各种传播规律和效应,实验项目的设计分为X射线影像、磁共振成像、核医学影像、超声成像、红外线成像及辐射防护等几大部分。第二,在实验设计过程中注意实验内容和第3版主干教材讲授内容的有机结合,使其更加适合与第3版主干教材配套使用。在内容编写上遵循深入浅出,实验难易度适当,注意让学生在实验中加深对医学影像物理学原理的理解,既能保证学生动手能力的培养,又可为学生从实验原理上进行深入探索,自我设计新实验;同时也注重让学生掌握基本实验技能及方法,培养学生对实验仪器及实验结果的分析能力。第三,为了适应医学影像学科的高速发展,扩展现代实验技术手段,开拓设计性实验,新版实验增加了超声CT、多维磁共振成像和模拟CT成像等现代医学影像物理学实验,充分体现了新版实验教材的先进性。

前两届编委会在中国医科大学张泽宝教授(主审)和北华大学胡继光等教授的大力支持下进行了开创性的工作,建立了这本书的框架和基本内容,为我国医学影像物理学的学科建设和发展做出了巨大的贡献。新一届编委会对前两届编委会卓有成效的工作表示最诚挚的敬意。

《医学影像物理学实验》第3版的编委来自全国各个省市的不同院校,代表各种不同院校对教材内容的需求情况,从而使编写出来的教材适用面更加广泛。但我们水平有限,有理解不够深入,考虑不够全面的地方,敬请使用本教材的同行、学者和同学们提出宝贵的意见和建议,以便今后再版修订时有的放矢。

编者

2010年12月

目 录

实验一	电子束的聚焦与偏转	1
实验二	光电效应及普朗克常数测定	8
实验三	医学数码摄影	14
实验四	X射线半价层的测定	20
实验五	模拟 CT	24
实验六	磁共振	28
实验七	用脉冲磁共振法测量弛豫时间常数	32
实验八	梯度磁场的调节与测量	41
实验九	周期电信号的傅立叶分析	45
实验十	磁共振成像	50
实验十一	三维磁共振成像	57
实验十二	四维磁共振成像	66
实验十三	磁共振化学位移伪影	73
实验十四	原子核衰变的统计规律	81
实验十五	放射性测量	87
实验十六	放射性表面污染的测定	92
实验十七	超声声速与声阻抗的测定	94
实验十八	A型超声回波强度影响因素的观察	101
实验十九	A型超声波诊断仪的基本原理及其应用	104
实验二十	A型超声波诊断仪观测脑中线	110
实验二十一	单源换能器辐射声场特性的研究及伪像识别	113
实验二十二	B型超声显像仪的原理及使用	119
实验二十三	透射式超声 CT	123
实验二十四	B超伪像观察	129
实验二十五	红外热像仪的成像原理及图像分析	133
实验二十六	X射线辐射量的测量	138

实验一

电子束的聚焦与偏转

目的

1. 了解电子束聚焦与偏转的原理。
2. 观察电子束在电场和磁场中的聚焦现象。
3. 学会测量电子束在电场和磁场中的偏转位移。
4. 理解各种成像设备中显像管的基本原理。

器材

电子和场实验仪、万用表、数字万用表、直流稳压电源。

原理

各种成像设备中的示波管、显示器、电视显像管、摄像管等的外形和功用虽然各不相同,但它们都有一个共同点,即利用了电子束的聚焦和偏转使电子束在荧光屏上清晰地成像。电子束的聚焦与偏转可以通过电场和磁场对电子的作用来实现。本实验就是利用示波管研究电子束在电场和磁场中的运动规律。

1. 示波管的结构 如图 1-1 所示,示波管是一个抽成真空的玻璃管,管内部件分为电子枪、偏转板和荧光屏三部分。其中电子枪是示波管的核心部件,它由阴极 K、控制栅极 G、第一阳极 A_1 和第二阳极 A_2 等同轴不同半径的金属圆筒(筒内膜片中心设有小孔)组成。灯丝 H 通电后阴极被加热发射出大量热电子。第一阳极 A_1 的电势比阴极 K 高几百

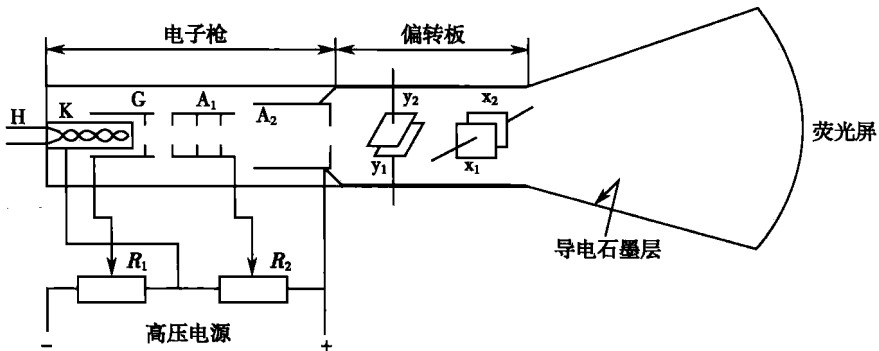


图 1-1 示波管的结构

实验一 电子束的聚焦与偏转

伏;第二阳极 A_2 的电势更高,这样在 $K-A_2$ 之间形成强电场,使阴极发射的热电子被加速,最后打在荧光屏上,发出可见光,显示电子射线的落点。控制栅极 G 加有比阴极低的负电压,用来控制到达荧光屏的电子数,以改变荧光屏上光点的亮度,故称为辉度调节。

2. 电子束在纵向电场中的聚焦(电聚焦) 从电子枪阴极逸出的热电子是沿着不同方向散射的,为了在荧光屏上得到一个细小的光点,用一定形状的电场改变电子的运动方向,把电子会聚成一细束。这种产生聚焦作用的静电场装置叫做电子透镜。电子枪内的第一阳极 A_1 与第二阳极 A_2 就组成了一个电子透镜,如图 1-2 所示。电子透镜聚焦作用的强弱决定于 A_1 与 A_2 之间的电场分布,即决定于 A_1 、 A_2 与阴极 K 之间的电压 U_1 (聚焦电压)、 U_2 (加速电压)的大小。可以证明,当 U_1 、 U_2 满足一定的比例关系时,电子束在荧光屏上会聚成一个直径非常细小的亮点,这个关系通常称为聚焦条件。用 EF-4S 型电子和场实验仪,可以很方便的调整 U_1 、 U_2 , 检验聚焦条件,也可以定性观察聚焦效果与 U_1 、 U_2 的相关性。

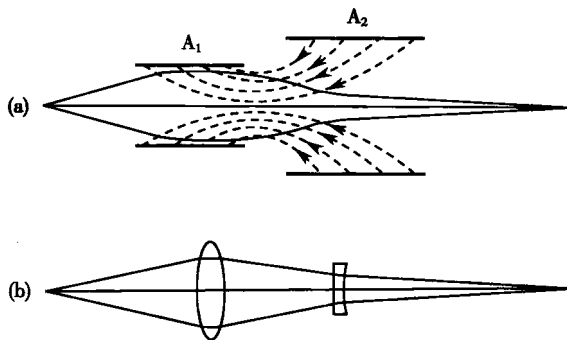


图 1-2 电子透镜(a)与光学透镜(b)的对比

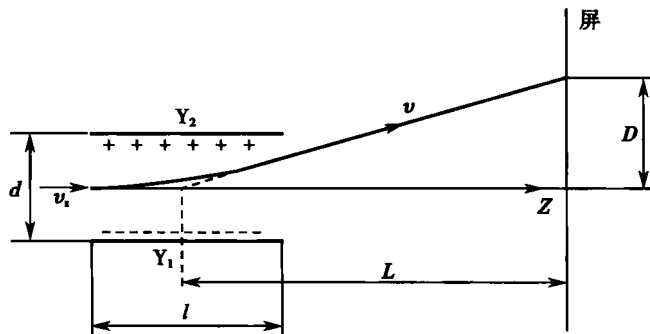


图 1-3 电子束在电场中的偏转(电偏转)

3. 电子束在横向电场中的偏转(电偏转) 当示波管的两块 y 轴(或 x 轴)偏转板加上电压时,通过两板间的电子束将受到电场力的作用而发生横向偏移。如图 1-3 所示,设偏转板长为 l ,两板间距离为 d ,偏转板中心到荧光屏的距离为 L ,加速电压为 U_2 ,偏转电压为 U_1 ,经过加速的电子以速度 v_z 进入偏转电场,受电场力的作用,运动方向发生改变,偏向正极板一侧。电子离开偏转板后,不再受电场力的作用,它将以离开偏转板时的速度

匀速前进,并打到荧光屏上。经理论推导可得

$$D = \frac{LU_d}{2dU_2} \quad (1-1)$$

式(1-1)表明,荧光屏上光点的位移(偏离荧光屏中心点的距离) D 与偏转电压 U_d 的大小成正比。比例系数在数值上等于偏转电压为1V时,屏上光点位移的大小,称为示波管的电偏转灵敏度 S ,即

$$S = \frac{D}{U_d} = \frac{lL}{2dU_2} \quad (1-2)$$

式(1-2)表明,电偏转灵敏度 S 与 l 及 L 成正比,与 d 及 U_2 成反比。其中 l 、 d 、 L 可理解为与偏转板相关的几何量,当它们一定时, S 只随加速电压 U_2 的增大而减小。

4. 电子束在横向磁场中的偏转(磁偏转) 电子束通过磁场时,会受到洛仑兹力的作用而发生偏转。如图1-4所示,设实线方框内有磁感应强度为 B 的均匀磁场,方向垂直纸面向外,方框外 $B=0$ 。当电子以速度 v_z 垂直射入磁场中($v_z \perp B$),受洛仑兹力的作用,在磁场区域内作匀速圆周运动,轨道半径为 R 。电子离开磁场区域后,将做匀速直线运动,该直线偏离 z 方向 φ 角,若偏转角 φ 不很大,则

$$D = \frac{lLeB}{mv_z} \quad (1-3)$$

或

$$D = lLB \sqrt{\frac{e}{2mU_2}} \quad (1-4)$$

式(1-3)中 D 为磁偏转位移,由此可见, D 的大小与磁感应强度 B 有关。如果在示波管的两侧分别插入两个偏转线圈,当电流通过线圈时,将在管颈内部产生横向磁场。所以,通过改变线圈中电流的大小,就可以改变磁感应强度,从而改变电子束在磁场中的偏转位移。

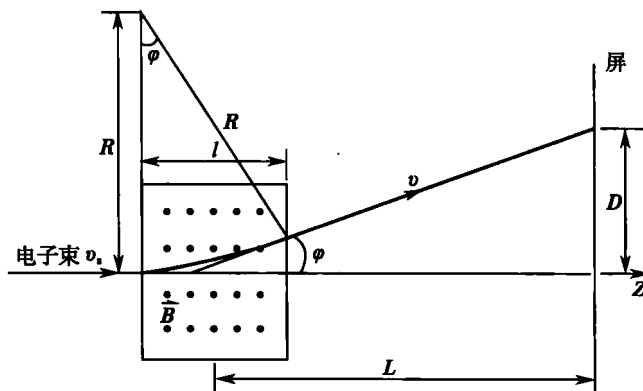


图1-4 电子束在磁场中的偏转(磁偏转)

5. 电子束在纵向磁场中的聚焦(磁聚焦) 设电子以一定速度 v 射入磁感应强度为 B 的均匀磁场中,且 v 与 B 成任意夹角 θ ,如图1-5所示。 v 可分解为 $v_z = v\cos\theta$ 和 $v_r = v\sin\theta$ 两个分量,径向分量 v_r 使电子在与 B 垂直的平面内作匀速圆周运动,轴向分量 v_z

实验一 电子束的聚焦与偏转

使电子沿 B 的方向做匀速直线运动,两个运动的合成使电子的轨迹成为一条螺旋线,其螺距(即电子每旋转一周前进的距离)为 $h = 2\pi m v_z / eB$ 。

若从磁场中某点 A 发射出一束很细的电子,其速率 v 近似相等,且与 B 的夹角 θ 很小,则 $v_z = v \cos \theta \approx v$, $v_r = v \sin \theta \approx v \theta$, 由于速度的径向分量不同,在磁场的作用下,电子将沿着不同的螺旋线前进。但由于它们的速度的轴向分量 v_z 近似相等,经过螺距 $h = 2\pi m v_z / eB = 2\pi m v / eB$ 后又重新会聚在 A' 点,这种现象叫做磁聚焦现象,如图 1-6 所示。实际上,只要电子在 B 方向上运动的距离 L 是螺距 h 的整数倍,都会出现纵向磁聚焦现象。因此,只要逐渐增强磁场,可以观察到电子束在纵向均匀磁场作用下周期性的聚焦与散焦现象。纵向磁场可由套在示波管上的螺线管,通直流电产生。

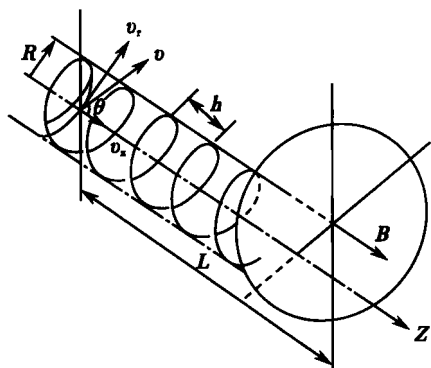


图 1-5 电子的螺旋运动

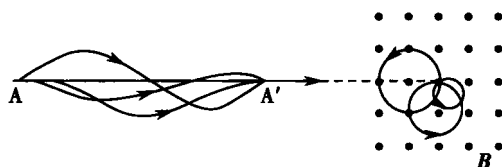


图 1-6 均匀磁场的磁聚焦

内容与步骤

(一) 实验方法 1, EF-4S 型电子和场实验仪

1. 观察纵向电聚焦

(1) 实验仪中示波管灯丝电压、栅极电压已接好。如图 1-7 所示,把连线 1、2、3、4、5 接好。

(2) 闭合灯丝开关,令“加速电压”旋钮处于低端,“栅极电压”和“聚焦电压”旋钮处于适中位置,然后接通电源。

(3) 聚焦选择开关置于“点聚焦”位置,调节“聚焦电压”、“栅极电压”旋钮,使屏上光点最细,亮度适中。

(4) 用万用表 2500V 挡测加速电压 U_2 , 1000V 挡测聚焦电压 U_1 , 50V 挡测栅压。

(5) 改变加速电压 U_2 , 调聚焦电压 U_1 和栅压 U_c , 使荧光屏上光点达最佳聚焦(与上面步骤 3 时状态相同), 测量 U_1 、 U_2 、 U_c 值(至少测 3 组)。分析测量结果, 你可得到什么结论?

2. 测量电偏转位移

(1) 将加速电压调至 1000V。

(2) 光点调零: 用数字万用表直流 200V 挡“-”接 Y_1 、“+”接 Y_2 (如测 x 偏转则将 Y_1 、 Y_2 换成 X_1 、 X_2), 测偏转电压 U_d 。调 U_{dy} (或 U_{dx}) 使 $U_d = 0$, 这时光点应在 y (或 x) 轴的

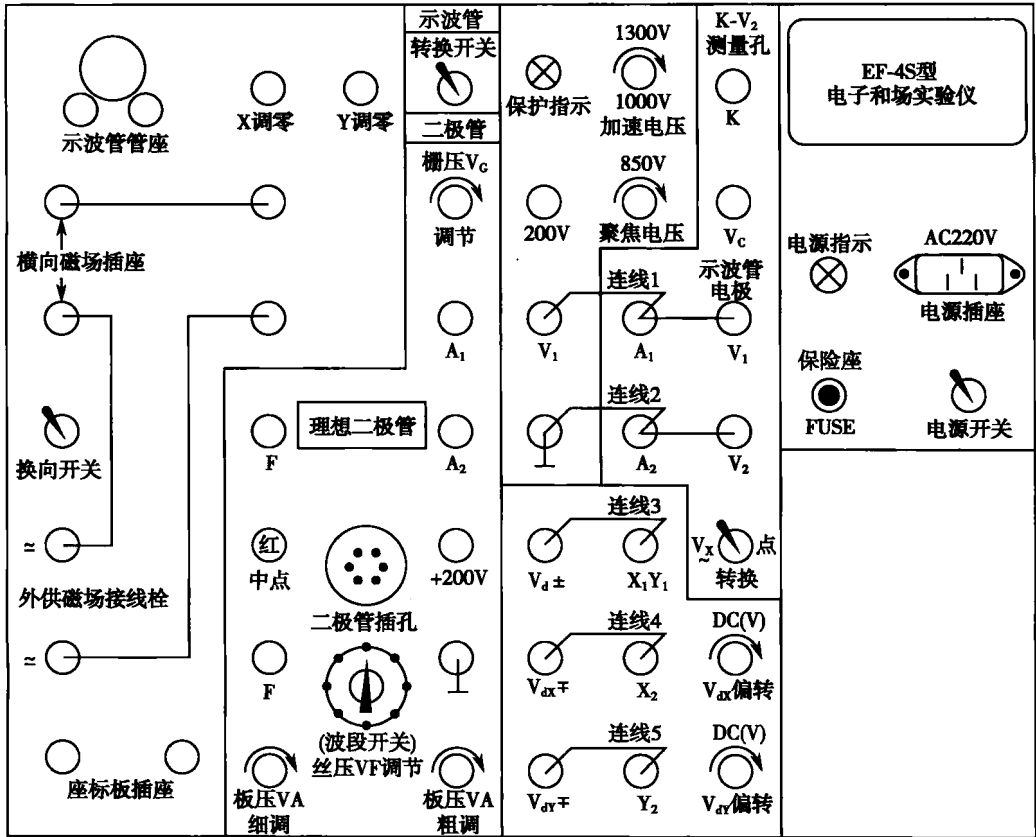


图 1-7 EF-4S 型电子和场实验仪面板图

中心(或一侧),若不在,调“y 调零”(或“x 调零”)旋钮,使光点处在中心(或一侧)。

(3) 调节偏转电压 U_d ,使光点在刻度板上每次移动两小格,测出 U_d 及对应的偏转位移 D (共测 10 组)。

(4) 以 U_d 为横轴, D 为纵轴,分别作 $D-U_{dx}$, $D-U_{dy}$ 关系直线,求出两条直线的斜率,即得 x 轴和 y 轴的电偏转灵敏度。

(5) 将加速电压调至 1200V,重新聚集,但栅压不变,重复上述实验。你能否估计这时的 $D-U_d$ 关系直线与上次有何不同,为什么?

3. 测量磁偏转位移

(1) 示波管各电极的连接同上,两只偏转线圈分别插入示波管两侧,直流稳压电源(带毫安表)接到实验仪“外供磁场电源”处。

(2) 调直流稳压电源使线圈中的电流 $I = 0$,此时光点应位于荧光屏的中心,若光点不在中心,可调整“y 调零”(或“x 调零”)旋钮。

(3) 将加速电压 U_2 调至 1000V,改变电流 I 的大小,与测量电偏转相同测得相应的偏转位移 D (调节换向开关,可使光点反方向位移,共测 10 组)。

(4) 以 I 为横轴, D 为纵轴,作 $D-I$ 关系直线,求其斜率。斜率即为磁偏转系统的灵敏度。

- (5) 通过换向开关换向,观察偏转变化。
- (6) 将加速电压调至 1200V,重复上述实验。

4. 观察纵向磁聚焦

- (1) 将螺旋管线圈套在示波管上,线圈两端接“外供磁场电源”。
- (2) 用胶带将透明塑料膜贴在示波管荧光屏上,调节偏转电压,使光点偏离中心。
- (3) 调节直流稳压电源,在塑料膜上描下不同电流时屏上光点的轨迹。

(二) 实验方法 2, TH-EB 型电子束实验仪

1. 电子束的电偏转与磁偏转的测量

(1) 准备工作

- 1) 将实验箱面板上的“电聚焦/磁聚焦”选择开关置于“电聚焦”上。
- 2) 将与第一阳极对应的钮子开关置于上方,其余的钮子开关均置于下方。
- 3) 将实验仪后面的励磁电流开关置于“关”。
- 4) 将“磁聚焦调节”旋钮旋至最小位置。
- 5) 开启电源开关,调节“阳极电压调节”,使“阳极电压”显示为 800V,适当调节“辉度调节”,此时示波器上出现光斑,使光斑亮度适中,然后调节“电聚焦调节”,使光斑聚焦成一小圆点。

(2) 电偏转灵敏度的测定

1) 将“阳极电压”调至 800V,水平偏转极板 H_1 、 H_2 对应的钮子开关均置于上方,在 H_1 和 H_2 之间接通直流偏转电压, H_1 接正极, H_2 接负极,由小到大调节直流电输出,应能看到光点向右偏转;分别记录光点每移动两个小格时的偏转电压,然后改变偏转电压的极性,重复上述步骤,列表记录数据。

2) 将 H_1 、 H_2 对应的钮子开关均置于下方, V_1 、 V_2 对应的钮子开关均置于上方,在垂直偏转极板 V_1 和 V_2 之间接通直流偏转电压,按 1) 的方法测得垂直偏转数据。

3) 将“阳极电压”分别调至 1000V、1200V,按实验步骤(1)将光斑重新聚焦(不改变辉度)后,按实验步骤(2)中 1)、2)的方法重复以上测量,列表记录数据。

4) 计算不同阳极电压下的水平电偏转灵敏度和垂直电偏转灵敏度。

(3) 磁偏转灵敏度的测定

1) 准备工作与“电偏转灵敏度的测定”完全相同,用数字万用表测量线圈的电阻值,并记录。

2) 将“阳极电压”调至 800V,接通亥姆霍兹线圈(磁偏转线圈)的励磁电压,分别记录光点每移动两个小格时的励磁电压值,然后改变励磁电压的极性,重复以上步骤,列表记录数据。

3) 将“阳极电压”分别调至 1000V、1200V,重复实验步骤 2),列表记录数据。

4) 计算不同阳极电压下的磁偏转灵敏度。

(4) 截止栅偏压的测定

1) 准备工作与“电偏转灵敏度的测定”完全相同,将与阴极 K 和栅极 G 相对应的钮子开关均置于上方。

2) 将“阳极电压”调至 800V,用数字万用表直流电压挡测量栅极与阴极之间的电压 V_{gk} (为负值),调节“辉度调节”电位器,记录荧光屏上光点刚消失时的 V_{gk} 值。

3) 将“阳极电压”分别调至 1000V、1200V,重复实验步骤 2),记录相应的 V_{gk} 值。

2. 电子束的电聚焦与磁聚焦

(1) 电聚焦特性的测定

1) 将实验箱面板上的“电聚焦/磁聚焦”选择开关置于“电聚焦”,将第一阳极对应的钮子开关置于上方,其他电极(7个)对应的钮子开关均置于下方,将实验仪后面的励磁电流开关置于“关”。

2) 令“阳极电压”指示为 800V,使光斑在聚焦的状态下,用数字万用表直流电压大量程挡分别测 A_1 、 A_2 点和地之间的电压,记下此时的 V_{A1} 和 V_{A2} 值。

3) 分别调节“阳极电压”至 1000V 和 1200V,并使光斑聚焦,分别记下同一“阳极电压”下的 A_1 、 A_2 值。

4) 计算三个不同的“阳极电压”下的 V_{A1}/V_{A2} 值,并作 8SJ31J 示波管的电聚焦特性曲线。

5) 试分析阴极射线管的电聚焦特性曲线为什么会是一条直线。

(2) 磁聚焦现象的观察

1) 将实验箱面板上的“电聚焦/磁聚焦”选择开关置于“磁聚焦”,将其他钮子开关均置于下方,将实验仪后面的励磁电流开关置于“开”,将示波管后面的“励磁电流切换”钮子开关打到“正向”。

2) 调节“阳极电压”至 800V,“辉度调节”电位器使辉度适中,此时可观察到荧光屏上的矩形光斑。

3) 缓缓调节“磁聚焦调节”旋钮,可观察到电子束在纵向磁场的作用下,旋转式聚焦的现象,本实验仪可看到两次或三次聚焦。

4) 将示波管后面的“励磁电流切换”钮子开关打到“反向”,改变励磁电流的方向,重复实验步骤 3)。

5) 分别调节“阳极电压”至 1000V 和 1200V,重复实验步骤 2)、3)、4)。

注意事项

1. 栅极不能处于零偏压状态,否则光点过亮,荧光屏会因局部过热而损坏。

2. 实验电路中有高压,为确保安全,接线时应关闭电源。

思考题

1. 电聚焦和磁聚焦的条件分别是什么?

2. 如果在偏转板上施加交流电压,会出现什么现象?

3. 除偏转磁场外,如果在其中一对偏转板上再加电压,那么两种偏转将会相互抵消,为此应该选用哪一对偏转板?极性如何?假如已满足净偏转为零的条件,然后增大加速电压,将出现什么现象?

(邬志韧)

实验二

光电效应及普朗克常数测定

目的

1. 加深对光电效应和光的量子性的理解。
2. 学习验证爱因斯坦光电效应方程的实验方法,并测定普朗克常数。

器材

普朗克常数测定仪(套)。

原理

一、光电效应与爱因斯坦方程

以合适频率的光照射在金属表面上,有电子从表面逸出的现象称为光电效应。观察光电效应的实验如图 2-1 所示。GD 为光电管, K 为光电管阴极, A 为光电管阳极, G 为微电流计, V 为数字电压表, R 为滑线变阻器。调节 R 可使 A、K 之间获得从 $-U$ 到 0 到 $+U$ 连续变化的电压。当光照射光电管阴极时,阴极释放出的光电子在电场的作用下向阳极迁移,并且在回路中形成光电流。光电效应有如图 2-2 所示的实验规律。

1. 光强一定时,随着光电管两端电压增大,光电流趋于一个饱和值 i_m , 对不同的光

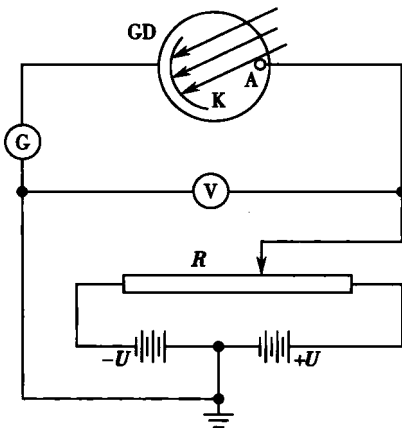


图 2-1 光电效应实验示意图

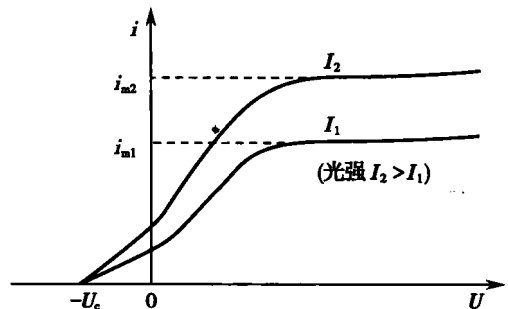


图 2-2 光电管伏安特性

强,饱和电流 i_m 与光强 I 成正比。

2. 当光电管两端加反向电压时,光电流迅速减小,但不立即降到零,直至反向电压达到 U_c 时,光电流为零, U_c 称为截止电压。这表明此时具有最大动能的光电子被反向电场所阻挡,则有

$$\frac{1}{2}mv_{\max}^2 = eU_c \quad (2-1)$$

实验表明光电子的最大动能与入射光强度无关,只与入射光频率有关。

3. 改变入射光频率 ν 时截止电压 U_c 随之改变, U_c 与 ν 呈线性关系,如图 2-3 所示。实验表明,无论光多么强,只有当入射光频率 ν 大于 ν_c 时才能发生光电效应, ν_c 称截止频率。对于不同金属的阴极, ν_c 的值也不同,但这些直线的斜率都相同。

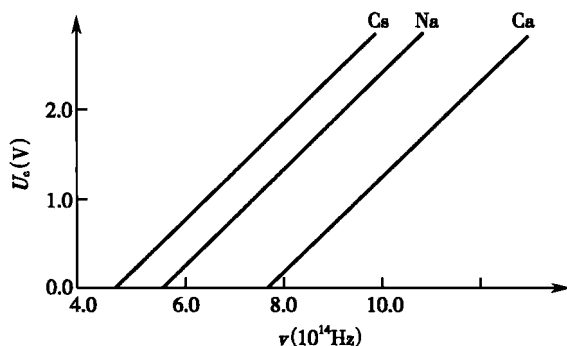


图 2-3 截止电压 U_c 与入射光频率 ν 关系曲线

4. 照射到光电阴极上的光无论怎么弱,几乎在开始照射的同时就有光电子产生,延迟时间最多不超过 10^{-9} s。

上述光电效应的实验规律是光的波动理论所不能解释的。爱因斯坦光量子假说成功地解释了这些实验规律。它假设光束是能量为 $h\nu$ 的粒子(称之为光子)组成的,其中 h 为普朗克常数,当光束照射金属时,以光粒子的形式射在表面上,金属中的电子要么不吸收能量,要么就吸收一个光子的全部能量 $h\nu$ 。只有当这能量大于电子摆脱金属表面约束所需要的逸出功 W 时,电子才可能吸收光子的全部能量并会以一定的初动能逸出金属表面。根据能量守恒定律有

$$h\nu = \frac{1}{2}mv_{\max}^2 + W \quad (2-2)$$

上式称为爱因斯坦光电效应方程。将式(2-1)代入式(2-2),并且知 $\nu \geq W/h = \nu_c$,则爱因斯坦光电效应方程可写为

$$\begin{aligned} h\nu &= eU_c + h\nu_c \\ U_c &= \frac{h}{e}(\nu - \nu_c) \end{aligned} \quad (2-3)$$

上式表明了 U_c 与 ν 成一直线关系,此式从理论上说明了,为什么在以光电效应为主

实验二 光电效应及普朗克常数测定

的 X 射线摄影中, X 射线能量越低, 图像的对比度就越大。由直线斜率 k 可求 $h, h = ek$, 由截距可求 ν_0 。这正是密立根验证爱因斯坦方程的实验思想。

二、实际测量中截止电压的确定

实际测量的光电管伏安特性如图 2-4 所示, 它要比图 2-2 复杂。这是由于:

1. 存在暗电流和本底电流 在完全没有光照射光电管的情况下, 由于阴极本身的热电子发射等原因所产生的电流称暗电流。本底电流则是由于外界各种漫反射光入射到光电管上所致。这两种电流属于实验中的系统误差, 实验时须将它们测出, 并在作图时消去其影响。

2. 存在反向电流 在制造光电管的过程中, 阳极不可避免地被阴极材料所污染, 而且这种污染在光电管使用过程中会日趋严重。在光的照射下, 被污染的阳极也会发射电子, 形成阳极电流即反向电流。因此, 实测电流是阴极电流与阳极电流的叠加结果。这就给确定截止电压 U_0 带来一定麻烦。若用交点 U' 来替代 U_0 , 有误差; 若用图中反向电流刚开始饱和时拐点 U'' 替代 U_0 , 也有误差。究竟用哪种方法, 应根据不同的光电管而定。本实验中所用的光电管正向电流上升很快, 反向电流很小, U' 比 U'' 更接近 U_0 , 故本实验中可用交点来确定截止电压 U_0 。

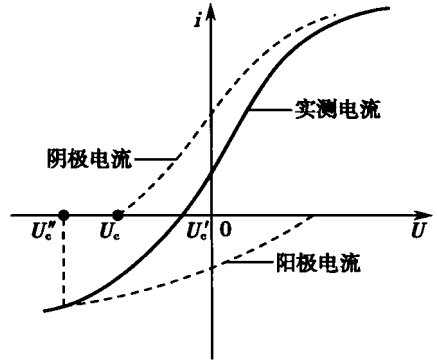


图 2-4 实际测量的光电管的 $i-U$ 曲线

仪器介绍

仪器主要由光源(低压汞灯、光阑、限流器)、接收暗箱(干涉滤光片、成像物镜、光电管等)及微电流放大器(机内装有供光电管用精密直流稳压电源)组成。光源与接收暗箱安装在带有刻度尺的导轨上, 可以根据实验需要调节二者之间的距离, 其结构原理如图 2-5 所示:

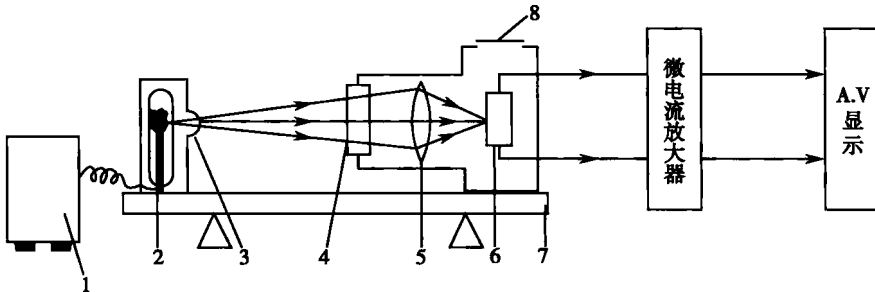


图 2-5 PC-II 普朗克常数测定仪结构图

1. 汞灯限流器; 2. 汞灯及灯罩; 3. 光阑; 4. 干涉滤光片; 5. 成像物镜; 6. 光电管;
7. 带刻度导轨; 8. 观察口

1. 光源 采用 GP-20Hg 低压汞灯, 光谱范围 320.3 ~ 872.0nm, 可用谱线 365.0nm、404.7nm、435.8nm、491.6nm、546.1nm、577.0nm、579.0nm。汞灯安装在灯座上并用灯罩

遮住。

2. 干涉滤光片 干涉滤光片的主要指标是半宽度和透射率,透过某种谱线的干涉滤光片不应允许其附近的谱线透过。本仪器选用 GP-20Hg 低压汞灯发出的可见光中强度较大的四种谱线,所以仪器配以四种干涉滤光片,透过谱线分别为 404.7nm、435.8nm、546.1nm、577.0nm。干涉滤光片全口径 $\phi 40\text{mm}$,装在圆形镜框中,有效通光口径为 $\phi 37\text{mm}$ 。使用时将它插入接收暗箱的进光口径内,以得到所需要的单色光。

3. 物镜 采用专门为此测试仪设计的镜头,旋转接收暗箱前的进光筒。可调节物镜与光电管之间的距离,使汞灯成像在光电管阴极面上。

4. 光电管 采用 1997 型测 h 专用光电管,光谱响应范围 320.0 ~ 670.0nm;最佳灵敏波长 $(350.0 \pm 20.0)\text{nm}$;577.0nm 单色光照射时截止电压与 404.7nm 单色光照射时截止电压之差为 0.875 ~ 0.960V,暗电流约 10^{-12}A ;反向饱和电流与正向饱和电流之比小于 0.5%。

光电管安装在接收暗箱内。打开暗箱后侧板,松开光电管座螺钉,可调节光电管的左右位置;松开光电管上下紧固螺钉,可调节光电管的上下位置,使灯丝正好落在光电管阴极面中央。

实验时打开接收暗箱顶部观察窗盖板,可观察汞灯在光电管阴极面上的成像情况。安装光电管时,同时打开暗箱侧盖板与顶部观察窗盖,光电管阳极与管座内伸出的两根线(端头已焊在一起)同时焊接后将光电管插入管座,将带有鳄鱼夹的接线夹住光电管顶部的阴极出线。光电管安装好后应按上面介绍的方法调节其高低位置,左右位置一般在出厂时已调好。如图 2-6 所示。

5. 数字式微电流放大器(包括 -2 ~ +2V 光电管工作电源) 这是一种数字显示式微电流测试仪器,如图 2-7 所示。电流测量范围 $10^{-13} \sim 10^{-8}\text{A}$,分六挡十进变位。开机 60min 后 8h 内测量挡零点漂移不大于 $\pm 2\%$ 。电压量程为 -2 ~ +2V 及 -200 ~ +200V 两挡;数显 $3\frac{1}{2}$ 位 LED 数字电表,利用功能选择键分别显示电压值和电流值;光电管工作电源 -2 ~ +2V,机内供给,精密可调,稳定度小于 0.1%。如将外接电缆插入面板“外接电压”插孔,这时机内 -2 ~ +2V 电源自动断开,外接电压直接加在电压调节器上,机外输入电压范围 0 ~ +200V。

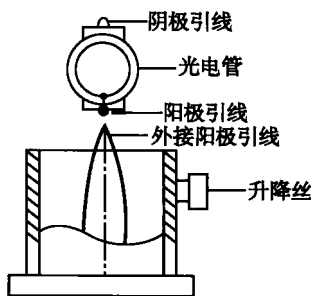


图 2-6 安装示意图

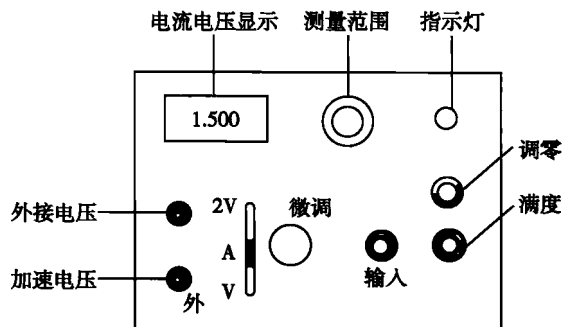


图 2-7 微电流放大器