

国家卫生和计划生育委员会“十三五”规划教材配套教材
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 **4** 版

主 审 吉 强
主 编 仇 惠 张瑞兰
副主编 吴小玲 王亚平



配光盘



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



国家卫生和计划生育委员会“十三五”规划教材配套教材
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4版

主 审 吉 强
主 编 仇 惠 张瑞兰
副主编 吴小玲 王亚平

编 者 (以姓氏笔画为序)

王 岚 (哈尔滨医科大学)
王亚平 (锦州医科大学)
仇 惠 (牡丹江医学院)
石继飞 (包头医学院)
吉 强 (天津医科大学)
邬志韧 (昆明医科大学)
刘东华 (新乡医学院)
刘迎九 (北华大学)

李绍新 (广东医科大学)
吴小玲 (南京医科大学)
张瑞兰 (北华大学)
赵 强 (华北理工大学)
侯淑莲 (华北理工大学)
徐春环 (牡丹江医学院)
温 良 (中国医科大学)



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, 张瑞兰主编. —4 版.
—北京: 人民卫生出版社, 2017

(临床诊断影像系列)

本科医学影像学专业第四轮规划教材配套教材

ISBN 978-7-117-25142-6

I. ①医… II. ①仇… ②张… 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(2017)第 245192 号

人卫智网	www.ipmph.com	医学教育、学术、考试、健康, 购书智慧智能综合服务平台
人卫官网	www.pmph.com	人卫官方资讯发布平台

版权所有, 侵权必究!

医学影像物理学实验

第 4 版

主 编: 仇 惠 张瑞兰

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: 010-59787592 010-59787584 010-65264830

印 刷: 中国农业出版社印刷厂

经 销: 新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 14 插页: 1

字 数: 332 千字

版 次: 2002 年 11 月第 1 版 2017 年 12 月第 4 版
2017 年 12 月第 4 版第 1 次印刷(总第 7 次印刷)

标准书号: ISBN 978-7-117-25142-6/R·25143

定价(含光盘): 30.00 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市场营销中心联系退换)

前言

《医学影像物理学实验》自 2002 年问世以来经历了 2 版、3 版的两次内容修改和结构的调整,并通过十几年的教学使用得到了全国各院校师生的肯定,取得了很好的社会效益,已成为卫生部国家级规划教材《医学影像物理学》的配套教材。

医学影像是发展极快的诊断技术,医学教育要适应医学实践与研究的发展,2016 年 11 月卫计委“十三五”国家级规划教材 4 版《医学影像物理学》出版发行了。《医学影像物理学实验》作为规划教材的配套教材也要与时俱进,及时修订再版是很自然的事。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》教材建设也有自己新的构思和设想,在教材修订过程中首先将《医学影像物理学实验》与《医学影像物理学仿真实验》进行整合,使其合二为一,统称为《医学影像物理学实验》。内容编排上分为传统实验和仿真实验两大部分,并配有仿真实验光盘。

传统实验主要从以下三个方面进行了尝试:

统一和规范了医学影像物理学实验项目,全书实验编排顺序与 4 版理论教材一致。新版实验项目的设计也分为 X 线影像、超声成像、磁共振成像、核医学影像及电离辐射防护几大部分,共 24 个实验项目。

在实验设计过程中注意实验内容和 4 版理论讲授内容的有机结合,使其更加适合与 4 版理论教材配套使用。编写上遵循深入浅出的原则,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,又可以让让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。

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,新版实验进行了去旧添新工作,删减了部分较陈旧实验,增加了如超声 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。

仿真实验的应运而生,主要基于以下两点:①医学影像物理学实验因为耗资太大,许多学校实验室不购买相应设备,结果由于仪器的不具备而直接制约了医学影像物理学实验教学的开展;②医学影像物理学实验涉及放射防护,对教师和学生身体健康有潜在的危险,部分师生对此课程还有一定的排斥、恐惧心理,阻碍了医学影像物理学实验教学的开展。医学影像物理学仿真实验的开设,可在相当程度上弥补实验教学基于以上原因无法开展的缺陷。另外,仿真实验使实验教学在时间和空间上得到延伸,打破了时间和空间的局限。学生可通过计算机软件在分散的地点,灵活安排时间对实验内容进行预习和复习。仿真实验项目的设计编排同样遵循 4 版理论教材,按顺序囊括 X 线影像、超声成像、磁共振成像、核医学影像等共 17 个实验项目。仿真实验纸质版教材部分对每一个实

验给出了详细介绍及操作指导,与数字教材(光盘)配合使用,方便学生利用仿真实验对相应的实验内容进行预习与拓展训练。

新版实验教材的编写在内容上将传统实验和仿真实验相关联,使其相辅相成,这也是改革实验教学手段的一个重要发展方向。

本实验教材在中国医科大学张泽宝教授和北华大学胡继光教授的大力支持下进行了开创性的工作,为我国医学影像物理学的学科建设和发展做出了贡献。新一届编委对前辈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4版教材的编委来自全国各个省市的不同层次的院校,代表各种不同层次的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。由于我们水平有限,如果有理解不深入、考虑不全面的地方,敬请使用本实验教材的同行、学者和同学们提出宝贵的意见和建议,以便今后再版时有的放矢地补充修订。

编者

2017年6月

目录

传统实验部分

实验一 电子束的聚焦与偏转·····	1
实验二 周期电信号的分解与合成·····	10
实验三 光电效应及普朗克常数测定·····	15
实验四 医学数字图像获取·····	21
实验五 利用 Photoshop 处理数字图像 ·····	30
实验六 X 线半价层的测定 ·····	37
实验七 X 线辐射量的测量 ·····	41
实验八 模拟 CT ·····	44
实验九 超声声速与声阻抗的测定·····	49
实验十 A 型超声波诊断仪的基本原理及其应用 ·····	56
实验十一 A 型超声辐射特性的研究及伪像识别 ·····	64
实验十二 B 型超声显像仪的基本原理及其应用·····	72
实验十三 B 型超声的伪像观测·····	80
实验十四 透射式超声 CT ·····	84
实验十五 磁共振现象的观测·····	90
实验十六 用脉冲磁共振法测量弛豫时间常数·····	94
实验十七 梯度磁场的调节与测量·····	104
实验十八 磁共振成像·····	108
实验十九 三维磁共振成像·····	115
实验二十 四维磁共振成像·····	124
实验二十一 磁共振化学位移伪影·····	131
实验二十二 原子核衰变的统计规律·····	139
实验二十三 放射性测量·····	145
实验二十四 放射性表面污染的测定·····	151

仿真实验部分

实验二十五 数字图像灰度变换·····	153
实验二十六 数字图像减影技术·····	159
实验二十七 X-CT 影像重建模拟·····	162

实验二十八 X-CT 窗口技术.....166

实验二十九 几种后处理技术比较.....169

实验三十 A 型超声波诊断仪的基本原理及其应用173

实验三十一 B 型超声波成像原理.....177

实验三十二 超声在人体中的衰减与分辨力仿真实验观察.....180

实验三十三 亥姆霍兹线圈磁场及梯度磁场的调节与测量.....184

实验三十四 连续谱磁共振.....186

实验三十五 用自旋回波法测量横向弛豫时间 T_2 191

实验三十六 用反转恢复序列测量纵向弛豫时间 T_1 194

实验三十七 磁共振成像定位与选层.....197

实验三十八 磁共振成像.....201

实验三十九 放射性测量.....205

实验四十 核素示踪仿真实验.....209

实验四十一 SPECT 扫描方式观察212

传统实验部分

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 高几百伏,第二阳极 A_2 的电势之间形成强电场,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,显示了电子射线的落点。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称为电子透镜。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

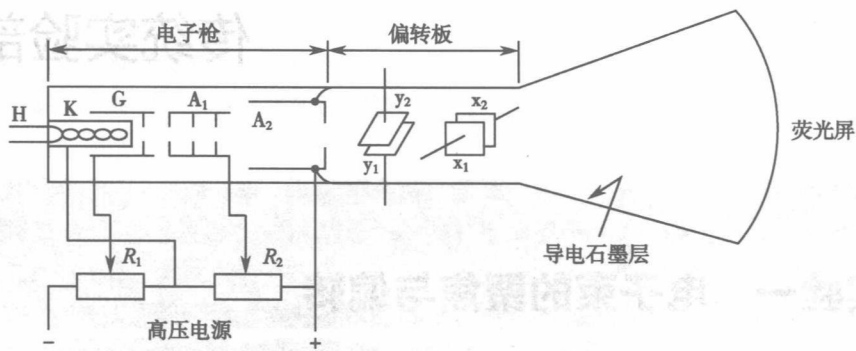


图 1-1 示波管的结构

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,可以很方便地调整 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。

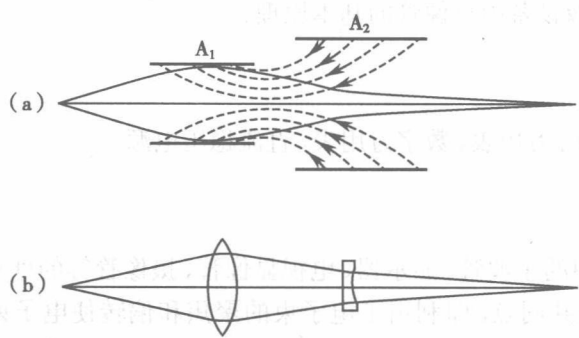


图 1-2 电子透镜(a)与光学透镜(b)的对比

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_d , 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

$$D = \frac{lL U_d}{2dU_2} \tag{1-1}$$

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

$$S = \frac{D}{U_d} = \frac{lL}{2dU_2} \tag{1-2}$$

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,会受到洛伦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($v_z \perp B$),受洛伦兹力的作用,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,将作匀速直线运动,该直线偏离 z 方向 φ 角,若偏转角 φ 不很大,则

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

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

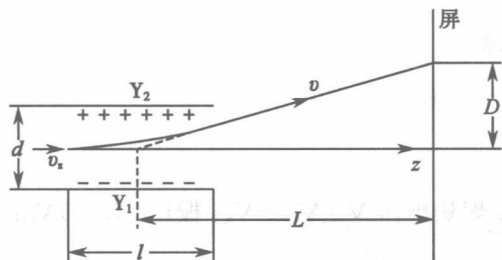


图 1-3 电子束在电场中的偏转(电偏转)

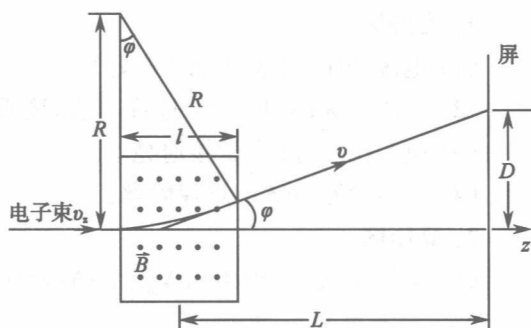


图 1-4 电子束在磁场中的偏转(磁偏转)

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,将在管径内部产生横向磁场。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。

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 使电子沿 B 的方向作匀速直线运动,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,这种现象称为磁聚焦现象,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以直流电产生。

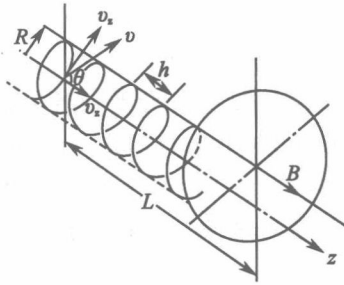


图 1-5 电子的螺旋运动

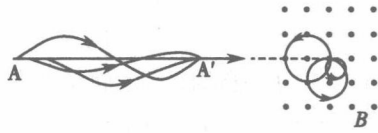


图 1-6 均匀磁场的磁聚焦

仪器介绍

一、EF-4S 型电子和场实验仪

主要包括电源区、高压区、XY 偏转区、接线区。

1. 电源区

- (1) 电源插座(注意接地要良好)。
- (2) 电源开关: 拨向“开”位置, 仪器接通电源。
- (3) 电源指示灯: 电源接通亮。
- (4) 保险管座: 0.5 安培保险丝。

2. 高压区

(1) 电压定义: 加速电压 V_2 : $\perp(V_{A2})-V_K$; 聚焦电压 V_1 : $V_{A1}-V_K$; 栅压(辉度) V_G : V_G-V_K ; 参考点 V_K 。

(2) 旋钮及接线孔: 加速电压旋钮: 可用于调节 V_K 对地电压(1100~1250V)。

(3) 聚焦旋钮(500~850V): 可用于调节 V_{A1} 对 V_K 的电聚焦电压。

(4) 栅压(辉度): 可用于调节 V_G 对 V_K 电压, 控制荧光屏上光点的亮度。 V_K 、 V_G 、 V_{A1} : 为插线孔或测量孔。

注意: 做电偏转、电聚焦、磁偏转三个实验时, $V_{A1}-A_1$, $\perp(V_{A2})-A_2$ 。

3. X、Y 偏转区 X 调零、Y 调零、 V_{dx} 偏转、 V_{dy} 偏转, 分别调节 V_{X1} 、 V_{Y1} 、 V_{dx} 、 V_{dy} 四个插线孔对地电压。调零及 X、Y 偏转接线: $V_{X1}-X_1$, $V_{dx}-X_2$, $V_{Y1}-Y_1$, $V_{dy}-Y_2$ 。

注意: 光点调零时, $V_{X1}-X_1$, $V_{Y1}-Y_1$ 必须连接。

4. 接线区 连线 1、连线 2、连线 3、连线 4、连线 5 为连接线钮, X、Y 为接线钮。

二、TH-EB 型电子束实验仪

如图 1-7 所示, 该实验仪由示波管组件和电源控制箱组成。示波管组件由示波管、磁偏转线圈(亥姆赫兹线圈)、磁聚焦螺线管线圈等组成, 并由有机玻璃封装而成, 学生可清晰地定性地了解各个部分的结构组成, 而无高压触电的危险。电源控制箱提供示波管灯丝所需的 6.3V 电源, 加速阳极电压(带 3 位半数字显示), 聚焦阳极电压、栅极负压和螺线管励磁电流等, 实验阳极电压带有低压补偿电路, 即使在市电电压较低的情况下仍然可以正常使用。

1. 示波管采用 8SJ-31J, 各部件的作用如下。

(1) 灯丝 F: 加热阴极, 加 6.3V 电压。

(2) 阴极 K: 圆筒外涂有稀土金属, 被加热后能向外发射自由电子, 也称发射极。栅极 G: 施加适当电压 (通常加负压) 可控制电子束电流强度, 也称控制栅, 栅负压通常在 $-45 \sim -35\text{V}$ 之间。

(3) 第二阳极 A_2 : 圆筒结构, 施加的电压形成一纵向高压电场, 使加速电子向荧光屏运动, 也称加速极, 加速电压通常为 1000V 以上。

(4) 第一阳极 A_1 : 为一圆盘结构, 介于第二阳极的圆筒和圆盘之间, 其作用相当于电子透镜, 施加适当电压能使电子束恰好在荧光屏上聚焦, 因此也称聚焦极, 通常加数百伏正向电压。垂直偏转极板: V_1 和 V_2 为处于示波管中一上一下的两块金属板, 在极板上施加适当电压后构成垂直方向的横向电场。

(5) 水平偏转极板: H_1 和 H_2 为处于示波管中一前一后的两块金属板, 在极板上施加适当电压后构成水平方向的横向电场。

2. 螺线管和线圈参数 螺线管线圈的直径为 $0.29\text{mm} = 2.9 \times 10^{-4}\text{m}$, 层数为 3 层, 螺线管直径 D 为 $82.5\text{mm} = 8.25 \times 10^{-2}\text{m}$, 螺线管长度 $L = 246\text{mm} = 2.46 \times 10^{-1}\text{m}$, 螺线管单位长度的线圈匝数 $n_0 = 1.04 \times 10^4$, 示波管第二阳极 (第二阳极圆筒的中点) 到荧光屏的距离典型值为 $180\text{mm} = 1.8 \times 10^{-1}\text{m}$ 。

3. 控制电源箱 仪器适用 50Hz , $\sim 220\text{V} \pm 10\%$ 市电供电, 变压器副绕组 T_3 输出 $\sim 600\text{V}$ 电压, 经倍压整流滤波后, 能输出 $\geq 1400\text{V}$ 的直流电源, 经分压后提供给示波器的各电极所需电压。

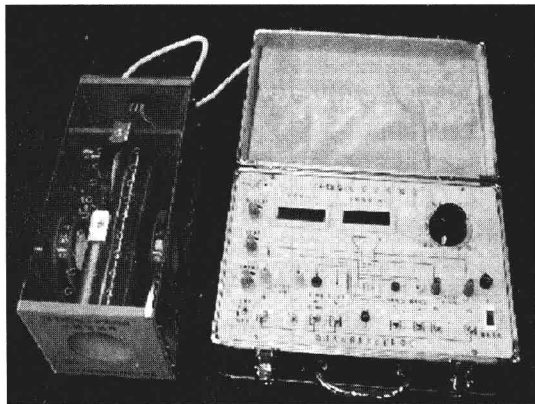


图 1-7 TH-EB 型电子束实验仪

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 1-8 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_0 , 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_G , 使荧光屏上光点达最佳聚焦, 调节过程与步骤(3)相同, 测量 U_1 、 U_2 、 U_G 值(至少测 3 组)。分析测量结果, 你可得到什么结论?

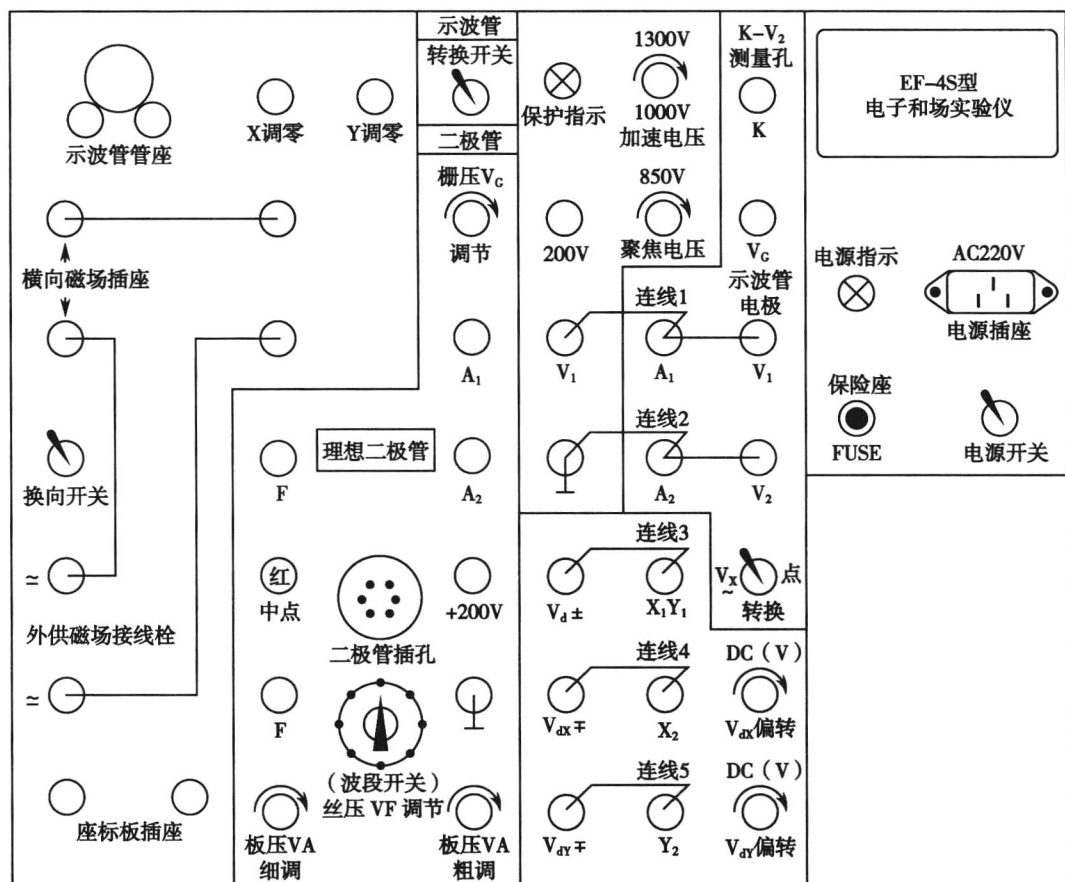


图 1-8 EF-4S 型电子和场实验仪面板图

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, 重新聚焦, 但栅压不变, 重复上述实验。你能否估计这时的 $D-U_a$ 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

如图 1-7 所示为 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高量程挡分别测 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. 实验前必须仔细阅读电子束实验仪使用说明书。

2. 实验电路中有高压, 为确保安全, 接线时应关闭电源。本仪器内示波管电路和励磁电路均存在高压, 在仪器插上电源线后, 切勿触及印刷板、示波器管座、励磁线圈的金

属部分,以免电击危险。

3. 本仪器的电源线应插在标准的三芯电源插座上。电源的火线、零线和地线应按国家标准接在规定的位置上。

4. 将实验仪面板上 H_1 、 H_2 对应的钮子开关均置于上方的情况下,水平偏转板 H_2 和地 G 之间存在阳极高压,在水平偏转极板 H_1 和 H_2 之间接通 $0\sim 30V$ 直流偏转电压时,千万不要把两手接触到 H_2 和地 GND 之间,以免电击危险。在将实验仪面板上 V_1 、 V_2 对应的钮子开关均置于上方的情况下,水平偏转板 V_1 和地 G 之间存在阳极高压,在水平偏转极板 V_1 和 V_2 之间接通 $0\sim 30V$ 直流偏转电压时,千万不要把两手接触到 V_1 和地 GND 之间,以免电击危险。

5. 避免长时间施加励磁电流,当励磁电流较大时,及时记录聚焦电流值,以免励磁线圈过热而烧坏。

6. 示波管辉度调节适中,以免影响荧光屏的使用寿命。不得让栅极处于零偏压状态,否则光点过亮,荧光屏因局部过热而损坏。

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?

(石继飞)

实验二 周期电信号的分解与合成

目的

1. 了解常用周期信号的傅里叶级数表示方法。
2. 了解信号频谱的含义,掌握用带通滤波器选频电路对周期电信号进行傅里叶分解与合成的原理。
3. 掌握用谐波电源获取一个非正弦周期信号的方法。

器材

周期电信号波形傅里叶分析仪、双踪示波器。

原理

任何电信号都是由各种不同频率、幅值和初相的正弦波叠加而成的。一个非正弦周期函数可以用一系列频率成整数倍的正弦函数来表示,其中与非正弦具有相同频率的成分称为基频或一次谐波,其他成分则根据其频率为基频频率的 2、3、4、 $\cdots n$ 等倍数分别称二次、三次、四次、 $\cdots n$ 次谐波,其幅度将随谐波次数的增加而减少,直至无穷小。由波的合成与分解可知,不同频率的谐波可以合成一个非正弦周期波,反过来,一个非正弦周期波也可以分解为无限个不同频率的谐波成分。

1. 周期信号傅里叶分析的数学基础 任意一个满足狄里希利条件的周期为 T 的函数 $f(t)$ 都可以表示为傅里叶级数

$$f(t) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_1 t + b_n \sin n\omega_1 t)$$

$$a_0 = \frac{1}{T_1} \int_{T_1} f(t) dt$$

$$a_n = \frac{2}{T_1} \int_{T_1} f(t) \cos n\omega_1 t dt$$

$$b_n = \frac{2}{T_1} \int_{T_1} f(t) \sin n\omega_1 t dt$$

其中 ω_1 为角频率,称为基频, $a_0/2$ 为常数(相当于信号的直流分量), a_n 和 b_n 称为第 n 次谐波的幅值。

一个非正弦周期函数可用傅里叶级数来表示,级数各项系数之间的关系可用一个个频谱来表示,不同的非正弦周期函数具有不同的频谱图。各种周期性非简谐交变信号的傅里叶级数表达式如下,其波形如图 2-1 所示,方波频谱图如图 2-2 所示。