

# 探究地磁场对彩色显像管成像的影响

张琳蕊 徐 祯 张 萍

(北京师范大学物理学系 北京 100875)

(收稿日期:2021-07-09)

**摘要:**关于显像管电视机的成像原理,高中物理教材仅关注运动的带电粒子在偏转线圈提供的磁场中的偏转,但在实际生活中,地磁场也会对电视机显像管中运动带电粒子的轨迹产生影响.本文立足于高中生的认知能力,从生活实例出发,分析地磁场对彩色显像管成像的影响,细化建模过程,给出真实参数,凸显科学研究方法在教学中的应用,使教学内容与现代科技和生活实际相联系,从而将培养学生的核心素养落实在日常教学之中.

**关键词:**洛伦兹力 电子束的磁偏转 彩色显像管成像原理 地磁场

《高中物理新版课程标准解析与教学指导》<sup>[1]</sup>建议教师带领学生了解带电粒子在匀强磁场中的偏转,了解洛伦兹力在现代科技中的应用.人教版《物理》选择性必修第二册中“磁场对运动电荷的作用力”章节在电子束的磁偏转效应中使用图1定性分析了电视机显像管的成像原理<sup>[2]</sup>,说明电子束经过电子枪加速后高速射出,在偏转线圈产生的水平和竖直磁场中发生偏转,打到显像管荧光屏的不同位置使其发光.在这部分内容中,教材介绍了物理原理在现代科技中的应用,但是缺少相关细节和真实数据,也没有考虑显像管在实际应用时地磁场对其成像的影响.

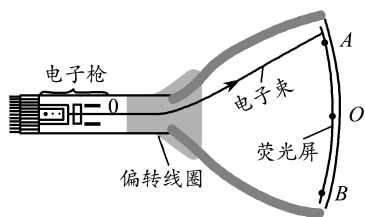


图1.2-7显像管原理示意图(俯视图)

图1 人教版《物理》选择性必修第二册中的显像管原理示意图

本文探究彩色电视机在生活中实际应用时地磁场对显像管成像的影响.真实物理问题具有复杂性,解决这样的问题需要使用科学研究方法,即在详细分析真实情境和目标问题的基础上,建构模型,科学推理,规划解决方案,利用真实数据进行计算或数量级估计,进而得出结论并进行评估和拓展.

## 1 提出问题

在实际生活中,电视机放置在地球上,地磁场也会对显像管中运动的带电粒子产生作用力,那么在讨论彩色显像管成像时,地磁场的影响是否可以忽略?

## 2 分析明确目标问题

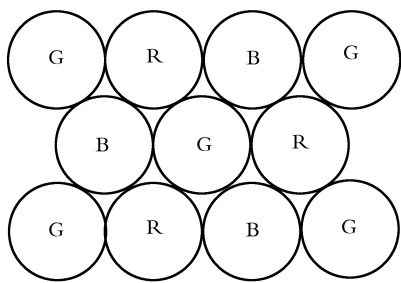
首先,我们需要将这个源于生活实际的真实情境问题转化成具体的物理情境问题,明确需要研究的目标问题,建立一幅清晰的物理图景.

在一个彩色显像管中,如图1所示,电子束从显像管后端的阴极发出,通过电子枪加速后进入偏转线圈,靠磁场的偏转到达彩色显像管荧光屏的各个地方.彩色显像管是依靠电子束激发荧光粉圈使之发出不同颜色的光来显示图像的设备.荧光粉圈的结构如图2所示(G-green 绿色,R-red 红色,B-blue 蓝色).为了能正确显示节目图像,要求彩色显像管中的电子必须打到各自对应的荧光粉圈内,在显像管的设计中,可以通过调控偏转线圈的磁场来实现这个结果.但是在日常使用中,还存在地磁场的影响,若此影响导致电子束偏出各自对应的荧光粉圈的范围,就会产生较大的色纯偏差.所以要判断是否需要保护彩色显像管免受地磁场影响,就需要判断运动的电子束在受到地磁场影响后,在荧光屏上偏

作者简介:张琳蕊(1997-),女,在读硕士研究生,物理课程与教学论专业.

通讯作者:张萍(1964-),女,博士,教授,博士生导师,主要从事高等物理教育研究.

移原本正确位置的最大值是否大于荧光粉圈的尺寸.



荧光粉圈:G-green 绿色,R-red 红色,B-blue 蓝色

图中第二行中间ⓐ的圆心位于图1的O点

图2 显像荧光屏局部结构

### 3 建构模型

对应目标问题,需要从实际问题中提炼出合理的物理模型,从而简化问题并解决问题.建立模型是为了解决目标问题,因此在解决问题的过程中,目标问题不同可以建构不同的模型.

在该问题情境中,电子束的偏转由偏转线圈产生的磁场和地球产生的磁场共同影响,由于磁场满足叠加原理,可以单独考虑地磁影响,而地磁场的影响主要体现在从偏转线圈出射后的区域,从偏转线圈出射的电子束方向在从图1中A到B的范围内.对于地磁场来说,其分布类似于条形磁铁,从地球整体范围来看地磁场是不均匀的,但该问题研究的显像管的线度大致为0.5 m,在此范围内地磁场变化可以忽略,可近似看为匀强磁场.为了简化问题,我们先选取一个从偏转线圈出射后水平运动的电子为研究对象,假设此电子水平出射后在没有地磁影响的情况下打到图2中中心荧光粉圈的圆心(对应图1荧光屏中的O点).

### 4 确定解决问题需要的物理量及其真实参数

建立模型后,需要分析确定在解决问题的过程中会涉及的物理量,包括已知的、可以查到的以及需要进行合理估计的物理量,为进一步解决问题做准备.

电子在地磁场作用下受到洛伦兹力,因此电子在荧光屏上的偏移距离和电子的质量、电荷量、电子出射初速度的大小和方向、地磁场的大小和方向以及出射点到显像荧光屏之间的距离有关.判断电子

是否会偏出荧光粉圈,还需要知道荧光粉圈的尺寸.于是在进一步解决问题之前我们需要确定以下物理量.

(1) 电子的质量  $m:9.1 \times 10^{-31}$  kg.

(2) 电子的电荷量  $q:1.6 \times 10^{-19}$  C.

(3) 电子从偏转线圈出射时的初速度  $v_0$ :大小由加速电压  $U$  决定( $U$  大约为 25 kV),方向垂直于显像荧光屏.在真实情况中,放置电视机时,其荧光屏所在平面垂直于地面,但可朝东南西北任意方向,因此电子的初速度方向在水平面内,但可以指向任意方向.

(4) 地磁场  $B$ :我国地磁场大小大约在  $45 \sim 55 \mu\text{T}$ ,方向大约在地理方向的北偏下  $30^\circ \sim 60^\circ$ ,所以可先假设研究位置的地磁场为  $50 \mu\text{T}$ ,方向为北偏下  $45^\circ$ .

(5) 出射点与显像荧光屏之间的垂直距离  $l$ :通常情况下,彩色显像管电视机的厚度大致为  $0.3 \sim 0.5$  m,此处我们先假设  $l$  为  $0.4$  m.

(6) 荧光粉圈的半径  $r$ :每个圆圈的半径  $r$  约为  $0.127$  mm.

(7) 电子在显像荧光屏上的偏移距离  $d$ :运动电子在地磁场中受到洛伦兹力偏转后打到荧光屏上的位置与中心荧光粉圈ⓐ的圆心之间的距离.

### 5 确定地磁场影响造成的最大偏差

电视机摆放的方位不同,电子出射时初速度  $v_0$  的方向就不同,与地磁场  $B$  之间的夹角就不同,从而导致电子在荧光屏上产生的偏移距离  $d$  不同.如图3所示建立坐标系,以电子出射点为坐标原点, $x$  轴向北, $y$  轴垂直于地表向上.

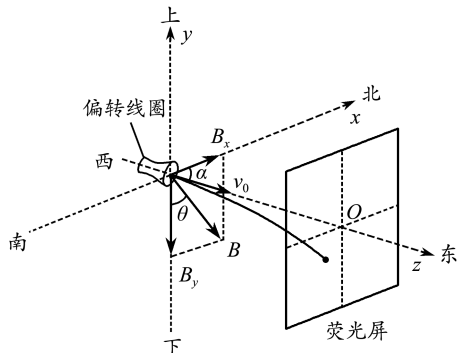


图3 分解磁场方向分析得到的电子偏转情况

方向为北偏下  $45^\circ$  的地磁场  $B$  在  $xy$  平面内,下面将地磁场分解为水平分量  $B_x = B \sin \theta$  和竖直分量

$B_y = B \cos \theta$ , 分别研究它们引起运动电子在水平方向和竖直方向的偏移.

### 5.1 分析 $B_y$ 对电子的偏转影响

如前所述, 电视机在使用过程中, 其摆放方位不同, 可视为绕  $y$  轴旋转, 此时地磁场的竖直分量  $B_y$  的方向始终与初速度  $v_0$  方向垂直, 导致电子在荧光屏上产生水平方向的偏移  $d_x$ , 由对称性可知,  $d_x$  的数值与电视机摆放的方位无关. 具体推导如下, 根据左手定则可以得知电子受到沿  $x$  轴负方向的洛伦兹力大小为

$$F_x = qv_0 B_y \sin 90^\circ = qv_0 B_y \quad (1)$$

此时电子在洛伦兹力  $F_x$  的作用下在水平面内做圆周运动,  $F_x$  提供电子做圆周运动的向心力, 设此圆周运动的半径为  $R$ , 得

$$F_x = m \frac{v_0^2}{R} \quad (2)$$

由图 4(图 3 的俯视图) 几何关系得

$$d_x = R - \sqrt{R^2 - l^2} \quad (3)$$

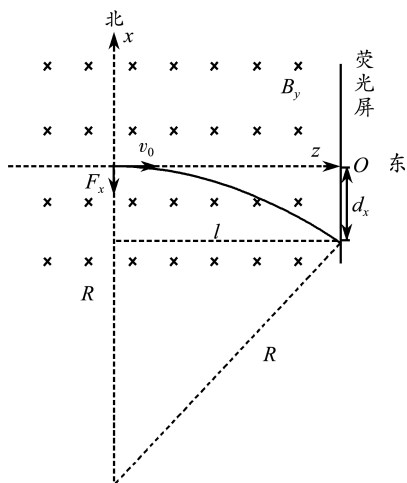


图 4  $B_y$  引起的电子水平偏转路径(圆周运动模型)

由于地磁场竖直分量  $B_y = B \cos \theta$ , 电子在荧光屏上的水平偏移量  $d_x$  为

$$d_x = \frac{mv_0}{qB \cos \theta} - \sqrt{\left(\frac{mv_0}{qB \cos \theta}\right)^2 - l^2} \quad (4)$$

### 5.2 分析 $B_x$ 对电子的偏转影响

地磁场的水平分量  $B_x$  会使得电子受到沿  $y$  轴负方向大小为  $F_y$  的洛伦兹力, 使得电子在荧光屏上产生竖直方向的偏移  $d_y$ . 当电视机绕  $y$  轴旋转时(摆放方位不同), 此偏移量会随着  $B_x$  与  $v_0$  之间夹角的变化而变化. 当电视机南北放置, 即  $\alpha = 0$  或  $\pi$  时, 电

子不受洛伦兹力, 偏移量  $d_y$  为零; 当电视机东西放置, 即  $\alpha = \frac{\pi}{2}$  或  $\frac{3\pi}{2}$  时, 电子受力最大, 使得  $d_y$  的数值最大. 沿  $y$  轴方向的洛伦兹力大小为

$$F_y = qv_0 B_x \sin \alpha = qv_0 B_x \quad (5)$$

类比求解  $d_x$  的方法可得, 由于地磁场水平分量  $B_x = B \sin \theta$  的影响, 电子在荧光屏上的最大竖直偏移量  $d_y$  为

$$d_y = \frac{mv_0}{qB \sin \theta} - \sqrt{\left(\frac{mv_0}{qB \sin \theta}\right)^2 - l^2} \quad (6)$$

### 5.3 计算数值得结果

代入数据计算可得电子在水平方向上的偏移  $d_x$  为 5.30 mm, 在竖直方向上的最大偏移量  $d_y$  也为 5.30 mm. 与荧光粉圈的半径  $r = 0.127$  mm 相比, 两个方向的偏移量均比半径  $r$  大出了一个量级(大约 40 倍), 所以电子在受到地磁场影响后一定会偏离出原本应该到达的荧光粉圈.

## 6 结论与讨论

地磁场引起的偏转导致电子可能会打到其他颜色的粉圈中而呈现出错误的颜色, 引起整个的色纯偏差; 也有可能打到另一位置的正确颜色圈中, 使得这个颜色的亮度受到影响. 所以在电视机的设计中需要有屏蔽地磁场干扰的装置.

上述讨论是针对我国的地磁参数进行的, 如果考虑将电视机销往世界各地结果会如何呢? 地球上不同地理位置的地磁场大小和方向不同, 导致由式(4)和(6)计算出的水平方向和竖直方向偏差的数值不同. 当电视机置于北极, 地磁  $B$  只沿竖直方向, 由上指向下, 大小约为  $60 \mu\text{T}$ , 它造成的偏移只在水平方向,  $d$  大致为 9.00 mm, 更需要屏蔽地磁场的影响. 在赤道附近, 地磁  $B$  只沿水平方向且由南指向北, 大小约为  $40 \mu\text{T}$ , 当电视机东西方向放置时, 电子的偏移在竖直方向,  $d$  大致为 6.00 mm, 仍然需要屏蔽地磁场的影响; 当电视机南北方向放置时, 电子运动方向与该处磁场方向平行, 不会发生偏转, 但要求所有电视机用户只能沿着这一个方向摆放电视机是不现实的. 因此在全球各地使用的电视机都必须考虑屏蔽地磁场, 保护彩色显像管图像不受干扰, 所以在电视机彩色显像管中都有一个地磁场屏蔽罩.

(下转第 53 页)

幅、摆球质量、摆长的关系,完成探究影响单摆周期因素的实验;通过对比单摆和双线摆测量重力加速度的优缺点,培养学生的科学思维和科学探究能力.

(3) 自制教具取材于日常生活,制作成本低,利于普及,并且有许多创造教育的因素.教师在教学中适当使用自制教具,可以使学生感到亲切,易于揭示事物本质特征.

### 参考文献

- 1 迈克尔·马修斯. 科学教学——科学史和科学哲学的贡献(20周年增扩版)[M]. 刘恩山, 郭元林, 黄晓, 译. 北京: 外语教学与研究出版社, 2017
- 2 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(2017年版 2020年修订). 北京: 人民教育出版社, 2020. 25 ~ 27
- 3 银亚楠, 钱长炎, 殷东强. 单摆摆长的确定及相关问题探

析[J]. 物理教学, 2016(1): 12 ~ 13

- 4 彭金松, 李金舟. 摆角、摆长和摆锤大小对摆的周期影响研究[J]. 河池学院学报, 2011(2): 26 ~ 28
- 5 殷东强, 钱长炎. 单摆偏角及相关问题的分析与探讨[J]. 物理教学, 2013(3): 23 ~ 24
- 6 黄树来, 姜永超, 王娟, 等. 单摆测重力加速度实验的误差分析[J]. 科技视界, 2015(34): 185
- 7 吉恒. 单摆测量重力加速度实验的误差分析[J]. 物理教师, 2010, 31(9): 19 ~ 20
- 8 赖才, 程敏熙, 黄慧敏. 用视频分析软件 Tracker 研究单摆的运动[J]. 物理教师, 2016, 37(12): 67 ~ 69
- 9 林慧金, 何京妮, 李德安. 用双线摆测重力加速度[J]. 物理通报, 2016(8): 89 ~ 91
- 10 庄瑾, 温春媚, 王晰. “双线摆测重力加速度”实验的改进[J]. 实验教学与仪器, 2019(4): 25 ~ 26

(上接第 49 页)

### 7 结束语

教学中涉及生产生活中的真实问题情境, 引领学生历经科学家的探究过程, 可以激发学生的学习兴趣, 有效地培养学生模型建构、科学推理、解释、论

证、社会责任等物理核心素养.

### 参考文献

- 1 郭玉英, 苏明义. 新版课程标准解析与教学指导高中物理[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2018
- 2 人民教育出版社. 高中教科书物理·选择性必修 第二册[M]. 北京: 人民教育出版社, 2019. 7 ~ 9

## Exploring the Influence of Geomagnetic Field on the Imaging of Color Kinescope

Zhang Linrui Xu Zhen Zhang Ping

(Department of Physics, Beijing Normal University, Beijing 100875)

**Abstract:** As for the imaging principle of kinescope TV, physics textbooks for senior high school only focus on the deflection of moving charged particles in the magnetic field provided by the deflection coil. But in real life, the geomagnetic field will also affect the trajectory of moving charged particles in the kinescope. Based on the cognitive ability of senior high school students, this paper analyzes the influence of geomagnetic field on the imaging of color kinescope, refines the modeling process, gives the real parameters, and highlights the application of scientific research methods in teaching, so as to connect the teaching content with modern technology and the reality of life, and implement the cultivation of students' core literacy in daily teaching.

**Key words:** Lorentz force; magnetic deflection of electron beam; imaging principle of color kinescope; geomagnetic field