

# 借助“仿真物理实验室”突破带电体在复合场中运动的教学难点

陈 龙

(无锡市第三高级中学 江苏 无锡 214028)

(收稿日期:2018-08-01)

**摘要:**详细分析了“带电体在复合场中的运动”教学难点出现的原因所在,缺少运动的“映像”,从而无法打开想象的翅膀;阐述了带电体在复合场中运动的两类“难点”;提出可借助“仿真物理实验室”,变在复合场的抽象、无趣中被动接受为在欣赏曲线美中主动探究,以攻克教学难点;介绍了借助“仿真物理实验室”突破两类难点的教学案例,以供同仁参考.

**关键词:**复合场 教学难点 映像 仿真物理实验室

物理实验具有化枯燥为生动、化抽象为具体、化平淡为奇特的功效,能为学生提供一个学习新知识的良好环境. 绝大部分的物理教师在教学中(特别是新授课)确实是尽可能地做演示实验或学生分组实验,以激发学生的学习兴趣,为学生积极主动地获取知识创造条件.

## 1 “带电体在复合场中的运动”教学难点出现的原因分析

复合场,看不见摸不着,是很抽象的物理概念而又是客观存在的一种物质形式. 带电体在复合场中的运动,对高中学生而言无疑是一个难点. 在平常的教学中发现,教师反复讲,学生反复练也不一定能把这个难点突破,经常感觉拿到问题无法下手,教师一讲评又觉得听懂了. 到底是什么原因? 如果是教师遇到这类问题,其实在脑海里已经有了这类问题的一个基本“映像”,在头脑中已经有了这个物体的运动和受力情况,这个物体的大概运动轨迹已经在头脑中形成,然后在已有映像的基础上再进行分析讨论研究.

由此可知,在解决带电体在复合场运动问题时,对学生空间想象能力要求比较高,要求学生能够在头脑中模拟出带电体在复合场中的运动情况,构成物理情境. 而与带电体在复合场中的运动相关的实验,在普通高中学校的实验室是不可能完成的,这是高中物理教师的痛处. 在整个高中物理教学中,不管

是高二阶段的新课教学,还是高三的一轮、二轮复习,教师只能苦于单向的运用动力学、功能关系、动量守恒定律等工具来分析带电体在复合场中的运动情况. 这就带来了两个方面的弊端,其一,不符合物理学本身的特点. 众所周知,空间想象是建立在生活现象或实验现象的基础上,例如绳系小球在竖直平面内的圆周运动模型,大部分学生会立即联想到老师或自己曾做过的“水流星”实验或“过山车”实验. 而整个高中物理的学习过程中从来就没有观察过带电体在复合场中的一些典型的运动情形,学生头脑中没有“映像”,很难凭空想象实际的运动. 其二,让学生丧失探究学习的热情. 本来复合场就抽象难懂,而教师只能是灌输式的讲授,学生毫无兴趣可言. 稍不留神学生可能就跟不上教师的节奏,不知道“教师脑中”的运动轨迹从何而来.

## 2 带电体在复合场中运动的两类“难点”

在高中阶段,带电体在复合场中运动的常见类型是:匀速直线运动、匀速圆周运动、类平抛运动、限制在某杆子上或某斜面上的非匀速直线运动、匀速直线运动与匀速圆周运动交替出现的组合. 这些类型的问题学生一般能够自主分析,因为通过高一物理的学习在学生头脑中已有这些基本的映像,也清楚做这些特殊运动的动力学条件:如合力为零时带电体一定处于静止或做匀速直线运动;除洛伦兹力外的合力为零时带电体会做匀速圆周运动;合力为

恒力且与初速度垂直时做类平抛运动. 非匀速直线运动由于轨迹简单直观运用牛顿运动定律也不难分析. 较复杂的“螺旋线运动”, 借助生活中常见的弹簧或螺旋式的扶梯, 学生也能够能够在头脑中清晰地描绘出运动的情景. 所以在高中物理教学和竞赛指导中, 带电体在复合场中运动的难点出现在非匀速圆周运动, 甚至是更为普通的非匀变速曲线运动. 本文着重介绍在高考或竞赛中可能出现的两类“难点”.

## 2.1 轻绳系带电小球(带电小球在圆轨道内侧)在复合场中的非匀速圆周运动

**【例1】**如图1所示, 长为 $L$ 的绝缘细线一端固定于 $O$ 点, 另一端连接质量为 $m$ , 电荷量为 $+q$ 的小球, 处于水平向右的匀强电场中, 场强 $E = \frac{mg}{q}$ .  $A, C$ 是竖直平面内以 $O$ 为圆心、 $L$ 为半径的圆周上与 $O$ 等高的两点,  $B, D$ 是圆周的最低点和最高点. 不计空气阻力, 则( )

- A. 将球由 $C$ 点静止释放, 到达 $A$ 点时的速度为 $2\sqrt{gL}$
- B. 在 $B$ 点给小球水平向右的速度 $v_0$ , 球能经过最高点 $D$ . 若在 $B$ 点给小球水平向左的速度 $v_0$ , 则小球也一定能通过最高点 $D$
- C. 将球由 $A$ 点静止释放, 到达 $B$ 点时速度为零
- D. 将球由 $C$ 点静止释放, 到达 $B$ 点前瞬间的速度为 $2\sqrt{gL}$

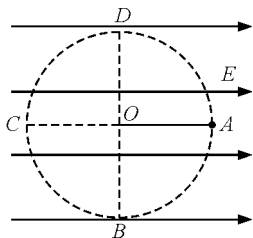


图1 例1题图

**学生解答情况与教学反思:**这是笔者给高三毕业班同学的一道查漏补缺的习题, 在高二新课学习时学生已接触过与此题类似的“等效重力场”模型, 但统计下来学生的答题情况很不理想. 很多学生错选了选项B, 漏选了选项C, 而且选了选项D的学生大多很自然也选了选项A, 究其原因主要是学生头脑中没有留下“等效重力场中非匀速圆周运动”的“映像”, 还停留在高一学习纯重力场中竖直平面内

的“轻绳模型”.

## 2.2 带电体在复合场中的“摆轮线运动”

**【例2】**如图2所示, 平面直角坐标系 $x$ 轴水平,  $y$ 轴竖直向上, 虚线 $MN$ 与 $y$ 轴平行,  $y$ 轴左侧有竖直向下的匀强电场, 场强 $E_1 = 6 \text{ N/C}$ ,  $y$ 轴与 $MN$ 之间有平行于 $y$ 轴的匀强电场 $E_2$ ,  $y$ 轴右侧存在垂直纸面向里的水平匀强磁场, 磁感应强度 $B = 1 \text{ T}$ . 一带正电小球( $m = 1 \times 10^{-3} \text{ kg}$ ,  $q = 5 \times 10^{-3} \text{ C}$ )从图中与 $y$ 轴距离 $x_0 = 0.3 \text{ m}$ 的 $P$ 点, 以 $v_0 = 3 \text{ m/s}$ 的初速度沿 $x$ 轴正向开始运动, 经坐标原点 $O$ 越过 $y$ 轴, 在 $y$ 轴与 $MN$ 之间恰好做匀速圆周运动, 再经 $C$ 点越过 $MN$ , 越过时速度方向与 $x$ 轴正方向一致. 线段 $CD$ 平行于 $x$ 轴, 小球能通过 $D$ 点. 取 $g = 10 \text{ m/s}^2$ . 求:

- (1) 经过 $O$ 点时的速度;
- (2) 匀强电场的场强 $E_2$ 以及 $C$ 点的坐标;
- (3) 线段 $CD$ 的长度.

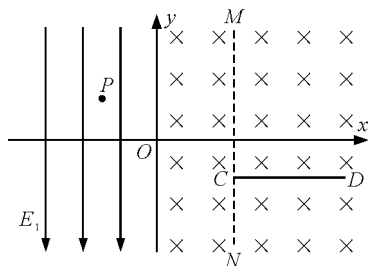


图2 例2题图

**学生解答情况与教学反思:**这道例题是2018年南京市高三二模卷中的一道计算题, 前两问涉及的是复合场中常见的运动类型, 大部分学生能顺利的解答. 而第(3)问学生根本不知道如何下手. 需要说明的是, 学生不是第一次接触这种类型的运动, 2017年南通市高三二模卷中的一道计算也是类似的运动情形, 笔者已讲解过. 笔者经过回顾讲解过程, 发现问题在于只介绍了求解这类问题的基本方法: 把实际运动看成是匀速直线运动与匀速圆周运动的合运动, 而没有具体描绘出带电粒子的运动轨迹, 学生怎么可能想象出“教师脑中”的运动情景.

## 3 借助“仿真物理实验室”突破两类难点的教学案例简介

如何才能使学生在学习“带电体在复合场中运

动”时感觉物理还是有趣的,在学生头脑中留下一些典型运动情形的深刻“映像”呢?“仿真实验室”可以解决这个难题,在这个平台上教师或学生可以任意搭建自己的实验,进行仿真.

### 3.1 轻绳系带电小球(带电小球在圆轨道内侧)在复合场中的非匀速圆周运动教学案例简介

(1) 演示实验:重现水流星实验和过山车实验(纯重力场).

如图3所示,教师请学生回顾竖直平面内的圆周运动(轻绳模型)的相关知识.

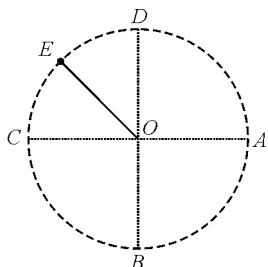


图3 竖直平面内的圆周运动

1) 小球在竖直平面内能做完整的圆周运动的条件是什么?

2) 如果能做完整的圆周运动,什么位置小球的速度最大?什么位置小球的速度最小?

3) 如果不能做完整的圆周运动,那保证轻绳不松(小球不脱轨)的条件是什么?(小球在最低点时的速度需满足的条件)

4) 若小球从图中E点由静止释放,小球怎样运动?

(2) 给出电场、重力场的复合场绳系带电小球的场景.

如果空间除了存在重力场,同时还存在水平方向的匀强电场,带电小球又会怎样运动呢?

**【例3】**如图4所示,长为 $L$ 的绝缘细线一端固定于 $O$ 点,另一端连接质量为 $m$ ,电荷量为 $+q$ 的小球,处于水平向右的匀强电场中,场强 $E = \frac{mg}{q}$ . $A, C$ 是竖直平面内以 $O$ 为圆心、 $L$ 为半径的圆周上与 $O$ 等高的两点, $B, D$ 是圆周的最低点和最高点.(不计空气阻力)

(3) 用“仿真实验室”进行仿真实验,请学生观察带电小球的运动情况.

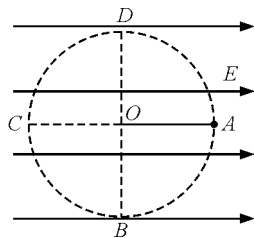


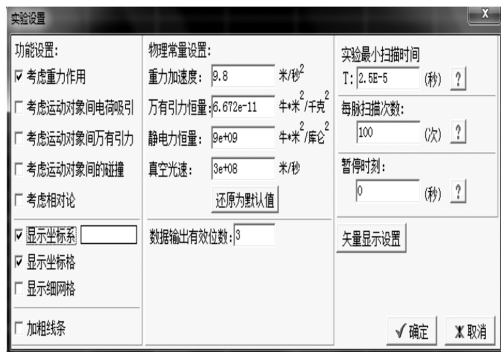
图4 例3题图

1) 将球由A点静止释放

① 打开仿真实验室,新建实验,设置小球属性:质量为 $0.1 \text{ kg}$ ,半径大小 $R$ 的值,初始坐标,初速度设为零,小球颜色白色;摆长为 $1 \text{ m}$ ;匀强电场的大小 $E = 6.125 \times 10^9 \text{ N/C}$ ,方向水平向右,电荷量 $q = 1.6 \times 10^{-10} \text{ C}$ ;取 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ .设置界面如图5(a),(b),(c),(d)所示.(赋值满足 $qE = mg$ 即可)



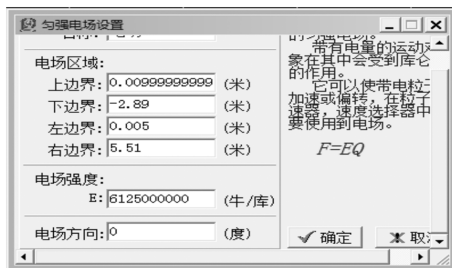
(a)



(b)



(c)



(d)

图5 仿真实验界面设置

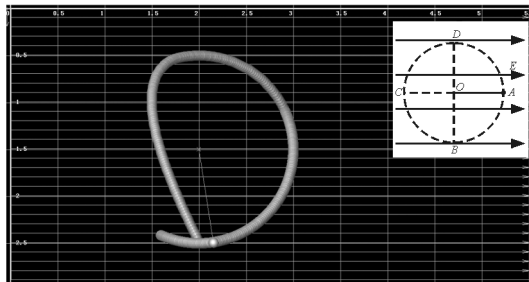


图8  $v_0 = 7 \text{ m/s}$  时的运动情景

② 点击运行实验即可开始实验, 观看到带电小球在 AB 间往返摆动, 如图 6 所示。

③ 学生说让  $v_0 = 10 \text{ m/s}$  看看, 结果如图 9 所示。

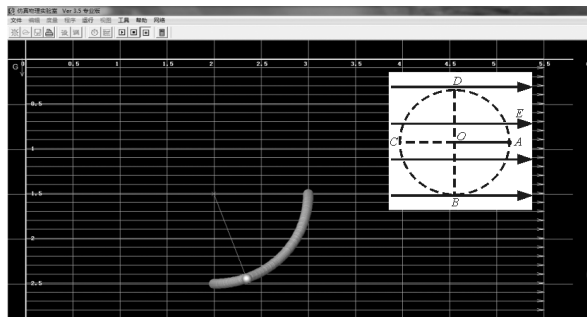


图6 运行实验图

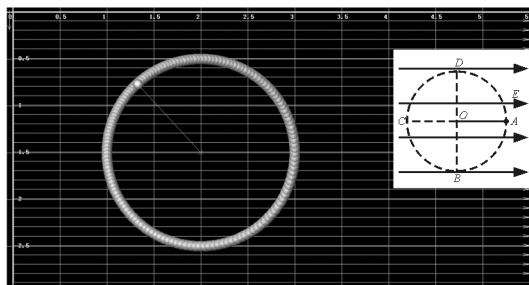


图9  $v_0 = 10 \text{ m/s}$  的运动情景

2) 在 B 点给小球水平向右的速度  $v_0$  ( $v_0$  的值由小逐渐增大)

3) 将小球由 C 点静止释放

(实验前教师让学生猜测带电小球的运动情况, 学生大胆猜测, 激情满满)

① 下面是  $v_0 = 3 \text{ m/s}$  时的运动情景, 如图 7 所示。

实验情况如下: 带电小球先做直线后做部分的圆周运动(往复的摆动), 如图 10(a), (b) 所示。

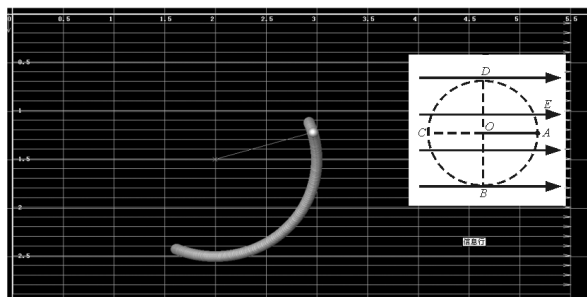
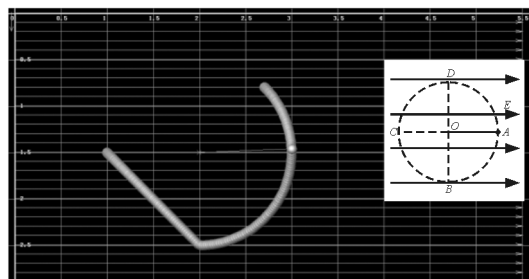
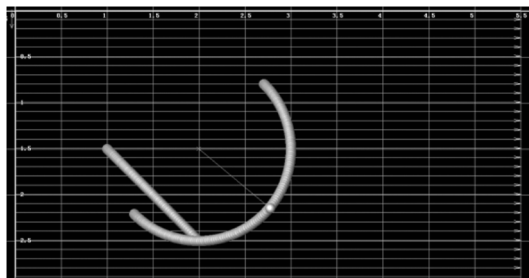


图7  $v_0 = 3 \text{ m/s}$  时的运动情景



(a)



(b)

图10 小球由 C 点静止释放后的运动情景

② 图 8 所示为  $v_0 = 7 \text{ m/s}$  时的运动情景, 可以清楚地看到小球通过了几何最高点, 但是没能做完整的圆周运动, 学生看到此景开始“沸腾”了, 开始喊着  $v_0$  等于多大才能做完整的圆周运动呢? (教师给学生创设一个“认知冲突”, 让他们开始时根据以往的知识产生一个错误的认识, 教师设计某一场景揭示这个错误, 进而追究事情的本质, 这样学生才会记忆深刻, 让新的、正确的知识替代以往错误的认识<sup>[1]</sup>)

(4) 请学生讨论, 尝试解释看到的实验现象。

(5) 教师和学生共同总结“等效重力场”模型。(非本文重点阐述的内容, 不做具体说明)

## (6) 课后思考:

若改变电场强度  $E$  的大小,其他条件不变的情况下,重复(3)中2)的实验步骤,小球的运动将会怎样? (如变成  $qE = \frac{4}{3}mg$ )

## 3.2 带电体在复合场中的“摆轮线运动”教学案例简介

(1) 提出问题:如图 11 所示,一束质量为  $m$ 、电荷量为  $q$  的带正电粒子,以不同的速度  $v_0$  垂直进入正交的匀强电场  $E$  和匀强磁场  $B$  中,其中匀强电场平行纸面向下,匀强磁场垂直纸面向里,试分析不同的速度  $v_0$  对应的运动情况<sup>[2]</sup>. (不计带电粒子重力及粒子间相互作用)

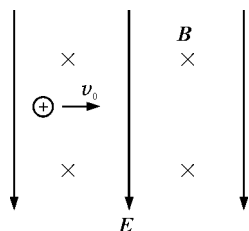
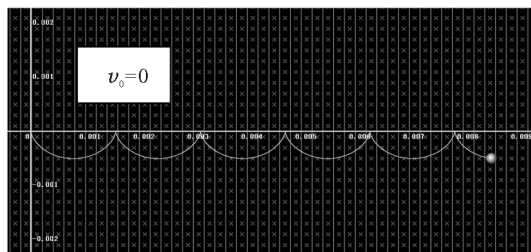


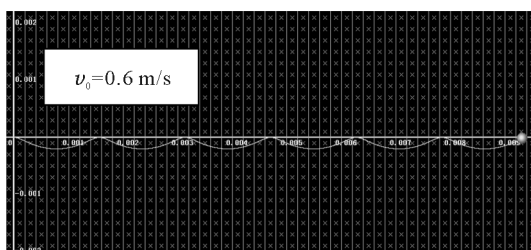
图 11 带正电粒子以不同速度  $v_0$  垂直进入正交的匀强电场和匀强磁场

(2) 用“仿真物理实验室”进行仿真,请学生观察带电粒子以不同的速度  $v_0$  进入复合场时对应的运动情景. ( $v_0$  的赋值让学生在软件中给定)

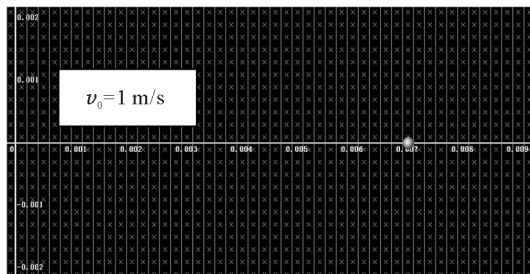
在仿真物理实验室中设置:  $m = 1.6 \times 10^{-4} \text{ kg}$ ;  $q = +0.64 \text{ C}$ ;  $B = 1 \text{ T}$ , 方向垂直纸面向里;  $E = 1 \text{ N/C}$ , 方向竖直向下; 不计重力. 实验结果如图 12(a), (b), (c), (d), (e), (f) 所示.



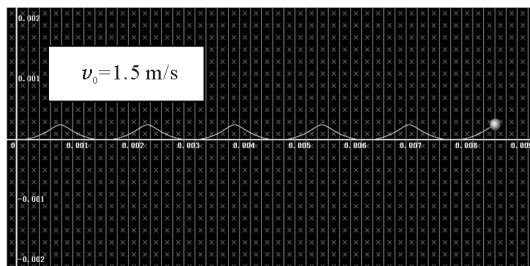
(a)



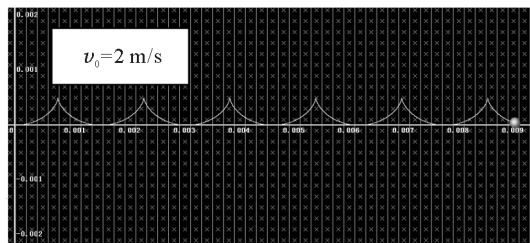
(b)



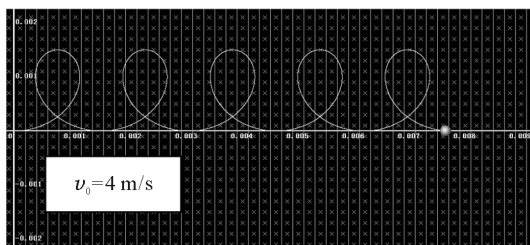
(c)



(d)



(e)



(f)

图 12 带电粒子以不同速度  $v_0$  进入复合场时对应的运动情景

(3) 教师带领学生分析部分情况下的实验现象.

1) 请学生尝试解释  $v_0 = 1 \text{ m/s}$  时的运动情形 (速度选择器的基本原理).

2) 教师示范解释  $v_0 = 0$  时的运动情形.

分析: 前面已分析在  $v_0 = 1 \text{ m/s}$  沿  $+x$  轴方向时电场力和洛伦兹力平衡做匀速直线运动, 受其原理启发, 设想正粒子在图 13 所示的坐标系中从  $O$  点起就有一个沿  $+x$  轴方向, 大小  $v_x = 1 \text{ m/s}$  的始终不变的分速度, 和在  $O$  点同时有一个沿  $-x$  方向的大小也是  $v'_x = 1 \text{ m/s}$  的分速度 (其合速度为零). 此时  $qE = Bqv_x$ , 所以在沿  $+x$  方向做匀速直线运动. 同时, 沿

## 楞次定律的多角度阐释及其应用

万大林

(六盘水市广播电视大学 贵州 六盘水 553000)

黄绍书

(六盘水市第23中学 贵州 六盘水 553000)

(收稿日期:2018-05-21)

**摘要:**基于楞次定律的表述比较抽象,不便于理解.结合教学实践从场、运动以及能量等3个角度对楞次定律进行阐释,并给出实例予以分析强化其应用.

**关键词:**楞次定律 阻碍 应用 相对运动 能量转化

## 1 问题的背景

1834年,俄国物理学家海因里希·楞次(H. F. E. Lenz, 1804—1865)在概括了大量实验事实的基础上,总结出了著名的楞次定律.

楞次定律在各类大、中学物理教材<sup>[1,2]</sup>中,通常有这样类似表述:闭合电路中感应电流所激发的磁场总是阻碍引起感应电流磁场的磁通量变化.

楞次定律是判断感应电流方向的定律,特别是对由磁场变化产生的感生电动势引起的感应电流

— $x$ 方向的 $v'_x$ 产生一个沿 $-y$ 方向的洛伦兹力使粒子在 $xOy$ 平面内做逆时针的匀速圆周运动,粒子的实际运动就是这两个运动的合运动<sup>[3]</sup>. (非本文重点阐述的内容,故未做详细分析)

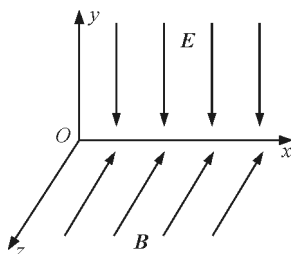


图13  $v_0 = 0$ 时正粒子运动的情形分析示意图

(4) 请学生讨论,尝试用分解速度的方法解释其他运动的实验现象.

(5) 教师和学生共同总结处理此类问题的方法.

(6) 课后思考:

1) 若此问题中电场不存在,但计重力和洛伦兹

(涡旋电流)方向的判断,楞次定律可作为一种有力工具.

楞次定律的表述比较抽象,其中“阻碍”的含义深邃,对于初踏讲坛的教学工作者和部分学生总存在不同程度的理解障碍.因此,从多角度理解楞次定律极其重要也很必要.

目前,以楞次定律问题为题材的文章有数百篇之多<sup>[3~6]</sup>,且基本都是以中学教学为依托.这些文章中,关于对“阻碍”的理解,几乎都只停留在“阻碍磁通量变化”和“阻碍相对运动”的浅层理解上.从能

力,怎么处理?

2) 若此问题中电场、磁场和重力场同时存在,且合力不为零,怎么处理?

## 4 结束语

借助“仿真物理实验室”让学生观看到带电体在各种复合场中游走的动态场景以及留下的运动轨迹,发现各种轨迹的特色,教师带动学生欣赏带电体在复合场中运动的轨迹,可以激发学生在探究中学会欣赏,在欣赏中促进学习能力的提高.

## 参考文献

- 1 陈龙. 创造认知冲突,激发学生学习兴趣——以“超重与失重”教学为例. 中学物理, 2016, 34(19): 17~19
- 2 桂健生. 带电粒子在复合场中运动的分解. 中学物理, 2008, 26(23): 10~12
- 3 汤家合. 复合场中带电粒子运动轨迹的再探讨. 中学物理, 2008, 26(17): 6~9