

# 基于核心素养建构圆模型 圆满解决电磁学问题\*

陈红林

(曲靖市第二中学 云南 曲靖 655000)

(收稿日期:2020-11-14)

**摘要:**科学思维和创新作为高中物理学科核心素养的一个维度,在4个维度中起着核心作用.而物理建模是发展科学思维和创新的一大捷径,想要更直观、简便地解决物理问题,常常需要把复杂的实际问题转化成简单的物理模型.因此,在实际教学过程中确实加强物理建模能力的培养与创新是至关重要的,这也是提升学生物理学习能力、培养学生物理核心素养的重要渠道.文中就以圆这一物理模型在高中物理中的建模与应用进行分类阐述,帮助学生正确建构物理圆模型,发展科学思维、提高物理核心素养.

**关键词:**核心素养 物理建模 圆模型

## 1 构建圆模型解决电场问题

电场强度和电势作为描述电场力的性质与能的性质两个重要物理量,在高考中经常涉及.而点电荷作为一种重要特殊的物理模型,要充分利用圆或球的相关性质进行物理建模,比如点电荷的等势球面;点电荷任意半径 $R$ 的球面上各点场强大小相等;均匀带电球壳或者球体在球外空间产生的电场可以等效于电荷集中于球心处的点电荷;等量同种电荷关于连线中心对称的两点场强大小相等、方向相反;等量异种电荷关于连线中心对称的两点场强相同等等,都可以科学地建构圆或球的模型来解决电场相关问题.

**【例1】**均匀带电的球壳在球外空间产生的电场等效于电荷集中于球心处产生的电场.如图1(a)所示,在半球面 $AB$ 上均匀分布正电荷,总电荷量为 $q$ ,球面半径为 $R$ , $CD$ 为通过半球顶点与球心 $O$ 的轴线,在轴线上有 $M$ 和 $N$ 两点, $OM = ON = 2R$ .已知 $M$ 点的场强大小为 $E$ ,则 $N$ 点的场强大小为( )

- A.  $\frac{kq}{2R^2} - E$       B.  $\frac{kq}{4R^2}$   
C.  $\frac{kq}{4R^2} - E$       D.  $\frac{kq}{4R^2} + E$

**解析:**如图1(b)所示在半球面 $AB$ 右侧补上另一个电荷量为 $q$ 的半球面,则建立了一个均匀带电荷量为 $2q$ 的球壳模型.因此,所求 $N$ 点的场强大小等于带电荷量为 $2q$ 的球壳与带电荷量为 $q$ 的右半球壳在 $N$

点的矢量差,即 $E_N = \frac{k2q}{(2R)^2} - E$ .所以选项A正确.

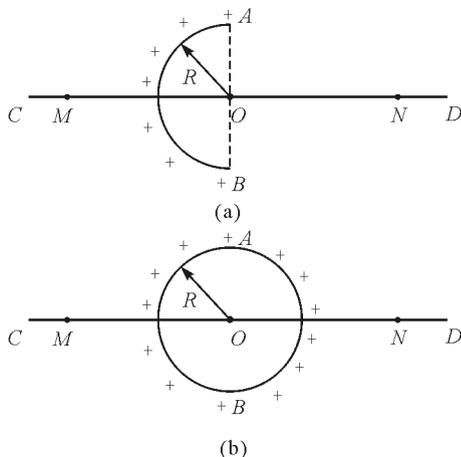


图1 例1题图

**【例2】**均匀带电的导体球内部各点电势相等.如图2(a)所示,在半球面 $AB$ 上均匀分布着正电荷,总电荷量为 $q$ ,球面半径为 $R$ , $CD$ 为通过半球顶点与球心 $O$ 的轴线,在轴线上有 $M$ 和 $N$ 两点, $OM = ON = 0.5R$ .已知 $M$ 点的电势为 $\varphi$ , $O$ 点的电势大小为 $\frac{kq}{R}$ ,则 $N$ 点电势大小为( )

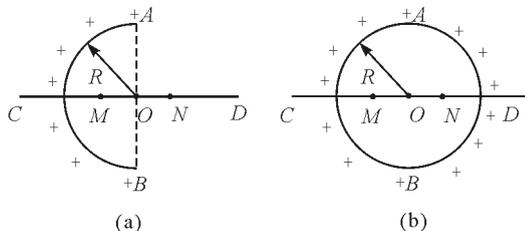


图2 例2题图

\* 曲靖市教育科学规划项目2021年度专项课题“基于物理学科核心素养大单元学历史案课堂教学策略研究”,项目编号:QJ21Z2005

- A.  $\frac{kq}{R} - \varphi$       B.  $\frac{2kq}{R} - \varphi$   
 C.  $\frac{kq}{R} - 2\varphi$       D.  $\frac{2kq}{R} - 2\varphi$

**解析:**如图 2(b) 在半球体 AB 右侧补上另一个电荷量为  $q$  的半球体, 则建立了一个均匀带电荷量为  $2q$  的球体模型, 由对称性可知, 右半球在 M 点的电势  $\varphi_M$  等于左半球在 N 点的电势, 即

$$\varphi_N = \varphi_M \quad (1)$$

根据球体内 M 点与 O 点电势相等得

$$\varphi + \varphi_M = \frac{kq}{R} + \frac{kq}{R} \quad (2)$$

由式(1)、(2) 解得

$$\varphi_N = \frac{2kq}{R} - \varphi \quad (3)$$

故选项 B 正确.

以上两个例题在学生正确的物理观念前提下, 先通过假设法来建立球体模型, 再采用对称的思想进行科学推理最后得出正确结论. 充分体现了物理核心素养中的物理观念与科学思维.

## 2 构建圆模型解决磁场中的问题

带电粒子在均匀磁场中垂直于磁场的平面内运动轨迹为圆, 所以要在充分利用圆的相关性质上去建构轨迹圆模型, 常用的轨迹圆模型有如下几种:

(1) 对于在磁场中入射速度方向恒定、大小变化的粒子, 可以如图 3 建构“放缩圆”解决临界问题, 如当圆轨迹与直线边界相切时存在临界值.

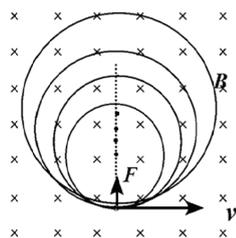


图 3 放缩圆

(2) 对于在磁场中入射速度大小恒定、方向变化的粒子, 可以如图 4 建构“旋转圆”解决临界问题.

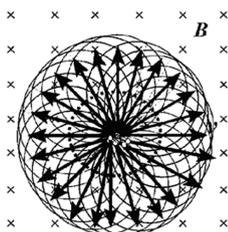


图 4 旋转圆

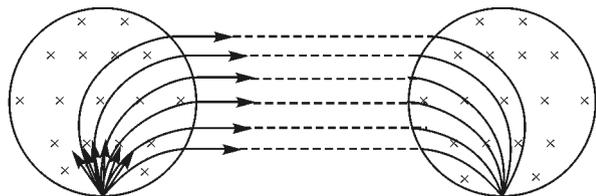
设粒子运动半径为  $R$ , 则平面内有粒子通过的最大面积为  $4\pi R^2$ , 粒子能达到的最远距离为  $2R$ .

(3) 沿圆形磁场半径方向射入磁场的粒子, 必沿半径方向射出磁场(即径向入射必径向出射).

(4) 当圆形磁场的半径与轨迹圆半径相等时, 存在两条特殊规律, 如图 5 所示.

**规律一:**带电粒子从圆形有界磁场边界上某点射入磁场, 则粒子的出射速度方向与圆形磁场上入射点的切线方向平行, 如图 5(a) 一点发散成平行.

**规律二:**平行射入圆形有界磁场的相同带电粒子, 其所有粒子都从磁场边界上的同一点射出, 并且出射点的切线与入射速度方向平行, 如图 5(b) 平行会聚于一点.



(a) 一点发散成平行

(b) 平行会聚于一点

图 5 圆形磁场的聚焦问题

**【例 3】**如图 6 所示, 在一水平放置的平板 MN 的上方有匀强磁场, 磁感应强度的大小为  $B$ , 磁场方向垂直于纸面向里. 大量质量为  $m$ , 带电荷量为  $+q$  的粒子, 以相同的速率  $v$  沿位于纸面内的各个方向, 由 O 点射入磁场区域. 不计重力, 不计粒子间的相互影响. 下列图中阴影部分表示带电粒子可能经过的区域, 其中  $R = \frac{mv}{qB}$ . 哪个图是正确的( )

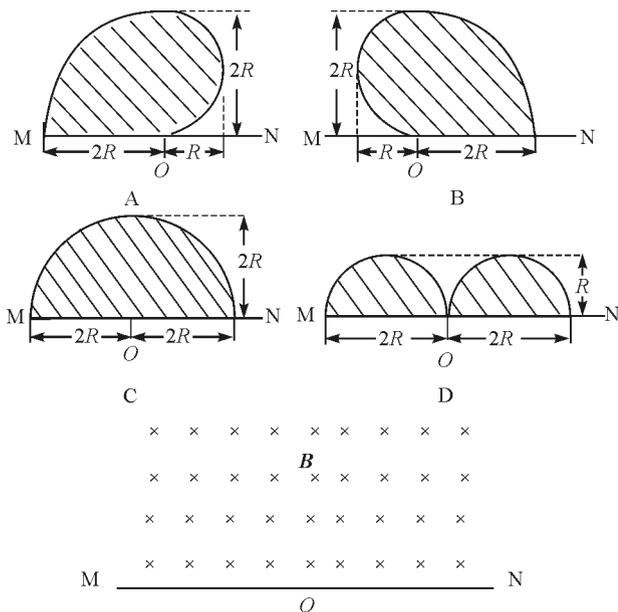


图 6 例 3 题图

**解析:**根据旋转圆法作图建构如图 7 所示的圆模型,可知带电粒子可能经过的区域为选项 A.

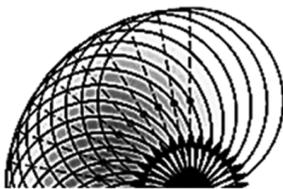


图 7 圆模型

**【例 4】**如图 8 所示,一足够长的矩形区域  $abcd$  内充满方向垂直纸面向里的、磁感应强度为  $B$  的匀强磁场,在  $ad$  边中点  $O$ ,垂直于磁场射入一速度方向与  $ad$  边夹角  $\theta = 30^\circ$ ,大小为  $v_0$  的带正电粒子.已知粒子质量为  $m$ ,电荷量为  $q$ , $ad$  边长为  $L$ , $ab$  边足够长,粒子重力不计,求:

- (1) 粒子能从  $ab$  边上射出磁场  $v_0$  的大小范围;
- (2) 如果带电粒子不受上述  $v_0$  大小范围的限制,求粒子在磁场中运动的最长时间.

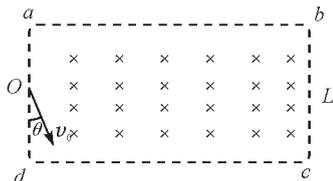


图 8 例 4 题图

**解析:**此题属于入射速度方向恒定、大小变化的粒子,如图 9 所示可以改变轨道半径画放缩圆,当半径为  $R_1$  时轨迹与  $ab$  边相切其速度最小;半径为  $R_2$  时轨迹与  $dc$  边相切其速度最大.

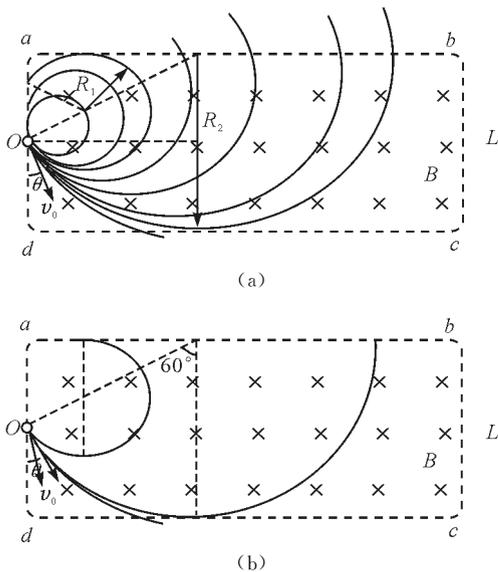


图 9 放缩圆解析图

由几何关系得

$$R_1 + R_1 \sin 30^\circ = \frac{L}{2} \quad (4)$$

$$R_2 + R_2 \sin 60^\circ = \frac{L}{2} \quad (5)$$

又因为

$$qvB = \frac{mv^2}{R} \quad (6)$$

联立上式得

$$\frac{qBL}{3m} \leq v_0 \leq \frac{qBL}{m} \quad (7)$$

如图 9 由对称性可得粒子在磁场中运动的最长时间为

$$t = \frac{300^\circ}{360^\circ} \frac{2\pi m}{qB} = \frac{5\pi m}{3qB} \quad (8)$$

**【例 5】**(2009 年高考理综海南卷)如图 10 所示,  $ABCD$  是边长为  $a$  的正方形.质量为  $m$ ,电荷量为  $e$  的电子以大小为  $v_0$  的初速度沿纸面垂直于  $BC$  边射入正方形区域.在正方形内适当区域中有匀强磁场.电子从  $BC$  边上的任意点入射,都只能从  $A$  点射出磁场.不计重力,求:

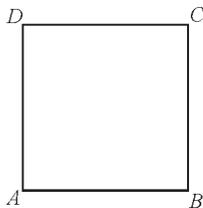


图 10 例 5 题图

- (1) 此匀强磁场区域中磁感应强度的方向 and 大小;
- (2) 此匀强磁场区域的最小面积.

**解析:**(1) 此题属于会聚一点的问题,因而建立圆形磁场模型.当平行粒子束射入圆形匀强磁场时,若轨道半径与磁场圆半径  $a$  相同,则这些带电粒子将会聚于初速度方向与磁场圆的切点  $A$ .由  $ev_0B = \frac{mv_0^2}{a}$  得所加匀强磁场的磁感应强度大小为  $B = \frac{mv_0^2}{ea}$ ,方向垂直于纸面向外.

(2) 如图 11 所示,以  $D$  为圆心, $a$  为半径的圆周与电子最上边轨迹  $CEA$  圆弧所围的区域,就是所求的最小磁场区域.其面积为

$$S = 2 \left( \frac{1}{4} \pi a^2 - \frac{1}{2} a^2 \right) = \left( \frac{\pi}{2} - 1 \right) a^2$$

# 显化物理方法的绳船模型纠错教学

顾忠伟

(江阴市第二中学 江苏 江阴 214400)

(收稿日期:2021-04-25)

**摘要:**以绳船模型为例,列举了学生的典型错误,分析了学生的错因,并采取了凸显物理方法的纠错教学.指明了纠错教学按照制造认知冲突发现错误、顺着学生错误探究正解、利用新方法重构认知等3步进行,在此过程中凸显了特殊值法、二次分解法、微元法、功能原理法、求导法的运用.

**关键词:**显化 物理方法 纠错 绳船模型

学生在学习中只有掌握方法才能提升物理成绩,才能将物理知识迁移到新问题的解决中.绳船模型中运动的合成与分解是典型问题,学生出错概率较大,且顽固难以纠正.越是教学的难点越要凸出方法的重要性,从方法教育的视角开展教学.让学生在纠错过程中,掌握知识本质,并悟透方法,为学生素

养的养成奠定基础<sup>[1]</sup>.下面以绳船模型的纠错教学为例,介绍了凸显方法纠错的教学步骤,具体措施,及凸显的物理方法.

## 1 学生典型错误及顽固性

学生在学习中出错在所难免,尤其是对物理这

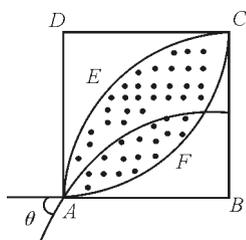


图 11 例 5 题分析图

例 3,例 4 和例 5 这 3 个例题以带电粒子的轨迹

圆分别建立旋转圆、放缩圆、磁聚焦物理圆模型,让学生运用抽象与联想、推演与计算、模型与建模等思维方法来组织、调动相关的知识与能力,解决生活实际情境或学习探索情境的问题<sup>[1]</sup>.

## 参考文献

- 1 顾明远. 核心素养:课程改革的原动力[J]. 人民教育, 2015(13):17~18

# Constructing Circle Model Based on Core Accomplishment Satisfactory Solution the Electromagnetics Issues

Chen Honglin

(Qujing No. 2 Middle School, Qujing, Yunnan 655000)

**Abstract:** As a dimension of high school physics core literacy, scientific thinking and innovation play a pivotal role in the four dimensions. Physical modeling is a shortcut to the development of scientific thinking and innovation. In order to solve physical problems more intuitively and simply, it is often necessary to transform complex practical problems into simple physical models. Based on the construction and application of the physical model of "circle" in electromagnetism, this paper expounds how to help students construct the physical model, develop scientific thinking and improve the core quality of physics.

**Key words:** core literacy; physical modeling; circular model