

几个热门安培力小实验的诠释

孙 启¹, 何 奕², 李成金¹

1. 苏州大学文正学院, 江苏 苏州 215104

2. 苏州大学物理科学与技术学院, 江苏 苏州 215006

摘 要: 本文针对近期在大中学生及网络中流行的三个典型的与安培力有关的实验, 即电动小火车、小小电动机以及简易直流电动机等实验, 作了定性解释。同时, 笔者认为, 在重视物理问题的定量解决的过程中, 应结合定性解释, 且会有事半功倍的效果。

关键词: 强磁铁; 磁感应线; 磁场的径向分量; 安培力; 反作用力; 力矩

中图分类号: G633.7

文献标识码: A

文章编号: 1003-6148(2018)5-0051-2

1 引言

1.1 当前网上流行的几个电磁学的小实验

近期看到网上传播一些电磁学的小实验, 如电动小火车、小小电动机以及简易直流电动机等, 如图1、2、3所示。引起许多网友和学生对于这些电动设备或科学小制作的兴趣。图1中显示了用裸铜线绕成的长螺线管, 是“小火车”的隧道, “小火车”则由两头吸有圆柱形强磁铁的南孚电池形成, 磁铁的同名磁极相对。将“小火车”从螺线管的一端插入后, “小火车”将会自动在隧道中穿行。图2则显示了用南孚电池强磁块及用铜线管制好的非闭合型导线框。其中, 电池正极的金属帽正中用钉子敲一个坑作为导线框的中心支点。



图1 电动小火车



图2 小小电动机



图3 简易直流电动机

1.2 理念解释

为此, 一些朋友通过相关杂志发表了一些文章, 对图1中的电动小火车作了详细解释。其中, 有的文献对电池(小火车)经过处的磁场进行了详细计算, 并对受力及运动情况作了分析^[1-2]。有文献对于线圈周围的磁场分布进行了数值计算

和 MATLAB、COMSOL 仿真研究^[3-4], 还有文献对于影响小火车速度和功率的相关参量进行了分析^[5]。这些文献无疑对于解释小火车运动的原理做了有益的工作。然而, 这类问题常涉及永久磁铁, 而磁铁的磁场分布以及在磁场中的受力情况难以定量计算。笔者从磁场对于载流导线作用的安培力角度, 作定性分析, 则比较简单、直观, 容易理解。

2 电动小火车运动的定性分析

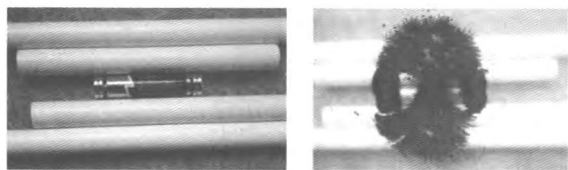
众所周知, 条形磁铁的 N 极发出磁感应线, S 极回收磁感应线, 两极的磁性较强。当两 N 极相隔一定距离相对时, 磁感应线将相互排斥, S 极同理。如图4(b)(或参见文献[3]中的图5所示)。

为了描述电池和磁铁构成的小火车周围的磁场, 我们设计了图4的实验。如图4所示, 四个纽扣式小磁铁, 两个一组, N、S 极顺序相接, 相当于一个磁铁。两组的 N 极相对与电池的正负极连接。将一些铁屑均匀地撒在光滑透明的硬塑料板上, 将塑料板置于吸有磁铁的电池之上。轻轻敲击即可发现塑料板上的铁屑分布——电池周围的磁场分布。由图4(b)的铁屑的分布可见, 当同名磁极相对, 且居于电池两端时, 磁感应线呈强烈排斥状。若 N 极相对, 则磁场有较强径向分量, 且向外。相反, 若 S 极相对, 则磁场有较强径向分量, 且向内。

收稿日期: 2018-02-02

基金项目: 本文为苏州大学文正学院教改立项重点课题“面向独立学院应用型人才培养的普通物理实验分层教学模式的研究与实践”(sdwz-2017-01)的研究成果。

作者简介: 孙启(1996-), 男, 苏州大学文正学院测控16级学生; 李成金(1960-), 男, 教授, 主要从事大学物理及实验教学研究。



(a)N 极相对,吸于电池两极 (b)塑料板上的铁屑分布

图 4 电池周围磁场分布的描述

上述两种情况,无论出现哪一种,只要线圈中流有电流,载流导线就会受力,其反作用力则作用在小火车上。具体的受力方向与铜丝的绕制方向、磁极吸附方向以及电池的正负极有关。以笔者所购的铜丝为例,详细分析如下:

如图 5 所示,磁铁 N 极相对,S 极相背。电池左端为正极,右边为负极。当左、右两端的磁铁与线圈内壁接触时,便有电流从左端的电池正极流出,从右端电池的负极流回,线圈其他部分没有电流,考虑线圈的绕制方向,从正面看,导线中的电流向上。由于 N 极相对,除中点外,处处有沿径向向外的磁场分量和轴向分量,且具有轴对称性。线圈中的电流在径向向外的磁场中受安培力向右,其反作用力作用在电池火车上,方向向左。于是,小车加速向左运动。而磁场的轴向分量对电流的安培力方向沿径向向里或向外,这些力对小火车沿管道的运动影响不大。实验也证明了上述结论。这种分析避开了定量计算,比较直观,容易理解和掌握。

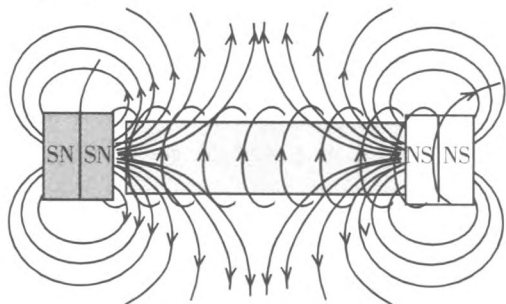


图 5 小火车受力分析

3 小小电动机的定性解释

下面简要分析一下图 2 中的情况。如图 2 所示,电池下边吸一块汝铁硼强磁铁,金属线框做成图示形状,下端做两个半圆弧,不闭合,但均与磁铁接触。当磁铁 N 极向上时,其上方有线框区域的磁感应线分布情况如图 6 所示,显然线框区域内有沿径向向外的磁场分量,在此分量的磁场中,右边载流导线受力沿纸面向外,左边导线受力向里。因此,线框将顺时针(俯视图)方向旋转。相反,如果 S 极向上,线框将逆时针旋转。上述结论得到了实验证明。

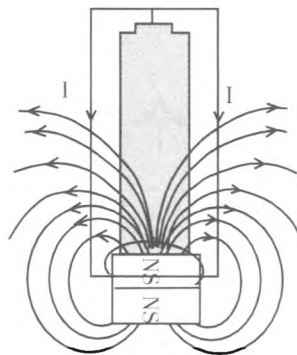


图 6 小小电动机受力分析

4 简易直流电机的定性解释

图 3 应用的是简易直流电动机原理。其中,各部分配件如下:木框架下边的黑色圆片是汝铁硼强磁铁,左右两边的支架上边各有一个 Y 形金属架,该金属架分别与电池正、负极相连,且其上边支撑一个用漆包线绕制而成的线圈。线圈两头拉出来的作为支撑的两根线做了特别处理。当线圈面处于竖直位置时,其一根线(如左边线)的下半柱面的绝缘漆被去掉(可称为半裸),另一根线(右边线)的绝缘漆全部去掉(及全裸)。若磁铁的 N 极向上,从而 \vec{B} 向上,左边 Y 形金属接电源正极,右边 Y 形金属接负极。如果线圈顺时针绕制,则线圈的磁矩 \vec{m} 方向向里。此时,在力矩 $\vec{L} = \vec{m} \times \vec{B}$ 作用下,线圈将顺时针(从左边看过去)旋转。当线圈转过四分之一周时,半裸导线的绝缘部分开始与 Y 形金属接触,不导电,线圈中无电流,因此无动力。但由于惯性(为保证有足够的动能使其转过无动力的半周,最好给它一点初动能)线圈将继续顺时针转动,直到半裸处再次接通,继续旋转。可见,这种简易电动机在一周之内只有半周有动力。而工程上的直流电机,应用专门设计的换向器,可以保证一周之内全部有扭转力矩作用。

综上所述,在日常教学中,可以定量计算的同时,辅之以定性解释,可以使问题变得简单、直观,回归于物理学的实验科学本源。

参考文献:

- [1]肖穹桥,谢宝增.磁场对通电导线作用力的趣味实验[J].物理教学探讨,2018,36(3):53-55.
- [2]闫峰.磁动力小火车的驱动原理[J].中学物理教学参考,2015,44(7):7-8.
- [3]康丽军,高茜.磁动力小火车的驱动原理和影响因素分析[J].太原学院学报,2017,35(3):40-44.
- [4]刘建晓,孟令辉,郑永春,等.磁力小车的 MATLAB 仿真研究[J].衡水学院学报,2017,19(1):5-8.
- [5]王明超.磁力小火车的实验与影响因素分析[J].自动化应用,2016(4):4-5.

(栏目编辑 王柏庐)