

## 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)

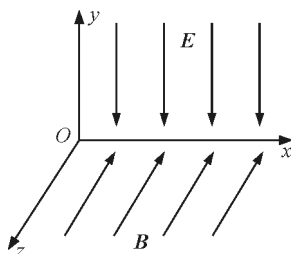


图13  $v_0 = 0$ 时正粒子运动的情形分析示意图

(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

量转化角度深层理解“阻碍”本质的文献还很少见<sup>[7]</sup>.

## 2 阐释与应用分析

### 2.1 从场的角度理解阻碍原磁通量变化

这里约定(下同),将楞次定律表述中的“感应电流所激发的磁场”称为“感应电流磁场”,“引起感应电流的磁场”称为“原磁场”,“引起感应电流的磁场的磁通量”称为“原磁通量”.这样,楞次定律就可简化表述为:闭合电路中感应电流磁场总是阻碍原磁通量变化.

这其中“变化”有两层含义,或“增加”或“减少”.因此,“阻碍原磁通量变化”也有两层含义.

当原磁通量增加时,感应电流磁场就阻碍原磁通量增加,阻碍的方法或手段就是“感应电流磁场与原磁场方向相反”,这样就削弱了原磁通量增加的趋势.反之,当原磁通量减少时,感应电流磁场就阻碍原磁通量减少,阻碍的方法或手段就是“感应电流磁场与原磁场方向相同”,这样同样是削弱了原磁通量减少的趋势.

因此,“阻碍变化”并不等于“阻止变化”,而是“削弱变化”的意思,也就是相当于“给变化设置障碍”.但是,该“怎样变化”还得“怎样变化”.

利用楞次定律判断感应电流方向,必须结合电流磁效应并与右手螺旋定则相配合.若涉及到感应电流大小变化时,还必须结合电磁感应定律.

**【例1】**如图1所示, $a, b$ 为处在同一平面的同轴闭合导线环.当在 $a$ 环中通以如图2所示的正弦交变电流时, $b$ 环中产生的感应电流与时间有怎样的关系呢?

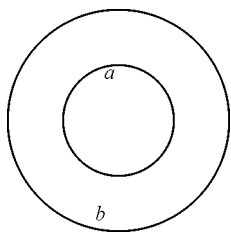


图1 同轴闭合导线

首先必须明确,穿过 $b$ 环的原磁通量是 $a$ 环中电流磁场在 $a$ 环内部的磁感线条数与 $a$ 环外部和 $b$ 环之间的磁感线条数的差值.因此,穿过 $b$ 环的原磁通量变化综合体现为 $a$ 环中电流磁场在 $a$ 环内部的磁

通量变化.

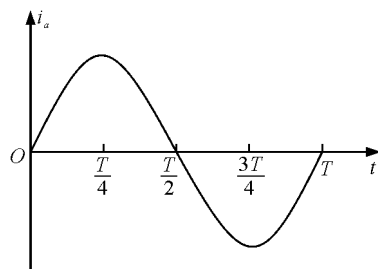


图2 在图1a环中通入的正弦交变电流

由于这一问题不仅涉及感应电流的方向变化,还涉及感应电流的大小变化.因此,具体分析时要结合电磁感应定律.

在分析过程中为了便于表述,一般先规定环中电流正方向以及穿过环面磁通量的正负值.这里以顺时针方向为电流的正方向,以磁感线垂直环面向里的磁通量为正值.那么,根据 $a$ 环中的电流变化规律结合电磁感应定律、楞次定律和右手螺旋定则即可得出 $b$ 环中的感应电流随时间变化的规律是一条余弦曲线,如图3所示.

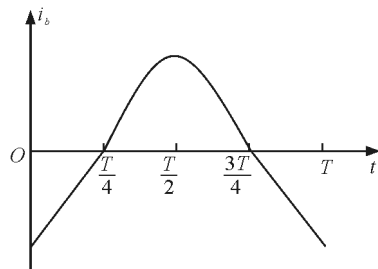


图3  $a$ 环中通入正弦交变电流后, $b$ 环中感应电流随时间变化的曲线  
实际上,这就是变压器的工作原理.

### 2.2 从运动角度理解阻碍相对运动

电磁感应产生的过程,实际就是一种相对运动的过程.在动生情况下,体现为磁场与闭合回路之间发生相对运动的过程;在感生情况下,体现为闭合回路区域内原磁场强弱发生相对变化的过程.事实上,原磁通量变化 $\Leftrightarrow$ 磁场与闭合回路之间的相对运动 $\Leftrightarrow$ 原磁场强弱相对变化.

因此,楞次定律中的“阻碍”可认为就是“阻碍相对运动”.这方面有直接广泛的应用.

**【例2】**如图4所示是准确测量质量的分析天平,其精确度在 $10^{-4} \sim 10^{-5}$  g,是进行精密定量分析不可或缺的工具.分析天平与普通天平相比,多了一些特殊的装置.最典型的是有两个金属筒对称固定在支柱上,悬挂两吊盘的两根抗拉尼龙丝穿过金属

筒,其上分别固定一个永磁体,永磁体恰处于与金属筒等高的位置且在金属筒内部的轴线上.这一装置有什么作用呢?

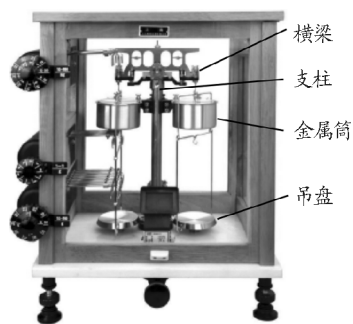


图4 分析天平

这一装置称为电磁阻尼,它的作用是使摆动的天平能很快地停止下来.它的原理其实很简单,当天平摆动时,永磁体在金属筒(闭合回路)上下运动,使得穿过金属筒的原磁通量发生变化而产生电磁感应有感应电流.感应电流磁场与原磁场相互作用,阻碍永磁体与金属筒之间的相对运动,从而使摆动的天平能很快地停止下来.

电磁阻尼应用广泛,在一些用于科学研究的精密仪器上以及一些比较高档的生活用品中都有电磁阻尼装置.

### 2.3 从能量角度理解阻碍是能量转化

电磁感应的产生过程就是能量转化的过程.严格来说,就是机械能转化为电能的过程.那么,这种能量的转化是怎样实现的呢?实际上,这是感应电流磁场对原磁场阻碍的结果.

因此,从能量观点看,在楞次定律中的“阻碍”就是能量转化,若没有“阻碍”,就没有能量转化.

**【例3】**如图5所示,两根足够长的光滑平行导轨由倾斜部分和水平部分采用圆弧连接组成,导轨间距为 $L$ ,倾角为 $\theta$ ,水平部分处于磁感应强度为 $B$ 的竖直向上的匀强磁场中.金属杆 $ab$ 的质量为 $m_1$ 、电阻为 $R_1$ ,金属杆 $cd$ 的质量为 $m_2$ 、电阻为 $R_2$ ,导轨电阻不计.开始时,金属杆 $ab$ 放在倾斜导轨上,与水平导轨的高度差为 $h$ ,金属杆 $cd$ 放在水平导轨上,两杆均与导轨垂直.现将 $ab$ 杆由静止释放,若重力加速度为 $g$ ,且两金属杆 $ab$ 与 $cd$ 始终没有直接接触.那么,整个过程中能量转化情况是怎样的?回路中产生的焦耳热 $Q_{\text{热}}$ 是多少?

很显然, $ab$ 杆未进入水平部分的过程,只是 $ab$

杆的重力势能转化为动能的过程,满足机械能守恒定律.当 $ab$ 进入水平部分后即开始产生电磁感应,由于感应电流磁场的“阻碍”(体现为 $ab$ 杆与 $cd$ 杆通过安培力作用进行的间接完全非弹性碰撞),使 $ab$ 杆速度减小而 $cd$ 杆速度增大,同时回路中产生焦耳热,直至两杆速度相等为止.这一过程就是机械能转化为电能的过程,而电能又以焦耳热的形式散失.

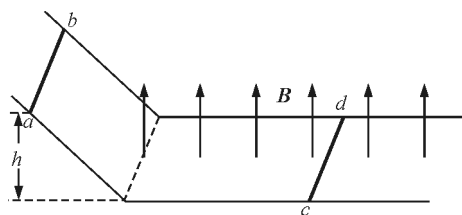


图5 处于磁感应强度 $B$ 的平行导轨上

金属杆 $ab$ 静止释放后,其与金属杆 $cd$ 的运动情况

结合动量守恒定律和能量守恒定律,容易得出

两杆的终极速度 $v = \frac{m_1 \sqrt{2gh}}{m_1 + m_2}$ ,同时计算出整个过程中回路产生的焦耳热 $Q_{\text{热}} = \frac{m_1 m_2 gh}{m_1 + m_2}$ .

不难理解,楞次定律是能量守恒定律在电磁感应现象中的具体体现.

3 结束语

### 3 结束语

物理学中总有很多表述准确而深奥的规律,在教学实践中须从多角度、多层面进行思考,才能很好地理解其深邃的内涵.

关于楞次定律中对“阻碍”二字不同角度的理解,实质上是一致的.每一个案例都可以从上述的3个角度进行分析,只是不同案例凸显的角度有所差异.

### 参考文献

- 1 赵凯华,陈熙谋.新概念物理教程电磁学.北京:高等教育出版社,2003.168~192
- 2 廖伯琴.普通高中课程标准实验教科书物理·选修3-2.济南:山东科学技术出版社,2011
- 3 刘山松,孙慧.浅谈楞次定律“阻碍”二字的理解.高中数理化,2018(6):26
- 4 郑晔豪.浅谈楞次定律中“阻碍”一词的深度解读.中学物理,2016(5):38~39
- 5 马纯奎,曹贵章.浅析楞次定律的四种表达形式.数理化学学习(高三版),2014(1):27
- 6 谢军平.楞次定律的释疑.中学教学参考,2014(11):78
- 7 陈庆伟,张军用.“楞次定律”教学的创新设计.物理通报,2016(8):52~55