

经全国中小学教材审定委员会

2004 年初审通过

普通高中课程标准实验教科书

物理

选修 3-2

人民教育出版社 课程教材研究所 编著
物理课程教材研究开发中心



人民教育出版社

普通高中课程标准实验教科书

物理

选修 3-2

人民教育出版社 课程教材研究所
物理课程教材研究开发中心 编著



03365369

 人民教育出版社

总 主 编：张大昌
副总主编：彭前程
主 编：张维善
执笔人员：刘彬生 周誉蔼 张 颖
绘 图：王凌波 张傲冰 张 良
责任编辑：孙 新 彭 征
版式设计：马迎莺
审 读：王存志

普通高中课程标准实验教科书 物理 选修3-2

人民教育出版社 课程教材研究所
物理课程教材研究开发中心 编著

出 版 人民教育出版社

(北京市海淀区中关村南大街17号院1号楼 邮编:100081)

网 址 <http://www.pep.com.cn>

代 印 河北省出版总社有限责任公司

发 行 河北省新华书店

印 刷 河北新华联合印刷有限公司

版 次 2010年4月第3版

印 次 2018年7月第17次印刷

开 本 890毫米×1240毫米 1/16

印 张 4.75

字 数 100千字

印 数 1,660,880—1,879,379册

书 号 ISBN 978-7-107-20210-0

定 价 5.95元

冀价管〔2018〕57号 冀价审〔2018〕109125 全国价格举报电话:12358

版权所有·未经许可不得采用任何方式擅自复制或使用本产品任何部分·违者必究

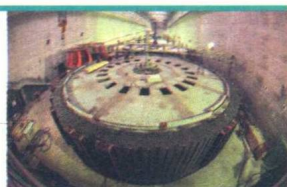
如发现内容质量问题,请登录中小学教材意见反馈平台:jcyjfk.pep.com.cn

如发现印、装质量问题,影响阅读,请与河北新华联合印刷有限公司联系调换。

电话:0311-85538083 邮购电话:400-707-5816; 0311-66720366 投诉电话:400-851-6118

目 录

第四章 电磁感应	1
1 划时代的发现	2
2 探究感应电流的产生条件	5
3 楞次定律	9
4 法拉第电磁感应定律	15
5 电磁感应现象的两类情况	19
6 互感和自感	22
7 涡流、电磁阻尼和电磁驱动	26



第五章 交变电流	30
1 交变电流	31
2 描述交变电流的物理量	34
3 电感和电容对交变电流的影响	37
4 变压器	40
5 电能的输送	45



第六章 传感器	51
1 传感器及其工作原理	52
2 传感器的应用	56
3 实验：传感器的应用	62
附录 一些元器件的原理和使用要点	64



课题研究	67
------	----



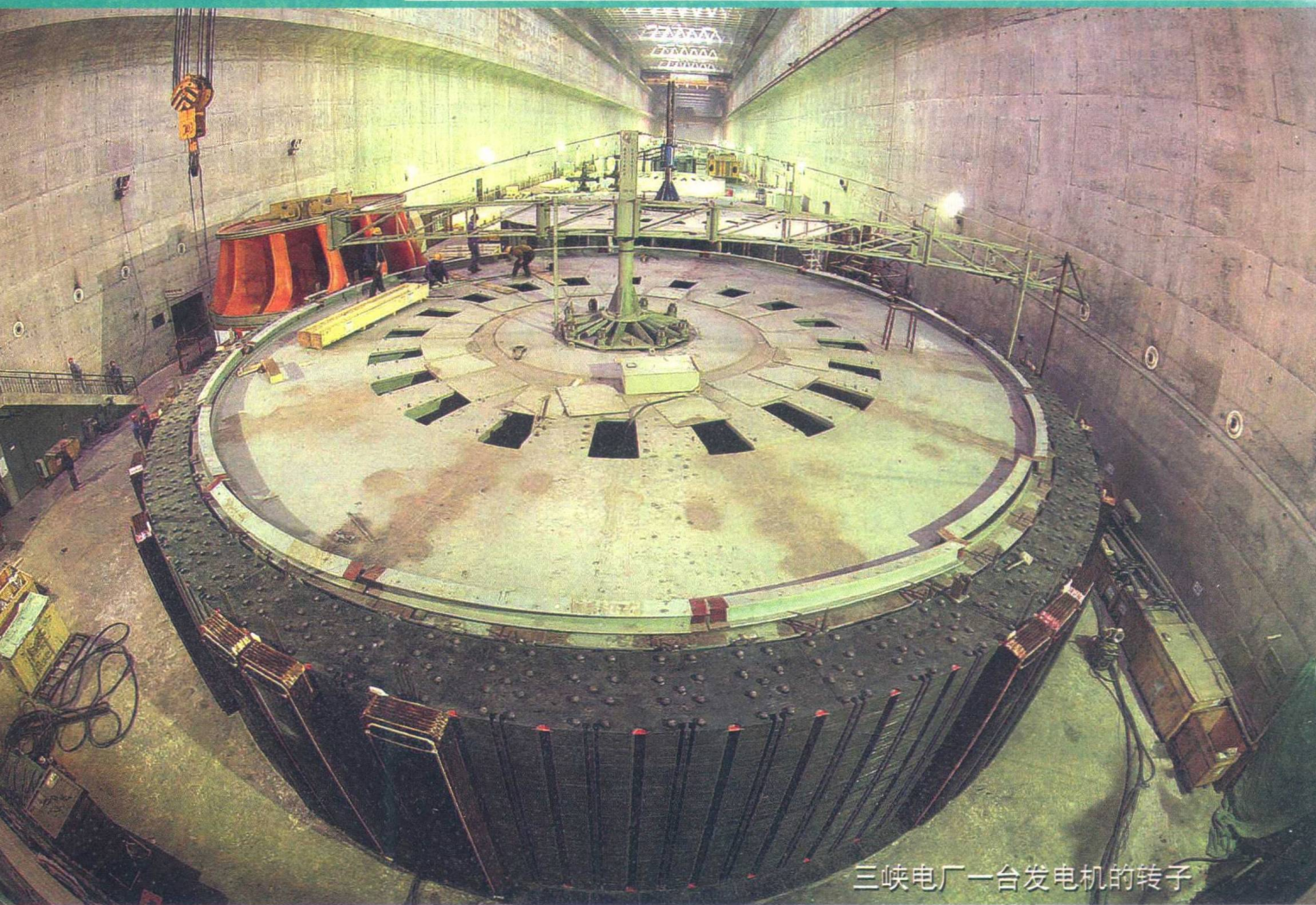
“法拉第先生，它(电磁感应)到底有什么用呢?”

“啊，阁下，也许要不了多久你就可以对它收税了。”

——英国财政大臣格拉斯与法拉第的对话

第四章

电磁感应



三峡电厂一台发电机的转子

朝辞白帝彩云间，千里江陵一日还。

两岸猿声啼不住，轻舟已过万重山。

这首耳熟能详的唐诗，曾给我们带来多少愉悦和幻想呀！如今，诗人笔下的三峡，不仅风景秀丽依然，更在为祖国的建设做着巨大的贡献。三峡电厂共安装 26 台巨型发电机，总装机容量 1 820 万千瓦。千年流淌的滚滚长江，正在焕发着青春。

电厂里巨大的发电机怎么会发出电来？电网中的电压为什么有的高，有的低？怎样改变电压的高低？这些都是这一章我们要学习的内容。

奥斯特梦圆“电生磁” 电磁感应现象的发现是与电流磁效应的发现密切相连的。在19世纪20年代之前的漫长岁月里，电和磁的研究始终独立地发展着。尽管18世纪中叶人们就曾发现雷电能使刀叉、钢针磁化，莱顿瓶(最原始的电容器)放电可使缝衣针磁化等现象，但包括库仑在内的众多物理学家仍然认为电与磁是互不相关的。

到了18世纪末，人们开始思考不同自然现象之间的联系。例如，摩擦生热表明了机械运动向热运动的转化，而蒸汽机则实现了热运动向机械运动的转化。于是，一些颇具慧眼的哲学家如康德(I. Kant, 1724—1804)等，提出了各种自然现象之间相互联系和相互转化的思想。深受其影响的奥斯特相信电与磁之间可能存在着某种联系。1803年奥斯特指出：“物理学将不再是关于运动、热、空气、光、电、磁以及我们所知道的各种其他现象的零散的罗列，我们将把整个宇宙纳在一个体系中。”

然而，奥斯特寻找电与磁相互联系的实验研究并未很快成功。

机遇总是青睐那些有准备的头脑。

在1820年4月的一次讲演中，奥斯特碰巧在南北方向的导线下面放置了一枚小磁针。当电源接通时，小磁针居然转动了！听众中大概没有人注意到这个现象，但由于奥斯特一直惦记着电与磁的联系，这个现象使他振奋。随后的实验证明，电流的确能使磁针偏转。这种作用称为电流的磁效应。

电流的磁效应显示了载导体对磁针的作用力，揭示了电现象与磁现象之间存在的某种联系。奥斯特的思维和实践突破了人类对电与磁认识的局限性。

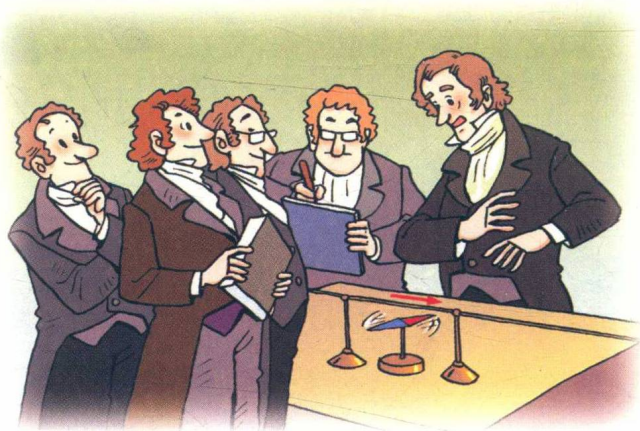
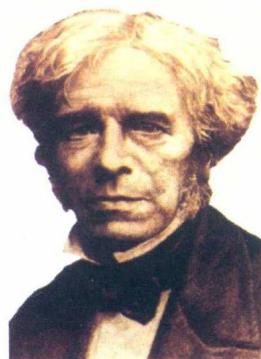


图4.1-1 小磁针一定受到载流导线对它的作用力！

法拉第心系“磁生电” 奥斯特发现的电流的磁效应，震动了整个科学界，它证实电现象与磁现象是有联系的。有关电与磁关系的崭新研究领域洞开在人们面前，激发了科学家们的探索热情。一个接一个新的发现，像浪潮一样冲击着欧洲大陆，也激励着英国的科学界。

电流磁效应的发现引起了这种对称性的思考：既然电流能够引起磁针的运动，那么为什么不能用磁铁使导线中产生电流呢？



法拉第(M. Faraday, 1791—1867)

人们早就认识了磁化现象，知道磁体能使附近的铁棒产生磁性。人们还知道，带电体能使它附近的导体感应出电荷来。英国科学家法拉第敏锐地觉察到：磁与电之间也应该有类似的“感应”，并在1822年的一篇日记中留下了“由磁产生电”这样闪光的思想。

法国物理学家安培也曾将恒定电流或磁铁放在导体线圈附近，试图“感应”出电流，种种尝试均无所获。瑞士人科拉顿的实验研究也遗憾地与成功擦肩而过。只有法拉第依然魂牵梦绕，就像他后来所说的那样：“从通常的磁获得电的希望，曾在各个时期促使我通过实验进行考察……”

然而道路并不平坦。他于1822年12月、1825年11月和1828年4月做过三次集中的实验研究，然而均以失败告终。原因在于，法拉第认为，既然奥斯特的实验表明有电流就会有磁场，那么有了磁场就一定会有电流。遗憾的是，他在这些实验中使用的都是恒定电流产生的磁场，看看这样的磁场是不是会在某个电路中产生感应电流。

多次失败后，1831年8月29日，他终于发现了电磁感应现象：把两个线圈绕在同一个铁环上(图4.1-2)，一个线圈接到电源上，另一个线圈接入“电流表”，在给一个线圈通电或断电的瞬间，另一个线圈中也出现了电流。寻找10年之久的“磁生电”的效应终于被发现了。成功属于坚持不懈的有心人！

法拉第从此茅塞顿开，立即领悟到，“磁生电”是一种在变化、运动的过程中才能出现的效应。于是他设计并动手做了几十个实验，深藏不露的各种“磁生电”的现象喷涌而出。法拉第把引起电流的原因概括为五类，它们都与变化和运动相联系，这就是：变化的电流、变化的磁场、运动的恒定电流、运动的磁铁、在磁场中运动的导体。他把这些现象定名为**电磁感应(electromagnetic induction)**，产生的电流叫做**感应电流(induction current)**。

电磁感应的发现使人们对电与磁内在联系的认识更加完善，宣告了电磁学作为一门统一学科的诞生。当奥斯特发现电流的磁效应时，法拉第曾赞扬道：“它突然打开了科学中一个黑暗领域的大门，使其充满光明。”看来这样的荣誉应由他们共享。



图4.1-2 法拉第用过的线圈

科学足迹

一、科学发现的启迪

诺贝尔奖获得者汤川秀树曾说，对以往知识的熟知和对新鲜事物及其发展前景的敏感，是一个人的创造力的源泉。奥斯特在18世纪末和19世纪初去德国、法国游学时，与当时欧洲的科学家进行了广泛的交流，这无疑使他扩展了科学视野。法拉第应《哲学杂志》之约，自1821年夏天开始撰写题为《电磁学的历史概要》的述评，于是他认真研究了奥斯特、安培等人的工作，阅读了大量文献。他正是从这时开始了寻求电磁感应的智力思考和实验探索。这不正是“对以往知识的熟知和对新鲜

事物及其发展前景的敏感”吗?

历史表明,科学研究的真正魅力在于它的非功利性,然而大多数具有社会责任感的科学家都会将自己的发现、发明与人类的利益和命运联系起来。法拉第发现电磁感应之后,曾为此举行一次科学普及讲座,当时在场的英国财政大臣问道:“它到底有什么用呢?”法拉第认真地回答说:“啊,阁下,也许要不了多久你就可以对它收税了。”这段话后来成为关于科学成就与经济发展、社会进步关系的千古美谈。

科学史上许多重要的发现和发明,常被人们有意无意地罩上神秘的光环,似乎科学家都是能呼风唤雨的魔术师。但是我们在这里看到,具有闪光思维的奥斯特和法拉第,在做出伟大发现的过程中也受着历史局限性的束缚,也有过“可笑”的疏忽与失误。他们是伟大的,但并不是高不可攀的。麦克斯韦曾就法拉第的著作说道:“他既告诉我们成功的经验,也告诉我们不成功的经验;既告诉我们那些成熟的想法,也告诉我们那些粗糙的想法。读者的能力可能远不及他,但是感到的共鸣却常常多于钦佩,并且会引起这样一种信念:如果自己有这样的机会,也会成为一个发现者。”

二、伟大的科学家法拉第

法拉第出生于英国的一个铁匠家庭,曾经在装订工厂当过学徒。他利用这个条件,读了很多科学书籍,从中获得了丰富的知识。他喜欢做实验,还积极参加科学报告会。1813年,22岁的法拉第毛遂自荐,成了著名化学家戴维的助理实验员。

法拉第生活的时代,正值第一次工业革命完成。蒸汽机的应用催生了资本主义大工业,人类进入了工业文明时代,电力应用的前景已经初见端倪。这是一个需要巨人并产生巨人的时代。法拉第看到,伏打电池昂贵、产生的电流小,而自然界中的天然磁石比较丰富。如果可以由磁产生电,就能获得廉价的电力。他说:“我因为对当时产生电的方法感到不满意,因此急于发现磁与感应电流的关系,觉得电学在这条路上一定可以充分发展”。

法拉第能够发现电磁感应现象,是因为他坚信各种自然现象是相互关联的,各种自然力是统一的、“不可毁灭的”、可以互相转化的。法拉第通过广泛的实验研究,寻找电与磁、电与化学、光与磁、电磁场与物质等的可能联系,试图描绘一幅统一的物理世界的图画。法拉第还几次试图从实验上发现重力与电、重力与热之间可能存在的关系。他指出:“有一个古老而不可改变的信念,即自然界的一切力都彼此有关,有共同的起源,或者是同一种基本力的不同表现形式。这种信念常常使我想在实验上证明重力与电力之间联系的可能性。”在类似思想的指引下,现代物理学家仍在不懈地探索自然界不同相互作用的统一的规律。

法拉第还认为,电磁相互作用是通过介质来传递的,并把这种介质叫做“场”,他以惊人的想像力创造性地用“力线”(即现代物理学说的磁感线和电场线)形象地描述“场”的物理图景。

法拉第在一生的探索中遭遇了多次失败。在他当年的日记中,“未显示作用”“毫无反应”“不行”等词语,记录着艰苦的探索历程。几十年的经历使他在晚年感叹道:“……就是最有成就的科学家,得以实现的建议、



猜想、愿望和初步判断，也不到十分之一”。

法拉第谢绝了皇家学会会长、皇家研究院院长、伦敦大学教授等职位和头衔，也不肯接受贵族爵位。1867年8月25日，法拉第坐在书房的椅子上平静地离开了人世。他的学生和朋友丁铎尔(J. Tyndall, 1820—1893)在《作为一个发现者的法拉第》一书中感慨地写道：“在他的眼中，华丽的宫廷和布拉顿高原上的雷雨比起来，算得了什么？皇家的一切器具和落日比较起来，又算什么？我之所以说出雷雨和落日，因为这些现象在他的心里，都可以挑起一种狂喜……”

法拉第把一生献给了科学事业。生活在电气化时代的我们，应该永远缅怀他。

阅读这篇文章后，可以谈谈你对以下问题的看法。

1. 科学家对自然现象、自然规律的某些“信念”，在科学发现中起着重要作用吗？
2. 教科书、科学论文等，是不是应该把科学发现中的失败与挫折也表现出来？

问题与练习

1. 学习初中物理时，你做过的哪些实验说明电现象与磁现象之间是有联系的？
2. 通过初中物理的学习，你认为电路中产生感应电流的条件是什么？

2

探究感应电流的产生条件

如图4.2-1,把导体棒AB的两端分别与电流表的两个接线柱相连，于是构成了一个闭合导体回路。我们在初中已经学过，当闭合导体回路的一部分做切割磁感线的运动时，其中会产生感应电流。还有哪些情况可以产生感应电流？

实验观察

1. 向线圈中插入磁铁，把磁铁从线圈中抽出

如图4.2-2,把磁铁的某一个磁极向线圈中插入、从线圈中抽出，或静止地放在线圈中。

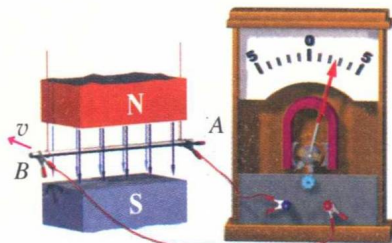


图4.2-1 导体切割磁感线时产生感应电流

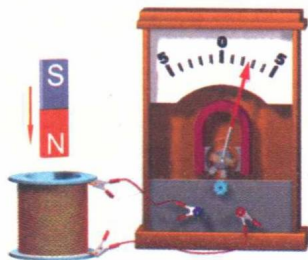


图4.2-2 磁铁插入、抽出或停在线圈中时，电流表指针如何动作？

观察电流表的指针，把观察到的现象记录在下面的表格中。

磁铁的动作	表针的摆动方向	磁铁的动作	表针的摆动方向
N 极插入线圈		S 极插入线圈	
N 极停在线圈中		S 极停在线圈中	
N 极从线圈中抽出		S 极从线圈中抽出	

在这个实验中，什么情况下能够产生感应电流？

2. 模仿法拉第的实验

如图 4.2-3，线圈 A 通过变阻器和开关连接到电源上，线圈 B 的两端连到电流表上，把线圈 A 装在线圈 B 的里面。我们观察，下面几种情况下线圈 B 中是否有电流产生。

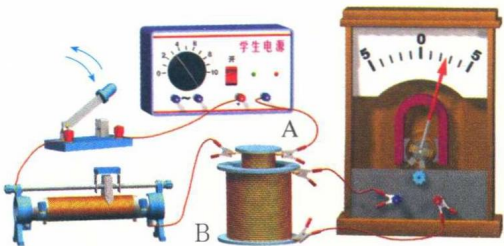
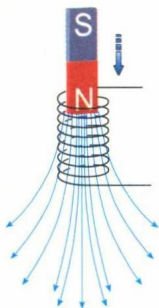


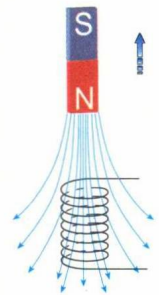
图4.2-3 用开关或变阻器控制一个线圈中的电流，能够在另一个线圈中产生感应电流吗？

开关和变阻器的状态	线圈 B 中是否有电流
开关闭合瞬间	
开关断开瞬间	
开关闭合时，滑动变阻器不动	
开关闭合时，迅速移动滑动变阻器的滑片	

归纳以上四项实验观察的结果，你能得出什么结论？



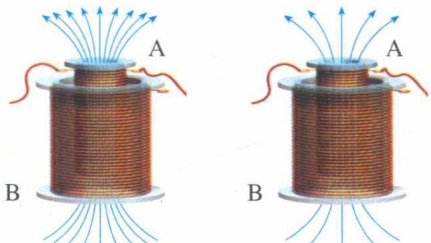
甲 磁场变强



乙 磁场变弱

分析论证 在上面第 1 个实验中，磁铁插入线圈时，线圈中的磁场由弱变强；磁铁从线圈中抽出时，线圈中的磁场由强变弱(图4.2-4)。这两种情况下线圈中有感应电流。

在上面第 2 个实验中，由于迅速移动滑动变阻器的滑片(或由于开关的闭合、断开)，线圈 A 中的电流迅速变化，产生的磁场的强弱也在迅速变化(图4.2-5)，又由于两个线圈套在一起，所以通过线圈 B 的磁场强弱也在迅



甲 磁场变强

乙 磁场变弱

图4.2-5 由于线圈 A 中电流的变化，线圈 B 中的磁场也在变化。

速变化。这种情况下线圈B中也有感应电流。

除了以上两个实验外，还要分析图4.2-1的实验，它可以简化为图4.2-6的示意图。从中可以看出，当导体棒AB在金属导轨上向右运动时，虽然磁场的强弱没有变化，但是导体棒切割磁感线的运动使闭合导体回路EFAB包围的面积在变化。这种情况下“线圈”EFAB中同样会有感应电流。

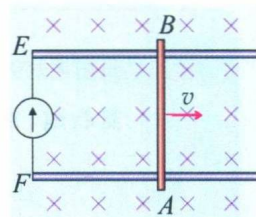


图4.2-6 由于导线做切割磁感线的运动，闭合电路包围的面积在变化。

归纳结论 从上面几个事例可以看出，产生感应电流的条件与磁场的变化有关系，也就是说，与磁感应强度的变化有关系；另外，与闭合导体回路包围的面积也有关系。由于闭合导体回路的面积与垂直穿过它的磁感应强度的乘积叫做磁通量，所以我們也可以用磁通量来描述感应电流的产生条件。

以上实验及其他事实表明：只要穿过闭合导体回路的磁通量发生变化，闭合导体回路中就有感应电流。

做一做

摇绳能发电吗？

把一条大约10 m长电线的两端连在一个灵敏电流表的两个接线柱上，形成闭合导体回路。两个同学迅速摇动这条电线，可以发电吗？简述你的理由。

你认为两个同学沿哪个方向站立时，发电的可能性比较大？试一试。

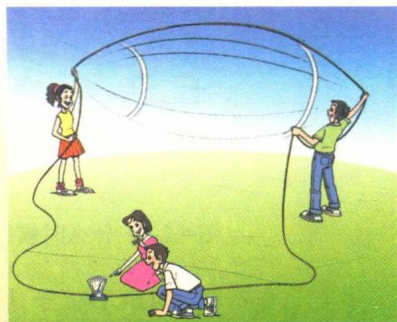
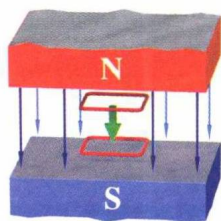


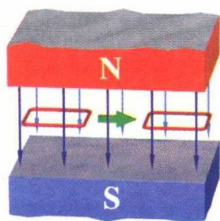
图4.2-7 摇绳能发电吗？

问题与练习

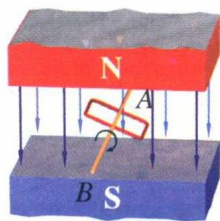
- 图4.2-8所示的匀强磁场中有一个矩形闭合导线框。在下列几种情况下，线框中是否产生感应电流？
 - (1) 保持线框平面始终与磁感线垂直，线框在磁场中上下运动(图甲)。
 - (2) 保持线框平面始终与磁感线垂直，线框在磁场中左右运动(图乙)。
 - (3) 线框绕轴线AB转动(图丙)。



甲



乙



丙

图4.2-8 闭合线框中是否产生感应电流？

2. 如图4.2-9, 磁场中有一个闭合的弹簧线圈。先把线圈撑开(图甲), 然后放手, 让线圈收缩(图乙)。线圈收缩时, 其中是否有感应电流? 为什么?

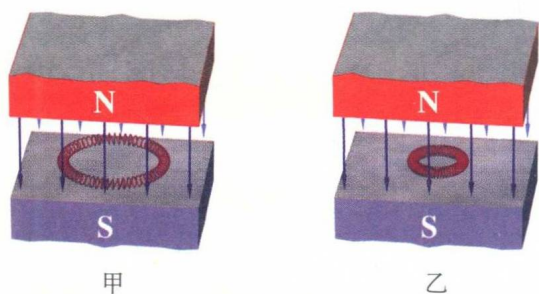


图4.2-9 弹簧线圈收缩时有感应电流吗?

3. 如图4.2-10所示, 垂直于纸面的匀强磁场局限在虚线框内, 闭合线圈由位置1穿过虚线框运动到位置2。线圈在运动过程中什么时候有感应电流, 什么时候没有感应电流? 为什么?



图4.2-10 什么时候线圈中有感应电流?

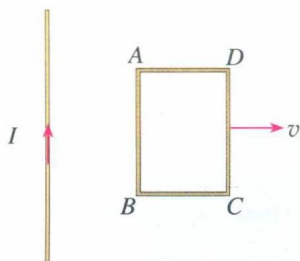


图4.2-11 线圈中有没有感应电流?

4. 矩形线圈ABCD位于通电长直导线附近(图4.2-11), 线圈与导线在同一个平面内, 线圈的两个边与导线平行。在这个平面内, 线圈远离导线移动时, 线圈中有没有感应电流? 线圈和导线都不动, 当导线中的电流 I 逐渐增大或减小时, 线圈中有没有感应电流? 为什么?

注意: 长直导线中电流越大, 它产生的磁场越强; 离长直导线越远, 它的磁场越弱。

5. 把一个铜环放在匀强磁场中, 使环的平面跟磁场方向垂直(图4.2-12甲)。如果使环沿着磁场的方向移动, 铜环中是否有感应电流? 为什么? 如果磁场是不均匀的(图4.2-12乙), 是否有感应电流? 为什么?

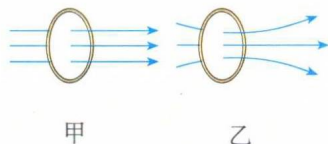


图4.2-12 铜环中有没有感应电流?

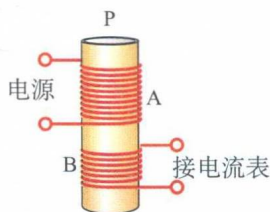


图4.2-13 哪种情况可在线圈B中观察到感应电流?

6. 某实验装置如图4.2-13所示, 在铁芯P上绕着两个线圈A和B, 如果线圈A中电流 i

与时间 t 的关系有图4.2-14所示的甲、乙、丙、丁共四种情况。在 $t_1 \sim t_2$ 这段时间内，哪种情况可以观察到在线圈 B 中有感应电流？

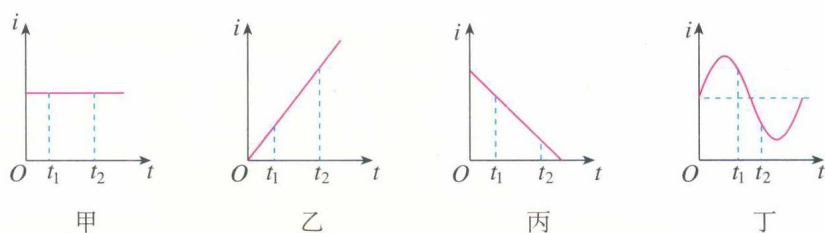


图 4.2-14 线圈 A 中电流的四种情况

7. 如图4.2-15所示，固定于水平面上的金属架 $CDEF$ 处在竖直向下的匀强磁场中，金属棒 MN 沿框架以速度 v 向右做匀速运动。 $t=0$ 时，磁感应强度为 B_0 ，此时 MN 到达的位置恰好使 $MDEN$ 构成一个边长为 l 的正方形。为使 MN 棒中不产生感应电流，从 $t=0$ 开始，磁感应强度 B 应怎样随时间 t 变化？请推导这种情况下 B 与 t 的关系式。

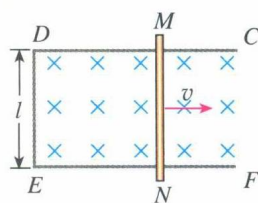


图 4.2-15 金属棒 MN 在金属架上向右匀速运动

3

楞次定律

在关于电磁感应的实验中，也许你已经注意到，不同情况下产生的感应电流的方向是不同的。那么，感应电流的方向由哪些因素决定？遵循什么规律？下面通过实验来探究这个问题。

实验

在第2节图4.2-2的实验中，我们通过磁铁跟闭合导体回路之间的相对运动来改变穿过闭合导体回路的磁通量。条形磁铁的 N 极或 S 极插入闭合线圈时，线圈内磁通量增加，抽出时，线圈内磁通量减少。

现在重复这个实验，不过这次不是研究感应电流的产生条件，而是用草图记录感应电流的方向、磁铁的极性和运动方向，以便从中找出它们之间的关系。

建议在纸上画出几个类似图4.3-1的草图，分别标出不同情况下磁铁的 N、S 极，磁极的运动方向，感应电流的方向。为了判断感应电流的方向，事先要弄清线圈导线的绕向，及电流方向、指针摆动的方向与电流表的红、黑接线柱的关系。

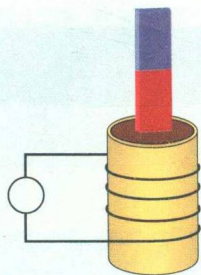


图 4.3-1 记录实验情况的草图

某同学的实验记录如图4.3-2所示。条形磁铁在线圈内的运动，无非是 N 极或 S 极插入、N 极或 S 极抽出这样四种情况，因此，可以认为他的记录是完整的，没有遗漏。

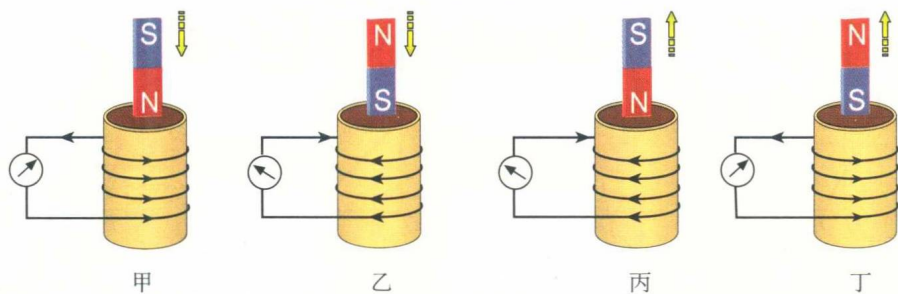


图 4.3-2 研究感应电流方向的实验记录

我们将设法根据图4.3-2说出感应电流的方向跟线圈内磁通量的变化有什么关系。当我们很难概括这两者的关系时，是不是可以通过一个“中介”——“**感应电流的磁场**”来表述这种关系？

磁铁在线圈内的磁场发生了变化，因而在线圈中产生了感应电流，而感应电流本身也能产生磁场，这里所谓的“中介”就是感应电流本身产生的磁场。**感应电流的磁场**方向既跟感应电流的方向有联系，又跟引起磁通量变化的磁场有联系。

下面用表格来比较图4.3-2中的信息。由于这几幅图标出了感应电流的方向，所以根据右手螺旋定则就能判定**感应电流的磁场**方向。

表 1 中的实验结果已经填上了，请你填写表 2 中的实验结果。

表1 线圈内磁通量增加时的情况			
图号	磁场方向	感应电流的方向	感应电流的磁场方向
甲	磁场方向向下	逆时针(俯视)	向上
乙	磁场方向向上	顺时针(俯视)	向下

表2 线圈内磁通量减少时的情况			
图号	磁场方向	感应电流的方向	感应电流的磁场方向
丙			
丁			

比较表 1 中的数据。当线圈内磁通量增加时，**感应电流的磁场**是有助于磁通量的增加，还是阻碍了磁通量的增加？

比较表 2 中的数据。当线圈内磁通量减少时，**感应电流的磁场**是有助于磁通量的减少，还是阻碍了磁通量的减少？

磁铁插入时磁通量增加，抽出时减少。

既然产生感应电流的条件是磁通量的变化，以下我们就说“磁通量增加（或减少）”，而不再说“磁铁插入（或抽出）”。

你能把这两条结论进一步概括成一句话吗?

1834年,物理学家楞次(H. F. E. Lenz, 1804—1865)在分析了许多实验事实后,把结论用一句话巧妙地表达为:感应电流具有这样的方向,即感应电流的磁场总要阻碍引起感应电流的磁通量的变化。这就是楞次定律(Lenz law)。

如果照图4.2-3那样,利用开关的通断来改变磁通量,感应电流的方向遵循同样的规律。有兴趣的同学可以通过实验试一试。

思考与讨论

当手持条形磁铁使它的一个磁极靠近闭合线圈的一端时,线圈中产生了感应电流,获得了电能。从能量守恒的角度看,这必定有其他形式的能在减少,或者说,有外力对磁体—线圈这个系统做了功。

你能不能用楞次定律做出判断,手持磁铁运动时我们克服什么力做了功?

楞次定律的应用 用楞次定律可以判定感应电流的方向。下面我们通过实例来了解处理这类问题的思路。

例题1 法拉第最初发现电磁感应现象的实验如图4.3-3所示。软铁环上绕有M、N两个线圈,当M线圈电路中的开关断开的瞬间,线圈N中的感应电流沿什么方向?

分析与解答 首先明确,我们用楞次定律研究的对象是线圈N及电流表组成的闭合导体回路。

线圈M中的电流在铁环中产生的磁感线是顺时针方向的,这些磁感线穿过线圈N的方向是向下的,即线圈N中原磁场 B_0 的方向是向下的。

开关断开的瞬间,铁环中的磁场迅速减弱,线圈N中的磁通量减少。

感应电流的磁场 B_i (图中没有标出)要阻碍磁通量的减少,所以, B_i 的方向与 B_0 的方向相同,即线圈N中 B_i 的方向也是向下的。

根据右手螺旋定则,由 B_i 的方向判定,线圈N中感应电流 I_i 应沿图示的方向。

运用楞次定律判定感应电流方向的思路,可以概括为下方框图。这个方框图不仅概括了根据楞次定律判定感应电流方向的思路,同时也描述了磁通量变化、磁场方向、感应电流方向三个因素的关系,只要知道了其中任意两个因素,就可以判定第三个因素。

一个实验结论形成后,我们常常需要从理论上审视它,它不应该跟已有的理论相矛盾。否则,或者是过去的理论存在问题,或者是做这个实验时出了差错。

这也是一种形式的评估。

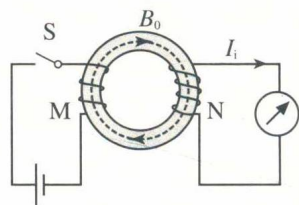
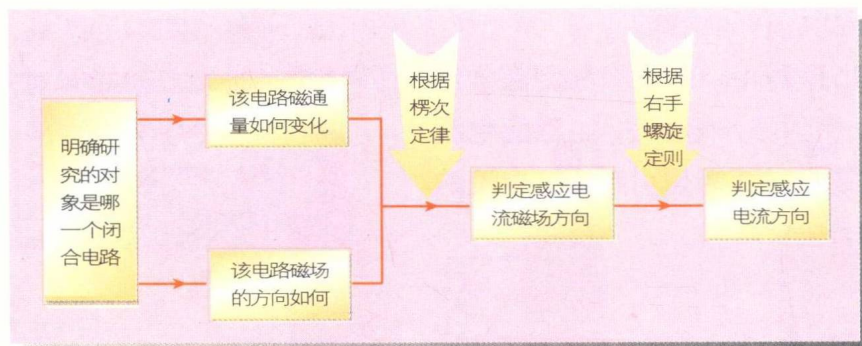


图4.3-3 判断线圈N中的电流方向

注意:铁环并不是必须的。没有铁环,电磁感应现象仍然发生,只是线圈N中的感应电流弱些。



这个框图只供参考。很多情况下同学们都可以作出自己的框图,以理清思路或明确概念、规律间的关系。

例题2 如图4.3-4所示,在长直载流导线附近有一个矩形线圈 $ABCD$, 线圈与导线始终在同一个平面内。线圈在导线的一侧左右平移时,其中产生了 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ 方向的电流。已知距离载流直导线较近的位置,磁场较强。请判断:线圈在向哪个方向移动?

分析与解答 选择矩形线圈为研究对象,画出载流直导线一侧的磁感线分布图(图4.3-5),磁感线方向垂直纸面向里,用“ $\times$ ”表示。

已知矩形线圈中感应电流的方向是 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$, 根据右手螺旋定则,感应电流的磁场方向是垂直纸面向外的(即指向读者的,用矩形中心的圆点“ $\cdot$ ”表示)。

根据楞次定律,感应电流的磁场应该是阻碍线圈内磁通量变化的。现在已经判明感应电流的磁场从纸面内向外指向读者,是跟原来磁场的方向相反的。因此线圈移动时通过它的磁通量一定是在增加。这说明线圈在向左移动。

右手定则 我们用楞次定律进行分析,看一看当闭合导体回路的一部分做切割磁感线的运动时,怎样判定感应电流的方向。

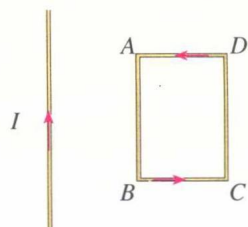


图 4.3-4 判断线圈移动的方向

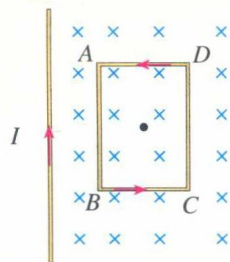


图 4.3-5 线圈附近磁场的特点是左边强、右边弱。

思考与讨论

在图4.3-6中,假定导体棒 AB 向右运动。

1. 我们研究的是哪个闭合导体回路?
2. 当导体棒 AB 向右运动时,穿过这个闭合导体回路的磁通量是增大还是减小?
3. 感应电流的磁场应该是沿哪个方向的?
4. 导体棒 AB 中的感应电流是沿哪个方向的?

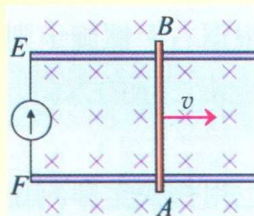


图4.3-6 这种情况下怎样判定感应电流的方向?

可以用右手的手掌和手指的方向来记忆导线切割磁感线时产生的感应电流的方向,即:伸开右手,使拇指与其余四个手指垂直,并且都与手掌在同一个平面内;让磁感线从掌心进入,并使拇指指向导线运动的方向,这时四指所指的方向就是感应电流的方向。这就是判定导线切割磁感线时感应电流方向的右手定则(right-hand rule)。

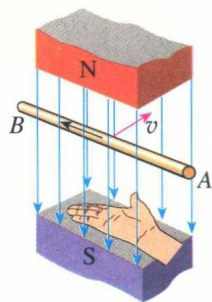


图 4.3-7 右手定则

问题与练习

1. 超导体的电阻为0,如果闭合的超导电路内有电流,这个电流不产生焦耳热,所以不会自行消失。现有一个固定的超导体圆环如图 4.3-8 甲所示,此时圆环中没有电流。在其右侧放入一个条形永磁体(图 4.3-8 乙),由于电磁感应,在超导体圆环中产生了电流,电流的方向如何?



甲 永磁体移入之前 乙 永磁体移入之后

图 4.3-8 超导圆环内的电流

2. 如图 4.3-9 所示,导线 AB 与 CD 平行。试判断在闭合与断开开关 S 时,导线 CD 中感应电流的方向。

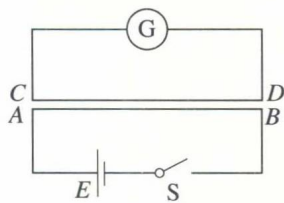
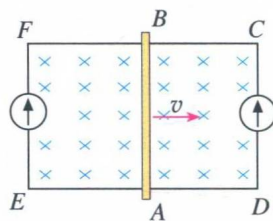
图 4.3-9 判断 CD 中感应电流的方向

图 4.3-10 判断感应电流的方向

3. 在图 4.3-10 中 $CDEF$ 是金属框,框内存在着如图所示的匀强磁场。当导体 AB 向右移动时,请用楞次定律判断 $ABCD$ 和 $ABFE$ 两个电路中感应电流的方向。
4. 如图 4.3-11 所示,在水平放置的条形磁铁的 N 极附近,一个闭合线圈向下运动并始终保持水平。在位置 B , N 极附近的磁感线正好与线圈平面平行。试判断线圈在位置 A 、 B 、 C 时感应电流的方向。
5. 在图 4.3-12 中,线圈 M 和线圈 P 绕在同一个铁芯上。
 - (1) 当闭合开关 S 的一瞬间,线圈 P 里有没有感应电流?
 - (2) 当线圈 M 里有恒定电流通过时,线圈 P 里有没有感应电流?

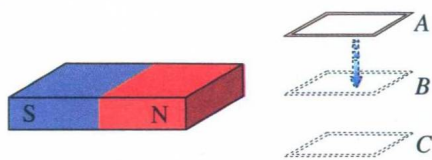


图 4.3-11 判断线圈内感应电流的方向