

第二卷第二分册

兰茨别尔格主编

# 初等物理学

Под Редакцией Г. С. Ландсберга  
**ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ УЧЕБНИК ФИЗИКИ**  
**ТОМ II**

Государственное издательство  
технико-теоретической литературы  
Москва—1957

(根据苏联国立技术理论书籍出版社 1957 年版译出)

**初 等 物 理 学**  
**第 二 卷**  
(第二分册)  
(苏)兰茨别尔格主编  
王子昌 俞乐译

上海教育出版社出版  
(上海永福路 123 号)  
上海市书刊出版业营业许可证出 030 号  
上海新华印刷厂印刷

新华书店上海发行所发行 各地新华书店经售

开本：850×1168 1/32 印张：6 7/8 字数：158,000  
1962年9月第1版 1962年9月第1次印刷  
印数：1—15,000本

统一书号：7150·1337  
定 价：(九) 0.76 元

# 目 录

第十章 磁的基本现象.....	259
§112.天然磁体和人造磁体(259)	
§113.磁体的磁极和中性带(261)	
§114.电流的磁效应(264)	
§115.电流磁作用和永磁体磁作用的相同性(267)	
§116.永磁体磁场的起源、库仑实验(273)	
§117.安培的元电流假说(276)	
第十一章 磁场.....	279
§118.磁场和它的现象(279)	
§119.磁场的强度和它的单位(279)	
§120.磁场对磁针的作用(281)	
§121.用磁针来测量磁场的强度(283)	
§122.磁场的合成(286)	
§123.磁力线(287)	
§124.测量磁场强度的仪器(288)	
第十二章 电流的磁场.....	290
§125.直线电流和通电环形导线的磁场、螺旋法则(290)	
§126.螺线管的磁场、螺线管和条形磁体的等值性(294)	
§127.用作标准磁场的螺线管内部的磁场、磁场强度的单位(296)	
§128.运动电荷的磁场(298)	
第十三章 地球的磁场.....	301
§129.地磁场(301)	
§130.地磁要素(303)	
§131.地磁异常和磁法探矿(306)	
§132.地磁要素的时变、磁暴(306)	
第十四章 磁场对通电导体所作用的力.....	308
§133.引言(308)	
§134.磁场对直线电流的作用、左手定则(308)	
§135.磁场对通电线圈或螺线管的作用(312)	
§136.根据磁场对电流的作用原理制成的电流计(318)	
§137.洛伦兹力(319)	
§138.洛伦兹力和极光(324)	
第十五章 电磁感应.....	327

§139. 产生感生电流的条件(327) §140. 感生电流的方向、楞次定律(333) §141. 感生电动势(337) §142. 定量的电磁感应定律(339) §143. 电磁感应和洛伦兹力(343) §144. 在块状导体中的感生电流(傅科电流)(344)

## 第十六章 物体的磁性.....348

§145. 铁的磁导率(348) §146. 各种物体的磁导率、顺磁质和抗磁质(351) §147. 顺磁质和抗磁质在磁场中的运动、法拉第实验(353) §148. 磁性的分子论(355) §149. 磁屏(357) §150. 铁磁质的特性(358) §151. 铁磁性理论的基础(362)

## 第十七章 交变电流.....365

§152. 稳恒的和交变的电动势(365) §153. 交变电流“形状”的实验研究、示波器(369) §154. 正弦交变电流和交变电压的振幅、频率和相位(372) §155. 交变电流的强度(376) §156. 交变电流安培计和伏特计(378) §157. 自感(378) §158. 线圈的电感(381) §159. 流经电容器和大电感线圈的交变电流(383) §160. 交变电流的欧姆定律、容抗和感抗(386) §161. 并联电阻电路上交变电流的总和(389) §162. 串联电阻电路上交变电压的总和(393) §163. 电流和电压间的相位差(394) §164. 交变电流的功率(399) §165. 变压器(402) §166. 电能的集中“生产”和分配(408) §167. 交变电流的整流(411)

## 第十八章 电机：发电机，电动机，电磁铁.....417

§168. 交流发电机(417) §169. 直流发电机(421) §170. 他激发电机和自激发电机(430) §171. 三相电流(435) §172. 三相电动机(440) §173. 直流电动机(447) §174. 并激和串激直流电动机的一些基本工作特征和特性(452) §175. 发电机和电动机的效率(457) §176. 直流发电机的可逆性(458) §177. 电磁体(459) §178. 电磁体的应用(461) §179. 替续器以及它在工程技术和自动装置中的应用(465)

## 第十章 磁的基本现象

§112. 天然磁体和人造磁体 在较深入地认识磁现象以前，我们先来提一下大家所熟知的一些事实。

(1) 在自然界中常发现一些铁矿，有吸引自己近旁铁质小物体(例如铁屑或铁钉)的本领(图 206 a)。拿一块这种矿石挂在一条南北向的直线上(图 206 b)。这种矿石叫做天然磁体。

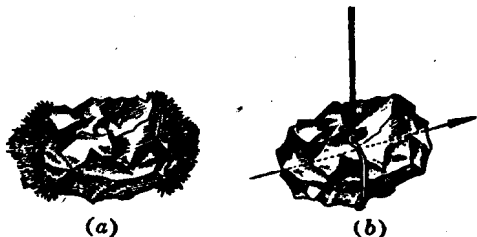


图 206 天然磁体。

- (a) 一块磁性的矿石吸引铁质的小物体；  
(b) 挂在线上的一块磁性的矿石，总是停在南北向的一条直线上。

(2) 放在磁体近旁的一块铁或者钢，是要被磁化的，也就是会得到吸引其他铁质物体的本领(图 207)。铁块或钢块越接近磁体，它的磁性就越强。当铁块紧吸在磁体上时，它的磁化特别强烈。

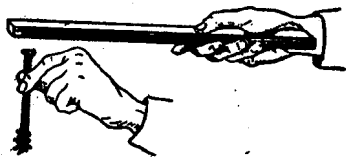


图 207 放在磁体近旁的铁钉因磁化而吸引铁屑。

(3) 磁体离开后，被它磁化的铁块或钢块就失去大部份磁性，但多少总还留些磁化的性质。因此它变成性质完全跟天然磁体相同的人造磁体。这可以用简单

的實驗來證明。在圖208 a 中吸在磁體M 的一端的小鋼塊 a 本身強烈地磁化了，因而能吸住由許多同樣的小鋼塊 b、c、d、e 等所組成的重物。每一小鋼塊也都能以磁的引力支持住它自己下面的所有小鋼塊的重量。因此整串小鋼塊由於磁的引力跟重力平衡而懸掛着。如果我們把M 磁體稍稍移開，而用手指夾住最上面的小鋼塊，那時，在它下面的這串小鋼塊就脫開：這些小鋼塊去磁了，它們已不再能吸住在下面所有小鋼塊了(圖208 b)。但不難看出，每一個小鋼塊總未完全退磁。拿它們里面任意一塊放進鐵屑里，我們就能看到，鐵屑會粘附在它的兩端。

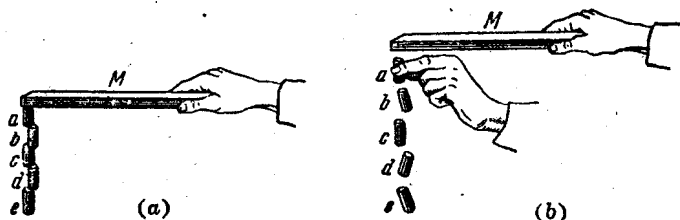


圖 208 鐵質物體的磁化隨它接近磁體的程度而增大。

(a) 最上面的小鋼塊 a 靠緊地被吸在磁體 M 上，因而強烈磁化，以致它能使 b、c、d、e 小鋼塊聯成一串；(b) 小鋼塊 a 脫離磁體 M 以後，磁化變弱，因而這一串小鋼塊紛紛落下。

一種材料(例如鐵)處於磁體近旁時所發生的那種磁化，叫做**暫時磁化**，而在磁體離去後能保留的磁化，則叫**永久磁化**或者**剩餘磁化**。

這種實驗表明，永久磁化一般遠小於暫時磁化；而軟鐵的永久磁化只是暫時磁化的很小一部分。

(4) 無論暫時磁化或永久磁化，對於各種鐵或者鋼是不同的。軟的鍛鐵的暫時磁化本領顯然要比鑄鐵或鋼的強些。相反地，鋼，尤其是某些特種鋼，例如含鈷的鋼，它的永久磁化本領顯然要比軟

铁的强。因此，如果我们用两小块大小相同的材料——一块是软铁，而另一块是钢——一起放在同一磁体的近旁，铁块的磁化显然要比钢块的强得多。但当拿开磁体时，铁块就几乎完全去磁，而钢块则仍保留着大部份的磁性。结果钢块变成了比铁块磁性强得多的永久磁体。因此永久的人造磁体经常用特种钢制造，而不用铁来制造。

(5) 把钢块放在磁体近旁或者使钢块跟磁体相接触，这样得到的各种人造磁体，它的磁性是相当微弱的。当使磁体沿一个方向跟钢条摩擦，可以得到磁性较强的磁体。但是所得到的磁体的磁性，总比用来磁化的原来磁体的微弱。在磁化的时候，一切敲击和抖动都能促进磁化。相反地，已制成的永久磁体遇到震动以及温度的剧变，就会加速去磁。

永久磁化不仅跟材料有关，也跟被磁化的物体的形状有关。比较短而粗的软铁块在磁体取开以后几乎完全去磁。但是用同种铁料制成的细铁条，长度比直径大300—500倍，这种没有卷曲成蜷盘或线团的金属线所保留住的磁化，在程度上要强得多。

**习题112.1.** 竖直方向的磁体吸引着一个放在它正下方的小铁球。设铁球在磁体下端某一距离的地方，恰能被磁体吸住而悬浮在空中。这时磁体对小球的引力和小球的重力的平衡，是稳定平衡还是不稳平衡？把这个小球从平衡位置略为上升或下降，球将向哪一个方向运动？

**习题112.2.** 放在光滑玻璃板上的铁质小立方体，被放在同一玻璃板上的磁体所吸引。小立方体沿玻璃板滑动。它的运动是匀速的、匀加速的还是加速度改变的？

**§113. 磁体的磁极和中性带** 现在我们来看天然磁体或人造磁体表面上各点的磁性是否相同。把固定在柔软弹簧下端的小铁球跟磁体 $M$ 上的任意一个地方相接触，然后拉伸弹簧使小铁球跟

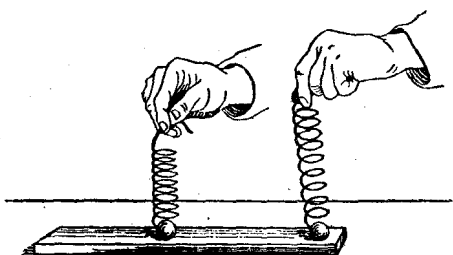


图 209 在磁体的中心引力很小，而在它的两端则很大。这可以由拉开小铁球时弹簧的伸长度来断定。

而在另一些地方(在磁体中心附近)，球几乎不吸在磁体上。同样，当我们把磁体放入铁屑中然后把它取出时就可以看到，铁屑都粘附在磁体的两端，形成稠密的“髯须”，而不粘附在它的中心(图210)。



图 210 铁屑粘附在磁体的两端形成“髯须”，而不粘附在它的中心。

磁体表面上显出吸引铁质物体特别强烈的这些部份，叫做磁体的极区，或简称**磁极**；而吸引力不显著或很微弱的部份，叫做磁体的**中性区域**或**中性带**。

人造磁体普通是条形或蹄形的(图 211 a 和 b)。在这种磁体的

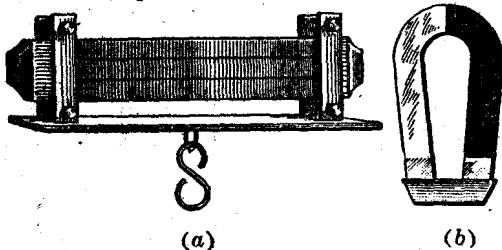


图 211 永久磁体的通常形状：

(a)条形，(b)蹄形。为了防止磁体去磁，它的两端用一块铁(的衔铁)连接起来。

的两端一般总有两个磁极，并在它的中部有**中性带**。但我们可以使一块钢磁化成两个以上的磁极，即有4个、6个或更多个的磁极；每两个磁极都由中性带隔开。必



須指出，我們決不會得到具有奇數磁極的磁體，尤其是不可得到只具有一個磁極的磁體。

極區和中性帶兩者之間大小的比，跟磁體的形狀有關。

把磁體製成很長而很細的棒形，它的兩個極區就幾乎會縮聚到棒兩端上的兩點，而其餘所有的表面則都是中性帶。類似的細長磁體可以叫做磁針。磁針通常製成細長的菱形(圖 212)。把磁針支撐在尖端上或掛起來，使它可以自由轉動，它總是轉到使兩個磁極指向南、北方向的位置；掛在細而易卷的綫上的任何磁體也完全取同樣方向。磁體指向北方的一端叫做北



圖 212 掛在綫上和支撐在尖端上的細長菱形磁針。

磁極，而另一端叫做南磁極。用磁針可以簡便地發現磁體的磁性。把磁體移近磁針，就可以發現磁針的北(南)磁極吸向磁體的南(北)磁極，而跟磁體的北(南)極相斥；因此在磁體作用下磁針將繞它自己的轉軸偏轉。磁體扭轉和吸引鐵質物体的能力，可作如下的解釋：當我們把磁體移近鐵質物体時首先使鐵磁化，也就是使它變成一個微弱的磁體，然後使它發生偏轉，并被吸向磁體。

也可以用磁針來鑒別一個物体是未磁化的鐵塊還是磁體。把磁體的一端移近磁針的一端時，它們將因極性相同或相異而相斥或相吸。當鐵的物体移近磁針尖端時，總看到它們彼此相吸：鐵塊靠近磁針的一端總被磁化成跟磁針這一端異性的磁極；而鐵塊遠離磁針的那一端，則磁化成跟靠近針一端符號相反的磁極，也就是跟所討論的磁針的磁極同性，但它跟磁針間的相互作用要微弱得多，所以我們只發現異性磁極間的相互作用，也就是磁針向鐵塊的

吸引。

**习题 113.1.** 不用其他物体帮助,怎样来判别一枚鋼針是否磁化?

**习题 113.2.** 設现有两根鋼棒,其中只有一根是磁化的,不用其他物体,怎样区别哪一根棒是磁化的?

**§114. 电流的磁效应** 人們很早就已經知道各种简单的电现象和磁现象。

約在公元前 600 年,希腊人已經知道磁体吸引铁,摩擦过的琥珀吸引輕微的如稻草等物体。但当时还分不清这两种吸引现象之間的区别,以为它們是本质上相同的现象。

区别这两种现象是吉伯<sup>①</sup>的功績;他在 1600 年出版了一本叫做“有关磁体、磁力和地球大磁体的新生理学”的书。对于电和磁的现象的真正科学研究,可以说是从这本书才开始的,吉伯把当时已知的、磁体的所有性质都写出了,同时把自己所做的重要的實驗的結果也都一一作了說明。他指出了:电的吸引和磁的吸引现象之間所存在的許多不同的地方。是他首先引用了“电”这个名称。

虽然在吉伯以后电和磁两种现象之間的区别都已明了无疑,但一系列的事实指出,即使在所有这些区别之下,在这两种现象之間仍存在一种密切而不可断然分开的联系。最令人注意的是在閃电影响下铁质物体的磁化和磁針反磁化这些事实。阿喇果<sup>②</sup>在他的“雷和閃电”一书中曾記載着这一事实:“在 1681 年 7 月間,克罗里伐号大船在离开海岸几百哩的辽阔大海上被閃电击中,桅和帆等都損坏得很厉害。到晚上,由于看到了星,才发现船上所有的三个罗盘中有两个本应指北的已变成指南了,而第三个变成指西的了”。阿喇果又記載,当閃电击中住宅时,其中鋼质的刀、叉以及其他用具都会强烈地磁化。

十八世紀初即已确定,閃电实际上就是通过空气的强大电流;

① 吉伯 (1544—1603) 是英国的医师和自然科学家。

② 阿喇果 (1786—1860) 是法国的物理学家。

因此类似上述的闪电的事实使我们联想到，任何电流具有一些磁的性质。但是直到1820年，奥斯特<sup>①</sup>才在实验中发现和研究电流的这些性质。

图213 a和b中所示的是奥斯特的主要实验。在顺着子午线安置的，也就是沿南北向安置的导线  $KL$  的上方用细线挂一根磁针(图213 a)。磁针大致接近于南北方向，因而跟导线平行。但当按下电键使导线  $KL$  上有电流时，就可以看到磁针发生偏转，它要转到跟导线成直角的位置，也就是处在垂直于导线的平面内(图213 b)。这一实验指出，在通电导线的四周空间，有一种使磁

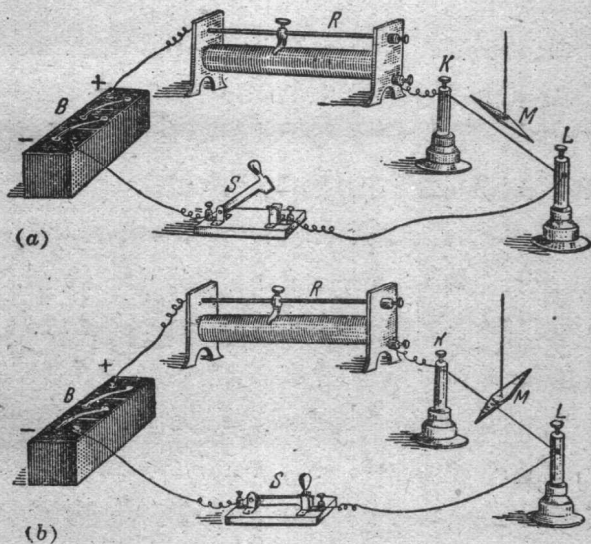


图213 奥斯特用磁针发现电流磁场的存在的实验。

$B$ 是产生电流的伽伐尼电池组； $KL$ 是电路接通时电流通过的导线； $M$ 是跟 $KL$ 导线平行的磁针； $R$ 是具有很小电阻的变阻器，用来限制导线 $KL$ 上电流； $S$ 是电键。(a)电路断开，(b)电路接通，磁针 $M$ 偏转到垂直于 $KL$ 导线的方向。

① 奥斯特(1777—1851)是丹麦的物理学家。

針运动的力作用着，也就是有一种类似于天然或人造磁体附近作用着的力。我們把这种力叫做**磁力**，正如我們把作用在电荷上的力叫做电力一样。

在第二章中我們曾引入电场的概念来标志具有电力作用的空間的特殊状态。同样地，显示出磁力作用的空間的特殊状态，叫做**磁场**。因此**奥斯特的实验証实，在电流四周的空間产生磁力，就是产生了磁场。**

当奥斯特完成了这项著名的发现以后，他面临的第一个问题是：制成导线的物质是否影响所产生的磁场？对于这问题，奥斯特曾这样記載：“连接的导线可由几种金属线或金属棒組成。金属的本质，除了电流强度大小不同以外<sup>①</sup>，并不改变这个結果。我們利用鉛絲、金絲、銀絲、銅絲和鉄絲，錫棒和鉛棒，以及水銀等，都得到同样的結果”。

奥斯特当时是用**金属**来做他的各种实验的，就是用现在所知道的具有电子导电特性的导体来进行的。但也不难改变奥斯特的实验。我們用**貯电解质的管子**或者用**放电的气体管子**来代替金属导体。这种实验我們已經在前面讲过，并且在§40（图74，初等物理学第二卷第一分册第97頁）中我們看到过，虽然在那种情况下，电流是由正、負离子的运动而发生的，但它对于磁針的作用則跟金属导体中电流所作用的一样。不管通电导体的本质怎样，在导体四周总有磁场产生；在其中的磁針总是要偏轉到跟电流方向垂直的位置。

---

① 不同的金属电阻不同。因此当它們分別接到同一電池組上时，如同奥斯特所做的，**电流强度**是不同的，所以这电流的磁效应各不相同。应当記得，奥斯特所进行的实验要比欧姆定律的建立、导线电阻概念及电阻跟材料的关系的闡明还早些。

因此可以确信，在电流的周围存在着磁场。电流的这种重要性质，在 §40 详述电流的其他两种效应——热效应和化学效应——时已提到过。

在电流的这三种现象中，以产生磁场最可作为它的特征。化学效应只在有些导体(电解质)中发生，而不发生在其他一些导体(金属)中。由电流所放出的热量跟导体的电阻有关，在电流强度相等时，放出的热量可能多少不同。在超导电性的导体中，即使有电流通过也可能不放出热量 (§49)。但**磁场则是任何电流不可分割的伴随者**。它跟导体的任何特性无关，并且只决定于电流的强度和方向。电在技术上的大部份应用都跟电流的磁场的存在有关。

§115. 电流磁作用和永磁体磁作用的相同性 奥斯特的发现引起所有物理学家的高度注意，并且也是一系列证明**电流和永磁**

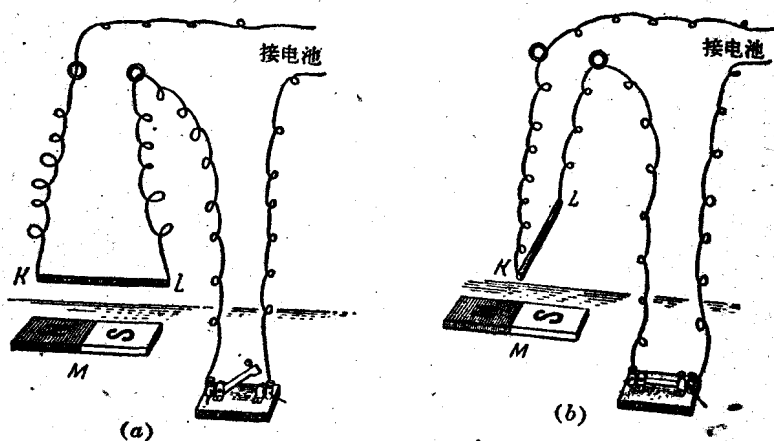


图 214 奥斯特实验的改变。磁体  $M$  放在桌子上。在它的上方用柔软的导线挂着导体  $KL$ 。

(a) 电流切断时；(b) 当接通电流时导体  $KL$  偏转，它要跟磁体垂直。

体的磁作用相等性的著名研究的开端。我們將較詳盡地討論这些现象中的一部份。

(1) 奥斯特实验指出了电流对磁体的作用。但磁体对有电流的导体的相反作用是否存在呢？

把一块条形磁体  $M$  放在桌上而在它的上面用柔软金属线平行地挂着导体  $KL$ , 如图 214  $a$  所示。导体  $KL$  可以通电, 同时也可以转动。我們刚一接通电流, 导体  $KL$  就转动, 它要跟磁体保持垂直(图 214  $b$ )。

这个实验也可以换一个方式进行(如图 215)。柔软的导体  $KL$  跟磁化的细杆  $NS$  并排地挂着(图 215  $a$ )。导体上通电以后柔软导体每一部分都受到力的作用, 这力分别使它们垂直于磁铁。

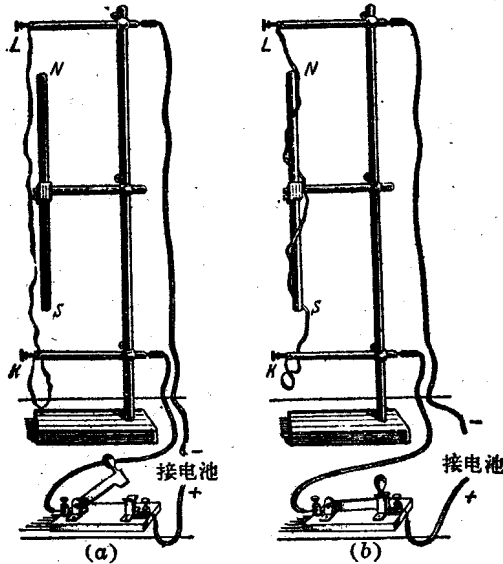


图 215 跟奥斯特实验性质相反的实验: 磁体  $NS$  是固定的, 而接到电池上的导线是柔软的。

(a) 电流断开; (b) 电流接通; 导线缠绕在磁体上。

所以电流接通后柔软导线在这些力作用下就绕缠在磁体上(图 215 b)。由这一实验可知,磁体对通电导体产生作用,并且发现磁体对通电导体的每一部分都有力作用着。

图 216 中表示显出磁体对通电导体的作用力的另一种实验。在固定的磁体  $M$  的两个磁极中间,挂一个能自由转动的小线圈  $L$  (图 216 a), 线圈由几匝导线做成。电流可经过  $A$ 、 $K$  两个夹子通过线圈。当通过电流时, 线圈就偏转到垂直于磁体两磁极的连接线的位置上(图 216 b)。用来测量稳恒电流的电流计, 就是应用磁体和线圈的这种装置做成的(参看后面 §136)。

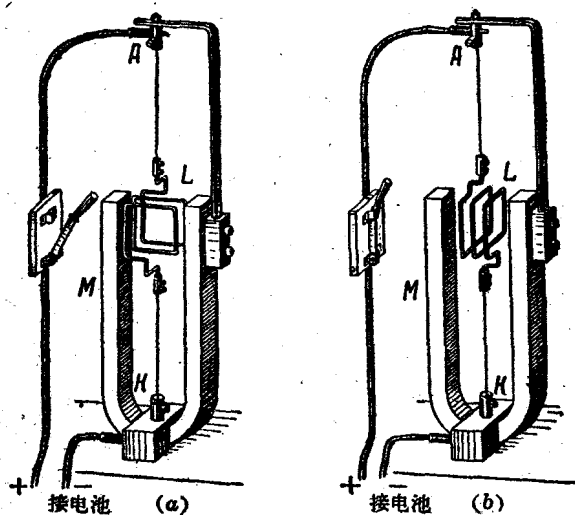


图 216- 当电流接通时, 挂在磁极间的线圈偏转一个角度, 并跟两个磁极的连接线垂直。

(a) 线圈中没有电流; (b) 线圈中有电流通过。

§103 中所叙述的, 在磁体作用下阴极射线偏向的实验, 也是磁体对电流作用的一种表现, 因为阴极射线就是电流。

(2) 磁体具有使铁磁化和吸引铁的能力。电流是不是也有同样的能力呢？远在 1820 年时阿喇果已发现，把通以足够强的电流的导体放入铁屑中的时候，铁屑就粘在它上面，同粘在磁体上的稠密的铁屑“髯须”一样。断开电流，铁屑就立即脱落。这现象跟导体的材料无关。通常采用的是铜的导体。为了使电流不通到铁屑中去，选用有绝缘物包复的导体。当电流很强时，即使不把导体放入铁屑中，只拿到铁屑近旁，也就能看到吸引的现象。

稍后阿喇果和安培<sup>①</sup>得到了用电流来使铁和钢强烈磁化的方法。他们把电线绕成匝数很多的线圈，并在线圈内放一钢针。针的一端就变成北极，而另一端则变成南极。当电流的方向变换时，

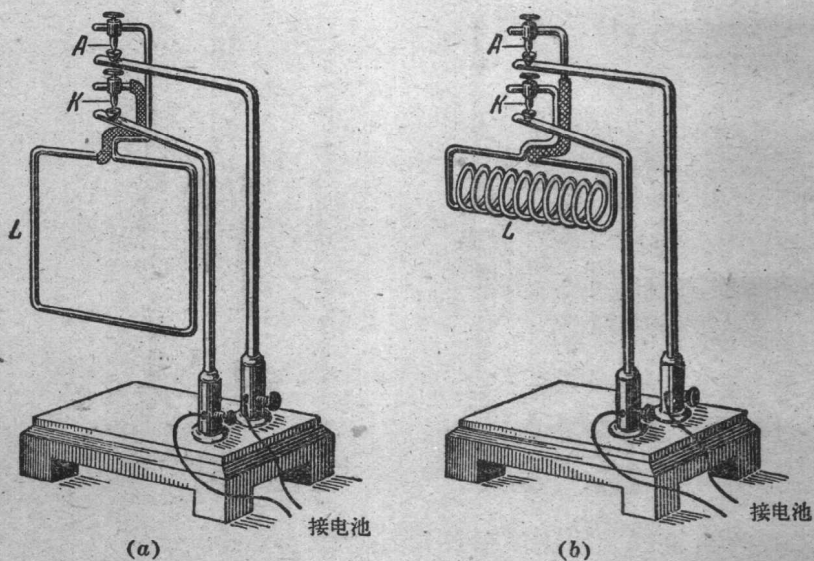


图 217 安培用来发现地球磁场对通电线圈的作用的装置。

(a)能自由转动的挂着的线圈 L 将转动到它的平面大约跟子午面垂直(东西向)的位置；(b)用螺线管 L 代替线圈。

① 安培(1775—1836)是法国的物理学家。



两个磁极的位置也互换。

(3) 大家知道,可以繞豎直軸自由轉动的磁針,总是偏轉到一定的方向的,即接近南北向。地球对通电导体是否也有定向作用呢?就在1820年,安培又发现了地球对通电的綫圈所发生的定向作用。安培用的仪器的組成部分是一个直径約是40厘米的几乎是閉合的环形单匝綫圈 $L$ 或者方形的綫框(图217 a);綫圈的两端靠得很近,一端很精确地位于另一端的上方。固定在綫圈两端的鋼质尖头 $A$ 和 $K$ 分別放在貯有水銀的小杯內,跟电池組接通的导体就接到这两个水銀杯上。这样装置中的綫圈可以繞尖头自由地轉动而不致使电流中断。

(当然,这可以簡單地把綫框或螺綫管挂在柔軟的金属綫上来代替,如图216中所示的实驗那样。)当通电时,綫圈发生运动,它的平面轉到約位于东西向的平面內。由此可见,地磁场对有电流的綫圈的作用,是跟它对处在垂直于这綫圈平面上的磁針所发生的作用相同的。

在安培的仪器中,如果不挂一个单匝綫圈,而挂一个匝数很多的螺綫管(图217 b),那末地球对于通电綫圈的取向作用更

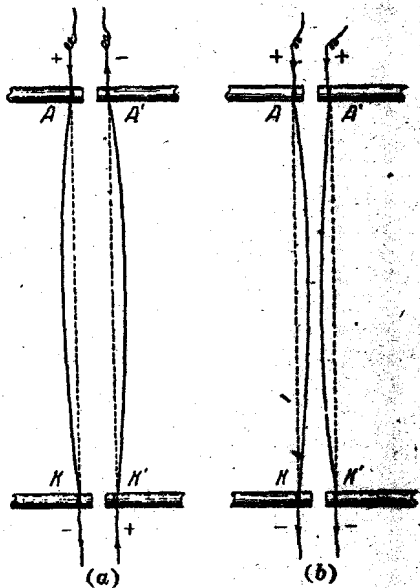


图218 (a)当两条平行导綫中的电流方向相反时,它們彼此相斥;(b)当它們的电流方向相同时,它們彼此相吸。

$A$ 和 $H$ 表示接触器。虛綫表示在没有电流时两条导綫的位置。