

148192

物理教学表演

第三册

磁 学

M. A. 格拉博夫斯基著

高等教育出版社

14
1

148192

33

5/2514

T 3 K 1

物 理 教 学 表 演

第 三 册

磁 学

M. A. 格拉博夫斯基 著

刘 超 刘立本 译

高等教育出版社

本書系根据苏联技术理論書籍出版社(Гостехиздат)出版的蒙洛塞也夫斯基教授(А. Б. Млодзеевский)主編,格拉博夫斯基(М. А. Грабовский)著的物理教学表演(Лекционные Демонстрации по физике)1949年版譯出。可供高等学校和中等学校的物理教师以实验室工作人員参考。

原書分八册,內容是分子物理与热力学(第一册),液体和气体力学(第二册),磁学(第三册),几何光学(第四册),物理光学(第五册),电学(第六册)振动与波(第七册),普通力学(第八册)。

譯本分六册出版,除將原書第四、五兩册合为第四册,原第六册改为第五册,原第七、八兩册改为第六册外,其余各書的册号与原書同。

本册是譯本的第三册,講述磁学方面的教学表演,共有表演 54 則。

本册由刘超(前五章)、刘立本(后五章)合譯,刘立本校訂。

物 理 教 学 表 演

第 三 册

М. А. 格拉博夫斯基著

刘超 刘立本譯

高等教育出版社出版 北京琉璃廠 170 号

(北京市書刊出版業營業許可證出字第 051 号)

京华印書局印刷 新华書店总經售

統一書号 13·110·419 開本 850×1168 $1/32$ 印張 6 $2/16$ 字數 146,000 印數 0001—4,200

1958 年 3 月第 1 版 1956 年 3 月北京第 1 次印刷 定價 (10) 洋 0.95

序 言

本書是物理教学表演的磁学部分。这个分册的范围大体上与高等学校普通物理教学大纲所规定的相合。与“物理教学表演”的前几册一样，凡是中学物理教师应进行的那些课堂表演，本書都不列入。只有个别我們认为在高等学校讲述物理课程有用的那些基本表演例外。

国立莫斯科大学普通物理课堂演示的磁学实验，几乎全部收入本書。此外，我們在编写本書的过程中，还加入了一些我們新拟的实验。新实验占本書中实验总数的 25—30%。

最近几十年来，科学家們在磁学領域内得到了巨大的成就，这就要求高等学校的普通物理教程能反映出这些新问题，又因为俄国和苏联的物理学家們在磁学發展中所起的巨大作用，所以这样反映也是有必要的。因此，在本書中加入下列新的表演，以期稍能弥补这一缺陷。即加入了：磁致伸縮現象，磁場电效应，应力对于鉄磁体磁性的影响等等。我們也想同样对“磁学”这一部分的許多“老”問題，比高等学校的一些教科書講得略为广泛些。在这些問題中，首先是磁路的研究，以及一些与永磁体物理有关的問題。由于这些問題很容易用生动的表演來說明，因此在本書中用兩章的篇幅專門叙述这类問題。

近年来冶金学在制造新的磁合金方面有了显著的成就。物理学家与冶金学家們已經造出了一些具有大矯頑力和显著剩磁性的合金。这些合金的出現，大大地扩展了永磁体在仪器制造中的应用范围。

此外，特种鋼的冶金工業創造了一些新的高磁导率的鋼，这些鋼的矯頑力，比現在已知的各种合金的矯頑力都要小。由这些新

合金作成的产品,能够在較地磁場更弱的磁場中(即在極其微弱的磁場中)交变磁化。所有这些冶金学的成就,使我們有可能来演示許多較以前更为生动、更有說服力的磁学实验。

在我們的工作中,我們已尽量考虑到这些新技术的可能性,而且在許多情形中加以利用。

在本書中,未能应用明显而又通俗的課堂表演,来反映近代鉄磁体学說的一系列的根本問題,对此我們深感遺憾。

在这些問題中,首先是鉄磁体的磁性在不同的結晶方向上各向异性的問題;阿庫罗夫-彼得尔(Акулов-Биттер)圖形的观察問題,及其他問題。我們希望將來能彌补这一重要的缺点。关于“磁学”这一部分中的一些基本实验,例如,迴轉磁效应,爱因斯坦和德-哈斯实验等等,在本書內只提供了模型式的表演,而这些表演只能粗略地闡明所研究的現象。本書中还列入了另外一些模型实验。

本書表演的安排次序,我們認為是与高等学校普通物理磁学部分講授时所允許的叙述次序相符合的。

本書是按照下面的原則編写的:每一表演的描述,几乎都与前一表演的材料無關。在叙述每一表演之前,先作簡短的說明。当表演的內容屬於新的問題时,实验的說明部分叙述較詳。

在裝置新的磁学实验时,我总尽量和我的磁学同行同志們商議。他們常給我帮助并供应我实验室的各种材料。我借此机会向他們致謝。我要特別对国立莫斯科大学物理实验室的同仁科耳巴諾夫(М. В. Колбанов),伍薩金(С. И. Усагин),叶戈洛夫(В. С. Егоров)等表示感謝,他們曾經幫助我裝置新的实验,和改进旧的表演。

我要向蒙洛塞也夫斯基(А. Б. Млодзеевский)教授表示深忱的謝意,在表演技术方面,他对我提出了寶貴的意見,并經常給我以殷勤的关注。

М. А. 格拉博夫斯基。

目 录

序言	vii
----------	-----

I 基本实验	1
--------------	---

1. 磁体結構模型	1
2. 油中的鉄屑	4
3. 裝有鉄屑的試管	5
4. 用永磁体摩擦的方法使鋼条磁化	7
5. 將永磁体折断为若干段	10
6. 鉄棒在地磁場中受震击而磁化	12
7. 永磁体的外磁場	16
8. 鉄磁体的感应磁化	19
磁化了的彈簧片 驗磁器 磁場中的摆	

II 磁的电子学性質	25
------------------	----

9. 分子电流假說	25
10. 电流的磁場	28
帶有电流的直导綫周圍的磁場 电解液中电流周圍的磁場	
11. 电子或离子流在磁場中的偏轉	30
克魯克斯管 鏈条放电在磁場中的旋轉	
12. 抗磁性的电模型	34
13. 磁陀螺	35
14. 迴轉磁效应	38
15. 爱因斯坦和德 哈斯实验	41

III 抗磁与順磁物質的实验	44
----------------------	----

16. 抗磁性物体的实验	44
鉍杆在磁場中的轉动 盛有抗磁性液体的管子在磁場中的轉动 鉍球 受磁場的排斥 燭焰的抗磁性	
17. 順磁物体实验	48
盛有氯化鉄水溶液的管子在均匀磁場中的轉动 氯化鉄的水溶液被磁 場吸引上升	
18. 介質对于磁場中的順磁体与抗磁体的行为的影響	50

IV 鉄磁性	53
--------------	----

19. 躍变磁化	58
----------------	----

20. 居里点	58
电磁体吸引铁钉 磁回轉器 带有热铁心的变压器 合金的居里点	
21. 磁致伸縮	67
22. 磁场电效应(铁磁綫在磁场作用下欧姆电阻的变化)	70
23. 机械力对铁磁体磁性的影响	73
V 铁磁体的主要的磁的特性	77
24. 用冲击法量度磁场强度	77
25. 斯托列托夫曲綫	81
26. 試品在磁场中退磁	88
27. 磁体的起重力	89
电磁体的起重力与心的磁感的关系 电磁体的起重力与被其所吸住的 銜鉄的面积的关系 用永磁体作的实验	
28. 陰極射綫示波器上的磁滯迴綫	94
磁场偏移法 电场偏移法	
29. 矯頑力	108
30. 交变磁化时鉄磁体的变热	113
VI 磁路	117
31. 磁路的串联	118
32. 磁路的并联	120
33. 磁通量的分流	123
蹄形磁体的分流 条形磁体之磁通量的“短路” 磁电式仪器的分流	
34. 磁屏障(磁屏)	126
第一实验 第二实验	
VII 永磁体	128
35. 永磁体的制法	128
36. 鉄磁体的自退磁現象	131
閉合磁路的拆开 两个永磁体磁極的靠攏 用軋鉄閉合蹄形鉄体 具 有斷开心和閉合心的自感綫圈 具有長度可变心的变压器 鉄磁心被 吸入有电流的綫圈内 当心自退磁时电磁体举重力的减小	
37. 剩磁沿永磁体長度上的分布	140
38. 鉄磁体磁化过程的机械模型和永磁体形成的模型	142
VIII 用磁針作的几个实验	146
39. 磁场中磁針的振動	146
40. 用亥姆霍茲环量度地磁场的水平部分	148
41. 無定向体系	151
IX 用新的具有高矯頑力的合金作成的永磁体作的实验	155

42. 簡短的导論	155
43. 永磁体的互相吸引	156
“飞悬的”磁体平衡磁体	
44. 用感应法使鉄磁体磁化	160
用鉄迴形針作的实验 用鉄圓柱作的实验 由磁化小球構成的圓錐 “磁梯”	
45. 用感应法使軟鉄棒反向磁化	164
46. 兩永磁体的互斥	164
“飞悬的”磁体 (“試管中的謾 罕默德灵柩”) “降落着的”磁体 “磁体的冲撞”	
47. 空間的磁力綫譜	169
48. 鉄磁体球在永磁体的場中运动	172
X 用磁性軟的棒作的实验	173
49. 簡短的导言	173
50. 叵姆齐棒在地磁場內的磁化	175
51. 帶叵姆齐棒的綫圈	177
52. 帶叵姆齐棒的綫圈, 棒的長度是可变的	179
53. 帶叵姆齐棒的綫圈, 棒的兩端的面积可以增加	180
54. 量弱磁場用的电力磁强計	181
参考書目	188

I. 基本实验

1. 磁体结构模型

按照磁的本性的最原始的观点，每种物质都是由大小不超过原子或分子的若干小磁子组成，这一观点是在认识磁性过程中的最初阶段发生的，在当时曾起过重要的作用，因此它具有相当大的历史意义。下面的事实就是这个观点的实验证明，即将一永磁体分为许多小段后，任一小段仍为一磁体，且保持着原磁体的极性。

在讲课中研究这一问题时，最好示以下述简单模型。

在一不大的玻璃板上固定 20—25 个小木柱，小木柱排成平行的行列（参看图 1）。在每一木柱上牢固地插入一小针，针的钝端向下，在针尖上各戴上一个小的弱磁化了的铁棒。在此装置中，诸铁棒可以各绕其本身的轴在水平面内转动而不致相互碰触^①。

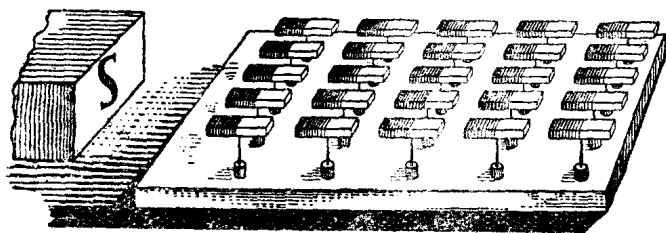


图 1.

如果开始时诸棒是各方向乱放着的，那末这种模型可以比拟为一个铁磁物体的结构。由于磁棒的分布是处于杂乱无章的状态，正如任何未经磁化的铁磁体一样，其总的磁矩等于零。

我们现在使磁场作用于这个模型上

现在全部磁体就会转到沿外加磁场的方向，排成相互平行的

① 如果小棒对磁的性质来说是软铁作的，那末诸棒一般不必预先磁化。

行列,这种形式的模型,形象地表示出鉄磁体被外磁場磁化到飽和状态后的結構。如果移开使模型磁化的永磁体,模型中的个别磁子就会又离开磁場作用过的方向而發生某些偏轉,于是磁化时所形成的行列就被破坏了。

但是由于針尖摩擦阻力的作用,諸磁体并不能完全恢复到原先的混乱情况,有些棒保持着外磁場所作用的方向,另一部分則处在原始方向与磁場方向之間。受磁場作用后,在諸磁体排列中优势方向的出現与鉄磁体中的剩磁現象有些类似。阻碍諸小棒回复到原先位置的摩擦力,可以粗略地比拟为鉄磁体的矯頑力。

操作指示 1) 一般借透射投影將模型映射到幕上。因此模型的尺寸不要太大。裝置小針的平板的尺寸为9厘米 $\times$ 12厘米。洗去了膠層的照相底片,在这里可以适用。

2) 模型中的各磁体用金屬(鉄的或含微量碳的)絲制成。磁体的形狀为小柱体或平行四面体。磁体的大約尺寸为:長10—12毫米,截面2毫米 $\times$ 2毫米。若为柱形,則磁体的直徑約等于2.5毫米。

用小鑽子在磁体的中部鑽一小穴,穴深达磁体厚度的一半。穴直徑的大小要使得針端能自由地插入。不需要設法减小針尖与磁体間的摩擦。相反的,为了演示剩磁現象,必須增加針与磁体間的摩擦力到某一程度,以使得当外場消失时,一部分磁体能停留在新的位置。

为使观察者能在幕上看到在外磁場的作用下,諸棒的北極处于一个方向,而南極在另一方向,最好將每棒的一端稍許削尖些。这样就便于講演者說明映現在幕上的圖形。

全部磁体應該是同样大小的;最好尽可能使它們具有同样的磁性。

3) 固定小針用的小柱体,必須用木或軟木塞制作,其直徑必

須較磁体的長度小得多(否則它們將會妨碍磁体在幕上的投影)。若磁体的長度为10—12毫米,則木塞的直徑應該不大于4—5毫米。

用門德列也夫油灰或粘膠把木塞粘在玻璃板上。木塞在玻璃板上排成平行的行列(參看圖1)。

4) 應該用強力而又大型的永磁体^①來作用于模型上。在此情形下,作用在模型的所有的棒上的力差不多相等,因此諸棒對外磁場的反應也差不多一樣。在演示這個模型時最好將永磁体旋轉 180° ,借此使全部磁棒也轉過 180° ,然後將永磁体放置在与模型的長邊成 90° 角的地方。

可以用螺綫管代替永磁体,并將模型放入螺綫管的中心部分。作此實驗用的螺綫管的螺矩要作得大些,使得螺綫管的匝綫不致十分妨碍模型的投影。如所采用的螺綫管很大(長为120—150厘米,直徑为40—50厘米),那就可以簡便地用小的表演磁針(長約10—12厘米)來代替磁棒,這種表演磁針在学校的物理實驗室內一般都有。可將16—20个同样的磁針裝置在一條板上,板置于螺綫管的中部。這種大螺綫管的匝距为8—10厘米(參看圖2)。

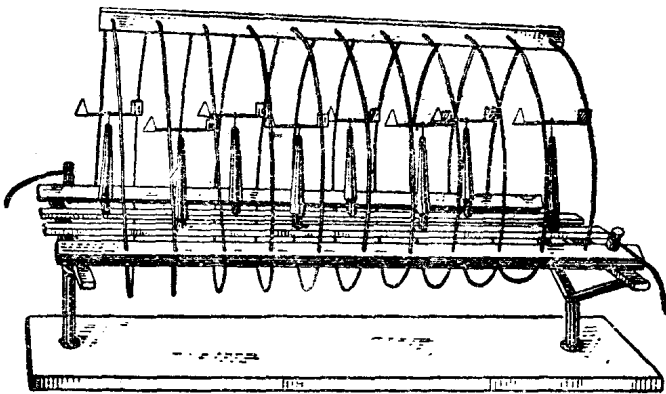


圖 2.

① 剩磁性大的磁体,我們稱它為“強力的”永磁体。因此在這種磁体周圍的外磁場的平均強度也就相當強大。

如果金屬絲足夠粗(4—5毫米),即使沒有架子,螺綫管也能保持自己固有的形狀。但为使螺綫管更形堅固,最好取兩塊帶有一排孔的木板條,并將螺綫管的匝綫穿过此架子的諸孔。具有这种大螺距的螺綫管实际上是透明的(參看圖2)。显然,这样大的磁針与螺綫管,即使是在大教室中不用投影也可以演示它。

2. 油中的鉄屑

下面再提出一个簡單的磁体結構的模型。

將蓖麻油(透明的)灌入一平底玻璃盤(洗槽)內,以少量鉄屑倒到油中,然后攪勻。盤底上的油層要鋪得均勻,其深度不宜超过2—3毫米。当將已盛油的玻璃盤水平投影到幕上时,观察者可以看到鉄屑杂乱地散布在油中,有些地方还形成鉄屑堆。鉄屑的这种杂乱分布,与未經磁化的物質中的基本磁子的假想的排列圖景有些相似。

現在將兩個强的永磁体靠近平底盤的兩側,使得有鉄屑的区域处于均匀磁場內(參看圖3)。在磁場的作用下,鉄屑开始轉得使

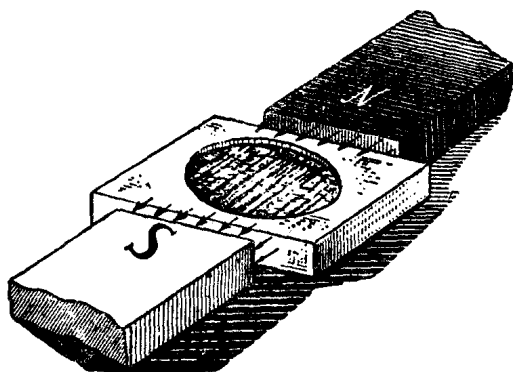


圖 3.

它自己的軸順着磁場的方向(实际上每一个鉄屑具有細長的和不对称的形狀)。等待若干秒,直至全部鉄粉轉到場的方向。鉄屑的轉动是極緩慢的,这是因为油的粘滯

性很大,使得鉄屑难以在其中运动的原故。此后移动永磁体,使得作用在鉄屑上的均匀磁場的方向垂直于原先的方向。現在“磁分

子”开始轉向新的方位。鉄屑以及延展成列的鉄屑群就运动起来，并緩慢的轉动，趋向新的磁場方向。

在移开永磁体之后，鉄屑仍保留与場作用的方向一致的方位。

有趣的是，在場的作用下，鉄屑群自行改組，以便沿着磁場方向形成鏈条排列。

作此实验必須用粘性的蓖麻油。这样，作用在鉄屑上的磁場只能迫使鉄屑在油內轉动，而不会使鉄屑从油內跳出或將它們全部吸引向鄰近的磁極。置于盛油的玻璃盤旁边的磁体必須够强；只有这样，鉄屑才能旋轉。

如果只用一个永磁体置于油盤的旁边，因而鉄屑处于不均匀的磁場中，那末观察者会从幕上明显地看到：鉄屑轉向場的方向并緩慢地向較近的那个磁極移动。

3. 裝有鉄屑的試管

为了解釋鉄磁体構造的磁分子假設，还可以提出第三个表演：將細鉄屑倒入一端封閉的玻璃管內。用木塞將管塞住。按照这种假設，这种裝有細鉄屑的玻璃管可以比拟为退了磁的鉄杆。

將鉄屑管移近磁針(圖 4)，表明所有的鉄屑粒整个說来沒有磁化。因为此时磁針对于靠近它的鉄屑管反应很差。現在將鉄屑管插入通有直流电的綫圈管道中，鉄屑被磁化。此后再將鉄屑管移近磁針，就可以

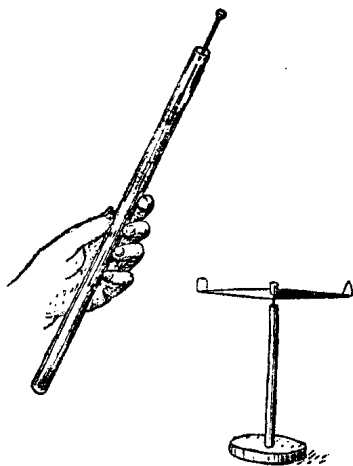


圖 4.

看出：鉄屑所有的微粒作用于磁針上好像一个整塊的磁棒一样。当鉄屑管的不同磁性的兩端接近表演用的磁針时，磁針急剧地向不同的方向偏轉。

証實了鉄屑管的作用像真正的永磁体以后，我們將管子用力搖动，以使鉄屑尽量互相混乱。然后再將鉄屑管移近磁針并使观众相信：由于混乱的結果，磁化了的鉄屑彼此互相中和了。就整个看来，鉄屑管已經失掉了它在管周圍产生外磁場的磁矩了。現在磁針对靠近它的鉄屑管只有極其微小的反应(見后)。

重作实验。每重复一次实验，我們就更加相信：全部鉄屑微粒磁化的过程，使整个管子产生一定的总磁矩；而当管內的鉄屑被搞乱时，这磁矩就消失了。

操作指示 1) 玻璃管的大小：長 35—40 厘米，內直徑 1—1.2 厘米。

2) 把細鉄屑裝入管内，达容积的六分之五处。鉄屑最好采用熟煉的^①軟鉄，这里最好利用錳碳鋼 (армко)^{②③}。用粗紋銼刀(粗的或半粗的)銼錳碳鋼片，就可得鉄屑。鉄屑裝入管中后，用木塞把管口盖住。木塞的大小要選擇得使它能塞入管内，并能將鉄屑稍稍压住。使鉄屑管在傾斜或翻轉时，鉄屑不致在管内分散。在这种情况下才适宜于进行全部鉄屑的磁化。

当要演示鉄磁体的退磁，即搞乱各个磁化了的鉄粒时，我們將木塞拔到玻璃管的尽头，使管中留出空隙，然后把玻璃管向各方向翻轉，細心地攪乱鉄屑。再將木塞推入管内，用它重新將鉄屑輕輕压住。

① “熟煉的”(отожженные) 或叫退火的是將金屬先加高热，而后淬冷以令柔韧而減其脆性——譯者注。

② “錳碳鋼”含杂质極少(不超过 0.15—0.20%)。

③ 錳碳鋼含錳 0.03%，含碳 0.02%——譯者注。

現在我們的模型就相当于完全退磁的鉄磁体了。

因为上述表演須要使木塞在管内移动，因此要在木塞上固定一个小銅杆，借此銅杆能使前述表演容易进行(参看圖4)。

3) 这里必須提出一个注意事項，凡是用磁針預先檢驗鉄磁体退磁状态的一切表演，都要加以注意。即当把退了磁的鉄磁体接近磁針时，由于磁針的外磁場的作用，使得被研究的鉄磁体，总要受到極其微小的磁化。因此磁針略受鉄磁体的吸引。所以，在檢驗鉄磁棒的磁化状态时，若棒与磁針之間有微小的吸引时，不能認為鉄磁棒已处于磁化状态

在用力抖动鉄屑管，然后去檢驗其退磁状态时，我們也遇到了同样的感应吸引的現象。但是，这种感应的引力，与在綫圈的磁場中磁化了的鉄屑管对磁針兩極所施的吸引及排斥的主要效应比較起来，是極其微弱的。

以后將叙述另一种判定鉄磁体退磁状态的方法：在此法中不用綫圈包围被研究的样品(参看第25表演“斯托列托夫曲綫”)。这一方法在檢驗过程中不引起样品的磁化，在本实验中也可以采用它。

4. 用永磁体摩擦的方法使鋼条磁化

取一塊細長的鋼条(手鋸条)，令它接近表演磁針。若鋼条預先未經磁化，則原来指向磁子午綫方向的磁針实际上不会偏轉^①。現在將鋼条置于表演台上，并用兩個条形永磁体使它磁化。

为此，实验者手扶兩個条形磁体，令二者的异極并在一起，并

① 手鋸是一种用手鋸鋼鉄或机械鋸鋼鉄的小鋸。好的手鋸是用錫鋼或碳鋼制的。

② 我們早已指出，当鉄(或鋼)条与磁針靠得很近的时候，由于鉄在針的磁場中受感应而磁化，磁針可能偏轉。因此在用本法檢驗磁化时，不应使鋸条与針靠得近于3—5厘米(参看前一表演)。

將它們置于手鋸條的中部，使與鋸條變成 $30-40^\circ$ 的角度。然後

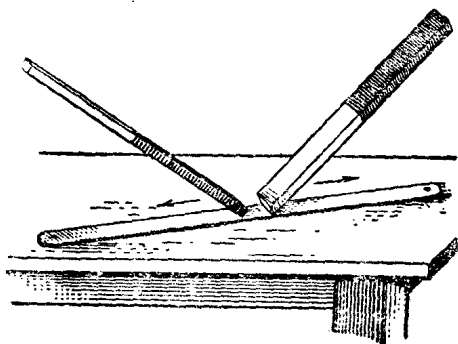


圖 5.

實驗者將永磁體的兩端
從鋸條的中部向鋸條的
兩端移動(參看圖 5)。

經 5—6 次這種運動以
後，鋼鋸條就會磁化。

現在可用磁針來檢驗鋼
條的磁性，並分辨其磁
極。這一手續應該這樣

來進行：實驗者鉛直地

拿着磁化了的鋸條，令其下端靠近磁針的一極(圖 6)①。假若靠
近磁針的北極時，北極被排斥；則我們可以斷言，磁化了的鋸條的
下端是北極。應該從側面將鋸條接近磁針，因為在此情形下，磁針
與鋸條同極間的相互作用才給針以最大的斥力。這時等待針靜止

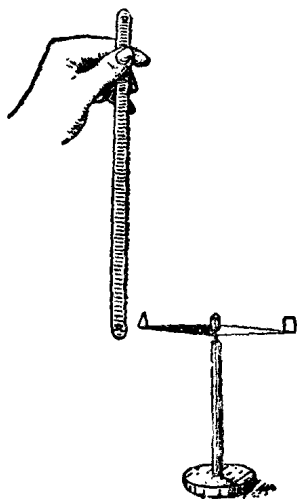


圖 6.

在偏轉位置。然後開始將鋸條沿鉛
直方向緩慢地下降。開始時磁針對
磁化了的鋸條的下降沒有反應，仍
舊保持偏離狀態。此後，當鋸條的
中部經過磁針的極時，磁針返回到
原先的方向(地磁子午綫方向)。將
鋸條繼續下降，磁針就開始“感覺”
到鋸條上極(南極)的接近並向其靠
近。

這種檢驗鋼條的磁性的方法，
是方便而且適於表演的。此外，借
此還可以察知鋸條的中部是否具有

① 圖上用黑色表示磁針的北極。

多余的磁极,这一点,以后我们会看到,有时是会发生的。

可以将钢条的一端与铁屑,小钉,钢别针等相接触,来检验钢条的磁性。在此情形下,必须预先用同样的方法演示一下,使观众相信,锯条在被永磁体摩擦以前是没有磁化的。

摩擦磁化法手续,可以比前述的更行简化些。将未经磁化的锯条置于表演台上。此后,用手压住锯条的一端,同时取一强永磁体,把它沿锯条方向自压住的一端向自由端挪动。沿整个锯条作4—5次这种运动以后,它就会很好地被磁化。此时可以用前述方法中的一个,来予以检验。

在教室内将钢条退磁是相当有趣味的。

关于铁磁体退磁的手续,尚须谈一谈。因为将铁磁体样品退磁(特别是用摩擦方法)较之于将它磁化要困难得多。为使磁化了的铁磁体恢复到起初的状态(此时全部基本磁子处于混乱状态),最好将它加热使其温度升高到略高于居里(Кюри)点,然后让它缓慢冷却。也可以用另一种方法来退磁,不过,这在技术方面是更加困难的。我们可将磁化了的铁磁体置于交变的强磁场中。然后使铁磁体在此磁场内绕各种可能方向作均匀的转动,同时我们把交变磁场的强度逐渐降低以达于零。在此情形下,我们使铁磁体整个体积内的各基本磁子又重新达到了均匀的分佈。

铁磁体的退磁实际上往往是在通有交变电流的线圈的管道中进行的,线圈中的电流强度借变阻器来使它逐渐减小(参看表演26)。在此情形下,不能说铁磁体已完全退磁了,因为大部分基本磁子是指向两个方向——平行于线圈轴线的二方向;当然,在通电流线圈中退了磁的铁磁体的总磁矩仍等于零。从实际应用上来说,当然,也对表演来说,这样的退磁是完全适用的。至于用摩擦使铁磁体退磁的方法,甚至在讲课时也不必提到,因为实验者在退磁时很难使永磁体在与磁化时相同的条件下作用于钢条。