

物理教學表演

第五冊

電學

Р. В. ТЕЛЕСНИН 著

東北工學院物理教研組譯

商務印書館

27

23

5/2514

33

5/2514

T.5K.1

47226

物理教學表演

第五冊

電學

P. B. 傑列斯寧著

東北工學院物理教研組譯

商務印書館

本書係根據蘇聯技術理論書籍出版社(Государственное издательство технико-теоретической литературы)出版的蒙洛塞也夫斯基教授(А. В. Млодзеевский)主編,傑列斯寧教授(Р. В. Телеснин)等著的“物理教學表演”(Лекционные демонстрации по физике)1952年版譯出。可供高等學校和其他部門的物理教師以及工作人員參考。

原書共分八冊,內容是分子物理與熱力學(第一冊)、液體與氣體力學(第二冊)、磁學(第三冊)、幾何光學(第四冊)、物理光學(第五冊)、電學(第六冊)、振動與波(第七冊)、普通力學(第八冊 1954年版)。

譯本分六冊出版,除將原書第四、五兩冊合為第四冊、原第六冊改為第五冊、原第七、八兩冊改為第六冊外,其餘各書的冊號與原書同。

本冊是譯本的第五冊,內容是電學課程表演的描述,並包括交流電、電磁振盪及電磁波、電子管及電路方面的材料。

本冊由東北工學院物理教研組沈洪濤、賴祖涵、白玉山、劉立本、盛傑、張開義、徐培光、宋承宗、吳宗恩、曹富田、陳宗潔、江自應、張季達、李梅林、程蘊玉等同志翻譯。由沈洪濤、賴祖涵、劉立本、徐培光、宋承宗、吳宗恩、張季達、龍燕初、江自應等同志作初校。並由張季達、龍燕初兩同志作最後的校訂。

物 理 教 學 表 演

第五冊 電學

傑列斯寧著

東北工學院物理教研組譯

★版權所有★

商 務 印 書 館 出 版

上海河南中路二一一號

(上海市書刊出版業營業許可證出字第〇二五號)

新 華 書 店 總 經 售

商 務 印 書 館 北 京 廠 印 刷

(62145)

開本 850×1138 1/32 印張 6 5/16 字數 143,000

1955年4月初版 印數 1—4,500 定價(¥) 0.97 元

原 序

本書包含下列表演的描述：即靜電、直流電、電磁、電磁感應、交流電、電磁振盪與電磁波、電子管以及電解質和稀疏氣體的導電。在第七章內引入了許多作者改進過的新的表演。

這裏所描述的表演，是在以羅蒙諾索夫命名的國立莫斯科大學物理系和莫斯科的某些其他高等學校做過的。這些表演中，有些是由著名的俄國物理學家愛欣瓦爾德（А. А. Эйхенвальд）教授和他的助教拉茲日汾（Н. В. Разживин）所首先提供的。

編寫時，作者爲了避免重複，所以在好些地方指出要引用前面的表演。在第七章內某些地方，沒有詳細地描述線路裝置的過程，因爲假定熟習這方面的工作人員能够進行裝置。

作者謹向蒙洛塞也夫斯基（А. Б. Млодзеевский）教授，伍薩金（С. И. Усагин）助教及葉戈洛夫（В. С. Егоров）一級實驗員表示感謝，因爲他們對本書提出了許多寶貴的意見。

Р. В. 傑列斯寧教授

目 錄

序	i
I. 靜電	1
1. 進行靜電表演應注意事項	1
2. 帶電體對物體的吸引	2
3. 電荷的相互作用	3
4. 摩擦起電時異號電荷的發生	5
5. 驗電器和靜電計	5
6. 導體和絕緣體	7
7. 導體表面上電荷的分佈	8
法拉第籠(圓筒)	8
柯里勃網	9
複雜形狀的導體表面上的電荷	10
8. 尖端上的電荷 電風	11
9. 電場 電力線	13
10. 導體的靜電感應	15
11. 靜電屏蔽	16
12. 帶電導體的電位	17
13. 電場中各點的電位 等位面 火焰探測器	18
14. 用火焰探測器研究電容器的電場	19
15. 不同大小和不同形狀的物體的電容	20
16. 當物體大小改變時物體電容的改變	22
17. 電容器的電容與兩極板間的距離及電介質的介電常數間之 關係	22
18. 人體的帶電	23
19. 電容器的並聯和串聯	23
20. 阿爾卡葉夫火花電容器式變壓器	24

21. 可拆開的萊頓瓶	25
22. 測定電子電荷的密立根實驗模型	26
23. 電介質的極化	27
24. 起電盤	28
25. 駐極電介體	28
26. 作用在電介質上的機械力 電介質被吸入電場中	29
27. 壓電現象	30
28. 壓電振動	31
II. 直流電	32
29. 沿載電流導線的電位降落	32
30. 在低壓電流的電路中電位的降落	34
31. 歐姆定律	35
32. 各種導體的電阻率	36
33. 導體的電阻與其長度和截面積的關係	37
34. 第一類導體的電阻與溫度的關係	38
35. 非金屬導體的電阻與溫度的關係	38
36. 變阻器和分壓器	40
37. 電源的電壓和負載之間的關係	40
38. 基爾霍夫第一定律(電流的分路)	41
39. 安培計和伏特計的量度範圍的擴大	42
40. 電橋的線路	43
41. 量度電動勢的補償法	44
42. 用電流使不同的導線發熱	45
43. 彼得洛夫電弧	45
44. 熱式測量儀器的模型	46
45. 可熔安全器	46
46. 電阻串聯和並聯時功率的分配	47
47. 接觸電位差	48
48. 溫差電	49

49. 溫差電偶	49
50. 溫差電堆	50
51. 溫差電動勢的反轉	51
52. 珀耳帖效應	52
III. 電磁	53
53. 直流電的磁場	53
54. 不同形狀的載電流導線的磁場	54
55. 拉普拉斯、畢奧、薩伐爾定律	56
56. 磁場對電流的作用	56
載電流的導線從電磁鐵兩極間被推出來	56
巴羅輪 (Колесо Барлоу)	58
57. 磁鐵繞電流的轉動	58
58. 載電流的導體繞磁鐵轉動	60
59. 載電流的導線纏繞電磁鐵	61
60. 電解質在磁場中的運動	62
61. 平行電流的相互作用	63
62. 金屬蝕線	64
63. 安培框	64
64. 閉合電流與永久磁鐵的相當性	65
65. 載電流的線圈在地球磁場中	66
66. “自動的”線圈	67
67. 各種類型的測電儀器的構造原理	69
磁電型的儀器	69
電磁型的儀器 (多里沃-多布洛沃爾斯基的儀器)	70
電動型的儀器 瓦特計	71
IV. 電磁感應	75
法拉第的基本實驗	75
楞次感應定律	77
環的排斥和吸引	77

磁鐵被線圈吸入和推出	77
70. 地磁感應器	78
71. 電路接通和開斷時的自感電流	79
72. 大導體中的渦電流	80
擺振動的制動	80
磁場內立方體的轉動	81
電磁鐵兩極間硬幣的落下	82
73. 用旋轉銅盤帶動磁針	82
74. 感應圈及其斷續器	84
75. 開斷電路時用電容器使電火花熄滅	86
76. 具有大電感的電路中電流的增長	87
77. 兩個迴路的互感和它們的排列對應電動勢大小的影響	88
V. 交流電	90
78. 在磁場中旋轉線圈以產生交流電和用整流器將交流電變為脈動直流電	90
79. 用迴線示波器顯示交流電的正弦曲線	91
80. 感抗	92
81. 電容器的容抗	93
82. 在交流電路中電流和電壓間的週相移動	94
83. 用示波器表演電壓的共振	95
84. 利用燈泡變阻器和伏特計表演電壓的共振	96
85. 電流的共振	98
86. $\cos \phi$ 的改進	98
87. 旋轉磁場	99
88. 三相電流。星芒接法和三角接法	100
89. 三相電流的獲得 三相電流的旋轉磁場 異步電動機的作用原理	102
90. 電壓的變換	103
91. 降壓變壓器	104

92. 昇壓變壓器	104
93. 在高電壓情況下電能的輸送	105
94. 變壓器的繞組中電流的相互作用	105
VI. 電振盪和電波	106
95. 緩慢電振盪	106
96. 電容器經過電阻緩慢充電及經過氖氣管放電	108
97. 與萊頓瓶組成的耦合迴路中的振盪	110
98. 志斯拉感應圈 高頻電流的性質	111
副線圈的發光	112
高壓高頻電場中氣體的發光	112
高頻電流的生理作用	113
高頻電流電路中的電感	114
高頻電流通過電介質	114
99. 高壓高頻可調自耦變壓器	114
100. 線圈中的電波	117
101. 導線中的駐電波	118
102. 空氣中的駐電磁波	120
103. 電介質中的位移電流	122
104. 無阻尼振盪的電弧振盪器	122
105. 赫茲振盪器和共振器 金屬屑檢波器	124
106. 高頻振盪檢波器	126
107. 電磁波的反射、折射、干涉和偏振	128
波的反射	128
折射	128
干涉	129
偏振	129
108. 格拉各列娃-阿爾卡葉娃的電磁波金屬屑輻射器	130
VII. 電子管及其基本應用	132
109. 熱游子效應	132
110. 二極管的特性曲線 飽和電流	133

111. 電子管用作整流器	134
112. 三極管的柵極的作用	136
113. 三極管的特性曲線及其參變量	137
114. 利用示波器獲得三極管的特性曲線	138
115. 低頻電子管放大器	139
116. 無阻尼振盪的電子管振盪器	141
117. 成拍	143
118. 正負反饋耦合	144
119. 高頻振盪的調制	146
120. 打拿負阻管效應	150
121. 遏止柵極的作用 五極管	151
122. 閘流管的特性	151
123. 被控制的閘流管整流器	152
124. 週相控制閘流管的電流	153
125. 閘流管的放電線路	154
126. 閘流管延時替續器	155
127. 管式計數器的線路	156
128. 用氣體放電管使電壓穩定	156
129. 用鎮流電阻器使電流穩定	157
VIII. 電解質的導電	158
130. 電離解	158
131. 電解	159
硫酸銅的電解	159
“鉛樹”	160
碘化鉀的電解	160
阿爾策勃舍夫實驗	160
稀硫酸的電解	161
在陰極上分離出的氫氣爲鉍所吸附	161
氯化鈉溶液的電解	161
電解硫酸溶液時爆炸氣體的獲得	161

132. 法拉第定律	163
133. 離子的速度	163
134. 電解的各種應用	164
135. 伽伐尼電池	165
136. 極化電流	165
137. 電池的去極	166
138. 伽伐尼電池和蓄電池	166
IX. 氣體的導電	167
139. 氣體的電離	167
140. 電離時的飽和電流	169
141. 離子的擴散	170
142. 離子的復合	171
143. 稀疏氣體中的放電	171
144. 陰極射線	172
陰極射線傳播的直線性	173
陰極射線對陰極表面的垂直性	174
陰極射線的機械作用	175
在陰極射線作用下的發光	175
陰極粒子具有負電荷的證明	176
145. 極隧射線和陽極射線	176
146. 陰極射線和極隧射線在電場和磁場中的偏轉	177
147. 電子式示波器	178
148. 倫琴射線	180
149. 光電效應 斯托列托夫實驗	184
150. 氣體放電管的燃點電位與熄滅電位	187

I. 靜 電

1. 進行靜電表演應注意事項

要使靜電實驗的表演進行順利，必須滿足一些條件，這些條件在電學其他部門的表演中是不起作用的。

這些條件中最重要，是儀器的絕緣部分要有乾燥的表面。當水蒸汽包圍在組成靜電儀器絕緣部分的硬橡膠或其他電介質的表面上時（經常發生在潮濕或寒冷的天氣），電介質的表面電阻將顯著減少，這就引起電荷很快的漏失。在這情況下，甚至連最簡單的實驗也不能成功。在很多學生出席的教室內，也能引起空氣濕度的顯著增加。在講課前已作成功的實驗，當觀眾擠滿以後，就可能做不成功。

為了避免電荷經過絕緣部分的潮濕表面漏失，必須很好地將儀器乾燥，儀器放在特殊的電熱乾燥箱內，就可以做到這點；這箱內的溫度不應超過 $50-60^{\circ}\text{C}$ 。利用裝在表演台上的特殊加熱器代替乾燥箱是很方便的。這個加熱器是用石綿板在台子內做成的方形深窪部，其大小約為 700×600 毫米，深為 200 毫米；在此深窪部內的絕緣板上張有臬各姆（НИХРОМ）的或其他加熱用的蜷線，預計電壓為 127 伏特或 220 伏特（可用 2—3 個電熱板上的普通的加熱蜷線並聯起來）；深窪部上面用有孔的金屬薄板蓋上，這些孔的直徑應約有 1 厘米。在表演開始前將靜電儀器放在這薄板上約 15 分鐘，這時由加熱蜷線來的熱氣流將儀器烤乾。這樣的加熱器也可以不裝在台內，而做成單獨的可移動的箱子，把它放在表演台上。這箱中的加熱可用普通的電爐進行。這時必須注意的只是儀器的硬橡膠部分不能過熱，以免可能引起儀器的損壞。

在許多表演中必須接地，因此表演台上應當有接地的接線柱。可以將直徑 1—2 毫米的銅線銲接在自來水管上，利用水道網作為大地。但當利用暖汽系統的金屬管作為大地時，結果就比較差些。利用煤氣管是不應該的，因為它是被連接在絕緣的油灰上。

在光的影響下，儀器的硬橡膠部分會改變其自己的構造，變成綠褐色並大大地減少自己的電阻。因此靜電儀器不應保存在有光的地方，而必須貯藏在封閉的完全黑暗的櫃子內。必須把已變成綠褐色的硬橡膠的上層擦去，才能恢復它的高電阻。

有時不潔空氣中的離子聚集到儀器上，可能成為靜電表演質量不好的原因。當通風不良時，煙草的煙侵入教室內時，以及其他等等，都能在教室內產生大量的離子。防止它們的辦法就是良好的通風。

2. 帶電體對物體的吸引

從古代起就已知道的由摩擦而帶電的物體吸引一些輕物體的現象，可用下面的方法表演。把各種顏色的香煙紙切成小塊，例如邊長 3—5 毫米的方塊。在接地的金屬板上撒一把這樣的紙屑，把不帶電的玻璃棒或硬橡膠棒或其他物體接近紙屑，表明在紙屑與棒之間並無任何相互作用（必須預先使棒經過煤氣燈的火焰，以便消除可能發生在棒上的偶然電荷，沒有這樣的預防，未經摩擦過的棒就可能吸引紙屑）。然後以毛皮或呢子摩擦硬橡膠棒（此時硬橡膠棒得到負電荷），使棒接近紙屑，則紙屑猛烈地被橡膠棒吸引，並有一部分紙屑黏在棒上。然後把由毛皮摩擦過的玻璃棒（玻璃棒得到正電荷）接近紙屑，來重作這個實驗。以此可以表演吸引與棒上電荷的符號無關。

作為摩擦起電的電介質，除硬橡膠及玻璃外，尚可應用琥珀（僅限天然的）、硫磺、火漆、膠玻璃、石英和其他等等。應該在試驗

幾種不同質料的玻璃後，選用一種玻璃棒。有些玻璃棒被毛齊化了的皮摩擦時不能很好地帶電，而用片狀橡皮摩擦時才可以帶電。爲了增強效應，金屬板必須接地，因爲在此情況下金屬板中仍有被感應的電荷作用在紙屑上。

帶電體不僅吸引輕的物體，任何物體都受帶電的電介質或帶電的導體的吸引。下面的實驗可以證明這一點：將一大木板水平地掛在兩根繩子上（圖 1）；繩子間的距離不應大於板長的四分之一，否則扭轉系統的反作用力矩將要過分強大。以帶電的硬橡膠棒或玻璃棒從側面接近板的一端，我們就可觀察到木板向棒轉動。

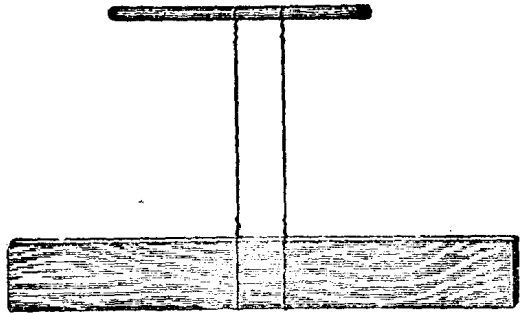


圖 1. 表演被帶電棒吸引的板子的懸掛法。

金屬物體的吸引可以利用鋁片或黃銅片表演，在葉片的中心裝一普通磁針的白形軸承。利用這軸承把葉片支持在放置磁針的尖端上。若把帶電棒輪流地接近這種葉片的兩端，我們就觀察到兩端被帶電棒吸引。葉片應取這樣的形狀，使它不像一個磁針。

也可以簡單地把葉片懸在線上。

3. 電荷的相互作用

爲了表演異號電荷互相吸引和同號電荷互相排斥，必須作兩個輕的物體，例如用有顏色的香煙紙做成直徑 10—20 毫米和長 100—150 毫米的兩個圓柱形筒。爲了牢固起見，把筒的底端和頂端封固起來，在頂端開兩個小孔，並把長爲 50 至 60 厘米的絲線穿

在這兩個小孔中；用這絲線把兩筒繫在固定於底座上的兩根 T 形玻璃棒上（圖 2）。這兩根玻璃棒可在底座的孔中轉動，以便改變兩紙筒間的距離。

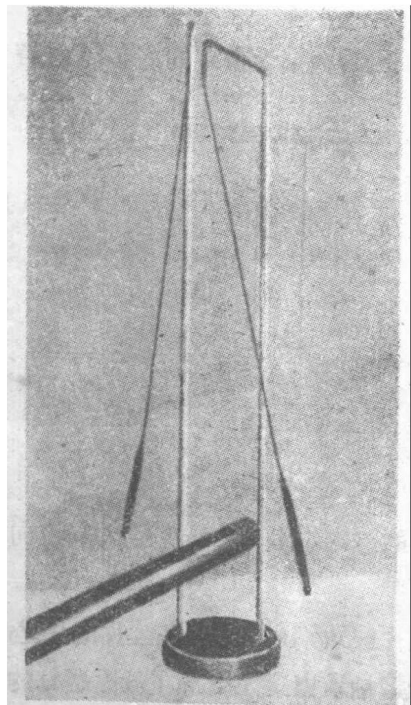


圖 2. 同號帶電體的排斥。

爲了表演同號電荷互相排斥，可將兩紙筒懸掛得幾乎要互相接觸。當以毛皮摩擦過的硬橡膠棒接近紙筒時，紙筒即被棒吸引，而在接觸後，兩紙筒都帶了同號的電荷，開始離開棒並且互相排斥，因此張開某一角度。如果將帶電棒放在紙筒之間，則這個角度還可增大。把棒輪流地放在筒的不同的一邊，以證明它們的互相排斥。做完這個以後，以毛齊化了的皮摩擦過的玻璃棒接近這兩個紙筒。筒被棒吸引，接觸後又過量帶以正電，並開始與棒排斥，且彼此互相排斥。

最後，這樣放置紙筒，使彼此相距 50—60 厘米，並使它們帶以異號電荷。然後使兩紙筒互相接近，直至它們開始吸引時爲止。如果使它們彼此接觸，則在其上的異號電荷互相中和，因而就停止吸引。

也可以拿其他輕的物體來代替紙筒，譬如拿兩個由薄橡皮做成的橡皮手指，吹滿氣並用線捆緊，用橡皮膠把捆的地方糊上，並塗以能導電的油漆，例如鋁質油漆。這樣的物體在大教室內表演非常方便。

4. 摩擦起電時異號電荷的發生

摩擦起電時，被摩擦的物體之一發生正電，另外一個發生等量的負電。

爲了表演這個現象，可以取兩個固定在絕緣的硬橡膠柄上的圓盤，其直徑爲 40—60 毫米。一個圓盤是硬橡膠的，另一個可用任何一種電介質做成，並於其上黏以呢子或毛皮。拿兩個驗電器，每個驗電器都連結在法拉第圓筒上。將兩圓盤互相摩擦後，放進法拉第圓筒；這時兩驗電器的箔片張開同一角度，這就表明兩個圓盤的電量相等。使兩驗電器接觸，即得電荷的中和，以此表明兩圓盤所帶的電量相等而符號相反。

不僅電介質可以摩擦起電，而且金屬也可以摩擦起電。爲了表演這一點，一個圓盤用金屬（例如用鋅）做成，另外一個用黏以呢子的硬橡膠做成。爲了使這表演做得成功，必需要把絕緣性質較好的柄固定在盤上，每一柄長爲 250—450 毫米。

5. 驗電器和靜電計

大多數的靜電實驗都需要應用驗電器或靜電針。自己容易製造的且能適用於不大教室中的最簡單的驗電器是一個容量爲 3—5 升的大玻璃瓶，此瓶帶有直徑爲 10—12 毫米的琥珀塞。把一個金屬棒穿入塞中心的孔中，在棒的下部固定兩片由有顏色的香煙紙或輕金屬箔做成的箔片，而上部旋上一個直徑爲 15—20 毫米的小金屬球。

棒上箔片的支架是儀器的一個最主要的零件。爲此，把兩根直徑爲 0.4—0.6 毫米、長爲 6—8 毫米的水平金屬絲（圖 3）做成鈎環，鉗在棒的下端，將香煙紙或金屬箔支持在這鈎環上，爲此把紙條的一端穿入鈎環，將其捲起並黏上，做成一個小圓筒。無論是金

鋤絲或圓筒都應十分光滑，箔片要能自由地繞金屬絲轉動，否則將在不同的位置受到阻礙。

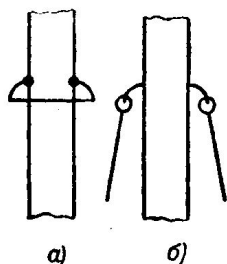


圖 3. 驗電器箔片的支架：a — 鉗有鉤環的棒的下端的側面圖；b — 箔片固定後棒的下端的正面圖。

在表演之前，應將驗電器烘乾。

爲了在大的教室中進行表演，就必須用一個很大的帶有金屬指針的驗電器（圖 4）。用來把指針支持在棒上的軸，應在比指針的重心稍高的地方穿過。驗電器的框架是金屬的，前面裝上玻璃，後壁有兩層：外面的一層是金屬的，內面的一層是毛玻璃或乳白玻璃的（有時內壁用白色材料做成）。在雙層壁之間放兩個 25 瓦的電燈，用來照明和烤乾儀器。

金屬棒通入嵌在儀器框架上的絕緣套子中。框架上有一個用來接地的端鈕。棒的上端套有小球或其他形狀的導體。指針是由薄的硬鋁或其他足夠硬而輕的材料做成的。標尺支持在驗電器的框架上。框架的直徑爲 500—600 毫米。

在做許多表演時，必須要有兩個完全相同的驗電器。

因爲這個儀器具有標尺，所以也可以把它當作靜電計用。

在做許多表演時，

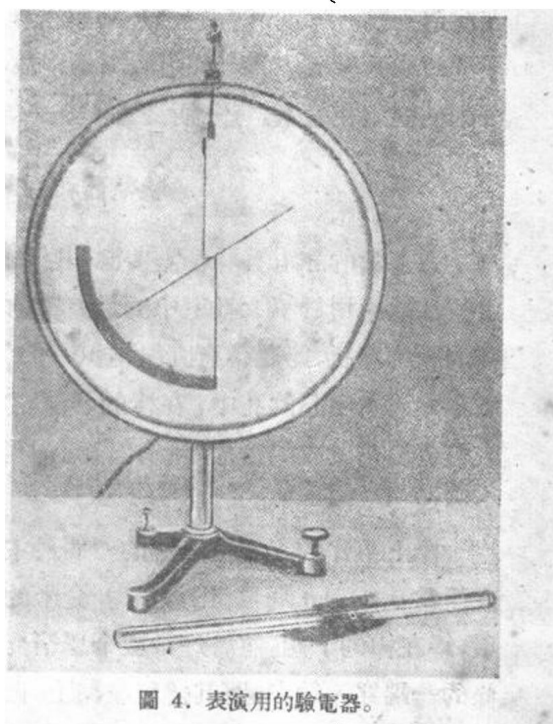


圖 4. 表演用的驗電器。