

高等学校教学用书

普通物理学

第二卷

C. D. 福里斯 著
A. B. 季莫列娃 著

高等教育出版社

高等学校教学用书



普通物理学

第二卷

C. G. 福里斯, A. B. 季莫列娃著
梁 宝 洪 译



高等教育出版社

本書根据苏联国家技术理論書籍出版社 (Государственное издательство технико-теоретической литературы) 出版的福里斯 (С. Э. Фриш) 和季莫列娃 (А. В. Тимолева) 合著“普通物理学” (Курс общей физики) 第二卷 1953 年第五版譯出的。原書經苏联高等教育部审定为国立大学物理系及应用物理系教学参考書。

第二卷内容为靜电, 直流及电磁現象。

本書可作为大学物理系教科書及非物理系的物理学参考書。

2
115
115
7
3
3

本書(第二卷)原由商务印書館分上下兩册出版, 自 1953 年 1 月起改由本社合訂为一本出版。

普通物理学

第二卷

С. Э. 福里斯, А. В. 季莫列娃著

梁宝洪譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內承恩寺 7 号
(北京市各刊印版业在此种可證出第 331 号)

商务印書館上海厂印刷 新华書店发行

統一書号 13010·413 开本 850×1158 1/32 印張 16 7/16
字數 473,000 印數 16,501—24,500 定价(4) 1.80
1953 年 2 月第 2 卷第 1 分册第 1 次印刷(共計 93,500)
1953 年 6 月第 2 卷第 2 分册第 1 次印刷(共計 90,500)
1952 年 5 月合訂本第 1 版 1953 年 4 月上海第 1 次印刷

第二卷目录

第四編 靜电学

第一章 基本靜电現象	1
115. 緒論	3
§ 116. 电荷	6
§ 117. 导体和絕緣体	8
§ 118. 靜电場、庫侖定律	12
119. 靜电場的强度	17
§ 120. 电力綫	19
§ 121. 电通量、高斯定理	23
121 a. 奧斯特洛格拉斯基高斯定理底更严密的推导	23
121 b. 奧斯特洛格拉斯基高斯定理底应用	25
§ 122. 靜电場底力所作的功、电位	32
123. 等位面	37
§ 124. 靜电場与电位之关系	40
125 a. 場强、电位和体电荷密度之关系	42
125 b. 靜电場中的导体	44
§ 127. 导体表面附近靜电場强	48
§ 129. 外电場中的电偶極子	50
§ 129. 导体底电容	53
§ 130. 电荷系底能量	56
§ 131. 靜电場底能	61
第二章 电介質中的靜电現象	65
132. 电介質、介电常数	65
§ 133. 有电介質的电容器底能量	68
§ 134. 电介質底極化、極化矢量	70
§ 135. 电介質中的場强	75
§ 136. 有电介質存在时作用于帶电体上的力	78
§ 137. 电位、矢量	82
138. 矢量 \mathbf{E} 和 \mathbf{D} 底物理意义	87
39. 有極电介質、分子底偶極矩底决定	91
40. 晶系底电介性質、压电	95
41. 电容器	96

§ 141 a.	各种形式的电容器	.....
§ 142.	电位差测量法	.....
§ 143.	液中的电容测定、电子层电荷	.....
§ 144.	静电场性质	.....
第五編 直流		
第十六章 直流电路基本定律		
§ 145.	直流、欧姆定律	.....
§ 146.	导体电阻	.....
§ 147.	电流密度矢量	.....
§ 148.	电荷守恒定律 恒定电流连续性	.....
§ 149.	功率-热定律	.....
§ 150.	电流强度和电位差测定	.....
§ 151.	电阻和电阻测定	.....
§ 152.	导体中的自由电子	.....
§ 153.	从经典电子论观点研究欧姆定律和楞次定律	.....
§ 154.	金属导电性与导热性之间的关系	.....
§ 155.	金属导电性量子论	.....
§ 156.	晶体能带论	.....
§ 157.	闭合的直流电路	.....
§ 158.	直流电路中放出的能量	.....
§ 159.	关于非均匀电路的欧姆定律、基尔霍夫定律	.....
§ 160.	应用基尔霍夫方程式解各种问题	.....
§ 161.	接触电位差	.....
§ 162.	接触电位差理论	.....
§ 163.	伽伐尼电池	.....
§ 164.	温差电现象	.....
§ 165.	灼热导体电子发射	.....
§ 166.	热电子发射理论	.....
第十七章 电解质与气体中的电流		
§ 167.	电解导电性	.....
§ 168.	法拉第定律	.....
§ 169.	电解分离	.....
§ 170.	溶液中离子动能	.....
§ 171.	电解导电理论	.....
§ 172.	电极极化	.....
§ 173.	电解技术上的应用	.....
§ 174.	固体电解质导电	.....
§ 175.	气体中的电流	.....
§ 176.	气体导电理论	.....

§ 177.	气体离子底复合系数与迁移率底实验测定	227
§ 178.	电子流通过真空	235
§ 179.	保古斯拉夫斯基-朗穆尔公式底推导, 电场强度底起伏	238
§ 180.	气体中电子底平均自由程	241
§ 181.	电子与原子分子之间的碰撞	245
§ 182.	低压气体中电子底迁移率	250
§ 183.	气体底自激导电	254

第六編 电磁现象

第十八章	电流底磁场	261
§ 184.	磁场及其描述	261
§ 185.	磁场强度底图示	265
§ 186.	决定电流底磁场的方法	270
§ 187.	圆形电流与螺线管底磁场	274
§ 188.	磁场强度底量度单位	278
§ 189.	作用于磁场中电流上的力	281
§ 190.	绝对电磁单位制	285
§ 191.	磁场中载电流的闭合迴路	288
§ 192.	磁势	293
§ 193.	分子、原子和电子底磁矩	299
§ 194.	磁化强度矢量	304
§ 195.	铁磁性	310
§ 196.	铁磁性底本质	316
§ 197.	永磁铁	318
§ 198.	磁极绕电流一周的功	324
§ 199.	表示磁力底功的式子底应用	329
§ 200.	磁感应线、边界条件	332
§ 201.	静电场与磁场之间的相似	337
§ 202.	矢量 H 与 B 底物理意义	341
§ 203.	螺线管与磁铁之间的区别	344
§ 204.	在磁场中移动载电流的迴路的功	346
§ 205.	磁路定律	351
§ 206.	关于磁路的基尔霍夫方程式	357
§ 207.	测量仪器	360
第十九章	带电质点在电场和磁场中的偏转	365
§ 208.	作用于在磁场中运动着的电荷上的力	365
§ 209.	运动电荷底磁场	369
§ 210.	运动电荷底磁场底实验方面的研究	372
§ 211.	霍耳效应	379
§ 212.	电子底荷质比底测定	382

§ 213. 正离子底荷质比底测定	888
§ 214. 电子射线技术底应用	804

第二十章 电磁感应

§ 215. 电磁感应现象	402
§ 216. 应电动势底确定	405
§ 217. 几种特殊情形下的应电动势底确定	410
§ 218. 自感应现象	413
§ 219. 开断时的暂时电流与接通时的暂时电流	418
§ 220. 互感应	420
§ 221. 电流底磁底能量	422
§ 222. 反复磁化底功	426
§ 223. 电枢底自感系数	429
§ 224. 应电流所迁移的电量	430
§ 225. 傅科电流、趋肤效应	434
§ 226. 交流	436
§ 227. 交流电路中放出的功率	441
§ 228. 含有自感和电容的交流电路	448
§ 229. 发电机和电动机	451
§ 230. 变压器	453
§ 231. 交流底整流和测量	455
§ 232. 三相交流	457

第二十一章 电磁振荡与电磁波

§ 233. 电容器底振荡放电	461
§ 234. 受迫电振荡	465
§ 235. 用真空管激發無阻尼的振荡	469
§ 236. 位移电流	473
§ 237. 电磁场	475
§ 238. 麦克斯韦方程式	479
§ 239. 麦克斯韦-洛伦兹方程式	484
§ 240. 电磁波	486
§ 241. 电磁波底传播速度	490
§ 242. 伍莫夫-坡印廷矢量	496
§ 243. 无线电工学。激發和记录电磁波的近代方法	497

附录 电学的和磁学的量底单位制

索引	513
----	-----

第四編 靜電學

第十四章 基本靜電現象

§ 115. 緒論 紀元前七世紀的時候，希臘哲學家泰利斯 (Thales) 曾敘述過織工們所觀察到的一種現象，就是用毛織物摩擦過的琥珀能夠吸引某些輕的物體。二千多年之後，即在 1600 年，英國醫生吉柏才把這發現擴大，他發現玻璃以及許多其他物質同絲絹摩擦之後，也能得到類似的性質。在這種狀態中的物體，叫作帶電體，或者按字面來講，叫它作“琥珀化的”物體，因為按希臘文“αλεκτρον”底意思是琥珀。

在以後的差不多二百年里——到十八世紀末——物體帶電底研究發展得很慢，而且研究的進行基本上和其他自然現象底研究沒有什麼聯繫。主要地是研究摩擦帶電和帶電體間的相互作用力。這一部分關於電的知識後來叫作靜電學。

伽伐尼於 1789 年發現了電流底生理作用。他用銅鉤子鉤住新解剖的蛙底腰神經，把它掛在陽台的鐵欄杆上，這時他注意到，每當欄杆和蛙底肌肉接觸的時候，肌肉就收縮一下。那個時候雖然已經知道，當帶電體通過肌肉放電的時候，就發生肌肉底收縮，但是很長一個時期却未能發現電現象底統一性，因而通常把“伽伐尼電”跟摩擦產生的電區別開來。在十九世紀初，才出現了一些重大的發現，這些發現揭示了電現象底極端的多样性：研究了電流發生底條件，發現了電流底熱效應和磁效應，說明了電介質底作用等等。電學在十九世紀下半期有了更深入的、迅速的發展。經過法拉第和麥克斯韋底研究，確定了電磁現象底統一性，發現了電磁波，創立了光底電磁理論。

電學底發展，其原則性的意義是非常重大的：一方面，它指明了要把電現象歸之于機械現象是不可能的，另一方面，它又表明了電現象同一切其他物理過程之間的密切的相互聯系。所以電學對於由機械唯物論過渡到辯證唯物論這件事是起了促進的作用。最後，電現象底實際應用也是很重要的。

在電學底發展中，俄國的學者們曾起過傑出的作用。在十八世紀中期，M. B. 羅蒙諾索夫和Г. В. 里赫曼(Рихман)共同研究了雷雨現象，得出的結論是：空氣之所以帶電是由于上升氣流之間的摩擦作用。羅蒙諾索夫於1753年發表了當時的先進思想：電是以太微粒底很迅速的轉動。在同一年里，彼得堡科學院向全世界懸賞徵文，題目是“論電力底性質”。1755年，Л. 歐勒底著作得到了獎金，他在这著作里用以太中的張力來說明帶電體間的相互作用。彼得堡科學院院士愛皮努司(Эпинус)引入了在當時是很有名的單一“電的流体”學說，並最先發展了電現象和磁現象底數學理論。在1803年，В. В. 彼得洛夫發現了電弧，並且指出了它的可能的實際應用。他也是研究液體當通過電流時的電解分離的最早的工作者中的一個。在十九世紀三十和四十年代，彼得堡科學院院士兼彼得堡大學教授Э. К. 楞次發現了最重要的、確定電流方向和電流底熱效应的定律。在十九世紀下半期，А. Г. 斯托列托夫(Столетьев)提出了研究鐵底磁性的方法，並且發現了光電現象。1895年А. С. 波波夫(Попов)發現了無線電報，而在不久之後，И. 且列別迭夫(Лебедев)就得到了幾毫米長的電磁波。在二十世紀初，莫斯科大學教授А. А. 愛欣瓦爾德(Эйхенвальд)用實驗證明了運動着的電荷和電流一樣，能夠產生磁場。我們蘇聯的科學家在電學底各部分中都已達到傑出的成就。

俄國的發明家對於電工學底發展也有很大貢獻。В. С. 亞科比(Якоби)最先製造出電動機，並且應用它來開動船和車；他並且發現了電解底實際應用(電鍍)。И. Н. 亞布洛奇科夫(Яблочков)發明了第一

个实际适用于照明的电弧,而 A. H. 罗德金 (Лодыгин) 发明了白炽灯。П. Н. 亞布洛奇科夫又和 И. Ф. 伍薩金 (Усагин) 首先把变压器应用到实际上去,而 М. О. 多里沃·多布洛沃尔斯基 (Дольво-Добровольский) 把三相电流应用到实际上去。Н. Г. 斯拉夫揚諾夫 (Славянов) 和 Н. П. 別納尔多斯 (Бенардос) 发明了电焊。

现代的电工学在工業上所佔的重要位置,也就决定了电工学在我們国家中所起的巨大作用。列宁在他的名言中曾強調过电工学底重要性:“共产主义等于苏維埃政权加上全国电气化”。偉大的十月革命之后产生的对于科学和技术底發展非常有利的条件,使我們国家底电气化以空前迅速的速度进行着,而且使我們在电学和电現象底实际应用方面获得了新的杰出的成就。新水电站底建設計劃中規定了要巨大規模地应用水力發電获得廉价的电能,并規定了它在国民經济底一切部門中的使用。

§ 116. 电荷 根据电学發展底历史进程,我們从帶电状态底描述和帶电体底相互作用定律开始講述。如我們所已指出的,电学底这一部分叫作靜电学。十八世紀初时所作的实验,就已表明帶电状态有兩种,而且只有兩种:一种和用毛皮摩擦过的玻璃底帶电性質相同(叫作正的),另一种和用玻璃摩擦过的毛皮底帶电性質相同(叫作負的)。帶同号电的物体(例如都帶正电)互相排斥;帶异号电的物体則相互吸引。接触的时候,帶电状态能够从一組物体傳遞到另一組物体上去。

在帶电状态中的物体具有所謂电荷,用作物体帶电底量度。下面將給电荷概念下定义。

由帶电体之間的相互作用力能够确定帶电底程度。例如,用两个系在長綫上的輕的小球(圖 1),就能够定性地确定帶电底程度;在小球帶同种电的情形下,它們之間發生排斥力,因此它們分离;小球帶电愈强,則分开愈甚。实际使用的是一种特制的仪器——

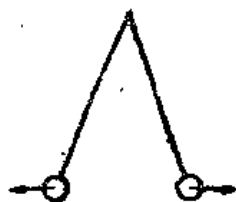


圖 1. 帶电小球底相互作用。

電器，如圖 2 所示。

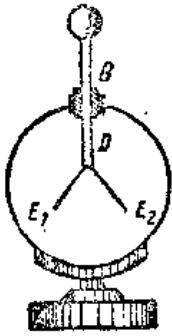


圖 2. 箔驗電器。

圖 2 所表示的驗電器底構造如下：把兩片薄的鋁箔 E_1 和 E_2 固定在金屬杆 D 上；用硬橡皮塞 B 把帶着箔的金屬杆裝置在一個金屬盒子里，盒子上有一小玻璃窗，以備觀察金屬箔之用^①。如果使一帶電体和金屬杆 D 接觸，把電荷傳給它，則箔帶電，互相排斥而分離開。由箔底分開程度，能夠判斷箔的帶電程度。

為了更準確地、定量地確定帶電程度，驗電器必須備有刻度。這種儀器叫作“靜電指示器”，或者叫作靜

電計，是 F. B. 里赫曼于 1745 年同 M. B. 羅蒙諾索夫為了觀察雷雨放電時發生的帶電現象而首次作出的。圖 3 是 F. B. 里赫曼底“靜電指示器”底簡圖，在這個圖里， g 表示一垂直挂起的金屬直尺。絲綫 f 底一端固定在直尺上。帶電的時候，綫就離開直尺，綫底偏轉程度可以從畫在木制的象限 ab 上的分度確定。

圖 4 所表示的是按里赫曼底圖作成的、現代的靜電計。如果使杆 D 帶電，鋁箔 E 就離開固定的杆 D ；箔偏轉底大小，與帶電程度有關係，可以從刻度決定。

下述的重要現象能夠幫助我們理解物体底帶電過程：如果開始使一個，比

如說，帶正電的物体帶負電，則這物体底帶電狀態起初減小，以後完全消失，只有在這以後，這物体才開始帶負電。由此可知，異號電荷互相

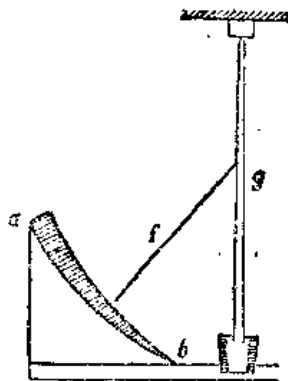


圖 3. F. B. 里赫曼底靜電指示器。

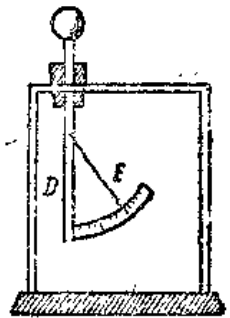


圖 4. 靜電計。

^① 下面 (§ 120) 將指出這個盒子底作用。

抵消。由这一事实得出一个假說：即使在不帶电的物体中，也总有电荷存在，不过符号相反，而它們底量則恰使它們底作用完全抵消。含有过多的正电荷的物体帶正电。含有过多的负电荷的物体帶負电。以摩擦使物体帶电的时候，两个物体都帶电，而且总是一个物体帶正电，而另外一个帶負电。由此我們得到結論：电荷既不产生，也不消灭，只能够使它們从一个物体轉移到另外一个物体上，或者使它們在一已知物体內移动。这个原理，叫作电荷守恒定律，是电学底基本定律，而且为許多的事实所証实，其中的一件就是爱皮努司所發現的感应帶电。

感应帶电現象如下所述：如果將一帶电体 A (圖 5a) 移近一个絕緣导体 B ，則在导体 B 上有电荷出現，而且在 B 底靠近 A 的一端出現符号相反的电荷，而在較远的一端，电荷符号則与物体 A 的相同。如果將帶电体 A 移去，則导体 B 上的电荷消失。但是，如果在帶电体 A 移去之前把导体 B 分割

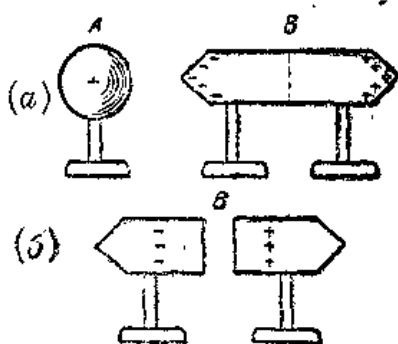


圖 5. 感应帶电。

为兩部分(圖 5b)，那么，即使在帶电体 A 移去之后，这两部分上面的电荷也仍保留着。如果假定导体 B 中总有兩种符号的电荷存在：正电荷和負电荷，并且假定这些电荷(或者至少是一种符号的电荷)能够自由地在导体內移动，那就能够直接說明上述的實驗。当我们把帶正电的物体 A 移近导体 B 的时候，导体 B 內的負电荷被吸引，而正电荷被排斥，因此，在导体 B 底兩端發生符号不同的帶电。如果把帶电体 A 移去，則外力对于导体 B 內的电荷的作用停止，电荷“混合”起来，因而整个导体 B 底各部分又变为中性的。但是，如果当帶电体 A 还在导体 B 近旁的时候，把导体 B 分成兩部分，則当帶电体 A 移去之后，导体 B 內的电荷不能够“混合”，因而由导体 B 分成的兩部分仍然帶电。如果使由导体 B 分成的兩部分接触，就很易証实这两部分上保留的电荷底大

小相等，因為接觸以後，物體 B 變為中性的。

中性物質中兩種電荷底存在和這兩種電荷底守恆性，可以認為是完全確立的了。

十八世紀中葉發生的關於電現象的最初學說，是假定有一種特殊的電的流体存在。後來又出現了一種學說，假定有兩種電的流体——正的和負的——存在。彼得堡科學院院士愛皮努司發展了單一電的流体學說，他認為這種電的流体是正的。根據愛皮努司的學說，物體中的這種流体底過多使這些物體處在帶正電的狀態中，而這種流体底不足使它們處在帶負電的狀態中。上世紀末發現了元電荷底存在；原子或分子所得到的電荷只能是這元電荷底整數倍。後來發現這是一種元質點存在底結果，這些元質點帶有完全一定的負電荷 e ；這種質點叫做電子。電子不僅有一定的電荷 e ，而且有一定的質量 m ，以及其他一系列的物理量（轉矩，磁矩）。電子底這種複雜性質是辯證唯物論底卓越證明之一，辯證唯物論認為客觀存在的世界是不可窮盡地形形色色。列寧寫道：“電子像原子一樣是不可窮盡的，……”^①。

電子底質量約等於最輕的原子（氫原子）底質量底 $1/1840$ 。電子是一切原子底組成部分；原子底中心部分，即所謂原子核，帶有正電荷；幾乎整個原子底質量都集中在它的核里。在現代，我們知道還有正電子存在，但是它們只在某些特殊情況下出現（見本書第三卷），所以我們暫時不研究它們。

§ 117. 導體和絕緣體 實驗表明，一切物體可分為兩類：（1）傳電的物體，叫做**導體**，（2）不傳電的物體，叫做**非導體**（也叫做**絕緣體**或**電介質**）。導體分為第一類導體和第二類導體。在第一類導體中，電荷底移動並不使導體底化學性質發生任何變化，也不引起物質發生任何顯著的遷移；在第二類導體中，電荷底移動是和化學變化聯系着的，這種化學變化使構成這種導體的物質在它和其他導體接觸的地方分離出

① 列寧：唯物主義與經驗批判主義，人民出版社 1956 年版，第 267 頁。

米。一切金屬都屬於第一類導體；熔解了的鹽、鹽底溶液、酸和鹼是第二類導體。鹽底晶体、油、空氣、玻璃、磁器、硬橡皮、橡皮、琥珀和一系列的其他物質是絕緣體。

在現代，還再分出半導體這一類。半導體是具有雖然很小但却可以觀察出來的導電性和一系列其他性質（根據這些性質而將它們合併為特殊的一類）的物體。

在金屬（第一類導體）中，一部分電子能夠自由地在各個原子之間移動。在未帶電的金屬中，和金屬底結晶點陣聯繫着的正電荷，抵消了自由移動的電子底電荷。導體帶電是由于導體中電子數目底變化：帶負電的時候，有過多的電子由外面附加於導體上，在帶正電的情形下，導體底一部分電子被剝奪，結果未被完全抵消的原子核底正電荷開始呈現。

在感應帶電的情形下，電子在外界電荷底引力或斥力作用下移動到導體底一端；在這一端就有過多的電子，這就引起負電荷底出現；而在導體底另一端，由于缺乏電子，就出現未被抵消的正電荷。

一切金屬中的所有電子都是相同的，因此，電子底移動並不引起第一類導體底化學組成發生變化。而電子底質量是這樣微小，以致在實際所能達到的帶電情形下，無法觀察出由于導體內電子數目變化而發生的質量變化^①。

第二類導體中沒有自由電子，但在第二類導體中卻存在着缺少電子（或者有過多電子）的原子或分子。這種帶電的原子或分子，叫作離子。第二類導體中電荷底移動是由于離子底移動，以此可以說明在這種情形下在第二類導體中發生的化學變化。

電介質——電底非導體——或者是由分子構成的，在這種分子中，有等量的正電荷和負電荷；或者是由離子構成的，這些離子不能夠自由地在電介質中移動。在電力底作用下，電介質中的電荷僅能稍微地改

① 見 § 143 中的計算。

變自己的位置，或者改變自己的取向。可以作為電介質底模型的是這樣的物質，在這種物質中，成對結合着的異號電荷（有極分子）底取向是無規則的（圖 6 a），所以不論就整體看，還是就各部分看，電介質都是中性的。

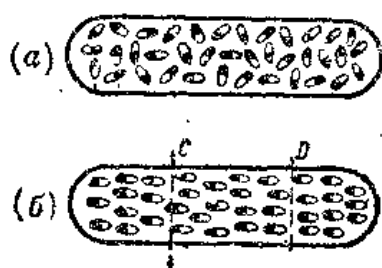


圖 6. 電介質底極化。

將一帶電體移近電介質的時候，電介質中的電荷並不移動，而僅取向相同（圖 6 b），結果在電介質上，在和被移近的帶電體相對的一端，出現符號相反的電荷，而在另一端出現同號的電荷。電介質底這種狀態，叫做極化。它和感應現象中導體上發生的帶電不同。

如果將極化了的電介質分割開，比如說，沿直綫 D 和 C （圖 6 b）分割開，則就整體看，每一部分都是中性的，僅在表面上呈現某種符號的電荷。

在電力很強的情形下，電介質底分子可能被破壞，這時候電介質就變成導體。這種現象叫做電介質底击穿。

§ 118. 靜電場、庫侖定律 電荷底相互作用定律是靜電學底基本定律。最初是根據與萬有引力定律形式上的相似來說明電荷底相互作用。同時假定電力和萬有引力都是不需任何中介空間作用的“超距作用”。但實際上電荷在周圍空間中引起某種物理變化（與引力質量底情形相同），這種變化首先表現在：任何與該電荷有一距離的另外的電荷都受力的作用。我們暫不研究這種變化底性質，而只說：在靜止電荷底情形下，在它們周圍的空間中發生靜電場。

例如，兩個電荷底相互作用是這樣的：每一電荷在周圍空間中產生一個場，而這場以確定的力作用在另外一電荷上。

靜電場是物質底特殊形式；它傳遞一些帶電體對於另外一些帶電體的作用。根據場作用于電荷上的力所遵從的那些規律，能夠研究場底性質。

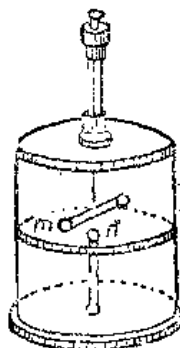
因为帶电体底相互作用是和它們的形狀、大小有关系的，所以为了确定相互作用定律，我們研究所謂点电荷。点电荷表示这样的帶电体，它們的大小和它們之間的距离比較起来，是很小的。显然，任何帶电体都可以看作是点电荷底集合。

庫侖于 1785 年以实验确定了两个点电荷底相互作用定律。庫侖定律同时包含电荷大小底定义。

所有庫侖的測定，都是在空气中作的，但是严格地講，这一节中所講的表示庫侖定律的式子，是关于真空的，即其中沒有大量原子、分子或其他質点的空間。

庫侖根据用扭秤(圖 7)所作的測定，确定了点电荷底相互作用定律。

这秤底構造如下：在一个大的玻璃容器中，用一根細綫將一根玻璃棒挂起来，这玻璃棒一端帶有一个金屬小球 m ，而另一端有一平衡体。另外一个金屬小球 n 被固定在一个玻璃座杆上。可以从外面將电荷給与这两个小球，小球能够將給与它們的电荷保持相当長的时间，因为它們是彼此絕緣的，和周圍物体之間也是絕緣了的。轉动系着悬綫(这綫支持着帶有小球 m 的棒)的秤头时，可以改变小球 m 和 n 之間的距离。



轉动系着悬綫(这綫支持着帶有小球 m 的棒)的秤头时，可以改变小球 m 和 n 之間的距离。如图 7. 庫侖底扭秤。果給小球 m 和 n 以电荷，他們將开始吸引或者排斥(依电荷的符号而定)，結果帶有小球 m 的棒轉过某一角度。轉动秤头的时候，能够使小球 m 回到原来的位置。在此情形下，綫底扭力矩等于施于小球 m 上的电力底力矩。如果悬綫已事先校准，則由秤头底扭轉角度，就可以直接决定力矩，若再知道棒長，就可以决定小球間的相互作用力。

得出庫侖定律的討論过程如下。首先，观察表明，电荷之間的相互作用力是沿着联結电荷的直綫的。在同号电荷的情形下，如 § 116 中所指出的，这力是斥力，而在异号电荷的情形下，则为引力。將某一定量的电荷給与小球 m 和 n (圖 8a)，而且改变小球 m 和 n 之間的距离 r ，

由實驗可以証實，這相互作用力底變化是和距離 r 底平方成反比的。

為了比較兩個電荷 q_1 和 q_2 底大小，我們把這兩個電荷依次放在至某一定的第三電荷 q_0 的距离同為 r_0 的地方（圖 8 6 和 8 7），而量度這兩個電荷同第三電荷 q_0 相互作用的力 f_1 和 f_2 。實驗的時候，我們依次給小球 m 以電荷 q_1 和 q_2 ，而

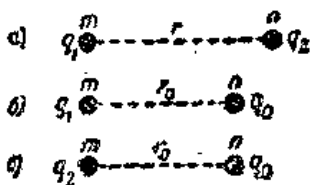


圖 8. 庫倫定律底證明。

保持小球 n 底電荷 q_0 不變。實驗表明，力之比 f_1/f_2 是和第三電荷 q_0 底大小無關的，也和電荷 q_1 、 q_2 至第三電荷的距离 r_0 無關。由此可見，力之比 f_1/f_2 底值僅由電荷 q_1 和 q_2 決定。因此，自然就取電荷之比 q_1/q_2 等於力之比 f_1/f_2 。這樣，我們就得到兩個電荷之比 q_1/q_2 底測量方法。

只有在確定了電荷底量度單位（稍後我們就作這件事）之後，才能夠得到電荷底絕對值。

既有比較電荷的方法，我們現在就可以把不同的電荷 q_1 、 q_2 、 q_3 ... 兩兩地放置在彼此相距同樣距離 r 的地方。在此情形下，實驗表明，兩個電荷之間的相互作用力 f 是和它們的大小底乘積 $q_1 \cdot q_2$ 成比例的。

這樣，我們最後得出庫倫定律：兩個點電荷之間的相互作用力 f ，是和電荷 q_1 與 q_2 底大小底乘積成比例的，而和它們之間的距离 r 底平方成反比：

$$f = k \frac{q_1 q_2}{r^2}, \quad (1)$$

式中 k 是比例係數。

如果給正電荷以正號 (+)，而給負電荷以負號 (-)，則力底負值和引力對應，而正值和斥力對應。

庫倫定律 (1) 可以寫作矢量的形式。由點電荷 q_1 (圖 9) 至點電荷 q_2 作矢徑 r ，作用在電荷 q_2 上的力 f 底數值，按式 (1)，等於 $k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ ，其方向，在電荷 q_1 和 q_2 有相同符號的情形下，和矢徑 r 底方向相同（圖 9 即屬於這種情形），而在電荷 q_1 和 q_2 有相反符號的情形下，則和矢徑 r 底方向相反。因此，如果以單位矢量 r/r (和 r 有相同的方向) 乘 $k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ ，則力 f 底