

普通物理学

(修 订 本)

第二卷 第一分册

C. Э. 福里斯 A. B. 季莫列娃 著

梁 宝 洪 译



人 民 教 育 出 版 社

简装本说明

目前 850×1168 毫米规格纸张较少, 本书暂以 787×1092 毫米规格纸张印刷, 定价相应减少 20%。希鉴谅。

普通物理学

第二卷 第一分册

(修订本)

C. Э. 福里斯 著

A. B. 季莫列娃

梁宝洪 译

人民教育出版社出版(北京沙滩后街)

人民教育出版社印刷厂印装

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

统一书号 13012·0299 开本 787×1092 1/32 印张 92/16

字数 218,000 印数 3,501—93,500 定价 0.72 元

1953 年 5 月合订本第 1 版

1965 年 1 月第 1 版 1979 年 7 月北京第 2 次印刷

第二卷第一分册目录

第四篇 靜电学

第十四章 基本靜电現象1

- § 120. 引言.....1
- § 121. 电荷.....3
- § 122. 导体和絕緣体.....7
- § 123. 靜电場。庫侖定律.....9
- § 124. 靜电場的强度.....13
- § 125. 电力綫.....19
- § 126. 电場强度通量。奧斯特罗
格莱德斯基-高斯定理.....20
- § 127. 奧-高定理的更严格推导.....25
- § 128. 奧-高定理的应用.....27
- § 129. 靜电場的力所作的功。电
位.....34
- § 130. 等位面.....40
- § 131. 靜电場强度与电位之間的
关系.....42
- § 132. 电場强度、电位和体电荷
密度之間的关系.....46
- § 133. 靜电場中的导体.....48
- § 134. 导体表面附近的电場强度.....51
- § 135. 外电場中的电偶极子.....54
- § 136. 导体的电容.....57
- § 137. 电荷系的能量.....61
- § 138. 靜电場的能量.....67

第十五章 电介质中的靜电現

象71

- § 139. 电介质。介电常数.....71
- § 140. 有电介质时电容器的能
量。电介质中的电場能量.....74

- § 141. 电介质的极化。极化矢量.....76
- § 142. 电介质内部的电場强度.....80
- § 143. 有电介质存在时作用在带
电体上的力.....84
- § 144. 电位移矢量.....91
- § 145. 矢量 E 和 D 的物理意义.....98
- § 146. 有极电介质。分子偶极矩
的决定.....101
- § 147. 晶体的介电性质。压电现
象.....105
- § 148. 电容器.....107
- § 149. 各种类型的电容器.....110
- § 150. 电位差的量度.....114
- § 151. 非常小的电荷的測定。电
子的电荷.....119
- § 152. 靜电場的本性.....124

第五篇 直流

第十六章 直流的基本定律.....127

- § 153. 直流。欧姆定律.....127
- § 154. 导体的电阻.....129
- § 155. 电流密度矢量.....133
- § 156. 电荷守恒定律。稳定电流
的閉合性.....133
- § 157. 楞次-焦耳定律.....139
- § 158. 电流强度和电位差的測定
.....144
- § 159. 电阻及其測定.....148
- § 160. 导体中的自由电子。經典
概念.....151
- § 161. 从經典电子論观点研究欧

姆定律和楞次-焦耳定律···155	§ 176. 电解分离·····225
§ 162. 金属的导电性与导热性之 間的关系·····160	§ 177. 溶液中离子的能量·····228
§ 163. 金属导电性的量子理論···162	§ 178. 电解导电性的理論·····231
§ 164. 閉合的直流电路·····166	§ 179. 电极的极化·····236
§ 165. 直流电路中放出的能量···173	§ 180. 电解的技术应用·····240
§ 166. 关于非均匀电路的欧姆定 律。基尔霍夫定律·····175	§ 181. 固体的电解导电性·····243
§ 167. 应用基尔霍夫方程解各种 問題·····180	§ 182. 气体中的电流·····245
§ 168. 接触电位差·····188	§ 183. 气体受激导电的理論·····248
§ 169. 伽伐尼电池·····196	§ 184. 气体离子的复合系数与迁 移率的实验測定·····254
§ 170. 温差电现象·····199	§ 185. 电子流通过真空·····262
§ 171. 半导体, 导体和电介质·····204	§ 186. 鲍古斯拉夫斯基-朗缪尔 公式的推导。电流强度的 起伏·····266
§ 172. 灼热导体的电子发射·····208	§ 187. 气体中电子的平均自由程 ·····270
§ 173. 热电子发射理論·····215	§ 188. 电子与原子和分子之間的 碰撞·····274
第十七章 电解质与气体中的 电流·····219	§ 189. 低压气体中电子的迁移率 ·····280
§ 174. 电解导电性·····219	§ 190. 气体的自激导电·····284
§ 175. 法拉第定律·····222	

73.1
706

第二卷第二分册目录

第六篇 电磁现象

第十八章 电流的磁场.....291

§ 191. 磁场及其描述.....291

§ 192. 磁场强度的图示法.....295

§ 193. 求电流所产生的磁场强度的方法.....300

§ 194. 环形电流与螺线管产生的磁场.....304

§ 195. 磁场强度的量度单位。绝对电磁单位系.....308

§ 196. 电流在磁场中所受的力.....314

§ 197. 磁场中的载流闭合回路.....319

§ 198. 磁场强度矢量的环量.....327

§ 199. 磁场强度矢量的环量之表式如何应用.....330

§ 200. 磁质.....333

§ 201. 分子、原子和电子的磁矩.....337

§ 202. 磁化强度矢量.....342

§ 203. 铁磁性.....347

§ 204. 铁磁性的本质.....353

§ 205. 永磁铁.....356

§ 206. 磁感应强度线。磁感应强度的环量和磁场强度矢量的环量。边界条件.....362

§ 207. 静电场与磁场的类比.....362

§ 208. 矢量 H 与 B 的物理意义.....372

§ 209. 螺线管与磁铁的区别.....375

§ 210. 载流线路在磁场中运动时所做的功.....377

§ 211. 磁路定律.....383

§ 212. 磁路的基尔霍夫方程.....383

§ 213. 测量仪器.....392

第十九章 带电粒子在电场和磁场中的偏转.....398

§ 214. 电荷在磁场中运动时所受的力.....398

§ 215. 运动电荷的磁场.....403

§ 216. 运动电荷之磁场的实验研究.....406

§ 217. 霍耳效应.....414

§ 218. 电子荷质比的测定.....417

§ 219. 正离子荷质比的测定.....424

§ 220. 电子射线在工程技术上的应用.....430

第二十章 电磁感应.....437

§ 221. 电磁感应现象.....437

§ 222. 应电动势的确定.....440

§ 223. 求几种特殊情形下的应电动势.....445

§ 224. 自感现象.....449

§ 225. 断路额外电流与闭路额外电流.....454

§ 226. 互感.....457

§ 227. 电流的磁场所具有的能量.....459

§ 228. 反复磁化中所作的功.....463

§ 229. 电缆的自感系数.....466

§ 230. 应电流所迁移的电量.....467

§ 231. 位移电流。趋肤效应.....471

§ 232. 交变电流.....473

§ 233. 交流电路中放出的功率.....479

§ 234. 含有自感和电容的交流电

1277/52 目 8

路.....	481	藻.....	510
§ 235. 发电机和电动机.....	489	§ 242. 位移电流.....	513
§ 236. 变压器.....	492	§ 243. 电磁场.....	516
§ 237. 交流的整流和测量.....	495	§ 244. 麦克斯韦方程.....	521
§ 238. 三相电流.....	497	§ 245. 麦克斯韦-洛伦兹方程.....	526
第二十一章 电磁振荡与		§ 246. 电磁波.....	528
电磁波	501	§ 247. 电磁波的传播速度.....	535
§ 239. 电容器的振荡放电.....	501	§ 248. 伍莫夫-坡印廷矢量.....	539
§ 240. 受迫电振荡.....	506	§ 249. 无线电技术. 激发和记录	
§ 241. 用真空管激发无阻尼振		电磁波的近代方法.....	540
附录 电磁量的单位制	546		

第四篇 静电学

第十四章 基本静电现象

§ 120. 引言 纪元前七世纪的时候，希腊哲学家撒勒斯 (Thales) 曾叙述过织工们所观察到的一种现象，就是用毛织物摩擦过的琥珀能够吸引某些轻的物体。两千多年之后，即在 1600 年，英国医生吉伯特 (William Gilbert) 才把这一发现扩大，他发现玻璃以及许多其他物质同丝绢摩擦之后，也能得到类似的性质。在这种状态中的物体，叫作带电体，或者按字面来说，叫作“琥珀化的”物体，因为按希腊文，“ $\eta\lambdaεκτρον$ ”的意思就是琥珀。

在以后差不多二百年里（到十八世纪末）对物体带电的研究发展得很慢，而且基本上是脱离对其他自然现象的研究而孤立地进行的。当时主要只限于利用摩擦使物体处于带电状态，并且只研究带电体间的相互作用力。这一部分关于电的学问后来叫作静电学。

伽伐尼 (Galvani) 于 1789 年发现了电流的生理作用。他用铜钩子钩住新解剖的青蛙的腰神经，把它挂在阳台的铁栏杆上，这时他注意到，每当栏杆和蛙的筋肉接触一次，筋肉就收缩一下。那时虽然已经知道，当带电体通过筋肉放电的时候，筋肉就发生收缩，但是在很长一个时期里却未能发现各种电现象的统一性，因而通常把“伽伐尼电”跟摩擦产生的电区别开来。直到十九

世纪初,才陆续出现了一些重大的发现:研究了电流发生的条件,发现了电流的热效应和磁效应,说明了电介质的作用等等;这些发现说明了电现象是极其多种多样的。十九世纪下半期,这是标志着电学进一步蓬勃发展的时期。经过法拉第和麦克斯韦的研究,确立了电磁现象的统一性,发现了电磁波,从而创立了光的电磁理论。

电学的发展有极重大的原则性意义:一方面,它使得把电现象归之于机械现象显然成为不可能,另一方面,它又表明了电现象同一切其他物理过程之间有深刻的相互联系。所以电学对于由机械唯物主义过渡到辩证唯物主义起了促进作用。最后,重要性并不稍逊的还有电现象的各种应用。

在电学的发展中,俄国学者曾起过不小的作用。在十八世纪中期,М. В. 罗蒙诺索夫在和 Г. В. 里赫曼(Рихман)共同研究雷雨现象后得出结论:空气之所以带电是由于上升气流之间的摩擦作用。罗蒙诺索夫于1753年发表了当时的先进思想:电是以太微粒的很迅速的转动。在同一年里,彼得堡科学院向全世界悬赏征文,题目是“论电力的性质”。1755年,Л. 欧勒的论文得到了奖金,他在这论文里用以太中的张力来解释带电体间的相互作用。彼得堡科学院院士埃皮努斯(Эпинус)引入了在当时是很有名的一种“电液”学说,并最先发展了电现象和磁现象的数学理论。在1803年,В. В. 彼得罗夫(Петров)发现了电弧,并且指出了它有实际应用的可能。他也是液体中由于通过电流而发生电离解现象的最早研究者之一。在十九世纪三十和四十年代,彼得堡科学院士兼彼得堡大学教授 Э. Х. 楞次(Ленц)发现了确定感应电流方向和电流的热效应等最重要的定律。在十九世纪下半期,А. Г. 斯

托列托夫(Столетов)提出了研究铁的磁性的方法,并且发现了光电现象。1895年A. C. 波波夫(Попов)发明了无线电报,而不到几年之后,П. Н. 列别杰夫(Лебедев)就得到了毫米电磁波。在二十世纪初,莫斯科大学教授A. A. 埃欣瓦利德(Эйхенвальд)用实验证明了运动着的电荷和电流一样,也能产生磁场。

俄国发明家在电工学的发展中起过不小的作用。Б. С. 亚科比(Якоби)最先制成了电动机,并且用它来开动车船;他还发现了电解的实际应用(电镀)。П. Н. 亚勃洛奇科夫(Яблочков)发明了第一个实际适用于照明的电弧,А. Н. 洛德金(Лодыгин)发明了白炽灯。П. Н. 亚勃洛奇科夫又和И. Ф. 乌萨金(Усагин)首先把变压器付诸实用,而М. О. 多利沃·多勃罗沃利斯基(Доливо-Добровольский)则把三相电流应用到实际中去。Н. Г. 斯拉夫扬诺夫(Славянов)和Н. Н. 别纳尔多斯(Бенардос)发明了电焊。

§ 121. 电荷 根据电学发展的历史进程,我们从带电状态的特性和带电体之间相互作用的定律开始讲述。我们已经指出,电学的这一部分叫作静电学。十八世纪初叶所作的实验就已表明,带电状态有两种,而且也只有两种:一种和用毛皮摩擦过的玻璃的带电性质相同(叫作正的),另一种和擦过玻璃的毛皮的带电性质相同(叫作负的)。带同号电(例如都带正电)的物体互相排斥;带异号电的物体则互相吸引。物体相接触时,带电状态能够从一些物体传递到另一些物体上去。

处于带电状态的物体就说它具有电荷,电荷用作物体带电的量度。下面还将给电荷概念下定义。

在自然界中存在着能自由传递带电状态的物体,即所谓导体;

也存在着不能傳遞帶電狀態的物體，即絕緣體。

由各帶電體之間的相互作用力能夠確定帶電的程度。例如，要想定性地確定帶電的程度，可用兩個系在長綫上的輕小球（圖1）；當兩小球帶同種電時，它們之間發生排斥力，因此它們互相分開；小球帶電愈強，則分開愈甚。實際使用的是一種特制的儀器——驗電器，其中的一種如圖2所示。

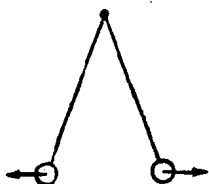


圖 1. 帶電小球的相互作用。

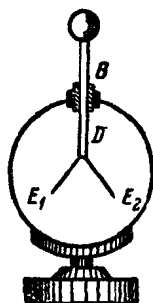


圖 2. 箔驗電器。

圖2所繪的驗電器，其構造如下：把兩片薄鋁箔 E_1 和 E_2 固定在金屬杆 D 的下端；用硬橡皮塞 B 把帶箔的金屬杆裝在一個金屬盒子里^①，盒上有一小玻璃窗，以備觀察金屬箔之用。如果使一帶電體和金屬杆 D 接觸而把電荷傳給它，則兩箔帶電，互相排斥而分開。由兩箔分開的遠近即可判斷其帶電程度。

為了更準確地定量測定帶電的程度，驗電器必須備有刻度。這樣的儀器叫做“靜電指示器”，或靜電計，是1745年 $L \cdot B \cdot$ 里赫曼在同 $M. B.$ 羅蒙諾索夫一道觀察響雷放電中發生的帶電現象時首次制成的。圖3是 $L. B.$ 里赫曼的“靜電指示器”簡圖，圖中 g 表示一鉛直挂起的金屬直尺。絲綫 f 的一端固定在直尺上。絲綫帶電時就離開直尺，其偏轉的程度可以從木制弧尺 ab 上的分度來

① 下面 (§ 133) 將說明這個盒子的作用。

确定。

按照里赫曼的简图制成的现代静电计如图 4 所示。如果使杆 D 带电, 铝箔 E 就离开固定的杆 D ; 箔偏转的大小, 与带电的程度有关, 可以根据标尺求出。

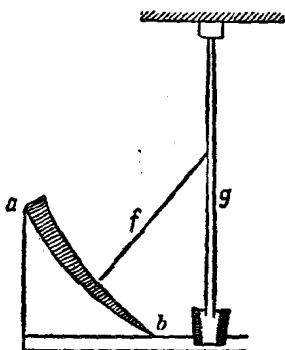


图 3. T. B. 里赫曼的静电指示器。

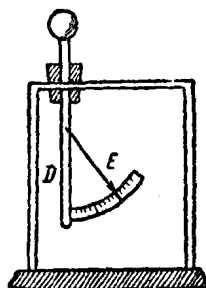


图 4. 静电计。

下述的重要现象能够帮助我们理解物体的带电过程: 如果开始给一个比如说带正电的物体充负电, 则这物体的带电状态起初变弱, 以后完全消失, 且只有在这以后, 该物体才开始带负电。由此可知, 异号电荷是互相抵消的。由这一事实引出一个假说: 在不带电的物体中, 也存在两种符号相反的电荷, 并且这两种电荷的数量是这样的恰好使它们的作用完全互相抵消。含有过多的正电荷的物体是带正电的。含有过多的负电荷的物体是带负电的。以摩擦使物体带电时, 两物体都带电, 而且总是一个带正电, 一个带负电。我们由此得到结论: 电荷既不能被创造, 也不能被消灭, 只能从一个物体转移到另一个物体, 或者在同一个物体内部移动。这个原理叫做电荷守恒定律, 是电学的基本定律, 已经为许多事实所证实, 其中之一就是埃皮努司所发现的感应带电。

感应带电现象如下所述: 如果将带电体 A (图 5a) 移近一个绝缘的导体 B , 则在导体 B 上将有电荷出现, 靠近 A 的一端出现符号

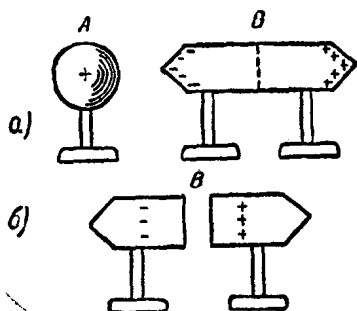


图 5. 感应带电。

相反的电荷，而在较远的一端，电荷符号则与物体 A 的相同。如果将带电体 A 移去，则导体 B 上的电荷将会消失。但是，如果在带电体 A 移去之前把导体 B 分为两部分(图 5b)，则在带电体 A 移去之后，这两部分上面的电荷却还保留着。如果假定导体 B 中总存

在有两种符号的电荷：正电荷和负电荷，并且假定这些电荷(或者至少是一种符号的电荷)可以在导体内自由移动，那就能够直接解释上述实验。当我们把带正电的物体 A 移近导体 B 时，存在于导体 B 内的负电荷被吸引，而正电荷被排斥，因此，导体 B 的两端即带上符号不同的电荷。如果把带电体 A 移去，则施于导体 B 内的电荷的作用停止，电荷“混合”起来，因而整个导体 B 的各部分又变为中性的。但是，如果当带电体 A 还在导体 B 近旁时，就把导体 B 分成了两部分，则当带电体 A 移去之后，导体 B 内的电荷无法“混合”，因而导体 B 所分成的两部分都仍然带电。如果使导体 B 所分成的两部分接触，就很易证实保留在这两部分上的电荷是等量的，因为接触以后，物体 B 变为中性的了。

中性物质中存在着两种电荷并且这两种电荷具有不变性，这可以认为是肯定无疑的了。

十八世纪中叶所出现的关于电现象的最初学说，是假定有一种特殊的电液存在。后来又出现了一种学说，假定有两种电液——正的和负的——存在。彼得堡科学院院士埃皮努司发展了单电液学说，他认为这种电液是正的。根据埃皮努司的学说，如果物体中的这种电液过多，则物体处于带正电的状态，如果这种电液不足，则处于带负电的状态。在上世纪末期肯定了基元电荷的存在；

原子或分子所得到的电荷只能是这基元电荷的整数倍。其次，还确定了这是由于存在着一种基本粒子的結果，这些基本粒子带有完全确定的負电荷 e ；这种粒子叫做电子。后文将指出：电子不仅具有确定的电荷 e ，而且具有确定的质量 m 以及其他一系列物理量（轉动矩，磁矩）。电子的这种复杂性质是辯证唯物主义的卓越例证之一，辯证唯物主义认为客观存在的世界是不可穷尽地多种多样的。列宁写道：“电子和原子一样，也是不可穷尽的，……”。^①

电子的质量約等于最輕原子（氢原子）的质量的 $1/1840$ 。

按照現代的眼光（参看第三卷），电子存在于一切原子之中，为原子的一个組成部分；原子的中心部分，即所謂原子核，带有正电荷；几乎整个原子的质量都集中在它的核里。現代，我們知道还有正电子存在，但是它們只在某些特殊情况下才出現，在这里我們暫時不研究它們。

§ 122. 导体和絕緣体 如上所述，实验表明一切物体可分为两类：（1）傳电的物体，叫做导体，（2）不傳电的物体，叫做非导体（也叫做絕緣体或电介质）。导体又分为第一类导体和第二类导体。在第一类导体中，电荷的移动并不使导体的化学性质发生任何变化，也不引起觉察得出的物质迁移；在第二类导体中，电荷的移动和化学变化联系着，这种化学变化使构成导体的物质在它和別的导体接触之处离解出来。一切金属都属于第一类导体；各种熔融的盐、酸、鹼和盐的溶液都是第二类导体。盐的晶体、油、空气、玻璃、磁器、硬橡皮、橡胶皮、琥珀和一系列其他物质則是絕緣体。

在現代，还分出了半导体这一类。这类物体的导电性虽然很弱，但却总能察觉出来，它們还具有一些其他的性质，因而可以合并为特殊的一类。在現代，对导体和电介质的本性已經确立了一

^① 列宁：唯物主义与經驗批判主义，人民出版社 1961 年版，第 277 頁。

定的观点。

在金属(第一类导体)中,一部分电子能够在各原子之间自由移动。在不带电的金属中,自由移动的电子的电荷被金属晶格上的正电荷所抵消。导体之带电乃是由于导体中电子数目的变化:带负电是有多余的电子从外界进入导体;带正电则是导体的一部分电子被取出去,结果原子核的正电荷未被完全抵消而显现出来。

在感应带电的情况下,电子在外界电荷的引力或斥力的作用下移动到导体的一端;在这一端就有了过多的电子,从而表现出带负电;而在导体的另一端,由于电子不足,未被抵消的正电荷就呈现出来了。

一切金属中的所有电子都是相同的,因此,电子的移动并不会使第一类导体的化学成分发生变化。而电子的质量是这样微小,以致在实际所能达到的带电情况下,无法观察出由于导体内电子数目的变化而发生的导体质量的变化。^①

第二类导体中没有自由电子,但却存在着缺少电子(或者有着过剩电子)的原子或分子。这种带电的原子或分子叫作离子。第二类导体中电荷的移动实质上就是离子的移动,这也就说明了在这种情况下第二类导体何以发生化学变化。

电介质——电的非导体——或者是由含有等量的正电荷和负电荷的分子构成;或者是由不能在电介质中自由移动的离子构成。电介质中的电荷在电力的作用下,仅能稍微改变其位置,或者改变其取向。可以作为电介质模型的是这样的物质,在这种物质中,成对结合着的异号电荷(极性分子),其取向是无规则的(图 6, a),所以不论就整体来看,还是就各部分来看,电介质都呈中性。将带电体移近电介质时,电介质中的电荷并不移动,而只是转往同

① 見 § 151 中的計算。

一方向(图 6, 6), 結果在电介质上, 同被移近的带电体相对的那端, 出現符号相反的电荷, 而在另一端則出現同号电荷。电介质的这种状态, 叫做极化。它和感应现象中导体上所发生的带电是不同的。

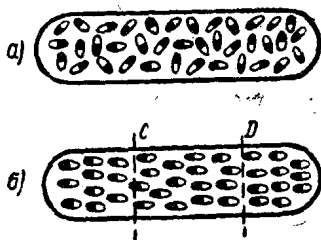


图 6. 电介质的极化。

如果将极化了的电介质分割开, 比如說沿直綫 D 和 C (图 6, 6) 切开, 則其每一部分就整体来看都是中性的, 仅在表面上呈現某种符号的电荷。

当电力很强时, 电介质的分子可能被破坏, 这时电介质将变成导体。这种现象叫做电介质的击穿。

§ 123. 靜電場。庫倫定律 电荷的相互作用定律是靜电学的基本定律。最初解釋电荷的相互作用的时候, 是把它和万有引力定律从形式上来类比的。同时假定了电力和万有引力都是毋需任何中介空間作用的“超距作用”。但实际上电荷在周圍空間中是要引起某些物理变化的(与引力质量的情况相同), 这些变化首先表現在: 与該电荷有一定距离的任何其他电荷都受到力的作用。我們暫不研究这些变化的本质, 而只說: 在靜止电荷的情况下, 在电荷周圍的空間中产生靜電場。

例如, 两个电荷的相互作用的实质是这样的: 每一电荷都在周圍空間中产生一个場, 這場以确定的力作用在另一电荷上。

靜電場是物质的一种特殊形式; 它傳遞着一些带电体对另一些带电体的作用。場的性質就是根据場作用在电荷上的力所遵从的那些規律来研究的。

因为带电体的相互作用和各带电体的形状、大小有关, 所以为了确定相互作用定律, 我們先来研究所謂点电荷。点电荷是指这样的带电体, 它們本身的綫度远小于它們之間的距离。显然, 任

何帶電體都可以看作是點電荷的集合。

兩個點電荷的相互作用定律是庫倫於 1785 年用實驗確定的。庫倫定律本身同時也包含着電量的定義。

庫倫的所有測量都是在空氣中進行的。但嚴格說來，本節所講的庫倫定律的表达式，是关于真空，即关于其中沒有顯著數量的原子、分子或其他粒子的空間的。

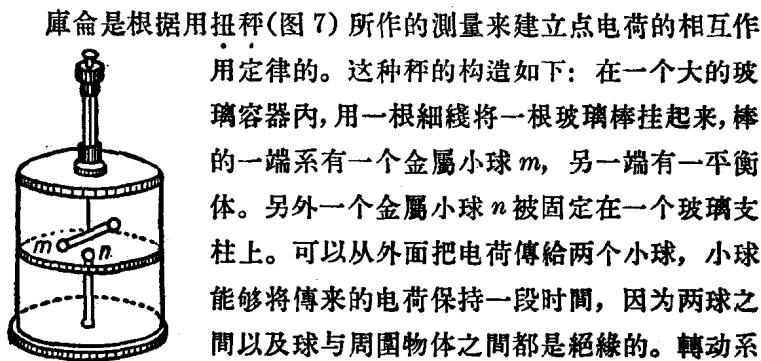


圖 7. 庫倫扭秤。

庫倫是根据用扭秤(圖 7)所作的測量來建立點電荷的相互作用定律的。這種秤的構造如下：在一個大的玻璃容器內，用一根細線將一根玻璃棒掛起來，棒的一端系有一個金屬小球 m ，另一端有一平衡體。另外一個金屬小球 n 被固定在一个玻璃支柱上。可以从外面把電荷傳給兩個小球，小球能够將傳來的電荷保持一段時間，因為兩球之間以及球與周圍物體之間都是絕緣的。轉動系着懸綫（這綫上挂着系有小球 m 的棒）的秤頭，可以改變小球 m 和 n 之間的距離。如果把電荷傳給小球 m 和 n ，則兩球將開始吸引或者排斥（依電荷的符號而定），結果系有小球 m 的棒就轉過某一角度。轉動秤頭可使小球 m 回到原來的位置。在此情況下，綫的扭力矩等于小球 m 所受到的電力的力矩。如果懸綫已事先校準，則由秤頭的轉角即可直接確定力矩，如果再知道棒長，就可以確定小球間的相互作用力了。

得出庫倫定律的推理過程如下。首先，觀察表明，電荷間的相互作用力的指向就是沿着聯結電荷的直綫。如 § 121 中曾經指出的，在同號電荷的情況下，這力為斥力，在異號電荷的情況下，這力為引力。保持傳給小球 m 和 n 的電荷不變而改變兩小球之間的距離 r (圖 8, a)，由實驗可以確信，這種相互作用力是和距離 r 的平方成反比的。

为了比較两电荷 q_1 和 q_2 的大小，我們把这两个电荷依次放在与某一固定的第三电荷 q_0 相距 r_0 之处 (图 8, б 和 в)，而测出这两个电荷同第三电

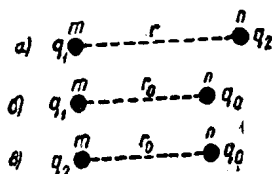


图 8. 庫倫定律的证明。

荷 q_0 的相互作用力 f_1 和 f_2 。为此，我們依次給小球 m 加上电荷 q_1 和 q_2 ，并保持小球 n 的电荷 q_0 不变。

实验表明，力之比 $\frac{f_1}{f_2}$ 和第三电荷 q_0 的大小无关，也和电荷 q_1, q_2 至第三电荷的距离 r_0 无关。由此可見，力之比 $\frac{f_1}{f_2}$ 的值仅取决于电荷 q_1 和 q_2 。因此，自然就把电荷之比 $\frac{q_1}{q_2}$ 取得与力之比 $\frac{f_1}{f_2}$ 相等。这样，我們就有了两个电荷之比 $\frac{q_1}{q_2}$ 的测量方法。

至于电荷的绝对值，則只有在确定了电荷的量度单位 (稍后我們就作这件事)之后才能得到。

既有了比較电荷的方法，我們現在就可以由不同的电荷 $q_1, q_2, q_3, \dots$ 中逐次取出一对对来，使每对中两电荷的相互距离都是 r 。这时实验表明，两电荷之間的相互作用力 f 是和二者大小的乘积 $q_1 \cdot q_2$ 成正比的。

这样，我們便最后得出了庫倫定律：两个点电荷之間的相互作用力 f ，与电荷 q_1 与 q_2 的大小之积成正比，而与电荷之間的距离 r 之平方成反比：

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

式中 k 为一比例系数。

如果将正电荷标以正号 (+)，将負电荷标以負号 (-)，則力的負值和引力对应，正值和斥力对应。

庫倫定律 (1) 可以写成矢量形式。由点电荷 q_1 至点电荷 q_2 作矢徑 $\mathbf{r}$ (图 9)。