

电工学基础

苏联 М. И. 庫茲聶佐夫著

水利电力出版社

目 录

序言	1
第一章 静电	7
§ 1. 分子和原子	7
§ 2. 关于电和电子学说的概念	8
§ 3. 电磁测量的单位制	14
§ 4. 库仑定律	17
§ 5. 电场	19
§ 6. 在电场中的导体	24
§ 7. 在电场中的介质	25
§ 8. 电位与电位差	26
§ 9. 电容	28
计算题	32
问答题	32
第二章 直流电的基本定律	33
§ 10. 关于电流的概念	33
§ 11. 电路和它的元件	34
§ 12. 电流值。电流密度	35
§ 13. 导体的电阻和电导。导体的电阻与物理条件的关系	36
§ 14. 电源的电动势。电压	41
§ 15. 欧姆定律	42
§ 16. 导体的互相联接。克希荷夫第一定律	50
§ 17. 短路	56
§ 18. 克希荷夫第二定律。用克希荷夫定律来计算电路	58
§ 19. 电流的功与功率	61
计算题	64
问答题	67
第三章 电流的化学作用。化学电源	68
§ 20. 电解	68
§ 21. 物质的电化当量。法拉第定律	69
§ 22. 电解在工业上的用途	70
§ 23. 最简单的原电池	73

§ 24. 碳鋅電池	74
§ 25. 蓄電池	76
§ 26. 包括几个电源的电路互相联接	80
計算題	85
問答題	86
第四章 电流的热作用	86
§ 27. 通电导线的發熱	86
§ 28. 楞茨-焦耳定律	87
§ 29. 导线通电流时發熱的溫度	89
§ 30. 白熱电灯	91
§ 31. 电弧	93
§ 32. 电焊	95
§ 33. 电热器	98
§ 34. 热繼电器	98
§ 35. 可熔保險器	100
§ 36. 导体的联接	101
§ 37. 热电. 热电偶	101
計算題	102
問答題	103
第五章 电磁	103
§ 38. 通电直线导体周围的磁場	103
§ 39. 通电的环形导线	108
§ 40. 螺管线圈. 电磁鉄	109
§ 41. 磁滯	112
§ 42. 在磁場中的通电导线	113
§ 43. 直流电动机的動作原理	115
§ 44. 通电导线間的相互作用	116
§ 45. 强磁. 順磁和逆磁性的物体	117
§ 46. 在磁場中的强磁性物質	118
§ 47. 永久磁鉄	119
計算題	120
問答題	120
第六章 电磁感应	121
§ 48. 感应电动势的产生	121
§ 49. 感应电动势的方向和大小	123
§ 50. 直流发电机的作用原理	125
§ 51. 楞茨定律	126

§ 52. 变压器的作用原理	129
§ 53. 感应綫圈	130
§ 54. 直流	131
§ 55. 电感	133
計算題	138
問答題	139
第七章 單相交流电	139
§ 56. 关于交流电的基本概念和定义	139
§ 57. 正弦波电动势的产生	145
§ 58. 发电机发出交流电的频率与磁極对数 和轉子轉速間的关系	149
§ 59. 交流电所产生的作用	151
§ 60. 帶电阻(有效电阻)的交流电路	154
§ 61. 帶电感的交流电路	156
§ 62. 表面效应	163
§ 63. 帶电容的交流电路	168
§ 64. 有效电阻与感抗的串联	167
§ 65. 电压的三角形	169
§ 66. 阻抗的三角形	169
§ 67. 欧姆定律用于帶电阻和电感(r, L)的电路	172
§ 68. 电阻和电容的串联	173
§ 69. 电阻、电感和电容的串联	175
§ 70. 电感与电容的并联	178
§ 71. 功率的三角形	181
§ 72. 功率因数($\cos\varphi$)	184
§ 73. 提高用电器机械功率因数的必要性	186
§ 74. 影响用电器机械功率因数的原因和提高功率 因数的方法	188
計算題	190
問答題	191
第八章 三相交流电	192
§ 75. 三相交流电的产生	192
§ 76. 三相电流制	194
§ 77. 星形和三角形接法	197
§ 78. 星形和三角形接法中相电压、相电流与 綫电压、綫电流間的差別	199
§ 79. 三相交流电的功率	204

§ 80. 用三相电流造成旋轉磁場	207
計算題	209
問答題	210
第九章 变压器	211
§ 81. 关于变压器的一般知識	211
§ 82. 变压器的無負荷运行	215
§ 83. 变压器的載負荷	217
§ 84. 变压器的短路試驗。繪制变压器的特性曲綫	219
§ 85. 远距离輸电中变压器的作用	221
§ 86. 变压器的結構和类型	223
§ 87. 三相变压器	226
§ 88. 变压器的并列运行	229
§ 89. 自耦变压器	230
計算題	235
問答題	235
第十章 異步电动机	236
§ 90. 異步电动机的作用原理	236
§ 91. 短路轉子異步电动机的結構	236
§ 92. 三相交流短路轉子異步电动机的工作	238
§ 93. 綫繞轉子異步电动机的結構	240
§ 94. 異步电动机的性能与用途	243
§ 95. 电动机的轉差率	244
§ 96. 異步电动机定子繞組的繞法	245
§ 97. 異步电动机的起動法	247
§ 98. 異步电动机轉速的調节	252
§ 99. 異步电动机的反向旋轉	255
§ 100. 單相異步电动机	257
問答題	257
第十一章 同步电机	258
§ 101. 同步發電机	258
§ 102. 同步發電机的結構	259
§ 103. 同步發電机定子繞組的制作	263
§ 104. 同步發電机的電樞反应	266
§ 105. 同步發電机的特性曲綫	268
§ 106. 同步發電机的并列运行	271
§ 107. 同步电动机的結構与動作	273
§ 108. 同步电动机用輔助电动机起動法	274

§ 109.	同步電動機的異步起動法	275
§ 110.	同步電動機的性能與用途	277
問答題		278
第十二章	直流電機	278
§ 111.	直流發電機的構造	278
§ 112.	整流子的功用與構造	280
§ 113.	電樞的繞組	285
§ 114.	電樞反應。整流。補償磁極	291
§ 115.	直流發電機的类型	296
§ 116.	他激式發電機	297
§ 117.	分激式發電機	300
§ 118.	串激式發電機	302
§ 119.	復激式發電機	303
§ 120.	分激式發電機的并列運行	305
§ 121.	直流電機作為電動機來運行	306
§ 122.	直流電動機上整流子的功用	308
§ 123.	電樞的反電勢	309
§ 124.	直流電動機的轉速調節	312
§ 125.	直流電動機的電樞反應	312
§ 126.	分激式電動機	314
§ 127.	串激式電動機	316
§ 128.	復激式電動機	319
§ 129.	大容量電動機的起動和調速的特殊接線法	320
§ 130.	直流電動機的制動	321
§ 131.	旋轉式換流機	325
問答題		329
第十三章	整流器	329
§ 132.	關於整流器的一般知識	329
§ 133.	氧化銅整流器	330
§ 134.	硒整流器	332
§ 135.	固體整流器的接線法	332
§ 136.	真空管整流器	334
§ 137.	玻璃密封管整流器	338
§ 138.	金屬壳水銀整流器	343
問答題		345
第十四章	電工測量儀表和電工測量術	346
§ 139.	電工測量儀表概說	346

§ 140.	电工测量仪表的分类	348
§ 141.	永磁式测量仪表	349
§ 142.	电磁式仪表	351
§ 143.	电动式仪表	353
§ 144.	电热式仪表	354
§ 145.	感应式电工测量仪表	356
§ 146.	热电式仪表	360
§ 147.	检波式仪表	361
§ 148.	振动力式仪表	361
§ 149.	表用互感器	362
§ 150.	电路中电流的测量	372
§ 151.	电压的测量	374
§ 152.	变阻器	375
§ 153.	有功电功率的测量	378
§ 154.	有功电能的测量	384
§ 155.	无功电能的测量	387
§ 156.	功率因数的测量	389
§ 157.	电阻的测量	391
計算題		397
問答題		398
第十五章	电气設備的安全技术	399
§ 158.	安全技术的主要規則	399
§ 159.	触电	400
§ 160.	給触电者急救的規則	401
主要物理單位的俄文簡写符号		406
主要电量的字母符号		407
計算題答案		408

“共产主义就是苏维埃政权
加全国电气化。” ——列宁

原 序

为了实用目的而应用电能科学，称为电工学。

在现今已知的各种能量形态中，电能占有特殊的地位。电能的特点，首先在于它比较容易由其他能量的形态变成。

用充分简单而经济有利的设备，可将不拘多少的电能迅速地传送到辽远的地方，分配给个别的用电设备，十分便利。

在用电的地方，使电能重新变成各种能量（如光能、热能、机械能、化学能等等），也极容易。

广泛地应用电能，在工业上、农业上、运输上，并作为能量的基本形态，就称为电气化。

革命前的俄国，电能的用途甚狭。只有主要的城市中最富有阶层和少数企业机构，才用得到。

伟大的十月社会主义革命后，布尔什维克党负起责任，使俄国从落后的农业国变成先进的工业强国。列宁和斯大林指出了电力是国民经济中的革命力量。我们祖国的电气化就根据列宁、斯大林关于电气化是共产主义的物质与技术基础的指示而发展的。

具有历史意义的列宁名言：“共产主义就是苏维埃政权加全国电气化”以最显明的方式表明了我们的电气化具有怎样巨大的政治的和全国性的意义。还在1920年，当内战期间，严重的经济破坏、饥荒和疫病猖獗的时候，年幼的苏维埃共和国在被白卫军和干涉者在各方面困扰的情形下，就已按照列宁、斯大林的指示，作成了苏俄国家电气化计划（ГОЭЛРО计划）。这计划是在1920年12月第八次全俄罗斯苏维埃代表大会中通过的；列宁称它为党的第二纲领，而斯大林则称它为真正统一的真正国家的经

济计划的精密草案。

苏俄国家电气化计划是我国一切社会主义建设的基础。在以后的几年中，苏维埃人民为实现这伟大计划而进行的斗争，是创造我们社会主义国家的物质和技术基础的历史上最英勇的一页。

按照电气化计划，在我国已经建造了几十所强大的火力和水力发电厂，几千公里的高压输电线路，并且造成了许多生产电工器械的工厂，这些工厂是我国电气工业的基础。

苏俄国家电气化计划在最短的指定期限——十年内胜利地完成了，而到1935年底几乎达到它的3倍。

从那时起，我国电厂所发电量，继续急剧地增加。

当希特勒德国背信弃义进犯和平的苏联时，当法西斯强盗侵略我国领土时，许多城市、农庄、乡村、工厂、电力站和输电线路被野蛮地破坏了。但是即使这样，也不能打破我国电气化的一直往上增长。

伟大的卫国战争胜利结束之后，苏维埃电气化以更大的规模来发展。到现在，我国的发电量已超过革命前的40倍。战后第一个斯大林五年计划中，每年新建的容量，几乎达到苏俄国家电气化计划10—15年中所建容量的2倍。

现在不仅全国绝大多数城市和工人市镇已经实现了电气化；并且特别展开了集体农庄、苏维埃农场和农业机械站的电气化。一系列的区域都已完成或将完成他们集体农庄的全面电气化。

我们的世纪常被称为电的世纪，是有理由的。苏维埃发电厂所产生的巨量电能，非常广泛地用在我们的各技术部门。

现在我们的工场、工厂、农业机械站和其他生产部门中，主要是用经济便利的电动机，来运转车床、机器和其他各种机械装置。

在电炉中熔解金属，得到钢铁和各种合金。

电又广泛地用来提鋁和制造各种化学品以及其他許多物品。

金屬的电焊和电割也是非常普及。

只有發展了电工技术，才能在工業上采用新的技术方法，实现广泛的自动生产，創造新的有高度生产率的机器。

电能开动电車，能起重，能帮助發現蘊藏在地下的矿苗、煤炭和石油。

農業上利用电能，可使大多数最繁重的工作得到高度的机械化，大大地縮短完工的时间，增加農業生产。

在家庭生活中，电能也应用得極广，尤其在照明和供热方面。

千百万盞明亮的电灯，照耀着我們的城市和农庄。

因为有了电，在我們的时代里才可能有这許多重大的發明。無線电和雷达，原子內部的透入和原子的击破，这些都要借助于电。电使我們听到千万里外的声音，看見在完全的黑暗中和極远距离处的物体，透視人体內臟的工作并医治疾病。仅只列举由于用电和借助于电所能做到的事項，就將需要不少的篇幅。今后电能的应用，正有广大無穷的前途。

人們很早就認識了电的现象，但是电工技术的实际应用，却到十九世紀初才开始。电气工程上的許多發現和發明，是由我國的学者和發明家們完成的。其中第一人就是俄國各种科学的奠基人M.B. 罗蒙諾索夫。在十八世紀中叶，他作出了大气电的理論。罗蒙諾索夫認為电和光的現象之間是有着联系的，这点經過一百年后才被法拉第和馬克斯威尔所証明。

1802年，彼得堡的內外科医学院的物理学教授B.B. 彼得罗夫造成了电弧，并且指出了在照明和鍍化金屬上实际用电弧的可能性。1832年，俄国發明家П.Л. 許林格以他所發明的指針电报，实现了世界上最早的电报通訊，这种电报在1839年被俄國科学院院士B.C. 雅可比發明的記錄式电报所代替(美国人摩尔斯

在1840年發明他的電報機，到1844年才應用）。

俄國科學院院士Э. X. 楞茨在電磁感應方面確立了以他的姓氏為名的一个定律（楞茨定律）。他又詳細地研究了關於電流所發出的能量問題，結果又作出了電流的热效應定律（楞茨-焦耳定律）。

1834年，B.C. 雅可比首先發明并在1838年實際制成最早的一架電動機。1836年，他又研究出電鍍的方法。莫斯科大学教授A. Г. 斯托列托夫在1872年研究了鐵的磁化作用，使得對於電機的磁路可以進行計算。1873年，俄國發明家A. H. 洛迪金制成了第一盞白熱電燈，起先是用炭絲，後來改用金屬鎢絲。

1876年П. Н. 雅勃洛契可夫發明了“電燭”。他的電燭曾被廣泛地採用在歐洲的許多國家內，并以“俄羅斯之光”著稱。雅勃洛契可夫又研究出交流發電機的結構，并且發明了變壓器。莫斯科大学的機械師И. Ф. 烏沙金與雅勃洛契可夫不相關聯地自己制成了一個變壓器。1875年，俄國工程師Ф. А. 比洛茨基首先完成了把電力（功率6馬力）輸送到相當遠的地方（距離1公里），而1880年世界上第一輛電車在彼得堡行駛起來了。

Д. А. 拉青諾夫首先在理論上證明了遠距離送電的可能性和合理性。1882年，俄國工程師Н. Н. 別那尔多斯發明了應用碳極的電焊法。1888年，工程師М. О. 多里沃-多布羅沃里斯基發明三相電流制，他在1889年造成了三相變壓器，而在1891年又制成了異步電動機。

1893年，在巴黎的世界博覽會中，Н. Г. 斯拉夫揚諾夫由於他的應用金屬電極的電焊法，獲得了金質獎章。

1895年，A. C. 波波夫發明無線電報，由於這個發明，他在1900年救活了几批被冰塊帶走到海里的漁人。

1920年，莫斯科的霍登斯基無線電台在世界上首先開始了無線電廣播。

偉大的十月社会主义革命之后，党制訂了与国民經济的增長直接相关的国家全部动力綜合發展的計劃。

B.H. 列宁着重指出电气化的巨大意义，他写道：“……如果俄罗斯籠罩着稠密的电站網和巨大的工程設備，那末我們的共产主义經济建設就成为將來社会主义的欧亞兩洲的模範。”

共产党在执行列宁的指示时，在發展国民經济的几个五年計劃中特別注意發电站的建設、發電量的增加、电能的广泛应用在工業、运输、农业和劳动人民的日常生活中。

在苏联發展第五个五年計劃(1951—1955年)中規定：1955年的發電量应比1950年增加80%；在电气化方面，要保證电力的迅速增長，以便更充分地滿足国民經济和人民日常生活对电能的日益增加的需要，以及加大电力系统儲备量；在五年之內，發電厂的总容量約須增加一倍，水力發電的容量則增加二倍，同时保證火力發電厂方面首先扩大現有的企業；許多巨大的水力發电站应开始运行，其中包括發電容量为210万瓩的古比雪夫水力發电站以及总發電容量为191.6万瓩的卡馬、高尔基、明基却烏尔、烏斯梯-卡孟諾高尔斯基和其他水力發电站。須建成并使用古比雪夫-莫斯科輸电綫路；展开斯大林格勒、卡霍夫和新西伯利亚水力發电站的建設工作，开始建筑新的巨大水力發电站：伏尔加河上的契鮑克薩尔站、卡馬河上的伏德金站、伊尔梯許河上的布赫塔尔明斯克站以及其他許多水力發电站；开始进行利用安加拉河的动力資源的工作；建造大量的地区火力發電厂和工厂自备發電厂，以改善对南部地区、烏拉尔区和庫茲涅茨克矿区的供电；除了建造大型發電厂之外，还須建造中型的和小型的；使得立陶宛苏維埃社会主义共和国、拉脫維亞苏維埃社会主义共和国和爱沙尼亚苏維埃社会主义共和国的發電量增加一倍到一倍半。建造那尔瓦水力發电站、里加热电厂，并且扩展考那斯基水力發电站的建設工作，在普利巴尔的克进行关于建筑水力發电站的設計勸

察工作。

上述的水力發電站中，現今有卡馬、明基却烏爾、烏斯梯-卡孟諾高爾斯基等站和里加熱電廠都已局部投入生產，供給工業用電。容量最大的古比雪夫水力發電站也在1955年就開始供電。

第五個五年計劃又規定了廣泛實行工業生產過程的自動化和機械化以及鐵道運輸的電氣化。

在農業方面，最重要的任務之一就是應用電氣拖拉機以及以電能為基礎的各種農業機器，尤其是在有巨大水力發電站的地區。

第五個五年計劃確定了蘇聯國民經濟的新的巨大增長，保證了人民的物質福利和文化水平更进一步地大大提高。

1954年7月1日在蘇聯，世界上第一個原子能發電廠投入運行了，有效發電容量為5千瓩。這個原子能發電廠所發出的電力供給着附近地區的工業和農業用途。現在又在建造發電容量為10萬瓩的原子能發電廠。

為了滿足國民經濟對於熟練技工日益增加的需求，特別是因為要在生產上進一步掌握先進技術，就需要大批新的電氣專業技工。他們將遇到各種各樣的電氣機械和器具，需要多方面的確切的知識。電業工作者的知識不高，技術不夠，就可能容易引起機器的嚴重損壞，或使自己和別人遭受到傷亡。

電工的職業是極有趣而引人入勝的。但在我們社會主義勞動中要成為一個先進的技工——斯達哈諾夫式工作者，社會主義勞動的能手，未來的電業技工必須多多堅強地學習，不斷提高自己的理論和實際的知識。

第一章 靜 電

§ 1. 分子和原子

好幾世紀以來，科學對於造成環繞在我們周圍的世界的各種物質進行了研究，得出了這樣的結論，就是我們所遇到的物質儘管不同，却都是由簡單的元素組成的。人們已經確定了在自然界中存在着 100 種化學元素；每種元素都是由極微細的粒子——原子——所組成。不同的元素所有的原子也不同，各有它特具的一定性質。反過來說，同一元素的原子都是一樣的，都具有該元素的一切特性。具有等量的原子核電荷，不過質量不同，因而其他性質各異的同一化學元素的原子，叫做同位素。一種原子的結合，造成單純物質；不同原子的結合，造成化合物質。有化學性結合的一羣原子叫做分子。例如，水的分子是由三個原子合成的：二個氫原子和一個氧原子。硫酸的分子是由二個氫原子、一個硫原子和四個氧原子合成的。有些酸類的分子含有幾百個原子。在蛋白質分子里却有幾千個氫、碳、氧、氮、磷和硫的原子。

著名的俄國化學家 Д. И. 孟特列也夫在研究了各種元素的特性之後，於 1869 年把當時已知的各種元素從極輕的氫原子起到鉛和鉍的重原子止，按照它們的原子量，順次排列起來。同時，他指出各種元素的物理和化學性質是周期性地重複着的。孟特列也夫考慮到各項元素的原子量和特性，而把他的周期表劃分成 92 格。當制訂這表時，填入了 64 種已知的元素。孟特列也夫並不被表中所列的已知的元素所限制，而確信他已發現了自然界中最重要規律之一，推測了在自然界中還存在着未發現的元素，並且說出了這些元素的主要特性。後來鎂、鈦、鋳等的發現，輝煌地証實了 Д. И. 孟特列也夫的科學的預言。

§ 2. 关于电和电子学說的概念

在一段很長的时期里，人們以为原子是自然界中各种物質的最原始的、不可分裂和不能改变的質点，原子 (Atom) 这一名称也就由此产生，它的意义在希腊文中就是“不可分割的”。

十九世紀末期，物理学家們看到了在把高压电流通过高度真空的管子时，管子的玻璃会發出綠色光綫，那是由于不可見的射綫所生的作用。發光点是在与电源陰極相联的一个電極的对面；因此，这种光綫叫做陰極射綫。在磁場作用下，發光点会偏向一边。陰極射綫在磁場中的情形和通电的導綫一样。这帶綠色的發光点在電場作用下也会偏移，并且帶陽电荷的物体能吸引陰極射綫，而帶陰电荷的物体則能推斥陰極射綫。这就导致了这样一个观念，認為陰極射綫的本身就是电子流。

物理学家倫琴在 1895 年發現了一种特殊的射綫，这种射綫單靠人眼不能看見，但是能够射过許多不透明的物体。現今倫琴射綫 (通常叫爱克斯光——譯者) 在医药和工業上都要用到。1896 年發現了含鈾的物質能够在黑暗中对照相感光片起作用。此后不久，馬利、居里-斯克洛多夫斯卡亞和她的丈夫彼得-居里發現了鈾元素具有与鈾相像的一种能力，就是能够放射出不能看見而能射过不透明物体的射綫。1898 年，居里夫妇又發現了二种新的元素——鐳和釷，这二种元素都具有与鈾和鈾相同的性質。某些元素会放射出不能看見的射綫的那种性能，居里叫它做放射性。在研究鈾的性質时，居里發現了这銀狀的軟性的金屬鈾，能在黑暗中發光，能把水分解成氧和氫，能对照相底片起作用，又能不断地發出热量。鈾在分裂时，会發出三种射綫：阿尔法 (α)、皮太 (β) 和札馬 (γ) 射綫。在繼續不断的分裂之后，鈾会变成一种稳定不变的元素——鉛。

陰極射綫、倫琴射綫、放射性和其他許多物理的、化学的以

及磁性的現象，都使我們能够作出結論，確定原子並不是物質的不可分割的質點，而是有着複雜的結構的。科學的研究証明了原子是由帶電荷的和帶不帶電荷的質點所組成。

根據現代物質結構的理論，每一原子都是由一個核子和在它周圍繞行着的電子組成的。

原子核帶有陽電荷，而電子則帶有陰電荷。

原子平常不顯示任何電的性能（即中和的），但這並非表示其中沒有電，不過是陰陽二電恰相平衡罷了。

不同的化學元素，其原子的重量（原子量），因原子核所帶陽電的多少和繞着原子核運動的電子數目的不同而各異。例如：氫原子（元素中最輕而結構最簡的）只有一個電子圍繞着原子核運動（圖1）；銅原子有29個電子；金原子有79個電子。這種繞着原子核而運動的電子數目，總是等於孟特列也夫周期表中所排列的元素序數。例如：表中第92種元素——鈾的原子，有一個帶92單位陽電的原子核和92個沿許多軌道繞着原子核而運動的電子。

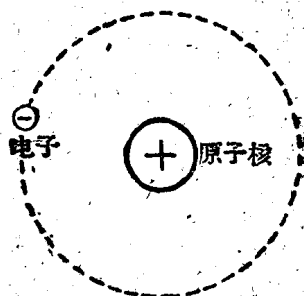


圖1 氫原子的結構概圖

在原子裏轉動着的電子中，那些在邊緣軌道上的電子，與原子核的聯系比較弱；那些在靠近原子核的軌道上的電子，聯系比較強。在邊緣上的電子，因為受到隣近原子的作用或其他原因，可能被迫離開它們自己的軌道。

一切金屬的原子，都有上述不穩固的外周電子，這些電子容易離開自己的軌道；這樣，也就可以解說金屬的良好導電性能。

還有其他許多物質的原子，把電子堅固地保持靠近原子核，不讓它們自由地離開原子。這樣的物質，就不善於導電。

蘇聯學者Л. Н. 門杰爾許太和 Н. Д. 巴巴列克西在1912年

就做了一个有趣的实验。靠近一个金属环的中心，置小磁针一个（圖2），磁针指着南-北。利用外力把金属环迅速旋转，然后突然停下。在金属环刚停下的瞬间，磁针会转动到沿环的轴线位置。但是，片刻之后，它仍回到原来所指的方向。这一实验可以这样来解说：当环在旋转时，自由电子随着金属的原子一起运动。当突然停下时，金属的原子固然停下了，可是自由电子由于惯性的作用还在继续运动一些时间。在这

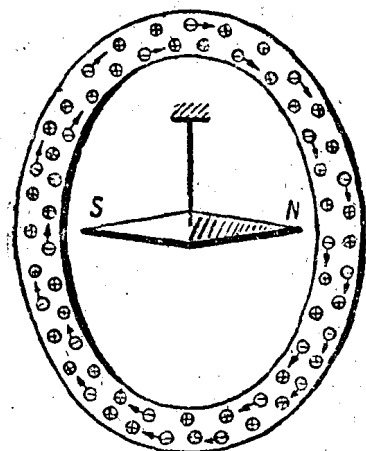


圖2 巴巴列克西和門杰尔許太的实验

片刻中，环内就有电流产生，这电流产生磁场而作用于磁针。

这个实验表明了金属内部是有自由电子的。

在正常状态下，金属的原子、离子（失去了或者获得了电子的原子）和自由电子都在不规则的热运动中。如果在某种原因下，自由电子被迫向一个方向移动，自由电子这样有秩序的运动就成为金属导体中的电流。

上面已经提到，原子中的阴阳二种电荷，通常是彼此相等的。但若物体的原子开始失去电子时（例如由于摩擦），那末它的阳电荷变成太多了，我们就说这物体带有阳电。

又若物体获得电子，则电子成为过剩，而物体带有阴电。这样就可以说明：用皮革擦玻璃，玻璃因失去电子而带阳电，皮革则因从玻璃上得到电子而带阴电。

在电气性质上表现为中性的原子，一旦失去或得到了电子之后，就变成带电的了。这样的原子叫做离子。中性原子转变成离子的过程叫做电离。举例来说，电离作用可以在某些金属（钠、钾等）中看到，当这些金属的表面被光线照射时，就能放出电子。发