

高等学校教学用书

电 子 学

上 册

H. A. 卡普佐夫著

高等教育出版社

高等学校教学用书



电 子 学

上 册

H. A. 卡普佐夫著

吳全德 廖增祺 郭汝嵩 譯

尹道乐 徐承和 朱 宜

鮑 家 善 校

高等教育出版社

本書系根据苏联国立科学技术理論書籍出版社 (Гостехиздат) 出版卡普佐夫 (Н. А. Капцов) 著的“电子学” (Электроника) 1956 年版譯出。原書經苏联高等教育部审定为国立大学無線电物理專叶电子学課程的教科書。

本書共 15 章, 中譯本暫分为兩册出版, 上册內容是第 1 至第 8 章, 講解各种电子發射、气体中的电学現象、半导体电子現象、电子光学等。中文譯本可作为綜合性大学物理系無線电物理及电子物理專門化有关課程的教学参考書, 工叶大学电真空專叶的学生亦可参考。

上册的譯者是吳全德、廖增祺、郭汝嵩、尹道乐、徐承和、朱宜等同志。譯稿曾由鮑家善同志校訂一遍。

电 子 学 上 册

Н. А. 卡普佐夫著

吳全德等譯

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 054 号)

京華印書局印刷 新华書店經售

統一書号 13010·349 開本 850×1168 1/32 印張 7 5/16 字數 175,000 印數 0601—3,000
1957 年 8 月第 1 版 1957 年 8 月北京第 1 次印刷 定價(¥) 0.85

53 65
2132
(上)

5

序

这是一本适用于綜合性大学無綫电物理專業“电子学”課程的教科書，書中包含了作者多年講授的課程底內容，并且附有关于电子近代情况的补充材料。根据課程底大綱，本書叙述了無綫电电子学底物理基础，至于有关电子与离子仪器裝置底技術問題，書中只是根据为了理解这些仪器中所發生的物理現象的需要，而略加叙述的。書內沒有杂志文献底詳細索引。如果讀者希望閱讀个别問題的文献，可以去查作者所写“气体中与真空中的电現象”一書中的文献索引(国家科技書籍出版社出版，1950)，或者去查下列各書的文献：Л. 略布(Loeb)著的“气体中放电底基本过程”，(国家科技書籍出版社，1950)及 В. Л. 格拉諾夫斯基(Грановский)著的“气体中的电流”，第一册(1952)。本書假定讀者已了解了統計物理与量子力学，但是由于篇幅的限制和教学计划分配給这門課程学时的限制，沒有詳細叙述与电子学有关的那些現象底量子力学理論。在选择本書中所叙述的材料时，作者考虑了無綫电物理專業各教研室底教授們的希望和指示(在这个專業，本課規定为講授的課程之一)。作者利用这一机会，对那些参加制定本教科書計劃討論的全体人員表示感謝，其中 Г. В. 斯比瓦克(Спивак)教授，在审阅本書底初稿时，提出了許多寶貴的意見，作者在將初稿付印时，接受了他的意見。Е. Л. 斯达罗加道姆斯卡婭(Старокадомская)在本書的整理和校閱工作上对作者的协助，作者在此亦致以謝意。

于国立莫斯科大学

И. 卡普佐夫

1952 年 12 月 29 日

407500

目 录

序

第一章 緒言	1
§ 1. 电子学底对象及內容	1
§ 2. 电子学發展簡史	6
第二章 热电子發射和冷發射	14
§ 3. 热电子發射	14
§ 4. 热电子發射电流与陰極溫度底关系	16
§ 5. 功函数 φ 和常数 A 的實驗測定	24
§ 6. 功函数与外电場的关系	28
§ 7. 冷發射	31
§ 8. 金屬表面上具有別种物質底單分子層存在时底發射。加膜陰極	34
§ 9. 氧化物陰極	37
§ 10. 根据半导体底能帶理論解釋氧化物陰極底热电子發射	40
§ 11. 用于电真空器件中的陰極类型	45
§ 12. 正离子發射	46
§ 13. 散粒效应与电子和离子器件中噪音底其他来源	47
第三章 光电發射和次級發射	52
§ 14. 光电效应底三种形式	52
§ 15. 光电發射定律。光电陰極底光譜特性曲綫	53
§ 16. 測定光子速度分布底方法和測定光电效应閾底方法	55
§ 17. 金屬表面上的別种物質底薄膜对光电發射的影响。选择性的光电效应	59
§ 18. 光电發射底理論	61
§ 19. 复杂陰極的光电效应。新型的光电發射的光电管	69
§ 20. 复杂陰極的光电效应理論	74
§ 21. 次級电子發射	76
§ 22. 次級电子發射底理論	81
§ 23. 复杂陰極的次級电子發射	83
§ 24. 电子倍增器	86
§ 25. 在正离子、激發原子和中性原子底作用下陰極的次級电子發射	89
第四章 第一类和第二类非彈性碰撞时气体粒子底 激發和电离	92
§ 26. 电子与气体粒子作第一类非彈性碰撞时所發生的电离和激發	92
§ 27. 电离几率, 激發几率	99

§ 28. 原子在受激态的暂留时间。渐次电离和渐次激发。共振辐射的扩散。 亚稳状态	102
§ 29. 第二类非弹性碰撞	105
§ 30. 正离子与气体粒子碰撞时所产生的电离和激发	107
§ 31. 负离子底形成和破坏, 带电粒子底复合	110
第五章 气体体积中的光致电离。热电离与热激发。	
其他形态的气体电离	117
§ 32. 气体底体积光致电离	117
§ 33. X-射线引起的气体电离	121
§ 34. 放射性射线引起的气体电离	123
§ 35. 热电离和热激发	124
§ 36. 转荷过程	128
§ 37. 剩余电离。宇宙射线底作用	129
第六章 电子和离子在高真空中和在气体中的运动	130
§ 38. 带电粒子在高真空中和在气体中运动底基本规律和特征	130
§ 39. 空间电荷产生的电场底计算, 二极管底伏特安培特性曲线	132
§ 40. 电子管物理	144
§ 41. 空间电荷在气体放电中的作用	157
§ 42. 电场存在时气体中带电粒子运动底性质	158
§ 43. 测定电子和离子迁移率底实验方法	160
§ 44. 离子和电子迁移率底理论	167
§ 45. 气体粒子底有效截面和它与碰撞电子速度的关系	178
第七章 电子光学概论	180
§ 46. 电子光学底对象	180
§ 47. 用电场使电子束聚焦	181
§ 48. 电透镜	186
§ 49. 用磁场使电子束聚焦	194
§ 50. 磁透镜	196
§ 51. 在复合的电场与磁场中电子束底聚焦	198
§ 52. 在电子光学系统中像底畸变	199
§ 53. 电子显微镜	200
§ 54. 电子注底相聚焦	203
第八章 半导体内和半导体与金属交界处的电子现象	207
§ 55. 电介质和半导体底光电导性	207
§ 56. 阻挡层底光效应	208
§ 57. 在半导体与金属交界处的整流作用	215
§ 58. 晶体检波器在超高频时的工作情况	221
§ 59. 晶体三极管	223

第一章 緒言

§1. 电子学底对象及內容 这门課程底对象是关系到無線电技术在各部門中应用的許多仪器底作用和参量的物理現象底研究。其中有一些現象和無線电波在地球大气中傳播也有重要关系。在真空中,在气体中,在固体中,在固体和气体或固体和真空底边界上,以及在二个相互接触的固体底分界面上的电子过程是所有上述現象底基础。物理学中研究这些过程的一个專門分科就称为电子学。在工艺界中,常把电子学一詞理解为关于电子和离子仪器的外表描述,制造的技术,以及它們在綫路中的应用。这样的部門很自然地称为应用电子学,除了少数与物理学有直接关系的电子仪器和离子仪器的問題以外,本書將不涉及应用电子学。

在無線电中,在自动化控制和远距离操縱中,以及其他近代技术中,电子和离子仪器底应用是基于它們各种独特的伏特安培特性曲綫底特征。通过金屬和电解溶液的电流(非常大的电压和非常大的电流密度的情况除外)都是遵守欧姆(*Ohm*)定律的,伏特安培特性曲綫在这情形下是一根通过坐标原点的直綫。然而电子和离子仪器底伏特安培特性曲綫具有复杂的形式,它和电流通过高真空^①,通过气体和通过两个固体分界面底許多特点有关的。通过任何物体以及通过高真空,电荷底移动都是由帶电粒子在这些物体中的移动而实现的。在金屬中、在半导体中以及在高真空中,这些粒子都是电子;而在溶液、在固体电介質中和在某些半导体中

① 真空普通是指被稀薄气体充滿的空間。高真空的特点是:气体粒子底平均自由程(粒子在二次連續碰撞之間所經過的路程的平均值)大于其容器或体积底最小的長度。

这些粒子是电解的离子；在气体中这些粒子是自由电子，正的和负的气体离子。無論是哪一种情形，都只有在帶电粒子底濃度既与加于这物体兩端的电压無關，也与电流密度無關的条件下，欧姆定律才可能是正确的。如果有了这条件，而且帶电粒子运动底速度和电場强度成正比，也就是說，如果由于帶电粒子和圍繞着它的媒質的粒子間作了許多次的碰撞，它們的运动正像一个在恒力作用下的粒子在有摩擦的媒質中运动一样，那末沿电場方向的电流密度就等于：

$$i = en(K_p + K_n)E = en(K_p + K_n)\frac{U}{d}, \quad (1.1)$$

式中 e 是每个粒子所帶底电荷，假定每一个帶电粒子的 e 值都是一样的； n 是它們的濃度； K_p 是在帶正电粒子的速度式子 $v = K_p E$ 中的乘子，而 K_n 是在帶負电粒子的速度式子里的乘子； E 是电場强度； U 是加在物体上的电压； d 是电極間的距离； K_p 和 K_n 称为这种粒子底迁移率。只有当 n 、 K_p 、 K_n 都与 U 無關时，电流密度 i 才可能与 U 成正比。違反欧姆定律說明帶电粒子底濃度或是它的迁移率不是一个常数。当电流通过二个固体底边界时，違反了欧姆定律，这是因为有电荷聚积在直接靠近这边界的地方，和由此在边界处产生局部电場的緣故。

如果把放在气体中的二个电極加上很小的电位差，則只有很弱的电流通过气体，这电流与外界对气体或对电極的作用有关。这些影响电流通过气体的作用就是：穿过气体的 x 射綫、放射性射綫和宇宙射綫，或是陰極底加热（它能增强陰極表面的电子發射），或是陰極受紫外綫底照射。所有这些由于外界作用于气体而使其导电的过程都称为外致电离。气体和外界作用隔离得越好，它的导电率就越小。在低溫时完全与外界隔开的气体是和高真空一样优良的絕緣体。随着外加电位差底增加，由外致电离底作用而产生

的电流起初按欧姆定律增长,然后过渡到饱和状态,此后又逐渐地增长。最后,当电位差达到某一定的数值时,完全新的性质的现象便突然呈现了:如果外电路底电阻很小,则电流一瞬间增到很大的数值。气体开始发光。气体间隔二端底电极被烧热。如果是在自由大气中放电,则还会发出响声。这种向本质上完全新的现象的转变就称为气体放电底引燃或气体间隔间击穿。为引燃所必需的电位差称为引燃电压或击穿电压。这时停止外致电离底作用已经不能使放电停止了。放电变成了自持放电。使气体中有带电粒子存在以及使气体导电的过程称为气体底电离。反之,两个带异号电荷底粒子碰在一起而中和底过程称为复合过程。

气体底电离与溶液底电离有着本质上的不同。电离解是由于溶剂粒子和溶质粒子相互作用而产生。在每种给定的情况下,电解质的正离子和负离子都是由完全一定的原子所组成的复合体(其中有时也是单独的原子)。这些复合体总是溶质分子底一个组成部分,溶质分子是在电离解过程中分解的。电解质中离子底浓度是由整个溶液底浓度和温度所决定的。既与电流强度无关,也与溶液中电极间所加的电压无关。由于两种符号底离子在电极上被分析出来和由于在溶液体积中复合所引起的离子底减少,是由继续不断地电离解过程得到补充。

气体中则完全是另一回事。在气体中带电粒子不一定是这种气体分子底组成部分,我们可以遇见自由电子和各种各样的离子:带正电或负电的分子、以及那些在别种情况下是不能以自由状态而存在的带电原子底复合体。气体中离子的形成不仅依靠外致电离底作用,而且也与由于放电电流通过气体而在气体体积内或电极表面上引起的一系列的原子基本过程有关。在自持放电中,这些过程底作用大于外致电离底作用,这时,后者对于维持放电簡直是多余的。气体中离子和自由电子底浓度和电流强度以及放电中

的电場强度有关。这就是各种类型气体放电底伏特安培特性曲綫形状复杂的原因。

气体粒子在放电中底电离过程可以分成气体体积内的电离过程和电極表面的电离过程。后一种过程底起因是各种所謂的电子發射(自由电子从金屬和半导体中逸出),以及当气体粒子与灼热的金屬陰極接触时,当气体和陰極物質之間有化学反应时,所發生的气体粒子的电离。研究这些过程的电子学中的一个科目称为陰極电子学。电子發射底过程是造成高真空导电的唯一原因。

除了电离以外,原子和分子底激發过程对于气体放电底現象也有很重大的意义。任何气体当电流通过它时不仅含有自由电子、中性的以及單荷或多荷电离的原子与分子,并且还有不同程度的激發状态的原子和分子以及激發的离子。所有这些粒子互相作用,不断發生能量的交换,这些能量的交换就决定了放电过程底进行。使原子和分子激發的过程与引起电离的过程是类似的。为了能够了解电流通过高真空和气体的現象,为了能够使某种电子真空仪器具有为实用所必需的特种形状的伏特安培特性曲綫,就必须研究所有各种电离、激發和复合底基本过程,并且必須确定这些过程相互間的关系以及它們与放电底宏观参量之間的关系。同样,必須研究当沒有电場和磁場时,以及(更重要的),当有电場和磁場存在时帶电粒子在高真空或在气体中运动的特性。其次,應該注意高真空和气体中的电場不仅与其中的电極底几何形状以及电極間的电位差有关,而且也与在电極間运动着的离子和电子底电荷有关。因此,空間电荷的理論成为电子学中不可缺的一个科目。

至于談到通过两个紧密接触的固体边界的电流底規律(如像固体整流器中的情形),要理解它們并且有目的地利用它們,就必须知道金屬和半导体底电子理論。关于这一点我們將用到电介質

或半导体中电子能级底所謂能帶理論。

在解决电子在气体中底运动的問題时,作为第一次的近似,我們应用經典电动力学、牛頓力学和經典統計力学。但是,实验告訴我們,这些定律不是随时都可应用于电子的。电子具有波动底性質正如它具有粒子底性質一样。和光綫相似(它的能量集中于光量子——光子,它按照波动規律傳播),电子底軌迹——“电子束”同样遵守波动規律,波長 λ 是由德布罗利(de Broglie)定律所决定的:

$$\lambda = \frac{h}{mv}, \quad (1.2)$$

式中, m 和 v 是电子底質量和速度, h 是普郎克(Planck)常数。大家都很知道电子束在單晶体反射时底衍射現象。在电子学中电子底波动性質使自由程与电子速度有关,使在电子光学仪器中的电子束發生衍射,并引起了所謂电子底冷發射。电子本質底二重性是近代物理理論中許多辯証矛盾之一。这些矛盾成为物理学更进一步發展的动力,并且推动我們在自己的認識上对外部世界建立起一种新的理解,在这新的理解中,这些矛盾就將得到解决。一群运动着的电子并不單純地是質量为 m 电荷为 e 的粒子,也不單純地是某种波長为 λ 的波动,而是一种新的現象,是“矛盾的統一”。正因为这样,并且也由于近代原子理論已經远远地超出了經典物理底范围,所以我們不能根据經典物理底定律来詳細地、定量地处理电子学中所研究的基本过程。特别是,在研究电子發射底現象时,我們必須应用量子統計底規律,至于要定量地計算电子和粒子之間各种互相作用,那末只有用量子力学底方法来处理。

但是,从計算电子处于空間某一点或某一种能态底几率出發,从計算某种基本电子过程底几率出發的这些方法,在大多数情形下,都不能給出普遍的解析的公式。得到的結果常常是对于各个

特殊情况的曲綫。大体上說，相应的公式是靠实验来决定的。我們不預备講述这些計算，这些計算的叙述通常是要占去很多篇幅的^①。

§ 2. 电子学發展簡史 我們在电子学中常常碰到許多电学現象，其中最早被人們觀察到的是在十七世紀末叶，当用手去接触一塊因摩擦而帶电的琥珀时，就有电花出現。

十八世紀初叶，人們觀察到由于从外部摩擦而帶电的玻璃球里稀薄空气底發光。彼卡（Пикар）在 1675 年所进行的实验是促起这种研究的原因，彼卡發現当把气压計中的水銀柱振动时，气压計中的水銀蒸汽会發出光亮。在 1746 年制出了第一批萊頓瓶。研究萊頓瓶底起电和用电花使其放电的作用，就出現了“放电”这个名称。

人們發現了通过空气的放电現象，并把它和地球大气中的雷雨比較，于是就产生了閃电乃是电的本質的思想。俄国物理学的奠基者米海依尔·瓦西里也維奇·罗蒙諾索夫（Михаил Васильевич Ломоносов）第一个說出了这見解。罗蒙諾索夫在他的頌詩“夜思上帝之偉大”（1743 年）中認為不仅閃电是电的本質而且北極光亦是电的本質。

在 1752 年富蘭克林和差不多与他同时的罗蒙諾索夫，都用实验証明了雷和电都是空气中强大的放电。罗蒙諾索夫断定：即使在沒有看得見的雷雨时，空气里也会有电荷。他在沒有看得見的雷雨时从自己做的“雷机”有时可以引出电花来。雷机是一个放在房間里的萊頓瓶，它的兩片金屬箔中，有一片用一根导綫接到一个

① 如果要了解气体放电基本过程底量子力学定量的闡述，可以看 B. Л. 格拉諾夫斯基（Грановский）所著“气体中的电流”第一册，莫斯科国家科技書籍出版社出版，M. Л. 1952。

裝在高杆上的金屬梳或尖針上，这根杆子豎在院子里^①。罗蒙諾索夫并且还創立了雷雨現象底普遍理論，这个理論已成为近代雷雨理論底雛型。罗蒙諾索夫还研究了稀薄空气在摩擦起电机底作用下底發光現象。

1785 年庫倫 (Coulomb) 在他作确立庫倫定律的實驗的時候，發現了电荷經過空气而漏失的現象(無声放电)。

1802 年彼得堡的外科医学院的物理学教授，(以后成为彼得堡科学院院士)瓦西里·伏拉季米洛維奇·彼特洛夫(Василий Владимирович Петров) 首先發現并描述了在兩個碳極中間的空气中的电弧現象。

彼得洛夫并且还描述了当电流通过稀薄空气时各种不同形式的發光，實質上也就是描述了气压从一个大气压到 6 毫米汞柱高的空气中的放电。

法拉第 (Faraday) 研究了火花放电时的电位差。他發現在产生第一个火花时電極間的电位差要比以后几个火花發生时的电位差高一些，并且發現在每一个火花之后，气体底状态有利于新火花底通过，这种状态可保持好几分鐘。他并且还發現：如果兩個電極的大小和几何形狀不同，則放电間隔中電極底極性影响到火花击穿电压的大小。

十九世紀中叶对在稀薄气体中的輝光放电的及其他形式的放电有了表象的描述；尤其是，在 1850 年左右發現了紋狀放电。

各种物体底發射光譜和吸收光譜最初的研究就促成盖斯勒管底制造[由制玻璃器件者盖斯勒 (Geisler) 而得名]。当时已經确定：当其余条件都相同时，这些管子越窄它們發出的光也越亮。当时并有人建議：为了把它摆在分光鏡底隙縫前面，可以把它拉成毛

① 1753 年罗蒙諾索夫的朋友里赫曼(Рихман)教授正在自己家里用“雷机”作研究时，被机器杆頂的閃电殛死。

細管。1857年普留克(Plücker)確定蓋斯勒管的光譜可以單值地表征封在管內气体的性質，并且發現了所謂氫底巴爾末(Balmer)光譜綫系的頭三根譜綫。首先觀察到陰極射綫的是普留克和他的學生希托福(Hittorf)。以後克魯克斯(Crookes)又進一步研究了陰極射綫。

J. J. 湯姆遜(Thomson)底工作使得人們對气体放電現象底認識有重要的進展，他發現了電子和電離底存在。從J. J. 湯姆遜底學派(卡文迪許實驗室)里，出了一批研究气体放電和气体放電中發生的基本過程的物理學家，像湯生(Townsend)、盧瑟福(Rutherford)、里查孫(Richardson)和阿斯頓(Aston)等人。

十九世紀的俄國電學家中，巴威爾·尼柯萊耶維奇·雅布洛契柯夫(Павел Николаевич Яблочков)(1847—1894)和符拉基米爾·尼柯萊耶維奇·契柯列夫(Владимир Николаевич Чиколев)(1845—1898)對研究電弧和把它實際應用到照明的工作中有很大的成就；尼柯萊·加夫利洛維奇·斯拉維揚諾夫(Николай Гаврилович Славянов)和尼柯萊·尼柯萊耶維奇·別納爾第斯(Николай Николаевич Бенардос)在研究把電弧應用於焊接、鍛接和熔煉金屬的工作上有重大的成就。

研究電弧的還有季米特里·亞歷山大洛維奇·拉契諾夫(Дмитрий Александрович Лачинов)和符拉基米爾·費道洛維奇·米特凱維奇(Владимир Фёдорович Миткевич)。1905年米特凱維奇確定了弧光放電中陰極上過程底性質。

亞歷山大·格里哥列維奇·斯托列托夫(Александр Григорьевич Столетов)在1888—1891年對光電效應作卓越的研究時，也研究了空氣中的非自持放電。他發現了“斯托列托夫效應”并且確立了光電效應第一條定律和這現象的其他一系列的基本特點。斯托列托夫明確地認識到气体中電現象底研究，將在物理學底發展中

起巨大的作用。在他逝世前兩天，当他和И. Н. 列別捷夫(Лебедев)最后一次見面的时候，他虽然患着重病，已很难說話了，但还和列別捷夫談到“自己心爱的气体放电的問題”。他和列別捷夫永別时，还用着微弱到难以听清的声音补充說：“我劝你研究这些問題——它們是非常有趣而且非常重要的問題”。伊凡·伊凡諾維奇·波格曼(Иван Иванович Боргман)作了一个很有趣的研究，他观察許多極小的磁針在空气中有放电时和沒有放电时底位置，借此方法找出了空气中無声放电底路徑。

符拉基米尔·康斯坦京諾維奇·列別靖斯基(Владимир Константинович Лебединский)在1900—1909年期間，和В. Ф. 米特凱維奇一起研究了电花底現象，特別是用紫綫和放射性射綫使火花“引燃”和“熄灭”的實驗。季米特里·安波林納利耶維奇·罗浪斯基(Дмитрий Аполлинариевич Рожанский)也作了关于火花放电的工作。他研究了在振荡电路中的电花底情形，在無綫电技术刚开始發展时，就是用这种电路来得到高频电振荡的。

以气体电离的概念为基础的气体放电底理論，是以J. J. 湯姆遜底卓越的論文和他的学生湯生底論文为起点的。湯生根据了A. Г. 斯托列托夫底实验工作来建立起自己的理論。

在1931—1932年罗果夫斯基(Роговский)考虑了空間电荷使放电过程中电场發生的畸变，而对湯生这个理論作了重要的补充。这就使得这个理論也可以推广到自持的辉光放电。至于在近代电子学中起着重要作用的电子和离子的基本过程的研究和解释，只是在1897年电子底發現和1913年波尔(Bohr)原子理論底建立以后，才有成功的可能的。在陰極表面上發生的許多現象中，爱迪生(Edison)在上一世紀八十年代的初期就發現了热电子發射，但是他既沒有加以解释，也沒有加以利用。过了十五年后，爱迪生效应才被用来制造第一个电子真空仪器：——两个电极的“陰極管”，这

个仪器可以把交流整流成直流，并且很快就被应用于高频振荡底檢波，而称为“檢波管”。

里查孙作出了最早的热电子發射底定量理論。在陰極管中“第三電極”——柵極底引入就造成了放大管底出現。从这时起，無線电技术底向前發展，就强有力地刺激着电子学領域內的科学研究，而这一个物理学中新兴的部門也就开始蓬蓬勃勃地發展，掌握了越来越多的新現象。出現了振蕩管、电子束管、电视仪器、超短波振蕩器以及許多其他的仪器。在真空仪器中除了热电子發射以外，还开始应用光电發射以及所謂次級电子發射。并且除了根据电流經過高真空的原理而制成的真空仪器之外，也出現了充气的仪器，这些仪器利用各种形式的气体放电（气体整流管、閘流管、汞整流管等）。这就在气体放电底研究面前提出了新的任务。气体电流底研究，也促进了气体体积中的其他基元过程底發現。夫蘭克(Frank)和赫芝(Hertz)在1913—1914年發表的气体电离电位和激發電位的研究論文，曾起了很大的作用，这些論文把气体放电的理論和波尔原子理論紧密地联系起来，波尔底原子理論，也是在这几年里發表的。

另外一个处理气体放电現象的方法是在1923年由朗繆尔(Langmuir)提出的。和湯生的观念不同，朗繆尔提出了气体放电的“等离子区”的观念，并指出了怎样从实验上和理論上去研究它。

最近略布(Loeb)和他的学派开辟了一个新的方向。这个学派所建立的火花击穿和刷形放电底理論把气体体积中的光致电离过程当作基元过程之一来考虑，并且和湯生底电子繁流的概念并列地引入了条帶的概念。这个方法相当成功地解釋了火花放电和閃电底現象。印度物理学家薩加(Saha)作出了热电离底定量的理論(1923年)。1935年薩加底公式用于建立綫狀弧光放电中的定量理論，这理論在研究新型光源以及与电弧焊接有关的問題时很有

用处。現在由于制造强大的气体放电光源，在德国出現了一系列关于綫狀弧光放电中發生的过程的工作(芬肯堡和他的学生，以及隆卜，杜尔、舒尔茨及其同事們的工作)。

这样，从二十世紀初叶以来，在电子学底各范疇內的科学研究底成績一貫不断地为無綫电技术的發展、为現代技术其他部門的發展提供了越来越丰富的可能性。同时，無綫电技术底巨大的成就也日新月异地为科学实验技术底改进与發展提供了新的可能，使科学研究能够扩展到許多新的寬广的区域。在这里我們得到一个明显的例子，說明理論与实际底联系無論对于技术或是对于科学底有成效的發展都是必需的。

十月革命以后在苏維埃祖国無綫电和其他所有的通訊方式以及与它們有关的工業的飞躍發展，向苏联物理学家提出了許多电子学范疇中的重大的問題。

按照符拉基米尔·依里奇·列宁底指示，在下諾伏哥罗德(現在的高尔基城)成立了“下哥罗德無綫电實驗室”。这个實驗室底工作人員为苏联無綫电技术电子学底發展作了非常多的貢獻。特別是 М. А. 蓬奇-布魯耶維奇 (Бонч-Бруевич) 教授在这里首先制出了功率达数仟瓦的發射电子管。

还在苏維埃政权成立的最初几年里，列宁格勒和莫斯科兩地就已經組成了一些致力于無綫电物理和电子学的物理学家底小組。現在这些小組都已經成長为巨大的實驗室和研究所。在这簡史里要列举所有在苏联进行了的研究工作是不可能的。只需要指出，前面我們所談到的气体放电底理論在苏联物理学家底工作中得到了进一步的發展：В. Н. 克列菲 (Кляффельд) 發展朗繆尔底理論到实际計算的地步，Д. А. 羅讓斯基关于探針理論底工作，国立莫斯科大学工作人員研究磁場对放电影响的工作和建立电暈放电理論的工作，苏联科学院物理研究所研究火花放电的工作等等。