

117310

高等学校教学用书

电子管及离子管

A. A. 沙波什尼科夫著



教师阅览室

陈列图书不得携出室外

高等教育出版社



统一书号 15010·299
定价 ¥2.20

5061
5/3932
K 2

117310

高等学校教学用书



电子管及离子管

A. A. 沙波什尼科夫著
班冀超等译

高等教育出版社

本書系根据苏联国立动力出版社 (Государственное энергетическое Издательство) 出版的沙波什尼科夫 (А. А. Шапошников) 著“电子管及离子管” (Электронные и Ионные приборы) 1952 年增订本译出的。

本書討論無線电技术所用的各种电真空管的物理过程, 理論、計算及应用, 作为通信、电机、动力各学院学生及应用电真空管的工厂, 科学研究机构工程师們参考之用。对于自修和运用电真空管者本書也很有用。

本書由北京铁道学院电子管教研室班冀超、严忠霖、盧隆、譚冀端、范希魯共同譯校。

电子管及离子管

A. A. 沙波什尼科夫著

班冀超等譯

高等教育出版社出版

北京琉璃廠一七〇号

(北京市書刊出版業營業許可証出字第〇五四号)

天津市第一印刷廠印刷 新华書店总經售

書号 15010·229 開本 787×1092 1/16 印張 1.8 字數 373,000

一九五六年十一月北京第一版

一九五六年十一月天津第一次印刷

印數 0001—6,000 定價 (16) 2.20

目 录

序

緒論	7
----------	---

第一章 电子现象的基础	12
-------------------	----

1-1. 电子	12
1-2. 自由电子在静电场中的运动	13
1-3. 电子在磁场中的运动	15
1-4. 电子在复合电场和磁场中的运动	17
1-5. 金属中的电子	19
1-6. 导体、半导体及绝缘体	23
1-7. 逸出功	25
1-8. 接触电位差	29

第二章 电子发射	31
----------------	----

2-1. 电子发射的一般规律	31
2-2. 热电子发射	33
2-3. 光电发射	37
2-4. 表面层的影响; 有选择性的光电效应	41
2-5. 二次电子发射	42
2-6. 场致电子发射	41
2-7. 重质点碰撞引起的发射和电极上的其他现象	45

第三章 热电子阴极	48
-----------------	----

3-1. 热电子阴极的种类	48
3-2. 阴极的计算	54
3-3. 氧化物阴极的脉冲电子发射	60
3-4. 新型阴极	60

第四章 二极管	62
---------------	----

4-1. 二极管现象的一般特性	62
4-2. 真空二极管电压	64
4-3. 中间电极电压·“二分之三次方”定律	65
4-4. 二极管的实有特性曲线及其他原因对其的影响	70
4-5. 二极管的参量	75
4-6. 二极管的应用	76

第五章 有栅极的电子管	82
-------------------	----

5-1. 电子管中电流的控制	82
5-2. 栅极电容	85
5-3. 合成电场及“ $3/2$ 次方”定律	86
5-4. 有栅极的电子管的特性	91
5-5. 有栅极的电子管的参量	92
5-6. 根据三极管的尺度来计算其参量	97
5-7. 电流的分配及其和参量的关系	100
5-8. 三极管的工作情况	104
5-9. 电子管振荡器作用原理	108

第六章 受信式放大管及發生管	116
6-1. 受信式放大管的类别及特点	116
6-2. 电子管在高頻放大綫路内的工作	116
6-3. 用以放大高頻的屏柵管及五極管	119
6-4. 屏柵管和五極管的参量与結構	122
6-5. 低頻电压放大管	125
6-6. 低頻功率放大管	128
6-7. 檢波管	139
6-8. 跨导可变的电子管	145
6-9. 發生管工作时能量的平衡	146
6-10. 發生管的参量及类型	148
6-11. 混波管和变频管	155
6-12. 用途特殊的电子管·电子管指示器和电子管静电計	161
6-13. 放大高頻时电子管所产生的畸变	163
6-14. 电子管本身的噪音	165
6-15. 管内剩余气体的影响及估計真空的方法	170
第七章 用以發生和接收高頻及超高頻振蕩的电子管	174
7-1. 高頻及超高頻發生器的特点	174
7-2. 發生超高頻时电子渡越時間的影响	179
7-3. 超高頻低功率电子管的特性及其类型	181
7-4. 超高頻标准电子管的类型和結構	185
7-5. 用制動場法产生超高頻的电子管	187
7-6. 电子束的超高頻發生器——速調管	188
7-7. 磁控管	196
7-8. 行波管	202
7-9. 超高頻电子管的应用	203
第八章 电子光学及电子射綫管	205
8-1. 概論——电場及电子軌迹的圖形	205
8-2. 靜电透鏡的电子束聚焦法	209
8-3. 用磁透鏡使电子束聚焦的作用	212
8-4. 示波管的电子射綫管	213
8-5. 傳送圖像的电子射綫管	218
第九章 光电管及二次电子發射管	223
9-1. 光电管及二次电子發射管应用的范圍	223
9-2. 內光效应的光电管	223
9-3. 半導体的光电管	227
9-4. 二次电子倍增器	231
第十章 稀薄气体中的放电作用	235
10-1. 基本質点及其特性	235
10-2. 基本过程	237
10-3. 放电中的統計現象	241
10-4. 气体放电的类别	248
第十一章 气体放电管或离子管	256
11-1. 气体放电的一般特性及分类	256
11-2. 水銀整流器	256
11-3. 充气整流管	262

11-4. 高压充气整流管	265
11-5. 闸流管	266
11-6. 引燃管	271
11-7. 冷电极气体放电管·冷阴极整流管	272
11-8. 用于电视及频闪观测的管子	274
11-9. 气体放电的稳压管	275
11-10. 放电器	276
第十二章 没有电子及离子放电的器件在电子管中保持真空的方法	278
12-1. 镇流管	278
12-2. 真空热电偶	279
12-3. 真空电容器	280
12-4. 保证维持管内真空的方法	281
参考书刊	283

序

A. A. 沙波什尼科夫教授的這本書是苏联高等学校电子管及离子管課程最初的苏联教本之一，同时也是具有高度科学水平和优良編写方法的教科書。此書出版于1932年，并在1934年和1937年兩次再版。此書最后一次再版出版后很快地就全部銷售完了，在質量方面得到所有研究电真空管者的好評。本書的优点，除了包含电真空管設計与制造的丰富材料，考虑到应用时所提出的許多要求之外，还詳細地敘述了物理現象。因此，無論对于專攻通訊或專攻电真空管的人，這本書都是很有价值的。書中敘述了当时所有文献上新的貢獻以及作者本人一系列的研究工作，作者担任几个电真空工厂的科学顧問和以B. II. 列宁命名的列宁格勒电工学院的教研室主任。

在偉大的衛國战争以前，A. A. 沙波什尼科夫已經决定由苏联国立动力出版社出版他的書的第四版。在战争爆發前，書稿已經写完，并交給苏联国立动力出版社。在战时情況下，書的出版延緩了。战争停止后决定將書出版，但是已經不能由作者参加而实现了，因为A. A. 沙波什尼科夫支持不住列宁格勒被圍时期的艰苦生活条件，已于1942年逝世了。

在战时和战后的年代中，新型电真空管有蓬勃的發展。自然，这些發展不可能在战前写好的書里反映出来。因此，苏联国立动力出版社認為有必要对原稿加以补充，并將电真空管新的研究部分重新写过，使它符合高等学校电真空管課程現代的教學大綱。因此之故，本人企圖尽可能地使原稿提高到現代水平，但是还保持原書著者原有的总的風格和方針，希望以此来紀念苏联电真空工業界的一位先驅者。

本人重写了本書以下各节：緒論，第一章及第二章，§3-2, 3-3, 3-4, 4-1, 5-1, 5-7, 7-8, 7-9, 9-3, 第十章，§12-3, 12-4。

对第三章、第四章、第五章、第八章、第九章及第十一章都不得不加以修訂。本書其余部分全部內容也都重新編輯过了，只有第六章和第七章改变最少，因为A. A. 沙波什尼科夫敘述的風格和他本人的研究在这兩章里表现得特別明显。

同时應該指出：如果不去改变這本書的結構和風格(本人不願意去改变它)，不把它变成电真空管課程(而不是电子管和离子管課程)，而要完全按照电真空管課程現代的教學大綱来編排是不可能的。根据現代的教學計劃，电真空管其实是必修的。A. A. 沙波什尼科夫的原稿按照內容來說和电真空管这个名称是不符合的。

經過修改之后，A. A. 沙波什尼科夫的書，据本人看来，保存了原著者的基本風格，有了充分的近代化形式，对于專攻無線电技术、应用电子学和电真空技术的学生和自修者將是一本有价值的教科書。

Г. А. 嘉古諾夫 (Тягунов)

緒 論

电子管及离子管是一种仪器，它的作用是建立在利用管内稀薄气体所發生的电子或离子过程(即放电过程)的原理上。所附的电真空管简化分类表(圖 0-1) 表明了工程上所用的电子管及离子管的相互关系及其外貌。从表下部的圖解中可以看到，电极空間(气体放电)和电极表面上(电子发射及其他电极现象)的物理现象是了解各种电真空管作用原理的基础。

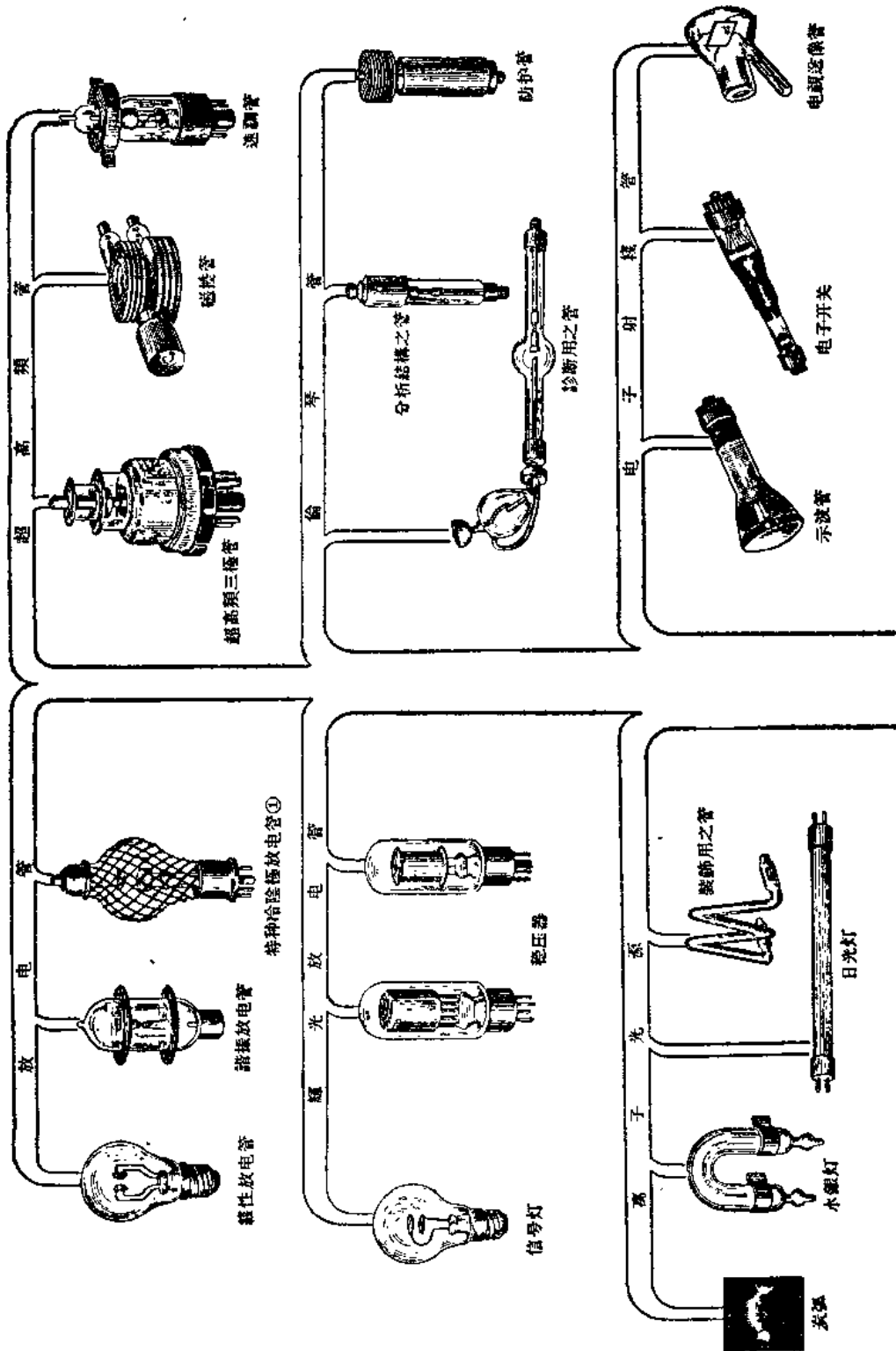
以这些物理现象为基础的所有电真空管統列在表的上部，并且根据管内所發生的特有的电气过程，管的用途和形式，把电真空管分成許多类。表上所列出的管的种类，可綜合成三个主要类型：

a) 高度真空放电管，在这种管内，質点的运动是在質点和气体原子几乎不發生碰撞的条件下进行的。这一类电真空管称为“电子管”。属于这一类型的有：电子管、具有光电发射作用的光电管、二次电子倍增器、电子射线管、倫琴射线管及超高频管。

6) 气体放电管，在这种管子里电子和气体原子的碰撞起主要作用，这叫离子管。属于这一类型的管子有自持的和非自持的弧光放电管、辉光放电管和放电器(即避雷器)以及离子光源。

b) 沒有电子和离子放电的器件，在这里电流通过金屬导体、半导体或者以位移电流的方式通过高度真空。属于这类器件有：照明用的白炽灯、热电偶、鎮流管、真空电容器、半导体光电管以及热变电阻、晶体二极管、三极管及类似的器件。以上所述的各种类型电子管及离子管本書不一一討論，但是在这里要討論某些半导体器件。因为这主要系于本書著者对本書所确定的方向，就是注意叙述無線电技术里所用的器件的性质。

在圖 0-1 中每种管子的外形都尽可能用縮小的尺寸表示出来了。至于各种管子内部的結構，那就是各式各样了。从圖 0-2 可以看出电子管、光电管及电子射线管内部的結構，而圖 0-3 用圖解表示最簡單的三極电子管的結構。各种管零件的結構形式虽然大不相同，但是在物理作用方面通常有很多共同之点。因此，我們以电子管(圖 0-3)为例，把这些零件列举出来。电子管有一个用玻璃、金屬或特殊瓷做成的外壳 θ (叫做泡子或管囊)，泡里焊接一个管子 II (在强力管中有几个这样的管子)，叫做管脚；泡子用以把导线 B 引进的那一部分有时具有另外的样式，例如平底的形状。管子内部的电极装在支架(支柱) I 上；电极之中有电子收集器——陽極 A ，控制用的电极——栅極 C (可以有几个栅極) 及电子的来源——陰極 E 。把引出线焊在底座 II 的插脚 III 上，将管子接至电路。管内真空的产生是经过小管 P 从管内把空气抽出去。空气抽出后将 P 的末端封闭，然后另外用化学吸收剂 II 的作用，来改进并保持管内的真空。吸收剂是从装在支架 I 上的鏈剂散布在泡子壁上的(也采用其他装置把吸收剂散开)。对于圖 0-1 所示的各种管子，上面所列举的这些内部零件能以任何一种形式在这些管里出現。



① 原文为 triatron 譯者。

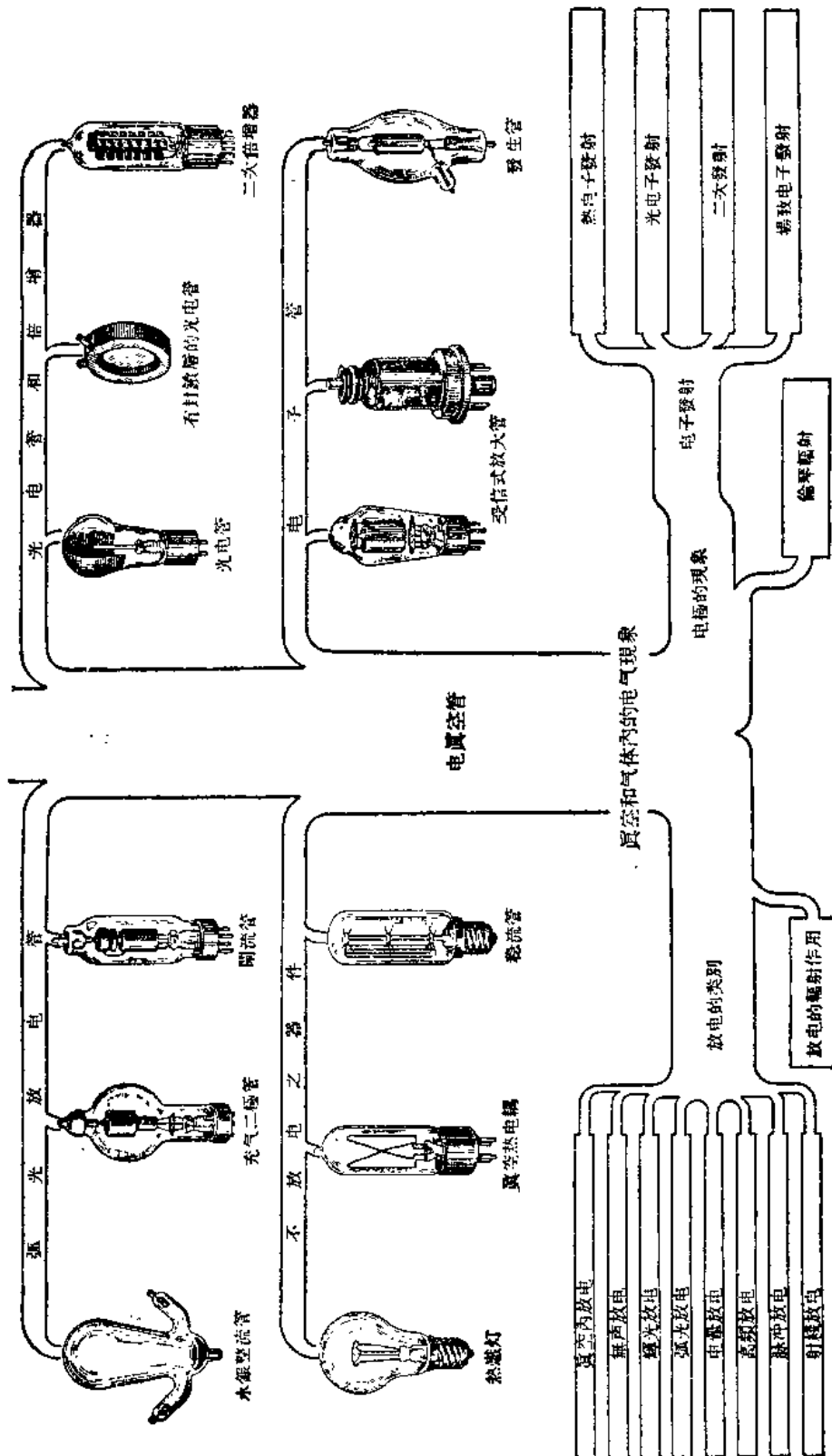


圖 0-1. 電真空管的簡化分類表。

現在讓我們簡短地敘述電子管和離子管發展的历史，以及在發展过程中俄國及蘇聯科學家和發明家所起的重要作用。

產生高度真空的技術改進和電子及離子現象物理學的發展，對於電真空管的發展來說是非常重要的。上述二者在前一世紀的水平是非常不高的。在高度真空技術和電子離子物理學水平還不高的條件下，首次創造的電真空儀器更加值得尊敬。這種首次創造以後不僅在照明技術中，並且在電真空事業中開辟了新紀元。我們知道第一個白熾燈的發明和技術研究者是俄國電工學家А. Н. 羅迪金(Лодыгин; 在 1872—1873 年)。

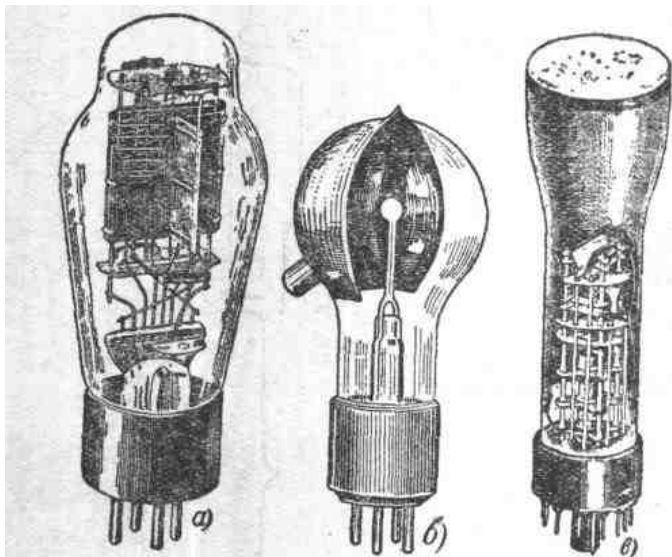


圖 0-2. 現代電真空管的外形：
a—電子管；б—光電管；в—電子射線管。

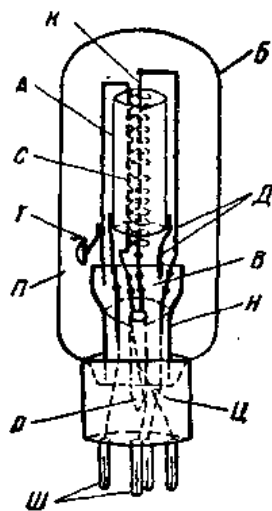


圖 0-3. 三極電子管的結構。

莫斯科大学教授 А. Г. 斯托列托夫 (Столетов) 和德國物理學家 Н. 赫茲 (Hertz) 在 1883 年發現了熱電子發射現象，在 1887 年發現並且研究光電子發射。這是電子現象研究的開端，這些不久就用在技術上了。所以，最初的光電管(或和光電管作用相同的物理儀器)在前世紀的末期已經出現了，而在 1904 年也就採用了熱電子發射現象來製造技術上所用的電子管——交流電流的整流器。在 1907 年已經證明有可能利用額外電極來控制管內的電流。這樣出現了以後公認為無線電技術主要器件的三極管。但是從 1895 年 А. С. 波波夫 (Попов) 發明無線電到第一次世界大戰的開始，電子管還沒有在無線電技術中流行。把電子管應用到無線電技術上去是受無線電通信的軍事價值的強烈刺激。因此，從 1913 年到 1919 年這個期間，對於電子管的無線電技術的發展起了決定性的影響。應該指出：用在無線電技術上的第一批電子管(無論受信式的或發振式的)是 Н. Л. 帕帕列克西 (Паналекси) 院士在 1914 年製造出的。幾年之後，在 1921 年 М. А. 邦奇-伯魯耶維奇 (Бонч-Бруевич) 教授研究出了世界上第一批水冷銅陽極的強力管。以後，無線電技術所用的電子管發展很快，在這一領域每一年都帶來新的東西。我們只提出發展中的幾個突出階段。1924 年發明了四極管，即有四個電極(有兩個柵極)的電子管。實在說，它的概念在 1918 年就知道了。在 1930 年出現了五

極管(有三个栅極的五个电极的电子管)。在以后的年代中,并且到现在为止,电子管复杂化的过程一直繼續着,結果产生了复合管(一个外壳里装两个至三个管子)与多栅管。

在电视領域里我們应当提出 В. Л. 罗津格(Розинг)教授的科学概念,他早在 1907 年就提出了电视系統的重要部分,这些系統以后获得了应用,并且現在我們还在使用它們。

用以示波(也就是把变化迅速的电气現象記錄下来)的电子射綫管最初在本世紀之初就应用了,这种管有一种最初是由 Л. А. 罗然斯基(Рожанский)教授在 1910—1911 年研究出来的。

最初用在技术上的离子管是水銀整流管(1908 年),当它萌芽时,В. И. 沃洛格金(Вологдин)再使之成为現代的形式。前一世紀末已經知道的光电管主要是 И. В. 齐莫費耶夫(Тимофеев)教授予以重大的改进,使之成为現代的形式。

二次电子倍增器是 Л. А. 庫別茨基(Кубецкий)在 1930 年發明的,以后又經他和 И. В. 齐莫費耶夫教授及 С. А. 維克辛斯基(Векшинский)教授的改进。

在电真空器件領域內一个特別重要的發展是無線电定位的發明(最初已为 А. С. 波波夫所应用,根据無線电接收的中断来發現船只)。無線电定位的近代形式是在 1932 年由 Л. А. 罗然斯基和 Ю. В. 柯勃查列夫(Кобзарев)提出的,并且創造出一系列的超高频管。我們可以提出 Л. А. 罗然斯基教授在 1932 年發明的速調管的作用原理,以后又由一系列的研究者和設計者大加改进,而在理論方面由 С. В. 格伏茲多費尔(Гвоздовер)教授予以研究。磁控管的現代形式是在 1934 年由 В. М. 摩兴(Мухин)工程师建議的,以后又在 М. А. 邦奇-伯魯耶維奇教授指导下,由亞历克謝耶夫和馬利亞罗夫在 1935 年实际做出来。他們在 1940 年把結果發表出来。磁控管在現代是产生超高频振蕩的主要器件。

在短短的緒論中很难把电真空工業(也就是制造电真空器件的工業)的發展以及工程师和技术人員强大队伍在这一过程中所起的作用詳尽地叙述出来。我們只可以说:俄国在十月革命以前几乎完全沒有电真空工業,而現在它是苏联国民經济中巨大部門之一,并且發展的非常迅速。在苏联,对这一技术部門所給予的关怀是完全符合社会主义工業化的意义和共产主义建設的远景的。

第一章 电子现象的基础

1-1. 电子

按照近代物理学的观点,电子是带有固定负电荷的基本质点。

从多次的测定可以确定电子的电荷为

$$e = 1.6 \times 10^{-20} \text{ (绝对电磁单位);}$$

$$e = 4.8 \times 10^{-10} \text{ (绝对静电单位);}$$

$$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ (库伦)}。$$

电子静止时,或运动的速度和光速相比小得多时,它的质量称为电子的静止质量,它等于

$$m_0 = 9.1 \times 10^{-28} \text{ 克。}$$

根据相对论,运动电子的质量,或电子的相对质量等于

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}, \quad (1-1)$$

其中 v ——电子的速度;

c ——光速; $c = 2.998 \times 10^{10}$ 厘米/秒。

实际上只是当电子的速度接近光速时,静止质量和相对质量的差别才能表现出来。甚至当电子的速度等于 $0.1c$ 时,相对质量和静止质量之间只相差 0.5% 左右。

电子的电荷对其质量之比是

$$\frac{e}{m} = 1.758 \times 10^7 \text{ 绝对电磁电荷单位/克;}$$

$$\frac{e}{m} = 1.758 \times 10^8 \text{ 库伦/克;}$$

$$\frac{e}{m} = 5.275 \times 10^{17} \text{ 绝对静电电荷单位/克,}$$

也就是质子(氢的原子核)的电荷对其质量之比是此数的 1838 分之一。由此,电子质量对氦离子质量之比是

$$\frac{m}{m_H} = \frac{1}{1838} = 5.44 \times 10^{-4}.$$

电子在空间的行为和其他基本质点一样,由其所固有的运动规律、储藏的动能和电子移动的空间的性质来决定。空间的性质就是指其中电磁场的存在和电磁场的性质。如果电子在无限制的自由空间运动,空间没有任何场作用于其上时,则电子的运动将是直线的和均匀的。这种电子通常称为自由电子。如果电子在自由空间的运动好像受到某种墙壁的限制,

更正确地說,如果在有限界的空間的内部沒有任何場作用在电子上,而在空間的边界上有阻碍电子离开某一閉合区域的电場存在,那么这样的电子叫做半自由电子。电子受半自由束縛的条件很显然不能完全实现,并且在这种閉合区域里虽然不甚显著,但总有电場存在。因此,上述的半自由电子的情况是近似的。举例說,在金屬里就会遇到这种近似半自由电子。

电子如果位于强大电場(10^7-10^8 伏/厘米以上)的区域里,唯有滿足运动状态稳定度的特殊(量子的)条件,电子在这个場里才能長久地保持运动状态。这种电子叫做束縛电子,这种状态一般出现在原子、分子中以及晶体的边界上。束縛电子的运动服从波动力学(量子)的定律。严格地說,电子在一切情况下的运动都应该用这个定律來說明。但是电子在微弱場中的运动(几乎是自由的电子),根据牛頓第二定律,用普通力学方程式來說明就很足够精确了。牛頓第二定律是:电子的慣性力等于作用在电子上的外力:

$$\frac{d(mv)}{dt} = -e \left(E + \frac{1}{c} [\mathbf{vH}] \right), \quad (1-2)$$

其中 E ——电場强度(静电單位);

H ——磁場强度(电磁單位)。

这种几乎是自由的电子在真空或很稀薄气体里的运动通常也發生在技术上所用的电真空管里。讓我們来詳細地討論自由电子运动的規律。

1-2. 自由电子在静电場中的运动

根据能量守恒定律,当电荷以很小的速度 $\left(\frac{v}{c} \ll 1\right)$ 在电位場中运动时,动能的增加 $\frac{m(v^2 - v_0^2)}{2}$ 应等于电子位能的改变

$$e(U - U_0),$$

其中 v_0 及 U_0 分别为路徑起点的速度及电位。

起始条件如果相当于 $v_0 = 0$ 和 $U_0 = 0$, 则速度的式子为

$$v = \sqrt{\frac{2e}{m} U}. \quad (1-3)$$

比值 $\frac{e}{m}$ 如果用电磁單位表示,电位 U 用伏特表示,我們得出的式子则为

$$v = 1.2 \times 1.758 \times 10^7 \sqrt{U} \times 10^5 = 5.93 \times 10^7 \sqrt{U} \text{ 厘米/秒} \approx 6001 \sqrt{U} \text{ 千米/秒}. \quad (1-4)$$

但是这个关系只是当电子的速度不超过 $0.1c$ 左右时才适用。

在速度很大时,根据相对論的原理,电子的动能应写成

$$m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} - 1 \right),$$

根据能量守恒定律,在这种情况下,我們得出:

$$m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_2}{c}\right)^2}} - \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_1}{c}\right)^2}} \right) = e(U_2 - U_1).$$

如果再令 $U_1 = 0$ 而初速 $v_1 \ll c$, 则

$$m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_2}{c}\right)^2}} - 1 \right) = eU_2 = eU, \quad (1-5)$$

从而

$$\sqrt{1 - \left(\frac{v_2}{c}\right)^2} = \frac{1}{\frac{eU}{m_0 c^2} + 1},$$

或

$$v = c \sqrt{\frac{\left(\frac{eU}{m_0 c^2}\right)^2 + 2 \frac{eU}{m_0 c^2}}{\left(\frac{eU}{m_0 c^2} + 1\right)^2}} = \sqrt{\frac{2e}{m_0}} U \sqrt{\frac{\frac{eU}{m_0 c^2} + 1}{\left(\frac{eU}{m_0 c^2} + 1\right)^2}} \approx 6 \times 10^7 \sqrt{U} \frac{\sqrt{10^{-6} \times U + 1}}{2 \times 10^{-6} U + 1} \text{ 厘米/秒},$$

式内 U 以伏特为单位。当 U 以兆伏为单位时, 则

$$v \approx 6 \times 10^{10} \sqrt{U} \frac{\sqrt{U + 1}}{2U + 1} \text{ 厘米/秒}. \quad (1-6)$$

电子的能量和所通过的电位差成比例地增长, 当能量大时, 从(1-6)式可见, 它的速度将接近于光速 $c \approx 3 \times 10^{10}$ 厘米/秒, 但不能超过它。实际上如果 $U = 4$ 至 5 兆伏, 则 $v \approx c$, 以后几乎不变。从图 1-1 和表 1-1 可见, 当电位差 $U = 30 \sim 50$ 千伏时, 根据(1-6)式相对论的修正就已经开始显示出来了。

下表列出了电子经过各种不同电位时的速度。

表 1-1.

U	0.1 伏	1 伏	10 伏	100 伏	1000 伏	10 千伏	100 千伏	1 兆伏	10 兆伏
v 厘米/秒	1.87×10^7	5.90×10^7	1.87×10^8	5.90×10^8	1.87×10^9	5.8×10^9	1.64×10^{10}	2.82×10^{10}	2.94×10^{10}
$\beta = \frac{v}{c}$	6.62×10^{-4}	1.98×10^{-3}	6.2×10^{-3}	1.98×10^{-2}	6.2×10^{-2}	1.95×10^{-2}	5.9×10^{-1}	0.95	0.98

现在我们来讨论电子在静电场中运动的方程具有如何的形状。(1-2) 方程对于很小的能量用矢量的形式表之为

$$m \frac{dv}{dt} = -eE = e \text{ grad } U, \quad (1-7)$$

以沿坐标轴的矢量分量表之, 则成

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = e \frac{dU}{dx} = -eE_x;$$

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = e \frac{dU}{dy} = -eE_y;$$

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} = e \frac{dU}{dz} = -eE_z.$$

对于在均匀场(E =常数)中的运动, 并且当电子的初速是 v_0 而运动起点是 S_0 时, (1-7) 方程的解答为

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{v} &= \mathbf{v}_0 - \frac{e\mathbf{E}}{m}t; \\ \mathbf{S} &= \mathbf{S}_0 + \mathbf{v}_0 t - \frac{e\mathbf{E}}{2m}t^2. \end{aligned} \right\} \quad (1-8)$$

此时电场的方向如果和电子最初运动 v_{x0} 的方向一致, 那么从 x_0 出发的电子将等加速或等减速地运动, 它的速度和所经路径由下式表示之:

$$\left. \begin{aligned} v_x &= v_{x0} - \frac{eE_x}{m}t; \\ x &= x_0 + v_{x0}t - \frac{eE_x}{2m}t^2. \end{aligned} \right\} \quad (1-9)$$

电场的方向和电子初速的方向如果不一致, 则除了上面表示沿 OX 轴分量的两个式子, 还应该加上沿其余坐标轴不等于零的分量的同样方程。由此可见, 电子在均匀电场中的轨迹是抛物线。

电场如果不是均匀的, 则必须先找出它的强度和坐标的关系, 然后从方程(1-7)可得:

$$v_x = v_{x0} - \frac{e}{m} \int_0^t E_x dt = v_{x0} - \frac{e}{m} \int_0^x \frac{E_x}{\frac{dx}{dt}} dx = v_{x0} - \frac{e}{m} \int_0^x \frac{E_x}{v_x} dx, \quad (1-10)$$

对于其他分量也是一样的。

让我们来讨论电子运动的一个特殊情况, 就是电子的初速 v_0 和均匀电场方向垂直的情况。电子的这种运动和物体在重力场中沿水平方向抛出后的运动相似。我们假设场的方向是沿 OX 轴, 而初速沿 OY 轴。

对于这种情况运动的方程可写成

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = e \frac{dU}{dx}; \quad m \frac{d^2 y}{dt^2} = 0.$$

由此, 取 $\frac{dU}{dx} = \frac{U}{d}$ (伏/厘米), 则在 l 厘米长的路径(沿初速的方向)上, 从最初方向偏移的数值 Δ 可表之如下

$$\Delta = x_{y=l} - x_{y=0} = \frac{e}{2m} \frac{Ul^3}{d\bar{v}_0^2} = 8.8 \times 10^{11} \cdot \frac{Ul^3}{d\bar{v}_0^2} \text{ 厘米}. \quad (1-11)$$

1-3. 电子在磁场中的运动

根据方程(1-2), 在磁场里作用在电荷上的力为

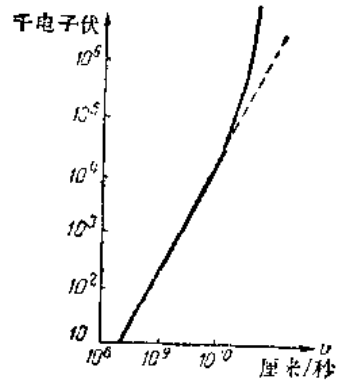


图 1-1. 电子的速度和通过的电位差的关系。