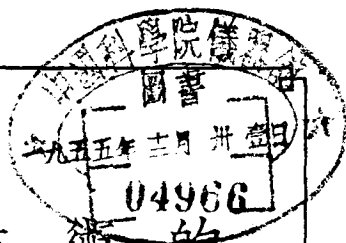


電真空技術的 物理基礎

Б. И. КРЫЛОВ 著

孟昭英 陸家和 譯
韓麗英 馮慶延

高等教育出版社



電 真 空 技 術 的 物 理 基 礎

Е. И. 克 雷 洛 夫 著
孟 昭 英 陸 家 和 譯
韓 麗 瑛 馮 慶 延



高 等 教 育 出 版 社

本書係根據蘇聯國立動力出版社(Госэнергоиздат)出版的克雷洛夫(К. П. Крылов)著“電真空技術的物理基礎”(Физические основы электроракумной техники)1949年版譯出的。

本書闡明一些物理現象,這些現象是設計及生產電真空儀器的物理基礎。第一篇敘述氣體分子運動論,獲得及測量高真空是以這些知識為基礎的。又討論到研究電子理論及氣體導電所必需的理論基礎。第二篇研究在電真空器件的工作中有關的電子現象。在本書開始的一章簡單地說到關於幾率理論的一些必要知識。

本書可供高等工業學校電真空專業的學生作為教學參考書,對一些有關專業的工程師可能也有一些益處。

參加本書翻譯工作的為孟昭英、陸家和、韓麗瑛、馮慶延等同志。

電真空技術的物理基礎

書號37(技3)

克 雷 洛 夫 著

孟 昭 英 等 譯

高 等 教 育 出 版 社 出 版

北 京 瑞 瑞 廠 一 七 〇 號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇五四號)

新 華 書 店 總 經 售

京 華 印 書 局 印 刷

北 京 南 新 華 街 甲 三 七 號

開本 850×1168 $1/32$ 印張 11 $1/2$ 字數

一九五五年八月北京第一版 印數 1

一九五五年八月北京第一次印刷 定價 (8)

我們必須這樣來研究最原始的粒子——它們本身是怎樣，我們就怎樣去研究它們。如果沒有這些不能覺察的粒子，物質就不能構成，並且如果沒有對它們進行試驗，就不可能有更深入的物理研究。

M. B. 羅蒙諾索夫

序 言

我們的世紀是電真空技術發展的世紀。各種可能的基於不同物理現象的電真空器件——由幾毫米長的花生管到結構極不相同的巨大設備——現在普遍地被應用到許多的工業及技術部門中。

電真空技術的發展之所以能到達現代的水平，在很大的程度上是歸功於蘇聯的學者、研究家、工程師和發明家。從俄羅斯的天才學者 M. B. 羅蒙諾索夫和 Д. 伯努利這兩個氣體運動論創始人開始直到現在，我們的學者研究着作為電真空技術基礎的一些現象的物理本質，發展新理論，並創造越來越完善的電真空器件。

早在 1880 年 A. Г. 斯特列托夫就發現了光電效應的第一定律，這定律為發明光電管打下了基礎。後來 A. Ф. 約飛的工作對於表達光電效應的概念起了最重要的作用。И. И. 盧格爾斯基及其學生對於光電效應、二次電子發射及熱電子發射方面的廣泛的工作有着特別巨大的意義。И. B. 季莫菲葉夫、A. 彼利列沙葉夫、C. A. 維克辛斯基、H. C. 赫列布尼可夫、H. Д. 莫爾古利斯等人一系列的工作使得製造複雜的光陰極有了基礎。A. A. 古別茨基發明了

電子倍增器，在這個基礎上就能造出許多利用二次電子發射現象的器件，С. Ю. 盧基安諾夫、В. И. 伯爾納托維奇、Л. В. 節爾諾夫等人在二次發射現象方面有很深的研究。А. М. 彭奇-伯魯耶維奇、В. А. 奧斯特羅烏莫夫、А. А. 沙葆什尼可夫、М. Т. 格列霍夫等人對於創造各種無線電電子管及電子束管有很大的貢獻。А. И. 伊萬諾夫、М. М. 保格斯羅夫斯基在照明管方面，Ф. И. 哈拉查在 X 光管方面的工作也都很成功。哈拉查和 А. А. 柏特沙爾共同創造了特殊型式的分段高壓充氣二極管，應用這種管子可以在相當程度內解決關於功率較大的高壓整流問題。

波動力學的發展標誌了研究電子現象的新階段。И. С. 塔爾達可夫斯基、А. А. 列別節夫、В. Е. 洛士卡列夫、С. Т. 卡拉什尼可夫、А. И. 阿歷罕尼昂等人對於電子衍射現象進行了各方面的研究。В. Е. 洛士卡列夫、К. И. 克雷洛夫、И. Д. 烏塞斯京、В. А. 高爾皮斯基等人利用電子衍射現象，很成功地研究了物質的結構。應用波動力學來解釋光電效應及二次電子發射現象，關於這一方面我們可以舉出 И. Е. 塔姆及 А. Я. 維亞茨基兩位。電子光學問題的發展是與 А. А. 列別節夫的名字分不開的，在普遍情況下的焦聚問題是由 Г. А. 格林別爾格解決了的。

最新的電真空儀器——加速器，因為 В. И. 維克斯列爾發明了“自動調相”法，加速器原則上的問題是解決了的。在電子迴旋加速器中關於電子的極限能量問題是非常重要的，這個問題已被 Л. Л. 依萬年科及 И. 帕米然楚克最先解決了。

Г. А. 嘉古諾夫對於真空系統的計算有很大的貢獻。在研究氣體放電方面，Н. А. 卡布卓夫及 Л. А. 洛然斯基進行了很多的工作。

以上所介紹的遠未能詳盡地包括一切參加研究電真空儀器的蘇聯學者。但是上述的工作已足夠清楚地說明本國科學在近代電真空技術的發展中所起的主導作用。

人們對電真空技術的興趣是在繼續增長，同時也就更加感覺到需要一本能以廣泛地講到電真空器件中所發生的物理過程的書籍。高等工業學校學生用的“電真空技術物理基礎”課程的教學參考書尤其感覺得缺乏，這種參考書必須相當扼要並足夠嚴格地討論在電真空器件的製造技術中及在運用中的一些問題。然而現在討論這一方面問題的書籍多半是理論物理的一般課本或專題論文，故不能滿足高等工業學校電真空專業學生的需要。現在寫這本書就是試圖來滿足這要求。

本書是作者在以 B. И. 烏里揚諾夫(列寧)命名的列寧格勒電工學院中教課時所用的修訂過的課本。“電真空技術物理基礎”課程由三部分組成：“氣體運動論”，“電子現象”及“氣體中的電流”。本書只包括前兩部分。在決定本書的結構和一般內容，以及考慮某問題發展的程度時，作者總是企圖更好地和其他高等電工學院所開的類似課程相配合。在敘述內容時也曾考慮到學生在學校裏所讀的高等數學的基礎。因為在高等數學中沒有讀到幾率的理論，所以在本書的開始就給了一些幾率理論的基本知識。

現在寫的這本書也可以作為工程師及科學研究工作者的參考書。當然，從本書的名稱就可以知道，對於某些專門問題本書是不會給出詳盡的知識的。掌握了這本書以後，讀者就能開始研究專門的著作。

本書的第一版是在 1941 年寫的，然而戰爭時期的條件耽擱了它的出版，在偉大的衛國戰爭以後，本書在相當大的程度上經過了修改及補充。

已故的 A. A. 沙葆什尼可夫教授曾參加擬定本書的總方向並審閱初稿的工作。

作者對於斯大林獎金獲得者科學院院士 A. A. 列別節夫及 O. Я. 索可洛夫教授所給予的寶貴意見及指示，致以極深的謝忱。

作者對於榮譽科學家及技術家 И. В. 什瑪可夫教授, В. А. 奧斯特羅烏莫夫及 А. А. 卡林尼亞克等人曾經很慎重地審閱手稿並作了一系列寶貴的指示, 亦致以極深的謝忱。作者對於 С. И. 列維可夫及 И. И. 赫列布尼可夫表示感謝, 他們曾經協助把手稿準備出版。與作者在同一教研組內工作的 Я. И. 克瓦列夫斯基及 В. Н. 魯達可夫, 當作者寫手稿時, 他們給予很大的幫助, 作者也對他們表示感謝。

作者認為必須特別提起 В. В. 巴森可維的艱鉅的精細的校閱工作。

作者

本書所應用的符號

P	幾率
V	體積
T	溫度
$\Delta\tau$	元格子的體積(第一篇)
τ	小的時間間隔(第二篇)
t	時間
p	壓強
M	氣體的質量
m	分子的質量
m_0	以速度 v 運動着的電子底質量
m_0	靜止的電子底質量
$m_{\parallel}$	電子的縱質量
$m_{\perp}$	電子的橫質量
ρ	氣體的密度(第一篇)
ρ	電荷的體積密度(第二篇)
ρ_1	壓強為 1 巴時氣體的密度
μ	分子量(第一篇)
μ	晶體點陣的反射係數(第二篇)
σ	分子的直徑(第一篇)
σ	二次電子發射係數(第二篇)
s	表面
S	熵
v	線速度
c	光速速度
c	分子熱運動的速度
ξ, η, ζ	速度 c 的分量
$\bar{c}$	算術平均速率

c_g —最可幾速率

c_g —相對速度

G —均方根速率

g —羣速度(第二篇)

g —由於氣體分子熱運動所遷移的物理量(第一篇)

Γ —單位時間經過 ds 面積所遷移的物理量 g 的數量

E —分子的動能

$\vec{E}$ —電場強度(第二篇)

Q —熱量

Q_1 —光譜靈敏度

X, Y, Z —力的分量

n —單位體積中分子的數目

n_x —單位體積中經過 x 或更大的路徑而沒有發生碰撞的分子數目

N —在給定體積中分子的總數

N_1 —單位時間內與單位面積碰撞的分子數目

N_s —單位時間內與面積 s 碰撞的分子數目

N_0 —阿伏伽德羅常數

dN_c —速率在 c 到 $c+dc$ 之間的分子數目

dN_p —動量在 p 到 $p+dp$ 之間的分子數目

dN_E —能量在 E 到 $E+dE$ 之間的分子數目

dN_ξ — X 向速度分量在 ξ 到 $\xi+d\xi$ 之間(其他兩個速度分量不受限制)的分子數目

$dN_{\xi, \eta}$ — X 向及 Y 向的速度分量各在 ξ 到 $\xi+d\xi$ 及 η 到 $\eta+d\eta$ 之間(Z 向速度分量不受限制)的分子數目

$dN_{\xi, \eta, \zeta}$ — X 向, Y 向及 Z 向的速度分量各在 ξ 到 $\xi+d\xi$, η 到 $\eta+d\eta$ 及 ζ 到 $\zeta+d\zeta$ 之間的分子數目

dN_{p_x} — X 向的動量分量在 p_x 到 p_x+dp_x 之間(Y 向及 Z 向的動量分量不受限制)的分子數目

dN_{p_x, p_y} — X 向及 Y 向的動量分量各在 p_x 到 p_x+dp_x 及 p_y 到 p_y+dp_y 之間(Z 向的動量分量不受限制)的分子數目

dN_{p_x, p_y, p_z} — X 向, Y 向及 Z 向的動量分量各在 p_x 到 p_x+dp_x , p_y 到 p_y+dp_y 及

- p_z 到 $p_z + dp_z$ 之間的分子數目
- dN_θ —單位時間內角度在 θ 到 $\theta + d\theta$ 之間碰到元面積 ds 上的分子數目
- $dN_{c, \theta}$ —單位時間內角度在 θ 到 $\theta + d\theta$ 之間速率在 c 到 $c + dc$ 之間碰到元面積 ds 上的分子數目
- C —比熱
- C_v —在定容下氣體克分子的熱容量
- Z —碰撞次數
- Z_1 —一個分子在一秒內所走過的自由路程的數目
- λ —自由路程的平均長度(第一篇)
- λ —波長(第二篇)
- λ_c —速率在 c 到 $c + dc$ 之間的分子底自由路程的長度
- Λ —在金屬裏面的電子底波長
- f —焦距
- f_i —二度的氣體分子的分佈函數
- F —力
- F_1 —動量空間的分配函數
- F^* —相空間的分配函數
- $\Phi_{V, p}$ —受氣體的三度體積 V 及三度動量 p 所限制的六相空間的相體積
- D —擴散係數
- D_{1-2} —第一氣體擴散到第二氣體中的擴散係數
- D_0 —透射係數
- η —內摩擦係數
- η_0 —外摩擦係數
- K —熱傳導係數
- β —溫度劇增係數
- ζ —滑動係數
- L —動量
- Ω —動量距
- γ —氣體的克分子數
- χ —分子在表面上停留的平均時間
- W_0 —絕對零度時分子的最大能量

- k —玻耳茲曼常數
 R —氣體普通常數
 R_0 —反射係數
 h —普朗克常數
 ν —頻率
 ν_0 —臨界頻率
 ε —起初相角
 e —電子的電量
 q —電量
 U —電位(第二篇)
 U_k —接觸電位差
 V —在壓強為1巴時所測出的氣體的體積(第一篇)
 I —電流
 I_s —飽和電流
 I_N —單位面積上覆蓋着 N 個吸附原子的活躍面的發射電流
 $\vec{j}$ —電流密度
 $\vec{H}$ —磁場強度
 $\vec{A}$ —矢量電位
 ε —電動勢
 Φ —金屬的逸出功
 Φ_N —單位面積上覆蓋着 N 個吸附原子的活躍面的逸出功
 J_0 —反射波的強度
 J_n —入射波的強度
 W_0 —位能壁壘的量, 用能量的單位表示
 θ —吸附表面的覆蓋係數
 d —管的直徑, 孔的直徑
 $\psi(v)$ —光電子的速度分佈函數
 $\Psi(W)$ —光電子的能量分佈函數
 $F(\nu)$ —光電子的光譜分佈函數

除了以上所列的符號以外, 在本書中還用到一些不大重要或是很少遇見的表示物理量的符號。這些符號等遇到的時候再加以說明。

目 錄

序言.....	v
本書所應用的符號.....	ix

第一篇 氣體運動論

第一章 幾率理論的輔助定理.....	1
§ 1. 幾率理論的基本原理.....	1
§ 2. 幾率的加法定理.....	6
§ 3. 幾率的乘法定理.....	7
§ 4. 階乘.....	11
§ 5. 排列及組合.....	14
§ 6. 分佈的幾率.....	16
§ 7. 階乘的計算.....	19
第二章 氣體運動論.....	23
§ 8. 氣體粒子在空間的最可幾分佈.....	24
§ 9. 威瑞定理及理想氣體的物態方程.....	27
§ 10. 氣體分子間的動量分配.....	30
§ 11. 氣體分子間的能量分配.....	37
§ 12. 位置及動量在某一範圍內的分子數目.....	40
§ 13. 最可幾速率、平均速率及方均根速率.....	41
§ 14. 碰撞次數.....	47
§ 15. 自由程長度.....	55
§ 16. 自由程長度與溫度的關係.....	57
§ 17. 自由程長度的分配規律.....	62
§ 18. 與容器器壁碰撞的分子數・餘弦定律.....	66
§ 19. 遷移方程.....	71
§ 20. 氣體的熱傳導.....	74
§ 21. 氣體中的內摩擦.....	81

§ 22. 氣體的擴散	9
§ 23. 滑動現象及溫度劇增	9
§ 24. 在高壓強下氣體沿導管的流動	10
§ 25. 在低壓強下氣體沿導管的流動	106
§ 26. 氣體經過小孔的流動	117
§ 27. 氣體的吸附和吸收	120
§ 28. 費密統計法・氣體的簡併	126

第二篇 電子現象

第三章 帶電質點在電場和磁場中的運動 140

§ 29. 基本電荷	140
§ 30. 自由電子在靜電場中的運動	145
§ 31. 電子在磁場中的運動	158
§ 32. 在同一空間同時具有電場和磁場時的電子運動	161
§ 33. 幾何電子光學基礎	166
§ 34. 電子在具有軸線對稱的電場中的運動・靜電電子透鏡	169
§ 35. 電子在具有軸線對稱的磁場中的運動・磁透鏡	180
§ 36. 帶電質點在交變電場中的運動・迴旋加速器	186
§ 37. 帶電質點在交變磁場中的運動・電子迴旋加速器	190
§ 38. 電子的電磁質量	197
§ 39. 電子的波動性質	202

第四章 電子發射 218

§ 40. 電子波的折射及金屬晶體點陣平均內電位的確定	218
§ 41. 金屬中的電子	220
§ 42. 電子從金屬逸出的逸出功和接觸電位差	224
§ 43. 加熱物體的電子發射	227
§ 44. 電子通過勢壘・透射係數	236
§ 45. 激活表面的電子發射	240
§ 46. 在脈衝情況下氧化物陰極的電子發射	247
§ 47. 電流與外界電場的關係	253
§ 48. 場致發射	257

§ 49. 拒斥場下熱電子電流	264
§ 50. 空間電荷的影響	269
§ 51. 極間各點的空間電荷密度、電場強度與電子速度	283
§ 52. 熱電子初速對陽流的影響	285
§ 53. 散粒效應	293
§ 54. 光電效應	297
§ 55. 選擇性光電效應	314
§ 56. 二次電子發射	318
數學附錄	331
參考書刊	334

第一篇 氣體運動論

第一章 幾率理論的輔助定理

§ 1. 幾率理論的基本原理

在我們周圍的世界中連續地發生着各種不同的事件。每一事件只是在一定的、有時相當複雜的條件下才能發生。要使某一事件發生，這事件發生所必要的所有條件必須完全滿足才行；如果這些必要條件中有一條不能滿足，這就是那事件未發生的原因。

假定我們是期待着某一事件的出現。如果我們知道那事件發生所必要的一切條件在某一時刻都將完全滿足，那末我們就可以肯定所期待的事件必定要發生。

如果我們期待某一事件，並不知道事件發生所必須的所有條件，只知道條件的一部分，那末我們雖知道這一部分在某時將要滿足，還是不能肯定所期待的事件一定要發生。在這種情形下我們只能說到這事件發生的可能性（幾率）。例如，我們投擲一個硬幣，力學方面的條件是如此的複雜以致我們完全無法去考慮它們一切，因此就很難預料當這硬幣落在地上的時候，究竟是那一面朝上，是有國徽的一面或是反面？這時我們只能談到國徽面（或反面）朝上的幾率。

引入了事件發生的“幾率”這一概念，我們就可以用幾率來說明某一事件可能是發生的，也可能是不發生的；另一方面，如果我們說到好幾件事情的幾率，我們就可以從此肯定那一件比另一件更可能發生。例如，我們投擲硬幣三次，那末連續兩次國徽朝上的可能性要比連續三次國徽朝上的可能性大，因為只有當前者出現了，後者才能發生。在我們還沒有談到用數學方法求幾率的數值和比較不同事件的幾率之前，讓我們先熟悉幾個基本的定義。

有幾個事件，只要其中有一件出現，其他的就不出現，則這些事件稱為不相容的事件。

例如投擲硬幣的時候，不可能國徽面和反面同時朝上，國徽面朝上，則國徽反面就不朝上。這樣，國徽朝上和國徽反面朝上就是不相容事件。

有幾個事件，如果其中任意一件出現的可能性並不比其他的的可能性更大，則這些事件稱為機會均等事件。

例如我們擲骰子，這骰子是個真正的正立方體，出現一點與出現其他點數（例如三點或五點）的可能性是一樣的，因此出現一點或二點……或六點就是機會均等事件。

在幾個事件中必有一件會發生，則這些事件稱為獨一可能事件。

例如，擲骰子的時候，1, 2, 3, 4, 5, 6 點的出現就是獨一可能事件。因為不可能這六種點數中一種都不出現。某一點數一定會出現的。

又如投擲硬幣的時候，假定我們認為硬幣落下來後是不可能側立着的，那麼國徽出現及國徽反面出現就組成了獨一可能事件的整體。

現在我們來求幾率。

讓我們想像，在我們前面有一個袋子，裏面裝着 m 個球，其中

n 個是白球, $(m-n)$ 個是黑球。我們算一算從袋中隨意取出一個球來正好是白球的幾率等於多少。把我們所期望的事件——拿出白球——稱為事件 A 。當我們將要從袋中拿球的時候, 我們是從 m 個球中拿出一個。因為所有的球都是同樣大小的, 拿出這一個球的機會並不比拿出那一個的機會大。這就是說我們有 m 個獨一可能、不相容、機會均等的情况, 其中有 n 種情况會出現白球, 即在這 n 種情況下我們所感興趣的事件 A 是一定發生的; 其餘 $(m-n)$ 種情况是相當於黑球, 事件 A 是不會發生的。對於事件 A 務必發生的情况, 以下我們稱它為有利的情況。很明顯的, 在同樣數目的機會均等的情况下, 有利情况的數目越大, 事件 A 出現的可能性也越大。另一方面如果有利情况的數目相同, 機會均等情况的數目越大, 則事件 A 出現的可能也越小。因此, 事件的幾率可用分數表示

$$P\{A\} = \frac{n}{m}, \quad (1)$$

即對事件 A 有利的情況的數目除以獨一可能、不相容、機會均等的情况的總數, 這一比值我們稱為事件 A 的幾率。

我們再分析一個例子。假定氣體佔據某一定的體積 V 。氣體分子因為處在熱運動中, 每一分子都有可能停留在體積中的任意一部分。現在從總體積 V 中劃分出某一小部分稱它為 v , 在氣體分子中我們預先任意地指定一個分子, 求這分子在某一瞬間處於體積 v 內的幾率是多少。我們求幾率的時候, 先不考慮其他分子在體積 V 內的分佈, 也就是說我們求所指定的分子處於體積 v 內的幾率時, 不管其他分子是不是也有在這體積 v 裏面的。

我們把整個體積分為許多很小相同的小格, 每小格的體積等於 ΔV 。所指定的分子停留在任何一小格的機會都是相等的。因此在這個例子中, 機會均等的情况的數目等於全體積中小格的數目, 即 $\frac{V}{\Delta V}$ 。有利情况的數目等於體積 v 內的小格數, 即 $\frac{v}{\Delta V}$ 。如果把 $\frac{v}{\Delta V}$