

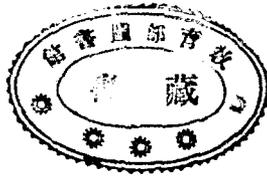


科學叢書

X

線

尹聘伊編著



呈繳之圖書

商務印書館發行



# X 線

## 緒 言

自一八九五年，德人任根氏（Röntgen）發明X線而後，一時學者羣相震駭，咸思絕幽鑿險，探求此中之奧秘。又因其對於醫術上既示診察之方，兼奏治療之效，益足促起當代人士之注意；即就十餘年前發生之歐戰而論，則X線所貢獻於世界人類之安全者，其效當非淺鮮也。

一世紀以前，有謂物理學科之所發展，至矣盡矣，蔑以加矣，殆已達於登峯造極之域者，此後所有之進步，僅能於精確測定之一途，勉致其功斯可耳。乃自一八九五年而後，鑒於新近之所發現，層出靡已，始識雖以電子之微，不啻一小宇宙，其中蘊而未宣者，不知凡幾，而前此之所見，未免貽人以夏蟲語冰之誚。分子原子之說，物理學家及化學家主持之蓋有年矣，究之各個原子之單獨存在，及其真正態度之果何若，尙多託諸理想，而未得直接觀察之方術也。洎及近數十年來之所研究，原子獨立之存在，既已確切無疑，即其內部構造之情形，亦且洞若觀火。例如克格克斯（Sir Wm. Crookes）所用之螢光器（Spinthariscopes），令帶電之氦原子（即 $\alpha$ 線），射擊



於螢光屏 (fluorescent screen) 上, 因其所具之速甚大, 故達於屏上, 螢光燦然, 可以目察, 是為單個原子得以記錄最先之一例。近代威爾遜氏 (G. T. R. Wilson) 復利用水點凝結之試驗, 則不第單個之帶電原子, 可以目見, 即電子與夫 X 線所循之軌迹, 亦可顯出以攝取其像。自是而後, 科學家關於原子內部之構造, 研討之功益密, 而其知識之範圍, 益因之加廣矣。

再者因真空管之放電, 致有 X 線之產生, 遂有疑其與玻璃上由陰極線所激起之強磷光, 有連帶之關係者, 故伯魁爾氏 (Henri Becquerel) 經彭英克爾 (M. Poincaré) 之提示, 進而考察各種發磷光之物體, 其性質是否與 X 線相同, 並有無連帶之關係, 乃忽於其數十年前製備之鈾鹽 (uranium salts), 加以試驗, 考得是項之結晶體, 始曝於光, 繼裹以二層之黑紙, 終置於照像片之下, 越數小時之久, 而再加以顯像 (development), 則見照像片上, 發現極為顯著之效果。該氏因斷定鈾之鹽類, 必能放出一種輻射, 其透入能力對於尋常光不透明之物體, 亦能經過頗大之厚度, 遂有放射物質關於輻射性 (Radioactivity) 之發明, 距 X 線發見之期, 不過二閱月耳。事有致力在此, 而收效在彼者, 此類是也!

匪直此也, 近代試驗 X 線者, 以 X 線投射於結晶體之面, 由其所生之干涉現象, 因證得結晶體內之原子, 係成有規則之粗列。洛伊氏 (Laue) 倡之於前, 胡瑞德蕊琦 及 克里坪 (Friedrich and Knipping) 證之於後, 蒲蓋格 父子 (Braggs) 益即其說, 採反射之

理發揮而光大之，而其輪始燦然大備。最近莫斯雷 (Moseley) 更用各種不同之原質，遞為對陰極板 (anticathode) 之用，令其由此所放射之 X 線，達於特定之結晶體上，由其反射線束強度上之不同，顯出各種不同之 X 線光帶，因考得各種 X 線之波長，與各原質在週期表內之次序，必有一定之關係，遂得所謂原子數 (atomic number) 者；原子數之界說，及其物理學上之意義，書中當申論之，而其於原子之構造，必佔重要之位置，此則業經證實而無疑義者也。

準是以駭，在齊蓋司勒之放電管 (Geissler discharge tube) (註)，科學家僅視為一種玩具者，在今日已成為科學界發現新現象新學理無上之利器。故於討論 X 線之先，特於放電管內一般之現象，加以縝密之研究；陰極線為發生 X 線必要之條件，次之；陽極線亦有相連之關係，又次之；此本書開宗明義首當研究之問題，讀者幸勿謂為詞費可也。

~~~~~  
(註)有稱普魯克 (Plücker) 管者；有稱赫托夫 (Hittorf) 管者；有稱克羅克斯 (Crookes) 管者；因時因國而稱謂不同。



## 編輯大意

一。本書係以克伊氏 (Kaye) 之 *X Rays* 原著為根據編輯而成；關於理論上及應用上不甚明晰之處，又旁採 *Bragg's X Rays and Crystal Structure*, *Kaye's Practical Applications of X-Rays* 及 *Crowther's Ions Electrons and Ionizing Radiations* 等書以補充之，期使理論與實用，相輔並進。

二。X線普通稱愛克司光線，但X線本體本無光，故簡稱X線，免滋誤會。

三。本書所用術語，係採現今最所通用者，俾易了解，至未經譯出不常習見之術語，姑就已見擬撰，並於其旁附註原文，以資對照。

四。是書之作，專供中學大學教員學生及對本問題有特殊興趣者研究參考之用；書中對於陰極線，陽極線，電子說，元量論，及結晶體之構造等，均亦旁徵博採，闡述靡遺，冀收融會貫通之效。至其應用部份，對於醫學家，亦有莫大之貢獻。

五。本書編輯甫竣，曾蒙北京大學教授夏沔筠張菊人兩先生

校閱一過，頗多改正之點，用誌於此，藉表謝忱。

六. 本書倉卒付梓，謬誤之處 自所難免，如承海內物理專家不吝賜教，尤所欣幸。

黃安尹聘伊謹識

本書援引各雜誌之縮寫及其原名之對照表

|                    |                                                                            |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| <i>A. d. P.</i>    | Annalen der Physik.                                                        |
| <i>A. J. R.</i>    | American Journal of Roentgenology.                                         |
| <i>A. Rt. R.</i>   | Archives of the Röntgen Ray (現稱 Archives of Radiology and Electrotherapy). |
| <i>C. R.</i>       | Comptes Rendus.                                                            |
| <i>D. P. G. V.</i> | Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft.                   |
| <i>J. d. P.</i>    | Journal de Physique.                                                       |
| <i>J. Rt. S.</i>   | Journal of the Röntgen Society.                                            |
| <i>N.</i>          | Nature.                                                                    |
| <i>P. O. P. S.</i> | Proceedings of the Cambridge Philosophical Society.                        |
| <i>P. M.</i>       | Philosophical Magazine.                                                    |
| <i>P. P. S.</i>    | Proceedings of the Physical Society.                                       |
| <i>P. R.</i>       | Physical Review.                                                           |
| <i>P. R. S.</i>    | Proceedings of the Royal Society (Series A).                               |
| <i>P. R. S. E.</i> | Proceedings of the Royal Society of Edinburgh.                             |
| <i>P. T.</i>       | Philosophical Transactions (Series A).                                     |
| <i>P. Z.</i>       | Physikalische Zeitschrift.                                                 |

# 目 次

|                          |    |
|--------------------------|----|
| <b>第一章 放電管之現象</b> .....  | 1  |
| 1. 壓力遞減時放電管內所呈之現象 .....  | 1  |
| <b>第二章 陰極線及陽極線</b> ..... | 4  |
| <b>I. 陰極線</b> .....      | 4  |
| 2. 沿革 .....              | 4  |
| 3. 陰極線之本態 .....          | 5  |
| 4. 溫勒爾陰極 .....           | 8  |
| 5. 陰極線之透過及吸收 .....       | 10 |
| 6. 陰極線所生之熱作用 .....       | 11 |
| 7. 陰極線之電離作用 .....        | 12 |
| 8. 陰極線所生之螢光 .....        | 13 |
| 9. 陰極線經磁場之偏折 .....       | 13 |
| 10. 陰極線經電場之偏折 .....      | 15 |
| 11. 陰極線攝波器 .....         | 16 |
| 12. 陰極線經磁場所生之光帶 .....    | 16 |

403717

|                                  |           |
|----------------------------------|-----------|
| 13. 關於陰極線之常數.....                | 18        |
| 14. 電子之遍有.....                   | 18        |
| 15. 物質之電子說.....                  | 19        |
| <b>II. 陽極線</b> .....             | <b>21</b> |
| 16. 陽極線之本態及 <u>湯姆生氏</u> 之實驗..... | 21        |
| 17. <b>【氣體】</b> X線管之逸洪量.....     | 25        |
| <b>第三章 X線</b> .....              | <b>27</b> |
| 18. X線之發見.....                   | 27        |
| 19. X線發生之紀要.....                 | 29        |
| <b>第四章 X線球</b> .....             | <b>33</b> |
| 20. 先代之X線管.....                  | 33        |
| 21. X線管之極.....                   | 36        |
| 22. 陽極.....                      | 37        |
| 23. 陰極.....                      | 38        |
| 24. 對陰極板.....                    | 39        |
| 25. <u>苦里幾氏</u> 之X線管.....        | 43        |
| 26. <u>史魯克氏</u> 之輕氣管.....        | 51        |
| 27. a. 金屬X線球.....                | 52        |
| b. <u>利林斐爾管</u> .....            | 53        |
| 28. 對陰極板之斜度.....                 | 53        |
| 29. X線於對陰極板內發端之深度.....           | 54        |

---

|                       |           |
|-----------------------|-----------|
| 30. X線之分佈             | 54        |
| 31. 薄對陰極板             | 55        |
| <b>第五章 高電壓之發動機</b>    | <b>57</b> |
| 32. 感應起電機             | 57        |
| 33. 感應圈               | 60        |
| 33. a. 附正圈電流及副圈電流之波形  | 61        |
| 34. 閉合鐵心之升高變壓器        | 63        |
| 35. 阻斷器及斷續器           | 66        |
| 36. 整流器及舌門管           | 70        |
| <b>第六章 氣體 X 線球之剛度</b> | <b>73</b> |
| 37. 影響氣體 X 線球之剛度之各要素  | 73        |
| 38. 氣體 X 線球之剛度因使用而遞進  | 76        |
| 39. 氣體 X 線管之變柔        | 79        |
| 40. X 線球之變剛           | 81        |
| <b>第七章 X 線球之燻黑</b>    | <b>82</b> |
| 41. 陰極之飛濺             | 82        |
| 42. 對陰極板之揮發           | 87        |
| 43. X 線球久經使用後玻璃所呈之顏色  | 89        |
| <b>第八章 X 線之測定法</b>    | <b>91</b> |
| 44. 國際之鐳標準            | 91        |
| 45. 英國之鐳標準            | 91        |

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| 46. X線球標準之確定                     | 92         |
| 47. 強度之測定法                       | 93         |
| 48. 剛度之測定法                       | 102        |
| 48. a. 交流火花缺隙                    | 104        |
| 49. X線球之能力                       | 116        |
| 50. 畢特氏之實驗                       | 117        |
| <b>第九章 彌散線, 特殊線, 次級微粒線</b>       | <b>119</b> |
| 51. 彌散X線                         | 119        |
| 52. 各種原質所生之彌散現象                  | 120        |
| 53. 彌散X線之分佈                      | 121        |
| 54. 彌散X線之分極                      | 121        |
| 55. 特殊或『單色』X線                    | 123        |
| 56. K組及L組之輻射                     | 124        |
| 57. 特殊輻射之剛度與放出輻射之金屬之原子量二者之<br>關係 | 126        |
| 58. K組與L組之關係                     | 128        |
| 59. 由重原質所得之特殊輻射                  | 129        |
| 60. K及L以外之輻射                     | 129        |
| 61. 放射原質之特殊 $\gamma$ 輻射          | 130        |
| 62. 極柔之X線                        | 131        |
| 63. 特殊之光線                        | 132        |

|                                                   |            |
|---------------------------------------------------|------------|
| 64. 特殊X線與化學上之化合無涉.....                            | 132        |
| 65. 直接發生之特殊線.....                                 | 133        |
| 66. 苦里幾管.....                                     | 137        |
| 67. 特殊線之剛度與原陰極線速度之關係.....                         | 139        |
| 68. 費丁香氏之實驗.....                                  | 140        |
| 69. X線之能力.....                                    | 142        |
| 70. 畢特氏之實驗.....                                   | 144        |
| 71. 特殊輻射之吸收現象 (a) 巴克納及塞德勒兩氏對於<br>依常吸收現象所得之關係..... | 145        |
| 72. (b) 剛度一定之輻射被一特種原質之非常吸收現象                      | 146        |
| 73. (c) 一特種輻射被各定原質之非常吸收現象.....                    | 151        |
| 74. (d) 特殊輻射在各氣體內之吸收現象.....                       | 152        |
| 75. 微粒線.....                                      | 154        |
| 76. 微粒線之分佈.....                                   | 156        |
| 77. 微粒線之速度.....                                   | 157        |
| 78. 微粒線被各氣體之所吸收.....                              | 158        |
| 79. 次級X線發生時之疲勞效果.....                             | 161        |
| <b>第十章 X線之其他性質.....</b>                           | <b>163</b> |
| 80. X線之電離現象.....                                  | 163        |
| 81. 電離作用及壓力.....                                  | 168        |
| 82. X線之電離作用係間接的.....                              | 164        |

|                        |            |
|------------------------|------------|
| 83. 在各氣體內之相對電離作用.....  | 164        |
| 84. 在各氣體內之全部電離作用.....  | 166        |
| 85. 電離作用及溫度.....       | 166        |
| 86. 威爾遜氏之凝結試驗.....     | 166        |
| 87. X線之速度.....         | 170        |
| <b>第十一章 X線之應用.....</b> | <b>172</b> |
| <b>X線及醫學.....</b>      | <b>172</b> |
| 88. 輻射照像術.....         | 172        |
| 89. 加鋇之輻射照像術.....      | 174        |
| 90. 實體鏡之輻射照像術.....     | 174        |
| 91. 瞬息輻射照像術.....       | 176        |
| 92. 輔助屏.....           | 177        |
| 93. X線照像板.....         | 178        |
| 94. 螢光屏.....           | 178        |
| 95. 輻射照像術及醫術.....      | 179        |
| 96. 輻射治療術.....         | 182        |
| 97. X線之「燒灼」.....       | 184        |
| 98. 關於X線之保護設計.....     | 184        |
| 99. 對於柔X線特別透明之玻璃.....  | 185        |
| 100. 特殊輻射之治療作用.....    | 186        |
| 101. 陰極線之治療作用.....     | 187        |

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| X 線及工業.....                    | 187        |
| 102. X線與工業上之關係.....            | 187        |
| 103. (a) X線結晶學.....            | 188        |
| (b) 工業上輻射照像術.....              | 189        |
| 104. X線及古代名畫家.....             | 199        |
| 105. 關於X線工業上將來之進展.....         | 203        |
| <b>第十二章 X線之裝置及其技術上之進步.....</b> | <b>205</b> |
| 106. 高電壓之發電機.....              | 206        |
| 107. 指揮電鑰盤.....                | 208        |
| 108. 爲測量用之器械.....              | 210        |
| 109. X線管.....                  | 212        |
| 110. 高電壓之線路.....               | 213        |
| 111. 管架及臥牀.....                | 215        |
| 112. 照像器械.....                 | 219        |
| 113. 位置指示法.....                | 220        |
| <b>第十三章 X線由結晶體所起之迴折現象.....</b> | <b>222</b> |
| 114. 令X線迴折最初之試驗.....           | 222        |
| 115. 令X線屈折之試驗.....             | 222        |
| 116. 反射之實驗.....                | 223        |
| 117. X線之迴折現象.....              | 223        |
| 118. <u>洛伊氏</u> 之理論.....       | 224        |

|                                            |     |
|--------------------------------------------|-----|
| 119. <u>胡瑞德</u> <u>惹琦</u> 及 <u>克里坪</u> 之實驗 | 226 |
| 120. <u>洛伊</u> 氏對於閃鋅礦試驗之結果                 | 228 |
| 121. 對於閃鋅礦結晶體之 <u>洛伊</u> 點                 | 231 |
| 122. <u>蒲惹格</u> 氏對於 <u>洛伊</u> 點之學說         | 234 |
| 123. <u>洛伊</u> 點之橢圓軌跡                      | 237 |
| 124. <u>洛伊</u> 點之實體平面畫投影法                  | 239 |
| 125. <u>洛伊</u> 點用螢光屏顯示之法                   | 240 |
| 126. 金屬結晶體所起之干涉現象                          | 240 |
| 127. X線分光表                                 | 242 |
| 128. X線光帶                                  | 244 |
| 129. 爲X線分析用之適宜結晶體                          | 248 |
| 附結晶體之構造                                    | 249 |
| 130. <u>蒲惹格</u> 氏對於結晶體構造之研究                | 249 |
| 131. 空間格之尺度及X線之波長                          | 255 |
| 132. 鉑之L輻射                                 | 258 |
| 133. <u>莫斯雷</u> 氏之實驗                       | 258 |
| 134. <u>莫斯雷</u> 氏之定律                       | 260 |
| 135. X線分光術之進展                              | 264 |
| 136. X線吸收光帶                                | 268 |
| 137. 單純X線                                  | 269 |
| 138. 分析之三種方法                               | 271 |

139. 波長與吸收係數之關係..... 272

140.  $\gamma$  線之波長..... 273

141. 磁電波廣袤之區域..... 275

**第十四章 X 線之本態.....277**

142. 關於X線之本態各家所持之學說..... 277

143. X線與光線相類似之點..... 279

144. 史鐸克斯氏之以太衝動說..... 281

145. X線之分極..... 286

146. 衝動傳播說須加修改之點..... 288

147. 湯姆生之結核衝動說..... 290

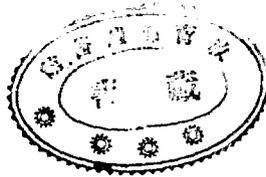
148. 卜蘭克之元量論..... 291

149.  $\gamma$  線閃動之實驗..... 293

150. 光線閃動之實驗..... 294

151. 關於輻射迄未解決之問題..... 294

**附 錄**



## 第一章 放電管之現象

§1. 壓力遞減時放電管內所呈之現象 取一英尺長之玻璃管，兩端各嵌入金屬之陰陽兩極，以與感應圈之副圈或感應發電機相連接，令兩極間電流之通過，如用排氣機逐漸排去管內之空氣，則管內奇異之現象，陸續呈現。

當高壓時，空氣為不導電體。故壓力近於大氣壓力時，欲使管內呈現放電現象，則須施以甚大之電力。但壓力減低，致火花漸易通過，則管內不似前此之紛亂狀態，而發生蜿蜒奇異略帶淡紅色之射光，此部分漸次擴大，幾充塞管之全部，是之謂陽極格 (positive column)。是時感應圈內副圈之交流火花缺隙 (alternative spark-gap)，可至一英寸之一小分數，是為稀薄空氣導電之證。

當是時，陰極 (電流由管流出之極，謂之陰極，向管流入之極，謂之陽極。) 之尖頭，忽現紫色之光叢，是為陰極光 (negative glow)，逐漸擴大，致包圍陰極之全部。介於此兩列發光層之間者，為一不清晰之較暗區域，是為華瑞德暗層 (Faraday dark-space)，此壓力

當本集冊 8 至 10 耗時之大概情形也。



如壓力更減，則交流火花隙之長度，漸可增加，陽極之尖端，漸發現燦爛之光輝。如電流密度 (current density) 達適當之程度時，則陽極格漸次分裂，明暗相間，駢列如鱗。終之，鱗狀之光，間隔愈大，駢列之數，逐漸減少，其強度及區域，俱因之縮減。於是華瑞德暗層，愈形擴大，當壓力約一耗水銀柱高之際，紫色之陰極光，光明益顯，體積益增 (註一)，管之玻璃壁，遂顯橄欖色之綠螢光。依湯姆生 (J. J. Thomson) 之所證明，則綠色螢光者，乃陰極光中紫外光之作用也 (註二)。

如更進而抽出管內之空氣，則螢光漸以消滅，陰極光遂由陰極脫殼而出，新生紫色之薄層，佈滿陰極之表面。於是陰極光分而為二，中間隔以短狹之暗層，是為克絡克斯暗層 (或稱陰極暗層) (Crookes or cathode dark-space)，其輪廓極為明晰，與陰極面相平行 (見圖 1)。

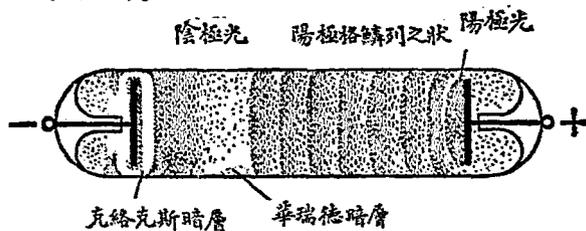


圖 1. 低壓時放電管內之狀態

(註一) 陰極光之長度，又視電流為轉移，二者約互成比例 (Hehl, 1913)。

(註二) 此種綠色螢光，在輕氣內最為顯著。如用鎢玻璃，則螢光變為帶淺藍之綠色。

如壓力更爲減低，則陰極暗層，益爲加廣，推移其前之陰極光。由暗層之廣度，則壓力之大小，可以相定，不過廣度又視電流密度與陰極之金屬爲轉移，未可全據爲測定真空程度可靠之標準耳。

如空氣更爲稀薄（一耗五十分之一），則陰極光與陽極光更形暗淡，輪廓漸即模糊，終之幾全失其光采。是時陰極暗層，起乘其乏，範圍益爲擴充，致與管之玻璃壁相接。斯時管始漸放光明，初僅限於陰極之處，終乃擴及其面之全部，顯出美麗可愛帶蘋果綠色之螢光（註一）。

是時交流火花缺隙之長度，逐漸增加。如空氣更爲抽盡，則螢光漸以消滅，而管之抵抗力漸大，終之火花完全不能通過。呈此現象時之壓力，半關乎所用之感應圈，半關乎所用放電管之大小。在同一壓力之下，使用大管時，較用小管爲易。

以上乃放電管內必加注意之拳拳大端。當大氣壓力時，放電現象，大部分屬於陽極格；當低壓時，則陰極暗層之現象，最爲顯著，引起多數人之注意焉。

---

（註一）此與高壓時橄欖綠色之螢光不同，且較之更形艷麗（見前）。如用磨玻璃製成之管，則螢光帶黃綠色。鉛與錫之玻璃，則螢光略帶藍色。捷克生教授（Prof. H. Jackson）證明（N. July 1915）純玻璃質之玻璃，不顯若何之螢光，又該管之綠色螢光，係因玻璃內含有少許之錫耳。

## 第二章 陰極線及陽極線

### I. 陰 極 線

§ 2. 沿革 關於玻璃上綠螢光之研究，德人浦魯克 (Plücker) 於一八五九年已啓其端。繼踵而興者，德國則有赫托夫 (Hittorf, 1869)，果爾斯泰 (Goldstein 1876)，英國則有克絡克斯 (1879)，奧國則有卜魯機 (Puluj)。湖螢光之所由起，羣謂係某種東西 (something) 之來自陰極者，蓋以障礙物置前，管壁現清晰之陰影故也。此種東西，果爾斯泰稱之爲陰極線 (Kathodenstrahlen)，其意以謂螢光之所由起，係由以太內之波動，而管內之氣體，對於波之進行，並非必要。其說雖有未合，而其名稱至今猶沿用之，蓋「線」之一字，其來源雖與以太內之波動有關，而其關連之處，至爲偶然；實則牛頓於其光之微粒說 (corpuscular theory of light) 已早用此名詞矣。

關於陰極線之性質，研究者代不乏人。浦魯克驗得陰極線之途徑，以磁條近之，漸形彎曲。果爾斯泰由特別之實驗，證得赫托夫以該線係循直線進行之觀察不謬，且知該線發軔時，與陰極之表面正交。克絡克斯用一凹面之陰極，知該線悉匯集於圓率中心，且於此

處顯出熱之作用及激起多種物體之熾光。如該線投射於一物體，則物體將有被其推移之勢，如雲母翼輪 (paddle-wheels of mica) 之促令旋轉即其明證。惟就現今之所知，則此項試驗，其功效不在該線之運動量，而在熱之效應，一如熱射輪 (radiometer) 內所顯之情形也。至陰極線性質中最為重要者，則該線射擊物質時，因即發生 X 線，是即一八九五年任根 (Röntgen) 氏所得之結果。

§ 3. 陰極線之本態 三十年前，英德物理學家對於陰極線之本態，議論極不一致。德國物理學家以果爾斯泰為巨擘，謂陰極線與普通光線無異，係以太內之一種波動，與物質了不相涉，復經赫爾茲 (Hertz, 1892) 與其友人倫拿 (Lenard, A. D. P. 1894) 試驗上之證明，以該線能透過金箔及鉛箔，對於固體尚非絕對不透明，遂益助此說張目。倫拿所用之真空管，係安設 0.00265 厘米厚之鉛箔小窗 (圖 2)。當陰極線射擊該窗時，則見陰極線透過小窗後，並不顯洞穿之迹，且於離此若干耗許之空氣內，并可激起熾光。此項薄層

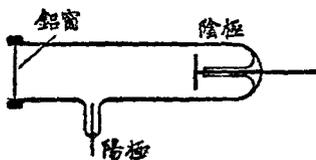


圖 2. 倫拿管

固體之透明性，雖與尋常光學上之透明性，其關係似極淺薄 (例如陰極線對於金箔，比之對於雲母較為透明，適與尋常光線相反)，然

以太波動之說繩之，此點尙不難得其解釋。但由其他之一方面，果如波動說之所云，線之放射，各方向皆當有之，而陰極線之由陰極放射時，乃僅限於與面成正交之方向，則又何說？

波動說既不可通，而陰極線復可因磁條而我偏折，故英國物理學家，遂斷定陰極線係帶陰電之微體，具甚大之速度，由陰極放射而出者也。一八七〇年法雷(Varley)首啓其端，證知放電時此種微體之存在。克絡克斯振其緒，於其 Philosophical Transactions (1879-1885) 各雜誌中，卽以此說爲根據，以解釋其實驗上各種奇異之現象。

克絡克斯由直覺之啓迪，以爲組成陰極線之物質，非氣體，非液體，亦非固體，乃係超乎氣體外之第四種狀態。前在一八一六年，華瑞德亦曾設想物質第四種之狀態，亦有存在之可能，後光輝映，頗饒興趣。

克絡克斯復假設陰極線之微體，大小與分子相若。但此與數年後赫爾茲及倫拿(見前)陰極線透過金屬之試驗不合。爲免除此種困難起見，遂又以爲金屬被陰極線擊射之後，一如陰極之作用，本身亦放射類似之陰極線。且分子透過金屬之例，尤屬數見不鮮：如輕氣透過甚熱之鈹及鉛；受高壓之水透過金及其他金屬而被擠出，金圓板與鉛圓板密相接觸，金漸透入鉛內，皆此類也。以上云云，雖曲爲之解說，而仍覺不能滿意，且是時表同情於帶電微體說新得之證據甚多，上所假定，尤無成立之必要。

湯姆生得一結論，知陰極線之速度，比光速較小。一八九五年，法國物理學家培榮 (Perrin) 於華瑞德圓筒內，弋取該線，證其所帶之電為陰電。雖培榮氏之實驗，頗得大多數人之信任，顧當時極力主張以太波動說者，仍不視此為終結之論，且謂其所量得之電量，不過顯示若干帶電微體之存在，是乃陰極波偶爾發現之附屬物，並與該波無若何之關係。

一八九七年，湯姆生改良培榮氏所用之儀器，證明陰極線因磁條而致偏折時，則其所帶之陰電，亦隨玻璃上激起螢光之線運行而改變其位置(圖3)。如不用磁場，而改用電場，陰極線仍被撓曲。十四年前赫爾茲亦曾行此實驗，卒致失敗，蓋因管內氣體之壓力過大，致電場之影響不顯。

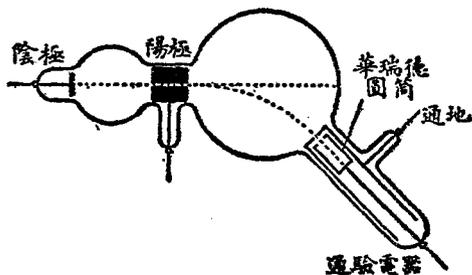


圖3. 湯姆生氏改良培榮氏之儀器，證明陰極線係帶陰電之裝置。

由種種之結果，則知陰極線為帶陰電之微體，毫無疑義，且其因透過固體所起之反響，經湯姆生一八九七至一八九八年之研究，亦漸即於平寂。湯姆生經多次精確之實驗，由陰極線在強度已知之

磁場及電場內所生偏折之度，藉以推求帶電微體之大小，且進而考其質量，速度，以及電量等等，於是證實陰極線既非分子，亦非原子，乃係較小之物體，其各個之質量，僅當輕氣原子重量一千八百分之一。無論所用之陰極及管內所遺留之氣體之本態如何，而各個微體之本態，迄不呈若何之變動。且其電量不變，與液體電解時氫逸出所帶之電量相等。其速度與所施用於管之電力有關，約為光速（註一）之若干分數，有時為其三分之一。

故陰極線，既非以太波，亦非普通之物質微體，乃比原子較小而以甚大速度運動之物體，湯姆生稱組成此陰極線之各微體為微粒(corpuscles)。前者史通雷(Johnstone Stoney)曾以電子(electron)代表電量之基本單位(即電量之原子)，今於陰極線亦採用之，咸稱便利，於是微粒與電子二名詞，漸相通用(註二)。

原子與電子之大小，相差懸殊，殆難臆測。兩者相較，殆如大禮拜堂之於蒼蠅，或住室之於微塵之比(註三)。

§ 4. 溫勒爾陰極(Wehnelt cathode.) 如以鉑條片製成陰極，

(註一)光速為 166800 哩/秒或  $3 \times 10^{10}$  哩/秒

(註二)一八九一年，史通雷以「電子」二字，代表電量之單位，即電流通過溶液，令一極逸出一原子之氫氣或其他單原子價之物體時所需之電量。電子二字，僅用以代表一定之基本電量，而與所關聯之質量無涉。故電子有陰電子，亦有陽電子，而陽電子之質量，決不小於輕氣原子之質量也。但近代科學家，嘗以電子二字與「微粒」二字混用，僅用以代表質量為輕氣原子一千八百分之一之陰電子，漸失史通雷固有之意義。

(註三)就長度論，若 1 與  $10^6$  之比，就體積論，若 1 與  $10^{15}$  之比。

令鉑熱至赤熱，置少許石灰（註一）於其上（見圖 4），則兩極間之電位，雖低至 100 弗特或更小時，放電管內尋常應有之現象，仍可一一呈現。是時陰極上之熱石灰，放射多量之微粒，而其所成之陰極線

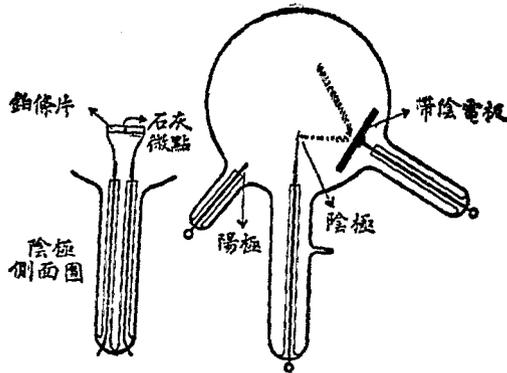


圖 4. 具運動層陰極之放電管。顯示陰極線被一帶陰電板拒斥之狀態。

束，因其速度頗小之故，於稀薄氣體之內，發出燦爛之光輝。且陰極線束之速度，與所施用電位之平方成正比例，以數位計之，約當尋常放電管所具速度十分之一。例如用 50 弗特之電位，其速度等於  $4.2 \times 10^8$  哩/秒是也。惟其速度較小，故該線因磁場或電場所起偏折之度，尤屬顯而易見。

（註一）或用鐵土金屬之任一類（或於其頂端封帽少許，尤為便利），參閱 Wehnelt (P. M., July 1905).

故用熟石灰陰極，可令甚大之電流，通過於放電管之內。如安培十分之一，或更較大之電流，皆極易通過於放電管，即其例也。但若陰極溫度太高，而施用於管之電動力為 200 或 300 弗特時，則須嚴防弧狀之放電，致陰極有損壞之慮。

§ 5. 陰極線之透過及吸收 倫拿 (Wied. Ann. 1895) 證明凡運動較速之陰極線，在各種物體內被吸收之程度，約與物體之密度成正比例。而陰極線之透入能力 (the penetrating power)，則全視其速度而變。在尋常溫度及氣壓之下，速度最高之陰極線，——如其運動速度為  $10^{10}$  裡/秒——僅能透入空氣 2 或 3 耗遠。由鐳所發出運動最速之  $\beta$  線，亦屬一種陰極線，雖其速不及前速之三倍，而其透入空氣之範圍，殆百倍乎是。又氣體之壓力減低，則其透入之範圍因之加廣，蓋氣體分子既不似前此之密集，故陰極線與原子撞擊之機會亦因之較少也。

當陰極線進行之際，或因電離作用，或受撞擊影響，致漸失其原有之速度。如其速仍屬甚高，則陰極線所進行之路，尚屬通行無礙，一直前進。但當速愈減低，則愈易為所遭遇之原子所撞擊而偏折，終之致其能力耗去，幾不能再辨其為陰極線。故始為一束完好之陰極線，漸呈飛散紛紜之狀。

但實際上陰極線又有環繞表面之原子 (surface atoms) 擺動，因而反射者。其反射後之速度，或小於原速度或等於原速度不等。反射線之斜度愈大，則反射之數愈多。關於透過之陰極線，湯姆生

數年前僅憑理論研究之結果，至費丁香 (Whiddington, P. Q. S. 1912) 氏始得實驗上之證明。該氏考得陰極線離厚度  $d$  之物質後，其所具之最大速度  $V_a$ ，得以次式定之：

$$V_a^4 - V_0^4 = ad,$$

式中之  $V_0$  為其始速度； $a$  為常數，在空氣為  $2 \times 10^{10}$ ，鋁為  $732 \times 10^{14}$ ，金為  $2540 \times 10^{10}$ ，俱用厘秒單位以紀之。此四次方之關係律，對於鐳  $\beta$  線亦適用之，但速度過大時，須視為例外。

陰極線經過固體時，速之低降甚速，故實驗時須用極薄之金屬箔。以高速之陰極線透過鋁或琉璃令透堪以重視之程度時，則其最大之厚度，約為 0.0015 厘。

§ 6. 陰極線所生之熱作用 當陰極線與障礙物相撞擊時，其能力之大部分，多散而為熱。由簡單之推算，如在中等真空管之內，陰極線所曳之電流為一密里安培 ( $10^{-3}$  amp.)，則該線每分鐘所發出之能力，以數位計之，約為 100 克路里 (註一)。夫一密里安培，不過僅為中等電流，但如後之所示，50 或 60 密里安培 及更大之電流

(註一) 如  $i$  為電流， $v$  為陰極線之速度， $m$  為陰極線每一微體之質量， $e$  為其電量，則能力  $E$  等於  $\frac{1}{2} i \frac{m}{e} v^2$  (因陰極線每一微體之運動能力為  $\frac{1}{2} m v^2$ ，如微體每秒經過之數為  $N$ ，則每秒顯出之能力為  $\frac{1}{2} N m v^2$ 。但  $N e = i$ ，則  $N = \frac{i}{e}$  故  $E = \frac{1}{2} i \frac{m}{e} v^2$ )。如  $E$  以每分鐘若干克路里紀之， $i$  以密里安培紀之， $v$  以每秒若干厘紀之，則  $E = 4 \cdot 10^{-12} i v^2$ ，此式係假定陰極線之能力悉變為熱時，始適用之。

(當瞬息放電時)，實際上不難獲得。如用凹面之陰極，令陰極線悉匯集於一處時，則所射擊之鴿，不足以抵抗此項強盛之電流。斯時鉑可鎔解，金剛石可變為焦炭，雖鎢(tantalum)與鎢(tungsten)之融解點，在 $3000^{\circ}\text{C}$ .左右者，或致鎔化。且因壓力太低之故，金屬甚有直接氯化者。

熱之作用，在一定壓力之下，可達一最大之限度；此壓力並不甚低，如真空過高時，則其作用反不若是之顯著。

§ 7. 陰極線之電離作用 陰極線具有電離氣體之性質，即令氣體導電是也。其電離作用，當陰極線運動較緩時，更為顯著。據格訥生(Glasson, P. M. 1911)事實上之研求，則知途徑每一種所生之電離量，約依 $1/(\text{速度})^2$ 而變。運動較速之陰極線，自具較大之能力(註一)，但苟非迨其速度低降時，其電離作用，不易發軔至達甚大之限度。陰極線(與 $\alpha$ 線同)漸趨於其所循行途徑之盡端，其電離作用乃愈大，終之其能力消耗殆盡，致電離之作用不顯，不能復辨其為陰極線。

陰極線在放電管遺留之氣體內所生之光輝，端賴於電離作用之強弱。當壓力較高時，則光輝即顯為外層之陰極光，與陰極暗層相接(見§ 1)，壓力較低時，則陰極線所經過之途徑，自身頓放光明(見§ 23)。在一定壓力之下，軌迹內之光輝，可達最大之限度。如壓力更低，則陰極線運動愈速，而光輝漸減。但同時於管壁上所激起

(註一)運動較快之陰極線，其電離之全量，自大於運動較慢者。

螢光之能力，遂漸增加，終之陰極線至不能見，僅有螢光顯於玻璃之上。

§ 8. 陰極線所生之螢光 玻璃受陰極線之作用，具有激起螢光之性質，其證佐之見於尋常 X 線管者，不勝枚舉。克絡克斯氏於一八七九年，考得玻璃經陰極線長時間之擊射，漸形疲勞，且其激起螢光之能力，亦失去不少。疲勞多係暫時的，但有一部分甚為永久者。克絡克斯又稱雖將玻璃鎔化，仍不能完全恢復其原狀。而坎伯爾孫文通 (Campbell-Swinton, P. R. S. 1908) 更引一管作證，其管之疲勞，雖逾十年弗替。孫文通氏證明疲勞現象，純係表面之作用，如欲剷除，須將玻璃之表面磨去，其必須磨去之厚度，約為  $\cdot 015$  耗云。

物體對於陰極線堪以激起螢光者，為數甚夥。其實用上最為適宜者，為第一鉑鍍化鋇 ( $\text{BaPt}(\text{CN})_4$ )，螢光屏即此種資料製成)，硅鋅礦 (willemite)，閃鋅礦 (zincblende)，鎢酸鈣與鎢酸鎳，及鋰碓 (kunzite 一種鋰長石 lithium felspar) 等類是也。

陰極線激起螢光之能力，隨其速度而增，運動最緩之陰極線，似無此種能力。但低速如由溫勒爾陰極所發出之陰極線，又能激起螢光。

§ 9. 陰極線經磁場之偏折 今有一帶電之微體，其質量為  $m$ ，電量為  $e$ ，如依磁力線之方向，向前拋射，則此微體必仍依此方向，繼續運動。但如拋射之方向 (其速度為  $v$ )，與強度  $H$  之磁場成一

角度  $\theta$  時，則作用於微體令其偏折之力為  $Hv\sin\theta$  (註一)。故如  $\rho$  為微體所經途徑之圓率半徑，則

$$Hv\sin\theta = \frac{mv^2}{\rho},$$

$$\text{或} \quad = \frac{mv}{H\sin\theta},$$

此式代表一螺旋 (helix)。是故正方運動之微粒所循之途徑，經磁場之作用，遂成繞於圓筒上以磁力線為軸之螺旋。用溫勒爾陰極所發出迂緩之陰極線 (§4)，其螺旋尤屬明顯。如磁場過強，則螺旋變為狹長，恰似陰極線循磁力線而行者然。

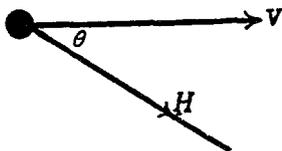


圖 5.

(註一) 歷克斯韋爾 (Maxwell) 由理論上證得  $q$  個靜電單位之電量，如其運動之速度為  $v$ ，則與  $qv$  靜電單位之電流相同。假如  $n$  為一單位長內微體之數， $m$  為每個微體之質量， $e$  為其電量， $v$  為其進行之速度， $H$  為磁場之強度，與微體運動之方向成一角度  $\theta$ ，則準上之理由，諸微體相當之電流  $= nev$ 。由是則磁場作用於單位長度內諸微體之機械力，等於  $nevH\sin\theta$ 。如  $\theta$  為一直角，則其機械力為  $nevH$ ，與磁場及微體運動之方向，皆成正交。故作用於每個微體之機械力為  $evH$ ，而該微體遂離其原有運動之途徑而偏折，循與磁力線成正交之平面內之一圓弧而行。設令  $\rho$  為該圓之半徑，因  $evH$  為對於一個微體之向心力，則

$$\frac{1}{\rho}mv^2 = evH, \quad \therefore \frac{e}{m} = \frac{v}{\rho H}.$$

如  $AB$  代表運動電體當磁場未有作用以前之路線， $AC$  為磁場既經作用以後之路線，則



圖 A.

$$AB = BC(2\rho - BC),$$

由此則量得  $AB$  與  $BC$  之後，即可求  $\rho$ 。如  $H$  為已知數， $v$  又可求出，則  $\frac{e}{m}$  之值，不難求得。

當陰極線拋射之方向，與磁力線之方向正交時，則  $\sin \theta = 1$ ，  
而  $\rho = \frac{mv}{He}$ 。

故在均勻之磁場內，微體所經之途徑，係一與磁力正交之平面內之圓之一部分，即微體偏折之方向，與磁場及其拋射方向俱成正交也（註一）。陰極線因磁場之作用，其偏折之程度，視磁場之強度，微體拋射之速，及  $\frac{e}{m}$  之值而定。就速而論，則速係與所施用於管之電位，有直接之關係；蓋速度實約與電位（或交流火花狹隙之長度）之平方根成正比例云。

§ 10. 陰極線經電場之偏折 如電場  $X$  作用於陰極線，其所指之方向，與陰極線拋射之方向正交，則作用於微體之力，仍循電場之方向，當為  $Xe$ 。故同上理由，圓率半徑，可由下式定之，即

$$\rho = \frac{mv}{Xe^2} \dots \dots \dots (1)$$

但前節已證明當受磁場之作用時，微體所經之途徑，其圓率半徑  $\rho$  以下式定之，

$$\rho = \frac{mv}{He} \dots \dots \dots (2)$$

故如磁場與電場同時作用，致磁場所生之偏折，與電場所生之偏折，其量相等而其向相反時，則因磁電場之強度，均為已知數，速

~~~~~  
（註一）陰極線偏折所指之方向，可牢記下列規則，以助記憶：如磁場  $H$ （即置一北極於磁場內，其運動趨勢所指之方向）之方向，向頭上指，陰極線原有運動之方向，依水平線向右手直指，則對於陰極線所顯之機械力，必依水平線向前直指。磁場之首字  $H$ ，隱示 Head（頭），陰極線  $Ray$  之首字  $R$ ，隱示 Right（右），機械力 Force 之首字  $F$ ，隱示 Front（前）。

度  $v$  與  $\frac{e}{m}$  之值，亦不難求得。蓋對於磁場與電場之強度，施以調度，令微體因二者所生之偏折，恰相抵消，則必

$$evH = Xe \quad \text{或} \quad \frac{X}{H} = v;$$

$$\text{以 } v \text{ 之值代入 (1) 式，則得 } \frac{e}{m} = \frac{X}{eH^2}.$$

湯姆生氏由此二式遂得以考察陰極線之本態 (§ 3)。(見圖 6)

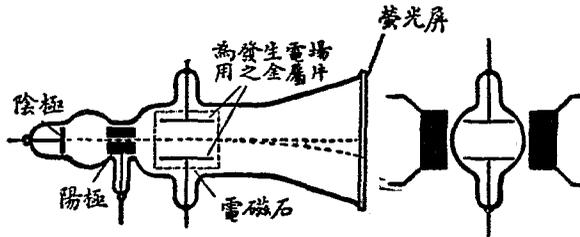


圖 6. 湯姆生氏測定陰極線  $m/e$  之值所用之裝置。對於磁場與電場施以調度，令對於陰極線之作用恰相平衡，則激起螢光之處，毫不移動。

§ 11. 陰極線攝波器 (cathode-ray oscillographs) 陰極線攝波器，係本陰極線受磁力或電力之作用因即偏折之理，應用於電氣工程上，以研究交流電激急變易之波形。補容氏即本此理製成補容管 (Braun tube)。令管內陰極線之微束，投射於螢光屏之上，中途並受磁場與電場之作用。磁電二場，同為該交流所發生，其作用之方向，互成直角。因陰極線實際上不具若何慣性，故隨磁電場劇急之變更，於螢光屏上繪出種種之圖樣，而波之形狀，賴以考焉。

§ 12. 陰極線經磁場所生之光帶 感應圈正圈之電流，每當一次間斷，則於副圈之放電，生出一組蟬聯急歸抑止之振動 (a train

of strongly-damped oscillations)。施用於管之電位，時斷時續，故始為一組勻等而速度甚大之陰極線，經若干振動之後，其速度次減小，而其結果，則陰極線之流射，具有種種不同之速。

故陰極線受磁場之作用，速度不同之各組，其偏折之度，亦各不相同。速度大者，則經磁場偏折之度愈小。故穿過狹隙之陰極線，令其經過一種磁場，而達於螢光片上，則生出多數之輝線，以組成一磁氣光帶 (magnetic spectrum)，是為伯克蘭 (Birkeland, C. R.) 一八九六年首先注意之現象。每條輝帶之明度，可用以測量微體具同速運動者多寡之數。輝帶位置之移離，與速度成反比例，與  $\frac{e}{m}$  及磁場之強度成正比例。

如放電管內之氣體壓力不甚低時，則輝線極夥(30或30以上)。但如壓力低降，則振動之歸於抑止，因之愈強，故輝線愈少，排列愈密，全部偏折之度愈小，而偏折最小之線，變為其最明者；是以陰極線之大部分，乃具最大之速度。圖7所示，係伯克蘭氏在不同壓力之下所得之磁氣光帶。

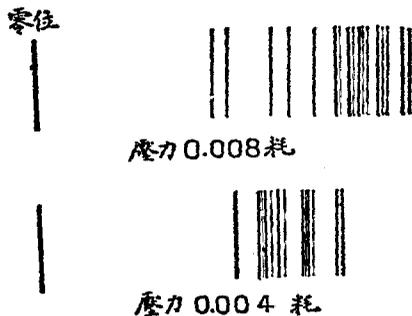


圖 7. 陰極線之磁氣光帶

畢特(Beatty, P. R. S. 1913)考得施用於管之電位約為 60,000

弗特時，則陰極線束之主要部分，其所具之速度，與由火花缺隙所測定電位之三分之二時之速度相當。

陰極線又可因電場之作用，發生光帶，惟偏折之度，與速度之平方成反比例。

凡由溫勒斯特式起電機(Wimshurst machine)或電池發動之管，僅有單一之輝線，而無磁氣光帶之發生，是為陰極線中微體具同一速度之證。

§ 13. 關於陰極線之常數 各試驗家作種種之實驗，以測量陰極線之速；在尋常放電管之內，陰極線之速度，每秒自  $10^9$  至  $10^{10}$  (或略大) 種不等，即自光速三十分之一以至三分之一。

關於運動最緩之陰極線， $\frac{e}{m}$  之值，最近測得為  $1.77 \times 10^7$  動電單位 (E. M. U.)。但如假定陰極線微體所帶之電量，與逸洪所帶之電量相等，則由測定逸洪電量之結果，因知  $e = 1.59 \times 10^{-20}$  動電單位。故速度較小時， $m$  為  $9 \times 10^{-28}$  克蘭姆。又由理論上之證明，電子之所有質量，因其速度而起，而對於陰極線，則當其以光速三分之一運動時， $m$  之值，約比前值大 6%。

據最精確之測定，氫原子之質量，為  $1.66 \times 10^{-24}$  克蘭姆，故電子與氫原子質量相等時，電子之數約為 1850 個。(其他常數，詳見本書表 28)。

§ 14. 電子之遍有 (the ubiquity of electrons) 電子之發明，其見於真空管者，初本屬於人為，後細加研究，而知電子實瀰漫宇

宙，無地獲有。於多種化學反應內，及曝於光線內（紫外光尤甚）之金屬，則所發出之電子，其速較低。鎘及其他放射物體之 $\beta$ 線，則為以高速運動之電子，有時其速度幾與光速相等。鹼性金屬（如鉀及鈉）多能發出微粒。熱至赤熱之物體，如鹼土金屬（石灰，重土 baryta 等）之類，亦放射多量之電子，其速之大小，量之多寡，視溫度而定。北極光（aurora or northern lights）最近之解釋，以為係由太陽發出運動極快之電子，為地球磁力線所集引（註一），遂成長螺旋線，以迄於北極所致，故在地球大氣上層之稀薄空氣內，顯其電離作用而發光輝，一如在真空管內者然。然則電子必在宇宙物理學（cosmical physics）內佔一重要地位無疑。

不論電子之來源如何，累經考究，電子常能保持其不變及不可分之性態 其所帶之電，可作為電量之單位，實為帶陰電者最終之基本微體云。

§ 15. 物質之電子說 關於物質之組織，依盧滋枯氏（Rutherford）之理論，以為原子之組成，係中心有一帶陽電之細核（直徑約 $10^{-12}$ 厘米）為一簇帶陰電之電子所圍繞，排列成『環』（in rings）。諸電子所帶陰電之總量，等於細核所帶之陽電。依近代之學說，則原子內各環電子之個數，適等於該原質之原子數（atomic number）， $N$ ，原子數者，即週期表內該原質序次之數也（見 § 134）。原子之有質

（註一）極光之發現，其最顯著之處，多不在極而在緯度 $68^\circ$ 之處，是必電子之速度與光速甚為逼近，其速度必與由鐳發出之 $\beta$ 微體中運動最快者所具之速度較大。

量,最大部份當歸之於帶陽電之細核,如以  $\alpha$  及  $\beta$  微體與細核相接近時,其途徑因之偏折。

至原子細核之本身,亦可視為多個氫核 (hydrogen nuclei) 與多個電子嚴密摻合而成,氫核所超於電子之個數,恰使細核之全部,具有  $N$  倍之陽電量。此陽電量與電子環之  $N$  陰電量相平衡,故結果原子為不帶電之中性體。例如鉛之原子數為 78, 其原子量依化學家之測定,則為 195。如鉛為一簡單原質,則知鉛原子所有之一細核,係由 195 個氫核及 117 個電子組合而成,其差為 78, 恰與各環內 78 個電子相平衡。故各種原質之彼此不同,蓋因其細核之電量,各有不同;質量之決定,輻射性之表現,係乎細核,而化學性質與夫分光性質,則視各『環』內電子之個數及其排列情形以為轉移者也。

換言之,無論何項原子,皆可視為端由二種『磚料』(bricks)結構而成,一為帶陰電之電子,一為氫核(或稱“proton”),每個氫核,比一個電子,約重1850倍,至其所帶之電,則與電子同量而號相反。

至於同體,則假定分子之間,散佈許多不相依附,自由流動之電子。如經紫外光或熱之作用,則電子即能放射而出:熱電作用,及電與熱之傳導性,司其重要之使命者,即此電子;例如良導體者,即一中藏許多自由運物之電子 (free electrons) 之物體也。此外更由電子說之推求,因即考得低溫度時關於金屬比熱之重要理論,是即勒爾斯特 (Nernst) 等近時深予注意之問題也。

## II. 陽極線

§ 16. 陽極線之本體及湯姆生氏之實驗 放電管內最爲顯著之線，雖首推陰極線，但尙有他線同時存在，亦不可不注意及之。一八八六年，果爾斯泰於放電管之陰極，穿一細孔，因察得一種線射通過管中，其方向適與陰極線相反，遂稱此線爲坎拿爾線(Kanalstrahlen)。奧人維恩(Wien)復令坎拿爾線受磁力之作用，而察其偏折之方向，則見與陰極線受磁力作用時完全相反，因斷定其必爲帶陽電之微體。但此時所得偏折之度，與陰極線所得者較小(註一)，惟置於電場內時，則二者偏折之度，始約略相同耳。由此又推得帶陽電之微體，其質量必大於帶陰電之微體，維恩氏且證得陽電微體之質量，以數位論 (order of magnitude)，與一輕氣分子蓋相同云。

放電管內陽極線與陰極線之是否存在，可以視其對於氯化鋰所生不同之顏色以辨明之。蓋氯化鋰受陰極線之作用，可發藍色之螢光，受陽極線之作用，則發紅色之螢光，故用一小玻璃珠，塗以氯化鋰，置於兩極間之適當地位，則向陽極之端現紅色，向陰極之端現藍色；且由此更可利用之以考定陽極線究發源於管之何部。試以玻璃珠由陽極起，向前移動，則向陽極之端，一抵陰極光與克格克斯暗層(§1) 交界之處，忽現紅色之螢光，在克格克斯暗層區域之

(註一) 陽極線偏折時，約需用 1000 gauss 或 1000 gauss 以上之磁場，即比陰極線偏折時所用之磁場，至少須強四十倍。

內，其紅色螢光，仍繼續顯示。由該暗層各部螢光之量，因證得陽極線之大部分，必始於該暗層之交界處。

又陽極線具有極強之電離作用，螢光作用，及對於照片之作用。對於鈉玻璃之螢光，為暗綠色，對於硅鋅礦之螢光，為鮮綠色，但對於二者之作用，終比陰極線所顯者較弱。且陽極線對於物體復具化成碎末之性質，與物體相撞擊時，常令其表面變為粗糙，或致崩壞。

數年前湯姆生氏專就陽電方面觀察，以求解決放電現象全部之問題，以為放電管之內，有多數高速之氣體原子及分子之存在，其中有帶陽電者，有帶陰電者，有全不帶電者。但觀測之結果，從未見有陽極線其質量比輕氣原子之質量較小者；使陽電子而亦存在，則迄今猶不獲獨立察見之也。此種陽電微體之速度，約在  $10^8$  浬/秒左右（最速者其速約為  $2 \times 10^8$  浬/秒），以數位計之，與由氣體動力論所算得尋常分子速度之值，約大一千倍。

此種具高速而帶電之微體（或稱逸洪），羣向陰極運動，比其離陰極運動者，較屬多數（註一）。如將陰極鑿一小孔，則陽極線穿孔射出，遂成果爾斯泰之坎拿爾線；陽極線於此處與陰極線判而為二，故吾人遂得分別以考其狀況。

湯姆生教授復以一束陽極線，達於一照相片上，令途中同時並

~~~~~  
（註一）此種逆行線（retrograde rays）雖與陰極線混雜進行，但陰極線用一磁條移徙之後，逆行線仍能察見。

受磁場與電場之作用，惟磁場令線偏折之度，與因電場所生偏折之度，互成直角（註一）（圖8）。由觀察所得，則見線之偏折者，僅其小部分，而其大部分，則仍一直前進，不受用以偏折之力（deflecting forces）之影響。

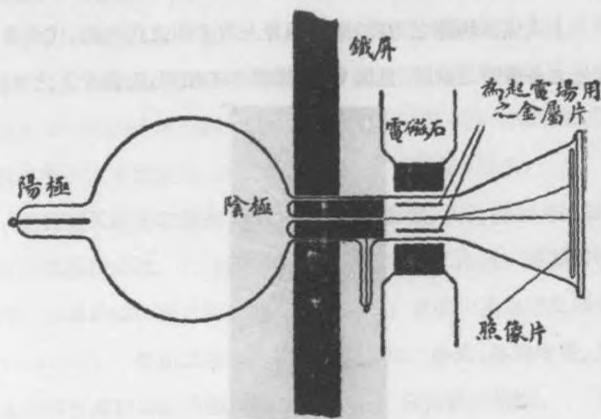


圖8. 湯姆生氏測定陽極線 $\frac{e}{m}$ 之值，所用儀器之裝置。

如 $x$ 為微體因受電力作用所生偏折之度， $y$ 為其因受磁力作用所生偏折之度， $e$ 、 $m$ 、及 $v$ ，分別為該微體之電量，質量，及速度，則

$$x = A \cdot \frac{e}{mv^2},$$

$$y = B \cdot \frac{e}{mv},$$

$A$ 與 $B$ 皆為常數，各視電力與磁力之強度，及該線進入力場時以迄

（註一）於陰極線之試驗中（§10），則磁力與電力互相平行。

抵照片時所經過之距離而定。

由上二式消去  $v$ ，即得

$$\frac{y^2}{x} = \frac{B^2}{A} \cdot \frac{e}{m}.$$

是為照片上軌跡之方程。

上式係拋物線之方程，故在照片上有多組之拋物線，代表具  $\frac{e}{m}$  常值之各微體之軌跡（見圖 9）。微體各不相同，則照片上之軌跡，



圖 9. 湯姆生氏以互相正交之磁場及電場，施於陽極線微體時，所攝拋物線軌跡之攝像。圖中磁場所生偏折之度，係沿垂直之方向。於曝射剛及一半時，忽反磁場之方向，則各拋物線之兩中部，均可顯出。

亦不相同，惟對於每一軌跡， $m$ 有一定值，故此方法可用之以測定管中物體之原子量。屏上各系之曲線，自與管中氣體之本態有關。大部分陽極線所帶之電，為一逸洪電量(ionic charge)（與陰極線微體所帶之電相同），但亦有原質帶二倍三倍以至八倍逸洪電量者。

最近阿史通 (Aston, P. M. 1920) 變更湯姆生教授之方法，遂

得所謂『質量光帶』(Mass-spectra)者,此項『質量光帶』,對於多種原質之同位體(isotopes)(§134)一問題,多所發揮。該氏因即證得有若干原質(如 H, He, C, N, O, F, P, S, As)其簡單者僅具有一個同位體,其他原質,則為數個同位體之混合物,其個別之原子量,各為一整數。例如氦(原子量 20.2)具有兩個同位體,其原子量適為 20 及 22; 氮(原子量 83)則為六個同位體之混合物,其原子量各具整數值由 78 以迄 86。故各種原質之原子量,依化學方法之所測定,僅取其各原子之平均質量,而多非整數,其理不難迎刃而解。

依試驗 X 線者之觀察,則陽極線極屬重要,因陰極被其撞擊,則放出陰極線故也。再『氣體』X 線球玻璃壁之內面,常顯陽電 (§21),即係此陽極線之故;且因有此陽電,致吸引其由對陰極板(anticathode)發出之次級陰極線,使玻璃之螢光,益為增盛。又陽極線常有多數與近陰極之玻璃壁相撞擊,以致使其崩壞。

其次陽極線對於舌門管(valve-tube)之作用,必佔一重要之地位 (§36)。

§ 17. 『氣體』X 線管之逸洪量(ionics) 以上關於陽極線及陰極線之部分,既已闡明大概矣。今試討論尋常 X 線球內所具逸洪之量。凡『氣體』X 線管內排空之歷程,決難達於完全之境,終有少許之氣體,遺留管中,不容忽視,其壓力約在 0.001 至 0.010 耗水銀柱之間。遺留之氣體,所具逸洪之數,尋常本屬極少,但以高電位施用於管之兩端時,則逸洪之運動,益為加速,且因與氣體分子相撞

---

擊，復生較多量之逸洪。此時電場促令管中之陽逸洪，羣趨於陰極，與之相撞，遂發出陰極線；且電場更促令陰極線羣趨於對陰極板，與之相撞擊時，則速度驟以變更，而X線遂以發生。

### 第三章 X 線

§ 18. X線之發見 關於陰極線之狀況，既已論列如上，但其性質中最堪注意者，即其發生X線之特性，以上僅約略述之，故吾人應更予以詳悉之研究也。於一八九五年之秋，德國烏爾茲伯格任根教授（Professor Wilhelm Konrad Röntgen of Würzburg, Bavaria）於無意中發見此線，此線即以其名稱之，是謂任根線。緣氏於其研究不能目見之光線之期間，特注意一低壓之放電管，該管本係用極堅厚之黑紙完全封固者，乃距此約三米突遠桌上所置之螢光屏，忽見大顯光輝，當時深為駭異。此管既裹以密不透光之硬紙，則尋常紫外光之作用，決無顯出之可能，是則必有他種奇異之輻射，來自管中無疑。試於其間置一障礙物，則見屏上顯出陰影，該氏由此法以追溯其所未知之線（因稱X線）之來源，因證其當在陰極線與管之玻璃壁相撞擊之處。

由更進一步之觀察，則下列之根本事實，乃益顯著：即無論何時，無論何所，當陰極線與物質相撞擊時，X線因即發生是也。有假定X線原即存在於陰極線束之中，可用抽除法以取得之者，但此說

亟可證其不確，蓋陰極線受磁力之作用，致偏折之發生時，則X線之發源點，因亦隨之移動。且由此實驗，則謂X線係因陰極發出之微體受撞擊之結果，其意乃益顯然矣。

但此新發見之線，最足令人驚異者，即其對於尋常光不透明之物體，亦能透過是也。其透過之程度，與物體之密度有關；例如骨之吸收性，比肉較強，故置手於X線與螢光屏之間，屏上所顯之陰影，骨濃而肉淡。任根氏復以此項之新發明，對於外科醫術，頗著奇異之功效，故於一八九五年十一月以其發明結果，齎送烏爾茲伯格之外科醫學會(The Physico-Medical Society)(註一)。

不事惟是，X線可令照像片起化學變化，不起反射及屈折之現象，且不以陰極線，不因磁場或電場之作用，而生偏折(註二)，是為X線不帶電量之鐵證。一八九六年，湯姆生，郝母側斯苦(Hurmuzescu)，崩洛伊斯特(Benoist)，杜福(Dufour)等，考得X線與陰極線(紫外光亦同)同具電離之作用，即使尋常本不導電之氣體，暫時導電是也。

今於討論各部之詳細情形以前，先將X線之簡單裝置，略舉其

(註一)參閱 L'Éclair Élect. 6, 241, 1896. 關於任根氏最近研究結果之記載，參閱 Berl. Ber. 1897, 及 Ann. Phy. Chem. 1893. 任根氏三種研究報告之譯文，悉載於 The Electrician (Jan. 24, 1896 及 April 24, 1897) 及 A. R. E. (Feb. 1899)。

(註二)瓦爾特(Walter, A. D. P. 1904) 所用之磁場，大至 19,000 gauss. 斐界(Paschen, P. Z. 1904) 亦曾同樣以鐳 $\gamma$ 線曝於 30,000 gauss 之磁場。

主要特點如次。

### § 19. X線發生之紀要

(I)『氣體』X線球 由護閣夫(Ruhmkorff式)之感應圈所發出之電流，令其通過X線管時，則由凹面陰極所發出一束陰極線，悉匯集於其相對之構(target)，是為對陰極板。板之面與線之方向相斜，適成 $45^\circ$ ，其質料通常以高原子量之金屬為之，如鉑之類是(圖10)。陽極之外，常有另安一陽極者，但此尚非必要。陰極與陽極，普通均以鋁製之。當陰極線與對陰極板相撞擊時，X線即由此撞擊之點發生，各向皆有。對陰極板使用過久，勢將變為極熱，故製備對陰極板時，或用厚重之物體，或另用方法澆冷，兩法可任擇其一。在『氣體』X線管內氣體之壓力，於久經使用後，漸形變低，故欲管之變柔(softening)(即增高氣壓)，須採用特殊之設計。

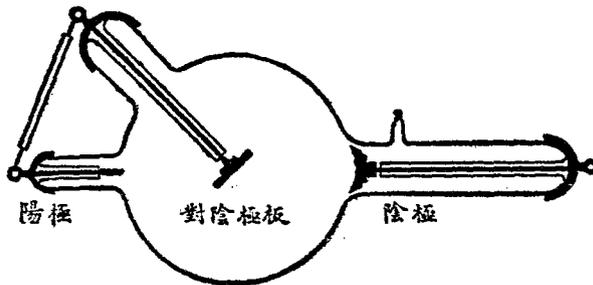


圖 10. 簡單樣式之焦點球

壓力愈高，則所須以發動該管之電位愈小，而X線之透入能力愈小；故當壓力甚高時，X線及該管皆以柔(soft)字稱之。反之，

壓力愈變低，則X線乃愈變剛 (hard)。於任何X線管，其所發出之X線，常備具各種不同之剛性；故X線之已穿過物質之一層厚度者，必其透入能力，較之第二種為強。

X線不能目見，不令玻璃發生螢光，球上半面暗綠色之螢光，則因由對陰極板反射之陰極線，復與玻璃壁相撞擊之結果。試以磁石近之，以察其對於螢光所生移動之效果，則知此說不誣。

(II) 感應圈 感應圈者，係變低電位之電流（如由電池若干個所生之電流）為高電位之電流之一種機械也。其大要係一圓筒形之軟鐵心，繞以極粗之隔電線圈，是為正圈 (the primary coil)，其捲數較少。正圈之外，則為副圈 (the secondary coil)，線較細而隔電愈須周密，惟捲數約在數千以上。圖 11，係顯示一種小感應圈各部之圖樣。正圈之線路內，設有一錘形之斷續器 (hammer-break interrupter)，凝集器 (condenser)，通常安於感應圈之下部，一端與

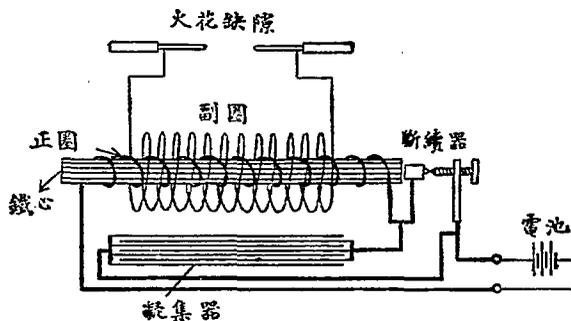


圖 11. 感應圈之圖樣

螺旋之柱相接，一端與彈簧相接。正圈線路與一適宜之一列電池相連接；斷續器之目的，係更迭用以斷續電流之通過，旋斷旋續，甚為迅速。其結果每連續一次“make”，使副圈內生瞬時之感應電流（與正圈內之電流相反），每間斷一次“break”，使副圈內生等量而反向（但與正圈之電流同向）之瞬時感應電流。

但試驗 X 線最要之點，則在經過 X 線管之電流，必須循單一之方向，凝集器之主要功能，即在乎是。蓋電路連續時，凝集器取初入之電流而儲存之，增長較為徐緩，使鐵心變為磁石；但當電流斷時，凝集器放出其所存儲之電量於正圈之線路內，至為迅速，而鐵心因以頓失磁性。故副圈內之感應電位，連續時比間斷時較弱；由連續時之電位所起之電流，謂之逆向電流（reverse or inverse current），上等之感應圈，則是項之逆向電流，須剷除淨盡。是故副圈線路內兩極間所通過之火花，大部分係由正圈線路內電流間斷時而起，而僅循單一之方向通過者也。感應圈之工率，常以其發現火花所達最大之長度紀之，如云 6 英寸感應圈，即云處此狀態之下，火花長度最大之距離為 6 英寸也。

鐵心係用以增加所通過於線圈內磁力線之數。凝集器則更迭以錫箔與蠟紙層層相疊而成。錘形間斷器，係一彈簧與一螺旋（contact screw）相貼切，而彈簧上端，復安有一塊稜鐵；當電流通過時，則稜鐵為鐵心所吸引，致正圈線路內嵌鉑之兩尖端間之電路，為之中斷；正圈之電流中斷，則鐵心失其磁性，而彈簧復其原

位，與螺旋相貼切，電流又以流通。如此循環不已，故彈簧往復擺動，如電鈴之錘然，因之更迭以斷續正圈內之電流(註一)。

~~~~~  
(註一)近代試驗X線所用之感應圈，應用錘形阻斷器者頗少，多於其盡端接以一種獨立之水銀阻斷器或他種阻斷器。

## 第四章 X線球

§ 20. 先代之X線管 任根氏於一八九五年發見X線時所用之真空管，係一梨形管。其陰極為扁平之圓板，安於球之狹端，陽極則在小側管之內(圖12)(註一)。陰極線撞擊於球之闊大之一端，其所發生之螢光，甚形燦爛。是項樣式，當時做效者頗衆，但缺點甚多：

一則不能持續長時間之爆射，使各種輻射照片(radiograph)，均得從容攝照；一則X線放射之面積過廣，照片常模糊不甚清晰。故試驗家亟思所以延長管之壽命，縮短曝射之時間，改良

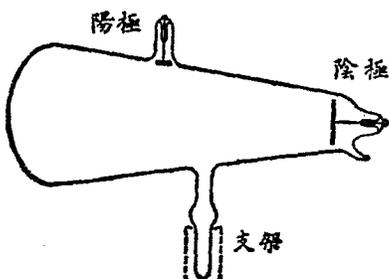


圖 12. 任根氏發明X線所用管之樣式

照片明晰之度之種種方法。依當時一般之推測，以為螢光之發生，

~~~~~  
(註一)任根氏時所用之X線球，尚有他種樣式，其陽極係用一頗大之圓板，安於球之正身以內。

當爲產生X線(註一)之必要條件。故約在一八九七年之間，各試驗家紛紛以螢光玻璃作管(如鈾玻璃及鈇(didymium)玻璃之類)，冀以增加管之產額；但由最近之研究，而知其與螢光無涉。

坎伯爾孫文通於一八九六年，改良任根氏所用之管，以鉑片斜置於陰極線之途徑中。其結果，雖輻射照片，仍不分明，曝射時間，延續過久，然改良之點，究復不少。

同年，倫敦國王專門學校之捷克生教授(Professor H. Jackson of King's College, London)，轉而考驗克絡克斯氏先時之所發明，而試以凹面陰極代前扁平之陰極。先是克絡克斯氏於一八七四年證得凹空之陰極，能令陰極線匯集於其焦點，五年後複製一管，則置鉑片於其焦點處，以顯示該線之熱作用(圖13)。該管所發生之X線，其量頗盛，但當時尙未注意，故捷克生教授復安設鉑製之鴿，與

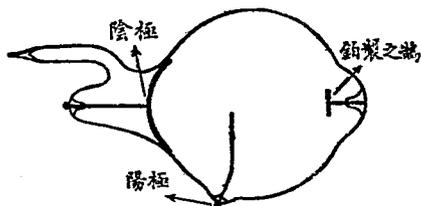


圖 13. 克絡克斯顯示陰極線之熱作用所用之管

(註一)伯魁爾 (Henri Becquerel) 經彭英克爾 (M. Poincaré) 之提示，進而研討 X 線是否爲一般磷光一定不易之附帶品。該氏曾經試驗之物件，頗種類即其一。其結果即爲一八九六年輻射性之發明，乃發見X線後二月事也。

線適成  $45^\circ$  (圖14), 其他各部, 則與克絡克斯氏管大致相同。此種新製之焦點管, 比前人改良之處不少; 一則曝射之時間, 極為縮短, 一則放射之面積較小, 故照片備極分明, 纖微畢現。

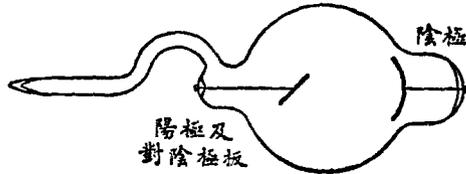


圖 14. 攝克生氏最初所用之焦點管

其最堪注意者 則自是而後, 變更極為有限; 所製出之 X 線管, 殆以千百計, 但大多數之『氣體』管, 其設計與十五年前固無以異也。故 X 線球之進步, 反不及關於 X 線裝置其他部分之速。即以現時而論, X 線管仍屬變動無常, 不能保持其確定之態度。故同一之 X 線球, 今日認為滿意者, 他日或不適用(註一); 完全相似之兩個 X 線球, 一則可使用數月之久, 而他球或數日即壞。試驗 X 線者, 常以慣用之球, 令其暫時休息, 因知閉置數星期之後, 則球常可變好。

就一般而論, 為通過濃厚之電流 (a heavy current) 起見, 則大球自比小球較勝。製造 X 線球者, 固常因之製出龐大之球矣, 但迄無若何優異之特點。故使某種困難而可避免, 則小球之便利, 或仍較多。

最先之 X 線管, 陰極皆安於球之正身內, 但當一八九六年之年

(註一)或因氣體壓力之變動。

終，則陰極退處於一側管之頸部以內；此種設計，後之作者悉多奉爲圭臬，冀以增進其穩定性及其剛度(hardness)(註一)(見§37)。又捷克生氏及其前人所用之球，其所懸之鶴，復可以爲陽極之用；但一八九六年，耿德拉黑(Gundelach)則於管內另安一補充之陽極。

現今X線球，約可區分爲兩種：(1)『氣體管』(gas tubes)，其內遺留之氣體，頗佔基本地位；(2)『熱陰極管』(hot-cathode tubes)，其內則係由加熱之陰極發出電子 (§25)，而氣體之壓力原屬甚低，不佔重要部份。

§ 21. X線管之極 X線管之極，係固定於粗線或棒。爲便於製造及修理起見，則粗線或棒，常安置於由球正身突出之側管內。其在一八九六年，卽知如將用以支住之線，完全以玻璃管套之，則放電愈臻穩定，且可防止飛濺現象(sputtering)之發生(在線與尖端處，飛濺尤爲顯著之現象)。其在氣體管，則玻璃壁帶電頗強，近陰極者則爲陰電 (§37)，在管之正身者，則爲陽電 (§16)：此種所帶之電(在黑管 blacken tube 尤爲特別)，易致焦點流移不定，且常令沿玻璃而發現火花。若爲熱陰極管，則玻璃壁帶陰電。

再者沿玻璃壁之放電，不僅限於管之內面，外面蓋亦有之。阿里培(Allipi)於一九〇六年，試得如以多量之蒸汽，噴射球上，則X線之產額及其所生之螢光，益爲增加，其作用或係洗去玻璃表面之

(註一)湯姆生氏(P. M. 1912)又考得陰極居於此等位置時，對於坎拿爾線之發生，最爲便利。

輪及其塵埃，以致傳導率因之減少之故耳。綠色之簾狀放電，常發現於球之內面者，或與該處之表面帶電有關，而與因電壓不足生閃爍之光者有別。

靜電效應及表面帶電等所佔之地位，及其對於放電之剛度及穩定性所具之影響，試驗X線者不甚重視之。

§ 22. 陽極 如上之所述，『氣體』X線球，常另設一鋁製之陽極，於管外與對陰極板相連接（圖10）。雖有時陽極與對陰極板斷絕，其結果或使管之變柔，但安設陽極，其真確利益之所在，迄今尚屬疑問。菲禮蒲斯 (C. E. S. Phillips, A. Rt. R., 1902) 謂此補充之陽極，或係因其靜電作用，大有助於放電之穩定。該氏復謂陽極最便利之位置，係置於對陰極板之後。夫用感應圈以致放電，不無逆向電流，當逆向電流通過時，則此補充之陽極，或亦有相當之裨益：蓋在此等狀況之下，鋁製之陽極，將暫時一如陰極之作用，因鋁所顯於陰極之飛濺現象 (§41(I))，較弱於鉛，故管壁燻黑之程度，不致如單用鉛製對陰極板時之甚。

吾人嘗謂放電現象，與陽極之位置無關，此說祇於陽極置於陰極暗層之外時，確切無誤：使陽極位於暗層之內，則放電之通過，倍感困難。現今所用之X線管，當其於尋常狀況之下動作時，其陰極暗層之區域極廣，致能圍繞對陰極板之全部。故用氣體管時，安插陽極於偏狹之側管內，實有利益。

吾人又須記取：凡放電通過於不對稱之管 (unsymmetrical

tube),其最易流通之方向,係使限制較小之極爲陰極之方向,換言之,卽予陰極暗層以最小之阻礙之方向也。各種舌門管(§ 36)之構造,卽係利用是項性質以製成之者也。

§ 23. 陰極 『氣體』球之陰極,通常以鋁製成,係安於側管之頸部以內。所謂焦點管者,卽其陰極係一凹面,其所放射之陰極線,悉匯集於其焦點,因以得名。陰極爲平面者,則陰極線循法線(normal)之方向射出,但凹面之陰極,除當壓力不甚低時外,則陰極線放射之方向,並非如是。當真空之度,逐漸增高時,則陰極線之焦點,離陰極愈遠,可抵陰極之曲率半徑四倍或五倍之距離;惟尋常陰極與對陰極板相隔之距離,則僅約爲曲率半徑之二倍或三倍。焦點之大小,因氣體壓力之變更,實際上變動無常,管愈剛者,其焦點愈小。

對陰極板與陰極適當之配置,全在作者運用之妙,須視其平時之經驗及該管所需之剛度以爲轉移。對陰極板通常於焦點外安置一罩,以避免因融化而生之早期損壞,但爲輻射照像之用,則反因此而減其明晰之度。先時之X線管,常有施以移動對陰極板之設計,以圖適合應用時之狀況。

坎伯爾孫文通 (P. R. S., 1897) 試得壓力中平時,陰極線並非充實之圓錐體,乃係匯成圓錐體狀之空殼。但在低壓時,則陰極線大半沿陰極之軸密集。此項之陰極線束,因其對於殘留之氣體,激起電離作用,故能顯出光輝,由陰極以達於對陰極板。至成此線束之來源(於柔X線球之內尤易辨識),則因近於陰極管壁上之陰

電所起之拒斥作用也。若陰極為一平面，其結果亦與此同（見§37）。又如陰極係由金屬管製成，則匯集之陰極線束，從兩端沿軸發出；此種陰極，有時於實驗上頗稱便利。

由多數實驗家試驗之結果，因知保持陰極之常冷，則可減輕球之因使用而變剛之趨勢。例如格斐巴瑞特管 (Gaiffe-Barrret tube) 之陰極，係引急流空氣 (air blast) 於其背面以冷卻之；其在密勒沸管 (Müller boiling tube)，用水以冷卻之。

此外尚須聲明者：如陰極係以具陽電性之金屬 (electro-positive metal) (即電解時趨於陰極之物體) 製成，則於放電順利之流通，大有裨益。例如鋁製之陰極，上覆以鈣，則管之動作，比陰極之單以鋁製者，雖至更為較剛時，猶安全無恙，是則由於此類之金屬，比較上或易於放射電子之故耳（參閱苦里幾管 (Coolidge tube) (§25))。

§ 24. 對陰極板 近代為輻射照像用之對陰極板，其要件如次：

(1) 重原子量或高原子數——以增大線射之產額。

(2) 高融解點——令陰極線悉匯集於焦點，使所射之譜，不致鎔化。

(3) 高導熱率及高熱容量——以減當地之熱 (local heating)。

(4) 當高溫度時具低微之蒸氣壓力——以避免管壁上之揮發現象(見§42)。

(a) 對陰極板之原子量 如對陰極板以較重之金屬或具重原

子量之金屬製成，則其效率因之大增，此在發明之初，即已知之。任根氏於一八九六年，試得由鎢發出之線，比由鋁發出之線較強。坎伯爾孫文通，柯夫滿 (Kaufmann)，羅琦迪 (Roiti)，阿里孚羅維 (Sir Oliver Lodge)，湯蒲生 (S. P. Thompson)，及藍捷 (Langer) 等，約於一八九七年，均從事於研究原子量與輻射之強度之關係。各試驗家測量強度之法，係用照像法或螢光法，故其觀測之結果，屬於定性之方面者居多。

依克伊氏 (Kaye) 一九〇八年之試驗，所用以為對陰極板之金屬，約二十餘種，遞置於放電管之小搖車 (trolley) 上 (圖15)。由磁力之引曳，搖車得以運行，而所須試驗之金屬，因得導致於陰極線

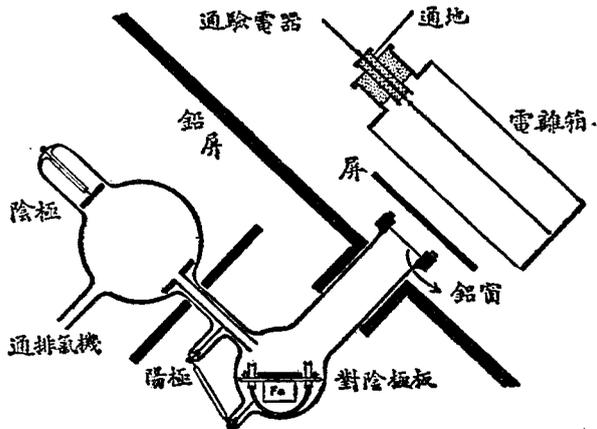


圖 15. 測定由各種不同金屬之對陰極板所發出之 X 線所用儀器之裝置

之下。管前置一鋁窗，厚 0.0065 釐，發出之線，經過鋁窗時，其所吸收之量，極為有限，故其強度，可於其前置一電離箱以測定之。此時管之放電，係由感應圈所致。

由上項之實驗，因知由對陰極板發出之X線(註一)，至少具有下列之兩種：一為『普通』X線之混雜光帶 (heterogeneous spectrum of "general" X rays)，一為金屬所特具之單純X線 (homogeneous X rays characteristic of the metal)。

後種X線之性及量，視對陰極板之本態及施用於管之電位而定。如發動電壓，甚為適當，則所發出之X線，幾全為特殊之X線(即後種單純X線)(見§65)。有時因X線過柔，致不能透過普通管之玻璃壁，例如鎂鋅族(註二)之特殊(K)輻射是。但使用鋁窗，則此項柔X線，仍易察見。其強度，並不依其簡單原子量之序而變。

為除去特殊之X線起見，可用一鋁製之屏，約 2 或 2 以上耗厚，因即試得所剩較剛之獨立 (independent) X線，其強度隨對陰極板之原子量而增，二者約互成正比例(註三)。圖16即顯示施用於管之電位約 25000 弗特時二者之關係。如鋁屏加厚，則其相對之強

---

(註一)由對陰極板發出之X線，通常由下列二種之柔X線而登增強：一為X線經過玻璃壁時之所發生，一為『反射』之陰極線與玻璃及與遺留氣體之分子相撞擊時之所發生。

(註二)即鎂，鉍，鏷，鈾，錒，錒，鉍等金屬。

(註三)格瑞 (Gray, P. R. S., 1911) 對於由鎂  $\beta$  線與各種金屬相撞擊而生之  $\gamma$  線，亦得同一之結果。

度，無大變易。因各金屬發出之線，處於此等狀態時，甚為單純，剛性殆相同也。用他種金屬之厚屏，亦得同類之曲線，惟各處略顯變易。如施用加管之電位增高，則用重原子之對陰極板，效率略增；電位減低時，則較輕之原質，稍增加其相對之強度值。

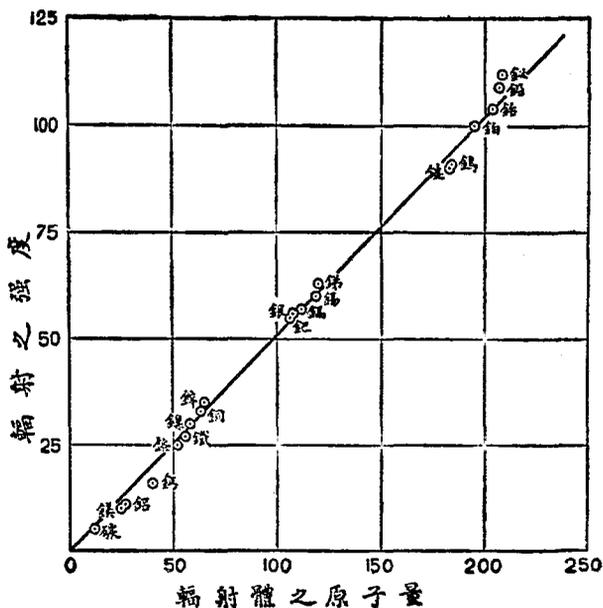


圖 16. 由獨立 X 線之強度及對陰極板之原子量之關係推成之圖解。(Pt=100.)

(b) 對陰極板之適宜金屬 表 1 所載，係列舉各原質之原子量，輻射值，融解點，及導熱率等等；因各金屬均不易鎔化，故以

表 1.

| 金屬 | 原子數 | 原子量<br>(O=16) | 密 度<br>Grms./c. c. | 輻射之強度<br>(Pt=100) | 融解點<br>°C. | 導熱率<br>c. g. s. |
|----|-----|---------------|--------------------|-------------------|------------|-----------------|
| 鎊  | 82  | 208.5         | c. 18.7            | c. 125            | —          | —               |
| 鉍  | 90  | 232.0         | 11.3               | c. 120            | —          | —               |
| 金  | 79  | 197.2         | 19.3               | 101               | 1064       | 0.70            |
| 鉑  | 78  | 195.2         | 21.5               | 100               | 1750       | 0.17            |
| 銻  | 77  | 193.1         | 22.4               | 98                | 2260       | 0.17            |
| 銻  | 76  | 190.9         | 22.5               | 97                | 2700       | 0.17            |
| 錫  | 74  | 184.0         | 19.3               | 91                | 3200       | 0.85            |
| 鎳  | 73  | 181.0         | 16.6               | 90                | 2800       | 0.12            |
| 鈮  | 46  | 106.7         | 11.4               | 55                | 1550       | 0.17            |
| 鈳  | 45  | 102.9         | 12.4               | 54                | c. 1900    | —               |
| 鈳  | 44  | 101.7         | 12.5               | 53                | 1950?      | —               |
| 鋅  | 42  | 96.0          | 8.6                | 50                | 2500       | —               |
| 鋁  | 41  | 93.1          | 12.7               | 49                | 2200?      | —               |
| 鎘  | 40  | 90.6          | 4.1                | 47                | c. 1800    | —               |
| 鈦  | 39  | 89.0          | 3.8?               | 46                | —          | —               |
| 銅  | 29  | 63.6          | 8.9                | 33                | 1084       | 0.92            |
| 鎳  | 27  | 59.0          | 8.6                | 20                | 1480       | —               |
| 鎳  | 28  | 58.7          | 8.9                | 30                | 1450       | 0.14            |
| 鐵  | 26  | 55.9          | 7.9                | 27                | 1510       | 0.15            |
| 鉍  | 25  | 54.9          | 7.4                | 26                | 1260       | —               |
| 鎳  | 24  | 52.0          | 6.5                | 25                | 1520       | —               |
| 鈳  | 23  | 51.1          | 5.5                | 24                | 1730       | —               |
| 鎳  | 22  | 48.1          | 3.5                | 22                | 1800       | —               |

之爲焦點管之對陰極板，均覺適宜。所列之輻射值，係指剛線之值，均由克伊氏之實驗以求得之（§ 24 (a)）；有時其值係用間數法（interpolation）以推得者。引述之導熱率，係指在室內之溫度時而言；但溫度增高，多數金屬之導熱率，因之漸減。至其他常數，皆採自克伊及雷倍之物理常數（Kaye and Laby's Physical Constants）書中。表中所列之金屬，其性質間有不甚適宜者，亦有因其過於稀罕，價值過昂，遂撤而不用者。

表中之金屬，其常用爲對陰極板以爲輻射照像之用者，爲銻，鈹，鎢，鎂，鉬及鉑。而最常通用者，則又爲鉑。但鉑爲此等之用，其融解點並不甚高，加以飛濺頗甚，價值騰昂，益促今後之趨勢，轉而注意於鎢之性質，蓋鎢金屬，因電燈上應用極廣，故其化學性質，亦漸諳練，且鎢不似鉑飛濺之甚（註一），融解點亦較高，惟其輻射值較遜一籌耳。再者鎢之導熱率甚高，故陰極線匯集於焦點時，可使益銳，此尤爲鎢之特色。鍛成具可展性及高密度合於此等之用之純鎢，不過近數年間事，無論爲熱陰極管或爲氣體管，現之以鎢爲對陰極板者，已風靡一時矣。

鈹之值，比鉑更昂，但如 X 線管內無養氣之存在時，則以鈹爲對陰極板之用，似無不滿之處。銻製之對陰極板，達費生氏（Jir James Mackenzie Davidson）已早用之，亦稱上品，惟價昂而稀

~~~~~  
（註一）以鎢爲對陰極板，如遇甚之飛濺必須避免時，則除去管內之水蒸氣或養氣，頗爲重要。

罕，乃其缺點耳。鎳之原子量頗重，而飛散性 (volatility) 頗低，允宜推為對陰極板之選。蒲蓋格 (Bragg) 且謂由柔管發生之鎳輻射，異常單純云云 (見 §65)。

(c) 塗鉛之鎳對陰極板 價值較廉之『氣體』管，多有以鎳製之對陰極板，敷以極薄之鉛片者 (約一耗之  $\frac{1}{100}$  厚)。因鉛價過昂之故，此種混合式之對陰極板，近日多採用之 (始於一八九七年)。如該管僅為斬得中平產額之用，則是項設計，尙無大可非難之點；但鎳為劣等之輻射體，必須注意於所塗之鉛，不致因之鎔化耳。

(d) 對陰極板之設計 製造 X線球者，有以玻璃套包圍其對陰極板者，有以對陰極板安於一磁製之環內者。兩種設計，皆所以防止陰極線投射於對陰極板之邊，以致發生之 X線，影響於照片明晰之度。又有將對陰極板製成槽狀，或圍以鉛製之中空圓筒，以便除去反射之陰極線與玻璃壁相撞所生之 X線。如是則照片明晰之度，因之改良。又有一種 X線球，其對陰極板係安一種所謂焦點環 (focusing ring)，其法以銅製之相環，置於對陰極板之前 (見圖 23)，環與對陰極板，則以金屬連接之。其目的所以防止焦點之游移不定，致界限因之模糊。

(e) 對陰極板之澆冷 對陰極板之發熱，現時所用之管，多以水 (圖 17) 或急流空氣澆其背面以制止之。若密勒氏之『沸管』則水可令沸騰 (圖 18)，有若干管，並無冷卻裝置，而其對陰極板在赤熱時尙能繼續使用者。又有增加對陰極板之體質 (massiveness) 藉以減

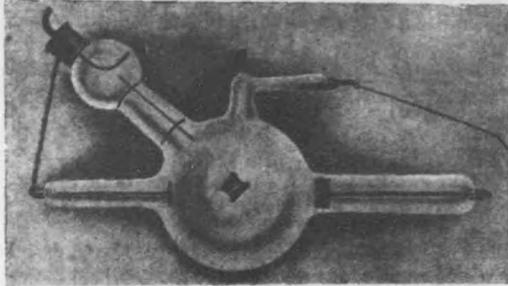


圖 17. 氣體X線球，具有引水冷卻之對陰極板及自動致柔之裝置。

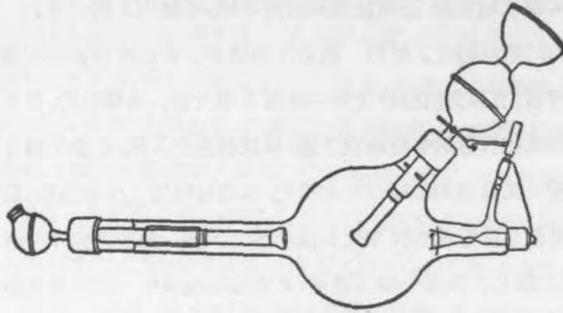


圖 18. 密勒氏之沸管，水可令其沸騰，俾對陰極板之溫度，保持不變。

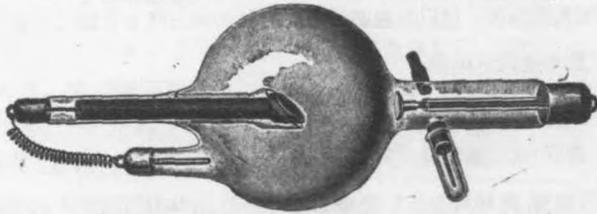


圖 19. 氣體X線球，具有厚重之對陰極板及滲透致柔之裝置 (Osmosis softening device)。

低其溫度者，如於鉛板或鎢板之後，墊以銅或鎳或鐵之類是也(圖19)。

有時對陰極板所用之支住物體，達於管外，而於其處安設鑄狀之輻射體(圖20)，此亦致冷之一助也。

安得維斯(Andrews)復思得一法，係用金屬鉗一副，以令對陰極板之變冷。其法用一薄銅管，一端封閉，與鉛製之鶴相附著，管之他端，中介以鉛製之帶，與管之玻璃銲接，如是則銅管之內部，外向空氣。如以一副金屬鉗置其空隙處，則對陰極板之體質，因之大增。

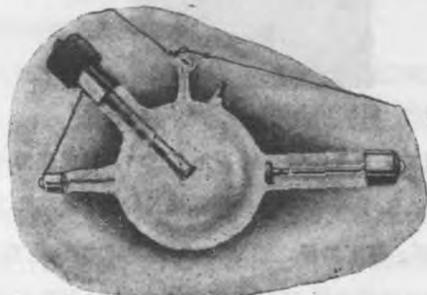


圖 20. 具有自動致冷裝置及鑄狀輻射體 (fin radiator) 之安得維斯氣體球。

陰極線所撞擊之點，橫直不超出 1 或 2 耗以外。放電濃厚時，則生熱極速，且常限於一處，故對陰極板於其處常致鎔化，而其他部則否。圖21，係鑄製之對陰極板，經瞬時之濃厚放電，於其焦點處所攝取之顯微照片(係本格丁魯(Mr. J. H. Gardiner)所攝之照片)。蓋該處之金屬，因生熱而致液化，其鎔化者，被吹出後，聚而成邱，故電流停止後，遂即凝結而呈如是之狀態。

格丁魯 (J. R. S., 1909) 用一小磁石, 移徙陰極線於對陰極板之其他部分, 因試得對陰極板之壽命, 得以延長, 而照片明晰之度, 絕無傷害。



圖 21. 鑄製對陰極板當焦點處鎢化時之顯微照片

§ 25. 苦里幾氏之 X 線管 於一九一三年, 苦里幾博士 (Dr. W. Coolidge P. R. Dec. 1913) 新製一種 X 線球, 其精到之處, 於本問題極關重要。該器特異之點, 則在氣體之壓力極低, 故其遺留之氣體, 對於球內逸洪之量, 不佔若何重要之部分; 其電子之來源, 即其白熱之陰極。此種陰極, 係一扁小之鎢絲螺旋線, 圍以鉬製之管, 二者連接令其通電。鎢製之螺旋線, 另用補充之電流以增其熱度 (與溫勒爾陰極同, 見 § 4), 是即電子 (或陰極線) 發源之地, 其多寡之量, 隨溫度而驟增加。鉬製之管, 係令電子悉匯集於對陰極板上之焦點。對陰極板亦為鎢製, 且尋常甚重, 而陽極卻無添設之必要。

管內真空之程度甚高, 與尋常 X 線管約高 20 倍, 故陰極非加

以熱，則放電不能通過管中。再者排空氣體之際，於其未封閉以前，尤須除去兩極及玻璃壁上遺留之氣體。

因排空異常注意之故，管之發動，雖經數小時之久，其真空之度以及 X 線之強度，似不顯若何之變更。焦點所在之點，並不飄游，其大小亦無變動。

X 線之強度，視陰極之溫度而定，故陰極之溫度，貴能操縱自如。在高溫度時 ( $2800^{\circ}\text{C}.$ )，X 線之產額甚巨。如為濃厚之連續放電，則管壁須用急流空氣以冷卻之。

X 線之透入能力，亦如氣體管，僅與極間之電位差有關。其所生之 X 線，甚為龐雜（見 §66）。對陰極板經濃厚或長久放電後，變為白熱。

因壓力太低之故，陽極線不負若何重要之任務，而陰極上之飛濺現象，因之不顯。管中略有煙黑之迹，當係鎢之氣化。

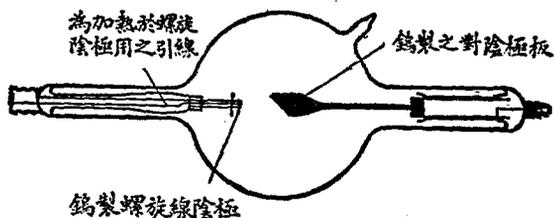


圖 22. 吉里漢氏之 X 線管

發動時與既發動後之電壓，始終一致，而尤堪注意者，則在管之玻璃，並不顯出螢光，如尋常 X 線管所示者也。故螢光之發現與

否，與線射之產額及其他任何能力之表現 (any activity) 了不相涉。又管壁所帶之電，係屬陰電，此點亦與尋常中儲氣體之球不同 (見§21)。

由對陰極板之所有各部，均有多量之X線放射而出。如以細孔照像箱 (pin-hole camera) 驗之，則知斜射之線，其總值約當由焦點發出之強度之六分之一。此項斜射之線，其為由次級陰極線之所發生無疑，如於鶴之前面安一適當鑿有小孔之帽，則其量因之大減。

近代『輻射』式之管，則鎢製之鶴，係嵌入於一粗重銅製之對陰極板內，其延出管外部份，安有鰭狀冷卻之裝置。此項管之本身，一如整流器之作用，可用交流電以發動之。最近新出之樣式，為便於攜帶，其管極小，具有 $\frac{1}{4}$ 吋厚鉛玻璃之壁，并安有鈉玻璃窗。又有一種為 200,000 弗特用之管，約長一碼，市上已有出售者。

苦里巒氏 (American Journal of Röntgenology, Dec. 1915) 復試得以流水澆冷對陰極板，則X線之產額大增。一管當 100 密里安培，70,000 弗特時，可繼續動作 65 小時之久。其他之管，可於 200 密里安培時，繼續動作，其供給之工率，為 14 啓羅瓦特 (kilowatts)。預期將來，此數當可增至 50 啓羅瓦特。

盧滋祜，巴雷斯 (Barnes) 及 瑞治生 (Richardson, P. M. Sept. 1915) 考得陰極當冷時，苦里巒管內真空所達之完全程度，可抵抗 175,000 弗特而不放電。如陰極加熱，則當施用於管之電壓比 10,000 較小時，雖任何之輻射，不能察見 (用電離法)。電壓加增，則

輻射之透入能力，亦因之加增，且迅速而極有規則。

當電壓保持不變時，則 X 線束之組成，以及吸收曲線之形狀，與通過 X 線管之電流，或陰極之溫度，均不相涉。試以溫昂斯特機及威應圈依次發動同一之管，則見電壓相同時，其所得之吸收曲線，實際上亦屬相同。

盧滋祐氏用苦里幾管所得最剛之 X 線，其所具之透入能力，約為錘 C所發出之最剛  $\gamma$  線者之半。雖用最高之電壓(175000弗特)，迨經過 3 耗厚之鉛後，則觀測所得之強度，比其始值之  $\frac{1}{10,000}$  猶小；故此等厚度之鉛，可予試驗者以適當之保護，以為抵禦苦里幾管所發出之 X 線之用。關於苦里幾管之其他各事，參閱 § 66。

§ 26. 史魯克氏之輕氣管 近代史魯克氏(H. C. Snook)所用之輕氣管，其所遣之氣體，係純輕氣 該器特異之點，則在調節管內之氣體壓力，即基於滲透法 (osmosis method) 之應用所特創之方法也。其法係因輕氣可通過赤熱之鉑或鈮，其方向係由輕氣壓力之較高處以趨於其較低處，而管之真空度，遂得施以調節。且此種擴散現象之發生，與金屬兩旁所存在之其他氣體無涉。史魯克氏所製之管，係兩只滲透管，密封之令與球內相通。如令管之尖端，與一鄰近之金屬極，致放電之通過，則兩滲透管，各可熱至赤熱，運用時至為迅速，且極便利。

其一調節管，通常以鈮製成，令與大氣相通。空氣中之輕氣，其量甚微，可不計及。故當此管加熱時，球內之輕氣逸出，真空度因之

增高。

其他之調節管(通常以鉛製之),係用中儲純輕氣之補充球以圍繞之,其內之壓力,殆與大氣壓力等。此管加熱之結果,則輕氣係向X線球之內擴散,而其空度因之降低。補充球內之輕氣,至必要時,得再充實之。

圖 23, 顯示史魯克氏之球及其兩滲透管。對陰極板係以鉛製成,在純輕氣之內,鎢之飛濺極少(見 § 41)。此外尚須注意者,對於同一之火花缺隙,則使用中儲輕氣之管,比之中儲空氣時較剛。

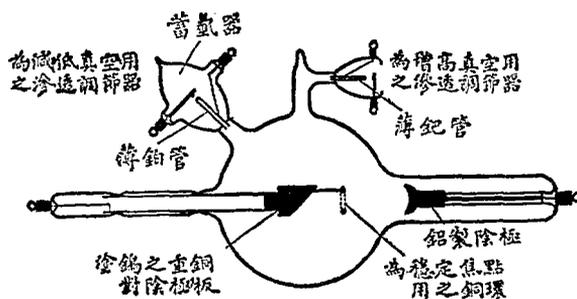


圖 23. 史魯克氏之輕氣管

§ 27. a. 金屬X線球 阿里孚羅於一八九七年曾有鉛製X線球之設計,其議迄未實行,岑德(Zehnder)(Elect. Zeit. Feb. 1915),苦里幾(A. J. R. 1915)及帥格保(Siegbahn, P. M. 1919)復描敘各種金屬之X線管,而其各極隔電之法,均係以瓷爲之。至新近市上出售之「美特利克斯」管(“Metalix” tube),則爲一金屬玻璃並製

之X線管。

b. 利林斐爾管(Lilienfeld tube). 利林斐爾管,創始於一九一三年,而繼加以變更,其內之陰極線,係由熱陰極連貫發生,經過一有孔之極,且於其未抵對陰極板以前,使其受總發動電位之作用。故該管在實用上,調度敏捷,可得極近單純性之線射。

§ 28. 對陰極板之斜度 捷克生教授 (Prof. Jackson)所定關於管之設計,係以陰極線匯集於對陰極板之上,而對陰極板與陰極線束斜成  $45^\circ$ ; 此項設計,現已通行世界,奉為不易之準繩矣,但有兩種缺點:

(1) 陰極線與對陰極板之斜度愈大,則X線放射之面積愈廣。雖X線之來源,僅求限於一點,事實上洵不可得,而放射之面積過廣,必於照片明晰之度,大有妨害。

(2) 如用感應圈以放電,則當「繼續」時之逆向電流,不能完全消滅,故此時由對陰極板所發出之陰極線,撞於玻璃壁上,致管常有刺穿之虞。

如安設對陰極板適與陰極平行,則陰極線之投射,恰與對陰極板正交,惟此時上二項之缺點,仍不能免。

克伊氏於其初步之試驗中,考得 (P. R. S. 1909) 管之產額,幾與對陰極板之斜度無關。球之螢光,係由對陰極板所反射之陰極線而起,如陰極線之投射角 (與法線所成之角) 逐漸增大,則螢光之所增加,極為顯著,但X線於其性或量上,俱不見有若何相當之

變遷。

§ 29. X線於對陰極板內發端之深度 多數觀測者，考得任根線於對陰極板內發端之平均深度，與所用之電位成正比例。韓梧 (Ham, P. R. 1910) 復考得以鉛為對陰極板，當電位為 21500 弗特時之平均深度，為  $5.9 \times 10^{-5}$  厘米。達輝 (Davy, P. R. 1914) 以鉍為鹵，試得平均深度當為 0.00004 B 厘米，此處之 B，為奔洛伊斯特氏之剛度號次 (The Penoit hardness number) (見§48(III))。

克伊氏又證得 (P. C. P. S. 1909) 用 1 耗至 1 厘米長之火花缺隙，當金或銅或鉛之厚度，為  $1 \times 10^{-5}$  至  $4 \times 10^{-5}$  厘米時，則發生 X 線，綽有餘裕。

以上所舉之距離，可與下列對於各種速度之陰極線完全『反射』時所必具之最小厚度相比較：

表 2.

電 位	金屬厚度	試 驗 者
11,000 弗特	$5.8 \times 10^{-5}$ 厘米 鉛	Warburg 1905
16,500 ,,	19.0 ,, ,, 鉛	,,
21,800 ,,	24.4 ,, ,, 鉛	,,
27,800 ,,	<6.6 ,, ,, 銅	,,
90,000 ,,	0.25 ,, ,, 鉛	Ham 1910

§ 30. X線之分佈 由普通 X線球所發出之 X線，分佈極不勻一。漢梧 (P. R. 1908), 博地爾 (Bordier, 1908) 及 格丁魯 (Gardiner,

J. Rt. S. 1910), 均謂於含陰極線束及對陰極板上之法線之平面內, 其循與法線約成 $60^\circ$ 之方向者, 其強度為最大 (參閱§54)。克伊氏對於循法線投射之陰極線所得之分佈曲線, 茲顯示如圖 24, 圖中循某方向之動徑 (radius vector) 之長度, 與強度成正比例。此外尚當注意者, X 線既循各向放射, 則因被吸收之故, 由對陰極板之背面所發出之 X 線, 必比由其前部較弱。

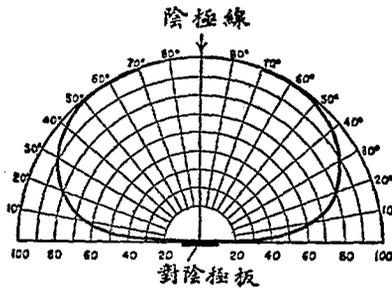


圖 24. 當陰極線循法線方向投射於對陰極板時 X 線分佈之情形

§ 31. 薄對陰極板 關於此點, 克伊氏以鋁箔, 銅箔, 金箔或鉛箔等, 各為對陰極板, 作種種之試驗, 以測其循前後兩方向所放射之 X 線。該氏所用之器械, 顯示如圖 25。實驗所得之結果, 則向前 (或復現 “emergence”) 之 X 線, 其強度及剛度俱超勝向後 (或投射 “incidence”) 之 X 線, 換言之, 即 X 線進行之趨勢, 期與發生 X 線者之陰極線取同一之方向也。如用鋁製之對陰極板, 則此尤為顯著。當鋁箔約 0.00001 釐厚, 火花缺隙為 1 至 2 釐時, 則復現之線,

其強度常二倍或三倍於投射之線。史沓克 (Stark, P. Z. 1909) 復用照像法, 試得以碳爲對陰極板時, 亦得同樣之結果。

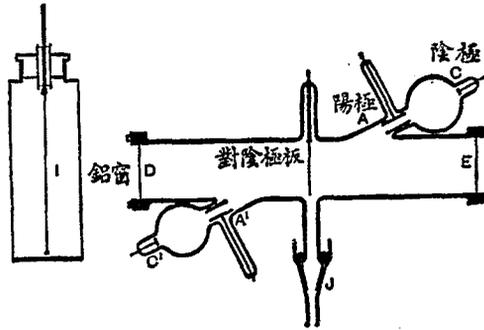


圖 25. 爲測定由薄對陰極板兩面所放出 X 線用之器械

如更進而考驗由薄對陰極板所發出之 X 線, 果屬單純與否, 當爲極饒興趣之一問題, 據吾人之所預測, 則特殊輻射, 必佔極大之部分。

## 第五章 高電壓之發動機

爲發動X線球用之電壓，如爲輻射照像及表面治療之用，約達100,000 弗特；如爲深層治療及金屬輻射照像之用，須達200,000 弗特以上。此項高電壓之發動機，可分爲下列各組：

- (1) 感應起電機(influence machines),
- (2) 感應圈(induction coils),
- (3) 升高變壓器(step-up transformers)。

§ 32. 感應起電機 起電機現時最通行者，爲溫島斯特式 (Wimshurst type) 之感應起電機，法德美各國於發動X線多用之，但英國不甚喜用，或係氣候不同之故耳。新購之起電機，如爲發動X線之用，初時頗少適用者；故應用時，應由機械上及電氣上之觀察，予以再度之設計。如旋轉之板，係由玻璃製成，則須除去過量之鹼，(alkali)，因其在潮濕之天氣，致使表面導電也；至尋常爲窗戶用之玻璃，則完全不能適用。去鹼淨盡之玻璃，現時已能製得，如用於莫西克凝集器 (Mosicki condenser) 之玻璃之類是也。此種玻璃，不宜依通常習慣，塗以洋乾漆 (shellac)，因洋乾漆爲略吸濕

氣之物體，雖比劣等玻璃為較好之絕緣體，但終不及上等玻璃也。此外并須時加留意，以免無意時手指按於板上。

硬膠 (ebonite) 所製之板，比之用玻璃時便利之點頗多，蓋因起電機以巨速旋轉時，硬膠實較穩妥耳。但硬膠繼續受歧出箭狀放電之曝射，常致損壞，此則或因臭氧 (ozone) 發生之故，因此時臭氧之發生，其量極夥，此亦為其大受非難之點。

所用接引之線，須用極粗或套以橡皮之線，不宜令其有尖端及過大彎曲，且愈短愈妙，否則由箭狀放電所漏耗之電，其量甚多，不可不防止之也。當 X 線球用起電機發動時，於其球之兩側，須用順序連接法，各安設一極短之火花缺隙，或一個萊頓瓶 (Leyden jar)，以防電量不當之消耗。

具多數圓板之起電機，當工作順利時，其所放出之 X 線，極為穩定，且其電流常循單一之方向，而對於對陰極板之損壞，亦不似脈動電流 (pulsating current) 或交流電之甚也。

由溫昂斯特特機所得之電壓，與圓板之速成正比例；苟非有漏耗之放電，則所得之電位，理論上可增至無限。溫昂斯特式之起電機，其特別之點，則在所得之電流，幾與電壓之無關係。如增多圖板之數，則電流之產額，因以增高。如將用以支住毛刷之棒之傾度，加以變更，則電壓之高下，隨所制取；調節電位些須之變更，則用針端之火花缺隙，頗屬有用。

但如上之所述，起電機既具種種之特性，復因其不甚可靠，致

試驗者於發動X線時，不敢輕用。例如置起電機於玻璃匣內，有時該機完全不能動作，但不用玻璃匣，則該機將吸引近旁所有之埃塵，而須時加掃滌，頗屬不便。再者各種起電機，於其停止或再發動時，常有反其電量之習慣，故有一種起動機，特設計以消弭此類作用者。

此外尚須注意者：溫昂斯特機所發出之陰極線，雖屬單純，但結果所生之X線，並非單純。

關於起電機大規模之設計，現已告成功者，則有美國哈爾斯特 (Hulst) 之起電機。該機所用之圓板，其數約五十，直徑頗小，俱係以壓緊之雲母 (mica) 製成，再以電動機推動圓板，令其以巨速依垂直之軸而旋轉。此類起動機，可輸送 15 至 20 密里安培 (註一) 之電流於X線管，而所發生之X線，其強度與用感應圈當電流加倍時所得之強度相同。但該機動作時，聲極嘈雜，且因板之旋動過速，尤易發生危險。

費拉 (Villard) 及阿卜若罕 (Abraham, C. R. 1911)，復描敘一種較小之溫昂斯特式起電機。該機圓板之數約二十，每分鐘可旋轉1200至1400次。圓板係由硬膠製成，橫直約70釐。其最大之電流為3密里安培，最高之電壓約320,000弗特，而其最長之火花缺隙約55釐云。

實驗家有以溫昂斯特機動作於不透空氣之匣，而用壓力排入

---

(註一)一密里安培，為安培千分之一。

空氣或碳酸氣於其內，頗見成效者。其本意本所以減除因管狀放電所遭之損失，但因動作甚感困難之故，最近所通用溫易斯特橫之樣式，遂又轉用不加封閉者矣。

§ 33. 感應圈 近數年以來，製造感應圈者，益自鼓勵，以應試驗X線者特殊之急需。其於設計上及動作上改良之點，與各種升高變壓器之互相角勝，不無幾分關係。今日所用之感應圈，比之五年前所用者，已有軒輊之分；各部配置之標準，日新月異，而各製造家設計不同之處，則關於各自愛好之不一者為多，而以理論為根據者反較少也。

先時之製造感應圈者，其精神貫注之處，全在獲得較長之火花，而現時為X線工作之用者，則火花（兩尖端間）雖僅 10 至 16 英寸之長，只須火花為一『肥碩』fat 之火花，並循單一之方向，即已躊躇滿意。（惟深層治療除外）所謂『肥碩』火花者，即謂濃厚之電流，甚強之X線，而合於輻射照像者之用之火花也。蓋輻射照像者，為多種工作之用，其曝射之時間，須屬甚短，如火花過長，則線之透入能力過強，反不合用。較近新出之感應圈，雖正圈內之電流較小，逆向電流極微，而其通過X線管之副圈電流有能上躋 60 密里安培者矣。

雖為最好之感應圈，一如變壓器，其效率並不甚高，約在 30 至 50% 之間。如不用直線式之鐵心，而用完全閉合（環狀）之鐵心，以減輕磁氣之漏耗，則效率常可增大。但其困難，則在用閉合之鐵心，

失磁性不與由感應圈放電所得之間歇電流，(intermittent current)，同時發現，此亦為其類受非難之點耳。惟此項非難之點，不適用於真實之交電流，因其可得一完全之反向也。

### § 33a. 附正圈電流及副圈電流之波形

多數試驗家，常應用一種攝波器(oscillograph)(註一)，以考察當連續器之每次間斷及每次連續時感應圈所生電流及其電位之波形。圖 26 係一種 13 英寸之感應圈發出 10 英寸之火花時，其正圈電流一續一斷時攝波器所得之紀錄。其所用之阻斷器，為錄油阻斷器。當電路初完成時，

電流為零，其強度繼續增加，甚為陡峭，以迄於電流間斷為止。由是電流復降為零，歷時不過  $\frac{1}{1000}$  秒。有時曲線上升之部分，其曲率較之圖 26 所示尤為顯著。如



圖 26. 感應圈正圈電流一斷一續時攝波器之紀錄圖

予以縝密之觀察，則見重疊顯於主要之電流上者，皆屬極為迅速之振動，是即凝集器之所發生。韋爾生(W. H. Wilson, P. R. S. 1912)復細加研究，因知當此種振動次數最多之振動，特別顯著於正圈電

(註一)攝波器之主要部分，係一種抵抗頻低而其線圈可以運動自如之電流表，但其匝數較少，而其運動之時間甚短。

流之內時，則由是項之感應圈，常可獲得較長之火花。觀於圖 27 所示，甚屬昭然，振動最速者，其振動率每秒可達數千以上。

關於副圈電路之研究，達德爾 (Duddell, *J. Rt. S.* 1908) 考得該項之放電，係屬多組強被抑止驟起驟滅之獨立衝動。波之相連兩組相間之時間，比之每組實在經歷之時間較長，因每組實在經歷之時間，以位計之，不過為  $\frac{1}{1000}$  秒也。圖 28 所示，係表示 X 線球當中等真空時所顯之狀態，上圖表明電流，下圖表明電位，表明電位之曲線其上部之尖峯，係為勢將循正當方向輸送電流於其管者之電位：其較小而較寬倒置之尖峯，則為逆向之電位。最大之直向電位，約為 60,000 弗特，最大之逆向電位，約為 33,000 弗特。至表明電流之曲線，與表明電位之曲線，亦頗相似：且少量之逆向電流，亦約略可辨。

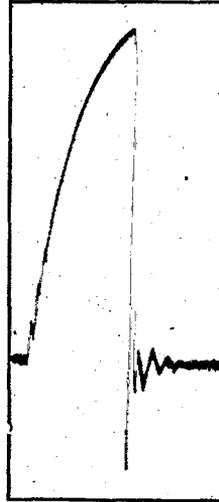


圖 27. 振動率最高之振動特別顯著於正圈電流時攝波器上之紀錄圖

圖 29 係用一種為糾正用之火花缺隙，插於電路內所得之狀況：依如是之裝置，則羣所憎惡之逆向衝動，得以剷去，其理至為顯明。但吾人已知現時供給於 X 線球用之直向電位，其最大值為 39,000 弗特。審如是，則約有 21,000 弗特之電位，消耗於火花缺隙之內；由是證之，則是火花缺隙之處，必有能力之損失，如果能完全

不合逆向電流之發生，則甚願將火花缺隙，避而不用。

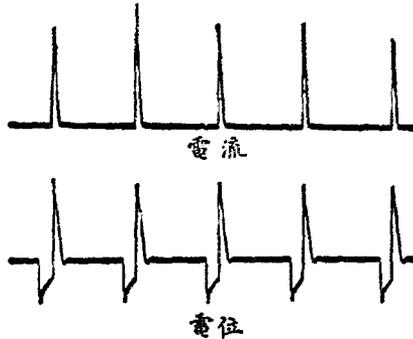


圖 28. 感應圈副回電路內各列衝動顯於攝波器上之紀錄圖

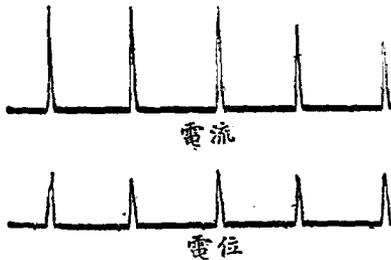


圖 29. 上項裝置插入為新正用之火花缺隙時攝波器上之紀錄圖

§ 34. 閉合鐵心之升高變壓器 (closed-core step-up transformers.) 約在一九〇八年，選定高電壓之升高變壓器以為X線工作之用者，首推史洛克氏(圖30)，自是而後，試驗X線者，多採用之，而對於瞬息輻射照像，尤多喜用之者。此項機械，大體上不過係一乾燥或油浸之升高變壓器，而由一種交流器(alternator)供給以

交流電流。由變壓器副圈所發出高電壓之交流電，係用一種可以旋轉而其極遞變之開閉器(a rotating pole changing switch)以糾

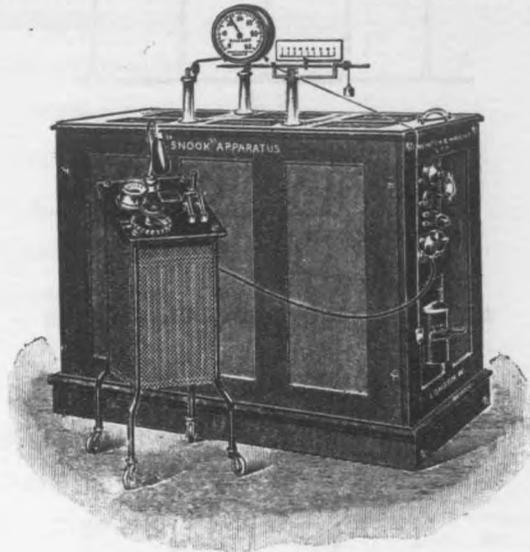


圖 30. 史洛克氏高電壓之變壓器

正之。為保持糾正時所必需之完全同時性(perfect synchronism)起見，換向器(commutator)與交流器須安置於同一之機軸 shaft)上。結果所得之電

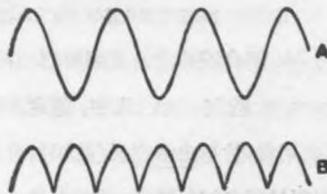


圖 31. A. 正弦狀之交流電  
B. A 經糾正後所生之脈動電流

流，倘非勻一，但顛動如 B (圖 31) 所示，而其量可任意變易於  $\frac{1}{2}$  至 100 密里安培之間。

閉合鐵心變壓器之效率，約為 90%，幾二倍於感應圈。且變壓器之產額甚鉅，易於管理，無用繼續器之必要，尤為其有利益之點。反之，購辦時之費用，約二倍於相當工率之感應圈，而其修理費用，亦自較昂，為其美中不足耳。

對於閉合鐵心變壓器所產生之蜿蜒屈折狀之電位曲線 (sinu-soidal potential curve)，與感應圈所產生之高峭尖峯 (見 §33a)，兩者比較，孰為優良，議論倍極紛紜。多數試驗家之意見，則覺對於用吉里幾管，以變壓器裝置為適當，對於發動氣體管，以感應圈裝置為合宜。前者適用於輻射照像術，後者則適於輻射治療術。

攝波器及 X 線分光表對於 X 線發揮之點頗多，讀者參閱克伊氏 *Practical Applications of X Rays* (Chapman Hall) 一書可也。

博斯氏 (Boas) 於一九一一年實施以蜿蜒屈曲狀之電流輸送於變壓器正圈內之試驗，係應用一種特別設計之交流器，令其發出極不對稱之波形，使其一面為突起之高峯，而其他面為幾被鏟除之小環 (註一)。是項計劃，實驗已有成效，但應用上迄未推行。

電位保持不變之裝置，其利益業已公認。是項裝置，係將變壓器之交流高電位，加以糾正，而用適當之舌門與連合凝聚器，使其平滑。

---

(註一)事實上於每度反向之後，僅須令鐵心失其磁性即可。

§ 35. 阻斷器及斷續器 (breaks and interrupters) (a) 錘形阻斷器 (the hammer break). 錘形阻斷器, 爲先代感應圈配件之一, 迄今日而益加改良, 於其振動週期及機械上之堅實二層, 尤屬特別注重。較近新出之式樣, 若僅爲較小產額之用, 如用一種柔X線管之類, 則穩定一層, 比之於其他斷續器, 較爲適用。但爲較大產額之用, 則錘形阻斷器, 實不合宜: 因其運送濃厚電流時, 不免放過甚之火花, 且白金亦不免有崩壞之慮, 於工作之穩定及經濟上, 均有妨礙。

錘形阻斷器之振動率, 每秒決不能達 200 次以上, 且常較少: 用較大之感應圈, 則振動率或低至 25 至 30。是故其他種種之阻斷器, 嗣多採用之。其最著者, 則爲電液斷續器, 及以原動機發動之水銀阻斷器。

(b) 溫勒爾氏之電液斷續器 溫勒爾於一八九九年轉而研討費阿爾氏 (Violle) 一八九二年觀察之結果, 遂製成一種斷續器, 現時多樂用之。其構造之大要, 係以兩極浸於稀硫酸中 (註一), 陰極爲一大鉛板, 陽極爲一個或多個鉑製之尖端。陽極浸於液體中之深度, 係由繞於鉑製尖端之磁套以調度之 (圖32)。

欲得強有效率之適當斷續, 則電流須在一定界限以內; 太小 (約 10 安培以下), 則僅有尋常電解之現象發生, 太大 (如 40 安培以上), 則分極現象 (polarisation), 因之大增, 以致電流停止, 陽極

(註一) 密度爲 1.2 時最爲適宜, 有時或更加少許之磷酸鉍。

變為白熱，且或作噝音，崩解於液體之內。惟電流適宜時，則陽極繞有紫色之光，一斷一續，常聞爆裂之聲，是亦為此種阻斷器不滿意之點（註一）。又電液阻斷器，如電壓過乎 80 至 120 弗特之間，則完全不能動作；其產額比之其他各種阻斷器較大，但逆向電流頗甚，X 線管因之常受影響。

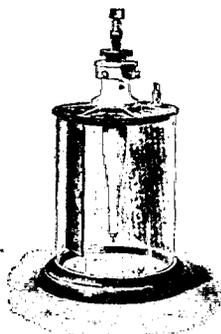


圖 32. 溫勒爾氏具單個鉛製陽極之斷續器 (Siemens)

關於此項阻斷器之作用情形，意

見極不一致：其最普通之解釋，則以為該器之一斷一續，皆因逸出之氣泡，依一定之週期，遞次脫離或蒙蔽於陽極之上，但此尚不適應於一般之狀況。此外尚有其他之要素，亟須注意：如陽極尖端之大小，電流之強弱，酸之濃度及溫度，線路之感應係數 (inductance) 及其容量等等，皆足影響該器之斷續。坎卜通 (Campton, P. R. 1910) 復考得是項斷續器，亦與尋常錘形阻斷器相同，即電路間斷時，常較繼續時為速。

溫勒爾之阻斷器，常須順其性而略予遷就，當酸變溫暖時，動作常較前為好，此種狀況，在實用上固常見之；實則經長時間之使用，為新得成有規則之斷續起見，則酸之澆冷，頗為必要，如用一種以水澆冷之鉛製螺旋管是也。該器之一斷一續，極為迅速，如陽極

(註一)現時多有安設一種止音器 (silencer) 於該項阻斷器者。

之尖端甚小，則振動率每秒可至 1500 至 2000 次；有時即用甚大之電流，其振動率亦可達 200 次。今試（1）減小陽極之尖端，（2）增高酸之溫度，（3）減少線路之自己感應，(self-induction)，則見振動率均為之增加。但有時若干自己感應，仍屬必要，否則該器之繼續，勢將中止。於電液阻斷器插置凝集器一具，並無利益，且阻斷器自己一如凝集器之作用，如再另用凝集器，則於阻斷器之動作，反有損害

電液阻斷器，尙有他種之樣式，而其兩極均係鉛製者（圖33），惟有一極係用磁筒圍繞，磁筒上穿有多數細孔，氣泡即於其處發生。此項阻斷器，對於電流強弱，不能任意調度（註一），但其逆向電



圖 33. 溫勒爾氏以鑿有細孔之管，繞於鉛製陽極之斷續器(Schall)



圖 34. 孫勒克斯氏(Sanax)之水銀石蠟阻斷器

（註一）依克爾德韋爾史溫吞(Caldwell-Swinton)所製之樣式，則圓筒僅鑿一單孔，孔之大小，可以調度，而電流因以變更。

流常較小。又此種阻斷器，對於交流電頗稱便利，其最堪注意者，則其振動率常與所供給電流之振動率相等，而與阻斷器其他所能加以制取之各事無涉。

(c) 水銀阻斷器(mercury breaks)。此項阻斷器，奇形詭製，市上出售者頗多，其中有數種，係普通所最通用者。

該器動作之大要，係應用一種原動機(motor)自上或自下發動。其最早出者，則用一種下投器(plunger)急速浸於水銀槽之內。較近之樣式，則以水銀噴射於多列急速旋轉之金屬車翼上，因更迭以斷續正圈內之電流。今舉兩種水銀阻斷器，顯示如圖 34 及圖 35。

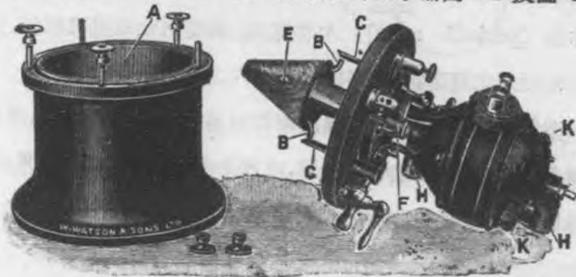


圖 35. 水銀——氣體輪轉阻斷器 (又見圖 90)

該器較早出之樣式，則旋轉各部，係浸於石蠟油(paraffin oil)或木精火酒(methylated spirit)之內。惟用是項二種液體時(用石蠟油時尤甚)，水銀常易凝成乳質，故宜時加掃滌，消耗頗甚。

近時通用之水銀阻斷器，則多用 1 至 2 氣壓下之煤氣或氫氣。此項阻斷器，不必如用液體以為隔電媒(dielectric)時之宜勤加洗

絲，且常較爲可靠而較經濟。塞羅孟孫氏 (Salomonson) 並應用一種攝波器，考得 (*J. Rt. S.* 1911) 以氣體爲隔電媒時所得之火花，比之用液體時較強，而其即於抑止，亦較迅速。且使用氣體阻斷器時，凝集器所需之電容量，比之用石蠟油或火酒阻斷器時較小。

多種感應圈，如用是項以原動機發動之阻斷器，於其旋轉較速時，能令較爲濃厚之放電易於通過。水銀阻斷器之設計，須使電流『間斷』之時間，長於其『連續』之時間，此點實較溫勒爾氏之阻斷器爲優，因後種阻斷器『連續』之時間，等於『間斷』之時間，致於鐵心之失磁性，頗有妨害也。如用具高速之阻斷器，則予X線球以週期之休息 (periodic rests)，大有裨益。爲達到此種目的起見，常另外插入低速之阻斷器，順序接於正圈內之高速阻斷器。

多數試驗家，常選用水銀阻斷器以爲一般之用；但爲濃厚放電及瞬息工作之用，則電液阻斷器，或難比美也。又水銀阻斷器，可任意施以制取，其最稱合用之樣式，則動作時并不受電流及電壓之限制。

§ 36. 整流器及舌門管 (rectifiers and valve-tubes) 由試驗X線者之觀察，感應圈之主要缺點，在其不能輸送循環一方向之電流：電路連續時之逆向電流，對於X線管，大有損害，故必須鏷除。

爲鏷除逆向電流起見，於線路內可採用一爲尖端一爲平面所成之火花缺隙，蓋尖端帶陽電時，比之帶陰電時火花較易通過也。此本係舊法，其效率常不甚高，而當電流甚大時尤甚。通過之電流

愈大，則所需以為調整用之火花隙愈長。電位約為一密里安培時，則一釐或一釐以上之火花長度，頗為適宜。

查德爾 (Duddell, *J. R. S.* 1908)考得用一尖端之陽極及當一定之火花長度時，杯形之陰極，比之平面陰極可調整較大之電流；平面之陰極，比之球體陰極可調整較大之電流。查德爾氏於是製得一種專為整流用之火花隙，係於其尖端陽極，圍繞以中空之球，并令尖端由安於木塞內之玻璃管通入球內(圖 86)。先安設整流器一具，令與 $\times$ 線管循序相接，次用反向之整流器一具，令與 $\times$ 線管平行相接，依如是之裝置，則其效率必常甚大。

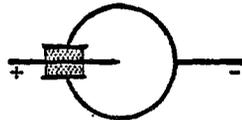


圖 86. 查德爾氏之火花隙

為多種工作之用(用電液阻斷器時尤覺顯著)，則舌門管之效率，常比火花隙較高。舌門管者，係屬一種甚大之鋁製陰極，通常為螺旋線形，安設於排空之球內者也；其陽極頗小，係裝置於狹小之側管內(見 § 22)。此原係費拉氏 (Villard) 之設計；阿里孚羅幾 (Sir Oliver Lodge) 復加改革，其陽極係由鐵絲製成，而圍以銅箱(圖 87)，蓋一以防止玻璃壁之飛濺現象，一以增加該管對於逆向電流之抵抗(見 § 37)。

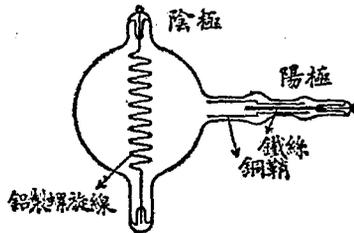


圖 87. 羅漢舌門管之幾面圖

羅幾管之特點，在其不因使用而漸變剛，但他種樣式之舌門管，則久經使用，常易變剛，如壓力過低，且更不能再加調整，於是致柔之設計，頗屬必要。又舌門管只於壓力一定區域之內，具有相當之效率。

溫勒爾氏之舌門管，係應用一種熟石灰所製之陽極（見§4）。令此管與X線球順序連接，則感應圈之放電，僅能循單一之方向通過。至米勒爾氏（Miller）之圓板舌門，則係用純雲母製成鑿有細孔之圓板，以一絕緣棒安於為推動斷續器用之原動機之同一機軸上，使之相隨旋轉。安置是項圓板於高電壓之線路內，則僅能令電路「間斷」時之電流（但非連續時之電流），通過小孔之內。

對於濃厚電流之實驗，則以複式舌門管（圖38），順序及平行與X線球相接，甚為適宜。

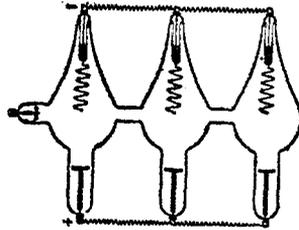


圖38. 複式舌門管

此外尚須注意者，則當此等舌門管動作時，多亦發出X線，故對於試驗者須予以必要之保護。

## 第六章 氣體 X 線球之剛度

§ 37. 影響氣體 X 線球之剛度之各要素 由一種 X 線球所產生之 X 線，其剛度僅與極間之電位差有關，而影響此種電位差之主因，就氣體管而論，則不外下列各種：

(1) 變更球內真空之度，此大多數公認之方法也。壓力愈低者，其所需之電壓愈高，而 X 線愈剛。發生 X 線之生效壓力，(effective pressure)，其區域甚廣。但亦可利用其他之方法，並不關乎氣體壓力之變更者。

(2) 插入一種火花缺隙或舌門管，順序與 X 線球相連接，則管因之變剛。溫克門 (Winkelman, A. D. P. 1900) 復考得用甚柔之球，則火花缺隙，須置於陰極與感應圈之間。當壓力較低時，則火花缺隙之位置，無關緊要。

(3) 用退斯拉電流 (Tesla current) 或其他電位甚高之電流，則管愈以變剛。退斯拉電流者，係用一種浸於油內之特種變壓器，使感應圈內副圈之電流電位升高時所得之電流也。

(4) 令兩極接近，則管益以變剛。

(5) 變更管內之氣體。於同一壓力之下，管儲輕氣時，比之儲空氣時較剛，而儲二氧化碳時，比儲空氣時仍較剛也。換言之，為產生同一剛度之X線起見，使用中儲空氣之管，比之中儲輕氣或二氧化碳時，其壓力須較低也。

(6) 增加管內電流之密度。求達此種目的，可用下列之方法：

(I) 增加正圈之電流。

(II) 減小陰極之大小。陰極用細線製成之管，比之用大小適中之陰極，易趨於剛。

(III) 減小管之大小。温克門於一九〇〇年，用各種大小不同之管，試得用5耗直徑之管，當內儲空氣時，可得壓力為水銀柱10耗高之X線。如用10耗直徑之管，當其內儲輕氣時，則得壓力約為水銀柱30耗高之X線。如作管過狹，則喪失其變剛之作用。

(IV) 減少陰極與X線管二者間之空隙 (clearance)。如圍繞陰極之空間，加以限制，則放電之通過，甚為困難，已於 §20 言之詳矣。故令陰極由球之正身，退處於側管之內，則放電因之變剛 (圖 39 及圖 40)。如用平面之陰極，則結果亦與用凹面陰極時相同。總之如陰極依此法封置於管內，則其曲率須甚小，此則可斷定

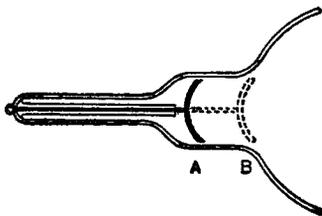


圖 39. 陰極由 B 退至 A 處，則放電因之變剛。

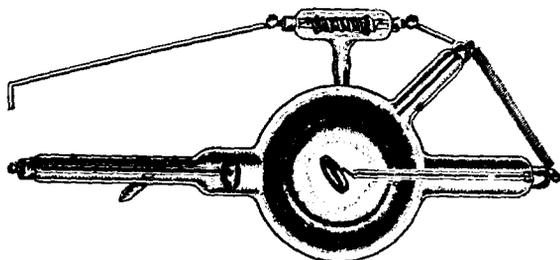


圖 40. 柯塞氏之埋玻璃球 (具有陰極可以後退之裝置)

無疑者也。本此原理所製成陰極可以移動之管，坎伯爾孫文通於一八九七年敘之甚詳：該管現存於 South Kensington 博物院之任根學會 X 線管收藏所。孫文通復有一法，係用一玻璃套，套之一部分甚狹，可滑動於為支持陰極用之玻璃棒上 (圖 41)，其他之部分則頗闊，與陰極成一箱套，而突出於陰極外之距離，得以任意變更。溫勒爾 (D. P. G. V. 1903)

考得依此項裝置，可令交流缺隙，變更達八倍之多。費丁吞 (P. C. P. S. 1913) 復考得於一定限度之內，箱之突出於陰極外之距離，與所需發動 X 線球之電位約成正比例。

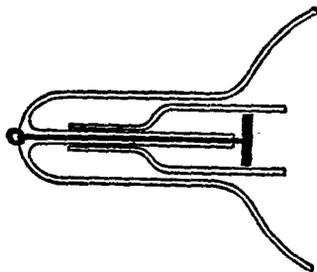


圖 41. 陰極上安有可於調度之玻璃套，以變更放電之剛度。

據果爾斯泰之說 (D. P. G. V. 1901)，則變剛之作用，係因圍

繞陰極之玻璃，由陰極之漏電，遂帶陰電之所致。因近陰極之玻璃，帶有陰電，故陰極線放出之後，悉被排斥，而退集於陰極之中心，遂成集中之陰極線束。如是則管之電流密度，及其生效之阻力，因之大增，而管益以變剛矣。如鄰近之玻璃，被有飛濺之金屬，則此類現象，尤屬顯著。

因玻璃之帶電，故當放電通過之際，以手指按於近陰極處之管上，則手指下之玻璃，螢光燦然，而陰極線束，向吾人之手偏折。馬爾梯梭 (Maltézos, *G. R.* 1897) 復考得如以來頓瓶上之球，代替手指，則瓶帶有陽電，是為管之該部帶有陰電之明證(見§21)。故於管外適當之地，貼以錫箔若干片，則管之剛度，得以變更。

費丁吞考得上所敘述為變更剛度起見所用之玻璃套，因陰極所顯拒斥之作用，有使玻璃套向側管後退之趨勢，如削除玻璃套之一部分，則陰極線束常離其未經削除之部分，向外偏折。如用金屬管滑動於玻璃內之陰極上，則放電因之變剛，與用玻璃管時相同。就事實上言之，如將陰極完全換而不用，而於其處僅用金屬之圓筒，則見明晰之線束，仍沿圓筒之軸，放射而出(見§23)。

§ 38. 氣體 X 線球之剛度因使用而遞進。用新成之氣體 X 線管，則發動放電之作用，首在使氣體之破裂。此項作用，經時尚可存在，多係由陰極放射而出之氣體使然。鋁內所藏之氣體，其量甚夥，大半為碳之化合物。而是項氣體，比之送於管內之空氣，較易再被吸收也。又 X 線管之內，對陰極板亦可發出多量之氣體：實則金屬

所藏之氣體，經陰極線撞擊之後，即行逸出，其效力最爲明著。

但經若干時之後，氣體之壓力，因放電後繼續之動作，漸形降低。其致此之由，爲自浦魯克氏 (1858) 以來羣起研究之一大問題也。其作用極爲繁複，促成之由，不一而足。越梯勒 (Ratner, *P. M. Jan.* 1922) 則以變剛之責任，歸之於金屬之極，其因不在氣體之被吸收，而在陰極上氣體表面層之存在，致將由陰極放射之電子，逐漸阻留。

但近時核爾氏 (Hill, *P. P. S.* 1912) 考得雖放電時，全去其極，而氣體被吸藏之現象，仍甚顯著，是則似可於管之玻璃壁，進求圓滿之解釋矣。坎伯爾孫文通 (*P. R. S.* 1907 and 1908) 由其實驗結果，遂斷定氣體實因放電之通過，驅入於玻璃之內。該氏復謂如令玻璃鎔化時，則是項氣體 (大半爲輕氣)，分離而成甚小之氣泡，在表面之下，約深 0.015 耗。據孫文通之說，則玻璃具此等之厚度者，爲陰極線通過玻璃最大之限度。準此，則此等作用，似與玻璃經陰極線長時間之撞擊後所顯之螢光疲勞 (fluorescence-fatigue) 有密切之關係 (見§8)。如玻璃被氣體滲透之處，用法磨去，則玻璃恢復其固有激發螢光之能力。核爾氏願嘗考得相似之吸收疲勞現象矣，如更進而將疲勞之表面，用法刮去，以考驗其繼續放電後氣體所被吸收之量，是否增高，亦極饒興趣之問題也。

核爾與維魯斯 (Willows, *P. M.* 1901) 之意，均謂放電管之變剛，係因氣體與玻璃間所起之化學作用。並由種種實驗，考得耶拿

玻璃 (Jena glass) 吸收之量最微，鉛玻璃次之，鈉玻璃爲其最著者。去鹼淨盡之玻璃，其吸收氣體之量之微，或較耶拿玻璃過之。故用鈉玻璃製成之球，於其排空之前，以蒸汽或沸水澆其上，以察其去鹼之後，是否影響於其剛度增進之率，頗饒趣味。

袁姆隨 (Ramsay) 及柯里 (Collie, *N.* 1912) 於一舊 X 線管帶深色之玻璃內，發見氦 (及少許之氖) 與氫 (註一)，此實予人以深省，因氦與氫之分子，其速度在分子中爲最高也。如處於放電之下，則其速可增至千倍，例如氫陽極線之平均速度爲  $2 \times 10^8$  浬/秒是也 (見 § 16)。果爾斯密 (Goldsmith, *P. R.* July 1913) 考得此種具高速之氫分子及氦分子，可透過雲母片由 0.001 以至 0.006 耗厚不等，而速度較低之氫或空氣或二氧化碳之分子，則遠不逮此。是則透過玻璃如 0.015 耗厚之距離，其速度當異常之大。至其究須如何之大，則可由下列之事實推求，蓋由鐳 C 發出之  $\alpha$  微體 (氦原子)，其透過玻璃深度，以 0.04 耗爲限，而此項微體之始速，約爲  $2 \times 10^9$  浬/秒，是十倍於上述之速度也。因量得之速度，僅爲平均之速度，故放電管之內，輕氣之分子，其瞬息之速度，或有遠過於此，足以透過 0.015 耗厚者矣。但無論如何，此類之解釋，終屬片面，而於各種不同玻璃之態度，不能解釋其顯著之差別。

然則吸收之現象，一部分當係氣體內由放電所起之化學作用，如近代斯東特 (Strutt) 證之於氮氣者也。再此種作用，或又因玻璃

(註一)但湯姆生考得各種物體經陰極線撞擊之後，則放出氫與氦。

表面上經高電壓之放電後，玻璃上發生一種電解之現象，使之益加強盛。如玻璃之溫度增高，則雖用中常之電位，玻璃立可電解，且因經驗之所得，而知放電現象，對於玻璃似有促於衰弱之作用，致此後關於吹管之工作，大有損害。蓋此種電解現象，對於凝結於玻璃及其他固體表面上之氣體薄層，或有一種顯著之作用，於此等狀況之下，則氣體薄層，或能吸收球內多量之遺留氣體。

如管壁因由極飛濺之金屬而致燻黑（見 § 41），則其剛度之增進，尤為顯著。蓋此類研細之金屬，其吸收氣體之性質，一如海絨狀之鉑，故管之所以變剛，大半職由此故耳。

§ 39. 氣體 X 線管之變柔 以火酒燈或氣體燈熱 X 線球，則管之抵抗，因之降低，此理發明頗早，但其結果所獲之便利，僅屬暫時，以後進而研求致柔之法者，頗不乏人；其法多係將插於管中之物質，如火漆，硫，赤磷等，各加以熱，此法昔時之試驗家多用之：威廉克格克斯於一八七九年，則用苛性鉀（caustic potash），以為此等之用。

各 X 線球所用此種吸藏之方法（occlusion method），多係設法裝置，令其自由動作。其法用一交流之小放電管，與球之正身相連（圖 20），如抵抗之增加，過一定之極限，則放電改遵其他之途徑，因而加熱於具吸收性之某物質，如儲於小管內（參閱圖 20）之石棉，雲母片或玻璃絲是也。此種物質加熱後，則氣體遂即逸出（大半為二氧化碳及水氣），致球之抵抗，又復降低，而放電亦遂恢復其固有

之途徑。但有時此種物質，放出全部有用之氣體，變為疲勞(fatigue)，則唯一之方法，祇須將管再行開啓(見§104)。

至近日令球變柔通常所用之方法，則為滲透法(osmosismethod)，是法於一八九八年，創始於巴黎之費拉教授(Prof. Villard)，於一八九九年，又經溫克爾曼教授及史緯貝爾(Straubel)兩氏之發明，與前法不謀而合。其法係用一端封閉用鉑製成或鈹製成之小管，嵌入於球之內，而未經封閉之端，則係向球內開(圖23及圖42)。

以燈近管，則少量輕氣，擴散於熱金屬之內，而球之壓力，恢復



圖 42 令輕氣進入X線球之滲透管

其應有之值。用鈹製之管，則其作用尤為顯著，故加熱時須加以特別之注意，否則其管過柔，不合實用。實則此種方法，除當放電正在通過時，決不宜用。

博爾舌門(Bauer valve, J. Rt. J. Jan. 1907)者，係令少量之空氣，送於氣體X線球之內，而為最近所採用之方法也。該舌門之構造(圖43)，係一粗磁所製之小圓片，片上有孔，空氣得以通過。尋

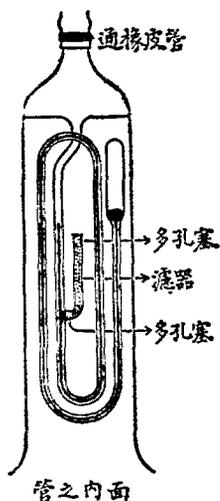


圖 43. 令空氣進入X線球之博爾舌門。濾器(filter)係用金箔所製，以為吸收錄滿氣之用。

常時之圓片，用錫密閉，但由空氣活塞之作用，可令錫全行退去，而圓片爲之暫時開啓。

§ 40. X 線球之變剛 如不幸而球變爲太柔，致不合用時，則唯一之所有事，除施以猛厲之排空外，須用一種極大之感應圈，使經極長時間之使用，令球漸以變剛。如循相反之方向（從陰極以至陽極），以輸送此項變剛作用之放電，則尤屬便利，惟此時對陰極板與陽極宜暫時不令相接耳。再施行此項動作時，放電之通過，須時斷時續，以避免玻璃壁在該地受過度之熱，致管有刺穿之虞。

令一輕氣管變剛之方法，已於 §26 詳述之。

## 第七章 X線球之燻黑

如X線球繼續使用，則內面因之變黑。此種變黑現象，就各點觀察，皆有損害：一則堆集之物，不僅X線管對於放電之抵抗，勢將增大，而其吸收遺留之氣體，且亦為之加速；二則放電時之火花，漫無規則，慣沿管壁經過，而不中經氣體；三則金屬薄層，常阻留最柔之X線。

變黑之主因有二，茲舉之如次：

(1) 當逆向電流時，因對陰極板（一如陰極作用）之崩壞或飛濺，又當直向電流時，因陰極之崩壞或飛濺。

(2) 係因壓力減低時，對陰極板因溫度之增高而致揮發。

§ 41. 陰極之飛濺 試驗放電管者，試得電位甚高之電流，通過於一種真空管，如其極為鉑製之極，則近於陰極之玻璃，常見塗鉑一層，殆如鉑鏡（圖44）。但陽極則此項作用，不甚顯著，或且無

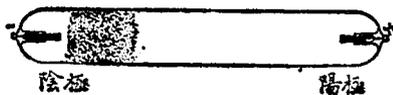


圖 44. 顯示陽極飛濺之狀

之。陰極飛濺之性質，各金屬皆同有之，惟其程度參差不齊耳。此種作用，於發明真空管最初之日，已注意及之：蓋斯勒 (Geissler) 及 浦魯克 (一八五八年)，皆於此深致意焉。

是故除陰極線及陽極線之外，更有從陰極放射而出，由金屬崩壞所成之微體。此微體似由陰極之面，循法線向前拋射，進行於一直線上。羣微體所帶之電，係屬陰電，一與對於陰極而帶陽電之表面相接，即易堆集其上。因氣體X線球之內面，常具陽電，故由陰極放出之微體，堆集頗便。

在尋常狀況之下，謂陰極之崩壞，於電流之通過，頗佔若何重要之地位，其說頗不盡然。飛濺之金屬，不與陰極線相類，如欲令其所循途徑偏折，致達可測驗之程度，則所用之磁場，必須甚強(2000 果斯或較大)。由此推求，則此項微體之運動，或甚迅速，或為多數分子之較大聚合體，二者必居其一。管內之壓力愈低，則所需之電位愈高，而微體之拋射，因亦愈速。陰極暗層之內，則不見有此項堆集之物。又飛濺之金屬，與玻璃相撞擊時，似不激起螢光現象。

陰極之崩壞，非為一單純之現象，故發生飛濺之微體，其正確之關鍵何在，尚屬疑問。但此似與陰極經陽極線之撞擊有關，蓋陽極線具有搗成碎末之性質，吾人固已注意及之也 (§16)。

由實驗之結果，證得由陰極所放射金屬之量，依下列各事而定：

(I) 陰極金屬之本態，

- (II) 陰極之溫度，  
 (III) 管內氣體之本態，  
 (IV) 通過管中之電流，  
 (V) 陰極處電位之降落。

(I) 陰極金屬之本態 威廉克絡克斯 (*P. R. S. 1891*) 首先於同一狀況放電之下，將各種金屬比較上之飛濺現象，作一有系統之研究。管中所遺留之氣體為空氣；其壓力與 6 耗厚之暗層相當（例如 0.05 耗錄）。如用感應圈以致放電，則於此等狀況之下，當尋常溫度時各種金屬重量比較上之損失，其結果如次：

表 3. 陰極之飛濺

(鈳 = 100)

鈳	100
金	92
銀	76
鉛	69
錫	52
黃銅	47
铂	40
銅	37
鋅	31
錘	10
銻	10
鐵	5
鋁	0
鎂	0

以上金屬之次序，並非不能掉換。如變更氣體之壓力，或氣體之本態，或陰極之溫度，則其次序均各受若干影響（例如變更氣體之壓力，可置鉑於金之上）。但上列之次第，對於普通用放電管，及特別用X線管者，均極有重視之價值。通常選定鉛為陰極之理由（註一），則因為剷除通過管內之逆向電流之用，藉以避免鉑製之對陰極板，其作用亦同於陰極，惟鉛垢以適應需要耳。但如謂鉛完全不致飛濺達於坩以重視之程度，其說亦未可信。今試考察舊X線球之陰極，則見陰極之中部面積，及附近之玻璃上，常有褐色之堆集物，可以證知之矣。

以飛濺為觀察點，則鎢係為製成一種最佳陰極之物質，據克伊（Kaye）之說，則鎢之性質，亦可與鎢比美。

(II) 陰極之溫度 克絡克斯考得如陰極之溫度，設法增高，如令放電經過之類，則多種金屬之飛濺，增加頗甚。如管係屬柔管，則由氣體流通之電流，因之愈多，而其極勢將變為極熱。陰極溫度之增加，與電流約成正比例。

(III) 管內氣體之本態 管內遺留氣體之本態，對於金屬所顯飛濺現象之程度，及堆集物之狀態，均有顯著之作用。氫，氮及二氧化碳，多不適上項之效應，而氧與鹵族原質（halogens）及單原子之氣體，如蒸氣，氫，氫，氖，氬及氙等，對於多種之金屬，均起顯著之崩壞現象。氬所顯之作用，在上述各氣體中最輕，但氬特為強盛，

---

（註一）蓋斯勒對鉑之飛濺，尚不逾坩以重視之程度。

如鋁，銀，鎳，鉑及金等金屬，於氫氣體中，皆可激起強度最大之作用。鋁在輕氣或淡氣中所起之飛濺甚微，但在養氣中略大。鐵在輕氣中，亦略顯飛濺之現象；銀與鉛在該氣體中，則飛濺甚為顯著。

漸得為X線管用最稱適當之氣體，則有系統之研究，誠屬必要。管中之氣體，由極遊離而出者，多係輕氣及二氧化碳。以鉑及鋁（及鎂）為陰極，則多量之氣體，放射而出，用鋁尤甚。關於此點，與調度X線球之剛度之各種方法，頗具重要之關係（§39）。用自由動作之吸塵法所引入之氣體，多係二氧化碳，有時引入少許之水氣。滲透法所引入者，為輕氣；博爾舌門所引入者為空氣。就飛濺現象而論，則輕氣與二氧化碳，似多便利之處，雖關於此點，意見仍極紛歧也。反之，一管因輕氣變剛之作用，致不穩定時，如令空氣進入少許，則管常能返於順利之流通，此點亦須注意。

(IV) 通過管中之電流 陰極之崩壞，隨通過管中之電流而增，有視電流之一次方而增者，亦有視其二次方而增者。

(V) 陰極處電位之降落 如所施於管之電位增加，則陰極之揮發，益為加盛，其控制之法，如將氣體之壓力降低即得。飛濺之現象，在低壓力時比之高壓力時頗為顯著，雖X線管在甚低壓力之下，其崩壞尚不如在略為較高之壓力下，當X線管流通較易時之十分顯而可見也。

圖 45 顯示壓力對於由各種金屬製成之陰極所顯崩壞之關係，查本於格賴魁斯特(Granquist, 1898) 所得之結果。

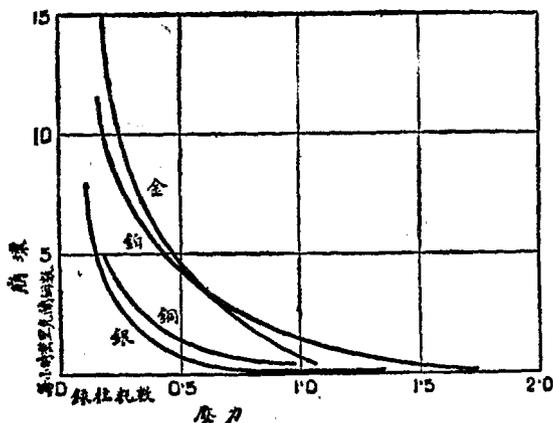


圖 45. 陰極之飛濺與壓力之關係

施於X線管之電位，其兩極間之分配，並非勻一。其較大之部分，係用之於陰極鄰近之地；至兩極間之中部，電位低降之率，尚屬和緩，近於陽極之處，則電位之低降又見。飛濺之量，視陰極電位之降落而定，氣體之壓力降低，則飛濺益為增劇也。於金屬變成逸洪，致其崩壞達於堪以重視之程度以前，則陰極處電位之降落，必須超過一定最小之值。霍爾崩 (Holborn) 及阿斯丁 (Austin, 1904) 考得各種金屬之臨界電位，對於多數金屬，約為 500 弗特。

§ 42. 對陰極板之揮發 對陰極板在焦點管內所能達到之最高溫度，盡人而知之矣。但對於多種金屬，於其融解點下之溫度所顯騰昇現象 (sublimation) 之程度，觀察者尚無精確之斷定。在

低壓力之下，日常所見騰昇之例，可於碳絲及鎢絲白熱燈漸被燻黑見之。此問題已漸促起多數試驗家之注意，其揮發之程度，係受下列各事之影響：

- (1) 金屬之本態。
- (2) 金屬之溫度。
- (3) 其外圍繞氣體之本態。
- (4) 氣體之壓力。

溫度增高，則金屬之崩壞，亦隨之驟增。鉑類金屬中之鉑，銦及鈹三種，當壓力減低時，其崩壞較少，且由確鑿之證據，考得此類金屬之揮發，決非僅經單簡之程序，當係吸收熱量之氧化物 (endothermic oxide)，於時發生，而此類氧化物，比之金屬尚易揮發也。為減輕此類金屬之騰昇，使達一極小之限度起見，其最要之所有事，係確保圍繞之氣體中，決無氧氣之發生。關於此點，各試驗家皆表同情者也。至氫，氮及氬，普通不利於崩壞。

用鈹及其他多種金屬，則壓力減低，於揮發頗利，一如真實騰昇現象之所預期者云。

表 4. 列舉關於各種金屬壓力對於沸點之影響，及氣化達可測驗時(多在低壓力下)之溫度。相當之融解點，亦附錄於後，以資比較。

下表係顯示各種金屬之溫度在融解點下時其氣化之程度。如於各種不同氣體之內，當在低壓力之下加熱於鉑，鎢，鈹等金屬，

表 4.

金 屬	沸 騰 點		揮發達可測 驗時之溫度	在1氣壓下 之融解點
	在1氣壓下	在真空內		
鋁	778°C.	450°C.	160°C.	320°C.
鋅	918	550	180	419
鎘	1525	1150	360	327
銀	1955	1400?	680	961
銅	2310	1600?	400	1084
錫	2270	1700?	360	232
金	2530?	1800?	1370	1034
鐵	2450	—	950	1530
鉀	2560?	—	1200	1750
銻	—	—	2500	2200
銻	2600?	—	1400	2290
鎢	3700?	—	1800	3200

以考察各金屬之揮發性，使成有系統之研究，則其範圍必極廣泛，而其結果對於用X線球者，實用上必有甚大之價值。其已知者，例如置鎢於養氣或水氣之內，而加以熱，則鎢極易崩壞，因即變脆是也。藍格米爾(Irving Langmuir)近復深考其因，以為當係氧化物之發生云。

§ 43. X線球久經使用後玻璃所呈之顏色 常用之X線管，玻璃上所顯之紫色，無論間接上或直接上，皆因從對陰極板所反射之陰極線所致。此種顏色，於對陰極板之前邊，最為顯著，如玻璃蔽以

金屬箔，則顏色即可免除。鐳線對於玻璃及石英，亦生同樣之影響，惟所入較深；陰極線對於岩鹽 (rocksalt) 或螢石 (flourspar) 之結晶體，俱生同樣之顏色。故此項作用，在各線射其性能或屬相同；而其現象與紫外光及日光顯於窗戶玻璃上紫色過錳酸之顏色，殆有相連之關係。此項所顯出之紫色，加熱後均可消除。

鉛玻璃之 X 線球，其顏色不為紫而為褐色。愛而斯特 (Elster) 及蓋特爾 (Geitel, 1898) 謂各種之顏色，係因該鹽類中已被還原之金屬微渣，其細為尋常顯微鏡所不能察見者云 (ultra-microscopic particles of reduced metal in the salt)。

## 第八章 X線之測定法

§44. 國際之鐳標準 依一般之旨趣，X線管之產額，其多寡之量，須立一種標準以測定之。爲達此種目的起見，一九〇九年，任根學會因即組織一委員會（以巴奇博士 (Dr. W. Deane Butcher) 爲書記），專司其事。該會首先議決舉辦之件，即關於輻射性標準之選定。此項標準，係依溴化鐳之 $\gamma$ 線之放射性而定，爲非禮蒲士 (Mr. G. E. S. Phillips) 所製備者也。一九一〇年九月，蒲穢素之輻射性學會 (The Congress of Radiology at Brussels)，因盧滋粘教授熱心提倡之故，復從事於此問題之研究，國際委員會遂即成立，並以盧滋粘爲委員長；於一九一二年三月，委員會集議於巴黎，選定以苦麗夫人 (Mme Curie) 所製備 21.99 密里克蘭姆之純氯化鐳，以爲國際之鐳標準，蓋置鐳於薄壁玻璃管內，以利用其 $\gamma$ 線電離之作用。國際標準，現保存於巴黎附近之塞孚 (Sevres) 萬國權度局，而其副標準，則凡需用各國，皆可取得之。

§45. 英國之鐳標準 英國之鐳標準，係 21.10 密里克蘭姆之純氯化鐳，曾與國際之標準，檢驗無訛，現貯於梯汀吞之國立物理

**實驗室** (The National Physical Laboratory at Teddington)。內儲之鎳鹽，係置於一小玻璃管之內，並用鉑絲嵌入，以散除其內累積之電量(圖46)。此項標準，可為關於放射體之製備及X線球能力產額測定時釐定標準之用。

**溫訥威** (Winaver) 及**薩赫斯** (St. Sachs, P. Z. July 1915) 復

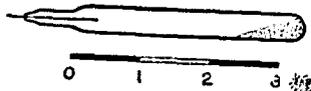


圖 46. 英國之鎳標準

建議以一束之X線，當完全為

空氣所吸收時，如其所生逸洪之數，同於1克鎳(B+C)之 $\gamma$ 線在同一狀況之下時所生逸洪之數，則此束X線，可視為一單位之能力。

§ 46. X線球標準之確定(註一) 利用電離作用，以為確定X線球產額之標準，其困難之點，則在指定一種標準，復須令X線球動作之狀態，重演不爽，實施時頗成困難也。蓋各製造家本可一仿已定之標準尺度，以從事於工作，但X線球之設計，迄今已否達於(或近於)完善之域，尙難言也。再者雖設計上完全一致，而球之動作，極易感受當時狀況之下些須變動之影響，而其中且有無法可以制馭之者也。故此問題，現今遂為大多數人所注意。

X線球之產額，可(一)就其強度(即每單位面積之量)而定，(二)就其剛度(或剛性)而定。

由一X線球所發出之X線，可分為二大類：

(註一)關於測定X線各種之方法，求其詳細之記述，(為醫學之用，尤為重要)可參閱 Christen, *Messung und Dosierung der Röntgenstrahlen*。

(1)『普通』輻射之厝離光帶，其剛性之區域，單視原有陰極線之速而定；

(2)單純之『特殊』(或『單色』)輻射，是即對陰極板之金屬所特具之輻射。

兩種輻射之比例，視放電時之狀況，及對陰極板所用之金屬而定。普通輻射，無時而不存在，其剛度有一定之範圍，視陰極線之速之範圍而定。特殊輻射，僅於陰極線運動甚速之時顯之，其剛度僅視對陰極板之質料而定。

§ 47. 強度之測定法 某點X線之強度云者，即經過該點與該線成直角之一表面上，其每一平方厘米所收受之能力也。任根氏考得由一焦點球發出一束X線，其強度隨其離對陰極板之距離之反平方而遞減。

各種測定強度之方法，依普通所得之經驗，如以能力為立論之根據，則過利於柔線之測定，此吾人所亟須注意者也。理想上之測驗方法，須予人以剛X線之能力與柔X線之能力真確之比較；但真考其實，則剛線不能全被測驗之儀器所阻留，故顯示於吾人者，其結果頗不圓滿也。為斷得對於兩種X線球作一明確之比較起見，則二球發出所有之各線，同須加以考量。不惟柔線須被吸收，剛線亦須完全吸收，如是則兩球所發出之能力，其相比之量，可得一較明確之測定。

(I)通過X線管之電流 關於經過一種X線管平均電流之測

定法，可用一種密里安培表，其樣式係經檢定可靠，足以平均其脈動電流 (fluctuating current) 者以求得之。克雍楷 (Kröncke, *A. d. P. March 1914*), 達非 (Davey, *P. R. Sep. 1914*) 及 盧滋粘, 巴香斯 及 瑞卡生 (Barnes and Richardson, *P. M. Sep. 1915*) 俱以為當一定之電壓時，『普通』輻射之強度，與經過該管之電流，係成正比例。克雍楷復考得除在甚低之電壓外，則下列之關係，實用上適合無誤：

$$I = k \cdot i (V^2 - V_0^2),$$

此處  $I$  為  $X$  線之強度， $i$  為電流， $V$  為施用電壓 (the applied voltage)， $V_0$  為放電時之電壓 (the breaking-down voltage)， $k$  為該管之一常數。若在普里幾管，則此式變為  $kiV^2$  (參閱 § 50)。此與湯姆生氏之公式 (§ 69)，謂  $X$  線之能力，與發生  $X$  線之速之四次方成正比例，適相吻合。

就事實上立論，對於感應圈之放電，則該管電流與  $X$  線強度之比例，對於濃厚電流，漸不適用，因電流漸增時，則  $X$  線強度之增加，僅屬少許也。

對於發生實用上有益之線射具有效力之脈動電流，其成分比例，殊難由密里安培表所得之度數以判斷之。如塞羅孟蓀 (Salomonson, *J. R. S. 1912*) 之所顯示，則在精確之測定，關於斷續之形狀及其振動次數，二者均須加以調度。

若用他法，則  $X$  線之強度，可在線束內某一定點，利用該線射

之一種或他種性質以測定之：如熱作用，電離作用，激起螢光作用，照像感應作用或化學作用是也。

(II) 測定強度之熱的作用法 當 X 線完全為一種金屬所吸收時，其所發生之熱，於一八九七年，修翁氏 (Dorn) 首先測定之。安格瑞 (Angerer, *A. d. P.* 1907) 及邦斯推 (Bumstead, *P. M.* 1908) 考得不論用以吸收之金屬為何，凡由一束 X 線所發出之熱，其量皆屬相同。熱之作用極微，必須用一靈活之儀器，如輻射顯微表 (radiomicrometer)，雙格量熱表 (bolometer)，或輻射表 (radiometer) 方可測驗之。此種方法，祇適用於研究實驗室，實用上蓋不多觀云。

(III) 測定強度之電離法 電離作用真正之樞紐安在，現今尙難明悉，但其結果，則係帶陽電及帶陰電之微體同時之產生，是謂逸洪，因逸洪之存在，遂予氣體以導電之性，經時而尙能持續也。電離作用之程度，視所發生逸洪之數而定，氣體之導電性愈強，則發生逸洪之數又愈多，而電離作用之程度，亦愈佔優勝。關於逸洪之產生，依普通認定之見解，以為係一種帶陰電之核（即電子），由原子破裂而出，遂遺下一種帶陽電之核；二種帶電之核，各自與一簇之氣體分子相團聚，有時其數極夥，各相聚合之結果，遂組成氣體逸洪 (gaseous ions)，陽電與陰電，二者兼備。但在低壓力時，帶陰電之逸洪，常失其所附麗之分子，是即所謂電子。

故測定 X 線之電離法，即係電流之測定，是為實施試驗時最精確而便利之方法，近代實驗家，咸樂用之，以為測定之標準焉。已被

電離之氣體，受一電場之作用，則電場驅迫兩種逸洪（陽逸洪及陰逸洪），趨於相反之方向，其速度之大小，視電場之強度而定。此種帶電微體之運動，其所發生電流之大小，常與施用於電場表面間之電位差相關；當電位小時，二者約成正比例，恰與金屬之傳導相同；但當高壓位時，則電流之增加，不似電位增加之速，終之，電位雖仍增加，而電流達一常數，是謂飽和電流（saturation current）（圖 47）。飽和電流者，乃實用上所常須測定之電流，故施用於表面間之電位差，須足以發生飽和電流而後可。上所需用之電場，常隨電離之程度而增，但為 X 線工作之用，則每種 100 弗特之電力亦已够用。

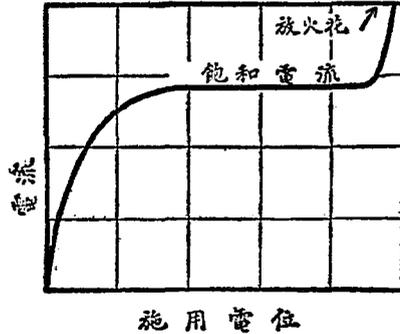


圖 47. 對於一種電離氣體電流與電位二者之關係

由電流與電位二者關係所繪成之曲線，其第一部份，係因帶電之微體，於未抵交界面以前，易與帶異電之其他微體，互相撞擊，且交相結合，故成如是之形狀。但此等趨勢，於電流之增長，不無阻礙，如欲滅殺其勢，須將表面間之電壓，再為增高，藉以增加微體之速：因速愈高，則經過之時間愈短，而再行結合之機會亦較少也。再次施用飽和之電壓，則逸洪之全部，皆抵交界之面，其抵界面之數，恰

與同時經過該氣體之X線所發出之數相等。但當電壓較低時，則並非如是，故必須當飽和電流之發生，而後該線所發生電離作用之真確程度，得以推定。

用更高之電位，則電流益為驟增，至發見火花時為止。當是時曲線之形狀，更為陡峭，陽逸洪與陰逸洪，皆達充分之速度，致與氣體之原子，交相衝擊，發生多數之新逸洪。故所施用之電位，如其程度恰尚不足以致火花之發見，則原有之電離作用，可因之大增，或增至百倍以上。此種方法，對於較弱電離作用之測定，常採用之。

於選定各種電離箱，為某種特殊之用以前，須先決定吾人所需者，究為何事。如欲測定該線全部之能力，則吾人必須妥慎佈置，令該線完全為箱內之氣體所吸收，至必要時，或安設一種適當之長途徑，或增加氣體之壓力，或選用密度甚大之氣體（註一）均可；而其全部之電離作用，如某項條件能完全滿足時，吾人當信其即係該線全部能力極滿意之測定（見§84）。反之，如吾人僅欲考驗在某定點一束X線之電離能力，則無論電離箱為何種樣式皆可應用。

一種適宜之設計，茲顯示如圖 48。安一鉛製之薄圓片，於兩個相同鉛片之中

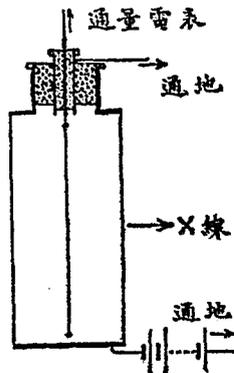


圖 48. ● 電離箱

（註一）例如二氧化磷或碘甲烷（methyl iodide），為此等之用，甚為有益。

間，後二鋁片，係用電池多個，增其電位至數百弗特，而中間鋁片，則妥慎爲之隔電，接於量電表 (electrometer) 上。用此項形狀之器具以求電場之值，算法極便，但依普通之設計，用一圓筒並沿其軸安一絕緣之導線以爲極者 (註一) 則與此不同，因後種樣式，近導線之電場甚強，而向圓筒之表面，逐漸衰弱；爲期求電離箱全部可達飽和時之電場起見，其所施用之電位須極強大也。

電離時之電流，其由 X 線發生者，通常其位數約在  $10^{-10}$  至  $10^{-15}$  安培之間；其準確之量，常隨環境而變。有時電流較大時，可用靈活之電流表 (galvanometer) (註二)。但通常測定電流最稱便利之方法，係由多爾察勒克四片量電表 (Dolezalek quadrant electrometer)，或他種金箔驗電器所量得電位之變更而定。應用量電表及一種適宜之凝器，則  $10^{-8}$  至  $10^{-14}$  安培之電流，皆可測得。對於較小之電流，如小至  $10^{-17}$  安培時，則驗電器較爲妥善。

驗電器中，惟威爾遜氏 (C. T. R. Wilson) 之斜置驗電器 (the tilted electroscope) 最爲靈活，且其所具之電量頗小。試驗家有用作安設鋁窗之驗電器者，則其 X 線係直接輸送於驗電器之內，而非入於分設之箱。此時金箔所帶之電甚高，而電量向外匣漏耗之率，可以測得。市上所售直接測定 X 線之定量表，(direct reading X-ray

(註一)參閱圖 67，內之比較電離箱。

(註二)最稱靈活之電流表現箱採用者，爲普升及愛多森 (Paschen and Einthoven) 兩種。其第一種當抵抗頻低及週期頗短時，即  $10^{-10}$  安培之電流，亦可顯出。

quantimeters)屬於此類者甚夥,例如 Szilard ionto-quantimeter 於深層輻射治療術,應用之者漸多。

又上項儀器,於由其電位測定以推求電流以前,均須校準其度數,而其容量(及電離器之容量)亦須預為測定。

近代法國試驗家,則常用苦麗教授之驗電石英板(Prof. Curie's piézo-électrique),該器係由漸次減低業經伸張之石英薄片之張力,致其所發生之電,與其所欲測定之電離電流相抵消,則電表上之指針,可歸於靜止之地位。但此方法,運用時須有充分之經驗。

(IV) 測定強度之照像法及螢光法 昔時之試驗家,幾全用照像法或螢光法,以測定 X 線之強度,但現時此種方法,多屏棄不用,而用上述電離法以代替之。普通所用之照像片,僅能記錄 X 線之能力約為其 1%,此數對於剛線,且較柔線為小,故於測驗複雜之線束,則其結果常偏於較柔之線。是故吾人由照片所得之像之密度,以作關於該線之強度之結論,必須予以特殊之注意。再者,巴克納(Barkla)及馬廷(Martyn, P. M. 1913)考得 X 線之剛度,如恰足以激起銀或溴(照像感光膜上最重之成分)特殊之輻射時,則 X 線具選擇性的為其所吸收,而照像之作用,因以強盛。如 X 線較此稍柔,則不足激起該項特殊之輻射,故其所記錄,殊鮮利益。因此之故,照像作用,常不與感光膜(sensitive film)所吸收之 X 線成正比例(註一)。

(註一)羅爾茲(Voltz P. Z., Aug. 1915)於此點加以研究,以為測定 X 線之照像法,應屏棄不用,克羅格(A. d. P. March 1914)亦得同一之結論,且考得出電離法與照像法結果所得之差異,至達百分之五十。

專就實際上之困難而論，吾人尙須加以注意者，則塗於尋常照片上之膠液，因玻璃不平之故，其厚度之變異，可達百分之十。如用特許專賣之玻璃片 (patent plate glass)，並於敷塗時加以特殊之注意，則片上厚度之差異，可減至百分之五。

如試驗者設備不全，則用照像法以測強度，因其用法簡單之故，頗多便利之點。其主要之器械，爲一種不透明測度表 (opacity-meter)，用以測量像之密度。不透明測度表者，所以測定一種標準之光束，爲照像感光膜所吸收之程度也。如  $I_0$  爲投射於顯像膜上所測驗之光之強度， $I_t$  爲透過之光之強度，如  $\mu x$  爲經過感光膜甚小之厚度  $x$  後所吸收能力之分數，則

$$I_t = I_0 e^{-\mu x},$$

此處之  $d$ ，爲感光膜之厚度 (註一)，(參閱 §48(II)) 而感光膜之密度，於其厚度之全部，假定各處皆等。

對於厚度勻等之感光膜，則  $d$  爲常數，故  $\mu$  與  $\log \left( \frac{I_0}{I_t} \right)$  成正比例。 $\mu$  稱爲吸收係數 (absorption coefficient)； $\frac{I_0}{I_t}$  爲不透明度 (註二)，亦即投射光所吸收之倍數。 $\log \frac{I_0}{I_t}$  稱爲不透明度之對數 (opacity-logarithm)。依定義言之， $\mu$  與像之密度成正比例，即與感光膜每一單位面積之銀量成正比例也。是故由兩個不透明之對數之比，可以推定兩種感光膜密度之比，因以測定兩個照片上能力之比

(註一)更精確言之，所用之光係爲單色光，對於各不相同之波長，則  $\mu$  亦不相同。

(註二)透明度爲不透明度之倒數。

也。不透明測度表，通常刻有度數，可直接得其不透明度之對數。

測定X線之螢光法，係以其所生之輝度 (luminosity)，與一種由穩定之輻射來源 (如鐳之類) 所激起之標準螢光相比較。其缺點則在既經X線作用之後，發生螢光之鹽類，逐漸變為『疲勞』(tired) 耳。又所用之螢光屏，其靈敏之度，各點大不相同，故欲作一明確之比較，頗非容易。普通所用作螢光屏之質料，為第一鉍碲化鉀 (Barium platincyanide)，分子式為  $\text{BaPt}(\text{CN})_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ，有三種不同之形狀，其中綠色結晶體之一種，為螢光之用時，其效率實為最大 (Levy, J. Rt. S., 1916)。鉍酸鎘亦可為此等之用。

(V) 醫術上所用之測定強度法 X 線專為治療之用時，由該線所起之各種化學反應作用，業經明白提示，且常利用之以為支配劑量 (dosage) 之助；例如各種鹵屬鹽類之變色 (Holzknecht, 1902)；百分二之愛沃多達 (iodoform) 溶解於迷蒙精 (chloroform) 後之溶液，所放出之碘 (Freund, 1904; Bordier and Calimard, 1906) (註一)；照像紙之變黑 (Kienböck) (參閱 IV)；由氯化第二錄 (mercuric chloride) 與草酸銨 (ammonium oxalate) 溶液之混合，所得氯化第一錄 (calomel) 之沉澱 (Schwarz, 1907)；及壓緊之第一鉍碲化鉀藥錠 (pastilles) 顏色上之變化 (Sabouraud-Noiré and Bordier) 皆是。X 線可以減低硒之電抵抗，與光之性質相同；如硒之顯著疲勞現象，可以消除，則利用此項性質，可與人以最便利之

(註一) X 線與鐳線及紫外光，同有此項之性質。

測定方法，殆無疑義。總之，凡屬此類方法，多僅示人關於尋常厲害之X線之強度最粗之測定云。

於各種強度之測定方法中，其中藥錠一種，醫術家最樂用之。所用第一鉑碲化鉬之圓片，直徑約為5耗，其顏色始為鮮綠色，曝諸X線，則變為暗黃，最後成深橙色。此藥錠於距X線球之對陰極板特定之某距離處，以其顏色與各種之標準色遞相比較。此種方法，在實用上極為簡易，為短時之用，甚為可靠，但如曝之過久，致時間逾十分鐘以上，則未可深信。藥錠測定法之缺點，則在此法係憑表面之顏色，欲以探尋各種剛度不同之X線，其結果未可認為圓滿之斷案耳。其他之鉑碲化合物曝諸X線時，亦顯同樣之顏色變化。雷非 (Levy) 以謂顏色之變化，係因由結晶體變為非晶體狀態之所致。如將藥錠移開，而再察視之，則反向之變化，漸次發見，在光線之下尤甚，故當使用X線時，切不可將藥錠置於陽光甚強之處。紫外光及鐳線，對於此項藥錠，均同樣變為褐色。

§ 48. 剛度之測定法 X線剛度之區域甚廣，蓋X線有在大氣壓力時，不能透過空氣超過一耗或二耗厚，而在他處，則雖在100呎以上之距離，仍可驗得，由此蓋可見矣。

現在業經證實，不論用以激動之電壓，係屬保持不變，抑或屬脈動，各X線所組成之光帶，因以發生，其剛度或波長各有種種之不同，區域至為廣袤。如§ 135之所顯示，此種光帶，趨於短波之一端而訖於一點時，則忽行停止，其地位與所施用電壓最高值之關

係，可由卜蘭克氏之元量關係(Planck's quantum relation)表明之。故兩種間之電位差，為具有支配力之要素，常以控制陰極線之速。

如用脈動之電位，則發生大部分 X 線之責任，當歸諸最高值之電位差，此可深信不疑者。關於此等最高值電位之測定法，計有多種。

至特殊輻射之剛度，可依對陰極板之原子量而定。欲激動一列特指之輝線，則必施管以一定之最小電壓。故對於每種之特殊 X 線，陰極線有一相當之臨界速度：較慢之陰極線，僅能激起『獨立』X 線；較快之陰極線，則於限度內發生各種特殊 X 線，效力漸增，但當陰極線之速過高時，『獨立』輻射，復再發現。此問題當於後再論 (§68)，但於此尚須聲明者，則陰極線之臨界速度，與對陰極板之原子量成正比例，或即與其原子數成正比例也。

如  $E$  為使一種陰極線之速度等於  $v$  時之電位差，則二者之關係，可用下列之能力方程以表之：

$$\frac{1}{2} m \cdot v^2 = E \cdot e,$$

此處之  $e$  及  $m$ ，依次為陰極線之電量及質量。

取  $\frac{e}{m}$  之值為  $177 \times 10^7$ ，如  $E$  以弗特紀之， $v$  以厘/秒紀之，則

$$E = 2.82v^2 \cdot 10^{-16}$$

$$\text{或 } v = 5.95\sqrt{E} \cdot 10^7$$

於已知磁場內，由磁氣之偏折以測定  $v$ ，則  $E$  之值，不難求得。陰

極線之速度，及上至 200,000 弗特之電位二者相當之各值，悉載表 26 中。

§ 48a. 交流火花缺隙 (the alternative spark-gap) 施用於管之最高值電壓，可由高電位之靜電弗脫表測定之，其較普通者，或由兩針端相對或兩球相對之火花缺隙以測定之。惟應用火花缺隙，必須相當之經驗，對於氣體 X 線管，尤須注意，因此時則由該項方法所得之值，常趨於過高，且當施用脈動電位時為尤甚也。若用苦里幾輻射體之 X 線管，激動以未經糾正之交流電位，則火花缺隙之所記錄，不為較低之『有效』電壓 (effective voltage)，而為『逆向』電壓 (inverse voltage)。

經鄧克氏 (Peek) 及其他試驗家之實驗，證知等大兩球形極之火花缺隙，比之兩針端極之火花缺隙，較為適用。兩針尖端間之火花，對於高電壓時，常覺不可憑信，因其隨大氣濕度及放電振動率為轉移，漫無定則也。且又因時間落後 (time-lag) 之故，對於高振動率之陡峭衝動 (impulse)，其結果常大錯誤。

但在其他方面，則應用球形極之缺隙，振動率與波之形狀，均不顯若何堪以重視之效應，而對於大氣狀況變易所生之效應，則甚為明晰，可即加以校正。

至球形之大小，頗屬重要。其定則，則在缺隙之寬度，不與兩球任一球之直徑較大為好，雖對於此點，可容少許之自由變通也。其主要之點，則在初發動放電之前，須避免帶狀放電 (brush-discharge)

之發現，否則一種脈動放電，其所示缺隙之度數，致常過高。基於上述之注意事項，則一種球狀極之缺隙，可以測定電壓由10,000弗脫以至500,000弗脫，而其精確之程度，不逾2%。此外尚須聲明者，則該項方法所產生者，為高峯之電壓(peak voltage)，而非電氣工程學家所常稱平方平均之平方根的電壓(root-mean-square voltage) ( $= \frac{\text{高峯電壓}}{1.4}$ )也。

下表所列，係根據羅素博士(Dr. A. Russell)之公式及參以美國電氣工程學會(The American Institute of Electrical Engineers) (1918)最近之結果。所用球形極，係屬大小相等之磨光金屬球。為便利計，表中對於針端極之缺隙 (No. 00 新縫針)，亦備有一欄，以資現仍沿用之一種器械關於電壓約略測定之用。美國電氣工程學會復經認定對於70,000以上之電壓(或由40,000以上)須常用球形極之缺隙。

缺隙不可令與外來之電離作用相近，如弧光及鄰近火花之類，亦不可加以封閉。其第一次發現之火花，即須記其度數，以後再作多次之觀測，以避免測得外來之衝浪。由水抵抗(water resistance)之應用，令與缺隙順序相接，則可避免球面之生弧光及呈凹痕。

此外尚須注意者，則對於同一之電壓，針端與平面相對之缺隙，與針端與針端相對之缺隙較長。例如用一6 釐直徑之平面，則前項缺隙較長之值，

在 50,000 弗特時，約為 50%

在 75,000 弗特時，約為 25 %

在 100,000 弗特時，約為 15 %

在 125,000 弗特時，約為 10 %

此項平面須為陰極之用。

下列數字，係指 760 托之大氣壓力，25°C. 之溫度，80 % 之濕度時而言。所用缺隙，出於認定限度以外者，其數字以括弧示之。至其空白處則示該項缺隙，不復適用。缺隙列有三位有效數字，以為間數法(interpolation)之用。

表 5 之附表 A. (僅適用於球形極之缺隙) 列舉在各種不同狀況下相對之空氣密度。所列數字，係對於 25°C. 及 760 托壓力之乾燥空氣之比較值。

在下表限度以內，對於球形極缺隙之改正因數 (correction factor)，恰與相對空氣密度相合。例如對於一定長之火花缺隙，則由表 5 所列之啓羅弗特 (即 1,000 弗特) 數，須查附表 A 之相當改正因數以乘之。反之，如欲求某種指定電壓下火花恰能通過之缺隙，則於檢查表 5 以前，該項電壓，首先須以相當之改正因數除之。在尋常狀態之下，則見改正數甚小，或可不計。

如火花缺隙所用之兩球，大小不等，則對於中等長度之火花，其較小之球，可用以調度其火花缺隙，而其較大之球，須用作陰極。

此外尚須補充者，則托若卜瑞幾 (Trowbridge, P. M., 1898) 求得在 3,000,000 弗特之電壓下，其火花長度為 200 釐。

表5. 火花缺隙電壓

1,000 弗特 (毫米)	球 之 直 徑						
	針 端 極		2.5 徑	5 徑	10 徑	25 徑	50 徑
	徑, 缺隙	吋, 缺隙	徑, 缺隙				
5	(0.42)	(0.17)	(0.13)	(0.15)	(0.15)	(0.16)	(0.17)
10	(0.85)	(0.33)	0.27	0.29	0.30	0.32	0.33
15	1.30	0.51	0.42	0.44	0.46	0.48	0.50
20	1.75	0.69	0.58	0.60	0.62	0.64	0.67
25	2.20	0.87	0.76	0.77	0.78	0.81	0.84
30	2.60	1.06	0.95	0.94	0.95	0.98	1.01
35	3.20	1.28	1.17	1.12	1.12	1.15	1.18
40	3.81	1.50	1.41	1.30	1.29	1.32	1.35
45	4.49	1.77	1.68	1.50	1.47	1.49	1.52
50	5.20	2.05	2.00	1.71	1.65	1.66	1.69
60	6.81	2.68	2.82	2.17	2.02	2.01	2.04
70	8.81	3.47	(4.05)	2.68	2.42	2.37	2.39
80	(11.1)	(4.36)	—	3.26	2.84	2.74	2.75
90	(13.3)	(5.28)	—	3.94	3.23	3.11	3.10
100	(15.5)	(6.10)	—	4.77	3.75	3.49	3.46
110	(17.7)	(6.96)	—	5.79	4.25	3.88	3.83
120	(19.8)	(7.81)	—	(7.07)	4.78	4.28	4.20
130	(22.0)	(8.65)	—	—	5.35	4.69	4.57
140	(24.1)	(9.48)	—	—	5.97	5.10	4.94
150	(26.1)	(10.3)	—	—	6.64	5.52	5.32
160	(28.1)	(11.1)	—	—	7.37	5.95	5.70
170	(30.1)	(11.9)	—	—	8.16	6.39	6.09
180	(32.0)	(12.6)	—	—	9.03	6.84	6.48
190	(33.9)	(13.3)	—	—	10.0	7.30	6.88
200	(35.7)	(14.0)	—	—	11.1	7.76	7.28
210	(37.6)	(14.8)	—	—	(12.3)	8.24	7.68
220	(39.5)	(15.5)	—	—	(13.7)	8.73	8.09
230	(41.4)	(16.3)	—	—	(15.3)	9.24	8.50
240	(43.3)	(17.0)	—	—	—	9.76	8.92
250	(45.2)	(17.8)	—	—	—	10.3	9.34
300	(51.7)	(21.6)	—	—	—	13.3	11.5

附表 A

溫 度	壓 力 720 耗	壓 力 740 耗	壓 力 760 耗	壓 力 780 耗
0° C.	1.04	1.06	1.09	1.12
10°	1.00	1.02	1.05	1.08
20°	1.03	0.99	1.02	1.04
30°	0.93	0.93	0.93	1.01

(I)波長 X線與光相同，而X線之剛度或其透入能力，可由其波長而定，吾人既已有可信之理由矣：波長愈短者，則其線愈剛。此問題當於他處再加討論，但由各觀測家證實之結果，則知X線可由一種結晶體內多數原子所組成之各平行平面，起一種週折之現象 (diffraction) (§117)。如已知原子相間隔之距離，則X線之波長，立可求得。蒲惹格氏 (W. L. Bragg, *P. R. S.* 1913) 推算岩鹽原子相間隔之距離，因考得通常X線之波長，當在  $10^{-7}$  裡及  $10^{-9}$  裡之間(參閱 § 134)。

(II)吸收係數 為求確定X線之性態，其最普通之方法，係測定其被某厚度之鋁片所吸收之量。但鋁本非吾人理想上之標準，其所以採用者，則因鋁在實用上最稱便利之形狀，較易尋得，且在多種情形之下，並不參雜特殊輻射，致問題益陷於繁複之狀態也。

假如所有之線，其入而復出於一種物質薄片者，皆為單純之線(即其剛度皆同)，則物質薄片所吸收之線，係依其指數而定，即如遞次用 1, 2, 3, ……相似之薄片，則每次增加一個薄片，其所吸收者

為其所收受者之分數，此分數皆屬相同也。換言之，如 X 線無彌散現象 (scattering) 或他種變化之發生， $\mu x$  為該線循法線經過  $x$  種厚之薄屏後，其所吸收強度之分數，則對於  $d$  (種) 厚之薄片，可得次式：

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu d},$$

此處之  $I_0$ ，為線束入薄屏之強度， $I$  為其出薄屏之強度， $e (= 2.72)$  為對數雙曲系之底 (the base of the hyperbolic system of logarithms)， $\mu$  稱為線吸收係數 (the linear absorption coefficient)。次由上式變作  $\mu = \frac{2.3}{d} (\log I_0 - \log I)$ ；此對數係以 10 為底者也。如將各單純線種種觀測之結果，以  $\log I$  為縱距， $d$  為橫距，作成圖解，則可得一條直線，而  $\mu$  即為該線斜度之 2.3 倍。

如用尋常龐雜之線，則因薄屏之  $\mu$  較大於厚屏，故吾人所能討論者，為其平均之  $\mu$ ，其屏愈厚，其變更因之愈緩。

尋常 X 線球所發出之龐雜線，其所被吸收之對數曲線，非為直線而為一種曲線，且薄屏之曲線，較之厚屏者，陡峭愈甚。普通之形狀，比之圖 58 所示之粗線，常較陡峭。

如輻射為特殊輻射，則每一種原質，對於輻射逼近於其本身之特殊輻射時，各表顯其最大之透明性。如用較此略剛之線，則其所被吸收之量，驟形增加，而屏本身所顯之特殊線，因以發生，與所透過之線相參合，其程度則當投射之線漸次變剛時，其透過量又減少也。又如投射之線，比其臨界值較柔時，則無特殊線之發生。補之，

如投射之線漸次變剛，則透過之線，當投射線之剛度，遞次各與屏之特殊線相同時，可達最大之強度。

$\mu$  之值，大者與易被吸收之線相當，小者與透過甚強之線相當，常隨用以吸收之屏之本態而變，故所用之物質，必須先事指定。近代醫術上有建議以水為用以吸收之媒介之標準者，因水之吸收能力，與動物肌肉纖維之吸收能力，恰相符合也。

各試驗家又有選用強度減至半值時之厚度  $D$  以紀之者。 $D$  與  $\mu$  之關係，以次式： $D=0.69/\mu$  定之。關於  $\mu$  值之數序，對於剛度平均之 X 線束， $\mu_{at}$  在 4 與 8 厘<sup>-1</sup> 之間；對於剛線在 2 與 4 厘<sup>-1</sup> 之間。脂肪之  $\mu$ ，由 0.4（對於剛線）以至 0.7（對於不剛不柔之線）不等。經一厘米長肉質所吸收之 X 線，在百分之 30 至 90 之間。至於  $I_0/I$  對於  $\mu d$  之關係，詳見本書表 25。

此外尚有根本上更為重要之一常數，亦須注意，即以吸收屏之密度 ( $\rho$ ) (註一) 除吸收係數 ( $\mu$ ) 是也。 $\mu/\rho$  常稱為質量吸收係數 (the mass-absorption coefficient)，是即對於循法線投射單位橫截面之 X 線束，被屏之每一單位質量所吸收之量也。尋常測量之方法，其最易影響於吸收量者，厥為質量，故用質量吸收係數，比用線吸收係數便利實較多也。

如各種物質吸收之能力，與其密度實成比例，則對於同一之線， $\mu/\rho$  應為常數，不論屏為何種物質也。但就事實而論，則密物體

(註一)對於標準物質之鉛  $\rho=2.7$

所吸收之量，比之輕物體所吸收者，依其密度之比例，常為較多，而  $\mu/\rho$  之值，且隨屏之原子量而驟形增加也（註一）。增加之量，用剛線時比用柔線尤堪注意（又見表 12）。

崩洛伊斯特 (Benoist, *J. K. P.* 1901) 首先對於尋常龐雜之 X 線束，其所被各種原質吸收之量，作有系統之觀察。如由其所得之結果，作成圖解，以表示在各原質中吸收量與各原質之原子量之關係，遂得圖 49。其可注意之點，則  $\mu/\rho$  無論對於剛 X 線或柔 X 線，皆隨原子量而漸次增加也。例如用剛線時，鉛之吸收量，為同質量之鋁之二十五倍，銀為其十八倍，銅為其八倍是也。圍繞銀之附近，似為非常吸收現象 (abnormal absorption) 之處。

吸收係數與波長( $\lambda$ )之關係，當於 § 139 再行討論。如該處所示，設酌減其彌散效應，則

$$\mu = k\lambda^n,$$

此處  $k$  為常數， $n$  之值，在  $5/2$  與  $3$  之間。

附龐雜線之吸收係數 抑尤有進者，雖特殊線，具有完全一定之  $\mu$ ，而由感應圈所發動之球，其所放射之 X 線，非為單純之線，故依上述界說所稱之吸收係數，於 X 線實用上，無甚特別便利之點。

（註一）由鐳發出之柔  $\gamma$  線，亦得同樣之關係。對於剛  $\gamma$  線，則密度律 (density law) 完全成立，而  $\mu/\rho$  為一常數，惟對於最重之金屬，則其所吸收之量，殊為較多。換言之，此項透入性甚強之線，蓋與原子之構造，渺不相涉。對於剛  $\gamma$  線，如用以吸收之物體其原子量小於 100 者，則  $\mu/\rho = 0.04$ 。

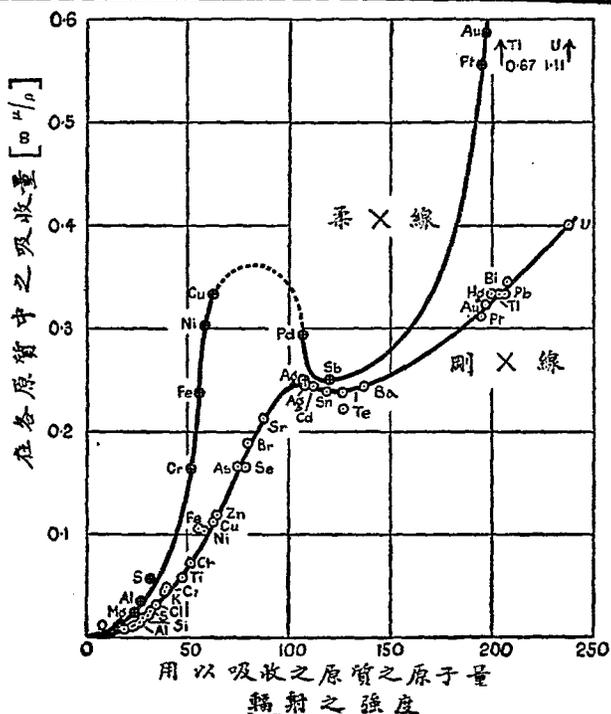


圖 49. 顯示吸收量與原子量之關係之圖解(以崩洛伊斯特之透明性曲線為根據)。但吾人基於寬泛之假定, 所推得  $\mu$  之平均值, 常可予人以莫大之指導。再由 X 線球內發出之線, 雖常甚龐雜, 但如火花缺隙漸次增加時, 則龐雜之程度, 漸次減輕。故 X 線球用若干種之火花缺隙, 其所發出之線, 令其經過 5 耗以上厚度之鋁屏後, 則線射已甚單純(但非嚴格的)云。

附在空氣中之吸收係數 以密度為根據，則在尋常狀態之下，空氣每一種所吸收之量，等於水之  $\frac{1}{825}$  種所吸收之量。

伊甫及德益 (Eve and Day, P. M. 1912) 於其各不相同之射程內 (上至 100 呎)，測定各種剛度不同之 X 線在空氣中之吸收係數。表 6. 即其結果之一。

伊甫及德益復謂為輻射照像之用，則  $\mu=0.0004$  為最佳之值；但  $\mu$  為 0.0003 之線，則為此等之用時，其透入性失之過強。以上之值，可與克德威克氏 (Chadwick, P. P. S. 1912) 對於鐳  $\gamma$  線為空氣所吸收之值，對相比較。該氏所得空氣內  $\mu$  之值，當其線先令通過 3 耗及 10 耗之鉛後，依次為 0.000062 及 0.000059 種<sup>-1</sup>。

關於各種特殊輻射之吸收係數，詳見表 8 及表 11。

表 6. 空氣中之吸收係數

交流火花缺隙	距 X 線球之距離					
	4 至 10 呎		20 至 40 呎		40 至 60 呎	
	$\mu$	$\mu/\rho$	$\mu$	$\mu/\rho$	$\mu$	$\mu/\rho$
1.5 至 5 種(柔球)	0.0018 至 0.0010	1.4 至 0.8	—	—	—	—
11 種(中等球)	0.00040	0.32	0.00040	0.32	0.00029	0.23
30 種(剛球)	0.00029	0.23	0.00027	0.21	0.00014(?)	0.11(?)

(III) 崩洛伊斯特氏之透入表 (the Benoist penetrometer)

醫學家為測量剛度之用，多樂用崩洛伊斯特氏之透入表 (radio-

chromometer or penetrometer)。該表係為 0.11 耗厚之一個薄銀面板，圍以十二枚編有號次之扇形鋁片，順次由 1 至 12 耗厚不等（圖 50）。今試檢透 X 線於該項儀器，其觀測之方法，則於螢光屏上或照像片上，以由銀圓板所投之影與由鋁片之影，逐相比照：為比照用之扇形鋁片，其厚度隨線之剛度而增（註一），故由扇形鋁片之厚度，可以測定 X 線之剛度。崩氏第四號以至第五號，為治療之用，為最佳之平均剛度，但為普通輻射照像之用，則崩氏表之第六號，甚為適宜。

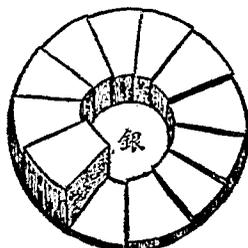


圖 50. 崩氏伊斯特氏之透入表

表 7. 列舉崩氏號數與在鋁內之吸收係數二者之關係。

表 7.

崩 氏 號 次	平 均 $\mu/\rho_{Al}$
2	20
3	8
4	4
6	2
8	1.5
10	1
12	0.5

（註一）崩氏（C. B., 1902）製成該器之根據，係因由圖 49 之曲線，證得鋁之透明性，隨 X 線之剛度而變，而銀對於剛柔兩線，幾具同一之透明性。但如第表 11 所示，則銀之透明性剛柔一律之假定，全不真確。

(IV)他種透入表 瓦爾特之透入表(Walter penetrometer), 該表係具有多數孔之一鉛圓板, 遞次覆以厚度遞增之一套鉛製圓板。

溫勒爾特氏之透入表,其原理與崩氏之透入表相同。但外緣之物,不為多列遞高之扇形片,而用一鉛製之楔形片。

任根氏於其第三次之研究報告,所描敘之一種儀器,大體與崩氏相同,但其為比較用之金屬,用鉛而不用銀。

克瑞斯吞氏之半值透入表 (Christen's half-value penetrometer), 克氏以水層(實用上或用 bakelite)(註一)一定之厚度,致減 X 線束之強度至其半值時,選用之定剛度之界說。

令 X 線通過由 bakelite 製成之遞高楔片,沿楔片之側,置一鑿孔之金屬板。如是則顯於一螢光屏上,兩像竝列,可為比較之標準。金屬板上之孔,設計時須使金屬所除去之面積,等於其存留之面積,則該板恰可減線束之強度至其半值。板之孔,須充分小,使置板後距離不遠之屏上,其所生之照度 (illumination), 各處勻等。

博爾氏之剛度表 (Bauer qualimeter), 此為一種靜電弗特表,係為測量兩極間之電位差之用 (見 § 108)。

克林格爾福斯剛度表 (Klingelfuss qualimeter), 係一補充之試探圈 (search coil) 及靜電弗特表所合組而成。動作時與博爾氏之

---

(註一) bakelite 係酚與甲醛 (phenols and formaldehyde) 凝結而成之化合物。

剛度表相仿。

各透入表所紀之剛性號次，多與崩氏相同，但溫勒斯特之號次，對於線射之同一剛度，較大百分之五十。

§ 49. X線球之能力 當陰極線之一束，與對陰極板相撞擊時，各線所遭之運會，各有不同。較為大多數之線，直自消耗其所具之能力，至其能力減少，致不能覺察時為止。對陰極板上所發生之熱，即為陰極線之能力大部分散漫成熟之確證。

陰極線之大部分，有時竟達百分之七十，由對陰極板四向反射，致與管之玻璃壁相撞，其反射後之速度，大小不等，上至達於陰極線之初速。但由明確之證佐，又知陰極線復可經過多個原子，並不發生反射作用，或經他種之變化者。陰極線之命運，多少與對陰極板之質料有關。原子愈重，則陰極線之企圖通過原子者，愈易令其相環繞而致擺動。

故對於發生X線生效之陰極線，不過僅其小部分。陰極線最後能與原子作適當之撞擊，因而發生X線者，其機會甚少。就事實而論，則現今發生X線之方法，其效率甚低：在任根管內之能力變化中，X線不過僅為其內連帶發生一種較少之副產品耳。

維恩(Wien)，安格瑞(Angerer)及凱特(Carter, A. d. P. 1905 and 1916)等，獨自研究。俱以為X線之能力，與用以激動之(龐雜的)陰極線之能力之比，以數序計之，為 $\frac{1}{1000}$ 。凱特氏並考得其效率隨剛度而增(即與施用於管之電壓成正比例)，而與電流無關，但

又隨對陰極板之原子量而增。由此法以計算效率之值，與伊甫及德登 (P. M. 1912) 之所測定，無大出入。依兩氏之說，則所供給於 X 線球之能力中，就其電離作用所測得之值而論，其所存於 X 線內者，不過二萬分之一云。

柔管之效率，比此或仍較少，因用低速之陰線，其散漫為熱之能力當較多也。普通 X 輻射之能力，與陰極線之速度之四次方成正比例(見§69)。

溫訥威 (Winawer, P. Z. Nov. 1915) 由其實驗證得之結果，因知如為 X 線球試驗期得最大之利益起見，則對於一定之電壓，其所用以激動之電流，須合下列之條件：

(1) 須由經時甚短之衝動 (short duration impulses) 所組合而成，每兩個衝動間之距，愈寬愈妙。

(2) 須於對陰極板上，發生最大之熱。

§ 50. 畢特氏之實驗 畢特氏 (P. R. S. Nov. 1913) 復細加考究，以陰極線之速度，及對陰極板之原子量，計算 X 線之能力。初由一種陰極線射，用磁氣分光法，提出其速度為已知者之單純線，令落於置於滑動搖車上各種對陰極板之一板上。如是所生之 X 線，再令經過一片 0.0002 吋厚之鋁箔，更用一種電離箱以完全吸收之，箱約一呎長，中所儲者為碘甲烷 (methyl iodide) 之蒸氣也。由此法所得之全部電離作用，可取以測量 X 線之能力。至電離電流測定之方法，係用一種抵抗可以變更之電枝路 (shunt)，取其由原有陰

極線之電流之一分數，與電離時之電流兩相抵消，致其驗電器之指針，全不轉動為止（見 § 70）。此法所得之數，頗為可靠，雖當陰極線之電流極不規則時，亦適用之。

陰極線在碘甲烷之蒸氣內，其所發生之電離作用，可由格納生（Glasson）（見 § 7）及費丁香（Whiddington）（見 § 5）對於經行空氣內之陰極線研究之結果以求得之。

畢特氏最後成立之結果，書如次式：

$$\frac{E_a}{E_0} = 0.51 \times 10^{-4} A \beta^2,$$

此處之  $E_a$  = X線之能力， $E_0$  = 原有陰極線之能力， $A$  = 對陰極線之原子量， $\beta$  = 陰極線所具之速度（紀作光速之某分數）。

以鉑為對陰極板（原子量為 195），而用剛柔適中之球，如陰極線之速為  $7.5 \times 10^9$  浬/秒時，則其顯為 X線之能力者，為陰極線能力之  $\frac{1}{1600}$ 。設陰極線較慢，或對陰極板之原子量較低時，則此分數當更較小。

以上所得之結果，係僅指『獨立』或初級之 X線而言 (§ 69)。如特殊線亦同時激動時，則其作用，須再加諸上式所得之結果內。故當特殊輻射激動甚強時，則 X線球之效率，因之大增。但包括兩種輻射之公式，迄今仍未證出。

## 第九章 彌散線特殊線次級微粒線

當X線一束與物質相射擊時，則可有二事發現。線束之一部份，可致吸收，即謂該部份可變換為該項物質特殊之輻射，其過程中且常附帶有多數電子之放出，即微粒線是也。線束之其餘部份，則致彌散或分散，就效應而論，即謂該項線射雖未變更其剛度，而其大部份已變更其方向也。是彌散現象，可與光之因霧而致分散之理，相提並論。

兩類輻射之比例，與所射擊之物質及初級線之剛度，均有關係。對於低原子量之物質，如原X線係屬於透入性頗強之一種，則必有較大之部份，盡行彌散。對於中等或重原子量之物質，則彌散輻射之比例，視波長而定，且為量甚微。

§ 51. 彌散X線 (Scattered, X rays) 當各種物體曝於一束X線時，其各自發出之X線，中有若干其剛度完全與初級X線相同者，故為事實上便利起見，此項之線射，可認為係因多種未經變化之初級線，僅被物體轉折其方向，致起彌散現象之成者也。如是所得之彌散輻射，在實驗上檢驗之法，係用一種低密度之物體，曝

諸X線，而另用一螢光屏以察視之，惟屏之本身，須不令受由原X線球所發出之線之直接作用。

§ 52. 各種原質所生之彌散現象 彌散現象，於所有之深度內，皆可發現，X線所經過之厚度愈大，則彌散之量，因之愈增。

低原子量(上至硫)之原質，其所發生之彌散現象，彼此殆屬相同；但較重之原質，則彌散之量，比之輕原質所生之量，依比例而加甚，雖密度較大之原質，因其吸收之能力較大之故，其彌散之輻射，實際上所逸出之量，有時或較少也。如用原子量甚低之原質，如磷之類，則發出之線，大部分僅為彌散之輻射，如初級X線，屬於滲入性甚強之一種時尤甚。由鋁發出之彌散輻射，其量較之植物或動物所發出者，倍極微少，因由後者所發出之彌散輻射，可達百分之九十以上也。

對於銅族之原質，則彌散輻射之量(有時比其全部輻射之 $\frac{1}{200}$ 尚仍較少)甚少，有時直可不計。

巴克納(Barkla)氏首引用彌散係數(coefficient of scattering),  $\sigma$ 之名詞，其定義與吸收係數 $\mu$ 相仿(§48(II))。對於低原子量之吸收屏，巴克納及當羅卜(Dunlop, P. M. March 1916)求得其相當之彌散係數 $\sigma$ ，約與起彌散作用之物體之密度 $\rho$ 成正比例；且質量彌散係數 $\sigma/\rho$ ，約為常數(0.2)，不論所用之屏，或X線之剛度果何若也。對於原子量較高之原質，則當用剛線時， $\sigma/\rho$ 僅略隨原子量而漸增加，但用柔線時， $\sigma/\rho$ 隨原子量而驟形增盛。一九

一二年，克機塞 (*P. R. S.*, 1912) 復加研究，亦得同樣之結果。

凡彌散現象與吸收現象連帶產生時，如當剛線通過輕原質之例，則必須由其全部吸收之量，減去彌散之項，以便求得實在或變換所吸收之值 (transformation absorption)。言之：——

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{\tau}{\rho} + \frac{\sigma}{\rho},$$

即 (觀測所得之吸收係數) = (變換係數) + (彌散係數)。

§ 53 彌散 X 線之分佈 彌散 X 線，係四向分佈，惟不勻均；其循原線束之前後方向者，比其成直角者實較多。

巴克納，埃瑞斯 (*Ayres, P. M.* 1911) 及 歐文 (*Owen, P. C. P. S.* 1911)，由實驗證得之結果，考得根據湯姆生氏彌散現象之理論所推得之分佈公式，於頗廣之角度區域內，皆近似的真確：

$$I_{\theta} = I_{\pi/2} (1 + \cos^2 \theta),$$

此處之  $I_{\theta}$ ，為沿與初級線束成角度  $\theta$  之方向所具之彌散輻射之強度。觀上式，則知前後之強度，約為成直角方向者之二倍。但由實驗考證之結果，則上式對於  $\theta$  之較小值，不甚適用，——由式計算之值太小——且前向之強度，常大於後向之強度。圖 51 係克機塞 (*P. R. S.* 1912) 用一鋁板所顯之分佈情形。

在物體內部某深度之一指定面積，其所接受線射之強度，可由原係不向該面積投射之彌散線而大有增加。

§ 54. 彌散 X 線之分極 於一九〇五年，巴克納 (*P. T.*) 考得一金屬板被初級 X 線衝擊之後，其所生之彌散 X 線，於其與初級線

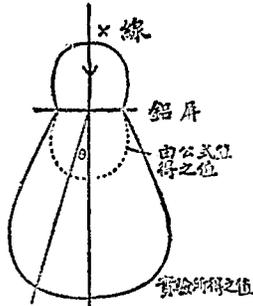


圖 51. 由一鉛屏所起彌散 X 線之分佈情形

之進行路線成直角之平面內，其分佈極不勻一，但其趨勢則悉將聚合於經過初級線之進行路線者之一特別平面內。此種強度最大之平面，與 X 線管內陰極之途徑成直角。彌散線之強度，於該平面之兩側，漸次變弱，於一特別之平面內，遂達最小限度（見圖 52）。是故如 X 線可以目見，則觀測者沿初級 X 線束之方向，向板注視，則察見彌散之

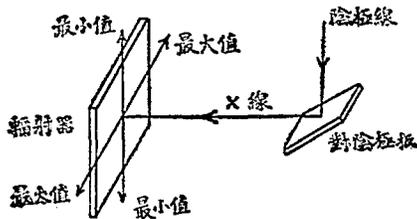


圖 52. X 線之分極

線，在相對之兩象限內，比之介於其間之兩象限內者當較明也。

是故彌散線之分佈，於其初級線內，顯示特異之點，

且於一定之平面內，最佔優勝之地位，故吾人稱此現象，名之曰分極 (polarisation)。如已被彌散之線，復令落於第二輻射器之上。則兩道彌散之線，成不對稱之狀態，即分極現象，更較完備。

巴克納教授用電離法測定該線循各方向之強度。其結果復經哈蒞 (Haga, A. d. P. 1907)，伯斯勒 (Bassler, A. d. P. 1909) 郝威西

(Herweg, *A. d. P.* 1909) 及非加德 (Veggard, *P. R. S.* 1910) 之證實, 而更加擴充, 其中亦有採用照像法者。

為實驗上之用, 則所用之輻射器, 須以不具顯著之特殊輻射者為最適宜。甚低或甚高之原子量之物質, 其所起之特殊輻射, 或屬極柔, 或竟完全不顯; 是故以碳, 地蠟, 鋁, 鉛, 及鉑族之金屬等, 與銻銻族之金屬相較, 則前者人恆樂用之。因銻銻族所具之特殊輻射, 甚為顯著也。蓋特殊之輻射, 不顯分極作用, 或至少尚未達堪以重視之程度, 其存在僅足令其結果愈趨糾紛。

碳或地蠟所顯分極之量, 約為百分之十, 即強度之最大值, 約為最小值之 $\frac{100}{90}$ 倍。如用一種適宜之屏, 以濾去初級線束之柔線, 則分極可增至一倍。但使初級X線管變剛, 則其作用似為之減低。

漢梧 (*P. R.* 1910) 又由一X線球循各方向之強度直接上之測定, 證得初級X線, 皆顯分極作用, 且考得在經過對陰極板而與陰極線射成直角之一平面內, 其強度實達最大之限度; 在該平面之兩側, 則強度漸次減低, 兩相對稱。漢梧氏之實驗, 係用鋁製之對陰極板, 而彌勒氏 (*Miller, P. R.* 1911) 復用一銀製之對陰極板以證實之。

§ 55. 特殊或『單色』X線 (Characteristic X rays) 一九〇八年 (*P. M.*), 巴克納及塞德勒 (*Sadler*) 對於各種特殊輻射之發見, 極關重要。由實驗上之觀察點言之, 則由此等輻射之用, 可使問題益趨於單簡, 其價值豈容忽視。尋常X線管所發生之線, 係多種

剛度不同之線之混合，以如此龐雜之線所得之結果，求一明瞭之解釋，頗非易事。但如今 X 線落於各種金屬之上，——銅，銀，鐵，鉑等——則單純性（註一）之特殊 X 線，因以發生，而其剛度之區域，包括仍頗廣也。此等輻射每一種之剛度，僅因所用之金屬而定，與為激動用之 X 線無涉。其必要之條件，則在為激動用之 X 線，須比特殊之輻射較剛：如初級線太柔，則特殊輻射，不能發生。

如設法剷除彌散線及微粒線之作用，則所得之各特殊輻射，均屬單純，且不似彌散輻射，其繞於輻射器之四周者，分佈極為勻一。至特殊輻射之透入能力，常隨其所由放射之原質之原子量而漸增加，故任一原子之特殊輻射，僅能用以激起一種較輕原子之相當輻射，而不能激起較重原子之輻射也。

§ 58. *K* 組及 *L* 組之輻射 (*K and L series of radiation*) 由實驗上之證明，某種原質於適當狀況之下，至少可放出兩種之特殊輻射。巴克納稱此兩種輻射為 *K* 組及 *L* 組螢光輻射 (fluorescent radiations)。對於每一種之金屬，則所具之 *K* 輻射，其透入能力比之 *L* 輻射約強 300 倍。如輻射器之原子量增加，則兩組輻射愈為變剛。

如後之所述，*K* 及 *L* 輻射，實為一原質所能放射之各特殊輻射中之最顯著者。一如光然，特殊 X 線光帶，可就其相連輝線，區分為各組 (groups or series)，而 *K* 及 *L* 輻射，係指諸組中之二組。

~~~~~  
 (註一)就事實而論，尚非真實單純(見 § 134)。

對於某種金屬，現已證知有一  $M$  組，且由某種之證佐  $J$  組及  $N$  組，當亦存在， $J$  組為各特殊輻射之最剛， $N$  組為其最柔者。

此處尚須附帶聲明者，一則一組內所有構成之光帶輝線，均係同時激動，二則一方面固不能激動一原質之  $K$  輻射而無  $L$  輻射，而  $L$  輻射即無  $K$  輻射之存在，亦能激動之也。

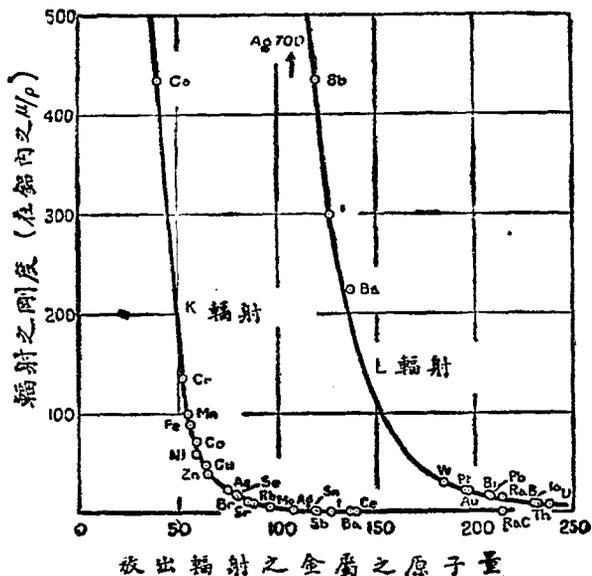


圖 58. 特殊輻射(在鉛內)之質量吸收係數與放出輻射之金屬之原子量二者之關係(特殊  $\gamma$  線亦包括在內,見 101)。

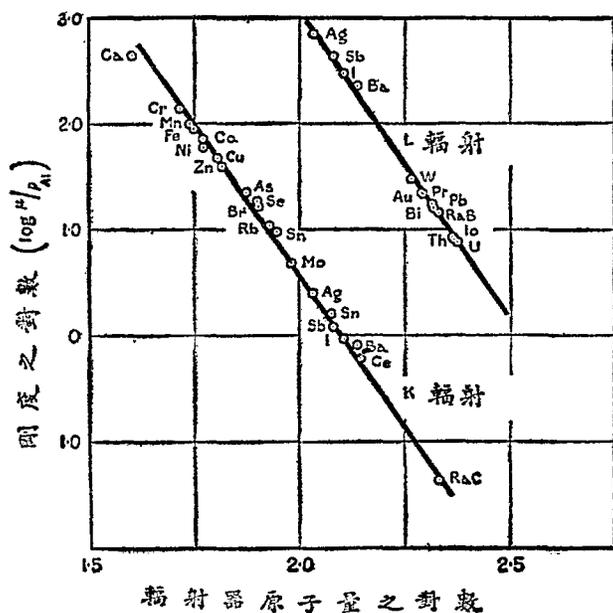


圖 54. 由特殊輻射(在鉛內)之質量吸收係數之對數,與放出輻射之原質原子量之對數二者之關係。

§ 57. 特殊輻射之剛度與放出輻射之金屬之原子量二者之關係 表 8. 係列舉各種特殊輻射之剛度 (以在鉛內之質量吸引係數紀之) 及其強度減半時鉛屏所需之厚度。圖 53 係顯示輻射之剛度及放出輻射之金屬之原子量之關係所得之圖解。

表 8. 各特殊輻射在鋁內之質量吸收係數 ( $\mu/\rho$ )

$\mu$  之定義, 由  $I = I_0 e^{-\mu d}$  (見 § 48 (II)) 定之;  $\rho$  為鋁之密度 (2.7);  $d_{1/2}$  為輻射強度減半時鋁屏所需之厚度, 可由公式  $d = \frac{0.2587}{\mu/\rho}$  推定之。動物筋肉纖維 (或水) 之相當厚度, 約為鋁之十倍。表中  $\mu/\rho$  之值, 多係根據巴克納, 塞德勒, 李柯爾 (Nicol), 及恰卜諾諸氏求得之結果。

| 放出特殊輻射之原質   | 在鋁內之 $\mu/\rho$ |     | $d_{1/2}$ |     | 放出特殊輻射之原質                 | 在鋁內之 $\mu/\rho$ |      | $d_{1/2}$ |         |
|-------------|-----------------|-----|-----------|-----|---------------------------|-----------------|------|-----------|---------|
|             | K 組             | L 組 | K 組       | L 組 |                           | K 組             | L 組  | K 組       | L 組     |
|             | 標克              | 標克  | 標克        | 標克  |                           | 標克              | 標克   | 標克        | 標克      |
| 碳, C (12)   |                 |     |           |     | 銻, Bh (103)               |                 |      |           |         |
| 鈉, Na (23)  |                 |     |           |     | 鉑, Pd (107)               |                 |      |           |         |
| 鎂, Mg (24)  |                 |     |           |     | 銀, Ag (108)               | 2.5             | 700  | 0.109     | 0.00037 |
| 鋁, Al (27)  | 550             |     | 0.00044   |     | 鎘, Cd (112)               |                 |      |           |         |
| 矽, Si (28)  |                 |     |           |     | 錫, Sn (119)               | 1.57            |      | 0.164     |         |
| 磷, P (31)   |                 |     |           |     | 銻, Sb (120)               | 1.21            | 435  | 0.212     | 0.00059 |
| 硫, S (32)   |                 |     |           |     | 碘, I (127)                | 0.92            | 300  | 0.28      | 0.00086 |
| 氯, Cl (35)  |                 |     |           |     | 碲, Te (128)               |                 |      |           |         |
| 鉀, K (39)   |                 |     |           |     | 釷, Ba (137)               | 0.8             | 224  | 0.32      | 0.00115 |
| 鈣, Ca (40)  | 435             |     | 0.00059   |     | 鐳, Ce (140)               | 0.6             |      | 0.43      |         |
| 鈦, Ti (48)  |                 |     |           |     | 釷, Ta (181)               |                 |      |           |         |
| 鈦, V (51)   |                 |     |           |     | 錒, W (184)                |                 | 30.0 |           | 0.0086  |
| 鉻, Cr (52)  | 136             |     | 0.0019    |     | 銻, Os (191)               |                 |      |           |         |
| 錳, Mn (55)  | 100             |     | 0.0028    |     | 銻, Ir (193)               |                 |      |           |         |
| 鐵, Fe (56)  | 88.5            |     | 0.0029    |     | 銻, Pt (195)               |                 | 22.2 |           | 0.0116  |
| 鈷, Co (59)  | 71.6            |     | 0.0036    |     | 銻, Au (197)               |                 | 21.6 |           | 0.0119  |
| 鎳, Ni (59)  | 59.1            |     | 0.0043    |     | 銻, Hg (200)               |                 |      |           |         |
| 銅, Cu (64)  | 47.7            |     | 0.0054    |     | 銻, Tl (204)               |                 |      |           |         |
| 鋅, Zn (65)  | 39.4            |     | 0.0065    |     | 銻, Pb (207)               |                 | 17.4 |           | 0.0143  |
| 砷, As (75)  | 22.5            |     | 0.0114    |     | 銻, Bi (208)               |                 | 16.1 |           | 0.016   |
| 硒, Se (79)  | 18.5            |     | 0.0139    |     | 銻, RaB (214) <sup>1</sup> |                 | 14.7 |           | 0.0175  |
| 溴, Br (80)  | 16.3            |     | 0.0157    |     | 銻, RaC (214) <sup>1</sup> | 0.042           |      | 6.1       |         |
| 鉀, Rb (85)  | 10.9            |     | 0.0235    |     | 銻, Io (250) <sup>1</sup>  |                 | 8.35 |           | 0.031   |
| 銣, Sr (88)  | 9.4             |     | 0.027     |     | 銻, Th (232)               |                 | 8.0  |           | 0.032   |
| 鎢, Zr (91)  |                 |     |           |     | 銻, U (238)                |                 | 7.5  |           | 0.034   |
| 鉬, Mo (96)  |                 |     |           |     |                           |                 |      |           |         |
| 鈳, Ru (102) | 4.8             |     | 0.053     |     |                           |                 |      |           |         |

<sup>1</sup>  $\gamma$  線 (見 § 61)

圖 53 中之  $K$  及  $L$  曲線，大體上尙屬相似。如再取圖中縱橫距之對數，繪成圖解，則其結果爲兩直線(圖 54)，且由直線之斜度，遂即證知透入性約與輻射體之原子量之五次方或六次方成正比例。此結果之成立，係本歐文氏 (E. A. Owen, *P. R. S.* 1912) 對於各特殊線在甚輕之氣體內所被吸引之量之試驗 (見 § 74)。如用以吸收之物，不爲鋁而用其他之物質，同樣取其對數作成圖解，則結果所得之直線，除非常吸收 (abnormal absorption) (見 § 72) 之部分而外，將與用鋁所得之直線平行。

如第十三章 § 139 所示，以上關係，可與莫斯雷氏 著稱之原子數定律 (Moseley's famous atomic number law) 及表明波長與吸收係數之關係所得之式，相互發明。

§ 58.  $K$  組與  $L$  組之關係 特殊輻射，顯與光學上光帶之輝線相當；夫光帶輝線之波長，既有最顯著成級數式之關係，吾人因可悟知  $X$  輻射之剛 ( $K$ ) 組及柔 ( $L$ ) 組間，當亦有如是之某種關係也。費丁吞 (*N.* 1911) 曾對於兩種輻射之透入能力及原子量，由其實驗得一簡單之關係。假如原子量  $A$  之某原質，具有一定剛度之柔 ( $L$ ) 輻射，則其他之特種原質，當其  $K$  輻射之剛度，與前述原質之  $L$  輻射相同時，其原子量  $A_x$ ，可由下式定之：

$$A_x = \frac{1}{2}(A_L - 50)。$$

恰卜滿 (*P. R. S.* 1912) 由高原子量之金屬，以考究其所放出之  $L$  輻射，遂得下式：

$$A_K = \frac{1}{2}(A_L - 48),$$

此式與觀察所得之結果相較，頗為適合。

今試舉一例以明之，鉍之原子量為 208，其所具之柔輻射之透入能力，考得與由溴所發出之剛輻射相同。溴之原子量為 80，與用上式所算得之值適相脗合（ $\frac{1}{2}(208 - 48) = 80$ ）。

§ 59. 由重原質所得之特殊輻射 用高原子量之原質，則彌散之輻射過剩，致與特殊之輻射相掩，或竟令其即於湮沒。恰卜滿 (P. R. S. 1912) 研究由重金屬（由鎢鉛以至鈾）放出之特殊輻射，因選定一透入性極強之 X 線束，使彌散之輻射，比之特殊輻射尤為較剛，以期打破上述之困難。當試驗之初，特殊輻射與其參入之彌散輻射，兩相混合，極為龐雜，但用厚度遞增多列之鋁製吸收屏以觀察之，則其結果將特殊之輻射逐漸剷除。最後則遺留之氣體，幾全屬彌散之輻射；於是記出其量之多寡，以與其先用較薄之鋁屏時觀測之結果相改正。用此法以考覈特殊輻射之吸引曲線，則此類輻射共同所具之單純性，因以顯出。

恰卜滿 (所用之儀器，顯示如圖 55) 用極薄之輻射器，以考證其結果，因輻射器極薄之故，其所生之彌散輻射，可減至極少。蓋單純之柔輻射，僅能由甚淺之深度發現，如超過此等厚度，則彌散輻射能由較厚之層突現，其結果適足以增加彌散輻射之成分。

§ 60. *K* 及 *L* 以外之輻射 吾人對於 *K* 及 *L* 兩種特殊輻射，既已論列如上，但如前之所述，由最近之實驗，則知對於高原子量之

原質，於此兩種外，尚有  $M$  輻射之存在。此種  $M$  輻射甚柔，亦即其波長甚長也。甚剛之  $J$  輻射之存在，巴克納 及其他試驗家，均主持之，但其證據不無矛盾之處。是項輻射，係屬大多數之獨立輝線組合而成，斯則具有可信之理由矣。要之， $L$  及  $M$  輻射，即非完全部份，而其大部份易為  $X$  線球之壁所吸收，故研究  $X$  線學者，實用上不甚重視之。

如前之所述，每種特殊輻射，如  $K, L, M$  之類，均係一組相連之光帶輝線。參閱第十三章第表 20。

§ 61. 放射原質之特殊  $\gamma$  輻射 近日 盧滋祐 氏證實由錳所放出各組之單純  $\gamma$  線，可認為係經  $\beta$  微體驅斥之後所生多種之特殊  $X$  輻射。其中有與  $K, L$  及  $M$  輻射相當者，其他則為較剛者，或係  $J$  組之一類。例如由錳 C 放出之  $\gamma$  線，係屬一種單純之輻射，其在鉛內  $\mu/\rho$  之值為 0.0424，可由表之  $K$  組內尋得其位置與錳 C 之原子量 214 相當。又 盧滋祐 及 瑞恰生 (Richardson, P. M. 1913) 證得由錳 B 放出各組之  $\gamma$  線，中有三種其  $\mu/\rho_{Al}$  之值，各為 85, 14.7

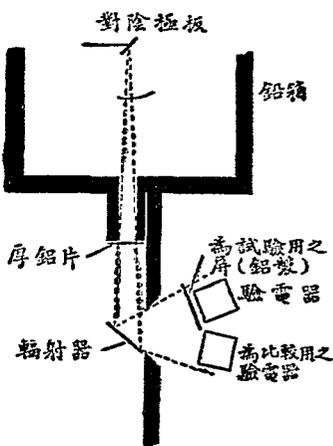


圖 55. 恰卜蕭 氏研究重金屬之特殊輻射所用之儀器。

及 0.188。其第二種似為 214 之原子量之  $L$  輻射。再者克德威克 (Chadwick) 及羅素 (Russell, *P. R. S.* 1913) 考得由鏷 (ionium) (原子量為 230) 發出之諸  $\gamma$  線，皆為單純之輻射，其  $\mu/\rho_{Al}$  之值，各為 400, 8.35, 及 0.15。其第二種，與原子量為 230 之金屬之  $L$  組相當 (見第表 27)。

格瑞 (Gray) 證得 (*P. R. S.* 1912) 由錳 B 放出之  $\gamma$  線，能激起銀，鉛，及鎊之  $K$  輻射。瑞恰生 (*P. R. S.* Aug. 1914) 復用由錳 B 及錳 C 放出之  $\beta$  線，以激起多種金屬之  $K$  及  $L$  輻射。

§62. 極柔之 X 線 尋常 X 線之發生，係用 10,000 以至 100,000 弗特或更較大之電位，但有時亦有用較低之電壓而仍能發生 X 線者。此種 X 線，稱為柔線，在空氣中，僅能經過甚短之射程 (range)。

敦姆博 (Dember, *D. P. G. V.* July 1913) 用一種電場以逐漸增加由紫外光所逸出之光電子 (photo-electron) 之速度，考得此種光電子，能由鉑製之對陰極板在一低電壓為 18.7 弗特時，激起 X 線。且算得發出之 X 線，其波長為  $7 \times 10^{-6}$  裡，恰在紫外線之外。

帥滋 (Seitz, *P. Z.* 1912) 用由 400 至 900 弗特之電壓，因得由鉑所發生之 X 線。溫勒爾特及春克爾 (Trinkle) (*Sitz. Phys. Med. Soc. Erlangen*, 37, 1905) 用由熟石灰陰極 (見 §4) 所放出之低速陰極線，如以由 400 至 1000 之電壓激動之，可發生多種之柔 X 線。湯姆生氏 (*P. P. S.* Dec. 1914) 復以陽極線或運動甚緩之陰極線，令與鉑相衝擊時，亦得極柔之 X 線。最近之試驗家，則由電氣照像

法 (photo electric method) 之應用，於紫外線之處，尋獲 X 線光帶輝線 (參閱第十三章 § 134)。

§ 63. 特殊之光線 (characteristic light rays) 令各種剛度不同之 X 線，透入一種物體，則對於特種剛度之線，其能激起該物體之特殊輻射者，其所被吸引之量，當非常之大 (見 § 72)。當此非常吸收現象發生之際，微粒之放射，因亦隨之增大。此種作用，略與普爾 (Pohl) 及 卜任格涉 (Pringsheim, D. P. G. V. 1911 and 1912) 對於分極於與投射平面平行之平面內之紫外光，所發見具選擇性之光電作用 (the selective photo-electric effect) 相當。蓋氏等考得紫外光投射於金屬時，電子之放射，對於光之特別波長，達一最大之值：茲將對於鹼金屬之波長，約舉如次：

|    | 波長              |
|----|-----------------|
| Li | 2800 A. U. (註一) |
| Na | 3400            |
| K  | 4400            |
| Rb | 4800            |

是故此種紫外光之輻射，可認為與特殊之柔 X 線相似。此外尚須附帶聲明者，則普爾及卜任格涉兩氏，進而考求光電之作用，以上迄於紅外線 (10,000 A. U.)，其結果異常圓滿云。

§ 64. 特殊 X 線與化學上之化合無涉 恰卜滿及耿斯特 (Guest,

(註一) 1 A. U. (Ångström unit) 為  $10^{-8}$  厘米。

*P. C. P. S.* 1911) 證得由一種金屬所發出之特殊 X 輻射, 其強度皆屬相同, 不論該金屬是否與他物化合也。例如某定重量之錫, 當其變為硝酸時, 其所發出之特殊線與錫之特殊線, 仍為同一之量。故 X 線現象之作用, 純為原子作用, 此則為各 X 線所同具之性質也。

恰卜滿 (*P. M.* 1911) 考得碘甲烷 (methyl iodide) 與溴乙烷 (ethyl bromide) 之蒸氣, 如以剛 X 線相射擊時, 各能放出甚強之碘與溴特殊輻射。

格勒生 (*Glasson, P. C. P. C.* 1910) 復考得鐵之特殊輻射之剛度, 不論鐵是否為單純之原質, 抑為化合物, 俱無關係; 如為化合物, 則其逸洪之原子價及其位置, 亦無關係。例如  $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$  等, 其所激起之鐵輻射線, 均屬同一之剛度也。

由種種確鑿之證據, 則知特殊輻射之吸收係數, 與溫度及其化學上之化合, 俱無關係。

§ 65. 直接發生之特殊線 由尋常【反射】法, 用一種與初級 X 線束成  $45^\circ$  之輻射器 (註一), 則其能力之量, 變為特殊輻射者, 至多不逾百分之五十; 且此能力量中, 不過又僅一分數, 如十分之一之類, 能逸出於輻射器之表面外。故依此項之佈置, 以為特殊線之源泉, 其效率當不甚高。但克伊氏於一九〇八年, 考得 (*P. T.*)

(註一)參閱圖 55。

(見 § 24 (a)) 用一適當之發動電壓，由 X 線球之對陰極板所放出輻射之大部分，即係該對陰極板之金屬所具之特殊輻射。如用與對陰極板相同之金屬以為屏，則所存在之他種輻射，或被吸收，或變為特殊輻射，其結果將為一束強而且純之特殊線也。施用於管之電位，不宜過高，否則所放出之初級線束中，關於龐雜線之部分，其量因之增加。

圖 56 至圖 59 係表示鉛，銅，鉑三種金屬之吸收對數曲線。如屏與對陰極板為同一之金屬，則輻射之單純性，益為明顯。用上三種金屬時，常見參有一種較柔之單純輻射，可用甚薄之屏以剷除之。以銅為屏時，則 K 輻射甚為顯著。

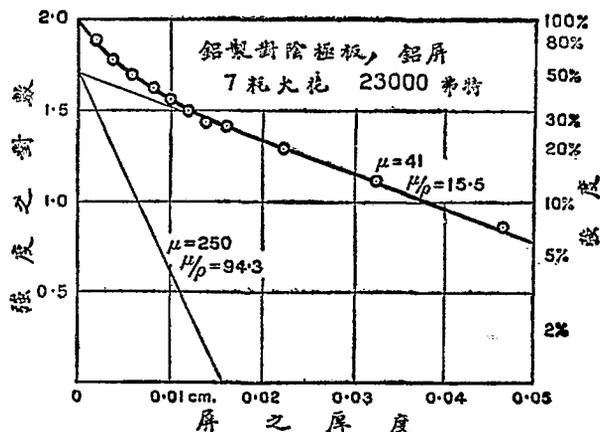


圖 56. 粗曲線係以鋁為屏時，由鋁製對陰極板發出之 X 線之吸收對數曲線。該曲線可分解為兩組單純線（其量與吸收性，以兩組直線代表之）。

圖 58 及圖 59, 係表明由鉛製對陰極板所發出之輻射, 各為鉛屏及鉛屏所吸收後之狀態。以鉛為屏時, 其吸收之曲線 (粗線), 似不顯示線之單純性。但如將曲線分解, 析為三組之單純線時, 則其  $\mu/\rho$  之值, 依次各與 5.6, 23.7 及 70 相等, 而其量及剛度, 可用三細線以代表之。其最剛之線, 或為獨立之輻射, 至第二種, 則當為鉛之特殊 L 輻射也。以鉛為屏時, 則獨立之輻射不顯, 而由吸收曲線, 因即證知透過 0.0005 釐厚薄屏後之 X 線, 幾全為單純之 L 線所

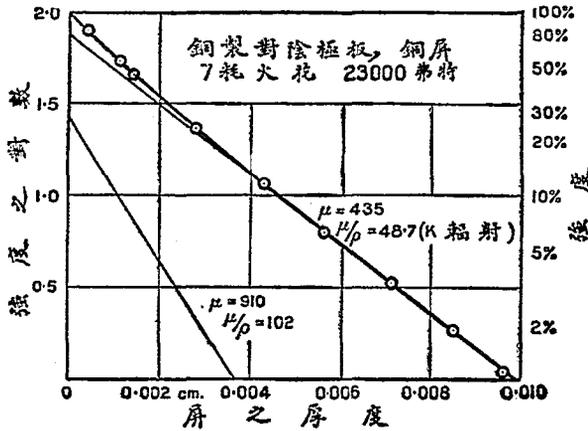


圖 57. 粗曲線係以銅為屏時, 由銅製對陰極板發出之 X 線之吸收對數曲線。輻射之單純性, 至為顯著。且該曲線亦可分解為兩組單純線 (其量與吸收性, 以兩細直線代表之), 其一為銅之 K 輻射。

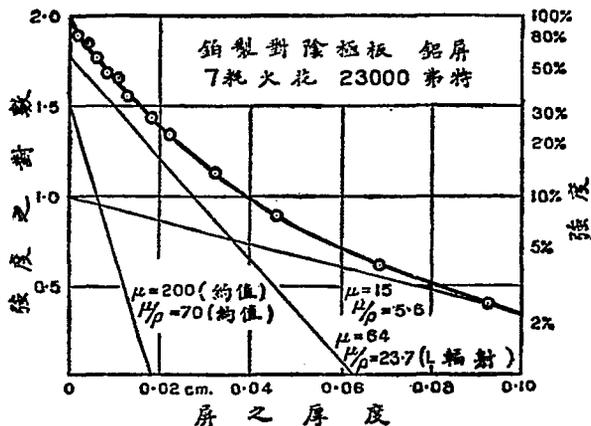


圖 58. 該曲線係以鋁屏時，由鉛製對陰極板發出之 X 線之吸收對數曲線。該曲線可分解為三組單純線（其量與吸收性以三組直線代表之），其一為鉛之 L 輻射。

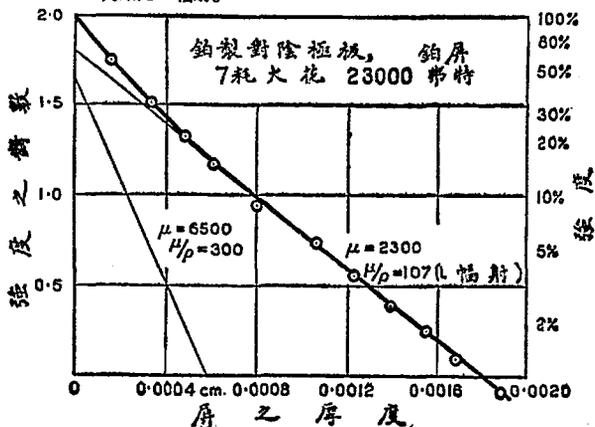


圖 59. 情形悉與上圖相同，惟鉛 X 線，係以鉛屏吸收，而非用鋁。單純之 L 輻射，現於吸收曲線上，頗佔優勢，且可分解為 L 輻射及一第二較柔之輻射線。

由鉛製對陰極板發出之  $L$  輻射，其成分之多寡，隨所施用於管之電壓而變。在 11,000 弗特之電壓時， $L$  線約為透過 0.0065 厘米厚之鋁窗後全部輻射百分之 35；在 32,000 弗特時，為百分之 65；在 50,000 弗特時，為百分之 40。如該線必須穿過尋常 X 線管之玻璃壁，則除在低電壓時， $L$  輻射之成分頗少。更用較高之電壓，則剛輻射之成分滋盛。此種所謂『盡端輻射』(end radiation)，其剛度與量，各隨電壓而增。

由銅、鎳及鐵所製成之對陰極板，其所放出之輻射，經過上述之鋁窗後，則  $K$  輻射之成分，在 20,000 至 30,000 間之電壓時，當在百分之 80 至 90 之間。玻璃壁之厚度，尋常在  $\frac{1}{4}$  耗及 1 耗之間，故用上三種金屬時， $K$  輻射幾全為 X 線球之玻璃壁所吸收。

剛度最大值之與電壓之關係，與卜蘭克氏之元量論 (Planck's quantum theory) (§148)，有極重要之關係，蓋基於卜氏之理論，吾人應即可推測在一定之電壓時，X 線之振動率，可達最大之限度，而此一定之電壓，卻隨原子量而遞減也。就現今實驗上可援引之證據而論，本不能斷定由任一特種之對陰極板所發生之 X 線，其所具之剛度，必有一個極限。但就所知而論，則比  $K$  輻射較剛之輻射，可由多種之金屬以致之也。例如克伊氏可由鋁得  $\mu/\rho_{Al}$  為 1 之線；由鐵得  $\mu/\rho_{Fe}$  為 13.5 之線；由鎳得  $\mu/\rho_{Ni}$  為 10.8 之線；由銅得  $\mu/\rho_{Cu}$  為 6.6 之線。

§ 66. 苦里幾管(Coolidge tube) 圖 60 係根據盧滋站，巴雷

斯,及瑞恰生 (P. M. Sept. 1915) 等之試驗,表示由各種不同之電壓所發動之苔里幾管(見§25),其所發出之X線,在鋁內所被吸收之各種吸收對數曲線。無論在何項電壓之下,輻射減少之率,一如尋常之管,用薄屏時比用厚屏時較速,因用薄屏時,其較柔之線,亦被吸收故也。就較高之電壓而論,如放出之輻射,尙未減至其原值五百分之一時,則吸收曲線,尙不成爲一近似之直線。由此可知『盡端輻射』,爲近似之單純輻射。在最低之電壓時,輻射之大部分,爲鎢之  $L$  特殊輻射,而鎢即爲製成對陰極板之質料也。在高電壓時,則多爲獨立之輻射。

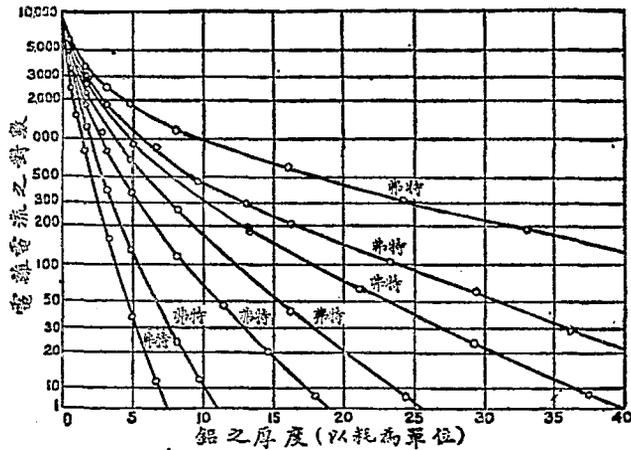


圖 60. 由鎢對陰極板之苔里幾管所發出之X線,當其以鋁爲屏時之吸收對數曲線。

盧滋祜所用最高之電壓 (P. M. 1917), 爲 196,000 弗特。將該線濾以一極厚之鉛片, 則其強度之減少, 當在百萬倍以上。該項盡端之線, 其  $\mu_{Al}$  之值爲  $0.23 \text{ 厘}^{-1}$   $\mu_{Pb}$  之值爲  $9 \text{ 厘}^{-1}$ , 而其波長約爲 0.06 A. U.。

狄安及罕特 (Duane and Hunt, P. R. 1915), 考得電壓與最剛 X 線之關係, 可由 卜蘭克公式 (Plank's relation)  $Ve = h\nu$  以定之 (§148)。代入 米利經氏 (Millikan) 各常數之值 (P. M. 1917), 則得

$$\text{波長 (以 A. U. 爲單位)} = 12,400 / \text{電壓。}$$

此關係曾經實驗上之證明 (§135)。

§ 67. 特殊線之剛度與原陰極線速度之關係 於一九〇九年 (參閱 J. R. S. 1913) 克伊氏進而考求由一種對陰極板所放出之特殊輻射, 其所具之剛度, 究與爲激動該輻射用之陰極線之速, 有若何之關係。其意以爲苟非陰極線之速度, 大於一定之臨界值時, 則特殊輻射, 不能發生。

爲問題趨於簡單起見, 則 X 線之發動, 須選用等速之陰極線。爲求達此項目的, (1) 可用感應起電機; (2) 或用感應圈放電, 而施用磁氣分光法。如用後法, 則陰極線之能力, 在適當之壓力下, 多匯集於最速之陰極線中 (§12); 此法尙有其他便利之處, 故現今多採用之。

所用之儀器, 顯示如圖 61。由 C 發出之陰極線, 因磁場之作用, 分散爲一磁氣光帶, 可於塗有 銻錳 (willemite) 之平面陽極 AS

上以顯之。如變更磁場之強度，則光帶之任何部分，可令落於隙孔  $S$ 。而穿過  $S$  之陰極線束，當其與對陰極板  $T$  相撞擊時，則發生一束 X 線，經由薄鋁窗  $W$  而放射，其強度可用電離法以測定之。如 § 24 (a) 所述，遞置各種不同之對陰極板於小搖車上，以考覈其種種不同之結果。其於管外安一補充之陰極  $K$  者，所以令其擊射對陰極板，以釋除其內隱匿之氣體，否則內藏之分子，繼續放出，則當實際測定時，使管因之變柔也。

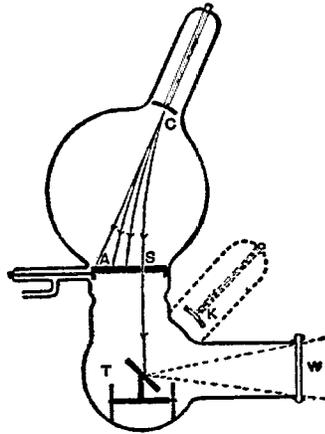


圖 61. 用各種不同速度之陰極線，以發生 X 線所用之儀器。

此等實驗，如於發動之後，即令停止，便可證知運動最緩

之陰極線，為發生 X 線之用，其效率甚低。但如將陰極線光帶之各部分，次第落於孔隙，令其較速之陰極線，漸次顯其作用，則 X 線之強度，增加頗速，此點至堪注意。且對於陰極線之某定速，其強度之增加，至為猛進，惟此定速又因所用之對陰極板不同而各有差異耳。

§ 68. 費丁吞氏之實驗 (Whiddington's experiments) 於一九一〇年，費丁吞用類似之方法，細加研究，遂得對於各種原質之

$K$  輻射關於量之測定 (P. R. S. 1911)。其最後所用之儀器，顯示如圖 62。陰極線之光帶，係用一種圓筒狀之線圈 (solenoid)，令生勻等之磁場以產生之。對陰極板係用銀製成，而所生之  $X$  線，復令與第二輻射器相撞。如將陰極線之速，漸次增加 (用依 §37 所述，為變剛用之設計)，迄第二輻射器放出特殊之輻射時為止，而特殊輻射，可用電離箱以顯示之。速度在此臨界值之下，電離箱不顯若何之作用；設逾乎此，則見電離電流，增長甚速。是以  $X$  線管內之陰極線，

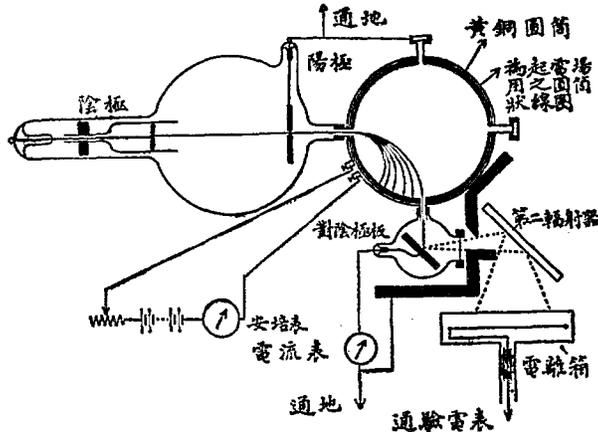


圖 62. 賈丁登氏所用之儀器

為激動某定剛度之  $X$  線之用，必須具有一個最小限度之速度值。各種不同之輻射器，累經考驗，而其所得之臨界速度，則與輻射器之原子量，約成正比例；就事實而論，則此速如以每秒若干種計算，當為原子量之萬萬倍 ( $10^8$ ) 云。畢特氏 (見下頁) 後復證得如所用為第

二輻射器之金屬，直接改爲對陰極板之用，則其所得之結果，仍屬相同。

茲再總括述之，如  $V_K$  爲以每秒若干種計算某陰極線之臨界速度， $A$  爲對陰極板之原子量，則當發出  $K$  組輻射時，下列之關係，對於由鉛至鋇區域以內之原質，約能滿足：

$$V_K = A \cdot 10^8 \quad (\text{註一})$$

以此式與恰卜滿氏之公式 (§58) 相連貫，則對於  $L$  組輻射，得

$$V_L = \frac{1}{2} (A - 48) 10^8 \quad (\text{註一})$$

於是  $\mathcal{Q}$  中，費丁吞氏對於  $K$  輻射徑由實驗所得之值，係用粗字模於第三欄及第五欄列示之。至其他之  $K$  輻射及全部之  $L$  輻射，則用上公式算得之。此類輻射，尚有多種爲現今所未發現者。(見§57)。

§ 69. X線之能力 略變更上項之裝置，置電離箱於第二輻射器之處(參閱圖62)，費丁吞氏因求得X線之能力，與原陰極線之速度之關係，遂證實湯姆生氏一九〇七年純從學理推求之關係之真確，即X線之能力，與爲激動用之陰極線之速度之四次方成正比例也。畢特氏 (*P. R. S.* 1913) 近復證明此種關係，僅對於『獨立』之X線而屬真確：如有特殊線之發生，則上式不能成立(見§50)。

(註一)最近費丁吞 (*P. M.*, June 1920) 推得下式：

$$V_K = 2(N-2)10^8; V_L = (N-15)10^8,$$

此處  $N$  爲原子數。

表9. 為激動特殊輻射用陰極線所需最小限度之速

| 輻射器 | 原子量<br>( $Z=16$ ) | 為激動 X 線用陰極線之臨界速度      |                    | 于陰極線以臨界速度所需之電位(註一) |        |
|-----|-------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|--------|
|     |                   | K 輻射                  | L 輻射               | K 輻射               | L 輻射   |
|     |                   | 裡/秒                   | 裡/秒                | 弗特                 | 弗特     |
| 氫   | 1.01              | $1.0 \times 10^8$     | —                  | 3                  | —      |
| 碳   | 12.0              | $1.2 \times 10^9$     | —                  | 410                | —      |
| 鉛   | 27.1              | 2.06 ,,               | —                  | 1200               | —      |
| 鉻   | 52.0              | 5.09 ,,               | $2.0 \times 10^8$  | 7320               | 11     |
| 鐵   | 55.8              | 5.83 ,,               | 3.9 ,,             | 9600               | 43     |
| 鎳   | 58.7              | 6.17 ,,               | 5.4 ,,             | 10,750             | 80     |
| 銅   | 63.6              | 6.26 ,,               | 7.8 ,,             | 11,080             | 170    |
| 鋅   | 65.4              | 6.32 ,,               | 8.7 ,,             | 11,280             | 210    |
| 硒   | 79.2              | 7.38 ,,               | $1.56 \times 10^9$ | 15,400             | 680    |
| 鉍   | 102.9             | $1.03 \times 10^{10}$ | 2.7 ,,             | 20,900             | 2,100  |
| 銀   | 107.9             | 1.08 ,,               | 5.0 ,,             | 33,000             | 2,500  |
| 錫   | 119.0             | 1.19 ,,               | 8.6 ,,             | 40,000             | 3,600  |
| 鎩   | 184.0             | 1.84 ,,               | 6.8 ,,             | 95,000             | 13,000 |
| 鉑   | 195.0             | 1.95 ,,               | 7.4 ,,             | 108,000            | 15,000 |
| 鉻   | 207.1             | 2.07 ,,               | 8.0 ,,             | 120,000            | 18,000 |
| 鉍   | 298.5             | 2.98 ,,               | 9.5 ,,             | 160,000            | 26,000 |

(註一)參閱 §43 陰極之速與電位之關係。

§ 70. 畢特氏之實驗 畢特氏 (P. R. S. 1912) 證得於克伊氏之實驗中 (§ 65), 所生特殊線之大部分, 係因陰極輻射變為特殊輻射直接之變化; 其餘之小部分, 據普通之所推測, 其來源係因初級 X 線於對陰極板表面下所突現間接上之作用。畢特氏由磁氣分光法, 可得等速之各陰極線, 因證明如陰極線之速, 一逾臨界之值(見§68), 則直接上與間接上之作用, 遂即同時發現。圖 63, 顯示以銅為對陰極板時, 由各種不同速度之陰極線直接上及間接上所發生之銅特殊輻射之相對量。如其速在  $6.25 \times 10^8$  厘米/秒之下, 則兩種作用, 均不顯出, 其值與費丁吞氏對於銅之臨界速相近。

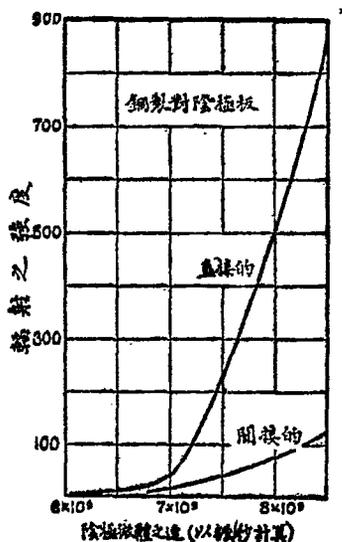


圖 63. 顯示銅對陰極板由各種不同之速之陰極線直接上及間接上所發生特殊 X 線之相對量。

為避免測定 X 線時因用感應圈放電飄忽不定所起之困難起見, 因即思得一巧妙之方法, 令電離箱內之電流, 恰與陰極線放電所挾電流之一部分相平衡, 致驗電器內全不顯示若何之變動。圖 64, 即表示該法佈置之概要。裝置對陰極板之管 A, 其裏面

以鉛鋪之，令與對陰極板相接。陰極線電流之較大部分，經過可變易之抵抗  $P$ ，與地相通。其較小之分數，經高抵抗  $Q$ ，通於電離箱。變易抵抗  $P$ ，至由  $Q$ ，經過之電流，恰與電離箱內漏失之電流相中和為止。於是則離開  $A$  點之電流，中有  $P/P+Q$  入於電離箱。因  $Q$  甚大，——以數位計之，約為  $10^{12}$  歐姆——故離  $A$  點之電流，又可書作  $P/Q$ 。是以各  $X$  線之相對強度，可由測定  $P$  之值以算得之。

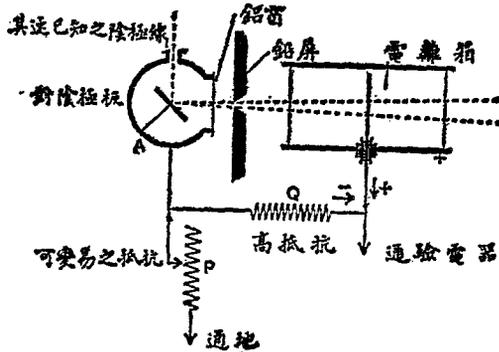


圖 64. 華特氏測定各種速度不同之陰極線直接上及間接上所發生之特殊  $X$  線所用之儀器。

§ 71. 特殊輻射之吸收現象 (a) 巴克納及塞德勒兩氏對於依常吸收現象所得之關係 如表 12 所示，不論  $X$  線之剛度逾乎一定極限以外與否，對於每一種之吸收體，必常具有一常數之吸收比。如用較剛之線，而於依常吸收之處，有違反其比例律者，必因載於表 11 中各種原質之係數，未改正其因彌散現象所起之值

耳。如將灑散現象所起之值，予以相當之糾正（§ 52），則在任何兩種特別原質內，某輻射所被吸收之量之比，必約為常數，且與該輻射之剛度無關，但唯一之條件，則在此項輻射，不致激起兩種原質各自之特殊輻射耳。此種重要之關係，巴克納及塞德勒實首先闡明之。

今舉一例以明之：巴克納及柯禮爾（Collier）證明碳對於鉛之吸收值（依表 12，柔線為 0.11，剛線為 0.41），如改正其灑散之值，則對於各類之 X 線，悉為 0.11，而其值為一常數。

§ 72. (b) 剛度一定之輻射，被一特種原質之非常吸收現象每一原質對於某定剛度之 X 線，如其剛度適與該原質各自之特殊輻射之剛度完全相同時，則該原質顯示其最大限度之透明性；再者如 X 線之透入能力，恰比原質之各自特殊輻射較大時，則吸收之量，因之驟增。例如試以各種單純之 X 輻射，由鈣線以至鉀線，測定其在銅內所被吸收之量，則自柔鈣線始，順次而上，其在銅內之所吸收，當線漸變剛時，必循例遞減，狀至穩定。但一當 X 線之透入性，逼近於銅輻射時，則所吸收之量，轉減為增，而於此點為其最小之限度，亦即透明性達其最大限度之一點也。如再用略剛之線，則銅之 ( $K$ ) 輻射，因之激起，而吸收之量，驟形增加。如投射線更令變剛，則吸收量之一致升高者，遂又即於低落，終復歸於通常之狀態。剛性遞增，而其減低之狀，尚屬穩定，但與『環』(loop) 前相較，仍覺其頗為陡峭耳，

以上各種之現象，顯示如圖 65，該圖係對於投射 X 線頗廣之剛度區域內，表示具有 K 及 L 輻射之一原質其相當之吸收曲線上之兩環。此圖純係一種圖式，以爲解釋明晰之用，并非按照比例尺精確製定者也。就現今而論，對於任一單獨原質之完全吸收曲線，迄未製就。要之對於爲吸收用之金屬，如其原子量較低者，則其相當曲線上之環，當移向右端；其原子量較高者，其環當移向左端。

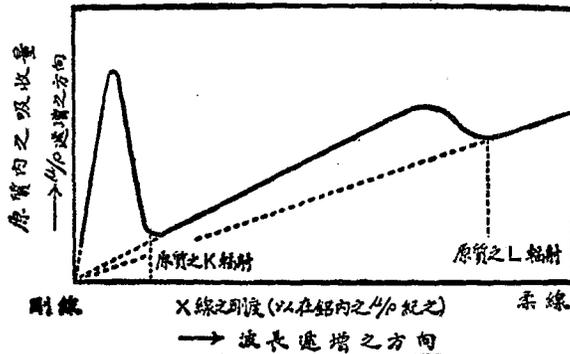


圖 65. 具有頗廣之剛度區域之 X 線，爲一種原質所起吸收現象之圖示法。

由 X 線球各種對陰極板直接所發生之特殊線，其相對之透過量，於克伊氏之實驗中（註一），顯示甚爲明晰。表 10，即係由各種對陰極板所發出之 X 線，於其途徑內遞次隔以相同之金屬屏，以考驗其所生之作用所得之結果。細閱下表，即可證知如對陰極板之質料，與屏相同，則透過線之強度，達一最大之限度。爲對於各金屬屏

（註一）見 § 65，及 P. C. P. S. May 1907.

之結果，立一比較標準起見，表中於鉛製之對陰極板所得透過輻射之強度，定為 100。

表 10. 表示各種輻射之相對透過量

(鉛輻射=100)

| 由下列各金屬製成之對陰極板 | 由下列各金屬製成之屏 |     |     |     |     |
|---------------|------------|-----|-----|-----|-----|
|               | 鉛          | 鐵   | 錘   | 銅   | 鋅   |
| 鉛 (27)        | 100        | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 鐵 (56)        | 160        | 600 | 340 | 850 | 160 |
| 錘 (59)        | 180        | 200 | 740 | 570 | 220 |
| 銅 (64)        | 210        | 210 | 810 | 740 | 270 |
| 鎳 (195)       | 530        | 450 | 480 | 480 | 670 |

將表 11 或表 12 加以縝密之考察，則圖 65 所顯示各種之吸收現象，當更明晰。表 11，係記載在各種吸收體內各種特殊輻射之質量吸收係數，而表 12 則紀錄各物體對於鉛內之相對吸收量之值。後表即可由前表以推得之。巴克納及柯禮爾 (P. M. 1912) 謂圖 65 所示對於某種之吸收體之兩個吸收環，如對於每種之吸收曲線，將縱橫距之比例尺，予以適宜之選定，則此等環之形狀，與其他任一吸收體之相當環，不惟相似，且完全相同。為達到此種目的起見，其安置之方法，須將與某吸收體之特殊輻射相當之特別縱距，在各種不同之曲線內，常令佔同一之位置，及具同一之長度。換言之，即吸收量與波長之比例尺，安排時須令鐵 (K) 輻射在鐵內之所吸收，銅 (K) 輻射在銅內之所吸收等等，均用圖解上之一點 (A) 以代表

表 11. 各種特殊輻射在各種吸收體內之質量吸收係數 ( $\mu/\rho$ )  
 $\mu$  之足數係  $I = I_0 e^{-\mu d}$  定之;  $\rho$  為用以吸收之原質之密度;  $\mu/\rho$  係以毫克單位組之。

| 放射線之<br>特殊原質   | 組別 | 用 以 吸 收 之 物 體 |             |           |           |           |           |           |           |           |            | 金<br>(197) |            |            |
|----------------|----|---------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|
|                |    | 錳<br>(52)     | 錳<br>(54.4) | 錳<br>(24) | 錳<br>(27) | 錳<br>(58) | 錳<br>(59) | 錳<br>(61) | 錳<br>(63) | 錳<br>(65) | 錳<br>(108) |            | 錳<br>(110) | 錳<br>(185) |
| 鉻 (52)         | K  | 15.3          | 1.96        | 1.96      | 1.96      | 1.04      | 1.29      | 1.43      | 1.43      | 1.70      | 5.80       | 71.4       | 517        | >507       |
| 鉻 (56)         | K  | 10.1          | 15.6        | 8.0       | 88.5      | 68.1      | 83.8      | 95.1      | 112       | 112       | 391        | 472        | 340        | 367        |
| 鉻 (59)         | K  | 7.66          | 12.7        | 63.5      | 71.6      | 67.3      | 67.3      | 75.3      | 91.5      | 91.5      | 314        | 392        | 293        | 306        |
| 鎳 (59)         | K  | 6.88          | 10.5        | 51.8      | 59.1      | 21.4      | 56.3      | 61.3      | 74.4      | 74.4      | 262        | 328        | 236        | 253        |
| 鎳 (64)         | K  | 5.22          | 8.43        | 41.4      | 47.7      | 288       | 62.7      | 68.0      | 60.9      | 60.9      | 274        | 272        | 194        | 210        |
| 鎳 (56)         | K  | 4.26          | 6.96        | 34.7      | 39.4      | 221       | 285       | 65.5      | 60.1      | 175       | 225        | 162        | 178        | 178        |
| 鎳 (75)         | K  | 2.49          | 4.10        | 19.3      | 22.5      | 134       | 166       | 176       | 203       | 105       | 181        | 108        | 106        | 106        |
| 鎳 (80)         | K  | 2.04          | 3.40        | 15.7      | 18.5      | 116       | 141       | 176       | 175       | 87.5      | 112        | 112        | 92         | 102        |
| 鎳 (85)         | K  | 1.9           | 3.02        | —         | 16.3      | —         | 141       | 128       | —         | 75.4      | —          | —          | 181        | 135        |
| 鎳 (88)         | K  | 1.16          | 1.78        | —         | 10.9      | —         | —         | 128       | —         | —         | —          | —          | 168        | 147        |
| 鎳 (96)         | K  | 0.81          | 0.98        | —         | 9.4       | —         | —         | 83.4      | —         | —         | —          | —          | 180        | 160        |
| 鎳 (108)        | K  | 0.46          | 0.59        | —         | 4.8       | —         | —         | 40.3      | —         | —         | —          | —          | 95.5       | 111        |
| 鎳 (119)        | K  | 0.55          | 0.59        | 2.2       | 2.5       | 17.4      | —         | 24.3      | —         | —         | —          | —          | 56.5       | 61.4       |
| 鎳 (120)        | K  | 0.31          | 0.39        | —         | 1.57      | —         | —         | —         | —         | —         | —          | —          | 47.1       | 51.7       |
| 鎳 (127)        | K  | 0.29          | —           | —         | 1.21      | —         | —         | —         | —         | —         | —          | —          | —          | —          |
| 鎳 (137)        | K  | 0.26          | —           | —         | 0.92      | —         | —         | —         | —         | —         | —          | —          | —          | —          |
| 鎳 (140)        | K  | 0.248         | —           | —         | 0.8       | —         | —         | —         | —         | —         | —          | —          | —          | —          |
| 鎳 (184)        | L  | —             | —           | —         | 0.6       | —         | —         | —         | —         | —         | —          | —          | —          | —          |
| 鎳 (185)        | L  | —             | —           | —         | 80.0      | —         | —         | —         | —         | —         | —          | —          | 163        | —          |
| 鎳 (207)        | L  | —             | —           | —         | 23.2      | —         | —         | —         | —         | —         | —          | —          | 118        | —          |
| 鎳 (208)        | L  | —             | —           | —         | 17.4      | —         | —         | —         | —         | —         | —          | —          | 138        | —          |
| 鎳 (208)        | L  | —             | —           | —         | 16.1      | —         | —         | —         | —         | —         | —          | —          | 127        | —          |
| 鎳 (233)        | L  | —             | —           | —         | 8.0       | —         | —         | —         | —         | —         | —          | —          | 184        | —          |
| 鎳 (238)        | L  | —             | —           | —         | 7.5       | —         | —         | —         | —         | —         | —          | —          | 182        | —          |
| 密度( $\rho$ ) = |    | 1.0           | 0.00125     | 1.74      | 2.70      | 7.86      | 8.9       | 8.93      | 7.1       | 10.5      | 7.29       | 21.5       | 19.3       |            |

\* 溫度為 0°C, 壓力為 760 毫米之密度。



之。如是，則各種之吸收曲線，其在  $K$  環之處，量之適相融合。 $L$  環之處，理亦相同。

§ 73. (c) — 特種輻射被各定原質之非常吸收現象  $X$  線之吸收曲線，所顯轉折之狀(如上節所述)，或可由圖 66 更覺明晰(本於巴克納及柯禮爾氏之原論文 *P. M.* 1912)。該圖係表明鎳 ( $K$ ) 輻射在各種原質中所被吸收之量，蓋隨吸收體之原子量而變。

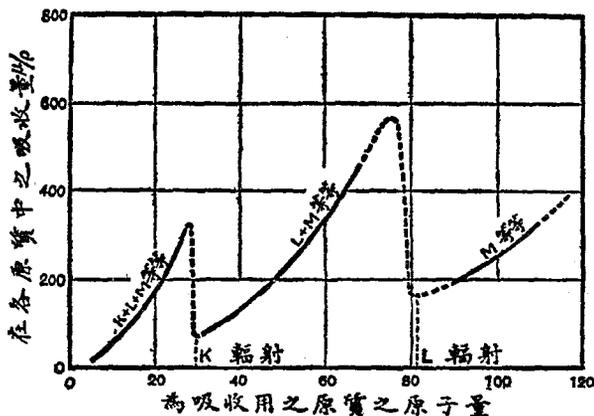


圖 66. 表示鎳 ( $K$ ) 輻射在各原質中之吸收量與用以吸收之原質之原子量之關係。對於以鎳為輻射之吸收量，經過一次最小之限度，又對於量二原子量約為 104 之原質為輻射，又經再度最小之限度(當其  $L$  輻射完全與鎳 ( $K$ ) 線相同時)。試以此圖與圖 49 相比較。

今試注意下項之事實：如自輕原質始，漸次及於略重之原質，則鎳線所被吸收之量，常隨為吸收用之物體之原子量而漸增加，狀至穩定，是時吸收體之各種特殊輻射 ( $K, L, \dots$ ) 皆屬同被激起，

乃能有如是之結果也。但一當吸收體之原子量漸高，至其所具之  $K$  輻射不復激動時（其他仍尚存在），則其吸收量遽爾降落。再用較高之原子量，則鐳輻射僅能激起  $L, M, \dots$  等輻射，而吸收量之增加，仍極穩定。迨當鐳輻射不復激起其  $L$  輻射時，吸收量迺經再度之降落。換言之，透明性當以鐳為屏時，達一最大之限度，而當所用之一屏，如其所具之  $L$  特殊輻射，完全與鐳  $K$  輻射相同時，則透明性又達最大之限度也。是故  $\mu/\rho$  隨吸收體之原子量而增加，成為有規則之曲線，但如有若干原質，當其特殊輻射之一種或他種，完全與方被吸收之  $X$  線相同時，即有若干處，其所被吸收之量，遽遭一度之降落也。

如所被吸收之輻射，為其他任一種之特殊輻射，亦可得其與此相似之曲線：如輻射較剛，則最大值及最小值各點，皆移向右邊；如輻射較柔，則各點均移向左邊。

圖 66. 與崩落伊斯特氏對於龐雜  $X$  線之曲線相似（圖 49），此點亦堪注意。

蒲鏡格里氏（de Broglie）對於  $X$  線吸收光帶之試驗結果，亦予本問題以莫大之貢獻（參閱 § 136 及 *J. de P. for 1914 ei seq.*）。

§ 74. (d) 特殊輻射在各氣體內之吸收現象 歐文氏（*P. R. S. 1912*）測定各種特殊輻射在各種較輕之氣體中之吸收量。為避免尋常輻射體與初級  $X$  線之方向成一角度，致發生微弱之輻射，於實驗時所感之困難起見，歐文氏用一巧妙之設計，安置一種銀製

之薄對陰極板，以爲放電管之窗之用。遞置各種輻射體，貼近窗之外部，由是可得甚強之各種特殊輻射。圖 67，即示該氏所用儀器裝置之大概。對陰極板爲避免致被陰極線之鎔化起見，常以冷水澆之。

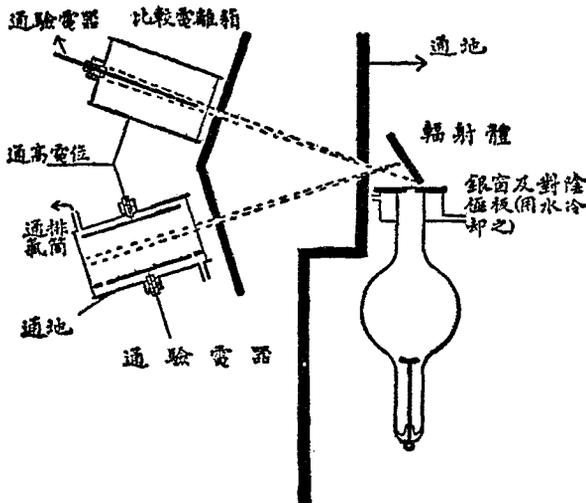


圖 67. 歐文氏測定特殊 X 線在各氣體內之吸收係數所用之儀器。

由鐵至鉛止之各輻射體所發出之特殊 ( $K$ ) 線一束，經過羊皮紙窗，入於電離箱內。線束須充分狹小，免與極相撞；極與箱之內面全部，俱用紙鋪之。箱內所用之氣體，及其壓力之大小，可隨意變換。另用比較電離箱者，所以制止成應圈放電時飄忽不定之影響。

歐文氏首先證得在一種氣體內，任一特殊輻射之吸收係數，當

依壓力而成正比例，一如對於單純線束之所預期者也。

再者各種不同之輻射，其在一特種之氣體內之吸收係數，與其在空氣內之相當吸收係數，係成正比例，由此可知巴克納及塞德勒之通律 (§71(a))，亦可推及於氣體矣。歐文氏更進而取其一特種之氣體內，各種不同輻射之質量吸收係數之對數以爲縱距，取放出輻射之金屬之原子量之對數以爲橫距，繪出圖解，則觀測所得之結果，不僅全在一條直線上，且對於各種不同之氣體所得之多條直線，皆互相平行。由各線之斜度，吾人並可證知一種輻射之吸收係數，係與輻射體之原子量(或原子數)之五次方或六次方成反比例。對於以鋁爲吸收體所得之曲線，茲顯示如圖54。

巴克納及柯禮爾 (*P. M.* 1912) 對於各種氣體內之吸收量，復加試驗。今試選其所得之結果，與歐文氏之所得者，合載於表 13 中，因得空氣，二氧化碳，二氧化硫，溴乙烷。及碘甲烷各蒸氣之吸收係數(以羅克單位計之)。

§75. 微粒線 (corpuseular Rays) 苦麗及帥格勒克 (*Sagnac, C. R.* 1900) 首即證明當一種金屬板爲X線所撞擊時，則次級輻射之一部分，係帶陰電。此種微粒線，或電子，當物體開始發出特殊之X線時，其放出之量，最爲繁盛。

此種具有高速之微粒，究由何法測驗其帶有陰電，當非難事，因如將金屬板置於真空中而令絕緣，則被X線衝擊之後，該板即帶有陽電故也。如測定金屬板上電量增加之率，則每秒所驅斥之微粒

表 13. 各特殊輻射在各氣體內之吸收係數

| 放<br>射<br>之<br>特<br>殊<br>全<br>屬 | 用以吸收之氣體 (在 0° C. 溫度, 760 毫米壓時) |            |                 |            |                 |            |                                  |            |                 |            |                   |            |
|---------------------------------|--------------------------------|------------|-----------------|------------|-----------------|------------|----------------------------------|------------|-----------------|------------|-------------------|------------|
|                                 | 空 氣                            |            | CO <sub>2</sub> |            | SO <sub>2</sub> |            | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> Br |            | CH <sub>4</sub> |            | CH <sub>3</sub> I |            |
|                                 | $\mu$                          | $\mu/\rho$ | $\mu$           | $\mu/\rho$ | $\mu$           | $\mu/\rho$ | $\mu$                            | $\mu/\rho$ | $\mu$           | $\mu/\rho$ | $\mu$             | $\mu/\rho$ |
| 鐵, Fe (56)                      | 0.0202                         | 15.6       | 0.0456          | 23.1       | 0.24            | 83.3       | 0.512                            | 105        | 2.16            | 339        | —                 | —          |
| 鈷, Co (59)                      | 0.0165                         | 12.7       | —               | —          | 0.20            | 69.4       | 0.407                            | 83.2       | —               | —          | —                 | —          |
| 鎳, Ni (58)                      | 0.0136                         | 10.5       | 0.0319          | 16.1       | 0.166           | 57.6       | 0.325                            | 66.3       | 1.80            | 283        | —                 | —          |
| 銅, Cu (64)                      | 0.0109                         | 8.43       | 0.0227          | 11.5       | 0.134           | 46.5       | 0.260                            | 53.1       | 1.54            | 241        | —                 | —          |
| 鋅, Zn (65)                      | 0.0080                         | 6.96       | 0.0184          | 9.31       | 0.112           | 38.9       | 0.215                            | 43.9       | 1.27            | 198        | —                 | —          |
| 砷, As (75)                      | 0.0033                         | 4.10       | 0.00888         | 5.00       | 0.066           | 22.9       | 0.123                            | 26.1       | 0.743           | 116        | —                 | —          |
| 硒, Se (78)                      | 0.0044                         | 3.40       | 0.00782         | 3.96       | 0.0546          | 19.1       | 0.110                            | 22.4       | 0.619           | 97         | —                 | —          |
| 溴, Br (80)                      | 0.0039                         | 3.02       | —               | —          | 0.050           | 17.4       | 0.096                            | 19.6       | 0.552           | 86.5       | —                 | —          |
| 鉍, Bi (83)                      | 0.0023                         | 1.78       | 0.00420         | 2.12       | 0.0261          | 9.76       | 0.025                            | 66.3       | 0.338           | 53.0       | —                 | —          |
| 鉬, Mo (96)                      | 0.00127                        | 0.93       | 0.00281         | 1.42       | 0.0160          | 5.56       | 0.210                            | 42.9       | 0.107           | 30.9       | —                 | —          |
| 銀, Ag (108)                     | 0.00077                        | 0.59       | —               | —          | 0.0379          | 2.75       | 0.108                            | 22.0       | 0.113           | 17.7       | —                 | —          |
| 密度, $\rho =$                    | 0.00129                        | —          | 0.00198         | —          | 0.0258          | —          | 0.00490                          | —          | 0.00638         | —          | —                 | —          |

數，亦不難確定；又如施以大小及方向均甚適當之電力，則微粒之速，當能測驗。顧在實用上，此種測量速度之法，雖對於由紫外光所放逸低速之電子，或頗便利，但用於X線時，因所需電位大小之關係，究有不甚適宜之處。

如電子之數，極其繁夥時，則可用磁氣偏折法以測其速。

§ 76. 微粒線之分佈 微粒放射之強度，隨原子量而增(註一)。與X線束成直角之方向，微粒最佔優勢，故斜射之X線束，比之正射(即循法線放射)之線束，其放逸之微粒常較多，即是理也(Laub, *A. d. P.* 1908)。

再者當X線通過一種極薄之金屬板時，則較遠之一面(即復現之面)，所放出之微粒，比之較近之一面(即投射之面)，其量較多。如X線剛而原質之原子量低者，則此種現象，尤為顯著。例如畢特氏(*P. C. P. S.* 1910)考得用銀製之薄片時，兩面相差之量，當X線用鐵發出之特殊X線時(即甚柔之X線)，尚不逾百分之二者，如用較剛之錫及鋁特殊線，則可達至百分之三十或四十。至微粒之速，則在片之兩面，尚無快慢之分耳。但由其他之方面，柯克隨氏(*Cooksey, P. M.* July 1912)考得為激動用之X線，當其經過金屬之薄層時，如對於其所被吸收之量，酌量予以相當之增減，則復現方面之微粒線，與其投射方面之微粒線之比，無論為何種金屬，

---

(註一)木爾氏(*Moore, P. P. S.* May 1915)考得微粒放射，與放射體之原子量之四次方成正比例，

或爲何項X線，並不顯有某種之變易。復現方面所經過之量，以數位計之，常爲百分之二十，無論此時所用之片，爲金製抑爲銀製，所用之X線，並可由鉻X線以迄錫X線，其間透入能力之差異，幾達八十倍之多，而其超過之量，恆仍爲上數也。

此外尚須附帶聲明者，則克里滿 (Kleeman, *P. R. S.* 1910)，司徒滿 (Stuhlmann, *P. M.* 1911) 考得用紫外光時，其所得之值，與此大略相同。

§ 77. 微粒線之速度 於一九〇〇年，佟翁氏 (Dorn) 首先測定此種微粒線之速度，於一九〇七年，尹雷斯 (Innes, *P. R. S.*) 復作更較完備之測驗。該氏之實驗，先令X線落於真空內之金屬片上，其所放射之微粒，遞次經過各鉛片上之兩個孔隙，再用照像法以紀錄之。儀器之全部，必須排爲真空者，因在尋常壓力之下，則微粒易致彌散，且其途徑過短，不易追隨，實驗上倍感困難也。微粒之速度，可由其在勻等磁場(用郝爾姆霍茲式 (Helmholz) 感應圈一副所發出之電場)內偏折之度以測定之。由此試驗，尹雷斯氏因考得微粒之速度，與X線球離微粒所由放出之金屬片之距離無關，是亦最關重要之一結果也。X線球與金屬片之距離，歷經變易至八倍或九倍之多，而其所得之速，仍不見有何顯著之效果。又通於X線球之電流，如對於其振動率或大小加以變更時，其速亦不生任何之變更也。

但火花缺隙之增加，即施用於管之電位之增加，則見微粒之

速，因亦隨之增加，此項事實，茲顯示如次之表 14。如欲由此種之測定，進而推求其絕對速度，則對於該微粒  $e/m$  之值之假定，甚為必要；今試假定其值為  $1.7 \times 10^7$  靜電單位。

表 14. 微粒之速，因火花缺隙之長度所呈之變易

| 放出微粒之金屬 | 原子量 | 火花缺隙  | 微粒之速度                       |
|---------|-----|-------|-----------------------------|
| 鋅       | 65  | 3.9 種 | 6.0 至 $6.4 \times 10^8$ 種/秒 |
| 銀       | 108 | 3.9   | 6.0 至 7.2 ,, ,,             |
| 銀       | 108 | 19.0  | 6.1 至 8.0 ,, ,,             |
| 鉛       | 195 | 3.2   | 6.1 至 7.4 ,, ,,             |
| 鉛       | 195 | 14.0  | 6.5 至 8.0 ,, ,,             |
| 金       | 197 | 3.4   | 6.1 至 7.5 ,, ,,             |
| 金       | 197 | 15.0  | 6.2 至 8.1 ,, ,,             |
| 鉛       | 207 | 5.1   | 6.3 至 7.8 ,, ,,             |
| 鉛       | 207 | 16.0  | 6.4 至 8.3 ,, ,,             |

由此表，可知質料之本態，無論為鋅，為銀，為鉛，為金等等，對於微粒之速度，似不生若何重大之影響；但畢特 (P. M. 1910) 及塞德勒 (P. M. 1910) 最近之實驗，均用特殊 X 線，其結果或可得較確切之判斷也。

§ 78. 微粒線被各氣體之所吸收 塞德勒證得由特殊輻射所激動之微粒輻射，對於任何特種之金屬，皆為均勻之剛度，且遵循一種吸引指數律。是故微粒線各有一定之吸收係數，其值塞氏謂為與所用以為特殊線之金屬之原子量成比例云。

塞德勒及畢特二氏同用一法，以兩平行板相對峙立，於其間施以飽和電場。高電壓之板，以特殊 $\alpha$ 線相撞擊，其結果，則微粒線射，向絕緣板前進，致居間之氣體，發生電離作用，此項電離作用之量，可用法測定之。塞德勒係移動其一極，增加其在氣體內之途徑，以截取其微粒線；而畢特則增加氣體之壓力，藉以增大其生效之途徑 (effective path)，此法或較精確，為前法所不及。

畢特及塞德勒之結果，具載表 15 中，

表中對於某種原質，其答案容或有互相衝突之處，但細加考覈，則知微粒線之吸收係數 (及其速度)，對於同一之 $\alpha$ 線，及對於同一之吸收體，全為常數，不論微粒所由放射之原子，其本態為何若也。

但其速度，則與特殊 $\alpha$ 線之剛度，大有關係。塞德勒由其實驗結果，斷定微粒線係當特殊線或彌散 $\alpha$ 線發生時一定不易之附帶品。由一種物體所發生之微粒線，一當該物體開始放射特殊 $\alpha$ 輻射時，則其量之增加，即異常顯著，或者前項線之放射，蓋以後者之存在為條件者也。

費丁吞 (P. R. S. 1912) 證明畢特氏之結果，合於次式：

$$\mu A^4 = \text{常數},$$

此處之 $\mu$ 為吸收係數， $A$ 係為激起該特殊 $\alpha$ 線之金屬之原子量。

由陰極線四次方吸收公式所推得之結果 (§5)，則得

$$\mu v_0^4 = \text{常數},$$

表 15. 由各種特殊 X 線所發生之微粒線在空氣及輕氣 (在 0°C. 溫度 760 毫米壓時)

中之吸收係數 ( $\mu$ )(爲求  $\mu/\rho$  之值, 將下列  $\mu$  之值, 對於空氣者以 778 乘之, 對於輕氣者以 11,190 乘之。)

| 用以發散<br>之氣體 | 放射微粒之金屬及其原子量 | 激動特殊 X 輻射之金屬 |        |                 |                 |        |        |        |         |         |         |      |                 |
|-------------|--------------|--------------|--------|-----------------|-----------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|------|-----------------|
|             |              | 鋁 (83)       | 銅 (64) | 銻 (65)          | 錳 (75)          | 銻 (79) | 錳 (88) | 鉍 (98) | 銻 (103) | 銀 (108) | 錳 (110) |      |                 |
| 空氣          | 鋁 (27)       | —            | —      | —               | 29.6            | —      | 20.0   | 15.2   | —       | —       | —       | 8.90 | 6.54            |
| ”           | 鐵 (56)       | —            | 38.0   | 35.8            | 30.2            | 26.4   | 21.5   | 15.5   | 10.9    | —       | —       | 8.84 | 6.41            |
| ”           | 銅 (64)       | —            | —      | 36.2            | 30.4            | —      | 20.8   | 15.2   | 10.8    | —       | —       | 8.81 | 6.67            |
| ”           | 錳 (79)       | —            | —      | —               | —               | —      | 16.1*  | 14.0*  | —       | —       | —       | 8.8* | 6.5*            |
| ”           | 銀 (108)      | 87.2*        | 51.9   | { 42.7*<br>85.4 | { 27.4*<br>30.2 | —      | 21.2   | 15.4   | 10.3    | —       | —       | 8.78 | { 3.97*<br>6.63 |
| 輕氣          | 銀 (108)      | 17.03*       | 9.65*  | 7.71*           | —               | —      | —      | —      | —       | —       | —       | —    | 0.51*           |

\* 以 \* 爲記之值, 係本於畢格氏試驗之結果; 餘則爲蓋維勒氏所得之值。

此處之  $v_0$ ，係微粒剛由金屬板拋出時之速度。

綜合上列二式，遂得以次之結論：

$$v_0 \propto A;$$

就實際而論，畢特氏測定之結果，證得

$$v_0 = 10^8 \cdot A.$$

但此為陰極線發生特殊輻射時所必須具之臨界速度值 (§88)。是故由 X 線所發生之次級微粒線，與 X 線球中為發生 X 線用之原有陰極線，具有同一(至少相近)之速度，是為理論上最為重要之結果。

巴克納，省姆斯 (Simms) 及 費耳顏 (Philpot) 證得 X 線在氣體內之所吸收，其所發生微粒輻射之量，與吸收係數成正比例。

巴克納，及 奚阿瑞 (Shearer, P. M. Dec. 1915) 更證得由一特種之金屬，迨經 X 線之作用後，其所放出微粒之 K 及 L 兩組所具之速度，必約略相同，雖兩組於其發源之點及其結合關係，或因發生於原子內兩個各別之電子環者，各不相同也 (見 §15) (註一)。

§ 79. 次級 X 線發生時之疲勞效果 由多數實驗家如 莫爾 (More, P. M. 1907), 郭德 (Gowdy, P. R. 1910), 緬滿 (Rieman,

(註一)自 1922 年以後，研究此問題者頗多，以上對於微粒線所得之結果，不無須待修改之處。凡經單粒 X 線所透放之電子，其速並不相等，而可分為多組，每組之速度，係視由原子內各環之一所透放之電子所需電力之量而定。故該原子之本態如何，實為重要元素。參閱 De Broglie, Whiddington, and Ellis, 1921 and 1922。

P. R., 1911) 等所得之結果, 因證得由一種金屬發出之次級 X 線, 其產額隨時而減, 是金屬受 X 線之作用, 呈現一種疲勞之效果也。但據近今普通所公認之學說, 則以為此種效果, 多因(雖非全因)其表面受有周圍氣體之作用所起之化學變化。故甫經製就之金屬表面, 例如用真空蒸餾法(by distillation in vacuo)所得之金屬表面之類, 如能繼續保持真空時, 則並不顯若何之疲勞現象, 而氣體所起之任何作用, 遂以免除。

## 第十章 X線之其他性質

§ 80. X線之電離現象 當 X 線經過一種物體時，隨其所在，闖入原子之內，驅斥其內之微粒，以致原子之電離。但原子受如是之影響者，其部份仍極微少，雖在極盛之時，其遭電離作用者，不過一兆 ( $10^{12}$ ) 分之一；其餘則徑行通過，並不收受任何能力，或受任何堪以重視之影響。

§ 81. 電離作用及壓力 電離作用之程度，大與氣體之本態及氣體之壓力有關，又與 X 線之剛度有關。X 線經過氣體所發生之電離作用，如無次級輻射發現時，與氣體之質量成正比例，即與壓力（當溫度不變時）成正比例也。但次級輻射，通常易致發生：如其透入能力充分之大，能達相對之極時，則其所生之電離作用，將與壓力之平方成正比例也。如次級輻射於未抵極以前，即被吸收，則電離作用，僅與壓力成正比例。

但多數之觀測家，均謂當壓力不甚低時，電離作用與壓力之關係所成之曲線，多為一直線(註一)，準是推求，則知電離作用之所由

~~~~~  
(註一)例如克繞審 (P. B. S. 1908) 所用為尋常 X 線；歐文 (P. B. S. 1912) 所用為單純 X 線。其必要條件，則在無特殊輻射之發生。

起，係因 X 線直接之作用，或因易被吸收之微粒線，二者必居其一也。

§ 82. X 線之電離作用，係間接的 現今普通認定之學說，以爲 X 線所發生之電離作用，係一間接作用，單因微粒線而起；換言之，次級微粒，實操全部電離作用之樞紐，但非挾有全部之能力。蒲惹格教授首先堅持之說，以爲 X 線於其放射之程途中，不貴若何能力，故不能有若何之電離作用。

畢特氏對於重氣體—— $\text{SeH}_2$ ,  $\text{AsH}_3$ , 及  $\text{Ni}(\text{CO})_4$ ——之電離作用所得之結果 (*P. R. S.* 1911), 大有助於蒲惹格氏之學說。蓋畢特氏實考得微粒線之量，全屬相同，不論該物體係處氣體之狀態，抑處固體之狀態也。惟蒲惹格說之真確，其最無可駁詰之證明，則爲威爾遜氏 (*C. T. R. Wilson*) 之凝結實驗(見 § 86)。

最近經巴克納及費耳頗 (*P. M.* 1913) 之實驗，遂更證實 X 線在各氣體內等量吸收現象所生之相對電離作用，與由微粒線所發生者完全相同。

§ 83. 在各氣體內之相對電離作用 先代關於氣體內電離作用之試驗，其結果多與 X 線與極或與電離箱之表面相撞所放逸之微粒相混雜，不合實用。克繞塞 (*P. R. S.* 1908) 於其考究龐雜 X 線在各種氣體中所生之電離作用，力求祛除此弊。其所得之結果，選載表 16 中。

電離作用之程度，除輕氣及溴乙烷 (ethyl bromide) 外，不

表 16. 氾雜 X 線在各氣體內所生之相對電離作用

氣體或蒸氣	對於空氣之密度 = 1	對於空氣之電離作用 = 1.	
		柔 X 線 (6 耗火花)	剛 X 線 (27 耗火花)
氫氣, H <sub>2</sub>	0.07	0.01	0.18
二氧化碳, Co <sub>2</sub>	1.53	1.57	1.49
氯乙烷, ethyl chloride, C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> Cl	2.24	18.0	17.3
四氯化碳, carbon tetrachloride, CCl <sub>4</sub>	5.35	87	71
四碳鎳, nickel carbonyl, Ni(CO) <sub>4</sub>	5.90	89	97
溴乙烷, ethyl bromide, C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> Br	3.78	72	118
碘甲烷, methyl iodide, CH <sub>3</sub> I	4.93	145	125
二甲汞, mercury methyl, Hg(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	7.93	425	—

表 17. 單純 X 線在各氣體內所生之相對電離作用 (註一)

放出特殊 X 輻射之原質	對於空氣之電離作用 = 1.					
	H <sub>2</sub> * (畢特)	O <sub>2</sub> (巴氏及費氏)	CO <sub>2</sub> (歐文)	SO <sub>2</sub> (歐文)	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> Br (巴氏及費氏)	CH <sub>3</sub> I (巴氏及費氏)
Fe	.00571	1.37	1.53	11.3	41.2	—
Ni	—	1.35	1.55	11.6	—	162
Cu	.00573	1.38	1.55	11.8	42	152
Zn	.00570	1.42	1.54	11.5	41.6	—
As	.00573	1.27	1.51	11.7	42.2	158
Se	—	1.31	1.53	11.8	41.7	—
Sr	—	1.28	1.53	11.8	153	—
Mo	—	1.28	1.54	11.5	213	188
Ag	—	1.32	—	—	272	198
Sn	.04	1.29	—	—	385	205
Sb	—	1.28	—	—	—	—
I	—	—	—	—	—	211
Ba	—	—	—	—	—	251

(註一)所有大級之輻射,除濺散 X 線外,在氣體內皆全被吸收。但氣體為溴乙烷及碘甲烷時,則大異是。因此時 X 線之剛度,各能充分激起溴與碘之特殊輻射也。

\* 爲阿蘭 (P. M. Oct. 1915) 考得對於銅線射及鎳線射之值,依次爲 0.0010 及 0.0016.

受 X 線之剛度之影響。歐文 (*P. R. S.* 1912), 巴克納, 及 費耳顏 (*P. M.* 1913) 試驗區域頗廣之剛度之多種單純 X 線, 因證實電離作用, 與 X 線之剛度無涉。其惟一之條件, 則在氣體之內, 須不激動特殊輻射。如特殊輻射發生時, 則電離作用及吸收之量, 均常增加。此種結果, 可於表 17 見之。

§ 84. 在各氣體內之全部電離作用 歐文氏復推得一種重要之結果, 以爲一束單純之 X 線, 在一種氣體內全被吸收時所生逸洪之總數, 當特殊輻射尚未激起時, 皆屬相同, 不論線之剛度及氣體之本態何若也。此項結果, 經巴克納及費耳顏再進一步之推求 (*P. M.* 1913)。因復證得一束單純之微粒線, 在一種氣體內所生之全部電離作用, 與用以吸收之氣體之本態無涉。

關於多種混合之氣體, 則情形繁雜, 其結果殊難闡述。此時相加律 (addition law) 或不適用 (barkla and philpot *P. M.* 1913)。如 X 線通過兩種氣體之混合體, 則由觀測所得之電離作用, 與 X 線分別通過兩種氣體時所測得各個電離作用之和, 大相逕庭。

§ 85 電離作用及溫度 於一九〇九年, 克繞塞氏證得 X 線所生之電離作用, 如密度保持不變時, 與溫度無關。關於此等試驗, 克繞塞所用之溫度, 由  $-180^{\circ}$  以至  $+184^{\circ}\text{C}$ . 不等, 且此時之 X 線, 須不與用以試驗之極相撞, 此層該氏亦予以特別之注意。該氏所用之儀器, 專備爲空氣液化時之溫度而設, 茲顯示如圖 68。

§ 86. 威爾遜氏 (*C. T. R. Wilson*) 之凝結試驗 威爾遜氏

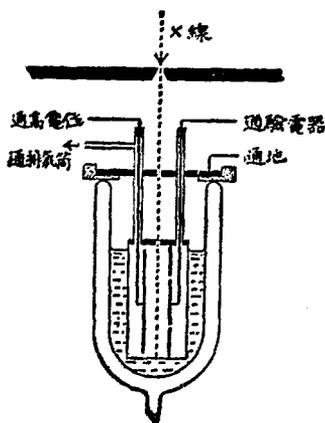


圖 68. 克燒塞氏之儀器用以證明X線在氣體內電離作用之程度，與溫度無關。保護室之設計，須特加注意。此項儀器，專備為空氣液化時之溫度而設。

(P. R. S. 1912) 累加精密之試驗，至近時始慶厥成，能令X線束(或鐳線射)經過一種氣體時，其所發生帶電逸洪之繖迹，可以明見，並可攝取其像。其法係因過飽和之水蒸氣，堆集於逸洪上——宛如其堆集於塵埃上者——致成微小之滴。是故X線束之繖迹，本屬不能目見者，可由水滴簇聚之迹以辨之。

威爾遜準上法能將多數凝結之細核，於其經X線之電離作用後，即行攝取其所佔位置瞬息間之照片。

圖 69. 顯示所用儀器之大概。容於甚淺之凝結箱內之空氣，因器底之水，與水氣完全飽和。如將凝結箱可以活動之底，令其下面與一真空箱相通，則箱底下落，箱之容積因之驟增，而過飽和現象(supersaturation)於焉發生。其法係將圖中所示之繩，猛拉一下(向左)，遂開凝結器下之舌門。舌門開放之後，將繩向上疾引，連於其下之重體，因之驟加停止，而其下端為繫一鋼球用之細線，忽焉折斷，鋼球於是下墜。鋼球下墜時，遂次通過兩個火花缺隙：其第

一次，使一來頓瓶通X線球而發出閃光；第二次，則同樣激起發光輝之火花（illuminating spark）。

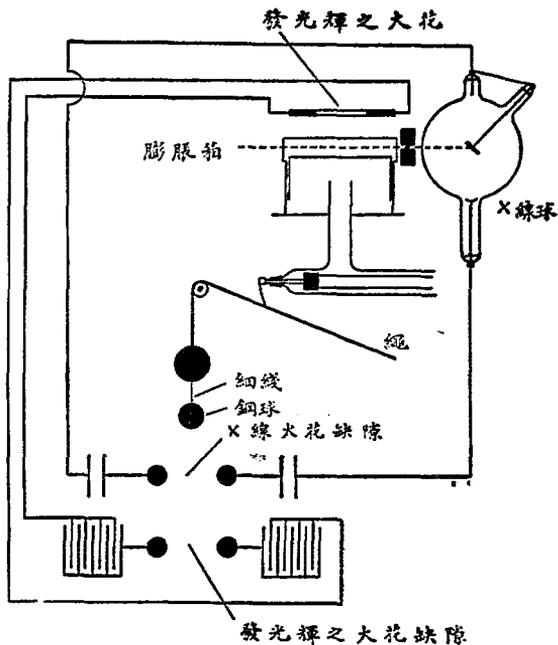


圖 69. 威爾遜攝取 X 線在真空氣內之軌迹所用儀器之圖式

該器之裝置，其初係使水平向之 X 線束，直貫箱之中心；發光輝之火花，則與 X 線束成直角，發出一束之閃光，且為水平之方向（或近於水平之方向），照像箱須依水平向，安設於箱之與發光輝之火花相對之一邊膨脹箱之上下兩面，繼續以一電場保持其一定之

電位。

故實驗時經過之程序，爲(1)膨脹，令發生過飽和現象；(2) X線放電，令箱內發生電離作用；(3)水凝結於逸洪上；(4)火花之經過，以攝取雲滴輻迹之像。

威爾遜氏所攝得瞬息間之照片(見圖 70 及圖 71)，係表示發軔於 X 線束之內及蔓延於其外者多數微粒之輻迹。關於 X 線之部分，除微粒之發生外，不見有其他何項作用之表現；而 X 線之輻迹，除於微粒發端之處外，更不能有所辨識。按雲滴之輻迹，因知微粒發軔於初級線束之途徑內者，各向皆有：似不對於特別之方向，特示優異。



圖 70. 威爾遜氏對於在過飽和空氣內 X 線束之途徑所攝取之照片。線束之直徑，約爲 2 釐，於其膨脹因而發生過飽和現象後，令線束經過含水氣之空氣內，由圖之左以及右。照像箱之軸，係依水平之方向，照片之倍率，約爲  $2\frac{1}{2}$  倍。

由上項結果，因益證實蒲惹格教授數年前主張之說不謬：即謂 X 線於其壽命之全部，全無損害，X 線不顯，則饒有效率之媒介一微粒一，應運而生是也。故 X 線之電離作用，似全屬於第二級之程序。

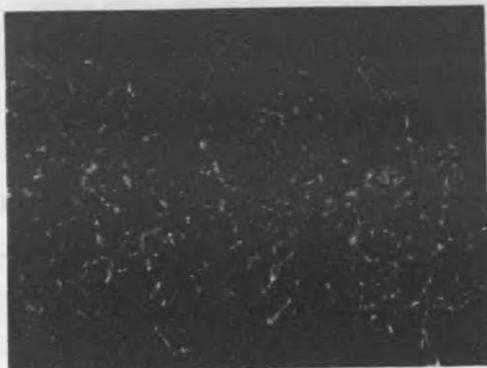


圖 71. 威爾遜氏對於含有水氣之過飽和空氣內 X 線束之途徑所攝取之照片。線束之直徑，約為 2 耗，於其膨脹因而發生過飽和現象後，令線束經過空氣內，由圖之左以及右。照像箱之軸，係依水平之方向，照片之倍率，為 6 倍。

§ 87. X 線之速度 於一九〇六年，德國馬克斯 (Marx) 發表其對於任根線之速度歷經精密考究之結果。該氏係用來自電線 (electric wire system) 之電波，以激動 X 線球，此種電波，又使 X 線所射及之絕緣板所帶之電，達一種可以變易之電位。由該板所放出之次級微粒，可收集於華瑞德氏之圓筒 (Faraday cylinder)，該筒係與驗電表相連，藉以量其收集之電量：微粒放出之量，可由板之電位與 X 線球陰極之電位二者間位相之關係 (phase-relation) 以調度之。如對於各種相間之距離，及為連接用之線之各長度，施以相當之調度，使華瑞德圓筒所收受之電量，達一最大之限度，則知如 X 線球距絕緣板之距離，增加一定之量時，則為恢復上項之最

大值起見，電波達於絕緣板所由經過之線，必須增加同一之長度。是故依馬克斯之說，任根線進行之速度，與沿線進行之電波相同，故與光之速度之相差，亦極有限，充其量不逾百分之五。

馬克斯氏實驗之裝置，經胡源克 (Franck) 及蒲耳 (Pohl) 兩氏之嚴厲批評，重加試驗，頗疑是法之不當。馬氏於其答辨中 (A. d. P. 1910……) 累經多次之試驗，力持原議，然其說似仍無以壓批評者之望也 (A. d. P. 1911)。

上述各種之實驗，尚在對於 X 線之本態，未能完全明晰之前；就現今而論，則謂 X 線之進行，除光之速度外復具其他之速度者，當無可信之理由矣。

## 第十一章 X線之應用

### X線及醫學

§ 88. 輻射照像術 關於此項重要部分最精細之討論，具詳各醫學專著；第十二章，則係研究關於裝置上及技術上各重要之點。輻射照片，不過為一種顯出陰影之照片，其最當注意之點，則在安置物體令處於與X線球成對稱之位置，以免像之斜曲。為求得完全清晰之像起見，X線須僅由對陰極板上之一單點發出，但在事實上，此層萬難辦到，故尋常截阻多量之X線至力所能及而止，頗有利益。尋常所用之鉛管膜 (lead tube diaphragms)，即為此等之用。而在醫術上，又可為其他之用處。例如繼續作週期運動之腎，為輻射照像之用時，緊按鉛管於其腹部，可令其運動暫時停止之類是也。

X線球距螢光屏或照像板之距離愈遠，則像愈見真確；尋常所用之距離由 12 至 24 英寸不等。在醫術上兩尖端間之火花缺隙，大部份以 6 至 8 英寸，為其平均數，但為特殊情形之用，較高之值，亦可用之。如X線過剛，則像片之比照，頗受損失（與用 $\gamma$ 線同）。

照像曝射之時間，隨所用之高電位發動機及X線管而大不同。用鐘形之阻斷器，10 英寸之火花，及平均狀態之X線管，則適當之



圖 72. 一八九六年,一月十八日,孫文選氏 (Campbell Swinton) 攝取之輻射照片。曝顯之時間=4分鐘。

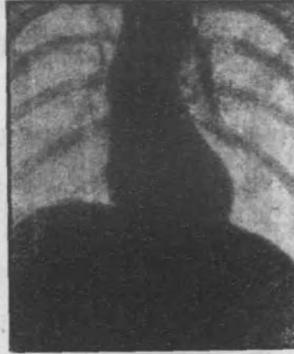


圖 73. 胸部之瞬時輻射照片。曝顯之時間約  $\frac{1}{100}$  秒。(Knox, 1915)

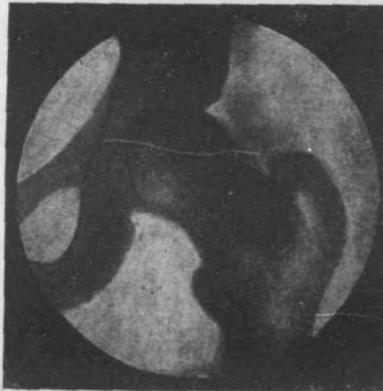


圖 74. 關節之輻射照片

時間，手爲 5 至 10 秒；踝節爲 20 至 30 秒；對於身體較厚之部份，爲一分鐘以上。曝射時間之限度頗廣，但避免不充分之曝射，甚爲重要。

使用照像板之方法，係以感光膜向於 X 線球。據多數照像家之意見，均覺欲得異常清晰之像，則用遲緩之顯像法 (development)，甚爲有益。

彌散輻射現象之發生，對於照片明晰之度，頗有妨害，故須加意防範。如經強烈之曝射，及短時之顯像，則於底片 (negative) 上，此類現象，略可減除。

深槽顯像法 (method of tank development) 及標準實施程序，深得一般人之贊許。迄至現在，多數試驗者，寧舍感光板而用感光軟片 (film)。

§ 89. 加銻之輻射照像術 (bismuth radiography) 消化系 (alimentary system) 之輻射照片，可將食物施以銻鹽或銻漿，使所欲顯出之部分，暫不透明，以攝取之。如是則照像片上之比照，倍極分明。圖 75 即應用此法最著之一例也。氧化鈦及硫酸銻，亦可爲此等之用。惟有一事尚須加以聲明者 卽銻與其他之重金屬，其所發出之顯著而甚柔之次級線，實際上不無傷害之處也。

§ 90. 實體鏡之輻射照像術 (stereoscopic radiography) 關於此類工作，係於兩次曝射之間，移徙 X 線管與照片之表面平行至 2 或 3 英寸遠，於其先後分別攝取圖像兩張；管與物體之距離，

約 20 英寸遠。如是所得之照片，再以一實體鏡觀測之。此種方法，可爲測驗物體內外來物之深度之用，且常對於病症之診察，大有幫助。此外尙有其他式樣之定位器 (localiser)，其中頗有設計精巧，



圖 75. 關於施用鉛罐後攝取之輻射照片。圖之中心，有一黑圓點，係置一金屬圓片於臍上以爲標識所顯之影。

匠心獨運者；關於此類儀器詳細之說明書，備載各製造者之目錄中，茲不贅述（參閱 § 113）。

§ 91. 瞬息輻射照像術 由古代 X 線需歷長時間之曝射時期，以入於近代儀器所得之瞬息輻射照像之時期，其間歷經甚長之程途。但至今日，則對於身體之任何部分，皆可快拍攝像，即方在運動之器官，幾皆可攝取其輻射照片。設所需曝射之時間須極短，而次數須極多，如製電影片之類，現代試驗家亦不感何項之困難。

如所需要者，僅為單一之快拍照片，則可用比較上簡單之方法，輸送 X 線球以瞬息之強電流以攝取之。實用上為獲得瞬息輻射照片起見，其法係將近代具濃厚電流之感應圈之正圈，或其他高電壓之變壓器，直接接於直流電之電燈線，並安特種具爆裂性之可鎔片 (explosive fuses)，以為截斷電流之用。當電流送入時，可鎔片即時爆裂，電流遂立即間斷，致副圈內之繞線及其電路內之任根管，忽生甚強之放電。此等敏捷之拍照，雖用簡單 X 線管，而不施以致冷及調節之設計，已足致用而有餘。狄朔爾 (Dessauer) 於一九〇九年，用一種爆裂可鎔片以為間斷之用，因攝得單一閃動之輻射照片，其曝射之時間，不過  $\frac{1}{100}$  秒。此時輸入管內之瞬息電流，約在 200 密里安培上下，而空氣內之火花放電，則為 40 至 50 釐長之發光寬帶。

德費生 (Sir James Mackenzie Davidson) 近年對於甫離鎗口之子彈，亦可攝取其輻射照片。子彈於其掠過照片表面之射擊

程途中，截斷感應圈正圈內之電路，而其所用之感應圈，略仿博伊士氏 (Mr. Boys) 三十年前為飛彈攝像用之樣式。如是則副圈電路內經過一種適當裝置之X線管，發現閃動，遂得該子彈之影片。

此外尤堪注意者，則渥瑞爾博士 (Dr. Worral) 之近時實驗，所用龐大之感應圈，其所具之鐵心，約重三百磅以上是也。如正圈內之電流為 40 至 50 安培，電壓為 240 弗特，又用爆裂之可鎔片，以為阻斷之用，則所輸送於X線管之閃動電流，約為 1.4 安培，其持續之時間，約由  $\frac{1}{200}$  以至  $\frac{1}{1000}$  秒。至其放電之強度，則能由對陰極板鑄出金屬小片，而留一小洞。渥氏用是項之儀器，其所得之瞬息輻射照片，成績極佳。

關於此類之實驗，今後尙大有擴充之可能性。達德爾氏 (Mr. Duddell) 於其電氣工程學會之演說詞中 (1912)，稱述一種變壓器，約達半噸之重。假醫學專家與電氣工程師，今後更能協力合作，則將來所用之儀器，與其所獲之結果，必更有驚異絕倫者也。

§ 92. 輔助屏 (intensifying screens) 藉輔助屏 (此項設計，始於一八九七年) 之助，以增加其強度，則瞬息之輻射照片，雖施以規模略次之裝置，亦能攝取。近頃以來，此項輔助屏，更加改良，在昔時因其現有粒狀之迹，遂為不能通用之累者，其弊殆已鏟除淨盡。例如所稱之三立克屏 (sunic screen)，係於屏上塗以鎢酸鈣 (tungstate of calcium)，因其發出螢光時，現有極富於化學性淺藍色之光，能令攝像時曝射之時間，減少至二十倍。使用時將屏與

照像板之感光膜緊貼；X 線於未抵照像板以前，令其經過該屏，藉以增其強度。因其後顯之光輝，常能持續約數分鐘之久，故該屏於曝射完畢後，須立即移開，或於若干短時間內，不令擾動。輔助屏之效力，對於剛線較對於柔線為大。

§ 93 X線照像板 當 X 線經過照像板時，照像板所能記錄者，僅其百分之一。晚近之進步，則在膠液內滲入多量之銀或較重之金屬，使其更加濃厚。如於膠液背面，襯以重金屬片，如鉛之類，其效力尤著者，或應用一種輔助屏，則曝射之時間，均可縮短，因 X 線照像板之感光性，對於可見之線射，較對於 X 線，甚為靈敏故也。如前之所述，其最為重要者，則在屏與膠液，必須緊密接觸。照像板中有所謂『般培克斯』板 (Impex plate) 者，即本此理製成；其法係以發螢光之鹽類，置於加膠之感光膜中，其於未經顯像以前，即行溶出。此種照像板，對於甚剛之線，可使曝射之時間，減少至三十倍之多，惟對於較長之波，其效率頓減。

X 線照像術其他之進步，則為二面感光之軟片 (duplited film)，即以膠液塗於透明假玳瑁 (celluloid) 薄片之二面所成之感光軟片也。此種軟片，數個疊積，其間各夾置極薄之螢光屏，則感光性極為銳敏。

§ 94. 螢光屏 研究輻射學者，多喜用螢光屏，為其初步之觀察。如 § 47. (IV) 所述，螢光屏者，係其上塗有第一鉑碲化鋇或鎢酸鋇之紙板。鎢酸鋇，係白色，價比第一鉑碲化鋇較廉，亦具同等之

效率，普通多用之。對於螢光屏之觀察法，須特別注意，背面襯以鉛玻璃，蓋予觀測者以適宜之保護。

§ 95. 輻射照像術及醫術 近年以來，因X線裝置及技術之大進步，深予內外科醫士於其診斷方術上以莫大之便利與準確，故至現在，X線已成醫學上不可須臾離之良侶。曝射之時間，既經銳減，身體之任何部份，亦可快拍攝像。

關於骨之診視，不僅其折斷處，可以明見，即骨內薄層密接之構造亦能洞察：且吾人又經發現骨內之瘤腫（tumour）與膿囊（cyst），並非極為稀罕。所有跌打損傷，每致骨節亦隨受少許之挫損。骨節設有裂損，則已死之碎骨，與其未死部份，可分辨而出。頭殼內之瘤腫，可以察驗，並可測定其位置。

關於食道各部份病症之診察，及其位置之測定，現已成爲通例：如食管之縮狹，胃之錯亂，盲腸及結腸之病症等，皆可如前之所述，藉特種食物（即含有對於X線不透明之物質之食物）之助，應用X線以判定之。

腎與膽囊內之石子，肝與尻骨盤部份之病症，惡毒物之長成，肺內初起之結核，皆可審斷精確，無危險痛苦之虞。

關於齒之輻射照像，亦頗重要。如照像軟片安置適當，則各個齒之輻射照片，皆可攝出，顯示齒與周圍之骨之全部狀態。

歐戰之際，研究輻射照像者，風起雲湧，無慮數千人，咸能懋著成績，建立X線無上之勝利。X線殆與綑帶副木等件，有同等之需

要。對於開方，指導，及預防各種實施上，已成必要之附屬品。身體內部槍彈與破殼之檢查，已極平常，且對於外來物體之取出，X線又予外科醫士以實施上之便利。特別設計之X線摩托車，巡行戰地，俾便先期診察。對於眼傷，則X線實物鏡之觀察法，最稱準確，外來微小物體之位置，雖至一英寸百分之一，亦可測出。至輻射照像術戰時之其他進展，則在外科醫士於診治手足殘廢等疾，特奏奇效。在歐戰期內，各醫院攝得之輻射照片，當在數十萬以上(圖 76 至圖 78)。

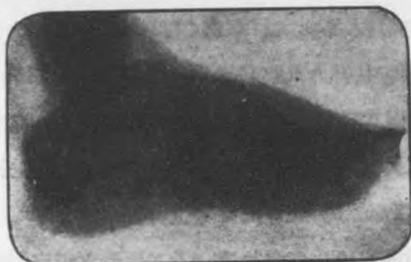


圖 76 a. 大批下發現之子彈。外觀並無顯著之傷痕；受傷者幾疑係因經過戰地偶爾撞傷所致



圖 76 b. 脛骨被子彈折斷之狀



圖 76 c. 正肘骨經榴散彈碎裂之狀

圖 76 a, b, c, 係韓福瑞斯博士 (Dr. F. Howard Humphris 倫敦第三戰時醫院) 戰時攝取之輻射照片。



圖 77. 腦內槍腔彈及子彈殼之碎片。(N. S. Finzi)



圖 78. 右肺門處之子彈。攝照時，子彈在該處已歷一月之久，既未發生炎症，又無若何象徵。(N. S. Finzi)

更由他方面言之，人體之靜脈系及動脈系，可藉適宜注射之助，攝得輻射照片以顯示之。

貝克勒 (H. Béclère) 對於X線之指紋顯示法，已著成效。其法於指頭塗以紅鉛粉，則結果所得之輻射照片，其對於病者特殊之點，不僅指紋之圖樣，纖微畢現，即骨節之形狀，亦明晰可見 (圖 79)。

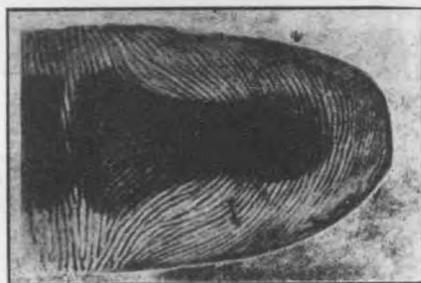


圖 79. 指頭紋與骨之輻射照片。(貝克勒攝)

§ 96. 輻射治療術 X線對於動物之筋肉纖維，具有顯著之效應。生存之細胞，對於X線有抵抗或感應之能力，而惡毒細胞，經施適當之『劑量』，完全消除。此項治療法，用以醫治潰瘍，頗著成效，近則對於癌腫之治療，亦深加注意。

X線對於各種皮膚病，其功效亦極顯著。如輪癬之治療，現已公認X線為一定不易之通法，即其例也。至所用『劑量』之多寡，此層極關重要，因汗腺及毛囊等，同時亦受影響，如經過量之曝射，可

令歸於消滅，以致毛之脫落。

赤血球與白血球，受X線之影響，似均有損害，其結果致成一種貧肉病 (aplastic anaemia)。內部之器官，如脾臟及生殖器之類，其對於X線之感受性，甚為敏銳。

更奇異者，X線對於黴菌及其孢子，似不顯若何之作用，此點與紫外光立於迥不相同之地位。

位於深層之器官，近經X線之治療，頗著成效。關於深層之輻射治療術，尤對於癌腫增長時之治法，則近代技術之趨勢，係在施用波長極短之X線巨額之劑量。至與皮膚有損之柔線，其濾除之法，係用金屬濾器(鉛或鋅)，於其最近皮膚之一邊，以木或革蔽之，使皮膚上不顯特殊輻射。又線之射入部份，可分為多處，使每一線束，適投於內層患病之筋肉纖維，則皮膚上過度之劑量，亦以免除。

現在關於輻射治療術之最大障礙，係基於特指地點所吸收輻射之劑量，缺乏適當而準確之測定法，如地點在身體內之深層時尤甚。即就物理學立場而論，則見能發生生理上之變化者，僅此被吸收之線射，而當論及劑量，所應列入者，亦僅此項之線射。是則當因具有選擇性之作用，於時發現，其於正當地位能力之變換，僅其波長在一定限度以內者，乃為適當。基此保留條件，則見反應之程度，須為被吸收而經變換之能力之一種函數。劑量問題之所以繁複，蓋因發現之瀰散量過多，而初級線束，缺乏單純性耳。

此外須加注意者，則X線之治療作用，常於骨之近處，顯示特

著。是則一部份或因骨內之鈣或其他成分所發出之特殊輻射所致。

歐戰所演之慘劇，就中最為慘酷者，莫逾於頭面各部彈傷所致之殘損。差幸者，經外科醫士新奇之接補手術，常能使受傷者本來形狀，恢復畢肖。唇可補，鼻可新安，眼險可補置，脰之穴隙可以填塞。傷痕處之筋肉纖維及其肉皮，經X線之『照射』(spraying)，可使柔韌適當，並可利用之以為去毛及促進肉皮與骨速即復原之功效。

又關於輻射治療術，線射悉匯集於其焦點之X線管，並非必要，合併聲明。

§ 97. X線之『燒灼』(X ray burns) X線濫無限制之曝射，其危害現時人多知之，但X線工作之先鋒者，固有犧牲生命以新換得經驗者矣。不當之曝射，易致發生甚劇之皮膚病 dermatitis，寔久或成癌狀之潰瘍 cancerous ulceration，指甲之脫落。其最不幸者，則關於此類之病症，其感受痛苦次第演進之程序，並不因避免再度X線之曝射，而歸於停止；且又無適當之方法，可令迅即平復，雖依德費生之說，可於受傷之部分，每次依一定之劑量，施以若干分鐘之錘，於其表面上或得救濟及改善之方法也。

又試驗X線者其他之危險，似其易致內部器官之錯亂，及血球之貧乏。

§ 98. 關於X線之保護設計 就現今之所知，X線之燒灼，多因皮膚吸收甚柔之X線而起；如試以屏蔽之，則此類之線，即可阻止。

各種保護之設計(手套,眼鏡,圍裙等),係爲試驗者之安全而設,端賴鉛或鉛之鹽類所具之吸收性質,例如以鉛參合之橡皮,鉛玻璃等類是也。

X線球須完全圍以適當之保護物質,或爲箱之形式,或如鉛玻璃製成之箱。有時X線球之自身,係由鉛玻璃製成,而另備鈉玻璃或錳玻璃之窗,以令線之外射。至爲檢驗用之螢光屏,則須於離X線球較遠之一面,襯以適當厚度之鉛玻璃。

因此問題關係公衆利益甚鉅,而完全保護裝置,已有實現可能,爰有代表委員會之組織,依現今知識之見解,以研討全部問題,製成極詳細之報告。內所論列,可適用於多方面,於X線及鐳之實用上,由其經驗所指示於吾人者,大都搜集無遺。

此處須加注意者,則當激動電壓在 200,000 左右時,3 耗之鉛,減少 X 線之強度至一萬倍,10 耗之鉛,可減少一百萬倍。以鉛參合之橡皮,普通約與同厚度鉛片之  $\frac{1}{4}$  至  $\frac{1}{2}$  相當。至鉛玻璃,則其相當數爲  $\frac{1}{10}$  至  $\frac{1}{5}$ , 但有時可得一種玻璃其相當數竟達  $\frac{1}{4}$  者。

彌散X線之危險,須時加省察,對於極高之激動電壓,尤當注意。

§ 99. 對於柔X線特別透明之玻璃 爲皮膚治療用之X線球,須由對於X線透明之玻璃製成,或安設此類玻璃製成之一窗。司葛德 (Schott) 於一八九九年,由試驗各種氧化物及碳酸物對於X線之透明性之結果,首先製得一種玻璃,專爲此等之用,係爲蘇打及

礬土所成之矽硼酸物 (a silico-borate of soda and alumina)。該氏由透明性遞減之次序，列成一表，其順序則爲 Li, B, Na, Mg, Al, Si, K, Cu, Mn, As, Ba, Pb, 亦卽其原子量之次序也。司葛德氏之玻璃，市上從未出售，因當時羣所研究者，僅屬於 X 線之輻射照像性質，而關於此點，該項玻璃，較之鈉玻璃並無優異之處。非禮蒲斯 (C. E. S. Phillips) 之導性玻璃 (Conducting glass (P. R. S. E. 1906)，係蘇打與硼砂所成之硅酸物與少許鉛玻璃之混合物 (a mixture of silicate of soda and borax with a little lead glass)，對於 X 線亦甚透明。該項玻璃之膨脹係數，非常之高，但用居間之玻璃，則此種玻璃窗，仍可鑲合嵌入 X 線管之上。林德滿 (Lindemann) (1911) 首先創製焦點球，安有硼酸銶之玻璃窗，此項玻璃，對於柔 X 線，或爲所有玻璃中之最透明者。惟該項玻璃，不甚耐久，而柯塞氏 (Messrs. Cossor) 所製之銶玻璃，則可經使用，令其與鉛相連接，故 X 線球可全以此項玻璃製成之 (圖 40)。

§ 100. 特殊輻射之治療作用 各種之特殊輻射 (§ 55)，皆有致用之途，而在 X 線治療術中，特殊輻射，尤饒有較大之效率。此種輻射，各具勻一之剛度，故惟一之問題，則在選定剛度適當之輻射，以應目前之用。但尋常所發生之特殊 X 線，未免過弱，致曝射之時間，在由球發出之初級 X 線時，僅須數分鐘者，而在此則需若干小時之久。但一九〇八年，克伊氏 (§ 65) 考得在正當條件之下，由一種對陰極板發出之線，大部分爲其特殊輻射。由此方法，則甚強之

線束，可由安有適當金屬之對陰極板，及薄玻璃或鋁製之窗之 X 線管以得之。如用與對陰極板為同一之金屬所製成之一種薄濾屏 (thin filtering screen) 尤有利益。或用金屬以為窗，其金屬之輻射，即為正所希求者，而又即用此窗以為對陰極板之用，則此法當更有若干優異之點。此種將窗鑲於玻璃內之 X 線管，多數試驗家曾採用之。

§ 101. 陰極線之治療作用 依蒲惹格夙昔之所堅持，及現今普通之所信仰，均信 X 線之本身，並無若大之效力，其所以具有各種之作用，無論物理方面或化學方面，均係基於其被阻止時所發生之電子，是則 X 線所貢獻於治療之一途者，其惟一之用處，則在安植其作用於身體內較深之處。欲於任一特點發生治療之作用，則首先之所有事，必為 X 線變為微粒線之變化，次則為此種微粒線之被吸收。今試以陰極線由一倫拿管 (§ 3) 直向皮膚放射，則其透入之深度，不能逾  $\frac{1}{50}$  耗，即約為捲紙煙用之紙之厚度。準是以談，則以陰極線為治療之用，其對於某種之表面病，或有相當之價值，當陰極線確有多量之甚柔 X 線由鋁窗相隨放出時，尤為顯著。

## X 線及工業

§ 102. X 線與工業上之關係 在各種工業上，材料之檢查，至為重要。由知識之與時增進，及競爭之日趨緊張，檢查之法，日新月異，種類不一，各基於物理上，化學上及視覺上之特徵，審慎測驗，

藉以考核性質，辨別純駁。願實施檢查，普通須定標準，而標準之選定，必須能充分足以代表之者。就事物之本態論之，則其結果之價值，亦至有限，故工程學家，常思跋待時機，冀對於所用之材料，得更進一步之考察。

X線對於檢查材料之應用 現今可區分為二大方向：

(a) X線結晶學，即結晶體構造之研究。

(b) 輻射照像術，即X線影之照像術。

§ 103. (a) X線結晶學 茲所論列，僅限於X線對於物質構造分析結果之成效。如第十三章所述，洛伊氏 (Laue) 於一九一二年，投射龐雜之X線束，經過薄結晶體，遂得一種迴折圖式，并用照像法以顯示之。至蒲惹格父子則應用X線分光表令單色之X線，得由結晶體之各層平面，反射而出。由結果所得發出光帶之觀測，則多種不同結晶體之原子構造，賴以闡明。蒲毓格里 (De Broglie) 於其X線之吸收光帶，亦適用此法 (§ 136)。

實用上之可能性，經遜掘 (Debye) 及奚阿瑞 (Scherrer) 與哈爾 (Hull) 等之證明大為擴充，該氏等以謂鉅大之結晶體，並非必要，此等方法，即對於細粉末狀結晶物體之集合體，亦適用之，惟各結晶體之指向雜亂無定，須極其充分，為必要耳。此法無論個別結晶體之微小，為顯微鏡所可見抑或不可見，可使該物體之結晶構造，得以觀測，洵屬結晶學之一大進步。就現今所知，則見每一種固體，如加以精細觀測，幾皆具有結晶體之構造；且因以見各種物理

性質，如彈性，硬性，融解點等，皆屬各種原子力之表現，各自顯示而呈結晶之形狀者也。固體之形成，亦即僅為結晶現象向外而可見之標識，一『固體』之定義，可由是推闡，並與其他之業經撰擬者，同稱確切。是法也，不第物體之長成，即關於物體之毀壞，及其變化情形，均可尋求探索，與物體毫無損傷。

故吾人由此得一研究之新工具，雖在實用上現在頗極巧妙而兼試驗性質，然其所具之可能性，固未可限量也。冶金學家對於結晶體形成之意義，既如是其詳且盡矣，自是而後，則見由其外觀，欲以推求各金屬及合金內結晶體之內部構造情形，無復自覺滿足之理。且冶金學家抑又可見加熱，鍛鍊，及滾軋等，對於鋼類與其他結晶金屬及合金之影響，其基本之性態如何，此法亦多有發明之點。粉狀之石墨，已證知為完全結晶體；膠狀金及銀 (colloidal gold and silver)，係由具體而微之結晶體所組成，其結晶體之小，不過僅具數十原子而已。雖在放電管內由陰極發出之『煙黑』微體，亦可施以測驗，因以證其亦為結晶體。

以上所述，係見於專著中所舉之數例。冶金學家與物理學家合作之最大機會，正在此時。現在之最大困難，係屬於技術，但不久亦不難解決也。

(b) 工業上輻射照像術 如任根氏及其他試驗家之所預期當輻射照像之藝術，對於醫學上已有充分之進展時，其對於工業上應用之範圍，遂亦推廣。X 線視察法之特別利益，在使物體無絲毫

之損害。檢查物質內藏之疵類，細察某種構造內不可見各部份結合之是否精當，X線視察法更為唯一無二之方法也。

關於一般之技術，自與醫術上，大都相同，但金屬之 X 線照像術，實驗上最主要之注意點，尚有一事須加以聲明。一束 X 線之經過某種物質，通常則有二事發現。線束之一部份，可被吸收，即全變為該物質之特殊輻射，其過程中，常有電子，相隨放出。線束之其餘部份，則致彌散，其結果，則該線射之剛性，雖無變化，而其大部份已變更其方向也。即在醫學用之輻射照像術上，凡有經驗之試驗家，對於 X 線束撞擊物體微體時所發生彌散輻射之效應，莫不知之甚悉。此種彌散輻射，如令達於照像感光板上，常致全像為之模糊。凡所遭遇物體之各表面，皆同犯有此病，即空氣亦分任其一部份云。

對於金屬之物體，上項效應，最為顯著，因線射之透入性須強，曝射之時間較長故也。如無適當之防備，則所得之結果，將歸失敗。其法係於照像感光板前後兩面，包以薄片鉛 (sheet lead) (註一)，

(註一)商業上出售之『薄片鉛』，係以每平方英尺之重量計算，如稱『2磅鉛』，係指每平方英尺重2磅之薄片鉛而言。其與厚度之關係，可於下表見之：

重	量	厚	度
2	磅	鉛	0.8 耗
3	磅	鉛	1.25 耗
4	磅	鉛	1.7 耗
5	磅	鉛	2.15 耗
6	磅	鉛	2.6 耗
7	磅	鉛	3.05 耗
8	磅	鉛	3.5 耗
9	磅	鉛	3.95 耗
10	磅	鉛	4.3 耗
11	磅	鉛	4.75 耗
12	磅	鉛	5.2 耗

(最好內層襯以鉛皮), 僅留一孔使物體所投之像, 恰能承受(圖80)。如物體係屬連續而扁平, 則並無困難之可言, 因其可令與感光板緊密接觸故也。但如物體為不規則之形狀 則可用適當方法將物體以地蠟黏著於紙板或鋁製淺盤之底面上, 而以水銀, 細鉛彈, 鉛粉或其他注其周傍。如有囊穴等處, 則蠟之充塞, 亦覺必要, 且以防止水銀或鉛誤入於投像之途徑中。

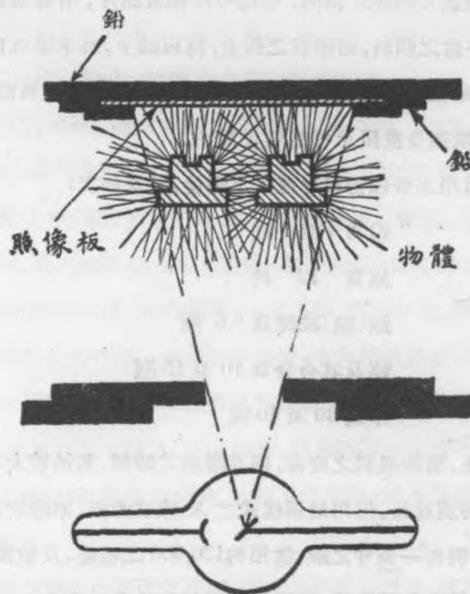


圖 80. 顯示阻擊漏散輻射之保護方法

於物體與感光板之間，由巴克格子 (Bucky grid) 之應用，則可得甚大之利益。此為長方形之鉛製格子，其面為球面狀之輪廓，而格子之分割孔壁，各處皆呈輻射狀。該項格子，除令由焦點直射之 X 線，得以通過外，大部份之彌散輻射，鏟除殆盡。又格子須使受輕微之運動，以防攝像時，亦被記入於照片上。如用感光極敏之感光板，因以縮短曝射之時間，則次級輻射之效應，當更為減除。

物體對於 X 線束之指向，有時可得輻射照片，有時或致損壞。避免線射不當之傾斜，則形狀之扭曲，得以減少，為求達此目的，物體與 X 線球相間之距離，總以保持適合為度。如欲得異常明晰之像，則線射須盡量截阻至可能限度為止。

茲將實用上各種物質可透入之深度，臚舉如次：

鉛為 4 至 5 吋

錫為 12 吋

鋼(碳)或鐵為 7.5 吋

鋁及其合金為 10 至 15 吋

木為 30 至 40 吋

實用上，須加限制之要素，則為曝射之時間，對於較大之厚度，其時間須特別延長。但用最新樣式之 X 線感光板，則曝射之時間，為之大減。例如一英寸之鋼，當用約 130,000 之電壓，及數個密里安培之電流，通過 X 線管時，現則僅需曝射約一分鐘之久。

在上述之限度內，各項物質，如安置適當，投出可以測其變異

之影，則其內容均可精確察驗，惟物體本身，設計不宜過繁，致所投之影過亂，不易描尋耳。此項方法，極為靈敏，如器具之標記，精巧模型之花紋等，常於輻射照片上，顯示分明。蓋不透明性，係隨所遭遇原子之數量及重量為轉移，一種金屬，因其密度之不同，致其性質之不同者，則於輻射照片上所顯出之強度，自亦不同。例如同一金屬之鑄造物，其鍛熱之窩釘，所顯之像較暗是也。基於同一理由，同一厚度之碳鋼，鎳鋼，鎢鋼等，其透明性亦有極顯著之不同，此項性質，在實用上曾利用之。例如 20% 之鎢鋼，其不透明性，幾二倍於馴鋼 (mild steel)，即鋼之含碳比例較低者。

自歐戰而後，電氣鍛接法及塊氧鎊鍛接法 (oxy-acetylene welding) 盛行最廣：如工作漫不經心，則由其表面，認為似係極優美之鍛接品者，其內容實不可靠。對於鍛接處之檢驗，迄無適當之機械方法。且此類檢驗方法之實施，無論為機械的，抑或應用顯微鏡時，均於鍛接部份，有所損壞，工之工拙，所不計也。故關於此點，X 線實有莫大之利益。如其組成部份，實未嚴密鑄合，則感光板上顯出狹窄之分劃線(圖 81)。有氣泡及氣孔之處，則現白點。此項方法，對於內部狀況之顯示，倍極精微，實駕顯微照相術之上，因顯微照相術之檢驗法，僅屬於局部，且如上之所述，於其鍛接部份，須加以損壞故也。

一種金屬內部隱匿之裂縫，為冶金學家所最忌，常能應用 X 線之觀察法，檢驗而出，惟裂縫如過微細，此法頗不適用。



圖 81. 厚半英寸之鋼板銲接不精之輻射照片

茲就合金言之，如其成分分佈不勻，常致輻射照片上，顯有成塊狀或條紋狀之迹。由 X 線之觀察，則凡不良之銲接，鑄造物內之泡痕，一種金屬由他種金屬之代替，隱不可見之堵塞或釘補等，常能推斷無誤。又此法對於測驗隱匿之侵蝕部份（如氣缸內，鋼骨混凝土內，及電纜之鎧裝等）及考察分隔之鋼製輪軒圓板（steel turbine discs for segregations）等，應用均著成效。

歐戰之際，關於爆發物及其附帶裝置之製造，X 線應用之範圍，因益加廣。例如液體氣體榴彈之適當充實，不透明紐狀火藥（opaque cordite）之觀察，爆藥之內部構造，史鐸克斯之發火器（Stokes' igniters），火門封塞管（vent-sealing tubes），以及其他火藥品等，除 X 線外，其他視察法，殆不可能。又 X 線對於查驗敵用之彈藥等，尤有莫大之價值，蓋彈藥內部如何設計，雖不計悉，但為安全起見，可藉 X 線之助，於其開啓以前，考察其內部構造，便利滋多。且 X 線對於檢查封箱之內容，頗著成效，皆其明證也。

更就木材言之，則不同之種類，其吸收 X 線之程度，自亦不同。凡構造之特徵，纖維之軌迹，辨別均極分明。例如中心木質 (heart wood) 密度較大之部份，與其外之白木質 (sap wood)，自不相同，年輪之夏季長成部份，與春季長成者，亦易鑑定 (圖 82)，其有樹節及蟻蟻穴 (grub-holes) 等病者，顯示亦至明晰。

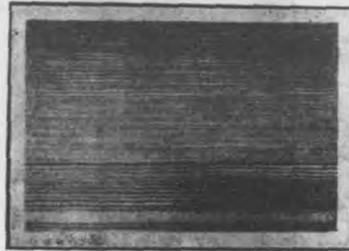


圖 82. 銀虎尾樅 (silver (sitka) spruce) 所顯年輪之輻射照片

克伊及勞克斯，於歐戰之際，為航空署發明利用 X 線以考察航空機之木材之方法。是時因潛水艇之封鎖，英國由坎拿大及美國輸入之上等木料，來源斷絕，乃有由較次材料，應用薄板疊列或中空構造，以建造飛行機各部份之設計。該項工程，須精巧無比，其大部份為必要起見，多隱匿內部；但查驗者現藉 X 線之有力援助，得以窺察內部樹節，樹脂囊，膠合不良，技術不精等病 (圖 83)。木質對於 X 線為透明體，18 英寸以上之厚度，均適用之，且多能應用螢光屏觀測法。

又製造橡皮輪者，常利用 X 線，藉以改良橡皮及埃及棉織物 (Egyptian cotton fabric) 間之結合法。高爾夫球 (golf ball) 之製造法，係以橡皮細帶纏繞於軟橡皮球心 core 之上。如漫不注

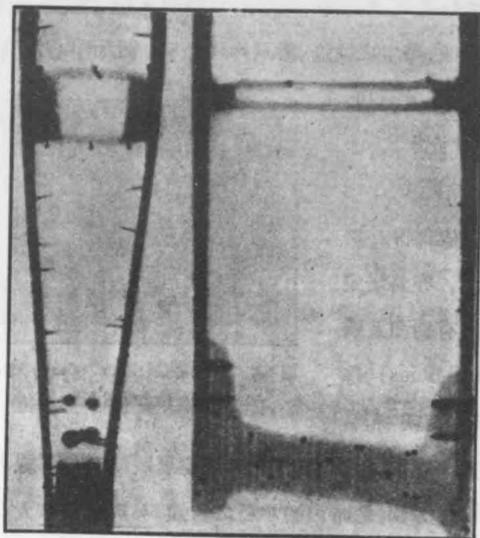


圖 83. 中空飛機木桁之輻射照片。顯示盡端木塊為螺絲破裂所呈形狀之變態。(勞克斯及克伊攝)

意，則球心歪斜，或成橢圓體，或如啞鈴狀，結果則此類之球，拋射不能正確，可藉 X 線之助以辨別之。是項方法，應用者日廣，為他法所不可及（圖 84）。

又製造石墨刷（graphite brushes）及碳極（carbon elec-



圖 84. 高爾夫球之輻射照片，顯示其不成對稱之球心。

trodes) 者,常藉 X 線之助,得以考察有無礦物雜質及內部罅隙瑕疵之病。電氣絕緣體之製造家,對於硬膠,雲母,纖維,紙類之絕緣體,適用是法以測驗其內有無外來物體之存在,亦極有價值。

英國當歐戰之際,光學玻璃製造業,成爲工業上重要問題,因以前之光學玻璃,全仰給於德國也。其最大之困難,則在各成分鎔解於耐火黏土坩之內,其鎔化之玻璃,對於耐火黏土坩,具有損壞作用。是項效應,已證知係因黏土之內,含有鐵質或其他雜質。但由 X 線之應用,因見耐火黏土坩,於其未燒以前,加以視察,則含有損壞性之外來物質,得以立即辨出(圖 85),省費之處,委實不少。又光學玻璃之鎔質,於其未施工以前,亦可視察其是否含有他質。

X 線照片,可用爲顯示隱匿內部之佈線(wiring)裝置,例如嵌入隔電盤(insulating panels)之內部及無線電器械內之佈線是也。基此理由,當歐戰之際,X 線對於檢查駕駛機者所服電熱衣皮革以內之佈線,亦有莫大之用處。

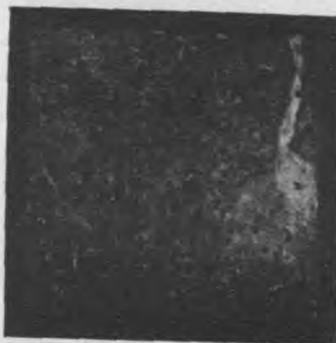


圖 85. 耐火黏土坩之輻射照片。顯示鐵質及其他之外來雜體。(Owen)

至 X 線之其他用處,其例甚繁,不勝枚舉。例如牡蠣珠之探察;鉛質玻璃製成之假寶石,與透明性較大之真正寶石之區別;人造齒

之審查；海關對於違禁品之檢查；新鮮蛋與其陳腐者之辨別；礦物內重原質之檢查；可可糖內金屬微體之檢查；穀類內木象 weevils 之檢查；粉狀藥材（如阿魏 *asafoetida* 之類）內雜質摻雜物之檢查；雪茄菸葉內蠹蟲 (moths) 之檢查，皆其明證也。

一管之內徑，可於其內充實水銀，令與感光板緊密接觸，攝取其輻射照片以測定之。如是則屈折效應，可以減除。

更由其他方面言之，鞋店為營業競爭起見，常設置一螢光屏之裝置，使顧客得以見其『足像』(footigraph)，藉以決定其所試之鞋，是否適合滿意。

以活動電影照像之原理，應用於X線照像術，具有極廣之可能性。

又研究介類學者，由X線之應用，得以觀察介殼及化石之內容，使稀罕之標本，不致有絲毫之損壞。此項可能性在教育上極有重視之價值。

近頃以來，X線可用以顯示植物內部之組織。因植物所含之纖維質及密度上之不同，故其各部份—根，莖，葉，花，果實，種子等—之透明性，亦自不同，以故有時對於構造雖極微細之植物，研



圖 86. 花之輻射照片，顯示微細構造。  
(Knox)

究時不須撕裂成片，而能顯露分明。是項結果，自不及顯微鏡所示之詳晰，長波之X線，此時至為必要(圖 86)。

極小物體之顯微輻射照像術，葛碑氏 (M. Goby, *A. Rt. R.* Dec. 1918) 已告成功 (見圖 87)。

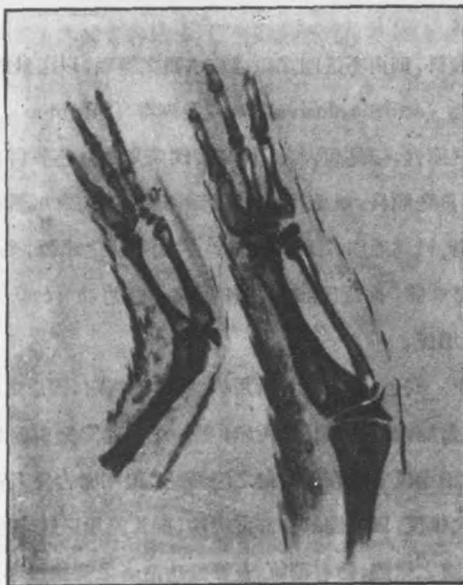


圖 87. 小蜥蜴之腿之顯微輻射照片

§ 104. X線及古代名畫家 各項繪畫，吾人可分三層媒質研究之：(1)為所塗之面，通常為帆布或木質，但亦有用紙，瓷，或其他質料者；(2)為底色 (priming or sizing)，現在常用鉛白，但昔

時係用碳酸石灰 (carbonate of lime) 及膠;(3)為實用顏料。

木與帆布,對於 X 線極為透明,惟帆布因種類之不同,亦呈顯著之變異。鉛白底色,比之碳酸石灰,較不透明,且鉛白對於帆布孔隙,浸透亦較深。以故古代畫與近代畫,由 X 線之顯示,而大有差別。

至於顏料,則由不透明之鉛,鋅,水銀之鹽類,以迄於透明之生色精產生物 (aniline derivatives) 及瀝青 (bitumen), 其對於 X 線之不透明性,變易頗大。近代與古代所用之白色顏料,通常為不透明,而黑色顏料,無論新舊,多為透明體。近代之紅顏料,則與古代所用者,較為透明。就一般而論,古代顏料之來源,多係鑛質,故多為不透明體,而近代顏料之來源,多由煤焦油 (coal tar) 取出,故為透明體。

近代畫之底色,通常較其所用顏料,為不透明,因是之故, X 線之視察法,常無結果。如圖 88 所示,係一近代畫之輻射照片,其所能表顯者,不過僅其帆布及鉛白之迹而已。但幸而古代名畫,其情形恰與近代相反,以故備具少許之經驗,則 X 線用以鑑定近代之贗品,考證古畫之變遷,極有價值。蓋無論仿造者之實施程序,如何嫻練,而其所用之質料,如帆布,底色,顏料等,與原畫各有不同,故結果表現於輻射照片之上者,亦自釐然有別。

此項問題,歷經安蒙斯忒登之赫爾補容博士 (Dr. Heilbron of Amsterdam) 及最近巴黎之雀雍博士 (Dr. Chéron of Paris) 之

研究，至堪注意。赫爾補容氏所鑑定之十六世紀繪畫，就中有畫一幀，爲恩格爾補瑞希存 Cornelis Engelbrechtsen 所作之耶穌磔死十字架上圖 (Crucifixion)，圖之右側下端，有婦人像一，惟所攝得之輻射照片，則於該婦人像下，顯示一僧像，身披袈裟聖帶，而頭則與塗於其上之婦人者較小。該畫經上述之確證，因即送往安蒙斯忒登博物館，重加修復，其結果使藏匿四百餘年之僧，得再見於世。



A



B

圖 88. (A) 近代畫之原像，(B) 爲輻射照片，除帆布及鉛白之迹外，其他無所顯示。

至赫爾補容氏所考證之其他畫像，內有江史氏 (Geertgen van St. Jans) 之聖母瑪麗亞像 (Madonna)。該像因兩臂位置，不甚自然，世多評議之。迨察其輻射照片，則發現懷內尚抱有嬰孩，其姿態乃恰脗合。緣江史氏所繪之嬰孩過小，不合比例，因即推斷前此之物主，必有因是項之缺點，以塗抹其嬰孩部份者。

雀雍博士應用 X 線所考察之法蘭德斯畫，原係描寫鄉村跳舞

者及豪飲者之狀。但輻射照片之所顯，則中含孔雀雞鳴之屬，全係田場風景。是則原畫必屬於近代，因其顏色對於X線幾全係透明也。田場之風景，似屬於古代，因其所用之底色，並非不透明也(圖89)。



A



圖 89. (A)原像；(B)顯示田場風景之輻射照片。(Chéron)

§ 105. 關於 X 線工業上將來之進展 據吾人之理想，對於 X 線之攝像，須使其一如光學之攝像，同樣便利，同無聲息。現今工業上輻射照像術應用上之限制，多基於設備及技術事實上之限制。如此問題，擴大範圍，成為工程界注目之商業問題，則種種改良之處，尤屬必要。設其大之厚度，須能使其透射，則必須研求必如何方可使曝射之時間不致過久之方法。為求達此目的，可得下之二法：(a) 在較高之電壓下，應用較甚濃厚之 X 線產類，(b) 或應用較甚靈敏之螢光屏，感光板，或其他感光器。

關於高電壓之發電機可能之進展，前既已申論矣。且如吾人之所預期，對於金屬之試驗，則由經驗所得，其所需要之電壓，日益加高。但普通普里幾管所具之電壓，不能超過 150,000 弗特，或有時較小。如將該管之臂增長，或完全浸於油內，則所具電壓，可增至 200,000。設此果屬必需之要求，則電氣工程家，必可打破難關，供給五十萬或以上弗脫之電壓，殆無疑義。是項之變壓器，業經製出為他項之用，但其佔地太廣，重量太大，價值過昂，殊堪駭異耳。

對於較為濃厚之放電，則較為精密之澆冷裝置，甚為切要。該項試驗，玻璃製之 X 線管，或不足以抵抗之。故吾人須轉而趨用金屬製之管，其設計根本不同，而能吸收 50 以上之馬力。且吾人對於全部裝置之甚低效率，更須加以改良。

至螢光屏與照像感光板二者，均有大加改良之必要。現在通用之螢光屏，其靈敏之度，鮮有能超過鋼板四分之一英寸以上者，即

---

勉能透過，亦覺異常困難。爲此等之用，本可適用照像法，而爲通常之『大量觀察』，其實施之時間，此時當可加以限制。

## 第十二章 X 線之裝置及其技術上之進步

爲發生X線所用儀器各種之樣式，已於前章述及之矣。但如將關於X線攝像之裝設，及其經過之程序，加以詳細之說明，則必爲一種極饒興趣之問題，即就其在歐戰期內所取得地位之重要而論，則所感興味，益覺盎然。至關於輻射照片之解釋，其詳細之論列，及其指導之方術，學者可參考各種醫學專篇，例如克羅克司氏之輻射照像術 (*Knox's Radiography*) (Black)，或赫爾喜氏之X線工業之原理及實用 (*Hirsch's Principles and Practice of Roentgen Technique* (Lewis) 是也。

實用上必要之裝置，爲便利起見，可依以次之綱要論列之：

- (a) 高電壓之發電機。
- (b) 指揮電鑰盤 (control switchboard)。
- (c) 爲測量用之器械。
- (d) X線管。
- (e) 高電壓之線路。
- (f) 管架及臥牀 (tube-stands and couches)。

## (g) 照像器械。

§ 106. 高電壓之發電機 高電壓之發電機，通常應用感應圈及其附件，或用近代並未附有斷續器而具有高電壓之變壓器（詳見 § 34）。屬於後種樣式之儀器，對於瞬息之輻射照像術，頗有特殊之價值，惟用感應圈，則無論對於何項工作，均能臻於優美之域。在歐戰期內，英國各小醫院，戰線上，及汽車巡遊隊專用之發動機，皆為感應圈。為大多數之用，12 英寸之線圈，已足夠用，但如希得較大之工率，則用 16 或 20 英寸之線圈，則其成績較好。再者與 20 英寸之火花隙相當之電位，於 X 線實用上，雖尚非必要，但以是項之線圈，實際應用於較低之電壓時，則常可得較大之電流產額（及較少之逆向電流），因之所需之曝射時間，亦可較短也。為搬運計所用之線圈，常用較小者，冀以減輕其重量及各項費用，但如是則其應用之範圍，必受限制。

所選用之線圈，須能發生『肥碩』之閃射放電（flaming discharge），以至達其最大之火花距離，而非爆裂作擊之瘦削火花，如顯之於一種小線圈者也。現時製造成應圈者，殫精竭慮，方從事於產生較大電流產額之設計；而效率極高之儀器，已能製得之。

凝集器與斷續器平行連接。用電液阻斷器，則無用凝集器之必要。

斷續器 各種斷續器，其採用最為普通之樣式，係為水銀噴射阻斷器，於煤氣之一氣壓下動作之。關於供給氣體之設備，普通不

甚困難，如該地實無供給之機關，則中儲氣體之橡皮囊，亦可用之。各實驗上裝置之方法，其供給氣體之處，多用永久固定之氣體管，導至斷續器之近旁，再用可以自由採曲較短之金屬管或粗橡皮管以連接之。故一律固定之連接法，因各斷續器動作時，振動頗劇，頗不合用；至振動加劇之趨勢，可將儀器固定於穩重之基礎上，而再墊以厚氈以遏止之。

於感應圈未發動以前，先令氣體流通於斷續器內，約數分鐘之久，以驅除其內之空氣。次閉其出口，開其入口，令與氣體供給來源相通，則多種水銀氣體阻斷器，雖於甚小壓力差之下，動作頗見順利。如空氣不全為該氣體所排除，則常電流通之頃，斷續器內所

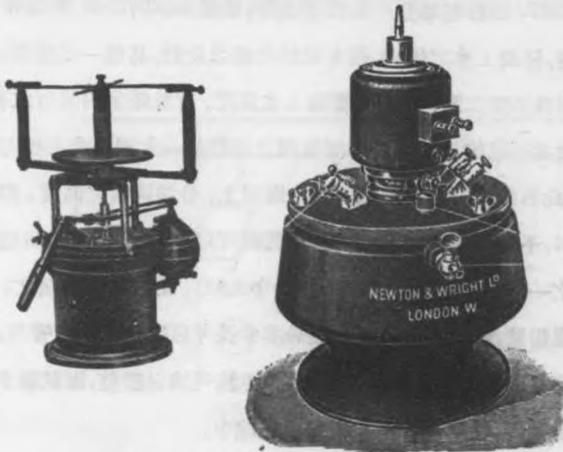


圖 90. 水銀氣體阻斷器(又見圖 35)

放之火花，常致混合體發生燃燒，並生微小之爆裂。為避免爆裂所致之危險起見，常於該項儀器裝設一種簡單之安全舌門。

在水銀阻斷器中，水銀噴射所達到之接觸板，其大小極關重要，且須施以調度，以期適合於所用之感應圈。為發動感應圈達最大之便利起見，須用一種可以調度之抵抗，以便加減發動機之速，因以變更其斷續之率。

為瞬息輻射照像之用，則溫勒爾特氏之電液阻斷器，通常多用之。為螢光屏檢驗用，及一般工作之用，則水銀阻斷器，較為適用。裝設投擲電鑰 (throw-over switch) 於指揮電鑰盤之上，則由一種阻斷器以轉入其他之阻斷器，變換極為迅速。

§ 107. 指揮電鑰盤 其次要之件，亟須加以研究者，則為指揮電鑰盤。裝設工作之便利，端有賴於此盤之設計。其惟一之要件，在於簡單與易到二點，因多種實驗上之調度，常於暗室內施行之也。如裝設主要電鑰，抵抗，及為測量用之儀器於一大理石或石板石之上，而此石面復安於以腳輪支柱之鐵架上，令達適當之高度，則上列二事，不難達到目的 (見圖 30)。此種可以移動之電鑰盤，與線圈附近之一種固定接頭板 (terminal board)，常以電纜連接之，而為保護起見，則電纜復可連合置於某定長可以撓曲之金屬管內。移動電鑰桌令與 X 線臥牀或架接近，則電流可施以調整，而試驗者無須於暗室內，往來蹣跚於高電壓之引線中。

置於電鑰桌上最為重要之儀器，為總電鑰，安培表，及可以較

準之抵抗器，以爲調整正圈內之電流之用。如欲測定能力之進類 (energy-input)，則須加用一個弗特表，此時并須應用分捲法，調整線圈之電流 (shunt method of regulating the coil)，否則弗特表之所表示，僅爲發電所電路內之電壓也。

爲調整計所用之分捲法 (見圖 91)，係將發電所電路令與一種抵抗之各端相連接，該抵抗所佔之地位，與一種電位分枝器 (potential-divider) 相同。用一種可以活動之接觸體 (moving contact)，令線圈與該抵抗之任一點相連接，使由零以達總發電所之電位間之任一電位，皆可隨所願望以實施之於線圈。爲避免用多數尖鈕 (stud) 所成之種種不便起見，可於分捲電路內，另加一種可以變動之微抵抗，令與線圈直列，以期調整線圈，則其結果更覺優良。

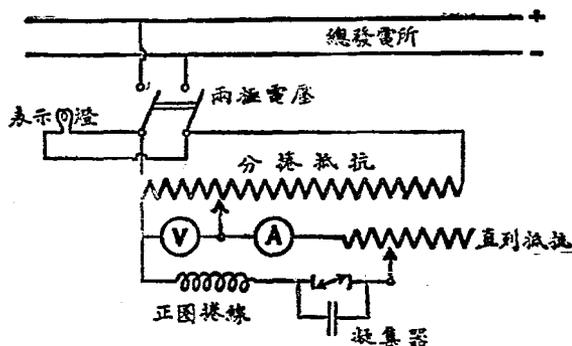


圖 91. 調整線圈之分捲法

上述分捲連接法之外，尙有其他之方法，係將感應圈用順序直列之適當抵抗，直接與總所相連接。

實施螢光屏之檢驗，則暗室甚爲必要。人造光(artificial light)須由電鑰桌得以自由制取。凡須有此類工作之處，則裝設一種足動電鑰 (foot-switch)，極爲便利。因用此法，則由足之運動，可將室光關住，而同時開動感應圈；其第二次之運動，則反其動作之方向，關住感應圈，而再開啓燈光。

表示燈(pilop light)，常安置於電鑰盤上，與總電鑰分出之接頭，橫互相接(見圖 91)，以故當電鑰關上時，燈即發光，因即表示高電壓之線路，其電流現方流通也。爲避免與螢光屏之觀察相混淆起見，此種表示燈，常具頗小之燭光，係用紅寶石或暗藍色玻璃製成之。如工作時係用普里維氏之管，則表示燈尤有特殊之價值，因此管并不激起螢光也。

曝射之時間，通常應用一種立止表(stop-watch)以測定之。此法爲尋常工作之用，最爲滿意。如曝射之時間，僅爲數秒，或爲一秒之一分數，則用自動計時之電鑰(automatic timing switch)，尤爲便利。

§ 108. 爲測量用之器械 感應圈之正圈線路內，所有安培表及弗特表之設備，已於前節論及之矣。由二者之製備，則輸入全器能力之多寡量，得以測定。但對於攝取輻射照片者，其最爲重要之件，則在副圈線路內能力之測定，蓋此卽爲控制 X 線之強度管內所

經過之電流，及調整X線之剛度並端間所具之電位差也。

經過管內之電流〔見§47(I)〕，常用密里安培表以測定之。如有逆向電流發生，則密里安培表所紀錄者，係直流與逆電流之較。

可靠之密里安培表，用於輻射照像術上，測定其所需曝射之時間，係為一種最便利之器械。且由經驗所得，試驗者得以定出攝取某特種物體最稱滿意之輻射照片，其所必須之『密里安培秒』之數，究為若干；既得此數，則嗣後遇有同樣裝置之工作，亦可準是推算，為用頗多。但此值除為粗陋之測定外，不能應用於其他之裝置。

如§48.所述，尋常用同樣火花缺隙，以測定剛度之法，本非全能滿意，但因便利之故，以及在各X線工作上所允許之範圍，頗為廣泛，故此法於輻射照像術及輻射治療術，殆一致採用之。

此項測定法，係用一種火花缺隙，與X線管循序連接。缺隙之終端，通常為一尖端與一平面相對（平面係一金屬圓板，其直徑約為3或4英寸），或兩尖端或兩球相對。終端係安於絕緣柱上，能於滑板上前後移動，由其所附着之指針及刻度表，因可直接測定電壓或該缺隙之長度。

測定度數時，須先發動X線管，將缺隙漸次縮短，至一種火花剛能通過時為止。缺隙之長度，隨即記下，再檢查如§48內所列之表，即可測得施用於管之電壓。如今火花通過於大小一定之兩球體

間，則所得之值，尤為精確。對於同一之電壓，兩球體間之火花缺隙，比之兩尖端間之火花缺隙，其距離較短（如表 5 之所顯示），故通常所用者，係以尖端與尖端相對，或尖端與平面相對，因其距離較長，則測定當亦較易也。

剛度之比較，須對於通過該管某種特指之電流而言，且如前之所示，同樣之火花缺隙，常不能視為 X 線剛度之真確測定，因對於一定之電壓，其所放出 X 線之成分，則管與管之間，其變易或甚大也。但如將此點牢記於心，則攝取輻射照片者，當其果能諳習其常所控制在手專用儀器之特性時，應即恍然於火花缺隙之測定法，實用上實有莫大之價值。

測定施用於 X 線管之電壓，此外尚有其他之方法，係直接測定所放出 X 線之剛度。為此等用之透入表，其各種之樣式，已詳敘於 § 48 a (III) 及 (IV)，此處殊無重述之必要。博爾式之剛度表，茲顯示如圖 92。

§ 109. X 線管 由各製造家之儀器目錄，則知 X 線管之樣式，殊形詭製，其類頗



圖 92. 博爾式之剛度表  
(參閱 § 48 a (IV).)

策。各種樣式之主要特點，已於第四章及第六章詳論之，茲不贅及。

如選用氣體管，則用六個以上之X線管，列成一排，甚覺有益。如有多數之管，概歸一人安置，則在適當狀況下之X線球，可選定專為某種需要之用。每一X線管，各具其自身之特性，如對於各個X線管，遞次加以實地之試驗，則見選用某管，專為某種之用，始能最稱滿意。X線球當工作時游移不定者，如令休息一二月之久，常能令其返於良好之狀態。關於此點，可參閱第六章及第七章。

所有之X線管，現多裝有真空調整器；其樣式之選定，多隨個人之所好。英國通常所用者，多為吸藏法（§ 99）。關於此種調整器之繼續使用，須力為避免，因如此常使管之動作，漸趨於不穩定之狀態也。多種氣體X線管，對於定值之電流，及一定之剛度，并不須施以調整，而亦能動作於甚長之週期內。因此之故，遂有人主張保存多數之X線球，通常使用之方法。

§ 110. 高電壓之線路 X線管與感應圈或變壓器之副圈線路之相連接，此點極有研究之價值。如對於人身之任一部份，作X線之檢驗，則X線管須能安置於種種不同之地位。且於此種種不同之地位中，高電壓之引線，須令與X線管相連接，不使線之彼此間或管架等金屬製成之各部分，致達火花迸發之距離，以防危險。病者及試驗者之安全，亦須予以注意：接線須緊張，相隔愈遠愈妙。

現時採用最多之方法，係安一種架空線路(over-head circuit)，其法用粗導線一副，緊伸於X線室之彼此二端。所用之線，須相隔

甚遠，以避免火花橫互而致迸發。為減少通常最易發現之帶狀放電起見，與高電壓導體各部分相對之銳利尖端及緣邊，須皆免除之。線之各端，用由 10 至 12 英寸長之硬膠或纖維桿，為隔電之用。由線拉器 (wire strainers) 之安設，可使各導線常保緊張之狀態。

架空線路，在室之一端，與高電壓之發電機相連接，密里安培表及舌門管，為便利起見，即於此處插入。於架空線路之任一點，隨吾人之意旨，由鈎在線上之彈簧，即所稱之彈簧連接法，令發電來源由此下接，以通於 X 線管。適當之彈簧連接器 (spring connector) 係為自捲式 (self-winding type) 與一種小自捲鋼帶尺 (steel measuring tape) 相似。如是則鬆弛之接線，因以避免，而火花迸發意外之危險，亦可銷除。

各種舌門管及整流器，已於 § 36 詳述之。但吾人尚須加以注意者，則連接上述各器於線路之內，其極 (polarity) 須無差誤也。此外尚有一種有用之附件，可用為顯示逆向電流之是否存在，係屬一只小真空管，稱為振流器 (oscilloscope) (圖 93)。當該器連接於高電壓之線路內時，則見其極之一 (陰極)，被有藍光之光。但如常逆向電流亦同時存在時，則其他之一極，亦顯同樣之狀。所發之光之長度，可為任何時所經過電流約略之測定

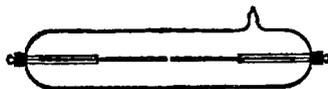


圖 93. 測驗逆向電流之振流器

法，如以旋轉鏡或相當裝置觀測之，則一如攝波器，可以顯示電流

波之形狀。

§ 111. 管架及臥牀 對於病者實施X線之檢驗，或用螢光屏，或攝取其像，二者任選其一。通常所用，多將二法綜合，其第一步則係作螢光屏之檢驗，使照片得置於最有利益之位置。為實行此項檢驗期於敏捷而復便利起見，當病者既已估定適當之固定位置時，X線管須用法支住，使試驗者易於控取。所用儀器之樣式，而能完成上述之目的者，可分為下列二種——即直立遮屏架及水平臥牀是也。今試分別討論各種樣式之主要點如次。

(a) 直立遮屏架 (upright screening stands) 關於此種儀器之應用，須加檢驗之病者，或立或坐，緊貼於垂直之間壁，其後則為支住X線管之處。置管於架上之保護箱內，架可縱橫運動。因備有相稱之重碼 (counter weight)，動作極為便利，而兩種運動，又可應用一種夾器，隨吾人所欲以固定之。間壁係由薄木或緊張之帆布作成，令對於X線實用上係屬透明。

螢光屏支於病者之前。或安於固定於支管架 (tube-holder) 之一臂上，可隨之縱橫運動，或置於另設之管，亦自能縱橫運動。依照前法，則管之與屏，同時運動，此法尤為滿意。又螢光屏須能向間壁前後運動，並備有夾器，以保持其正當之地位。此種較準法，當實施檢驗時，更可予病者些須之壓力，藉以阻止其所須攝像部分之運動。

如現欲攝取其照片 (位置既已較準之後)，則由支架將螢光屏

取出，代以中有照片之支持器(holder)。通常為便利起見所用之其他方法，係將用黑紙包裹之照像板，滑動於所須攝像之物件及螢光屏之間，並不將屏取去。當曝諸X線時，將包裹照像板固定於其適宜之位置，因以攝得其所需之照片。圖 94 係直立遮屏架最近樣式之一種。

(b) 水平 X 線臥牀  
(horizontal X-ray couch)

應用水平臥牀時，病者

係偃臥於水平長桌之上以檢驗之。此項儀器，與上述之直立遮屏架，其應用較為廣泛，因病者體質上之狀態，常為選用器械取決之要素也。X 線管須能於水平面內左右運動，但其位置可在病者之上，或在病者之下。對於螢光屏之檢驗，則『在下』之位置，自較便利，而為照像之用，則高出牀上之位置，通常多選用之，有時且視為實用上惟一之程序也。為指示外來物之所在起見，則安於『在上』之位置，實施上覺較容易，而在攝像時，為阻止物體運動所須加之壓

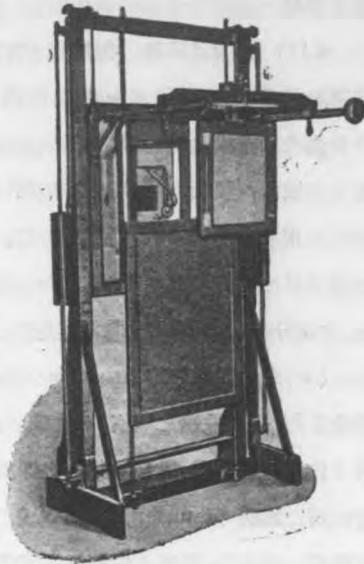


圖 94. 直立遮屏架 (Watson)

抑，如腎臟之類，則當處於此等位置時，物體之受抑止，亦覺更較便利。圖 95，顯示近代通常所用之 X 線牀。

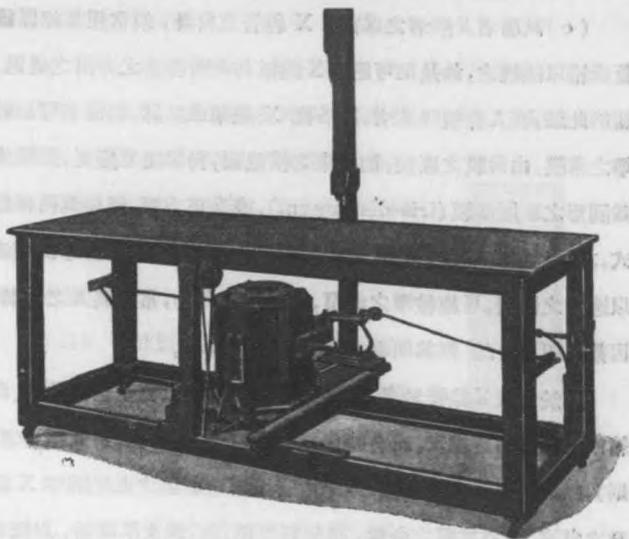


圖 95. 德費生氏之 X 線牀，顯示管箱 (tube box) 位置之所在。保護屏取去。

X 線牀須盡由木作成，如用金屬製成之式，則病者與試驗者，因對於高電壓之導線，或於其隔電偶有差誤之處，或於其位置有漫不經心之點，常易招電氣之震擊 (shock)。此項震擊，在實際上或無甚大危險，但究令人常有不快之感，故必用木製，所以減少發生此項震擊之危險也。管架所用之金屬，亦須盡量加以限制，且切不可

令與X線球相接觸，或相接近，否則火花之迸發，X線球之洞穿，均勢所難免，於用剛管時，尤為特別加甚也。

(c) 試驗者及病者之保護 X線管之自身，須常用某種保護蓋或箱以圍繞之，如是則可避免X線循其非所需要之方向之通過。關於此點，吾人應須注意者，則各樣X線架或臥牀，須備有可以較準之薄膜，由薄膜之廣狹，則線束之橫截面，得以隨意變更。該膜或為圓形之眼簾薄膜(iris-diaphragm)，或為正方形。無論為何種樣式，其可活動之窗葉，實用上須對於該線為不透明，以便宜試驗者以適當之保護。可施較準之薄膜，對於搜尋外物，常有莫大之幫助，因截阻四周之線，則其明晰之度為之增加故也。

對於安置X線管於桌下之臥牀，須用一箱以完全包圍該管。此箱或包以塗鉛之橡皮，或有時包以鉛片。用鉛片時，其最為重要者，則其間須留有寬大之空隙，以免由管至箱邊經過之火花洞穿X線球之危險。再者赤露之金屬，須包以厚紙，氈，或皮革等物，以吸收所發生甚柔而危險之次級線。

如為戰地裝置，或對於大小上及重量上皆成問題之處，則此類箱，又不可用。此時保護之法，係用鉛玻璃製成之護屏(shield)，或用橡皮製成之護屏。此項護屏，實用上雖屬滿意，但不能認為完全如是。其最重要者，則所用物料之品質，須極佳妙，而對於各種不同剛度之線射，其所具之吸收係數，尤須加以考驗。

螢光屏須包以品質可靠之鉛玻璃，因不如是，則投於試驗者面

上之輻射，如作長時間螢光屏之檢驗，或生危險之結果也。但有一種裝置，則其螢光屏，係於側面由一鏡面之反射以觀察之；於是則試驗者之面，完全不受直接輻射之影響。

水平臥牀最近之樣式，備有護屏一具，以補助管箱之不及，且能與箱相隨運動。如試驗者於試驗時事勢上必須立於距管箱最近之距離內，則此項護屏，對於試驗者更能特別加以保護。鉛玻璃之護屏，有特別安有腳輪，能於室中推轉者，其較稱便利之樣式，顯示如圖 96。

§ 112. 照像器械 為攝取輻射照片所需之照像器械，不外尋常暗室之設備。長寬上至 12×15 英寸之照片，通常置於兩層黑紙之包裹內，所以保護之，使其不受光之直接作用。如用為增加強度用之補助屏 (§92)，則屏與照片二者之特殊支持器，乃為必要。



圖 96. 安有腳輪以鉛玻璃製成之護屏。

安置照像片於適當之地位，乃一重要之問題，此處不能多所論列，讀者參閱各醫書中關於輻射照像術之部分可也。照片曝射之時間，此問題必俟試驗者將關於裝置法個別之特徵，及所須攝像物體之性質，凡此種種要素，俱須加以考慮後，而後乃能決定。

尙有一事須加注意者，則未經曝射之 X 線照像板，儲藏時不可

置於X線裝置附近之處，因該項儀器之繼續使用，頗易引起照像板上微霧之密集，其結果或影響於反影片上明晰之度也。如地間逼窄，必須置照像板於X線室或其附近時，則照像板須置於內面舖有鉛片之箱以保護之。

§ 113. 位置指示法(localisation) 輻射照片解釋困難之點，其故實因是項之照片，僅能記錄影之位置，不一定與尋常暗箱內所生之像，於其形狀上及大小上均能相當也。

觀於圖 97 之所示，此點尤為明晰，其處  $CHK$  代表置於螢光屏或照片 ( $EF$ ) 上之一物體， $A$  代表X線之源。由屏或已加顯像之片，加以考察，則見位於  $B$  及  $C$  處外來物之像，各顯示於  $L$  及  $M$ 。

由圖所示，可知由  $L$  至  $M$  之距離，非即  $B, C$  處物體相間真實之距離，如轉注意

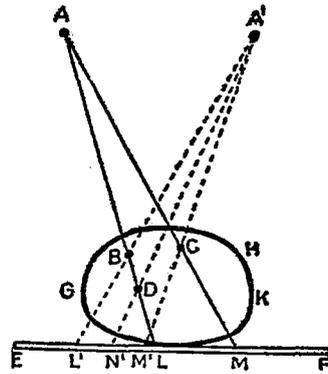


圖 97. X線之位置指示法

$D$  處第三之物體，則知其影與  $B$  之影相合，二者無由分辨。由此可知影之位置，僅表示外物所在之線，而非其實在之位置也。

次假定X線管移至  $A'$  點，其他各事，仍不變更，則  $B$  與  $C$  之影，移於  $L'$  及  $M'$ ，而與物體  $D$  相當之影，顯於  $N'$  處，不復與  $B$  之

影相合。

是故由 X 線管新移之位置，顯出經過各物體所在處所成一列之新線，由是即可求得各個物體真確之位置，即每副相當線之交點也。以上所述，係囊括實用上各種位置指示法之基本原理，其中德費生所用之法，尤為首先採用之一。

就事實而論， $A$  及  $A'$  點距 ( $EF$ ) 片之垂直距離，可保持為同一長度；於是則  $ABA'$  及  $LBI'$  為相似三角形，由幾何學上簡單之原則，如  $AA'$ ， $LL'$  等距及  $A$  或  $A'$  距片之高度為已知數時，則  $B$  處外物距片之高度，即可算出。 $LL'$  係當該管移行  $AA'$  距離時，外物之像移行之距離。故指示外物所在之位置，其一般之方法，不過三角上用幾何法或用解析法解出如上簡單習問之方術耳。有時各項距離，實際上可以測得，而其結果可由計算表立即算出者。用此法時，須用臥牀一具，將管妥為較準，安置於一適當之地位，然後將管移動，經行其業經測定之距離，而并不改其已施之較準。

其他之一方法，則為求外物之位置起見，同時攝取其尺度已知者另一補助物體之影，而管移行之遠近，及其距照像板之距離，可由補助物體兩次所得之像以測定之。

關於近代指示位置之方法，其詳細之敘述，雜見於一九一五及一九一六年任根學會所出之各雜誌中。

實物鏡指示位置之方法，已見 § 90.

### 第十三章 X 線由結晶體所起之迴折現象

§ 114. 令 X 線迴折最初之試驗 歷代實驗家，殫精竭慮，以期試驗極小之障礙物，其所投影之邊緣上，X 線之強度，究竟有無變動與光學上迴折光紋 (diffraction fringes) 相當者。任根氏 (一八九八年) 於此點亦曾親加考驗，迄無圓滿之結果，哈稼 (Haga) 及 溫德 (Wind, *Wied. Ann.* 1899-1901) 兩氏，復用一 V 字形之小罅，加以試驗，其最寬之端，為一耗若干千分之一，結果所得罅隙之照片，則見像之狹部，為之加寬：如此等作用，係起因於迴折之現象，則光之發生同一加寬之量者，其波長當為  $1.3 \times 10^{-8}$  厘米左右。

由上法所得之結果，與近代由晶體反射法所得者正相符合 (表 20)。但 瓦爾特 (Walter) 及 普耳 (Pohl, *A. d. P.* 1908) 重演哈溫兩氏之實驗，則見罅隙之像，其廣度又大受照像板第二作用之影響，而此種作用，與經過罅隙能力之量有關，其結果則曝射之時間不同，所生之像之廣度亦因之互異也。兩氏遂斷定迴折作用，尚不能證實，而由其各自之實驗，因即證得 X 線之波長，不能逾  $10^{-9}$  厘米。

§ 115. 令 X 線屈折之試驗 令 X 線屈折之試驗，作者亦不乏

人。例如任根氏試用各種質料不同之三稜鏡，如硬膠，鉛，及水之類是也。該氏又用玻璃及硬膠製成之透鏡，以令 X 線之匯集。至恰卜滿氏 (*P. C. P. S.* 1912) 以溴乙烷 (ethyl bromide) 蒸氣製成之三稜鏡，加以試驗，溴乙烷者，受 X 線電離作用最強之物質也。該氏由兩個截然不同之實驗，就其設計狀況而論，滿望可得一圓滿之結果。其一，使 X 線特能激起溴之特殊輻射；其他則 X 線之選定，係為該蒸氣所選擇吸收之一種。願無論用何方法，迄未能發見屈折現象之迹。

§ 116. 反射之實驗 令 X 線反射之試驗，初亦未獲若何之效果。就今之所知，則此等實驗未見成效之障礙，係因 X 線波長太短之故耳。尋常光波之所以能於鏡面反射者，蓋因磨光之鏡面，其不規則之處，以與光之波長相較，尙覺微小。但此種不規則之處，在光波可以不計者，而在 X 線，乃成為極關重要之問題，反射面之如水銀面或玻璃平面者，其對於 X 線所生之影響，宛如由無數小面組成之一粗糙表面，致光線四向擴散，全部並不顯示有規則之反射之迹者然。

§ 117. X線之週折現象 洛伊教授 (Prof. M. Laue of Munich) 以為 X 線係極短之光線，其波長與原子之大小相若 (註一)，於一九一二年，復以為依近代結晶學之所證實，結晶體內之原子，

~~~~~  
(註一)由卜蘭克氏輻射之理論，維恩於一九〇七年及斯雀克 (Stark) 於一九〇八年，證得 X 線之波長，其值依次為  $0.7 \times 10^{-8}$  及  $0.6 \times 10^{-8}$  厘米。

係成極有規則之組列，必能對於X線發生干涉之效果，其現象與迴折格 (diffraction grating) 之對於光波者正相同也。洛伊氏之理論，經胡瑞德惹琦 (Friedrich) 及克里坪 (Knipping, A. d. P. 1913) 兩氏施之於試驗，竟得完全證實。今試追溯關於結晶體實驗歷史上發展之情形，極饒興趣。

§ 118. 洛伊氏之理論 結晶學專家，對於蕭惹非斯 (Bravais) 一八五〇年首創之理論，以為結晶體之原子，係位於『空間格』 (space-lattice) 之角點，復漸次詳加以推闡。在一種結晶體之內，其相同之原子，在空間內構成一完全規則之點系 (system of points)，其存在於結晶體內每一類之原子，各歸依其各自獨立之系統，而各不相同之點系，又可交互錯列，其結果則各點遂成平行網狀之排列，因以『空間格』之名稱之。故結晶體之自身，天然分劃為多數完全相同之小組，其間原子彼此相對之位置，各組均同，守常不變。此等小組之體積，殆如一磚然，而結晶體模型，即由是項之磚，於各處均遵同一之方式以構成之。

是故多個原子，越一定之間距後，重自發現，依洛伊之意，則原子所成有規則之排列，必能對於適當短波長之X線，其作用一如三度 (three dimensional) 之迴折格。

洛伊氏首先研究極簡單之立方系結晶體，假定各原子悉列於基本微立方體之角端，是為最簡單立方體之點系。當投射之X線，經過結晶體時，其影響及於其途中之原子，而當波經過原子時，即

有第二微波 (wavelet) 由該原子處發出。爲便利起見，試取與一立方體之邊平行者爲縱橫軸線，而以原子之一之中心， $O$ ，爲其原心 (圖 98，顯示該項空間格在  $xy$  及  $yz$  平面內之原子)。如一束 X 線循  $z$  軸方向，射入立方體之內，則波將於同時撞擊三原子  $O, A, B$ 。今試考究由空間格各原子處發出之微波，必如何而後循某特定之方向如  $OP$  者，始能協同動作 co-operate，或在同一位相 “be in phase” 之條件，此時  $OP$  線與  $x, y, z$  三軸所成之角之餘弦，各爲  $\alpha, \beta, \gamma$ 。

爲現前目的起見，則取軸上與  $O$  最近之原子如  $A, B, C$  者，已可夠用，並進而研求由  $A, B, C$  三原子發出之微波，如何而後與由  $O$  發出之微波，循於  $OP$  方向者，始爲協同動作，所須必具之條件。凡所謂協同動作之微波，必其達於經過  $C$  點而與  $OP$  正交之一平面時，各在同一之位相，質言之，即其各不相同之途徑，各爲波長之整數倍數也。如  $a$  爲相鄰原子間之距離 (即立方體之一邊)，則其途徑之差，分別爲  $aa, a\beta$ ，及  $a(1-\gamma)$ 。故其必須之條件，即此等距離須爲 X 線波長  $\lambda$  之整數倍數，即

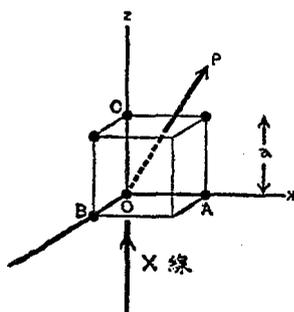


圖 98. X 線由等軸晶系基本立方體之角端之原子所起迴折現象之表示圖。

$$\left. \begin{aligned} a\alpha &= h_1 \cdot \lambda \\ a\beta &= h_2 \cdot \lambda \\ a(1-\gamma) &= h_3 \cdot \lambda \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

此處之  $h_1, h_2, h_3$ , 全為整數, 代表上所設定距離之內其所含完全波長之倍數。由 (1) 式可得

$$\frac{\alpha}{h_1} = \frac{\beta}{h_2} = \frac{(1-\gamma)}{h_3} = \frac{\lambda}{a},$$

因  $h_1, h_2, h_3$  皆為整數, 故  $\alpha, \beta$ , 及  $(1-\gamma)$ , 須彼此成一簡比。

如再研究環繞  $z$  軸排列之其他立方體, 則可得多數強度最大之其他各點, 其位置恰與對於  $z$  軸之  $P$  相似, 故置照像板以接受透過之 X 線, 則於波之協同動作等處, 片上顯出一組對稱之諸點 (spots)。

§ 119. 胡瑞德惹琦及克里坪之實驗 胡瑞德惹琦及克里坪二

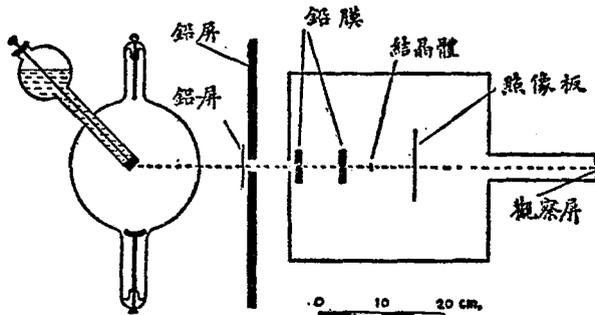


圖 99. 胡克二氏為顯示 X 線經過結晶體後之衍折現象所用之儀器。

氏狗洛伊氏之請，以其理論證諸實驗 (A. d. P. 1913)。其必要之點，在使平行之X線束，經過結晶體之後，可於照像板上收受，如是則凡顯示『干涉最大值』(interference maxima)之方向，得以點紀之。其所用之儀器，顯示如圖 99。

由X線球發出之X線，次第為鉛製阻止器 (lead stops) 所截斷，僅有狹細之線束，落於結晶體之上；於結晶體之後，約若干距離，置一照像板。其首先試用之結晶體，即得理論上所預期之結果。照像板之上，顯有強度極強未經曲折之一點，而繞之者，則為多數曾受迴折之點，其離線射之原方向偏倚之度，有達  $40^\circ$  者 (見圖 100 及 102)。如結晶體之運動，平行於其本身，則點之排列，不受影響。如變更照像板與結晶體之距離，則點之大小，雖不顯甚大之變更，

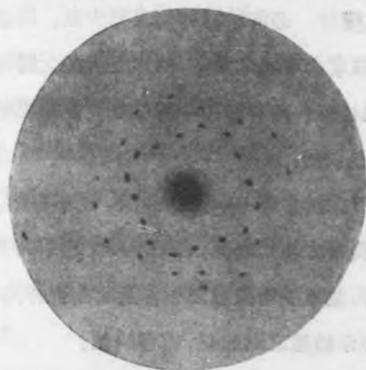


圖 100. X線由閃鋅礦之結晶體起迴折現象所得洛伊點之圖樣。投射線之方向，係與結晶體之一立方軸平行。

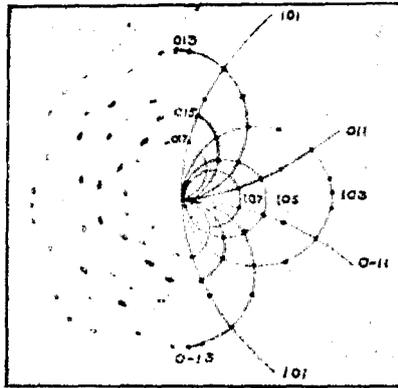


圖 101. 蒲惹特 (W. L. Bragg) 為解釋上圖洛伊點之位置之作圖法。  
(From the *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*)。

而其離中心點之變位，必常致增加而或減少也。再者如結晶體旋轉，致與原有之線束成不同之角度，則片上所顯之圖樣，遂受影響：仔細施以較準之結果，終可尋得一個位置，使羣點繞其中心點排列得成極對稱之狀態。

上項結果，證之於多種不同之結晶體，莫不皆然。且由實驗之證明，為期求得良好之結果起見，若干小時之曝射時間，甚覺必要，因線之較大部份，並不受結晶體之影響及其曲折作用也。但時間較短之曝射僅為顯示較強之點起見，尚可夠用。

§ 120. 洛伊氏對於閃鋅礦試驗之結果 圖 100 及 102，係用閃鋅礦 (zinc-blende) 之結晶體，當 X 線循該結晶體兩個不同之

對稱軸 (axes of symmetry) 進行時所得之結果。以初級線束射擊於結晶體之點為原心，如已知照像板上之任一點，對於具此原心正交軸 (rectangular axis) 之坐標，則發生此一特別點之線射之方向餘弦  $\alpha, \beta, (1-\gamma)$ ，立可求得，由是則變數 (parameters)  $h_1, h_2, h_3$  之值，亦可推出。如上之所述，因  $h_1, h_2, h_3$  皆為整數，則  $\alpha, \beta, (1-\gamma)$  之值，須為一簡比。證之於所有之照片，實際上亦復如是。由各實驗證得之結果，為使  $\alpha, \beta, (1-\gamma)$  之值，成一整數之比起見，則對於  $h_1, h_2, h_3$  所取之值，無大於 10 之必要。就此點而論，則謂照片上之各點，係起於干涉作用者，其說乃益證實。

照片上之每一點，各有其  $h_1, h_2, h_3$  之值，且其值必須與式(1)相合。至  $\alpha, \beta, \gamma$  相關聯之值，更須滿足以次之關係：

$$\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2 = 1,$$

故  $\frac{h}{a}$  之值，僅能有一個值滿足對於每一點所有之各方程。是以每一點，即具一個相異之波長，因點不同，則  $h_1, h_2, h_3$  之值，亦不相同也。然則結晶體迴折格與線迴折格重要不同之點，即在乎是。尋常所用之線迴折格，無論對於何種之波長，常可得其干涉之最大值，實言之，則迴折格對於投射之白光，可生連續之光帶也。但在三度之迴折格，僅對於一定之波長，適可構成干涉之最大值，故不能有連續之光帶。

由洛伊氏照片所顯之結果，雖就一般而論，整數  $h_1, h_2, h_3$  之值愈大，則其相當之點愈淡，但同時最小之整數，並不代表其最強

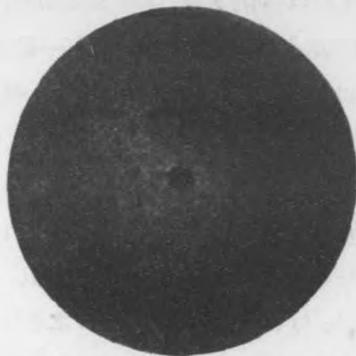


圖 102. X 軸由閃鋅礦之結晶體起進折現象所得洛伊點之圖樣。投射線之方向，係與等軸晶系之三方軸 (trigonal axis) (即經過立方體中心點對角線之方向者) 平行。



圖 103. 蒲惹格氏應用於上圖之實物畫投影法。

之點，一如與尋常週折格相比較所推得之結果也。（因對於尋常週折格，低級之光帶，通常為其最明者）。不事惟是，某定點具  $h_1, h_2, h_3$  之簡單值者，或竟完全不顯，亦至堪注意之點也。但如其所可得之圖樣，果為最普通之一種，則整數之所有值，在一定限度以內者，應可於片上表出之。

解釋是項不依常軌之事實，應尋一種滿意之理論，洛伊氏解釋之方法，係假定初級之線束，乃由有限之獨立單純成分所組合而成，其具簡單變數之點，於片上並不顯出之理由，則因獨能構成此點之特殊波長不存在之故耳。依上之所指示，對於  $h_1, h_2, h_3$  之任一個定值，即得  $\frac{\lambda}{a}$  之一定值，但如取此等值之同一倍數，如  $nh_1, nh_2, nh_3$  之類，則 § 118 之式 (1)，仍可滿足，但此時滿足此式之波長，不為  $\lambda$  而為  $\frac{\lambda}{n}$ ，斯為不同之點耳。依此方法以調度  $h_1, h_2, h_3$  之值，洛伊氏假定初級線束中，僅須具有五種不同波長之存在，即得解釋片上所有之點。

但上項解釋之方法，尚不能認為完全滿意，因由此五種不同之波長，應於片上得出若干其他之點，而為迄今所未顯出者。

§ 121. 對於閃鋅礦結晶體之洛伊點 閃鋅礦之結晶體，係屬於等軸晶系。而結晶學家更劃分等軸對稱之基本點系，為下列三種：

- (1) 其點在基本立方體之各角者，
- (2) 其點在立方體之各角及一點在立方體之正中心者，

(3) 其點在立方體之各角及其各面之中心者。

洛伊氏假定閃鋅礦，係屬於第一系，但事實上依頗卜及巴羅二氏由其他方面研究所得之結果，則屬於第三系，似較確定。蒲惹格氏 (W. L. Bragg, *P. C. P. S.* 1912) 即係根據此種觀察點，以考驗閃鋅礦之洛伊點。

蒲惹格氏採取是項構造之觀察點，假定以原子  $O$  為原心，作三正交軸線 (圖 104，係顯示  $ax$  及  $yz$  平面內之原子)。當各原子為 X 線所激動時 (仍沿  $z$  軸投射)，由  $O$  發出之微波，其循  $OP$  之方向者，後於  $x$  軸上之原子  $A$  所發出者，為  $h_1$  波長，後於  $y$  軸上之原子  $B$  所發出者，為  $h_2$  波長，其餘依次類推。夫 § 118 之式 (1)，既已證得各角之原子 (包括原心處之原子) 所發出之微波循  $OP$  方向者，須在同一之位相矣。現則須求對於各面中心之原子 (如  $D$  及  $E$ )，其發出之微波，與各角原子所發出者亦在同一位相此時所具之相當條件。

因  $D$  居於立方體一面之中心，由  $D$  及  $O$  所發出之微波，其位相之差，為  $\left(\frac{h_1}{2} - \frac{h_2}{2}\right)$  波長。為循  $OP$  方向生干涉最大值起見，則

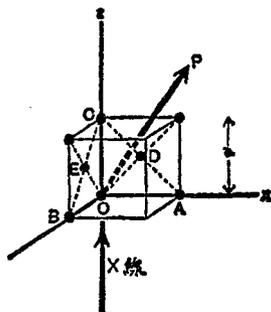


圖 104. X 線由等軸結晶體之基本立方體各角端及各面中心處之原子所起干涉現象之表示圖。

此式須為波長之整數倍數；故  $h_1$  及  $h_2$ ，須全為奇數，或全為偶數，始可。對於  $h_2$  及  $h_3$ ，其結果亦與此同。本乎此，則對於洛伊點之  $h_1$ ， $h_2$  及  $h_3$  各值組成之完全級數，不全顯於照片上之理由，不難迎刃而解。

第一步試研究由閃鋅礦之結晶體所得洛伊照片上（圖 100）當  $h_3=1$  時所有該組之各點。片上各點相當之波長，凡其值大於波長之極限值  $\lambda=0.034a$  者（ $a$  為基本立方體每邊之長），無不具備。波長近於  $\lambda=0.06a$  之相當各值，即為構成該圖樣最內之平方內兩個極強點之原因；其他所有之波長，小於或大於  $0.06a$  者，其點均較暗淡，迨於波長之極限值  $0.034a$  時，則點幾不能見。蒲惹格氏由是斷定所用於此等特別洛伊圖樣之各X線，必構成一種連續光帶，其最大之強度，即在  $\lambda=0.06a$  之處。

對於  $h_3=2$  各組之數，其結果恰與上相似。有兩個極強之點，形成外部之平方，且更有其他之若干點，益形暗淡。當  $h_3=3$  時，則點更見稀少。

表 18，顯示對於與  $h_3=1$  相當之各不同點，所具  $\frac{\lambda}{a}$  之一組標準值。

下表因其完備之故，極饒興趣；在波長一定區域之內，由理論所預料之每一點，皆可於照上得之。

是故蒲惹格氏之結果，可予頗卜及巴羅兩氏對於閃鋅礦空間格所假定原子排列之情形以強有力之證據。較近蒲惹格氏復證得

表 18. 閃鋅礦結晶體：投射 X 線之方向，與立方軸平行。  
對於  $h_3=1$  時，波長之各值。

| $h_3$ 之值 | 對於 $h_3=1$ 時， $\lambda/a$ 之值 |             |             |             |             |
|----------|------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|          | $h_1=1$                      | $h_1=3$     | $h_1=5$     | $h_1=7$     | $h_1=9$     |
| 1        | (出於照片之外)                     | 0.178 (m)   | 0.073 (v)   | 0.039 (v)   | 0.024 (不可見) |
| 3        | 0.178 (m)                    | 0.104 (v)   | 0.057 (v)   | 0.034 (f)   | 0.022 (不可見) |
| 5        | 0.073 (v)                    | 0.057 (v)   | 0.039 (m)   | 0.027 (不可見) | —           |
| 7        | 0.039 (f)                    | 0.034 (f)   | 0.027 (不可見) | —           | —           |
| 9        | 0.024 (不可見)                  | 0.022 (不可見) | —           | —           | —           |

(式中  $v$ ,  $m$  及  $f$  等字，代表各譜之強度—(v) 爲極強之意，(m) 爲強度中常之意，(f) 爲暗淡之意)。

閃鋅礦所得之週折圖樣，幾全起於較重之鋅原子。而硫原子則係位於相似之平行空間格，循鋅空間格之基本立方體之對角線之四分之一(註一)，即得其所在之處。

§ 122. 蒲惹格氏對於洛伊點之學說 蒲惹格氏由結晶體內多數原子組成之各相平行而等距之平面以爲觀察點，對於洛伊氏干涉之現象，因得其他解釋之方法。結晶體內如是之平面，可選用者，自有多系，但吾人現所選定者，祇能限於較少之系，其系內之平面

(註一)參閱 Bragg's *X Rays and Crystal Structure*.

係最饒於原子者。

蒲蓋格氏與洛伊觀察不同之點，則在假定投射之X線束，係包括區域甚廣所有之各波長(同於白光)，構成一種連續之光帶。次設想此項線束落於一種結晶體時，該線束撞擊於多原子所組成之一緊平行平面上，則必有少量之能力，由每一平面反射。由一特別平面反射之線束之波鋒(wave-front)，即係由該平面內各個原子發出之微波共同所結構而成。如  $pp, qq, rr$  (圖 105)，為一系列此類之平

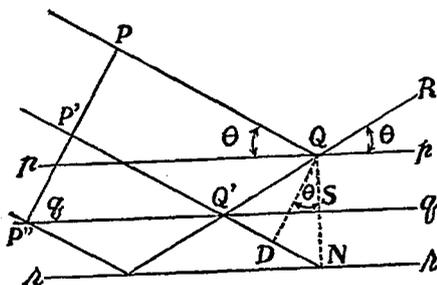


圖 105.

面， $PP'$  為循  $PQ$  方向進行之波鋒，與  $pp$  面成一角度  $\theta$ 。如由系內各平面反射之波，抵  $R$  處時，均在同一之位相，則所反射之輻射，必為最強，即謂如  $P'Q'Q$  與  $PQ$  途徑之差，為波長之整數倍數也。作  $QSN$  線與  $pp$  正交， $QD$  線與  $P'N$  正交。因  $PQ, QR$  與  $pp$  線均成同一之角度， $QN$  與  $pp$  正交，故  $Q'Q$  與  $Q'N$  等長，而所討論兩線之途徑差，為

$$P'Q' + QQ' - PQ = P'Q' + Q'N - P'D = DN \\ = QN \sin \theta = 2d \sin \theta,$$

此處之  $d$ ，為兩平面間垂直之距離。如  $2d \sin \theta$  為波長之整數倍數，則波互相增強 (reinforce)，循此方向，可得一干涉之最大值。是故當投射之線束，包括所有之各波長時，則結晶體內一特別之平面系，揀取其相當之波長，而由各系平面同時顯其作用之結果，可使線束分析為其各自之成分。如投射角變更時，則不同之各波長，重被選取，以構成其相當之干涉最大值。

本此觀察點以立論，則各點所顯之強度各不相同之故，或係因投射 X 線之光帶內，其能力之分佈，不其勻一；或係反射平面內，原子排列疎密之狀況各有不同耳。

蒲惹格解釋干涉之方法，分析言之，自與洛伊之法一致。惟反射法尚有最便利之點，則在依此法以描取圖像，極為簡捷。如結晶體旋轉時，則洛伊點之圖樣，其所經地位之變動，恰如由平面鏡所得之反射者然。如變更其投射角，則由接連兩平面所反射之波之相位差 ( $2d \sin \theta$ )，亦隨之變更；故一點原為某定波長所發生者，仍可繼續顯出，令投射線束內所具之各波長，遞次發現而不中斷。如依洛伊之所假定，投射 X 線之內，僅具有若干種一定之波長，則當結晶體漸漸傾斜時，片上之點，將時隱時現；但證諸實驗，適得其反，因同一之各點，固皆能於片上繼續追躡而探獲之也。其最饒興趣而堪以注意者，則當結晶體漸次傾斜時，洛伊點時有變更其強度

者。例如某一點在對稱之圖樣內，本為幾不可見之點，但當結晶體變更其位置時，竟可變為最強之點，因其新有之波長，現恰與 X 線光帶中之最大值符合故也。

洛伊點之橢圓形狀，則因投射之 X 線束，並非嚴格平行，而略成圓錐狀，故反射之線束，斜射於照像板上，顯示一種橢圓形之截面。

§ 123. 洛伊點之橢圓軌跡 經長時間之曝射，則顯於照像板上之點，比之圖 100 所驗得者，其數因之較多。如圖 101 之所表示，多數洛伊點各自組列於橢圓線之上，其大小各不相同，且各橢圓線俱適經過正中之洛伊點。此種近於圓形之橢圓線，係以投射線為母線(generator)所展成之正圓錐體之截面軌跡。致橢圓軌跡之所由起，係因結晶體內所可選定之各系平行平面，其所指之方向，各向皆有。蓋原子組列於互相平行之直線上，一如組列於互相平行之平面上，而原子之每一行列，即有一組與之平行之平面也。例如假設 X 線一束，沿  $z$  軸向前進行，試研究經過  $OS$  線(圖 106)原子密集之一平面，其處之  $S$  係  $zz$  平面內之一點。如此原子密集之平面，即含  $y$  軸，則反射之線束，必沿  $OP$  通過。但經過  $OS$  線原子密集之平面，此外尚可選取者，均可屬於一族(family or "zone")，如由此族平面之一，遞次旋轉為其他之平面，則反射之線束  $OP$  展成一正圓錐體，而以  $OS$  為其族軸(zone-axis)，故與  $z$  軸正交之照像板，其軌跡為一橢圓線，經過  $Oz$ ，且與  $yz$  平面相切。

同樣如經過原心之族軸，在  $yz$  平面之內，當原子平面依此族軸旋轉時，則所得之橢圓線，必經過  $z$  軸，與  $xz$  平面相切。今如結晶體之內，有一原子密集之平面，兼含上述之二族軸，則由此平面所反射之線束，即可得一洛伊點，適在如上所得兩橢圓線之交點處。

依此法作出依經過原心之各族軸旋轉之相當橢圓線，則所有之洛伊點，不難示其所在。圖 101，即根據

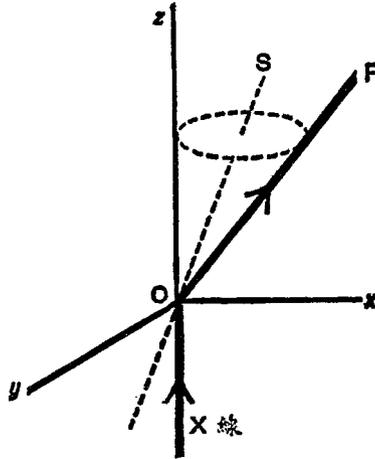


圖 108. 解釋洛伊點橢圓軌跡之作圖法。

據是理用圖解法以顯示當投射線經過閃鋅礦結晶體之立方軸時，其洛伊點如何探尋之方術也。

每次所得之橢圓線，各以與旋轉軸 (axis of rotation) 所經過之原心最近之原子所在之坐標以紀之。坐標單位之標準，則選定以沿坐標軸緊相連接之兩點間距離之半為單位以量之。單位所以如是選定者，因各點系堪以解釋對於閃鋅礦所得之洛伊點者，厥為其系之各點，在其基本立方體之各角及各面中心者也 (參閱 § 121)。

§ 124. 洛伊點之實體平面畫投影法 (stereographic projection) 作各種橢圓形之軌跡，以表現洛伊氏之圖樣，極為煩瑣，殊感不便。但有一較簡易之法，而圖樣仍不致大失其本真，今試述之如次。

假定X線  $AO$  (圖 107) 通過置於  $O$  處之結晶體，其未經彎曲之線束，射擊照像板  $ZD$  於  $Z$ 。令  $OS$  為一『族軸』，則凡由經過此族軸之一組平面所反射之線，成一正圓錐體， $OS$  為其軸， $OZ$  及  $OP$  為其二母線。該圓錐體與以  $OZ$  為半徑之球體相割，成一圓形， $ZB$  為其直徑。此圓形由『極點』 $A$  所投於平面  $ZD$  之影，仍為一圓形，此時  $ZP'$  為其直徑， $S$  為其中心。

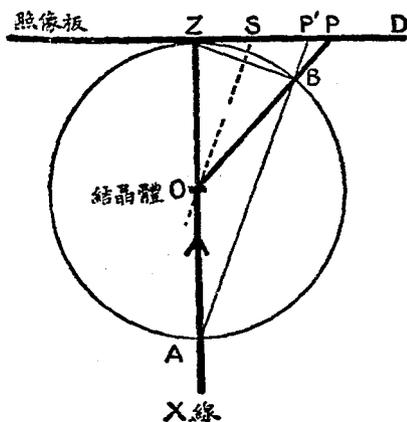


圖 107. 解釋洛伊點實體平面畫投影法之幾何作圖法。

是故如研究洛伊氏顯於  $ZBA$  球體之表面上之圖樣，而由極點  $A$  投其影於平面  $ZD$  上，則新得之投影，使嚮之以  $ZP$  為長軸 (major axis) 之橢圓線，變為以  $ZP'$  為直徑之圓形。洛伊點之圖樣，經此變通法所生位置之變動，除距中心極遠之處外，極其微少，故為便利起見，作圖時不必作橢圓僅作圓形足矣。又各圓之中心，如  $S$  之類，當結晶體置於對稱之位置時，其位置之所在，不難由各圖樣之尺度以算得之。

以此投影法應用於閃鋅礦之結晶體，顯示如圖 103。由圖可知由此法所得之圖式，與胡瑞德惹琦及克里坪所得之相當照片 (圖 102)，極相類似。

§ 125. 洛伊點用螢光屏顯示之法 突瑞達 (Terada, *Proc. Math.-Phys. Soc. Tokyo*, Ap. 1913) 考得用一種極透明之結晶體，及一不十分細狹之 X 線束 (5 至 10 耗之直徑)，則洛伊點所在之處，可用一螢光屏以測驗之。

將結晶體漸次旋轉，則洛伊點之橢圓軌跡，如以上之所述者，立可顯示。

此種螢光法，對於某種結晶體，作一種較為迅速之初步考驗，極為有用。又此法對於觀察結晶體既經物理作用或化學作用後，其演進之態度何若，亦極有價值。如加熱於硼砂結晶體，則洛伊點仍可察見，以迄結晶體幾全融解時為止，是其例也。

§ 126. 金屬結晶體所起之干涉現象 對於金屬結晶體，前此

尙少加以考驗者。凱禮氏 (Keene, *P. M.* Oct. 1913) 考得如令一束X線，經過新加碾平之金屬薄板，則置於薄板後之照像板上，得一對稱之圖樣。且圖樣之對稱軸，必與其先碾平薄板之方向平行。如薄板依其平面之本身旋轉，則圖樣上之洛伊點，亦生相當之轉動。假如薄板加熱而更令冷時，則圖樣復見顯出多數環帶狀之條紋，環繞其未經摺之洛伊點。如用一種年代悠久之金屬，其結果亦與此同。故此種環帶狀之條紋，必由多種小結晶體所起之反射現象所致之結果，而此結晶體之形成，其一係因年代之悠長，其一係經加熱而復令冷之鍛煉 (annealing)。

歐文 (Owen) 及蒲利克 (Blake, *N.* Feb. 19, 1914) 對於此問題，復採用反射法加以研究。將銅塊一片，分割爲二，其一加以熱而復冷之鍛煉，其他則否。令X線一束，遞次射於各銅片上，其結果則曾加鍛煉者，照像板上顯出多數之洛伊點，而其他銅片，並不顯有若何之效果。然則其不同之點果安在乎？其一則因具有無數之小結晶體，其所指之向，各不相同，且各反射其原有線束一部分能力之量，而未經鍛煉之銅片，則不具有結晶體之構造，與夫原子成有規則之排列也。

蒲蓋格氏 (*P. M.* Sept. 1914) 用X線分光表 (見下) 以測驗天然銅之結晶體，考得原子之排列，係屬各點位於其面中心之立方空間格。費格氏 (*Vegard, P. M.* Jan. 1916) 對於天然銀之結晶體，其結果亦屬相同。

§ 127. X線分光表 (X-Ray spectrometer) 本章之前部，已將X線之迴折現象，由歷史上之觀察，論列其進展之大概矣。其最堪注意之點，則在各種洛伊現象，由蒲惹格氏 (W. L. Bragg) 反射說以解釋之，倍極滿意。蒲惹格氏由威爾遜氏之提示，更進而考驗X線是否由結晶體內之剖面 (cleavage plane)，經過有規則之反射：剖面者，極富於原子之平面也。以雲母石之結晶體，加以試驗，則成效倍著，僅需經數分鐘之曝射，照像板上即見有異常明晰之迹象。

上述之現象，吾人以『反射』稱之，但此類試驗中之結晶體，係佔一迴折格之地位，此點極為顯然。蒲惹格父子 (Prof. W. H. Bragg and his son, W. L. Bragg) 本如是之觀察點，以研討該項問題，遂製定X線分光表，其所用之結晶體，一如反射格之作用焉。蒲惹格父子之實驗成績，已得國際間一般之承認，具載其所著之 *X Rays and Crystal Structure* (Bell) 書中，學者自行參考可也。

同時從事於此類之試驗者，尚有滿切斯特之莫斯雷 (Moselay) 及達爾文 (Darwin)，最近莫斯雷復單獨尋得最關重要之結果。

發現反射現象相當之各角，其測驗之方法，有用照像法者，有用電離法者。蒲惹格 (W. H. Bragg) 氏依電離法測驗所用之儀器，茲顯示如圖 108 由 X 線管之對陰極板發出之各線，經二個鉛製之微隙片 A 及 B，成一狹細之線束，其狹細之度，可用一螺旋以調度

之，并由與螺旋相連之尺，求得狹度之大小。此項裝置，蓋與望遠鏡內之入光筒 (collimator) 相似。結晶體係置於分光表平臺面上之  $O$  處，其所指方向之度數，可由圓尺所附之遊尺 (vernier)  $V$  以求得之。電離箱  $I$  係支於左端所示之一臂上，亦係紐旋於儀器之中心，而其反射之線束，復經第三鉛製之微隙片  $D$  以限制之。通過電離箱之電流，可依常法用驗電器或驗電表 (electrometer) 以測定之。因通常反射線之強度甚小，故電離箱多以一種較重氣體如二氧化硫之類以充實之，如是則由某X線束所生之電離作用，比之在空氣中者當較強也。

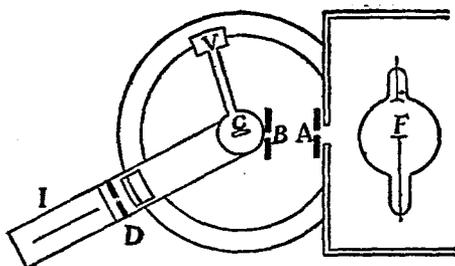


圖 108. 蒲茨格應用電離法所用X線分光表裝置之圖式

運用是項儀器時，結晶體與電離箱同時移動，惟電離箱旋轉之角度，當二倍於結晶體。如投射之線束，與結晶體表面相斜之角度 (glancing angle)，漸次增大，則終必達到一點，驗電器內顯示一種反射之作用，由是則電離電流，可與相斜之角度，作出圖解以表

明之。

如選用照像法，則電離箱之處，須以照像板代替之。此時照像暗箱 (camera) 與結晶體同時移動，前者轉動之率，亦二倍於後者轉動之率。白若格利 (De Broglie) 及林德滿 (Lindemann) (參閱 Gorton, P. R. 1916)，并用一種凹面之反射格，係為雲母片彎成圓筒狀所製成者云。

§ 128. X線光帶 依上所述結晶體之構造而論，則對於一種結晶體之每一天然表面，可設想必有一組原子密集之平面，與之平行。當 X 線射擊於此天然之表面時，似即可由其面之本身反射，但就事實而論，則反射現象之發生，當在結晶體內之一薄層以內，其深度通常不逾一耗。

如蟬聯之 X 線 (a train of X rays)，均為同一之波長 ( $\lambda$ )，以射擊於結晶體時，則僅當相斜之角度 ( $\theta$ )，具某定值時，可發生反射之現象。此等值可由下式定之：

$$\lambda = 2d \sin \theta_1,$$

$$2\lambda = 2d \sin \theta_2,$$

其他準此類推。

此處之  $d$ ，係原子平面相間之距離。 $\theta_1$  時之反射，為第一級之光帶， $\theta_2$  時之反射，為第二級之光帶，以次準此類推。但當此等角度外其他之角度，則通常不見有反射之線束耳。由上之方程可得  $\lambda$  與  $d$  之關係；故用同一結晶體之面，則各種單色 X 線之波長，可比

較之，或用同一之波長，則對於各種不同之結晶體，或對於同一結晶體各種不同之面，其原子平面相間之距  $d$ ，亦可比較之。

故由此法，吾人不僅能分析一束之 X 線，并能考究結晶體內如何之構造。然則 X 線分光表，恰與光學上之分光表相同，可予人以結晶體內原子之間距及單色 X 線之絕對波長之測量方法。

當用普通(或白色)之 X 線時，無論結晶體所指之方向如何，常有  $\theta$  之某值，與  $d$  及  $\lambda$  之所有值相合。每組之平面，各可反射少許，但反射之量，當平面愈錯亂時，減弱愈甚。是故每當一個反射角，即有一定量所反射之輻射，可以察驗，其量當投射線幾與面平時，增加最大。

但用單色之 X 線時，則其作用大受限制，僅當幾個特殊角度時，得以察驗其反射之現象。是故單色輻射，與普通輻射相混合時(即尋常 X 線球所放射者)，如作反射線束之強度對於相斜角度之圖解，則 X 線之光帶，係屬普通輻射之連續曲線，襯以與單色之光帶『輝線』相當之『小峯』。各小峯之位置及其形狀，僅視所用以為對陰極板之金屬而定，而此項輻射，即屬該金屬所具之特殊輻射云。

上述之獨立輻射，恰與可見的光帶內之白色光相當，且可以線射之完全連續光帶代表之，此說似屬近理。

圖 109，係蒲惹格氏用由鉛製對陰極板發出之 X 線時所得之曲線。其反射器係屬岩鹽之結晶體，即對於歷所考驗其他各種之結晶體，其大概之形狀及相對之比例，仍屬相同也。考該曲線具有顯

著之小峯三（圖中以  $A, B, C$  紀之），且凡三見。與每小峯相當之線，如以尋常吸收法驗之，其結果必為單純之線。又各組之內，其相當之小峯，彼此必具密切之關係：不僅線射之發出如  $B_1, B_2, B_3$  之例者，其吸收係數完全相同，且其反射角之正弦，亦必為簡單之比。例如各  $B$  峯之反射角，為  $11^\circ.65, 23^\circ.65, 36^\circ.65$ ，此各角之正弦，則為  $0.200, 0.401, 0.597$ ，頗近於  $1, 2, 3$  之比。

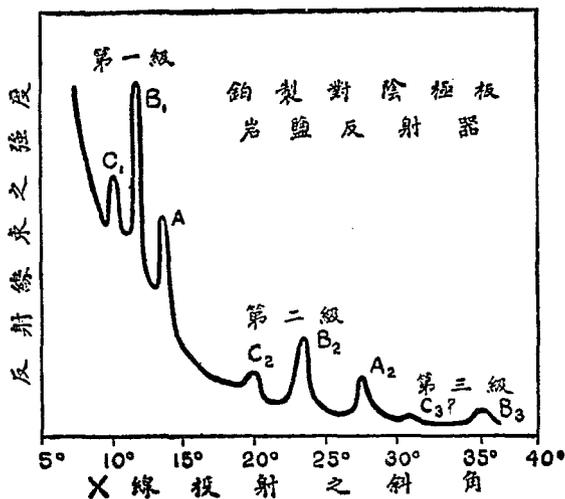


圖 109. 顯示由鉑發出之 X 線光譜強度之分佈。有主要之光帶輝線三，而大部分則為『白色』或普通之 X 線。

關於此類結果所加之解釋，已無大可懷疑之點。 $A, B, C$  峯，即所以代表三種不同之單純線，顯為第一級第二級及第三級之光

帶者也。三種之線，必非創成於結晶體之內，因其性質無論用何項之結晶體，仍屬相同也。然則投射之X線實為所有波長組成之『獨立』線，與鉑製對陰極板特殊所具之單純輻射之混合體耳（參閱 § 24 (a) 及 § 70 克伊及畢特之結果）。再者上所指之特殊線，並不僅為單個之單純線，而為幾組波長不同之線所組合而成。

莫斯雷及達爾文 (*loc. cit.*) 用更較精巧之儀器，同樣驗得鉑之輻射內，具有五種單純之成分：B 與 C 峯，實際上為連合之雙峯。各成分之比例，似與X線球之狀態有關。

銻，鉍兩金屬所生之X線光帶，與鉑相似。此數種金屬，各具三種主要之單純線，且其普通輻射之部分，亦復不少。鉍與銻之光帶，彼此亦極相似；其各自之光帶，即就用柔X線球時而論，頗近單純，惟所具之普通輻射略少耳。因此之故，此兩種輻射，蒲茲格氏於其較近之結晶體實驗中，多喜用之。圖 110 顯示銻之光帶，其主要之線，實則為一連合之雙峯。

此外尚須揭明者，則圖 109 及圖 110 係舉X線光帶之例，其大概之形式，視環境狀況而定者也。光帶輝線本身之位置，始終不變，此本毫無疑義，但各輝線之相對強度，及普通輻射之相對強度，隨下列之要素而變：如X線球之剛度，為澄濾用之屏之存在與否，放電之種類，及分光表之分析能力皆是也。結晶體之化學性態，對於能力之分佈，亦具顯著之作用。蒲茲格氏謂此種作用，係因結晶體內之原子，對於X線之各成分所顯選擇性之吸收現象之所致云。

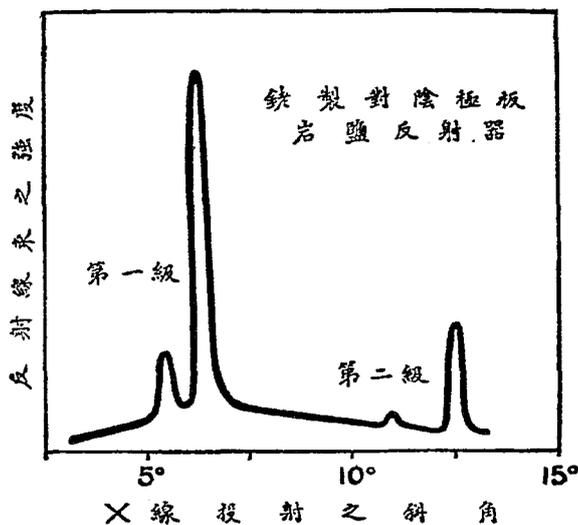


圖 110. 顯示由鉅量出之X線光帶能力之分佈。單色輻射之部分頗大，而『白色』或普通之輻射則甚少。

§ 129. 爲 X 線分析用之適宜結晶體 關於X線光帶之分析，則結晶體之選定，頗屬重要。金剛石爲最完全而效力最強之反射器：金剛石雖屬至剛，但循勢剖裂，尙屬容易。方解石 (calcite) 與金剛石略似，但反射之強度，又略遜之。岩鹽於最先之試驗中，用之者甚夥，但通常實爲極不完善之結晶體，其結果尤易引起謬誤。至黃鐵礦 (iron pyrites) 及閃鋅礦之所反射，較之岩鹽尙較確實。

## 附結晶體之構造

§ 130. 蒲惹格氏對於結晶體構造之研究 近數年以來，蒲惹格氏 (W. L. Bragg, *P. R. S.* 1913……) 對於結晶體之構造，更作縝密之研究，今試取其重要之點，約略述之如次。

為求得一種結晶體之構造及其空間格之尺度起見，須先決定下列各項：

- (1) 該結晶體究屬於何種之質點系；
- (2) 與各種結晶體之面平行之原子平面，其相間之距離各若何。

蒲惹格氏本此程序，首研究關於鹼性金屬之鹵族鹽類 (halogen salts) 構造上之問題，此種鹽類，固皆形成立方形之結晶體者也。

(I) 空間格之本態 所研究之鹽類，係氯化鈉，氯化鉀，溴化鉀，及碘化鉀四種。當X線循法線方向射於與立方體之面平行所割成之片上時，對於每種鹽類之洛伊圖樣，皆可求而得之。依常理之所推測，以為此類化學性質互相類似之物體，或當屬於同一之質點系，因亦顯出同樣之洛伊圖樣，但證之實驗，則大異乎是，其結果則

- (1) 氯化鉀得一種極為簡單之圖樣，當係由第一種之簡單立方格 (§ 121) 所致；

(2) 溴化鉀及碘化鉀所顯之圖樣，各係由點位於各面中心之第三種立方格 (§ 121) 所致；

(3) 氯化鈉所顯之圖樣，比之上二者皆較繁複，似介乎二者之間，此為第三種。

此種歧異之點，其解釋之最稱明晰而堪以採納者，則以為兩種成分之相對質量，對於分子迴折之能力，大有影響。重原子所構成之迴折中心 (diffracting centre)，比之於輕原子，以理推測之，當較優勝，使此假定而果確切，則初所詫異之結果，其理當可迎刃而解矣。蓋當鹽類為氯化鉀時，鉀及氯之原子量，依次為 39.1 及 35.5，其數頗相接近，各以其原子為其迴折中心，則其效率，殆屬同等。鈉與氯之原子量 (23 及 35.5)，懸殊略大，以故岩鹽所顯出之圖樣，極為繁複；至用碘化鉀時，鉀及碘之原子量，依次為 39.1 及 127，用溴化鉀時，鉀及溴之原子量，依次為 39.1 及 79.9，一種原子比之其他原子之重，既若是之懸殊，故由該項組織所生之結果，可視為僅由一種原子所成一種簡單空間格之所致。

吾人今試想像上列四種鹽類中，金屬與鹵族組列之狀況，雖屬公同所具，而其致有不同之點，其理果安在乎？依蕭惹格氏之符號，試將鹽類中兩種不同之迴折中心，其一稱為黑，其一稱為白，則點之排列，須合以次之條件：

(1) 黑白之數相同；

(2) 點之排列，如黑白二者同時並取，則成第一種之立方空間

格，即其點係位於每一基本立方體之各角 (§ 121)：

(§) 點之排列，如僅就黑者或僅就白者而論，則成第三種之立方空間格，即其點係位於各角及各面之中心 (§ 121)。

排列之狀況，其結果能合乎上述之條件者，茲顯示如圖 111。白者所構成之空間格，同於黑者所構成之空間格，各成第三種之點系。如黑者與白者之中心，完全相同，如 KCl 之類，則成第一種之簡單立方格。

此種屬於氫族之鹽類，其內之原子 係屬上項之排列，關於此類之證據，甚為確鑿，似可深信不疑；但吾人現尚不能確定該系內之每一點處，其迴折單位，是否僅具單個原子或多個原子耳。惟蒲茲格氏則對於每一中心僅具單個原子之說，深予以強有力之證佐。今試設有三種不同之物體，如閃鋅

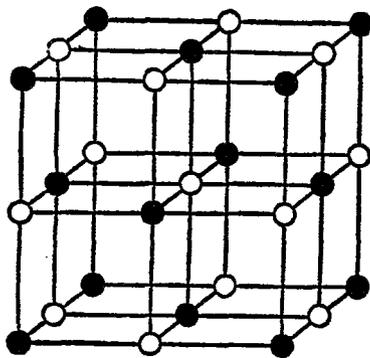


圖 111. 一立方結晶體內兩種迴折中心之表示圖

礦 (ZnS)，鈣氟石 (fluorapat  $\text{CaF}_2$ ) 及方解石 ( $\text{CaCO}_3$ )，令 X 線各循其三方軸 (trigonal axis) 之方向 (即沿對角線經過立方體中心之方向)，通過上三種之結晶體，以求其洛伊照片。其結果則所得

之圖樣，完全相同，由此可知迴折中心，在三種結晶體中，皆係排列於完全相似之空間格上。

但所謂空間格者，係屬一種排列之情形，其每一點對於其鄰點之位置，亦恰同於其他各點對於其各自鄰點之位置也。似此則欲排列繁雜之分子於一空間格之內，假非每一分子之內，僅有一點發生效力者，殆為不可能之事實矣。故即就上述之例而論，吾人即可推想每一個分子，其作用一如一個單點，因事實上分子之內，只有一個原子較重於其他之原子也；且由此，又可推想分子之內，其司觀測所得之迴折圖樣之責任者，厥為最重原子所組成之格(註一)。

以上所述，其詳盡既若是矣，但為完成上述之辯論，以證實每一迴折中心僅具一個原子之說起見，則吾人更須確知各種結晶體之空間格，其比較上之尺度，究屬何若。尺度之大小，本可應用X線分光表以求得之，今試驗之如次。

(II) 原子平面相間之距離 在一種原質之光帶中，如已知X線當其各『峯』時所反射之量，其角度究為若干，則原子平面相間之距離，如即以該線之波長紀之，不難求得。今試由結晶體之三個主要平面 (primary planes) 所得之反射曲線，以測定  $\lambda = 2d \sin \theta$  式中斜角  $\theta$  第一級之值，則對於三個主要方向 (principal direc-

~~~~~  
(註一) 薩塞格氏由最近之試驗，更得一種結論，以為原子之散射能力，與其原子量成正比例。

tions) 之  $\frac{d_1}{\lambda}$ ,  $\frac{d_2}{\lambda}$ ,  $\frac{d_3}{\lambda}$  各值, 皆可求得。由是則基本平行六面體之形狀, 及  $\frac{d_1 d_2 d_3}{\lambda^3}$  或  $\frac{V}{\lambda^3}$  之值, 均可推出 (此處之  $V$ , 為平行六面體之體積)。設  $\rho$  為該結晶體之密度, 則每一平行六面體所具之質量, 亦可假定即為每一迴折中心所具之質量, 當為  $V\rho$ 。如  $M$  為該物體之分子量, 則每一迴折中心所具分子之數, 為  $\frac{V\rho}{M}$ , 或書作  $\lambda^3 \left( \frac{V}{\lambda^3} \cdot \frac{\rho}{M} \right)$ 。由多次試驗比較之結果, 如將  $\lambda$  保持不變, 則括弧內之數值, 與每個中心所具分子之數成正比例, 并可由實驗之結果以算得之。蒲惹格氏進而考究具有重原子之多種結晶體, 以漸求得此值。其試用之結晶體, 為閃鋅礦 (ZnS), 鈣氟石 (CaF<sub>2</sub>), 方解石 (CaCO<sub>3</sub>), 黃鐵礦 (FeS<sub>2</sub>), 岩鹽 (NaCl) 是也。該氏用 Pt 之  $B$  峯單純線, 求得該量之值, 對於上列各物體約略相同, 其所得之結果, 列於表 19 中。

故每一迴折中心所具分子之數, 皆屬相同; 使吾人再設想各種之結晶體, 組織上既大不相同, 願何以每一迴折中心所具分子之數, 又屬一致, 應即可斷定每一迴折中心, 實僅具有單個之分子耳。由此種結果以與本節 (I) 之推論相連貫, 則知由各種結晶體所得之圖樣, 似由每一中心具有單個重原子所構成之空間格所致, 因每分子之內, 僅有單個之重原子故也。

吾人又試注意表中氯化鉀所得  $\frac{V\rho}{\lambda^3 M}$  之值, 為其他結晶體之半, 其解釋之方法, 則因重量約略相同之二原子, 皆為同樣生效之迴折

表 19. (註一)

結 晶 體	空 間 格	密 度 $\rho$	分 子 量 $M$	面 之 類 別	$\theta$	$\frac{d}{\lambda}$	$\frac{V}{\lambda^3}$	$\frac{V\rho}{\lambda^3 M}$
鉀石鹽, KCl	簡單立方格	1.97	74.5	(100)	10.2	2.86	23.4	0.605
				(111)	18.0	1.62	22.2	
岩鹽, NaCl	點位於各面中心之立方格	2.15	58.5	(100)	11.4	2.53	32.5	1.22
				(110)	16.0	1.82	33.9	
				(111)	9.8	2.95	33.5	
閃鋅礦, ZnS	點位於各面中心之立方格	4.6	97.0	(110)	16.5	1.76	30.8	1.28
螢石, CaF <sub>2</sub>	點位於各面中心之立方格	3.18	78.0	(100)	11.7	2.46	29.8	1.18
				(111)	10.3	2.79	28.3	
方解石, CaCO <sub>3</sub>	菱形格	2.71	100.0	(100)	10.5	2.74	44.8	1.22
黃鐵礦, FeS <sub>2</sub>	點位於各面中心之立方格	5.03	120.0	(100)	12.1	2.59	27.3	1.15
				(111)	11.2	2.60		

(註一) 在此表內,

$\theta$  = 第一級 Pt B 峯之斜角。

$\lambda$  = Pt B 峯之波長。

$d$  = 真正所考驗之面平行兩平面間之距離。

$V$  = 由  $d$  之值及由空間格之本態所算得基本平行六面體之體積。

(100), (110), (111) 係結晶學家用以表示各組不同平面之符號。試取簡單立方體為例以明之 (圖 111 a)。(100) 係代表立方體原有之面;(110)

代表與經過立方體相對之兩邊之平面平行之各面;(111) 代表與經過一

角並其相對面之對交線之平面平行之各面。

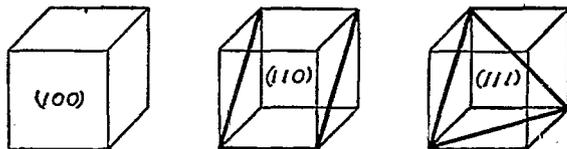


圖 111 a.

中心，故由原邊之半所成之平行六面體，即為該結晶體之單位。

以上敘述之理由，尙不能謂為此項要點之完全證據，但每一中心具一單個原子之假定，其真確之程度，證之後所觀察種類不同之各結晶體，無不歷著成效，此可為此說張目者也。

最近蒲惹格氏更於多種樣式不同之結晶體，排定其內輕原子及重原子二者之位置，且進而研究原子之運動與熱之關係。

茲將蒲惹格氏應用X線分光表對於各結晶體之構造觀測所得之結果，列表如次。對於A組之結晶體，試驗極稱完備；B組之結晶體，則僅能考其排列之序，但尙未能證得其內諸原子真確組列之情形。至於C組之結晶體，則除於其內部組織每一單位所具分子之數面外，所知蓋亦僅矣。

§ 131. 空間格之尺度 (dimensions) 及X線之波長 如關於鹼性鹽類規定之排列，果屬確切無誤，則Pt輻射B峯之波長，不難推算，因此時已知 $\lambda^3 \left( \frac{V}{\lambda^3} \cdot \frac{\rho}{M} \right)$ 適等於1也。茲舉岩鹽 (NaCl) 為例以明之。

$$\text{分子量, } M = 58.5 \times 1.64 \times 10^{-24} \text{ gm.}$$

$$\text{密度, } \rho = 2.15 \text{ gm./c.c.}$$

$$V/\lambda^3 = 33.3 \text{ (由試驗測得)}$$

$$\therefore \lambda^3(33.3 \times 2.15) = 58.5 \times 1.64 \times 10^{-24};$$

$$\text{由是} \quad \lambda^3 = 1.34 \times 10^{-24}$$

$$\lambda = 1.10 \times 10^{-18} \text{ cm.};$$

## A 組

結 晶 體	晶 系	附 註
金剛石, C	等 軸 系 (即立方系)	
銅, Cu	” ”	銅原子係點位於各面中心之立方空 間格
氯化鈉, NaCl	” ”	
氯化鉀, KCl	” ”	
溴化鉀, KBr	” ”	
碘化鉀, KI	” ”	
方鉛礦, PbS	” ”	Pb 與 S 之排列, 一如氯化鈉內之 Na 與 Cl。
閃鋅礦, ZnS	” ”	
紅鋅礦, ZnO	六 方 系	} 二種互相交錯正六面體之空間格
硫化鋅, CaS	” ”	
螢 石, CaF <sub>2</sub>	等 軸 系	
黃鐵礦, FeS <sub>2</sub>	” ”	
碲鐵礦, (hauerite), MnS <sub>2</sub>	” ”	
硝酸鈉, NaNO <sub>3</sub>	菱 形 晶 系	
方解石, CaCO <sub>3</sub>	” ”	
白雲石 (dolomite), CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	” ”	
紅錳礦 (rhodochrosite), MnCO <sub>3</sub>	” ”	
菱鐵礦 (chalybite), FeCO <sub>3</sub>	” ”	

## B 組

結 晶 體	晶 系	附 註
霏石(aragonite), CaCO <sub>3</sub>	斜方晶系 (orthorhombic)	外觀似屬六方系之集合體與方解石 CaCO <sub>3</sub> 具密切之關係
白鉛礦(carussite), PbSO <sub>4</sub>	” ”	
硝酸鉀, KNO <sub>3</sub>	” ”	
氯化銨, NH <sub>4</sub> Cl	等 軸 系	氫原子之位置, 尙未確定
碲砷鈷礦(cobaltite), CoAsS	” ”	屬於黃鐵礦族
氯酸鈉, NaClO <sub>3</sub>	” ”	鈉與氯原子略與氯化鈉之內相同
赤銅礦(cuprite), Cu <sub>2</sub> O	” ”	
赤鐵礦(haematite), Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	菱形晶系	
紅 玉(ruby), Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	” ”	

## C 組

結 晶 體	晶 系	附 註
石英(quartz)SiO <sub>2</sub>	菱形晶系	
硫, S	斜方晶系	
尖晶石 (spinel), MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	等 軸 系	
磁鐵礦(magnetite), FeFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	” ”	
白鈹礦(gahnite), ZnAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	” ”	
石墨(graphite), C	假六方系	按一剖面之底平面測定之結果 $d=3.42 \cdot 10^{-8}$ 厘米

是即鉑  $B$  峯之單純輻射之波長。

由表 19 中  $\frac{d}{\lambda}$  之值，則各結晶體關於空間格之常數，亦可推得之。

§ 132. 鉑之  $L$  輻射 鉑之  $B$  峯輻射，在鉛內之質量吸收係數，經蒲惹格氏之測定，為 23.7。證之圖 54，則此值應與一原質之原子量為 72.5 所放出之  $K$  特殊輻射相當，或與原子量為 198 之原質所放出之  $L$  特殊輻射相當。考鉑之原子量為 195：兩相符合，殆非偶然，則謂  $B$  峯係因鉑之  $L$  輻射，了無疑義。

§ 133. 莫斯雷氏 (Moseley) 之實驗 莫斯雷氏 (P. M. Dec. 1913, April 1914) 用照像法考驗多種原質之 X 線分帶 遂得顯著而最關重要之結果。所用之原質，係遞安於 X 線管內之小搖車上 (如 § 24 所示之儀器)，以為對陰極板之用，其發出之 X 線，用第一鐵氰化鉀 (potassium ferrocyanide) 之結晶體以分析之。放電管安一鉛窗，約 0.0022 釐厚，如在輻射太柔之時，則用金箔匠所用之皮膜 (goldbeaters' skin) 以代替之。有時分光表之全體，須置於真空箱內，蓋因此時之線過柔，不能透入空氣逾 1 或 2 釐以上也。

此種試驗所用之對陰極板，大多數係用純原質，但當原質稀罕或易致揮發時，則氧化物，鹽類，或合金，皆可用之。此時所顯之光帶線，固不難縷晰而得。

圖 112 顯示莫斯雷氏用若干種較輕之原質，當其放出頗強之  $K$  特殊輻射時，所得之 X 線光帶。照片所紀錄之光帶，係依波長增

加之次序，遞次排列之。原子量漸次減少，則波長逐漸增加，且光帶各為輝線二條，而其較長之波長( $\alpha$ 線)，為其強度之較大者。

$L$  特殊輻射，至少係由五條輝線  $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon$  所組合而成，其次序係按波長及強度遞減之序排列之。

較近研究之結果，則知兩條輝線之  $K$  光帶，其中之主要輝線，實係一連合之雙峯；且知  $K$  組及  $L$  組之中，尙有其他較弱之輝

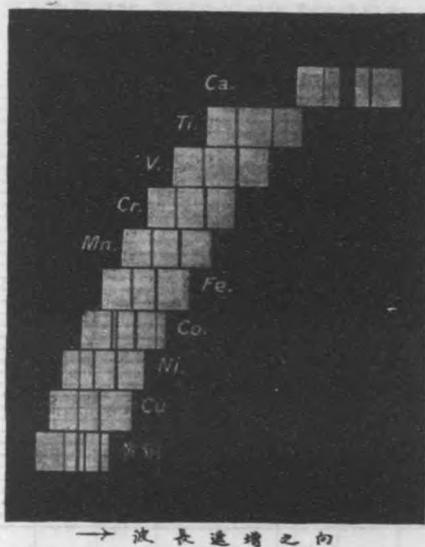


圖 112. 甚氏對於多種金屬對陰極板之X線光帶攝得之照片。其所得之光帶，屬第三級，係依波長之次序，於圖中排列之。波長之值，具載下表。對於每一種之金屬，其較強之輝線，波長較長，係屬  $K$  特殊輻射。黃銅 (brass) 所顯，係鉍與銅之輝線；鈷之內，則見含有鐵與鎳之雜質。

線，而為現方所正從事搜討者。

$K$  組， $L$  組及  $M$  組中較強輝線之波長，具載表 20，而若干結晶體之空間格常數，并附誌之。

§ 134. 莫斯雷氏之定律 莫斯雷氏研究之結果，其最關緊要之處，則在 X 線光帶與週期表內原質次序所成立之關係。莫氏試以原子數（即代表週期表內該原質號次之數）對於 X 線振動率之平方根，作出圖解，考得對於各不相同之原質，其所得之各點，悉位於一

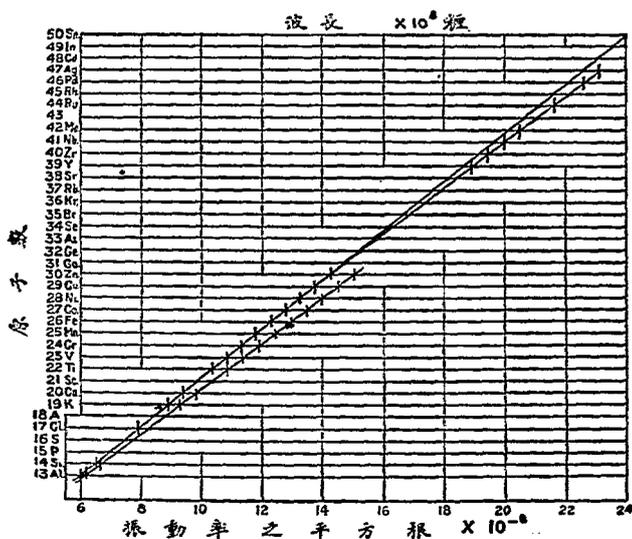


圖 113. 莫氏對於原子數與 X 輻射之振動率二者間之關係。

(Braggs' X Rays and Crystal Structure)

表 20. X線光帶內各輝線之波長

迄至現在，則見對於每種原質之特殊X線光帶，約具有 16 條輝線。現今所知之輝線，有 K, L, M 三組，其中以 K 組之振動率為最高。此外尚有 J 組，當亦存在，但其確定成立，尚待證實。K 組至少包含四條輝線，即  $\alpha_2, \alpha_1, \beta_1, \beta_2$ ，就中以  $\gamma$  輝線之振動率為最高。L 組或含有三小組之輝線，每小組各與 K 組相似。下表所列各主要輝線波長之值，係以埃氏單位 (Angström unit) 記之。所列各值，悉根據滿遜格氏對於岩鹽之空晶格常數測定之結果。

各結晶體之空間格常數

結 晶 體	空間格常數	觀 測 者
岩鹽, NaCl	$\times 10^{-8}$ 裡 2.8140	滿遜格, 見 <i>Roy. Soc. Proc.</i> , 1913.
方解石(剖面), $\text{CaCO}_3$	3.0.90	帥格保, 見 <i>Phil. Mag.</i> , 1910.
第一鐵氰化鉀, $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	8.408	" "
石膏, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	7.621	" "

K 組

原子數	原 質	$\alpha_2$	$\alpha_1$	$\beta_1$	$\beta_2$	觀 測 者
		$\times 10^{-8}$ 裡	$\times 10^{-8}$ 裡	$\times 10^{-8}$ 裡	$\times 10^{-8}$ 裡	
11	鈉, Na	—	11.95	—	—	帥格保及施吞施冲, 見 <i>P. Z.</i> , July, 1916
12	鎂, Mg.	—	9.92	9.45	—	" "
13	鋁, Al	—	8.36	7.99	—	" "
14	矽, Si	—	7.13	6.76	—	" "
15	磷, P	—	6.17	5.81	—	" "
16	硫, S	—	5.36	5.02	—	" "
17	氯, Cl	—	4.7187	4.39	—	帥格保, " 見 <i>P. M.</i> , June 1919
19	鉀, K	—	3.7839	3.4474	—	" "
20	鈣, Ca	—	3.8519	3.6879	—	" "
21	鈾, Sc	—	3.0253	2.7745	—	" "
22	鈦, Ti	2.746	2.742	2.509	2.492	帥格保及施吞施冲, 見 <i>P. Z.</i> , July 1916
23	鈦, V	2.502	2.498	2.281	—	" "
24	鉻, Cr	—	2.2852	2.0814	—	帥格保, " 見 <i>P. M.</i> , June 1919
25	錳, Mn	2.093	2.093	1.902	1.892	帥格保及施吞施冲, 見 <i>P. Z.</i> , Feb. 1916
26	鐵, Fe	—	1.9324	1.7540	—	帥格保, " 見 <i>P. M.</i> , June 1919
27	鈷, Co	—	1.7852	1.6176	—	" "
28	鎳, Ni	—	1.6547	—	—	" "
29	銅, Cu	—	1.5374	1.3895	—	" "
30	鋅, Zn	1.437	1.438	1.294	1.281	帥格保及施吞施冲, 見 <i>P. Z.</i> , Feb. 1916
32	鎘, Cd	1.261	1.257	1.131	1.121	" "
39	鈾, Y	—	0.833	—	—	莫斯雷(訂正), " 見 <i>P. M.</i> , April 1914
40	鈾, Zr	—	0.790	—	—	" "
41	鈾, Nb	—	0.746	—	—	" "
42	鈾, Mo	—	0.717	—	—	" "
44	鈾, Ru	—	0.635	—	—	" "
45	鈾, Rh	0.6164	0.6121	0.5453	0.5342	狄安及胡氏(Duane & Hu) 見 <i>P. Z.</i> , 1919
46	鈾, Pd	0.5 9	0.583	0.516	—	滿遜格
47	鈾, Ag	0.562	0.557	0.495	—	" "
48	鈾, Cd	—	0.537	0.475	—	帥格保, " 見 <i>D. P. G. V.</i> , 1916
49	鈾, In	—	0.506	0.451	—	" "
50	鈾, Sn	—	0.486	0.432	—	" "
51	鈾, Sb	—	0.479	0.416	—	" "
52	鈾, Te	—	0.456	0.404	—	" "
53	鈾, I	—	0.437	0.388	—	" "
56	鈾, Ba	—	0.388	0.344	—	" "
74	鈾, W	0.2175	0.2098	0.1844	0.1794	帥格保, " 見 <i>P. M.</i> , Nov. 1919.
92	鈾, U	—	0.15	0.10	—	" "

L 組

原子數	原 質	$\alpha_2$	$\alpha_1$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\gamma_1$	觀 測 者
		$\times 10^{-8}$ 裡					
30	鋅, Zn	—	12.35	—	—	—	胡瑞滿, 見 P. M., Nov. 1913
33	砷, As	—	9.701	9.449	—	—	" "
35	溴, Br	—	8.391	8.141	—	—	" "
37	鉀, Rb	—	7.335	7.091	—	—	" "
38	銣, Sr	—	6.879	6.639	—	—	" "
39	鈦, Y	—	6.464	6.227	—	—	" "
40	鈷, Zr	—	6.083	5.851	—	5.366	" "
41	鈮, Nb	5.781	5.724	5.493	5.317	—	" "
42	鉬, Mo	5.410	5.403	5.175	—	—	" "
44	鈳, Ru	4.853	4.845	4.630	—	—	" "
45	鈷, Rh	—	4.595	4.372	—	—	" "
46	鈳, Pd	4.374	4.363	4.142	3.903	3.720	" "
47	銀, Ag	4.156	4.146	3.929	3.698	3.515	" "
48	鎘, Cd	3.959	3.949	3.733	3.514	3.331	" "
49	錳, In	3.774	3.768	3.550	3.335	3.160	" "
50	錫, Sn	3.604	3.594	3.381	3.172	2.999	" "
51	銻, Sb	3.443	3.434	3.222	3.021	2.849	" "
52	碲, Te	3.299	3.290	3.074	2.881	2.712	" "
53	碘, I	3.155	3.146	2.934	2.750	2.583	" "
55	銣, Cs	2.899	2.891	2.684	2.514	2.350	" "
56	鋇, Ba	2.786	2.776	2.569	2.407	2.245	" "
57	釷, La	2.674	2.665	2.461	2.307	2.146	" "
58	鈾, Ce	2.573	2.563	2.359	2.212	2.052	" "
59	釷, Pr	2.472	2.462	2.259	2.120	1.958	" "
60	鈳, Nd	2.379	2.369	2.167	2.036	1.875	" "
62	釷, Sa	2.210	2.200	2.000	1.884	1.725	" "
63	鐳, Eu	2.131	2.121	1.918	1.810	1.662	" "
64	釷, Gd	2.054	2.043	1.844	1.744	1.597	" "
65	鈳, Tb	1.933	1.923	1.725	1.632	1.531	" "
66	鐳, Dy	1.916	1.907	1.709	1.622	1.470	" "
67	鈳, Ho	1.854	1.845	1.646	1.568	1.415	" "
68	鈳, Er	1.794	1.783	1.586	1.514	1.368	" "
70	鐳, Yb	1.681	1.670	1.474	1.414	1.267	" "
71	鐳, Lu	1.629	1.619	1.421	1.368	1.224	" "
73	釷, Ta	1.528	1.518	1.323	1.280	1.135	帥格保及胡瑞滿, 見 P. M., July 1916
74	釷, W	1.4845	1.4735	1.2792	1.2419	1.0955	帥格保, 見 P. M., Nov. 1919
76	銻, Os	1.398	1.388	1.194	1.167	1.021	帥格保及胡瑞滿, 見 P. M., July 1916
77	鈳, Ir	1.360	1.350	1.154	1.133	0.989	" "
78	鉑, Pt	1.323	1.313	1.120	1.101	0.958	" "
79	金, Au	1.283	1.271	1.080	1.065	0.922	" "
80	銻, Hg	1.251	1.240	1.049	1.042	0.896	" "
81	鈳, Tl	1.215	1.205	1.012	1.006	0.864	" "
82	鉛, Pb	1.186	1.175	0.983	0.983	0.842	" "
83	鉍, Bi	1.153	1.144	0.950	0.954	0.810	" "
84	銻, Po	—	—	1.109	0.920	—	" "
88	鐳, Ra	—	1.010	—	—	—	" "
90	釷, Th	0.969	0.957	0.766	0.797	0.654	" "
92	鈾, U	0.922	0.911	0.720	0.756	0.615	" "

M 組

原子數	原 質	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	觀 測 者
		$\times 10^{-8}$ 裡	$\times 10^{-8}$ 裡	$\times 10^{-8}$ 裡	$\times 10^{-8}$ 裡	
79	金, Au	5.838	5.623	{ 5.348 5.284 }	{ 5.146 5.102 }	帥格保, 見 D. P. G. V., 1916
81	鈳, Tl	5.479	5.250	—	4.826	" "
82	鉛, Pb	5.303	5.095	4.91 ?	4.695	" "
83	鉍, Bi	5.117	4.903	{ 4.726 4.561 }	{ 4.532 4.456 }	" "
90	釷, Th	4.139	3.941	{ 3.812 3.678 }	—	" "
92	鈾, U	3.905	3.715	3.460	{ 3.363 3.324 }	" "

連續線上，幾成直線。換言之，即 X 線之波長，與  $(N-a)^2$  成反比例。此處之  $N$  為原子數， $a$  為一常數也。圖 113，顯示對於  $K$  輻射之結果，圖 114，係對於  $L$  輻射之結果。

如吾人細加考察，則知無一原質於表中未覓得其相當之地位者，且由諸種關係之脗合，因可斷定為必要上曾經留下之空際，尙留待將來以現所未經發見之原質填補之。自輕氣(原子數為 1)起，

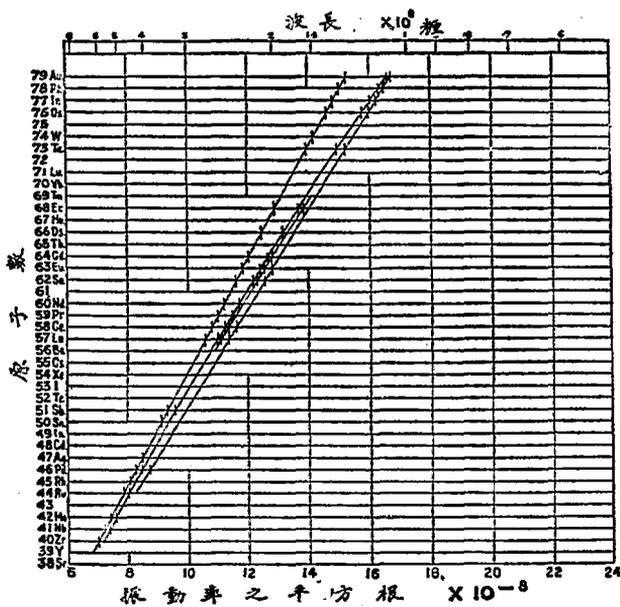


圖 114. 莫氏對於原子數與  $L$  輻射之振動率二者間之關係。

(Braggs' X Rays and Crystal Structure)

迄至鈾(原子數爲 92)止,其間之原質,除缺有空隙三處,其原子數爲 61, 85, 87 三數,須留待新原質之填補外,餘皆極有定則,斷合無間。此三新原質,就中有兩原質係屬於放射物質,將來必有發見之一日。

原子數之次序,除氫、鈷、碲三原質外,亦卽爲其原子量之次序。如於圖 113 及圖 114, 試以原子量代替原子數,則二者所具之關係,必不能若是之完整也。原子數之詳表,具載表 23; 由此表可知原子數除輕氣外,約爲原子量之半。

由莫氏之試驗,更知原子數,不僅顯一整數已也;其所代表者,係屬該原子某種根本上之性態。現由各種方法實驗上考核之結果,均足證明原子數代表之數,極與原子中心核所帶陽電之數相符,亦卽與原子內電子之個數相符(見 § 16)。吾人正可假定一種特殊輻射之波長,端賴中心核電量之大小而定。

有多種物體,其原子量各不相同(如爲放射性物體,其穩定性(stability)亦不相同),但用尋常化學的或物理的檢驗法,而迄未能使其分開者,及考其各個物質所具之原子數,乃均屬相同,亦至堪注意之問題也。朔德氏(Soddy)因是對於凡一組之若干原質,均具同一之原子數,而於週期表內因佔有同一之地位者,稱之爲『同位體』(isotopes)。如採用盧滋祐之原子構造說,則此組各原質所具之公共點,當卽爲中心核所帶之陽電(參閱 § 15 及 § 16)。

由前之所論列,則知凡屬同位體,其所生之 X 線光帶,當屬相

同,例如 RaB, ThB, RaD 及鉛,皆同位體也(但其原子量則由 214 以下至 207 不等)。經盧滋祐及安德瑞(*P. M.* 1914)考驗之結果,則見由 Ra B 所發出柔  $\gamma$  線之光帶,與鉛之 *L* 特殊輻射,完全相同。

博爾氏(Bohr, *P. M.* 1913 及其以後)對於盧滋祐氏之原子構造說,推闡甚詳,頗著成效;並將其說經數量上之考證,進而與元量論(quantum theory)及莫斯雷氏實驗之結果,連貫一致。

莫斯雷研究之結果,經帥格保(Siegbahn)與胡瑞滿(Friedman, *P. M. Ap. Jy.* 1916 及其以後)及帥格保與施吞施冲(Stenström, *P. M.* 1916)等歷加試驗,益復燦然大備。氏等擴大之區域,對於 *K* 組,下及於 Na, *L* 組則由 Zn ( $\lambda_m = 1.2 \times 10^{-7}$  釐)以上躋於 *U* (參閱表 20)。

波長達於 12 安氏單位之 X 線,其性質極易吸收,帥格保對於此等輻射之試驗,係藉真空分光表之助以實施之,亦即試驗者對於紫外線之盡端所遭之同一困難也。由 X 線光帶以上,推及於紫外線過程中之其他進展,因其波長過長,致結晶迴折格不能適用之故,遂爾為之中輟。

上述 X 線與紫外線間之缺隙,經多數試驗家之實驗,幸得補充齊全:如米利鑿(Millikan, *Astrophys. J.*, 1920);瑞恰生(Richardson, *P. M.* 1921);格茲(Kuth, *P. R.* 1921);賀格斯(Hughes, *P. M.* 1922)等,應用間接電氣照像法(photoelectric methods),

探尋多個原質之 X 線光帶輝線，中經缺隙，以迄業經發見之紫外線。此等輝線，茲顯示若干於圖 115。

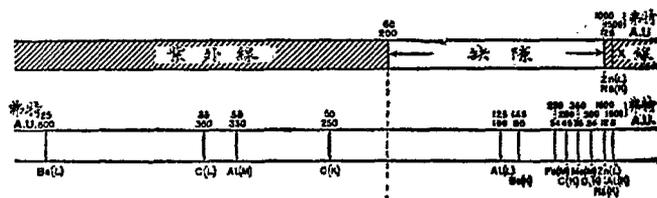


圖 115. 顯示紫外線與 X 線間之缺隙內之 X 線光帶輝線。

§ 135. X 線分光術之進展 X 線分光術，現在已成極重要之一問題。關於此等著述，亦甚宏富，茲所論列，不過僅屬局部之記載耳。關於測量一層，日趨精準，其精確之程度，殆與光學上之分光術，堪相倫比。至技術方面，各方均有進展，現歐美各國，起而研究此問題者，頗不乏人，誠盛事也。願其方法，則照像法與電離法，並存不廢，前者可得一永久之記錄，自有便利之點，而後者則因其較為靈活，如關於強度之測定為必要時，利益滋多。

分光表及濾波器，對於前難解決之困難問題，頗多發明之點。分光表可以顯示一束線射之成分，其精準為舊法之以吸收性為標準者所不可能。例如圖 116，係哈爾氏 (Hull) 對於各種不同之發動電壓所得之鎢之光帶曲線。在較低之電壓時，曲線所顯示者，僅係普通輻射之連續光帶，但在較高之電壓時，則見高峯漸次發現，是為特殊光帶輝線存在之明證。

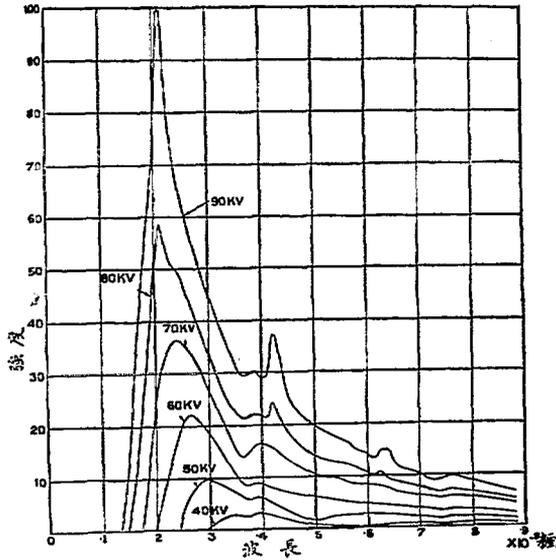


圖 116. 鉛在不同電壓及同一密里安培下之X線光帶；  
無濾器；NaCl結晶體。

尚有一事亦須加以注意，即元量極限 (the quantum-limit) 或各種光帶中所存在之最短波長，皆有一定之位置。如電壓漸次增高，則其位置漸向左移是也。二者之關係，已於 § 48 申論之。惟現須附帶聲明者，則塞滿氏 (Seemann) 新創之直接測定分光攝像器 (spectrograph) (圖117)，可使短波界限之位置，得以直接測出。又此項分光攝像器，可連帶為極便利而精準之弗脫表之用，藉以顯示發動X線球有效之電壓之實際最大值。

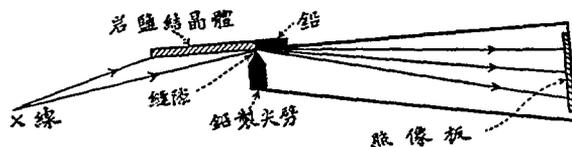


圖 117. 塞滿氏之分光攝像器

光帶曲線其他之價值，則為曲線之面積，可據為測量 X 線產額之用。例如依圖 116 所示，如不計及特殊輻射，則見 X 線產額，與發動電壓之平方成正比例。如將電壓 ( $V$ ) 保持不變，而遞次變更電流 ( $i$ ) 及對陰極板之原子數 ( $N$ )，則由所得之各相似光帶曲線，可證知 X 線產額，與  $NiV^2$  與正比例，是為前章業已證得之結果。如以氣體 X 線管及熱陰極 X 線管遞次實施上項之測定而比較之，則見氣體 X 線管，常較熱陰極 X 線管為有效率。

圖 118 顯示密勒氏 (Müller) 試驗所得之若干種 X 線光帶。鉑與鉛之  $L$  輝線，銅之  $K$  輝線，均表現如圖，每種光帶內元量極限之位置，以小點誌之。細閱此圖，則見位置隨電壓而逐漸移徙，與夫位置與該金屬之本態無關之事實，顯示極為明晰。

關於結晶體構造之測定，常見大多數之物體，不能產生個別之結晶體，其適當之大，堪單獨便於 X 線分光表試驗之用者。依 § 103 (a) 之所論列，X 線分光術，經狄擺 (Debye) 及哈爾 (Hull) 兩氏分途研究，推而適用於細粉末及細微結晶體之其他集合體而後，其

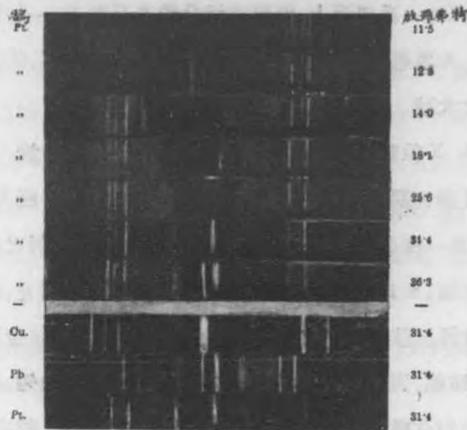


圖 118. 顯示光帶輝線及元素極限之位置之 X 線光帶 (密勒氏)

用途因之大增，不過各結晶體之指向，雜亂無定，須極其完備，為必要條件耳。如將盛該項細粉末之狹管，循法線方向，置於一束單純 X 線之途徑中，則於大多數之細微結晶體，就中有一小部份，排列適當，堪以反射 X 線，一如 X 線分光表內之一較大結晶體然。至結晶體之大部份，則因指向不適之故，全不能發生若何反射現象，而此項效應，僅足以消耗 X 線能力之大部份，以致延長曝射之時間。該項反射線之接受法，係以照像用之感光軟片一張，繞成半圓形，而以該項物質桿為中心，則結果所得之照片，顯示一中心點繞以條紋之狀，是即該項物質內之原子之特殊輻射。

蒲惹格氏 (P. P. S. 1921) 考得以粉末狀之結晶體，塗於以紙

板之類製成之一扁平面上，而置之於分光表臺面上，一如置單一結晶體者然，亦屬適用。此項試驗，無需用單純線之必要，故其曝射之時間，因之大減。

§ 136. X線吸收光帶 特殊輻射之吸收現象，前於 § 72 已詳細論列，茲將其關於X線吸收光帶之點，重加抽釋，亦極有價值。如令X線經過一種金屬片，而遞次將波長減短，則見線射之易於透過者，逐漸增加，至為穩定，以迄於達到波長之臨界值為止。迨達臨界值時，則其通過該金屬片之困難，益大增加，而同時該金屬特殊各組之所有輝線，因以發現。如初級線束之波長，繼續減短，則其透過之容易，復行重現，但於波長尚未大減以前，其容易之程度，不似前此之甚。

上項事實，當X線光帶投射照像板時，對於板上膠液內銀質之作用，頗有關係。蓋X線投射於照像板時，則見在一定點，即波長為0.485 安氏單位之處，有一界限極為明晰之邊緣，是為吸收邊緣 (absorption edge)。其在該項邊緣之一側，則較短之波長，吸收較多，而與感光板感應之程度，亦較其他側之較長波長為甚。在此一定波長時該項邊緣之位置，為銀質存在之一確證，而並非其他原質也。

今試於照像板之前，另置一種物質片以為濾器之用，以考察該項物質之吸收光帶。則於與該物質之原子之臨界波長相當之處，得一新吸收邊緣，其較短之波，則金屬片吸收極富，致感光板上無所

記錄，而較長之波反是。

兩吸收邊緣相間之距離，視銀與上述物質原子之原子數之差而定。圖 119，係蒲若格里(de Broglie)所得之結果，即其例也。

準是以談，則見光帶內各個吸收邊緣之位置，可據為吸收屏內相當原質存在之證明，及其鑑定之方法。且是法之成立，全不受原質之物理狀況或化學狀況之影響，故為便利計，鹽類或溶液，亦可用之。

蒲若格里對於該法技術上之進展，極為精到，其試驗成績 (*J. de P.* 1914 及其以後)，可供吾人之參考。

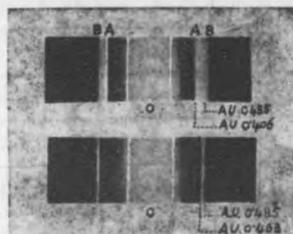


圖 119. X線吸收光帶。上圖顯示銀 (A) 與鎘 (B) 之吸收邊緣；  
下圖顯示銀與鎘之吸收邊緣。(de Broglie)

§ 137. 單純X線 研究 X 線學者之旨趣，期在尋求發生單純 X 線之方法，如是，則於其他各事外，對於醫術治療上精準之劑量，得以妥為配製。如原有之 X 線束，係屬複雜，則當電壓增高，及該線射經過適當選定厚度之物體濾過後，複雜之程度，漸次減輕。此則

可於吸收曲線見之，或於光帶分配曲線見之。設發動 X 線球之電壓，略高於為發生該項對陰極板之一種特殊輻射必要之臨界值之一，復經以與對陰極板為同一原質之屏（如 § 65 克伊氏實驗之所示），或用原子數稍小之原質之屏濾過後，則可達極為逼近之單純性。如前之所述，電壓超過臨界電壓以上，則特殊輻射之發生，較之普通輻射，尤為繁盛。但電壓亦不可過高，否則短波之普通輻射，將次發現，殆無法可以濾除。故事實上有一最便利之電壓在。例如對於鈾（原子數 = 74）之 K 輻射之臨界電壓，約為 70,000 弗脫，則其

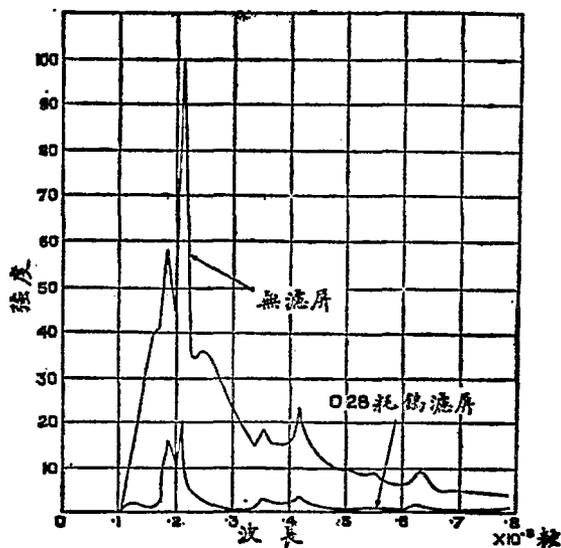


圖 120. 鈾之 X 線光帶強度上之分配，電壓為 110,000 弗脫。

最便利電壓，約為 100,000 弗特。如濾以厚 0.15 耗鎢製之濾屏（圖 120）或縫製（原子數=73）之濾屏，則普通輻射之大部份，得以鏟除，但遺留  $K$  輻射之  $\alpha$  及  $\beta$  兩組。用同等厚度鑷製（原子數=70）之濾屏，則所遺留者僅為  $\alpha$  組，其強度至少三十倍於其餘之普通輻射。同樣對於鉛（原子數=82）輻射，則最便利電壓約為 30,000，其最佳之濾屏為鋅（原子數=40）。對於鉍輻射（原子數=78），則鎢實為優良之濾屏。是故有一列之 X 線管，各安以不相同之一對陰極板，可得各種不同之單純線。惟此項線束，其強度過弱，頗不適於 X 線之實用，為可惜耳。

§ 138. 分析之三種方法 茲摘要申述之，結晶體之分析之與 X 線相關者，其方法有下列三種：

(1) 洛伊氏之透過法，此法係用獨立或龍雜（或白色）之 X 線，尋常 X 線球產額之大部份，即常由此項 X 線以組成之。結晶體所佔之地位，略與「交叉」之透過格（crossed transmission grating）相同，結晶體之構造不同，則所得迴折點之圖樣，亦因之變異。

(2) 蒲惹格氏之分光表法，此法係用單純之 X 線，而其所用之結晶體，殆一如反射格之作用。結晶體之構造，即於各級光帶輝線之分配及強度上之不同，顯示分明。由蒲氏方法求得之已知數，則各結晶體空間格之尺度，得以比較，故 X 線分光表，現經證實稱為測驗結晶體之構造最有效率之器械。但其他方面，洛伊氏之方法，僅示吾人以關於空間格之本態之消息，其範圍亦至有限。又蒲惹格

氏之方法，對於細微結晶體之集合體，亦適用之。

(3) 吸收光帶法及吸收邊緣之測定。

§ 139. 波長與吸收係數之關係 表 21 列舉各波長，及其在鋁內吸收係數之各比較值，係根據盧滋祐，蒲惹格，莫斯雷及巴克納

表 21. 波長與吸收係數

波長, $\lambda$	$\mu/\rho_{Al}$	波長, $\lambda$	$\mu/\rho_{Al}$
$1 \times 10^{-9}$ 厘米	0.04	$12 \times 10^{-9}$ 厘米	22
2    "    "	0.21	13    "    "	28
3    "    "	0.57	14    "    "	35
4    "    "	1.20	15    "    "	43
5    "    "	2.10	16    "    "	51
6    "    "	3.3	17    "    "	61
7    "    "	4.8	18    "    "	72
8    "    "	6.6	19    "    "	83
9    "    "	8.9	20    "    "	95
10   "    "	12.2	21   "    "	108
11   "    "	16.5	22   "    "	120

等所得之結果。如將表中各值，細加考察，則知如  $\mu$  為吸收係數， $\lambda$  為波長，則除特殊輻射波長附近外，

$$\mu = k\lambda^n,$$

此處之  $k$ ，對於每種物質為一常數， $n$  則在  $\frac{1}{2}$  與 3 之間。但由莫斯雷定律 (§ 134) 之證明，已知

$$\lambda^{\frac{1}{2}} \propto 1/N(\text{約數}),$$

此處之  $N$ , 爲原子數, 故如令

$$\mu = k\lambda^{\frac{5}{2}},$$

則得

$$\mu \propto 1/N^5$$

如再以原子量代替式中之原子數, 則此即與 § 58 所述之關係相符。

但哈爾及惹斯(Hull and Rice, *P. R.* 1916), 考得由吸收之結果以推求波長, 特對於較高之振動率, 其法不盡可靠, 因此時實在之吸收現象, 常爲強盛之彌散現象所掩蔽也(見 § 52)。

§ 140.  $\gamma$  線之波長 盧滋祐及安德瑞 (*P. M. May* 1914 及 August 1914) 對於  $\gamma$  線之迴折現象, 加以詳細之研究。氏等所用  $\gamma$  線之來源, 係用一薄壁之  $\alpha$  線管, 內儲 100 密里苦麗 (millieurie) 每一密里苦麗, 卽爲鐳之放射氣與一密里克蘭姆之鐳, 放射上互相平衡之量) 之鐳放射氣 (radium emanation)。於是則  $\gamma$  線由鐳放射氣之產物內 (如 RaB 及 RaC 之類), 放射而出。此放射之  $\gamma$  線束, 次令落於岩鹽之結晶體上, 與上述之 X 線分光表相同, 而其反射之線束, 可用照像法以考驗之。

所用之斜角, 由  $44'$  以至  $14^\circ$  區域之內, 約有 30 條之輝線, 可察驗而出。

各  $\gamma$  線波長之值, 考得當在  $1.635 \times 10^{-8}$  浬及  $7.1 \times 10^{-10}$  浬之間, 其較小之值, 與前所記錄之任一 X 線波長, 尙爲較小。至 RaC 內透入性最強之線, 其波長當更較小, 測定之法, 洵至不易也。

盧滋粘及安德瑞二氏，復用一精巧之透過法，以測定  $\gamma$  線甚小之反射角（約  $1\frac{1}{2}^\circ$ ）。

以鎘放射氣少許，為  $\gamma$  線之來源（發於一點），置於岩鹽結晶體之前之一適中點，而於結晶體之後，置一照像板（圖 121）。 $\gamma$  線射擊結晶體時，可得種種之角度，但投射之線，須與其處反射面所成之角度，即係該波長之相當斜角者，則此線遂即反射。故如圖中所示  $\gamma$  線於結晶體之  $A, A'$  處，可尋得其各自之反射面，由此反射，因即達於照像板上之  $B, B'$  處。又透過之線束，因有一部份之反射，致其強度為之減弱，故反射面各投吸收影於  $C, C'$  處。

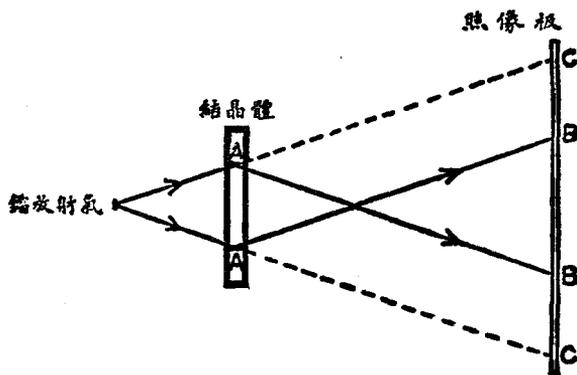


圖 121.  $\gamma$  線之反射

此外復於與書面平行之二平面，當有同樣之反射發現，故其結果，則照像板上，顯有明線與暗線所組成正方形之圖樣（圖 122）。

如圖所示，明線及暗線間相隔之距離，對於結晶體之  $A$  處所成之角度  $OAB$ ，應等於該線相當斜角之二倍。測量照片上  $C, B$  之長，及照片與結晶體相距之遠近，則  $\gamma$  線反射之角度，不難確定。



圖 122.  $\gamma$  綫之反射

#### § 141. 磁電波廣表之區

域 於前所已發現之磁電波，而復加入 X 線，則波長表中所列，益當擴充及於甚遠之一端。至在其他之一端者，則為赫爾茲氏 (Hertz) 始所發現之波，現時所用之無線電皆屬之。迄今所能發生最長之波長，約為 40,000 呎，即約二十五英里；其最短者尚不及一呎。尋常無線電所用之波長，約達數千呎，例如伊斐爾塔 (Eiffel Tower) 發出之無線電定時信號，其波長為 2000 呎；海軍信號之波長，則由 600 以至 1800 呎不等；「廣播」波 (broad-casting waves) 之波長，則不過數百呎。

次於赫爾茲波者，則為紅外線，或稱熱線，其最大之波長，就現時所已測知者，為  $\frac{1}{5}$  呎。由此而下，經過可見之光帶，迺達紫外線，經許滿 (Schumann)，利滿 (Lyman) 及米里堅 (Millikan) 用照像法探尋之結果，下迄於  $2 \times 10^{-8}$  呎之波長。紫外線之壘端，或即為 Entladungstrahlen，該線係由電氣火花或放電管內之陰極光

所放射而出者也(參閱 Laird, P. R. 1911)。

復次則為X線,其波長則由  $10^{-8}$  以迄  $10^{-10}$  種,過此,則為透入性最強之線,是即  $\gamma$  線,如前之所述 (§ 134), X線之區域,現則上延及於紫外線。

就現今所知各波長之值,概列於表 22 中;表內包含之區域,相去約達  $10^{16}$  倍之多,其懸殊之數,至堪驚異。由郝爾慈波以迄  $\gamma$  線,其間之磁電波,現則順序相接,毫無間斷。

表 22. 磁電輻射各波長之值

波 之 種 類	波 長 (以 釐 為 單 位)	
郝爾慈波	$4 \times 10^6$	至 0.02
紅 外 線	0.03	至 $7.2 \times 10^{-5}$
可 見 之 光 線	$7.2 \times 10^{-5}$	至 $4.0 \times 10^{-6}$
紫 外 線	$4.0 \times 10^{-6}$	至 $2 \times 10^{-8}$
X 線	$5 \times 10^{-8}$	至 $6 \times 10^{-10}$
$\gamma$ 線	$1.4 \times 10^{-8}$	至 $1.0 \times 10^{-10}$

## 第十四章 X線之本態

§ 142. 關於 X 線之本態各家所持之學說 任根氏 X 線之發明，及其醫術上之應用，頗促起當代一般人士之注意，於時相繼研究者，風起雲湧，成其熱烈之誠，思有以考驗新發現線射奇特之性質，願各家持論，倍極紛紜，今特取其立言有據，足資考證者，縷述如次：

任根及博爾茲曼 (Boltzmann) 等，謂 X 線係屬週期短而波長長之縱的以太振動：覺曼 (Jaumann) 則於此之外，益以橫的振動：果爾翰麥 (Goldhammer) 及塞格勒 (Sagnac) 等，以為新發現之線射，係極短之橫以太波，與紫外光相類似；但瑞綺 (Re) 之意，則謂波長並不見短，其長乃至無窮：蘇塞蘭 (Sutherland) 以 X 線係因原子內電子之振動所致；他家則又謂該線係於射中之隅處分子破裂而為原子之表徵：密且爾生 (Michelson) 以任根線為以太之漩渦 (ether vortices)；史鐸克斯 (Stokes) 之說，則謂 X 線係以太內不規則之衝動；至較近之蒲惹格教授 (即任根氏亦曾一度主持是說)，其所持之意見，以為 X 線係由陰極線衝擊對陰極板後，其所放

出之一帶陽電一帶陰電密相連合所成一對中性之微小質點所組成云。

臆論之紛歧，迨發現X線能由結晶體起反射及迴折現象後，始告一段落，距今不過數年耳。現則確知X線完全與波長極短之紫外光相同；其波長多與原子直徑之大小相若。

但由此說以解釋種種之現象，尙有費解之一因素在，蓋一方面由反射實驗精密之觀察，因可確切斷定X線係有規則之光波，蟬聯進行，及於甚遠，但一方面則見於其若干之性質中，線之動作，恍如各相分離之實體 (discrete entities) 之放射者然，此種實體所顯作用之位於空間，一如槍彈循空拋射所顯之作用也。此項困難之點，蓋不僅單於此處見之；實則各種不同之輻射，皆同具有之。昔時之牛頓諸律，其中含有時間與空間之完全連續性及無限可分性之義，頗為一時所信仰者，但證諸事物之實態，似與近代之實驗，多有窒礙難通之處，蓋依近代之所試驗，關於能力之輻射，本係不相連續，放射時以一定值躍出 jump 者也。至成此狀態機括之所在，迄今尙不明晰，關於此點，解說仍極紛紜也。

為免除上述之困難起見，湯姆生氏於其結核衝動說(nucleated pulse theory) 中，以謂光之各種輻射，係屬匯於其處 (concentrated)，位於其所 (localised) 之蟬聯的磁電衝動 (electromagnetic pulse) 於以太中循某種方向以光速向前進行者也 (§ 147)。  
卜蘭克之元量論，墨經愛斯坦 (Einstein) 及史沓克 (Stark, P. Z.

1909 及 1910) 二氏之闡述，亦謂 X 輻射(各種輻射皆屬相同)係由定值及不可再分之各微小增量 (increments) 所組合而成，此微小之各增量，團結成『束』(bundle)，其量不損，其形不改，於以太中向前進行，而其所具之能力，則與輻射之振動率 (frequency) 成正比例者也 (§ 148)。

由上說以解除上述之困難，誠屬至當，但由其他之一方面，則由光之波動說所得之結果，業經證諸事實完全成立者，似與上述之實體論 (entity views)，仍有抵牾之點。蓋以光為結核之衝動，則對於楊格 (Young) 及胡瑞斯勒 (Fresnel) 於其波動說中所解釋干涉及迴折之理，似不可通，而各波——由最短之 X 線以迄最長之赫爾茲波——羣所遵從之反射屈折諸普通定律，亦難由此說以證實之。

§ 143. X 線與光線相類似之點 由結晶體反射之試驗而論，則 X 線與光線大體全同之說，已無可反對之餘地。顧最初之試驗，其顯示 X 線， $\gamma$  線，及光線互相類似之點者，頗亦經過甚長之歷程，今特總括論之，亦極有用而頗饒興趣之問題也。此三種線射中，有時其作用僅於程度上容有差異之處。例如紫外光對於氣體之電離作用，較之 X 線之強電離作用，終遜一籌是也。

再者三種線射之作用，能令金屬內之電子向外拋射，而由實驗證得之結果，則

(1) 投射線之強度，僅影響於拋出電子之數之多寡，而於其速

無涉 (§ 77)。

(2) 電子之速之最大值，視投射線之剛度為轉移 (§ 77)。(用紫外光時，速之區域，由  $10^7$  以至  $10^8$  裡/秒不等；用 X 線時，則由  $10^9$  以至  $10^{10}$ ；用  $\gamma$  線時，由  $10^{10}$  以至  $2.99 \times 10^{10}$ )。

(3) 拋射之電子，有仍繼續進行於原有線之射程內之勢 (§ 76)。

(4) 電子特對於該線一定之波長，具有顯著之放射 (§ 63 及 § 78)。

上項之結果，三種線束，皆同具之。

此外尚有相類似之點。如於第九章所示，如令一種原質，曝於 X 線，則由此項物體，通常有二種不同之 X 線，放射而出：其一則本態上與投射線全同，是即所稱之彌散輻射；其他一種，則為該原質特殊所具之輻射，僅須所用以激動之線，比之特殊輻射較剛時，則特殊輻射，與所用以激動之線之本態上，絕無關涉。而由此點因即憶及史鐸克斯氏關於螢光之定律。史氏之定律，蓋謂所用以激動之光之振動率，常大於所生螢光之振動率(但有若干例外)，是律對於光線通常多適用之，此完全與 X 線相同之點也。

如更將上兩種次級 X 輻射分佈之情形，與在同一狀況下光之分佈情形，加以比較，則其類似之點，尤覺顯著。如令光落於懸空之最小微體上，如霧中水點之類，則見彌散之光，其分佈之情形，並非勻一，其量常隨方向而變更。與原線束平行之方向，其放射之散光，恰為與成直角方向者之倍；如  $\theta$  為由原線束量起所得之角度，

則其居間之各強度，與  $(1 + \cos^2\theta)$  成正比例。但如最小之微體，於散光外更復放射螢光時，則螢光於各不相同之方向內，其強度皆屬相同。

同樣如 § 53 之所述，吾人復考得彌散 X 線之強度，於區域頗廣之角度內，實合於（或至少相近） $1 + \cos^2\theta$  之定律。即其前後向之強度，比循直角之方向者略成一倍。且當特殊 X 輻射發生時，則其分佈之情形，極為勻一，與光之發生螢光時正相似也。

X 線與光線其他相同之點，散見於各節中，不復縷述，而其不同之點，則吸收現象是也。蓋依光學之所證實，一種物體之吸收光帶所顯之黑線，與其放射光帶中本身獨顯之輝線，恰在同一之地位：換言之，一種物體於適當狀況之下，特能吸收其特殊所具之光輻射也。但在 X 線則適得其反；證諸實驗，則一種原質對於與其本身所具之特殊輻射相同之 X 輻射，特顯最強之透明性（§ 72），而僅對於比其特殊輻射較剛之線，則其吸收現象，非常強盛，此其不同之點也。

今試進而研究狹義之實體論。茲為便利起見，其第一步，先將史鐸克斯氏關於 X 線學說之概要，追敘如次。

§ 144. 史鐸克斯氏之以太衝動說 (ether-pulse theory of Stokes) 史鐸克斯氏 (Sir George Stokes) 於一八九七年，發表 X 線之衝動說，以為當由陰極發出之帶電微體，射擊其相對之鵠時，則因其帶電之故，於以太內生出某種之擾動 (disturbance)。

此種不成週期之擾動，或稱爲『衝動』(pulse)，循各種方向，分散射出；故依此說以立論，則 X 線之放射，係屬多列不規則而爲孤立的衝動，遞相連續而成，其發軔之點，及發軔之時，卽正當各個帶電微體衝擊於其相對之箇之處及時也。史鐸克斯之衝動說，大率如是。

至帶電微體之猝被阻止，因而以太中發生衝動之理，如將華瑞德氏之力管 (Faraday tubes of force)，加以一番之考究，其旨不難明晰矣。今有一帶電之陰極微體，如其運行之速，較小於光行之速時，則其所具之電場，與一微體靜止時相同，故其周圍之力管，分佈亦極勻一也。次將場內所生之各效果，悉歸之於華氏力管之作用，則可證得單個華氏力管運動之結果，媒介內遂發生一種磁場，其方向與管之長度及其運動之方向，各成正交，且證得如  $v$  爲力管循其與長度本身正交之方向運動時之速率，則磁場之強度，等於  $4\pi v$  (參閱 J. J. Thomson, *Elements of Electricity and Magnetism* Chap. XIII)。

今試考究一單個之帶電微體，其運動循  $OX$  之方向，具一速率  $v$ 。此單個之微體，同時係繞有多數之華氏電力管，如運動變爲穩定時，則電力管相隨前進，一若與微體堅牢附麗者然。

假定微體於  $A$  點(圖 123)處，遇一固體之障礙物，因即猝被停止，次復假定所生之擾動，循華氏管向外傳播，具一定速率  $c$ ，此速率證得係等於光之速率。

令  $t$  為微體自被阻止後所經過之時間。以  $A$  為心，作一圓球，其半徑為  $ct$ 。則圓球內力管所有之部分，係由微體靜止位置之  $A$  點處，輻射而出。但在圓球之外，則華氏管因微體之猝被阻止所生之擾動，尚未達到。故球外之諸力管，仍循  $OX$  之方向，以其原有速率  $v$  向前運動，其輻射發源之點，即當微體如不與障礙物相遇時所應達到之點，亦即沿  $OA$  引長線上， $AB$  等於  $vt$  時該  $B$  點所在之處也。

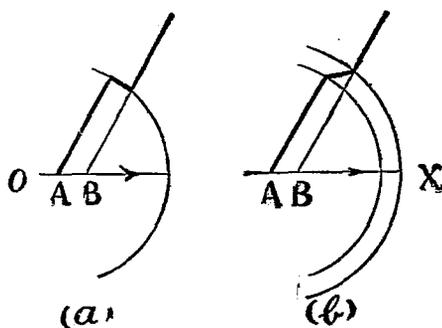


圖 128.

是故圓球內外力管之兩部分間，顯有相對之變位 (relative displacement)，因力管應相連續，故力管變位之部分，必係包圍於圓球之面上。

此項圓球，以速率  $c$  向外膨脹，故有一列之電力，由微體所在

之位置，以一速率  $c$  向外發出。但華氏管之運動，其循與其長度本身正交之方向者，必有一種磁場之發生，其方向與華氏管及其運動之方向，各成正交，換言之，亦位於圓球表面之上也。準是以說，由微體所在之位置，同時當有一列電磁之擾動，相伴而生，以一速率  $c$ ，向外進行，此種電磁之擾動，依史鐸克斯氏之說，遂成一種 X 線。

但就一般而論，將微體驟加阻撓，則微體立即靜止，不俟須臾，事實上常為不可能之事。如  $\tau$  為使微體自被阻撓迄歸於靜止所需之時間，則所生之擾動，將夾於半徑  $ct$  及  $c(t+\tau)$  兩圓球面之間（圖 123 b）。故此時擾動（即衝動）之厚度為  $c\tau$ ，微體之停止愈速，則  $\tau$  愈小，而衝動之厚度，亦隨之愈小。

今試由圖 123 b，以研究電磁衝動進行時之狀態。因

$$AB = vt,$$

則  $\frac{\text{正切向之電分極 (tangential electric polarization)}}{\text{法線向之電分極 (normal electric polarization)}} = \frac{vt \sin \theta}{\delta}$

此處之  $\delta$ ，為衝動之厚度， $\theta$  為管之方向與  $AX$  所成之角。但循法線向之電分極為  $c/4\pi r^2$  又因  $r = ct$

$$\text{故正切向之電分極} = \frac{c}{4\pi r \delta} \cdot \frac{v \sin \theta}{c}。$$

今因正切部分之各力線，以一速率  $c$  向外運動，其方向係與其長度

本身正交，於是必有一種磁力  $H$  之發生，其量等於  $4\pi v \times$  正切分極，即

$$\frac{ev \sin \theta}{r\delta}。$$

由此可知法線向之分極，與距微體之距離之平方成反比例，而正切分極及磁力，單與其距離成反比例，故衝動內之強度，除與微體相近之各點外，以與衝動外之強度相較，當甚大也。由此吾人遂得一種電磁之衝動，由微體處發出，其狀態多有與尋常之光波相類似者焉。其主要不同之點，一則衝動之厚度，比可見之光之波長較小，二則 X 線不具成規則之週期性態，一如波長不變一種蟬聯波之所顯者也。

此種衝動所具之能力，分配於電場及磁場之內者，恰相平等，即其每單位體積之量，等於

$$2 \times \frac{\mu H^2}{8\pi}，$$

$$\text{亦即 } \frac{\mu e^2 v^2 \sin^2 \theta}{4\pi r^2 \delta}。$$

此項能力之輻射，沿微體運動之方向者為零，其值漸次增大，至與微體運動之方向成直角時，則達最大之限度。今知內外球所夾之空殼間，其為與軸  $AB$  成角度  $\theta$  及  $\theta + d\theta$  之兩半徑所隔對者，其體積為  $\delta r \sin \theta \ 2\pi r d\theta$ ，故此空殼全部之能力，為

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} 2\pi r^2 \sin \theta \delta \frac{\mu c^2 v^2 \sin^2 \theta}{4\pi r^2 \delta^2} d\theta = \frac{\mu e^2 v^2}{\delta} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^3 \theta d\theta$$

$$= \frac{2}{3} \frac{\mu e^2 v^2}{\delta}$$

故全部之能力，與衝動之厚度成反比例，微體之被阻止愈速，則輻射之能力愈大，而由能力強度之不同，X線之剛度，亦於是乎確定。蓋阻止甚速，則空殼甚薄，能力之產額甚大，於是所生之X線，其透入性甚強，則此線稱為剛線；反之，如阻止較緩，則所挾之能力較少，易為物質所吸收，則所生之X線稱為柔線。

§ 145. X線之分極 由上之衝動說，則X線之分極(§ 54)，乃屬當然之結果。蓋該項學說，以為次級輻射之根源，係因當初級X線經過原子內之微粒時，其內之諸微粒，遂即發生一動擾動而起。是時X線使各微粒得有加速率，其每一微粒遂發出電磁力之衝動，是即次級根線也。單個之初級衝動，可發生極多數之次級衝動，而其性質，則與微粒組列之狀態等項有關。

今試研究陰極線一束，該線束係循 DO 方向，落於對陰極板之態，證知陰極之微體，於發生 X 線以前，必有因與對陰極板內之電子相衝突，致其方向經多次之轉折者。但無論如何，僅經直接之衝擊，遂即發生X線者，其量當佔多數，故與書面平行之電力，必為一最大值。因衝動內所具之電力，其循一定之方向者，既屬多數，則放射之線束，遂以分極稱之。

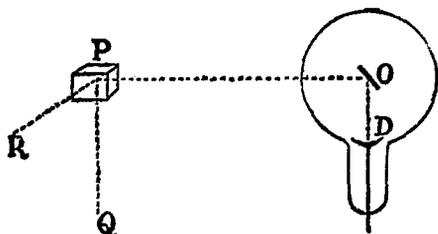


圖 124. X 線之分極(參閱圖 52)

次復假定此種部分分極之輻射，落於定質量之氣體上於  $P$ 。則因電力之關係，遂使氣體分子內之電子，得一加速率，假線束果係完全之分極，則其方向當循  $PQ$  所指之方向，因電場既在書之平面內，又須與線之方向成正交也。是故電子必循  $PQ$  之方向振動，因即發出輻射，其強度循電子運動之方向者為零，其成正交者為一最大值也。是故假定初級線係完全之分極，則循  $PQ$  之方向無彌散輻射之發生，循  $PR$  (通過  $P$  點，而與含  $OD$  及  $OP$  之平面正交之線) 之方向，則彌散輻射，達一最大之值。換言之，如令由 X 線管發出之 X 線，落於一種輻射體上，則彌散之輻射，其在經過輻射體，而與投射陰極線平行之線內者，為一最小值，與此線成直角者，為一最大值也。

上述之理論，證之於各家觀測之結果，均相符合。據巴克納 1904 年之所測定，則循  $PQ$  方向及循  $PR$  方向間最大之強度差，約為 20%。

§ 146. 衝動傳播說須加修改之點 由實驗研究之結果，則衝動傳播說，須大加修改。今試將各種結果之所表示，而覺原說誠有必須修正之處，因以得一新學說者，分別加以考覈，亦大有裨益之舉也。茲特彙述如次：

(1) 當 X 線與氣體相遇時，僅其分子最小之一分數，——小於一兆分之一——起電離作用 (§ 80)。

(2) 電離作用之程度，不受溫度之影響 (§ 85)。

(3) 當 X 線與金屬相遇時，則所放射之電子，其所具各種速率之最大值。

(a) 不視 X 線之強度而定，故與該金屬離 X 線球之距離無關 (§ 77)，

(b) 隨 X 線之剛度繼續增加 (§ 77)，

(c) 不視金屬之本態而定 (§ 77)，

(d) 等於或近於 X 線球內陰極線所具之速度 (§ 78)。

(4) 所放射之電子，並非勻一分佈，但大部分率趨於 X 線原有之方向。此種現象，在低原子量之金屬及較剛之 X 線時，尤為顯著 (§ 76)。

今試研究第一項之結果，就原有之以太衝動說而論，氣體所具之分子，皆同曝諸 X 線，而今則分子之變為逸洪者，為數極少，與其平均數相距甚遠。此種非常之狀況，不能委之於電離時必須具有極大之運動能力，因如是，則由氣體動力論之說，電離作用，須隨溫度

而驟增，與結果(2)又相衝突。

但吾人似可設想電離之作用，其關鍵係基於各種原子內部之狀況，而非其運動之能力。蓋由輻射性之現象，知原子之內，實備有多量之內部能力，不易受外界之作用而啓現；假如原子所具之內部能力，超越尋常之量者，即其穩定性隨之薄弱，則謂受 X 線之電離作用者，必僅其少數之非常原子，其說亦屬近理，此一說也。或者又謂此種現象，或因原子能收集若干 X 線所發出之能力，至一電子達充分之量，向外放射時而止。此一說也。由斯二說，則金屬受 X 線之作用，遂致電子之拋射，均謂為係某原子當其暫時不穩定時一種向外輻射性之爆裂，此則為二說所同之點。是故 X 線之作用，不啻為開始爆裂用之一種機括；電子係來自原子，而其能力，即係原子固有之能力。故其所具之速率，與 X 線之強度無關，且與結果(3)(a)適相照合。

但吾人當進而解釋電子之速之最大值，與 X 線之剛度不無關係之理(結果(4))如 X 線惟一之效果，乃如一種機括之作用，則當 X 線之變剛時，電子之速率，何以因之較大？如 X 線僅為促動原子破裂之用，則電子之途徑，何以又受 X 線方向之影響？證之上述爆裂之說，則此類結果，不應實現；且由此說以立論，則謂由各種不同金屬之破裂，其所放出電子之速率，應各不相同，亦非毫無理由者也。但按之事實，則適得其反，故吾人解釋之法，除假定電子之能力，係來自 X 線之能力外，別無可尋之蹊徑矣。

又依結果(3)(a)之所得，已知電子之能力，與離X線管之距離無關。但由與上相同之理，則X線之能力，係直接來自陰極線，而依衝動說之所主張，則此等能力，分佈於逐次擴大之球面上，距X線愈遠，則其能力愈弱，此衝動傳播說尚欠精確之點也。為適合結果(3)(a)之事實起見，X線之能力，僅須限於極狹之線束內，當X線進行時，並不因之擴大也。以此結果與上之(3)(d)相連貫，遂可斷定X線為一種微小之實體 (minute entity)，其能力於其轍迹上，毫不損失，如適與一原子相遇，則可完全或局部交付其能力於其電子。

實體假說成立之經過情形如是，與墨克斯韋爾尋常之磁電說，仍難達於融洽之點。今由各家研討之結果，略舉湯姆生之結核衝動說，及卜克蘭之元量論，闡述如次。

§ 147. 湯姆生氏之結核衝動說 (the nucleated or localised pulse theory of J. J. Thomson) 湯姆生氏關於X線之學說，假定以太之內，係成纖維狀之構造，並設想一個微粒，即為一力管所在之點，而由此點，力管向外伸出，一若實在之繩索者然。如一陰極線變更其速率時，則所放射之能力，沿此管運行，一如扭環 (kink) 沿於伸直之線上之運行也。所具之能力，祇限於扭環之處，於途中並不喪失，迄與一電子相撞時，則交付其所具之能力，而毫無損耗。故結核之衝動，同於史鐸克斯氏之衝動，其不同之點，則前者非循各方向勻等傳播，僅能限於單個之方向，斯則為其例外耳。

湯姆生教授更謂光之能力，其分佈情形，亦復類是；各個之光波本非連續，不過為各種擾動所循行之線之集合，乃覺其為連續耳。該氏又謂假一波鋒 (wave-front) 而可使察見，則所得者，並非連續之光輝，但為一系列光點，而與暗地相襯。故光之能力，於波之全部體積內，非為勻等之分佈，但匯集於微小之「束」。

線之強度，當距離漸增時，而反減少，則因各微小之「束」遠於遠距時，其彼此相隔因之較遠之故，而非其各個單位變為衰弱也。故能力之分佈，與牛頓氏光之放射說所設想者，多相類似，蓋依牛頓之說，則謂光之能力，係位於方在運動之諸微體，其分散於空間者，亦極稀疎之致。

X線內所呈之現象，界限尙稱清晰，而光線則繁複異常。就事實而論，不連續之波鋒說，則均視X線及 $\gamma$ 線為最後具簡單性之光。此點蓋與實驗相合：一般之定律，足以涵蓋X線之態度者，其例外比之光線常較少也。

§ 148. 卜蘭克之元量論 (Planck's quantum hypothesis)  
元量論現應用於物理學之各部者，範圍日廣，而其緣起，則因探索黑物體輻射光帶之理，而漸次進展。其學說之大概，係假定各種物質，具有多數之振動體，因其振動，故可發生各種振動率不同之以太浪，乍止乍作，緩急無常，惟所放射能力之量，必恰為一定單位之倍數，或即以元量 ( $\epsilon$ ) 稱之。此種元量，隨振動率 ( $\nu$ ) 而增加，即能力  $E = h\nu$ ，此處之  $h (= 6.5 \times 10^{-27}$  愛格秒) 為一常數，現稱卜蘭

克常數 (Planck's constant)。

依卜氏之說，則X線之能力，係與其振動率成正比例；而次級微粒線及光電子之發生，則因一個元量交付其能力於一電子之故耳。依同理，X線球內所發生之獨立輻射，其最大之振動率 $\nu$ ，可由下列之關係  $V_e = h\nu$  以算得之，式中之 $V$ 為電壓， $e$ 為電子之電量。此種重要結果，累經赫爾 (Hull) 及惹斯 (Rice, *P. R.* 1916) 實驗上之證明，其所用之電壓，有高達 150,000 者。上述之關係，對於特殊之輻射不適用之，因當臨界電壓時，則特殊輻射之各線，將同時發現 (參閱 Webster, *P. R.* 1916)。

故元量論係假定一種實體具有一種不相連續成原子狀之性態，並可由  $h$  或  $h$  之某函數以測定之。 $h$  在物理上之元次 (physical dimensions)，蓋為角運動量 (angular momentum) 之元次，此點亦宜注意。

$h$  成原子狀之性態，與電子之電量  $e$  成原子狀之性態，或有密切之關係，且依此等情況，則元量論物理上之解釋，當可根據於上述湯姆生氏力管成原子狀之性態，及其不相連續之存在性，而謀解決之道。其與此連帶發生之問題，則在以太所賦予實體性之程度 (degree of substantiality)，究屬何若，或如近代英國物理學家之所爭辯，謂以太為宇宙間最初實有之物體，抑如主持相對論者之所主張，謂以太為實無其物也。

但無論以太之任務如何，關於元量論最大之困難，則在與光之

波動說中業經成立之結果，尙難達於融洽之境耳。

§ 149.  $\gamma$  線閃動之實驗 各實驗家進而由直接方法，以斷顯示所假定光線與 X 線不相連續之本態。

今就最顯著者而論，克絡克斯之螢光器 (spintariscopes)，對於鑷之  $\alpha$  線，則於時間上及空間上，俱顯閃動之狀態。同樣對於  $\beta$  線所預測之結果，亦嘗加以考驗；自一九一〇年而後，多數試驗家，如 von Schweidler (1910), E. Meyer (1910), Laby and Burbidge (1912) 及 Burbidge (1913) 等，皆進而考察  $\gamma$  線於一種氣體內所生電離作用，此時相當之閃動狀態。因對於此種試驗，穩定之線射來源，乃屬必要，故試驗者不用 X 線而選用  $\gamma$  線。

利倍 (Laby) 及 伯比格 (Burbidge, P. R. S. 1912) 用兩個完全相同之電離箱，安置於對稱之位置，令與放射  $\gamma$  線之鑷成相等之距離。如  $\gamma$  輻射為一種球面波，則兩電離箱內所生之電離作用，必具一常比。但由其他方面，如  $\gamma$  線為集束之實體，其放射之方向無定，如  $\alpha$  線之類，則於一定時間之內，進入每個電離箱之數，必閃爍不定。於是有一懸而未決之難問題：使蒲惹格氏關於  $\gamma$  線間接之電離作用之說而屬確實 (§ 82)，則閃動之現象，或因每一  $\gamma$  線所生  $\beta$  線之數有變動之故而起。故利倍及伯比格由其實驗所測得之閃動現象，尙不能得一確切之解釋。

最近梅耶氏 (E. Meyer, A. d. P. March 1912) 用相似之儀器，斷定單個之  $\gamma$  線，可發生電離之作用，其電離作用之發生，不僅循

單一之方向，及在單獨之時刻已也：由同一來源所放射  $\gamma$  線之數，其在兩個不同之方向者，不似互相獨立。梅耶氏實驗上之裝置，曾經伯比格氏之批評 (*P. R. S.* 1913)，但關於此點，迄今仍未得圓滿之解決。

§ 150. 光線閃動之實驗 坎貝爾 (*N. R. Campbell, P. C. P. S.* 1909, 1910) 利用『閃動』(fluctuation) 方法，研討關於光之放射之問題，藉以鑒別光之尋常學說，與其實體假說之孰為真確。但發光之源，既須極其強盛，又須守常不變，尋求其合乎此等條件者，其困難之點，終無法以消弭之也。

推羅氏 (*Taylor, P. C. P. S.* 1909) 由不同之觀察點，以求解決此項問題。尋常光學上之現象，皆其平均之效果，故於通常光之磁電說，及其集束之實體說，均不能有所分辨。但如於迴折之圖樣中，將光之強度，大為減弱，致僅其少數不可再分之能力集束，驟能顯於一帶 (zone) 之上，則尋常迴折之現象，將有變動，或竟完全不顯。推羅氏研究之方法，係將細針置於各種光度之下，以攝取針影之像，其所選定曝射之時間，須其所給予之全部能力，守常不變。曝射之時間，由數秒以迄三月之久，但其迴折之圖樣，於各種照片上，終不能察見其於明晰之度，有何變易之處。

是故證實光與 X 線同為不連續之性能，其更較直接之試驗法，迄今未收成效。

§ 151. 關於輻射迄未解決之問題 關於 X 線本體之問題，迄

今未能解決。X 線與光線大體上完全相同之說，既已成立，則此後之所有事，不得不更進一步以研求之，以期得一圓滿之結果。就現今研究所屆之域，則關於 X 線最顯著之困難問題，凡各種之磁電波，幾所同具，如將關於一般輻射之樞紐，其隱而未宣者，得一解決之方，則關於 X 線本態之奧秘，不難顯示矣。由以太波內能力傳遞之問題，吾人遂得關於能力之輻射，當其進行空間，迄不消散，有所謂「元量」者之概念。其意義與昔時業經成立之波浪傳播說，頗有難於融洽之點，而由實驗上之證明，則覺兩說皆屬真確：蓋輻射之能力，一方面係匯集而不可再分，一方面復能播散而可再分也。就實際而論，古力學之關鍵為連續性；而新力學之關鍵，為不連續性。兩說調和之希望，似均陷於絕地，此近代物理學上最疑難之問題，吾人應深予以研究者也。

# 附錄

## 表 23. 依原子數次序排列之原質

國際原子量: O=16. 國際原子量, 係依據國際委員會之新規定, 在 1925 年, 誰拿克及塔克 (Nonnack and Tacke) 由 X 綫之分析, 宣佈其與德新原質之發明, 其原子數為 43 及 76, 而依次稱之為 Masurium 及 Rhenium. 九十二個原質中, 現所知者已有八十九種, 參閱 § 134.

原子數	原子量 O=16	原 質		符 號	最初發見而使其游離者	原子數	原子量 O=16	原 質		符 號	最初發見而使其游離者	
		英 名	中名					英 名	中名			
1	1.008	Hydrogen	氫	H	Cavendish 1766	47	107.88	Silver	銀	Ag	—— 在有歷史以前	
2	4.00	Helium	氦	He	Ramsay and Cleve* 1895	48	112.40	Cadmium	錳	Cd	Stromeyer 1817	
3	6.94	Lithium	鋰	Li	Arfvedson 1817	49	114.8	Indium	銲	In	Reich and Richter 1863	
4	9.1	Beryllium	鈹	Be	Wöhler and Bussy 1828	50	118.7	Tin	錫	Sn	—— 在有歷史以前	
5	10.9	Boron	硼	B	Gay-Lussac & Thénard 1808	51	120.2	Antimony	銻	Sb	Basil Valentine 十五世紀	
6	12.005	Carbon	碳	C	—— 在有歷史以前	52	127.5	Tellurium	碲	Te	v. Reichenstein 1782	
7	14.01	Nitrogen	氮	N	Rutherford 1772	53	126.92	Iodine	碘	I	Courtois 1811	
8	16.00	Oxygen	氧	O	Priestley and Scheele 1774	54	130.2	Xenon	氙	Xe	Ramsay and Travers 1898	
9	19.0	Fluorine	氟	F	Moissan 1886	55	132.81	Caesium	銫	Cs	Bunsen and Kirchhoff 1861	
10	20.2	Neon	氖	Ne	Ramsay and Travers 1898	56	137.37	Barium	鋇	Ba	Davy 1808	
11	23.00	Sodium	鈉	Na	Davy 1807	57	139.0	Lanthanum	釷	La	Mosander 1839	
12	24.32	Magnesium	鎂	Mg	Liebig and Bussy 1828	58	140.25	Cerium	鈾	Ce	Mosander 1839	
13	27.1	Aluminium	鋁	Al	Wöhler 1825	59	140.9	Praseodymium	鐳	Pr	Auer von Welsbach 1885	
14	28.3	Silicon	矽	Si	Berzelius 1823	60	144.3	Neodymium	釷	Nd	Auer von Welsbach 1885	
15	31.04	Phosphorus	磷	P	Berzelius 1781	62	150.4	Samarium	釷	Sa	L. de Boisbaudran 1879	
16	32.06	Sulphur	硫	S	—— 在有歷史以前	63	152.0	Europium	鈾	Eu	Demargay 1901	
17	35.46	Chlorine	氯	Cl	Scheele 1774	64	157.3	Gadolinium	鈾	Gd	Marignac 1883	
18	39.88	Argon	氬	Ar	Rayleigh and Ramsay 1894	65	159.2	Terbium	鈾	Tb	Mosander 1843	
19	39.10	Potassium	鉀	K	Davy 1807	66	162.5	Dysprosium	鈾	Dy	Urbain & Demenitroux 1907	
20	40.67	Calcium	鈣	Ca	Davy 1808	67	163.5	Holmium	鈾	Ho	L. de Boisbaudran 1886	
21	45.1	Strontium	銻	Sr	Nilson and Cleve 1879	68	167.7	Erbium	鈾	Er	Mosander 1843	
22	48.1	Titanium	鈦	Ti	Gregor 1789	69	168.5	Thulium	鈾	Tm	Cleve 1879	
23	51.0	Vanadium	鈷	V	Berzelius 1831	70	173.5	Ytterbium	鈾	Yb	Marignac 1878	
24	52.0	Chromium	鉻	Cr	Vauquelin 1797	(Ne, Yb) ..	71	175.0	Lutecium	鈾	Lu	Urbain 1908
25	54.93	Manganese	錳	Mn	Gahn 1774	72	——	Hafnium	鈾	Hf	Coster and von Hevesy 1923	
26	55.84	Iron	鐵	Fe	—— 在有歷史以前	73	181.5	Tantalum	鈾	Ta	Ekeberg 1802	
27	58.97	Cobalt	鈷	Co	Brand 1735	74	184.0	Tungsten	鈾	W	Bros. & Elhujar 1783	
28	58.68	Nickel	鎳	Ni	Gronstedt 1751	76	190.9	Osmium	鈾	Os	Smithson Tennant 1804	
29	63.57	Copper	銅	Cu	—— 在有歷史以前	77	193.1	Iridium	鈾	Ir	Smithson Tennant 1804	
30	65.37	Zinc	鋅	Zn	B. Valentine 首稱及之十五世紀	78	195.2	Platinum	鈾	Pt	—— 十六世紀	
31	69.9	Gallium	銻	Ga	L. de Boisbaudran 1875	79	197.5	Gold	金	Au	—— 在有歷史以前	
32	72.5	Germanium	銻	Ge	Winkler 1866	80	200.6	Mercury	汞	Hg	Theophrastus 首稱及之紀元前三百年	
33	74.96	Arsenic	銻	As	Albertus Magnus 十三世紀	81	204.0	Thallium	鈾	Tl	Crookes 1861	
34	79.2	Selenium	硒	Se	Berzelius 1817	82	207.20	Lead	鉛	Pb	Pliny 首稱及之 在有歷史以前	
35	79.92	Bromine	溴	Br	Balard 1826	83	208.0	Bismuth	銻	Bi	B. Valentine 首稱及之十五世紀	
36	82.92	Krypton	氪	Kr	Ramsay and Travers 1898	84	——	Polonium	銻	Po	M. and Mme. Curie 1898	
37	85.45	Rubidium	銣	Rb	Bunsen and Kirchhoff 1861	86	222	Radium	鈾	Ra	—— 十六世紀	
38	87.63	Strontium	銻	Sr	Davy 1808	88	226.0	Radium	鈾	Ra	M. and Mme. Curie 1900	
39	88.7	Yttrium	鈾	Y	Wöhler 1828	89	230 (?)	Actinium	鈾	Ac	Curie and Bémont 1898	
40	91.6	Zirconium	鈷	Zr	Berzelius 1825	90	232.4	Thorium	鈾	Th	Berzelius 1828	
41	93.1	Niobium	鈷	Nb	Hatchett 1801	91	——	Uranium Y	鈾	UY	Arzouff 1911	
42	96.0	Molybdenum	鉬	Mo	Hjelum 1790	92	238.2	Uranium	鈾	U	Pellogot 1841	
44	101.7	Ruthenium	銻	Ru	Claus 1845							
45	102.9	Rhodium	銻	Rh	Wollaston 1803							
46	106.7	Palladium	銻	Pd	Wollaston 1803							

\* Janssen and Lockyer (在太陽內), 1868.

放射原質之原子數及其原子量

原 質	原子數	原子量	原 質	原子量
Uranium 1	92	238.2	Thorium 90	232.4
Uranium 2	92	234.2	Meso-thorium	234.4
Uranium X, Y	90, 91	230.2	Radio-thorium	228.4
Ionium	90	230.2	Thorium X	224.4
Radium	88	226.0	Thorium Emanation	220.4
Ra Emanation	86	222	Thorium A	216.4
Radium A	84	218	Thorium B, C <sub>1</sub> , C <sub>2</sub>	212.4
Radium B, C <sub>1</sub>	82, 83	214	Thorium D <sup>2</sup>	208.4
Radium C <sub>2</sub> , D, E	82, 83	210	1. 或者變為 Pb.	
Radium F (Polonium) <sup>1</sup>	84	210	2. 或者變為 Bi.	

錒 (actinium) 之原子量讀者約為 230.

表 24. 原質之原子量及密度

原 質	原子量	密 度	原質	原子量	密 度	原質	原子量	密 度
Al	27	2.70	He	4	0.178 †	Rb	85	1.532
Sb	120	6.62	H	1	0.08987 †	Ra	102	12.3
A	40	1.78 †	In	115	7.12	Sa	150	7.8
As	75	5.73	I	127	4.95	Se	44	—
Ba	137	3.75	Ir	193	22.41	Se	79	4.5
Be	9	1.93	Fe	56	7.86	Si	28	2.3
Bi	208	9.80	Kr	83	3.708 †	Ag	108	10.5
B	11	2.5 †	La	139	6.12	Na	23	0.971
Br	80	3.10	Pb	207	11.37	Sr	88	2.54
Cd	112	8.64	Li	7	0.534	S	32	2.07
Cs	133	1.87	Lu	175	—	Ta	181	16.6
Ca	40	1.55	Mg	24	1.74	Te	127	6.25
C	—	—	Mn	55	7.39	Tb	159	—
金 鋼 石	12	3.52	Hg	201	13.56	Tl	204	11.9
石 墨		2.3	Mo	96	10.0	Th	232	11.3
無 體 之 碳		1.9	Nd	144	6.93	Tm	168	—
Ce	140	6.92	Ne	20	0.9002 †	Sn	119	7.29
Cl	35	3.23 †	Ni	59	8.9	Ti	48	4.50
Cr	52	6.50	Nb	93	12.75	W	184	18.8
Co	59	8.6	N	14	1.2507 †	U	238	18.7
Cu	64	8.93	Os	191	22.5	V	51	5.5
Dy	162	—	O	16	1.429 †	Xe	130	5.851 †
Er	168	4.77 †	Pd	107	11.4	Yb	174	—
Eu	152	—	P	31	2.2	Y	89	3.8 †
F	19	1.69 †	Pt	195	21.5	Zn	65	7.1
Gd	157	—	K	39	0.862	Zr	91	4.15
Ga	70	5.95	Pr	141	6.48	紙	—	—
Ge	72	5.47	Ra	226	?	紙	—	1.0
Au	197	19.32	Rh	103	12.44	紙	—	—

† 當溫度為 0°C, 氣壓為 760 毫米, 每一立特 (litre) 之克數。

表 25.  $I = I_0 e^{-\mu d}$  此表顯示  $I/I_0$  與  $\mu d$  之關係。

例如:  $\mu d = .693$ ,  $I/I_0 = .5$ ,  $e = 2.71828$

(見 § 48 a (II) 採自 Kay & Laby 所著 *Physical Constants*.)

對於 $\mu d \cdot 0000$ 至 $.0999$ 之各值											應 減 之 差								
$\mu d$	0	.001	.002	.003	.004	.005	.006	.007	.008	.009	.0001	2	3	4	5	6	7	8	9
.00	1.000	.9990	.9980	.9970	.9960	.9950	.9940	.9930	.9920	.9910	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.01	.9900	.9891	.9881	.9871	.9861	.9851	.9841	.9831	.9822	.9812	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.02	.9802	.9792	.9782	.9773	.9763	.9753	.9743	.9734	.9724	.9714	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.03	.9704	.9695	.9685	.9675	.9665	.9656	.9646	.9637	.9627	.9618	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.04	.9608	.9598	.9589	.9579	.9570	.9560	.9550	.9541	.9531	.9522	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.05	.9512	.9502	.9493	.9484	.9474	.9465	.9455	.9446	.9436	.9427	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.06	.9418	.9408	.9399	.9389	.9380	.9371	.9361	.9352	.9343	.9333	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.07	.9324	.9315	.9305	.9296	.9287	.9277	.9268	.9259	.9250	.9240	1	2	3	4	5	6	7	8	8
.08	.9231	.9222	.9213	.9204	.9194	.9185	.9176	.9167	.9158	.9148	1	2	3	4	5	6	7	7	8
.09	.9139	.9130	.9121	.9112	.9103	.9094	.9085	.9076	.9066	.9057	1	2	3	4	5	6	6	7	8
對於 $\mu d$ 由 $.100$ 至 $2.999$ 之各值											應 減 之 差								
$\mu d$	0	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09	.001	2	3	4	5	6	7	8	9
.1	.9048	.8958	.88.9	.8781	.8694	.8607	.8521	.8437	.8353	.8270	9	17	26	34	43	52	60	69	77
.2	.8187	.8106	.8025	.7945	.7866	.7788	.7711	.7634	.7558	.7483	8	16	23	31	39	47	55	62	70
.3	.7408	.7334	.7261	.7189	.7118	.7047	.6977	.6907	.6839	.6771	7	14	21	28	35	42	49	56	63
.4	.6703	.6637	.6570	.6505	.6440	.6376	.6313	.6250	.6188	.6126	6	13	19	26	32	38	45	51	57
.5	.6085	.6025	.5965	.5906	.5847	.5789	.5732	.5675	.5619	.5563	6	12	17	23	29	35	40	46	52
.6	.5488	.5434	.5379	.5326	.5273	.5220	.5169	.5117	.5066	.5016	5	10	16	21	26	31	37	42	47
.7	.4963	.4916	.4868	.4819	.4771	.4724	.4677	.4630	.4584	.4538	5	9	14	19	24	28	33	38	43
.8	.4493	.4449	.4404	.4360	.4317	.4274	.4232	.4190	.4148	.4107	4	9	13	17	21	26	30	34	38
.9	.4086	.4025	.3985	.3946	.3906	.3867	.3829	.3791	.3753	.3716	4	8	12	15	19	23	27	31	35
1.0	.3679	.3642	.3606	.3570	.3535	.3499	.3465	.3430	.3396	.3362	4	7	11	14	18	21	25	28	32
1.1	.3329	.3293	.3263	.3230	.3198	.3166	.3135	.3104	.3073	.3042	3	6	9	13	16	19	22	25	29
1.2	.3012	.2982	.2952	.2923	.2894	.2865	.2837	.2808	.2780	.2753	3	6	9	11	14	17	20	23	26
1.3	.2725	.2698	.2671	.2645	.2618	.2592	.2567	.2541	.2516	.2491	3	5	8	10	13	16	18	21	23
1.4	.2466	.2441	.2417	.2393	.2369	.2346	.2322	.2299	.2276	.2254	2	5	7	9	12	14	16	19	21
1.5	.2231	.2209	.2187	.2165	.2144	.2122	.2101	.2080	.2060	.2039	2	4	6	8	11	13	15	17	19
1.6	.2019	.1999	.1979	.1959	.1940	.1920	.1901	.1882	.1864	.1845	2	4	6	8	10	12	13	15	17
1.7	.1827	.1809	.1791	.1773	.1755	.1738	.1720	.1703	.1686	.1670	2	3	5	7	9	10	12	14	16
1.8	.1653	.1637	.1620	.1604	.1588	.1572	.1557	.1541	.1526	.1511	2	3	5	6	8	9	11	13	14
1.9	.1496	.1481	.1466	.1451	.1437	.1423	.1409	.1395	.1381	.1367	1	3	4	6	7	9	10	11	13
2.0	.1353	.1340	.1327	.1313	.1300	.1287	.1275	.1262	.1249	.1237	1	3	4	5	6	8	9	10	12
2.1	.1225	.1212	.1200	.1188	.1177	.1165	.1153	.1142	.1130	.1119	1	2	4	5	6	7	8	9	11
2.2	.1108	.1097	.1085	.1075	.1065	.1054	.1044	.1033	.1023	.1013	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2.3	.1003	.9993	.9983	.9973	.9963	.9954	.9944	.9935	.9926	.9916	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2.4	.9907	.9898	.9889	.9880	.9872	.9863	.9854	.9846	.9837	.9829	1	2	3	3	4	5	6	7	8
2.5	.9821	.9813	.9805	.9797	.9789	.9781	.9773	.9765	.9758	.9750	1	2	2	3	4	5	5	6	7
2.6	.9743	.9735	.9728	.9721	.9714	.9707	.9699	.9693	.9686	.9679	1	1	2	3	4	4	5	6	6
2.7	.9672	.9665	.9659	.9652	.9646	.9639	.9633	.9627	.9620	.9614	1	1	2	3	3	4	4	5	5
2.8	.9608	.9602	.9596	.9590	.9584	.9578	.9573	.9567	.9561	.9556	1	1	2	2	3	3	4	4	5
2.9	.9550	.9545	.9539	.9534	.9529	.9523	.9518	.9513	.9508	.9503	1	1	2	2	3	3	4	4	5
對於 $\mu d$ 由 $3.0$ 至 $8.9$ 之各值											應 減 之 差								
$\mu d$	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9	平均差 不 甚 精								
2	.0498	.0450	.0403	.0368	.0334	.0302	.0273	.0247	.0224	.0202									
4	.0183	.0166	.0150	.0136	.0123	.0111	.0101	.0091	.0082	.0074									
5	.0087	.0081	.0075	.0070	.0065	.0061	.0057	.0053	.0050	.0047									
6	.0065	.0062	.0059	.0056	.0053	.0050	.0047	.0044	.0041	.0039									
7	.0059	.0056	.0053	.0050	.0047	.0044	.0041	.0038	.0035	.0033									
8	.0053	.0050	.0047	.0044	.0041	.0038	.0035	.0032	.0029	.0027									

表 26. 陰極線之速率及電位

即對於各種不同之電壓，此時以極/秒計算相當陰極線之速率。其值係準公式，

$$V = 5.95 \sqrt{E \cdot 10^7}$$

推算而出，式中之  $V$  為速率， $E$  為電壓（§ 48）。

對於由 0 至 990 之電壓										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
	$\times 10^9$									
0	0	0.188	0.266	0.326	0.376	0.421	0.461	0.498	0.533	0.565
100	0.595	0.624	0.652	0.678	0.704	0.729	0.753	0.776	0.798	0.820
200	0.842	0.862	0.883	0.902	0.922	0.941	0.959	0.978	0.996	1.014
300	1.031	1.048	1.065	1.081	1.097	1.113	1.129	1.145	1.160	1.176
400	1.191	1.205	1.220	1.234	1.248	1.263	1.277	1.290	1.304	1.318
500	1.331	1.344	1.357	1.370	1.383	1.396	1.409	1.421	1.434	1.446
600	1.458	1.470	1.482	1.494	1.506	1.517	1.529	1.541	1.552	1.564
700	1.575	1.586	1.597	1.608	1.619	1.630	1.641	1.651	1.662	1.673
800	1.683	1.694	1.705	1.715	1.725	1.735	1.745	1.755	1.766	1.776
900	1.786	1.796	1.806	1.815	1.825	1.834	1.844	1.854	1.864	1.873

對於由 1000 至 9900 之電壓										
	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
	$\times 10^9$									
1000	1.88	1.97	2.06	2.15	2.23	2.31	2.38	2.45	2.52	2.59
2000	2.66	2.73	2.79	2.85	2.92	2.98	3.04	3.09	3.15	3.21
3000	3.26	3.31	3.37	3.42	3.47	3.52	3.57	3.62	3.67	3.72
4000	3.76	3.81	3.86	3.90	3.95	3.99	4.04	4.08	4.12	4.17
5000	4.21	4.25	4.29	4.33	4.37	4.41	4.45	4.49	4.53	4.57
6000	4.61	4.65	4.69	4.72	4.76	4.80	4.84	4.87	4.91	4.94
7000	4.98	5.01	5.05	5.08	5.12	5.15	5.19	5.22	5.26	5.29
8000	5.33	5.36	5.39	5.42	5.45	5.49	5.52	5.55	5.59	5.62
9000	5.65	5.68	5.71	5.74	5.77	5.80	5.83	5.86	5.89	5.92

對於由 10,000 至 199,000 之電壓										
	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000
	$\times 10^9$									
10,000	5.95	6.24	6.52	6.78	7.04	7.29	7.53	7.76	7.98	8.20
20,000	8.42	8.62	8.83	9.02	9.22	9.41	9.60	9.78	9.96	10.14
30,000	10.31	10.48	10.65	10.81	10.97	11.13	11.29	11.45	11.60	11.76
40,000	11.91	12.05	12.20	12.34	12.48	12.63	12.77	12.90	13.04	13.18
50,000	13.31	13.44	13.57	13.70	13.83	13.96	14.09	14.21	14.34	14.46
60,000	14.58	14.70	14.82	14.94	15.06	15.17	15.29	15.41	15.52	15.64
70,000	15.75	15.86	15.97	16.08	16.19	16.30	16.41	16.51	16.62	16.73
80,000	16.83	16.94	17.05	17.15	17.25	17.35	17.45	17.55	17.66	17.76
90,000	17.86	17.96	18.06	18.15	18.25	18.34	18.44	18.54	18.64	18.73
100,000	18.8	18.9	19.0	19.1	19.2	19.3	19.4	19.5	19.6	19.7
110,000	19.7	19.8	19.9	20.0	20.1	20.2	20.3	20.4	20.4	20.5
120,000	20.6	20.7	20.8	20.9	20.9	21.0	21.1	21.2	21.3	21.4
130,000	21.5	21.6	21.7	21.7	21.8	21.9	22.0	22.1	22.1	22.2
140,000	22.3	22.4	22.5	22.5	22.6	22.7	22.8	22.8	22.9	23.0
150,000	23.1	23.1	23.2	23.3	23.4	23.4	23.5	23.6	23.7	23.8
160,000	23.8	23.9	24.0	24.1	24.1	24.2	24.3	24.3	24.4	24.5
170,000	24.5	24.6	24.6	24.7	24.8	24.9	24.9	25.0	25.1	25.1
180,000	25.2	25.3	25.4	25.4	25.5	25.6	25.6	25.7	25.8	25.9
190,000	25.9	26.0	26.1	26.1	26.2	26.3	26.3	26.4	26.5	26.5

表 27. 特殊  $\gamma$  線

Rutherford and Richardson, *P. M.* 1913 and 1914 (見 § 61).

下列鉛內之吸收係數,可與 § 57. X 線之吸收係數相比照。

原 質	原 子 量	在鉛內之吸收係數		備 考
		$\mu$	$\mu/\rho$	
Uranium $X_1$	280	24	8.9	L 輻射
		0.70	0.26	剛線
" $X_2$	280	0.140	0.052	極剛之線
		1080	400	極柔之線
Ionium	280	22.5	8.35	L 輻射
		0.41	0.15	極剛之線
Radium B	214	280	85	比普通 X 線較柔
		40	14.7	L 輻射
		0.51	0.188	極剛之線
" C	214	0.115	0.0424	H 輻射
" D	210	45	16.5 (?)	L 輻射
" E		0.99	0.36	剛線
Mesothorium 2	228	26	9.5	L 輻射
		0.116	0.043	H 輻射
Thorium B	212	160	59	比普通 X 線較柔
		32	11.8	L 輻射
		0.36	0.13	極剛之線
" D	208	0.096	0.035	就現今所知為 $\gamma$ 線之 最剛者
Radioactinium	228(?)	25	9.2	L 輻射
		0.190	0.070(?)	H 輻射
Actinium B	212(?)	120	44	比普通 X 線較柔
		31	11.4	L 輻射
		0.45	0.165	極剛之線
" D	208(?)	0.198	0.073	H 輻射

表 28. 各類線射之本態及其性質

$e$  = 電量單位 = 電解時氫逸出所帶之電量,  $= 4.77 \times 10^{-10}$  靜電單位 (E. S. U.),  $= 1.59 \times 10^{-20}$  動電單位 (E. M. U.).

本 態	線 射	電量與質量之比 ( $\frac{e}{m}$ ) 及其他		速 率 極/秒	射程, 及其他。			
		E. M. U. 克 <sup>-1</sup>	E. S. U. 克 <sup>-1</sup>					
電為中性者	紅外線 可見之光線 紫外光 Entladung-strahlen	$10^6$ 至 $0.2$ 極 $0.031$ 至 $7.7 \times 10^{-8}$ $7.7 \times 10^{-8}$ 至 $3.6 \times 10^{-5}$ $3.6 \times 10^{-5}$ 至 $5 \times 10^{-6}$ 約 $10^{-6}$		波長	$3 \times 10^{10}$	由空氣若干耗起以至無限。		
	X 線	波長: $1.2 \times 10^{-7}$ 至 $1.7 \times 10^{-9}$ 厘米					$3 \times 10^{10}$	當標準溫度及標準氣壓時, 在空氣中由若干極以至 $10^4$ 厘米以上。
	Ra, U, Ac, Th, 等之 $\gamma$ 線	波長: $1.4 \times 10^{-8}$ 至 $1 \times 10^{-10}$ 厘米					$3 \times 10^{10}$	當標準溫度及標準氣壓時, 純空氣中之空氣, 則射程減至百分之一。
	帶電原子及分子	$H_2$ 原子 $m = 1.66 \times 10^{-24}$ 克 直徑 $= 2.2 \times 10^{-8}$ 厘米					$H_2: 18.4 \times 10^{11}$ $O_2: 4.6 \times 10^{11}$	當 $0^\circ C$ . 時, $H_2$ 之平均自由程 mean free path, $1.8 \times 10^{-5}$ 厘米。
帶陰電者	電子 微粒 陰極線 倫琴線 當低壓力時之陰逸洪	(對於較低之速率) $1.77 \times 10^{17}$   $5.31 \times 10^{17}$		光電子 $10^7$ 至 $10^8$ 溫納爾陰極線 $10^8$ 至 $10^9$ 陰極線 $10^9$ 至 $10^{10}$ Ra 之 $\beta$ 線 $10^{10}$ 至 $2.99 \times 10^{10}$ 速率甚低, 約為 $3.2 \times 10^8$	甚 小 甚 小 在空氣中, 具若干極之射程。 約一倍之銷, 即能阻止之。 太慢不足以起電離作用。			
	Ra, U, Th, Ac, K, 等之 $\beta$ 線	$(\frac{m_0}{m} = 1/1850 H_2 \text{ 原子})$ 直徑 $= 4 \times 10^{-13}$ 厘米				在空氣內; 對於單位之電量, 為 1.8	—	
	$\delta$ 線 (慢 $\beta$ 線)	可具多個之逸出電量 (但普通僅一個) 以上至於 30 個分子				上至 $10^8$	—	
	陰逸洪	$10^4$ (就 $H_2$ 論)	$3 \times 10^{14}$ (就 $H_2$ 論)			—	—	
	放電管內帶陰電之原子及分子	$10^4$ (就 $H_2$ 論)	$3 \times 10^{14}$ (就 $H_2$ 論)			—	—	
	帶陽電者	Ra, U, Th, Ac, 等之 $\alpha$ 線 (具有 $2e$ 之氦原子)	$4.8 \times 10^3$ [ $m = 6.56 \times 10^{-24}$ ]			$1.4 \times 10^{14}$	由 $1.6 \times 10^9$ 以至 $2.2 \times 10^9$ (與所用之放射體有關)	當標準溫度及標準氣壓時, 在空氣中由 3 厘米至 8 厘米。
後退原子 (recoilatom).		4.7 (RaB)	$1.4 \times 10^{12}$	$5 \times 10^4$ (RaC)	當標準溫度及標準氣壓時, 在空氣中約為 $\frac{1}{10}$ 耗。			
放電管內帶陽電之原子及分子 (Kanalstrahlen)		$10^4$ (就 $H_2$ 論)	$3 \times 10^{14}$ (就 $H_2$ 論)	上至 $10^8$	—			
陽逸洪		可具多個之逸出電量 (但普通僅一個) 以上至於 30 個分子。		在空氣內; 對於單位之電量, 為 1.5	—			

中華民國二十四年九月初版

張

科學叢書

X

線

一

冊

每册定價大洋貳元

外埠酌加運費匯費

\*\*\*\*\*  
\* 翻 印 權 所 有 \*  
\* 究 必 印 翻 \*  
\*\*\*\*\*

編者 尹 聘 伊

發行人 王 雲 五  
上海河南路

印刷所 商務印書館  
上海河南路

發行所 商務印書館  
上海及各埠

五〇九六上