

# 光 学

下 册

修 訂 本

Г. С. 兰斯别尔格著

楊葭蓀 張之翔 譯

楊葭蓀 張之翔

---

高 等 教 育 出 版 社

# 光 学

下 册

修 訂 本

Г. С. 兰斯别尔格著

楊葭蓀 張之翔 譯



高 等 教 育 出 版 社

本书原系根据苏联国立技术理论书籍出版社 (Гостехиздат) 出版的兰斯别尔格 (Г. С. Ландсберг) 著“光学”(Оптика) 1954 年第三版译出的, 现在根据 1957 年第四版原文书进行了修订。

中译本分为上、下两册出版。下册内容包括电磁波的级别、光的速度、光通过二媒质界面时的情况、各向异性媒质光学、分子光学、光的作用、热辐射、发光等八编及总结。书末附有相应各编的习题。

第五、六、七、八等编由北京大学杨葭蓀译出, 第九、十、十一、十二等编及总结、习题由北京大学张之翔译出。

本书可作为综合大学及高等师范学校物理各专业“普通物理学”课程中光学部分的教材, 也可供高等工业学校的相近专业选用。

本书原由高等教育出版社出版, 自 1960 年 4 月至 1964 年 12 月改由人民教育出版社出版。1965 年 1 月 1 日高等教育出版社成立后, 本书仍用高等教育出版社名义继续印行。

## 光 学

下 册

(修订本)

---

Г. С. 兰斯别尔格著

杨葭蓀 张之翔译

北京市书刊出版业营业许可证书出字第 119 号

高等教育出版社出版(北京景山东街)

上海市印刷五厂印装

新华书店上海发行所发行

各地新华书店经售

---

统一书号 K13010·301 开本 850×1168  $\frac{1}{32}$  印张 13  $\frac{5}{16}$

字数 346,000 印数 42,701—43,700 定价 (5) ¥1.30

1957 年 7 月第 1 版 1965 年 3 月第 2 版 1965 年 3 月上海第 12 次印刷

# 目 录

## 第五編 电磁波的級別

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 第十八章 紅外線, 紫外綫和倫琴射綫          | 1  |
| § 103. 紅外線和紫外綫              | 1  |
| § 104. 倫琴射綫的发现和其获得方法以及观测方法  | 4  |
| § 105. 倫琴射綫的吸收              | 5  |
| § 106. 倫琴射綫的硬度和倫琴射綫管工作条件的关系 | 7  |
| § 107. 倫琴射綫的本性              | 9  |
| § 108. 倫琴射綫在晶体点陣上的衍射        | 10 |
| § 109. 倫琴射綫摄譜术              | 11 |
| § 110. 連續倫琴射綫譜, 关于标識射綫的概念   | 14 |
| § 111. 倫琴射綫光学               | 16 |
| § 112. 电磁波的級別               | 17 |

## 第六編 光的速度

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 第十九章 光的速度及其測定方法           | 19 |
| § 113. 測定光速实验的意义和伽利略的最初尝试 | 19 |
| § 114. 測定光速的天文学方法         | 20 |
| § 115. 測定光速的实验室法          | 25 |
| § 116. 光的相速和群速            | 29 |
| 第二十章 多普勒現象                | 35 |
| § 117. 导言                 | 35 |
| § 118. 声学中的多普勒現象          | 36 |
| § 119. 光学中的多普勒現象          | 41 |
| 第二十一章 运动媒质的光学             | 45 |
| § 120. 力学中的相对性原理和伽利略变换公式  | 45 |
| § 121. 运动媒质的电动力学          | 47 |
| § 122. 狭义相对論基础            | 59 |
| § 123. 相对論的变换公式           | 61 |
| § 124. 从相对論变换公式得到的一些結論    | 66 |

|                   |    |
|-------------------|----|
| § 125. 相对論力学····· | 74 |
| § 126. 总的結論·····  | 78 |

## 第七編 光通过二媒质界面时的情况

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 第二十二章 二电介质界面上的反射和折射·····          | 81  |
| § 127. 电磁波和物质之間的相互作用·····         | 81  |
| § 128. 二电介质界面上的反射和折射(菲涅耳公式)·····  | 85  |
| § 129. 关于菲涅耳公式的几点說明·····          | 91  |
| § 130. 光通过二电介质界面时的偏振, 布儒斯特定律····· | 93  |
| 第二十三章 全反射·····                    | 97  |
| § 131. 全反射现象·····                 | 97  |
| § 132. 反射波的研究, 橢圓偏振·····          | 98  |
| § 133. 折射波的研究·····                | 102 |
| 第二十四章 金屬光学基础·····                 | 104 |
| § 134. 金屬的光学性质的特征·····            | 104 |
| § 135. 金屬的光学常数和这些常数的測定·····       | 106 |

## 第八編 各向异性媒质光学

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 第二十五章 晶体光学基础·····              | 111 |
| § 136. 各向异性媒质·····             | 111 |
| § 137. 各向异性媒质的光学性质·····        | 116 |
| § 138. 波面(光綫面)和法綫面·····        | 120 |
| § 139. 单軸晶体和双軸晶体·····          | 124 |
| § 140. 各向异性媒质的惠更斯作图法·····      | 126 |
| § 141. 光在单軸晶体中傳播的一些实验事实·····   | 129 |
| § 142. 晶片的彩色或偏振光的干涉·····       | 133 |
| 第二十六章 人造各向异性·····              | 139 |
| § 143. 导言·····                 | 139 |
| § 144. 形变时所发生的各向异性·····        | 140 |
| § 145. 电場中的双折射(克尔现象)·····      | 142 |
| § 146. 磁場中的双折射现象(康頓-莫頓效应)····· | 150 |

## 第九編 分子光学

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 第二十七章 光的色散和吸收·····        | 152 |
| § 147. 麦克斯韦电磁理論的困难·····   | 152 |
| § 148. 光的色散, 观测方法和結果····· | 154 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| § 149. 色散理論的基础           | 160 |
| § 150. 光的吸收              | 178 |
| § 151. 光譜綫的寬度和輻射衰减       | 185 |
| <b>第二十八章 光的散射</b>        | 189 |
| § 152. 光通过非均匀媒质          | 189 |
| § 153. 光的分子散射            | 194 |
| § 154. 光的并合散射            | 203 |
| <b>第二十九章 偏振面的旋轉</b>      | 209 |
| § 155. 导言                | 209 |
| § 156. 偏振面在晶体里的旋轉        | 210 |
| § 157. 測量旋光本傾的更精確的方法     | 212 |
| § 158. 偏振面在非晶体里的旋轉       | 214 |
| § 159. 量糖术               | 216 |
| § 160. 偏振面旋轉的理論          | 217 |
| § 161. 偏振面的磁致旋轉          | 221 |
| <b>第三十章 塞曼效应, 斯塔克效应</b>  | 223 |
| § 162. 塞曼效应的本质           | 223 |
| § 163. 塞曼效应的基本理論         | 225 |
| § 164. 反常(复杂)塞曼效应        | 230 |
| § 165. 倒塞曼效应, 它和法拉第效应的关系 | 231 |
| § 166. 斯塔克效应             | 233 |
| <b>第十編 光的作用</b>          |     |
| <b>第三十一章 光电效应</b>        | 236 |
| § 167. 导言                | 236 |
| § 168. 光电效应的定律           | 238 |
| § 169. 爱因斯坦方程, 光子假說      | 241 |
| § 170. 光子假說在光电效应中的证据     | 243 |
| § 171. 光电流强度与波长的关系       | 247 |
| § 172. 半导体中的光电效应         | 250 |
| § 173. 光电管和它的用途          | 252 |
| <b>第三十二章 康普頓效应</b>       | 254 |
| § 174. 康普頓效应的本质和它的規律     | 254 |
| § 175. 康普頓效应的理論          | 256 |
| § 176. 从光子假說的观点看多普勒效应    | 259 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 第三十三章 光压               | 261 |
| § 177. 光压的实验研究         | 261 |
| § 178. 从光子理论的观点看光压     | 265 |
| § 179. 光压在解释某些宇宙现象上的应用 | 266 |
| 第三十四章 光的化学作用           | 267 |
| § 180. 导言              | 267 |
| § 181. 光化学的基本定律        | 268 |
| § 182. 敏化的光化反应         | 270 |
| § 183. 照相原理            | 271 |
| § 184. 照相片的敏化          | 273 |
| § 185. 视觉的光化理论         | 274 |

## 第十一編 热辐射

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 第三十五章 热辐射的定律           | 279 |
| § 186. 热辐射             | 279 |
| § 187. 热辐射和普雷伏定则       | 281 |
| § 188. 基尔霍夫定律          | 283 |
| § 189. 基尔霍夫定律的应用, 绝对黑体 | 288 |
| § 190. 非黑体的辐射          | 290 |
| § 191. 斯忒藩-玻耳兹曼定律      | 291 |
| § 192. 维恩位移定律          | 293 |
| § 193. 普朗克辐射公式         | 295 |
| 第三十六章 热辐射定律的应用         | 299 |
| § 194. 光测高温学           | 299 |
| § 195. 光源              | 304 |

## 第十二編 发光

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 第三十七章 原子的辐射和光谱的规律               | 309 |
| § 196. 线状光谱                     | 309 |
| § 197. 光谱的自蚀                    | 311 |
| § 198. 根据原子的发射光谱和吸收光谱的光谱分析      | 312 |
| § 199. 光谱的规律                    | 313 |
| 第三十八章 卢瑟福-玻尔的原子模型               | 319 |
| § 200. J. J. 汤姆孙的原始的原子模型和卢瑟福的实验 | 319 |
| § 201. 卢瑟福的有核的原子模型              | 322 |

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| § 202. 卢瑟福理論的困难, 玻尔的假設             | 325        |
| § 203. 氫原子                         | 327        |
| § 204. 离子化原子的光譜                    | 331        |
| <b>第三十九章 原子理論的實驗基础和它的結果</b>        | <b>333</b> |
| § 205. 夫兰克和赫茲等的實驗                  | 334        |
| § 206. 光譜綫的逐步激发                    | 338        |
| § 207. 共振輻射                        | 342        |
| § 208. 受激态的期間                      | 345        |
| § 209. 由热所引起的輝光的激发                 | 346        |
| § 210. 倫琴射綫譜, 它們的分类和解釋             | 348        |
| § 211. 复杂原子的光譜                     | 355        |
| <b>第四十章 分子光譜</b>                   | <b>367</b> |
| § 212. 在可見和紫外区域中分子的帶狀光譜            | 367        |
| § 213. 分子的紅外光譜                     | 371        |
| <b>第四十一章 光致发光</b>                  | <b>373</b> |
| § 214. 分子的熒光                       | 373        |
| § 215. 液体和固体的光致发光, 发光的光譜成分, 斯托克斯定則 | 375        |
| § 216. 光致发光的期間                     | 379        |
| § 217. 发光的定义和期間的判据, 切倫科夫輻射         | 383        |
| § 218. 結晶的磷光体                      | 388        |
| § 219. 发光分析                        | 389        |
| <b>总結</b>                          | <b>392</b> |
| <b>习題</b>                          | <b>400</b> |



## 第五編 电磁波的級別

### 第十八章 紅外線, 紫外綫和倫琴射綫

在前几編中, 我們詳細地討論了光的各種特性, 這些特性表明了光的波動本性(干涉, 衍射), 並且確定了光波的橫波性質(偏振)。我們曾不止一次地順帶指出, 光波是电磁波。後面我們將遇到許多各種各樣有關光波电磁性質的證明。

現在, 讓我們來研究一下有關电磁波波長這一方面的特徵。

#### § 103. 紅外線和紫外綫

在电磁波中, 稱為光的那一群(有時稱為“可見光”)乃是一個狹窄的波長間隔, 範圍大約在  $4000-8000\text{\AA}$  之間。這一個波長間隔內的电磁波, 對人的眼睛起着直接的作用, 它們對眼睛的網膜施以一種特殊的刺激, 這種刺激引起了視覺。因此上述波長間隔對人來說特別重要, 雖然就物理性質這方面來看, 這一個波長間隔在原理上和它兩旁更長的和更短的电磁波並沒有什麼不同。雖然眼睛“感光”的界限是主觀的, 但是人眼睛的感光靈敏度在趨向於此間隔的兩端時急劇下降(參看 § 8), 這說明給相鄰的光譜區域以特殊的名稱還是恰當的。

關於“紅外線”和“紫外綫”的概念, 是在十九世紀一開始就引進的。1800 年, W. F. 赫謝耳確定了紅外線的存在。W. F. 赫謝耳看到, 當把靈敏溫度計放在太陽光譜的紅端以外時, 溫度計的讀數升高。他同時也發現, 這些射綫和可見光一樣, 也服從反射定律和折射定律。

1801 年, 里德和渥拉斯頓同時發現, 在太陽光譜的紫端以外部分,

有不可見的射綫,这些射綫(紫外綫)能使氯化銀起化学作用。其后,研究紫外綫和紅外綫的其他方法都建立起来了。

照相术的发明及其成就在紫外綫的研究上起了重大的作用,因为照相片对紫外綫非常灵敏。紫外綫能够使許多物体激发而发光(荧光和磷光),并且能够引起光电效应,从紫外綫的这些能力方面着手来研究紫外綫也是很方便的。把照相片用特殊方法处理后(敏化,見第三十四章),同样可以用来对紅外綫进行照相。但是这种方法的有效限度仅仅达到  $\lambda=1.2-1.3$  微米。現代的光电管和光敏电阻对紅外綫的灵敏度已經大为提高,用这些仪器可以記錄波长大約到 5 微米的紅外輻射。利用紅外綫对磷光亮度的影响(第四十一章),能够研究紅外綫到 1.7 微米。但是可以适用于任何波长的热学研究方法,直到目前,仍然是紅外綫研究中最流行的方法,特别是对于 2 微米以上的波长。当然,在这种研究中,要用到非常灵敏的溫度計,特别是要用到能檢定出溫度升高百万分之一度( $10^{-6}^{\circ}\text{C}$ )的电学溫度計(測輻射热器和溫差电堆)。

有一些接收器能够把所有射到它們上面的热能加以全部吸收(絕

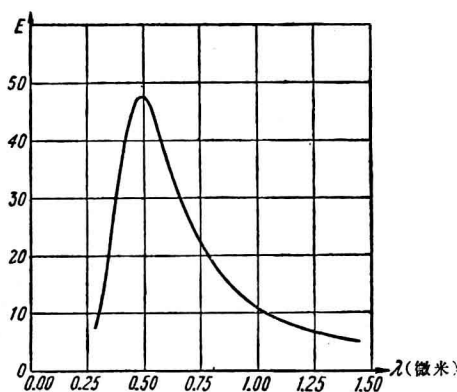


图 229. 太阳光譜中的能量分布。

对黑体, 第三十五章), 如果我們知道了接收器的热容量, 并且把偶然热損失估計在內, 那末应用这些接收器, 就可以从溫度的升高来測定射綫所攜帶的能量有多少絕對单位, 这一点同时也是热学方法在原理上的优越之处。这个方法被用来測量一切波长(包括紫外)的輻射能, 當我們希望得到輻射体

光譜的能量分布的数据时, 特別要用到它。图 229 粗略地表出了太阳光譜的这种能量分布。在其他光源, 例如白熾灯或水銀灯, 能量按波长

的分布和图中所表示的可以完全不一样。虽然热学方法有普遍适用性,而且所得到的数据能够相互比較,但是通常說来,对不同的波长間隔,采用前面所說的各个特殊的研究方法还是比较便利。

在研究波长很长的紅外線时,主要的困难在于寻找足够强的这种紅外線源。普通的紅外輻射源是热体。当溫度不高时,輻射强度非常微弱;当溫度增加时,所輻射的能量的总功率迅速加大;但是同时輻射的最大值却越来越移向短波,因而长波射綫的能量增加得不很显著。現今紅外綫的观测已經接近到300—400微米的波长。要获得波长再长的电磁波,用电磁振蕩的激发方法比較方便,这个方法是赫茲首創的,我們在电学里研究它。大家都知道,无綫电技术中所应用的較长的电磁波就是用这个方法产生的(波长在数十厘米,数米和数千米)。近几年来,从电振蕩的方法也得到了很短的电磁波,其波长在数百微米。这样,数百微米的波既可以从灼热体輻射的方法得到(如紅外線),也可以从电振蕩的方法得到(如赫茲波)。换言之,紅外波区域和赫茲波区域是相互銜錯着的,从可見光一直到波长随便多长的电磁波,当中都是連續的。

在紅外波和赫茲波的間隙的填补工作方面,苏联学者的工作曾起了重大的作用(这些学者有 И. И. 列別捷夫, M. A. 累維特斯卡, A. A. 阿露卡达耶娃-加拉古利娃)。

我們对紫外波区域的了解,其进展也同样是十分緩慢的。在紫外綫的研究上,主要的困难在于各种物质对短的紫外波都有强烈的吸收。普通玻璃极不适用于紫外波的研究。一般我們是应用特种玻璃(透过的波长接近到3000—2300Å)和水晶(透过的波长大約到1800Å)。对于再短的波,必須应用螢石的光学系統(接近到1200Å)。最近,人造晶体有所进展。最好的人造氟化鋰晶体的样品所透过的波长达到1800Å。对于再短的波來說,在透明性方面沒有合适的物质可作稜鏡和透鏡之用,所以必須应用反射的光学系統:凹面鏡和反射衍射光柵。但是对于这样短的紫外波來說,普通气压下的气体它也是不能通过的。在

氧气(和空气)中,在  $1800\text{ \AA}$  附近已然看到有显著的吸收。因此为了研究更短的波,我們采用抽空了的光譜設備(真空摄譜仪)。在紫外波的研究上,另一个困难,就是照相片的基本成分(乳胶)約从  $2400\text{—}2300\text{ \AA}$  开始就对紫外綫有显著的吸收,所以到了更短的紫外波,通常是采用沒有乳胶的照相片。把所有这些改进全部采納以后,紫外光的照相研究,已經向前推进到近  $20\text{ \AA}$  的地区。当然,在这个研究中,光入射到光栅上的角度必須采取掠入角。当入射角是  $89^\circ$  时,在  $12.1\text{ \AA}$  的地方能观测到电离十六次的铁的綫(即去掉 16 个电子的铁原子的綫)。

紫外波的研究,特别是短的和很短的紫外波的研究,是同样可以利用光电效应来进行的。

#### § 104. 倫琴射綫的发现和其获得方法以及观测方法

从紫外光方面繼續向再短的短波区域推进时,遭遇了极大的困难。但是依靠 1895 年倫琴的发现,我們能够从另一方面探进光譜的这一个区域。

倫琴发现,当放电在抽空的管中进行时(例如在研究阴极射綫用的管中),有射綫发出,这些射綫能够穿透普通光所不能透过的物体(黑紙,厚紙,薄的金屬片等等)。倫琴称这些射綫为“X射綫”,但是叫得更广的名字还是倫琴射綫。倫琴之所以能发现这些射綫,是因为这些射綫能够使荧光屏发光。倫琴不久也发现,这些射綫能够使照相片变黑,并且能够使空气电离以致驗电器的电荷发生减損。这样,在倫琴射綫的研究上,可以应用荧光屏、照相片或带有驗电器的电离室。此外也查明,倫琴射綫能够引起光电效应,并且倫琴射綫的研究也可以从它的热效应方面着手,虽然这一个研究方法是有一定的困难;困难在于倫琴射綫的可吸收性太微弱,微弱到这种程度,以致需要用比較厚的金屬层才能把它完全吸收;而要檢定出大块金屬层中少量的热量增加是非常困难的。必須指出,倫琴不仅首先发现了新的輻射,而且在他自己最初的

若干工作里, 也对这一新的輻射进行了全面的研究, 并确定了很多重要的特征。倫琴发现, 射綫所发生的地点是放电管上被阴极射綫所轰击的那一部分, 因而他把放电管的构造加以改进, 使得倫琴射綫的产生和利用有了最良好的方式。为了使阴极射綫束集中射在一个地方, 倫琴利用阴极射綫系垂直于阴极表面射出这一事实而把阴极做成凹形。这样阴极射綫能够聚焦。因为进行轰击的阴极射綫的大部分能量都轉化成了热, 只有一小部分能量(約 0.1%)以倫琴射綫的形式輻射出来, 或者保留为被反射的阴极射綫的能量, 所以在强功率的放电管中, 被轰击的地区会强烈地发热, 而发生熔化。因此倫琴在他的管子中采用了一个特别的薄片, 薄片用耐熔的金属(白金)做成, 阴极射綫束就聚射在这个金属片上。这个薄片称为对阴极, 它的位置放得和阴极射綫束成  $45^\circ$  角, 其目的在于可以更方便地利用所产生的倫琴射綫。由此所得到的结构如图 230 和 231 所示, 其基本特征仍然保留在现代的倫琴射綫管之中。

倫琴射綫管的电源用高压, 高达数万伏特, 甚至达十万伏特。

阴极射綫源不仅可以用冷阴极, 而且可以用另外一种更加方便的阴极, 这种阴极是一个白热的鎢片(热阴极), 由于热运动的緣故, 鎢片发出了强的阴极射綫(热电子发射)。热阴极的倫琴射綫管比冷阴极的倫琴射綫管有許多优点(見以下 § 106)。

### § 105. 倫琴射綫的吸收

前面已經說过, 倫琴射綫最显著的特性是它能够穿透普通光所不

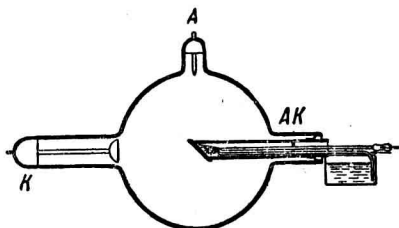


图 230. 倫琴射綫管(示意图):

A 是阳极; K 是阴极; AK 是对阴极。

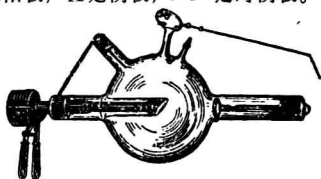


图 231. 倫琴射綫管的外观。

能透过的物质。倫琴本人即已广泛地研究了倫琴射綫的这种穿透本领,当时,他把所研究的物质层放在射綫源和荧光屏之間来观察荧光屏的发光情况。倫琴发现,物质对倫琴射綫的吸收与該物质对普通光的透明性无关。例如,黑紙和紙板对倫琴射綫的吸收比同样厚的玻璃要微弱得多,特别是当玻璃含有鉛盐时,此点尤为显著。

倫琴确定,物质的密度越大,它吸收倫琴射綫的本領也就越强,所以鉛板使倫琴射綫减弱的程度,比同样厚的鋁板要厉害得多。对于吸收來說,吸收物质中重元素原子的存在乃是重要的因素,至于这些原子究竟包含在什么化合物之中則屬无关。例如,薄的白鉛层和含有鉛盐的玻璃之所以对倫琴射綫有显著的吸收,就是因为在它們的成分之中有重的鉛原子存在。

就在这些研究之中,倫琴又确定了另一个极端重要的事实,这一事实被倫琴用来鉴定各种情况下所应用的射綫。倫琴发现,同一物质对倫琴射綫的吸收本領,因倫琴射綫的产生条件而不同。被强烈吸收的射綫称为軟射綫,被輕微吸收的則称为硬射綫。这样,射綫穿透物质的本領标志着射綫本身的軟硬程度。

一般是測定某一固定物质(例如鋁)对各射綫的吸收本領,来比較各射綫的硬度。射綫越硬,吸收越弱,在所有其他物质,情况也是如此(某些选择吸收現象屬於例外,关于此点后面将要談到)。

人們进一步研究了物质对倫琴射綫的吸收本領,从而建立起了射綫硬度的量度。把物质吸收之前和吸收之后倫琴射綫的强度<sup>①</sup>加以測

---

① 从倫琴射綫在金屬內被吸收时所放出来的热量来測定倫琴射綫的强度,在原則上是最根本的方法,但是如前所說,这种測定实际上有很大的困难。倫琴射綫的强度測量同样可以从观测倫琴射綫的其他作用着手:从射綫所引起的荧光的强度方面,从在它作用之下所发生的光化反应的速度方面,其中特别是从照相片的变黑方面,还有从在它作用之下所产生的电离电流的强度方面。所有这些方法在应用上都遭遇到一定的困难,这些困难主要是由于射綫的吸收程度难以估計而引起的。电离法研究得最詳尽,用这个方法測量倫琴射綫的强度时,要力求做到使倫琴射綫在电离室中被完全吸收(气体层要厚,要用重的气体)。

量, 可以定出吸收定律, 定律的形式呈  $I = I_0 e^{-\mu d}$ , 式中  $I$  是吸收之后的射綫强度,  $I_0$  是射到吸收物质上的射綫的强度,  $d$  是吸收层的厚度, 以厘米計,  $\mu$  是吸收系数, 它表征着射綫的硬度。

不难看出,  $\mu = \frac{1}{d_0}$ , 式中  $d_0$  是使射綫强度减弱到  $\frac{1}{e}$  的吸收层厚度 ( $e = 2.718$ )。有时, 我們用某一固定物质 (一般用鋁) 的吸收层的厚度来表征射綫的硬度, 这个厚度能够使倫琴射綫的强度减弱到  $\frac{1}{2}$ 。这个厚度  $D$  和  $d_0$  以及  $\mu$  之間有一简单的关系:

$$D = 0.69 d_0 = \frac{0.69}{\mu}. \quad (105.1)$$

各种倫琴射綫的硬度相差可以非常悬殊。在所用到的射綫中, 射綫在鋁中的  $D$  值从 0.0006 到 6 厘米不等, 即相差有 10000 倍。

倫琴射綫的吸收和硬度的一切估量都由于下一情况而发生很大的困难: 一般从倫琴射綫管发出来的倫琴射綫都是很不純一的, 即其中包含不同硬度的射綫。使不純一的射綫穿过吸收物质, 吸收掉其中較軟的射綫, 从而可以获得比較純一的射綫。这种过滤的方法对获得純一的单色射綫來說是相当粗陋的。現在我們在单色化上所擁有的方法, 类似于在普通波长的光学中所应用的方法, 即先产生近于单色的倫琴射綫, 而后用衍射方法使它单色化。这样所得到的射綫在单色程度上并不比光綫的逊色, 而吸收系数对这种单色射綫說来才有完全肯定的物理意义。对这种单色射綫而言, 吸收系数随吸收物质的密度  $\rho$  而变, 并且在粗略的近似上可以认为系与密度成正比。更精确的說来, 吸收是决定于单位厚度上吸收物质的原子的数目。当一种原子换成另一种原子时, 吸收随原子量的加大而迅速增高, 不过正确一点說, 應該是随原子序数  $Z$  的加大而迅速增高, 并且是和原子序数的立方成正比。

### § 106. 倫琴射綫的硬度和倫琴射綫管工作条件的关系

倫琴本人在建立起倫琴射綫的硬度概念之后即已指出, 射綫的硬

度决定于倫琴射綫管的工作条件：阳极和阴极之間的（使阴极射綫加速的）电位差越大，也就是說，轰击反阴极的电子的速度越大，倫琴射綫也就越硬。如果我們用的是冷阴极射綫管，則大家都知道，最初的阴极射綫的产生和射綫管的抽空程度有关，因为电子是在正离子的作用下跑出阴极的，而这些正离子是从射綫管的空間奔到阴极上去的。射綫管的真空度越高，則开始产生强电子发射所需要的电位差也越大。因此在这种高真空的射綫管里，所产生的阴极射綫只可能是高速度的，因而所产生的倫琴射綫也必然是硬的。这种高真空的倫琴射綫管称为硬射綫管。反之，存有頗多残余气体的射綫管，可以在較低的电位差下产生阴极电子流，因而这种射綫管是用来产生比較軟的倫琴射綫（軟射綫管）的。調节射綫管中的真空度，就可以調节射綫管所产生的射綫的硬度。由于管壁对气体有吸收，所以倫琴射綫管的硬度有逐漸增加的趋势。在許多倫琴射綫管中設有一些装置，能够使倫琴射綫管軟化而无須把倫琴射綫管打开重新抽空（射綫管的再生）。

热阴极的倫琴射綫管，就射綫管硬度的調节便利这方面來說，是具有极大的优点的。热阴极是一个充足的电子源，因此在射綫管内，可以用到最高真空而阴极射綫的产生可以不依赖于所加的电位差。电位差的用途仅仅在于使电子得到所需要的速度，即使所产生的倫琴射綫的硬度合乎需要。

这样，同一个热阴极射綫管可以用来产生任何硬度的倫琴射綫，这一硬度决定于所加的加速电場（可操纵的倫琴射綫管）。这种类型的倫琴射綫管，硬度随电位差的增加而迅速提高。实验表明，这种射綫管的射綫的平均吸收系数  $\mu$  和阳、阴极之間的电位差  $V$  的立方近似地成反比，即

$$\mu \sim \frac{1}{V^3}. \quad (106.1)$$



### § 107. 倫琴射綫的本性

虽然最初研究倫琴射綫的一些人(斯托克斯, Д. А. 哥德格米尔, 倫琴<sup>①</sup>自己也有一部分)即已发表意見, 认为倫琴射綫是电磁波, 是由于轰击到对阴极上的高速电子遭受突然停頓而产生的, 但是倫琴射綫的一系列特性和其波动性实难协调。那时, 在倫琴射綫的大多数特性的研究上, 一般說来, 都遭遇了很大的困难。长久以来, 沒有能够观察到倫琴射綫在从某一媒质到另一媒质时有折射和反射。倫琴仅仅能够发现倫琴射綫有微弱的散射痕迹, 如果假设倫琴射綫的本性是粒子的, 那么这个现象当然就很容易解释了。

倫琴和其他一系列研究的人做了許多实验, 企图找到倫琴射綫的干涉和衍射, 但是都沒有成功。这一点对倫琴射綫的波动性的假设构成了特别的困难。只是在很晚以后(約在 1910 年), 大家才明白, 倫琴射綫的波长比可見光的和紫外綫的要短得多, 因此最初要使干涉实现的实验早已注定是不会成功的了。

应当指出, 在倫琴的头几篇文章发表之后, 即在 1897 年, 斯托克斯就已用現今的观点对倫琴射綫的本性发表了意見, 这些意見一般說来是正确的。斯托克斯认为倫琴射綫是短的电脉动, 是轰击到对阴极上的电子的速度在急剧变化时所产生的。运动着的电荷的这种速度变化可以看作是电流(急驰着的电子)的减弱; 随着这种减弱, 与电子运动相关的磁場也同时发生减弱, 磁場的变化在周圍空間中引起感应的交变电場, 交变电場又引起交变的位移电流, 如此一直反复下去。按照麦克斯韦的观念, 这就发生了电脉动, 这个脉动以光的速度在空間傳播出去。当时, 斯托克斯用电子遭受停頓的极端突然性来解释脉动的特殊性质, 就是它只占有一个非常狹窄的空間地带, 斯托克斯并且认为,

① 当时, 倫琴认为, 他所发现的射綫是纵的光波。但是他沒有坚持这种观点, 他认为其他的解释也是可能的。