

# 初等原子物理学

田 渠 編

高等教育出版社



# 初等原子物理学

田 梁 編

高等教育出版社

## 初等原子物理学

田 渠 編

高等教育出版社出版 北京宣武門內承恩寺7號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第054號)

京華印書局印裝 新華書店發行

統一書號 13010·633 開本 850×1168  $\frac{1}{32}$  頁數 87/16

字數 192,000 印數 0001—8,000 定價 (6) 洋0.95

1959年7月第1版 1959年7月第1次印刷

## 序

本书是根据前高教部所颁发的普通物理学中原子物理学的教学大纲编写的，可以作综合大学或师范学院物理系第三学年第二学期的教材使用。也可以供高中物理学教师作为参考书籍。为了保持普通物理的水平，又须照顾到近年来原子物理学的进展，所以本书内容和部颁大纲稍有出入。例如复杂柴曼效应，在本书中只提出这个现象而不加详细的解释，并且把史塔克效应删去。因为要把这两部分叙述清楚，必须提高本书水平而超出普通物理的程度。对于原子核方面，本书却增加了许多材料，这是为了将来研究原子能时打下基础。另外，本书的编写是完全学习苏联先进经验，大部分材料取自福里斯和季莫勒娃所著普通物理学第三卷第二分册。著者智识浅薄，书中如有错误以及编写不佳之处，尚希各位读者指出，以便更正。

田 渠

1957年12月

# 目 录

序 .....	III
緒論 .....	1
§ 1. 原子物理学的内容和它的重要性 .....	1
§ 2. 原子物理学发展史 .....	2
第一章 原子光譜的規律性 .....	7
§ 1. 氫原子光譜 .....	7
§ 2. 类氫离子光譜 .....	10
§ 3. 硷金屬光譜 .....	13
第二章 原子有核模型 .....	18
§ 4. $\alpha$ 粒子散射实验 .....	18
§ 5. 卢瑟福 $\alpha$ 粒子散射理論 .....	19
§ 6. 卢瑟福理論和实验結果的結合 .....	23
第三章 波耳量子論及其发展 .....	27
§ 7. 波耳假設 .....	27
§ 8. 波耳氫原子和类氫离子 .....	28
§ 9. 光譜項的物理意义 .....	31
§ 10. 氫原子光譜的能級图及連續光譜 .....	31
§ 11. 折合質量 .....	36
§ 12. 橢圓軌道 .....	38
§ 13. 硷金屬光譜的初步研究 .....	44
§ 14. 定态能級存在的实验証据 .....	50
§ 15. 空間量子化 .....	55
§ 16. 正常柴曼效应 .....	60
第四章 电子自旋和它在原子光譜中所产生的效应 .....	62
§ 17. 电子自旋 .....	62
§ 18. 史特恩-盖拉赫实验 .....	64
§ 19. 硷金屬光譜的双綫 .....	66
§ 20. 原子的矢量模型 .....	72
§ 21. 氫原子光譜 .....	75
第五章 門捷列耶夫周期系 .....	81
§ 22. 各种量子数 .....	81

§ 23. 泡利原理和轨道电子的分层构造	82
§ 24. 门捷列耶夫周期系和原子的电子壳层构造	81
§ 25. 各种元素的化学特性和它的光谱的关系	94
<b>第六章 伦琴光谱</b>	98
§ 26. 伦琴射线的发现和产生伦琴光谱的仪器	98
§ 27. 发射光谱	101
§ 28. 吸收光谱	106
<b>第七章 分子光谱</b>	109
§ 29. 分子光谱的形状	109
§ 30. 分子构造	110
§ 31. 振动光谱	112
§ 32. 转动光谱	115
§ 33. 振转光谱	118
§ 34. 电子振动光谱	122
§ 35. 分子的离解	129
§ 36. 光的并合散射	132
<b>第八章 量子力学概念</b>	139
§ 37. 波耳理论的缺点	139
§ 38. 道布罗衣波	140
§ 39. 达维生和焦买实验	141
§ 40. 薛廷格方程式	145
§ 41. 波函数的物理意义	148
§ 42. 微观粒子的双重性质	149
§ 43. 测不准关系式	151
<b>第九章 质量和同位素</b>	157
§ 44. 核的电荷和质量	157
§ 45. 化学质量单位和原子质量单位	157
§ 46. 同位素	159
§ 47. 同位素的成分	161
§ 48. 阿斯頓质谱仪	162
§ 49. 同位素的分离法	163
§ 50. 同位素对于原子光谱谱线的影响	164
§ 51. 质能联系定律	164
§ 52. 能量的单位	165
<b>第十章 天然放射性</b>	166

§ 53. 天然放射性 .....	166
§ 54. 蜕变和衰变 .....	166
§ 55. 位移定期 .....	173
§ 56. 放射性强度的单位 .....	177
§ 57. 探测各种微观粒子的方法 .....	177
§ 58. $\alpha$ 蜕变 .....	183
§ 59. $\beta$ 蜕变和中微子 .....	188
§ 60. $\gamma$ 射线 .....	191
§ 61. 内变换 .....	193
<b>第十一章 人为蜕变、人为放射性和核反应</b> .....	196
§ 62. 应用天然放射性的 $\alpha$ 粒子为探针的人为蜕变 .....	196
§ 63. 人为加速粒子所引起核的蜕变 .....	201
§ 64. 中子 .....	202
§ 65. 阳电子 .....	204
§ 66. 人为放射性 .....	206
§ 67. 反质子 .....	208
§ 68. 反中子 .....	209
§ 69. 核反应 .....	210
§ 70. 同质异能素 .....	213
§ 71. 人为放射性的应用 .....	214
<b>第十二章 高能加速器</b> .....	216
§ 72. 高压倍加器 .....	216
§ 73. 静电加速器 .....	217
§ 74. 回旋加速器 .....	218
§ 75. 同步回旋加速器 .....	220
§ 76. 质子同步加速器 .....	223
§ 77. 强聚焦加速器 .....	225
§ 78. 感应电子加速器和电子同步加速器 .....	226
§ 79. 线形加速器 .....	227
§ 80. 中子源 .....	229
<b>第十三章 核的构造</b> .....	231
§ 81. 核矩和核的磁矩 .....	231
§ 82. 核的构造 .....	235
§ 83. 质量亏损和结合能 .....	236
§ 84. 核的模型 .....	240
§ 85. 介子 .....	242

---

§ 86. 核子力 .....	245
<b>第十四章 核的裂变和原子能的应用 .....</b>	<b>246</b>
§ 87. 铀后元素 .....	246
§ 88. 裂变 .....	246
§ 89. 链式反应 .....	249
§ 90. 轻核的合成 .....	250
<b>第十五章 宇宙射线 .....</b>	<b>253</b>
§ 91. 宇宙射线的发现 .....	253
§ 92. 宇宙射线的强度和穿透性 .....	254
§ 93. 软性部分宇宙射线和簇射的构成 .....	255
§ 94. 宇宙射线中的硬性部分 .....	257
§ 95. 高能宇宙射线和介子的平均寿命 .....	258
§ 96. 地磁效应和原始宇宙射线 .....	260
§ 97. 宇宙射线的起源 .....	261



## 緒 論

1. 原子物理学的內容和它的重要性 原子物理学是以研究各种原子的构造为目的。我們知道, 这些渺小的原子, 仍然有它的极为复杂的构造。大概的說: 原子构造可以分为核和繞核运动的电子两部分。繞核运动的电子又可以分为两部分: 內层軌道电子和最外层軌道电子。在原子物理学中, 我們常常附带的研究原子和原子間的結合, 这就是研究分子的构造。我們应用原子光譜来研究最外层电子軌道的构造, 应用分子光譜来研究分子結構, 这两类光譜都出现在紅外光, 可見光以及紫外光范围内, 我們通常叫它作光学光譜。研究原子內层軌道电子构造所用的方法是研究倫琴光譜, 研究核的构造时是应用核的放射性和各种核反应。

关于原子物理学的重要性, 首先我們可以指出原子构造是物質的基本构造, 这是一种电磁构造。一切宏观的电現象都是由原子內部荷正电的核和荷負电的电子所扮演的。物質一切特性是和原子构造分不开的。除了已指出的宏观的电的現象外, 其它如热效应是原子和分子的一种无秩序的混乱运动的表现, 輻射是原子或电子振动, 或原子中軌道电子跃变时(即原子能級变化)所发生的, 要想彻底了解物質的一切特性, 首先我們必須明了原子的构造。

另一重要性就是原子能的应用問題。要想利用原子能我們首先必需了解原子的构造。我們知道这些渺小的原子却蘊藏着极大的能量, 这是宇宙間最大的能源。这个能源又可以分为两部分: 一部分是由重核分裂时釋放的能量。例如一磅鈾  $U^{235}$  裂变时就可以发生  $34.4 \times 10^{19}$  尔格能量。这些重核裂变时所釋放的能量等于重

量相同的煤燃烧时所发生的能量的  $2 \times 10^6$  倍。假使我们能够利用这种能量于和平建设事业，这将给人类带来多少幸福。这一点在苏联已首先实现。1954年6月人类历史上第一座原子能发电站在苏联开始供电。它还利用了原子能的爆破威力来炸山迁河，引水流化沙漠为良田。我国在苏联的无私的帮助下，在1957年也完成了一座原子堆。至于美帝国主义者却制造原子弹来屠杀人类，我们必须反对原子弹的制造，而极力设法利用原子能于和平建设事业。另外，由轻核组成较重的原子核时所释放的能量尤大。太阳和一切恒星的辐射能量就是由这类反应而产生的。这类的反应也是热核武器的原理。

一公斤  $U^{235}$  完全裂变时所释放的能量约相当于  $1.2 \rightarrow 2 \times 10^4$  吨 T. N. T. 的能量。

一个普通的原子弹约相当于 1000 吨三硝基甲苯 (T. N. T.) 的炸药<sup>①</sup>。一个氢弹可达到 100 万吨 T. N. T. 炸药，可见这些原子弹和氢弹威力之大。但是如果我们能够掌握这些原子武器是怎样的来杀伤人的原理，我们就可以研究出一些防御这些武器的方法，这也是研究原子物理学的重要性。

放射性原子能，尤其是人为放射性原子能，更广泛应用于各种机械工业，化学工业，探矿，冶金，医疗，农业以及各种研究工作。

2. 原子物理学发展史 原子假说的萌芽应推到古希腊时代的阿纳哈果拉斯 (Anaxagoras 公元前 500—428 年)。他反对当时存在着的物质发生和消灭的说法。他认为物质的变更是由一些很小的，不能看出的粒子相互组合和分开所构成的。这些粒子是不变的和不灭的。它们彼此的形状是不相同的。这个假说预示了物质守恒定律。柳西普斯 (Leucippus 公元前 440 年) 和他的学生德谟

① 原子弹爆炸时原子炸药裂变的效率约为 10% 左右。

克利托 (Democritus 公元前 460—370 年) 更正式創立原子假說。德謨克利托在公元前 420 年左右曾經說過:

……数目无穷多的、看不見的、以及彼此不同的粒子在空間散射和运动。当它們互相接近时，它們彼此互相結合，一些构成水，一些构成火，一些构成植物，一些构成人。实在，一切事物都是由一些原子 (atoms) 构成的。它們不能从无生出有，或从有变为无。也不能从現有的物体中变更而来，原子是不变的。如同喜劇和悲劇是用同一的字母写成的；自然界中无穷多的事物，只是由很少的几組相同的原子，占据不同的位置和完成各种不同的运动所构成的。

德謨克利托应用“atoms”一字是因为在希腊文中，这个字有不可分的意义。这个假說不幸为希腊大哲学家亚里斯多德 (Aristotle 公元前 384—332 年) 所反对。虽然爱披可魯 (Epicurus 公元前 341—270 年) 支持原子假說而反駁亚里斯多德的观点，以及后来羅馬的柳克莱休士 (Lucretius 公元前 92—52 年) 也采用原子假說來說明固体是由一些原子相互鈎着凝聚所构成，終以缺乏实验証据，不能正式成为一种学說。至十七世紀后，賈生第 (P. Gassendi 1649) 最初应用原子假說于分子运动論，其后賀克 (R. Hooke 1670) 繼之。1716 年，俄国大物理学家罗蒙諾索夫 (M. B. Ломоносов) 提出冷热原因是物質內部微粒运动情形不同的表現，更明显的表示出物質內部构造的情形。

至于原子学說的正式成立是 1803 年达尔頓所提出的。是时人們已經認識到了:

- (a) 各种元素不能用化学方法把它再分开为不同的成分。
- (b) 各种元素相互化合时它們的質量的比率是固定的 (定比定律)。
- (c) 当各种元素能够构成比一种更多的化合物时，質量間的比

率又常常是一些简单的倍数，例如 1:1, 1:2, 2:1, 2:3, 等等（倍比定律）。

根据以上三种事实，达尔頓认为一切元素都是由一些极为微小的粒子所构成，这些粒子叫做原子。一种元素有一种和它相对应的原子。就是说：由一种固定的元素所做成的純質中所含的、最后的一切粒子（即原子）都有相同的性质（例如形状、大小、质量等等都是相同的）。各种不同的元素有和它們互相对应的各种不同的原子。由这些原子互相結合可以构成无穷多的种类分子。亚佛加特罗（Avogadro）进一步认为（1811）每一个分子都是由几种給定的原子，在給定的比例下彼此結合构成的。結果在固定温度和固定压力之下，在相同的体积内所包含的气体分子的个数应该是相同的，这就是亚佛加特罗定律。

达尔頓原子論創立之后，当时认为原子是物质存在的最后单元，原子是不能再分开的。1834年法拉第发现电解定律，从此又显出了电的原子性。1858年普魯克（J. Plücker 1801—1889）发现阴极射线。1897年湯姆遜发现阴极射线的本质是由一些荷负电的微粒子所构成，现在我們叫它做电子。1901年湯姆遜认为各种原子是由于数目不同的电子浸沉于一个荷正电的小球中所构成。以后卢瑟福提出了更好的原子有核模型，波尔創立了量子論，量子力学和实验原子物理学更相繼发展，原子构造的理論才逐渐完善。只是原子核的构造迄今尙未能完全解决。最近苏联 100 亿电子伏特的同步稳相加速器制造成功之后，各国核子物理学家在这方面的研究更加积极，核的构造問題将会加速解决的。在开始研究原子物理学之前，我們首先简单的提出一个原子物理学发展的年表如下：

1803年 达尔頓（J. Dalton）創原子論。

1834 法拉第（N. Faraday）发现电解定律，指出电荷的原

子性。

- 1896 柏克高萊爾 (H. Becquerel) 發現天然放射性。
- 1897 湯姆遜 (J. J. Thomson) 發現電子。
- 1900 普郎克 (M. Planck) 創量子論。
- 1905 愛因斯坦 (A. Einstein) 創相對論和光量子論。
- 1911 盧瑟福 (E. Rutherford) 提出原子有核模型。
- 1913 波爾 (N. Bohr) 提出氫原子構造和量子論。
- 1919 盧瑟福發現人為蛻變。
- 1924 道布羅衣 (L. De Broglie) 創物質波理論。
- 1925 海森白 (W. Heisenberg) 創量子力學(矩陣力學)。
- 1926 薛廷格 (E. Schrodinger) 創波動力學(也屬於量子力學), 他並且找出矩陣力學和波動力學的出發點雖然絕不相同, 但是它們所用的兩種數學工具有等值性。
- 1927 海森白發現測不准關係。
- 1928 狄拉克 (P. A. M. Dirac) 完成相對論量子力學。
- 1932 查德威克 (J. Chadurick) 發現中子。
- 1932 伊凡寧科 (Д. И. Иваненко) 提出原子核的中子質子結構。
- 1932 安德森 (C. D. Anderson) 發現陽電子。
- 1934 約里奧-居禮夫婦 (F. Joliot and I. Curie) 發現人為放射性。
- 1934 切侖可夫 (П. А. Черенков) 發現 $\beta$ 射線能使液體發光, 這現象可用來探測高速帶電粒子。
- 1936 安德森發現 $\mu$ 介子。
- 1939 哈恩和史特拉斯曼 (O. Hahn and F. Strassmann) 發現裂變。

- 1945 維克斯勒(B. Векслер)創造高能量加速器的理論。
- 1947 鮑威耳(C. F. Powell)發現 $\pi$ 介子。
- 1955 張伯蘭, 塞格萊, 韋干和玉璞西蘭地(O. Chamberlain, E. Segré, C. Wiegand and T. Ypsilantis) 發現反質子。
- 1956 科克, 皮西尼, 溫才耳和藍柏生(B. Cork, O. Piccioni, W. A. Wenzel and G. R. Lambertson) 發現反中子,
- 1956 李政道和楊振寧發現在弱相互作用下, 宇稱不守恆。

以上僅指出原子物理學發展過程中最重要的記錄, 隨着原子物理學的發展, 資產階級國家的物理學者的唯心論也隨着發展。例如電子發現及相對論創立後, 資產階級物理學者高唱物質消滅的謬論。測不准關係發明後, 資產階級物理學者又提出微觀粒子的不遵守因果律以及一些不可知論等等。列寧首先批判了物質消滅的謬論。列寧寫道: “物質正在消滅”——這是意味着我們在此以前所知道的物質界限正在消滅, 我們的認識愈更深入着; 從前看起來是絕對的、不變的、根源的那些物質特性(如不可入性、慣性、質量等等)正在消滅, 這些特性現在顯示為相對的、只是物質的某些狀態所固有的。因為物質唯一的“特性”——哲學唯物主義是與承認這個特性聯繫着的——乃是物質之作為存在於我們的意識之外的客觀的實在的特性”<sup>①</sup>。對於測不准關係的唯心解釋, 也被法國進步物理學家郎日方(P. Langevin)以及蘇聯一些先進科學工作者完全批判了。

① 列寧著“唯物主義與經驗批判主義”中譯本(人民出版社1956年版)265頁。

# 第一章 原子光譜的規律性

§ 1. 氫原子光譜 在緒論中已經提過研究原子構造的一種主要方法就是研究原子光譜。各種原子光譜均為綫譜。自十九世紀初期至十九世紀之末所累積的許多實驗數據，逐漸發現這些原子光譜譜綫的排列常有一定的規律。本章先開始研究這個早期工作中所發現的原子光譜的規律性。

我們現在知道氫原子是最簡單的原子，它只有一個電子，所以氫原子的光譜也是最簡單的光譜，因此氫原子光譜的規律性也特別明顯。圖 1 是氫原子在可見光及近紫外光區域中的發射光譜



圖 1.

圖。其中  $H_\alpha$ ,  $H_\beta$ ,  $H_\gamma$  和  $H_\delta$  四綫則在可見光區域中。由圖可見從長波方面的  $H_\alpha$  綫起，向短波方面展開，各譜綫間的距离越來越密集，但是強度却越來越小，表現出一種顯著的規律。圖 2 是以譜綫的次序  $n$  為縱坐標，以它們的頻率為橫坐標所劃成的曲綫。當  $n \rightarrow \infty$  時可以得到這條曲綫的漸近綫如虛綫所示。由這條平滑的曲綫又可看出氫原子光譜的頻率是一個正整數的函數。瑞士物理學家巴爾麥 (J. J. Balmer) 第一個找出這個函數，他找到 (1885) 氫原子光譜在可見光譜中那四條綫  $H_\alpha$ ,  $H_\beta$ ,  $H_\gamma$  和  $H_\delta$  的波長可由下

式表示:

$$\lambda = \lambda_0 \frac{n^2}{n^2 - 4} \quad (1.1)$$

式中  $n$  分别等于 3、4、5、6 四个整数,  $\lambda_0 = 3645.6 \times 10^{-8}$  厘米。这叫做巴尔麦公式。这个公式可以推用到氢原子紫外光区域的光谱中而构成一个光谱系, 这个光谱系叫做巴尔麦系。由太阳光球和日珥光谱的研究, 我们已经发现了巴尔麦系谱线 37 条。图 2 中虚线表示这个系的极限。我们现在把氢原子谱线最前面的六条的波长的观测值和根据巴尔麦公式计算所得之值列于表(I)中, 在表中可见观测值和计算值符合到如何的程度。

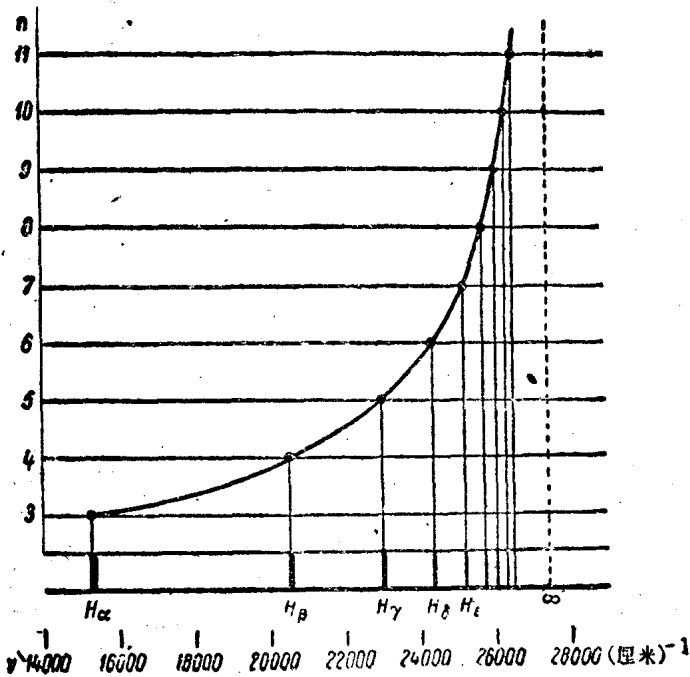


图 2. 氢光谱中谱线位置



表(I) 氫原子光譜前六綫的波長

$n$	譜綫名稱	計 算 值 (單位是 $10^{-8}$ 厘米)	觀 測 值 (單位是 $10^{-8}$ 厘米)
3	H $_{\alpha}$	6562.80	6562.81
4	H $_{\beta}$	4861.38	4861.33
5	H $_{\gamma}$	4340.51	4340.47
6	H $_{\delta}$	4101.78	4101.74
7	H $_{\epsilon}$	3970.11	3970.07
8	H $_{\zeta}$	3889.09	3889.06

現在我們介紹在光譜學中一個常用的名詞：“波數”。這是在一段單位長度（通常以厘米為單位）的波列中波的數目。在真空中，如波長也以厘米為單位，則波數為：

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} \text{厘米}^{-1} \quad (1.2)$$

如波長以 Å 為單位則有

$$\bar{\nu} = \frac{10^8}{\lambda} \text{厘米}^{-1} \quad (1.2')$$

通常用  $\nu$  表示頻率，那麼波數和頻率的關係為下式所表示：

$$\bar{\nu} = \frac{\nu}{C} \text{厘米}^{-1} \quad (1.3)$$

式中  $C$  表示光在真空中的速度。

雷德白 (J. R. Rydberg)<sup>①</sup> 曾經把巴耳麥公式改用波數表示如下：

$$\bar{\nu} = R \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right), (n=3, 4, 5, \dots) \quad (1.4)$$

$R = 109677.581 \text{ 厘米}^{-1}$ ，現在我們叫它做雷德白常數。

里茲 (W. Ritz) 注意到 (1.4) 式以及當時已經發現的碰金屬光譜各公式 (見 §3)，發現 (1908) 原子光譜譜綫的波數是由兩個項的

① 雷德白為瑞典著名光譜學家。