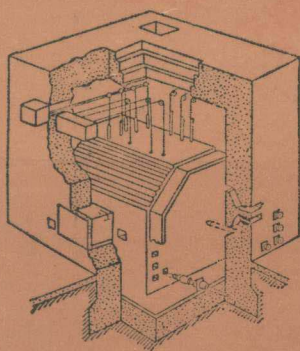


原子物理學

鄭一善編著



香港三育圖書文具公司出版

原 子 物 理 學

鄭 一 善 編 著

香 港 三 育 國 書 文 具 公 司 出 版

· 鄭一善編著 ·

原 子 物 理 學

出版發行：三育圖書文具公司

香港九龍彌敦道五八〇號G

San Yu Stationery & Publishing Co.

580G, Nathan Rd. Kowloon H. K.

印刷：達高印刷有限公司

香港鰂魚涌臨海工業大廈

一九七二年十月版

定價港幣五元五角

版權所有 · 翻印必究

目 录

总論	1
I. 原子物理学发展的概要 基本粒子	5
引言	5
1. 分子和原子学說	5
2. 电子	6
3. 原子模型	8
4. 倫琴射綫	10
5. 天然放射性和同位素 質子	12
6. 中子 人为放射現象	14
7. 宇宙綫 正电子	16
8. 介子和核子力	18
結論	19
II. 原子的核外結構	21
引言	21
1. 原子的有核模型	21
2. 綫狀光譜和氫的光譜綫系	24
3. 光譜項	29
4. 光譜項的性質	33
5. 玻尔原子模型 氫和类氫原子 光譜的性質	36
6. 原子結構理論的繼續发展	
橢圓軌道	45
7. 空間量子化	50
8. 电子的自旋 光譜双綫	54
9. 原子电子壳层的構成 門捷列夫 元素周期系	61
10. 电子壳层的建造	65
11. 倫琴射綫光譜和莫塞莱定律	74
結論	79
III. 波和粒子 量子力学的基本概念	80
引言	80
1. 德布罗意假設	81
2. 德布罗意假設的實驗証明 布喇格 方法	82
3. 电子衍射实验	88
4. 物質波	89
5. 海森伯測不准关系	91
6. 几率的概念	94
7. 薛定諤方程式的推导	96
8. 薛定諤方程式和經典哈密頓运动 方程式的比較	98
9. 解答經典波动方程式的步驟—— 一度空間內的	101
10. 薛定諤方程式对某些簡單問 題的应用	104
11. 波动力学对氫原子問題的 应用	114
結論	120
IV. 原子核	122

引言	122	14. 人工加速粒子所引起的核反应	180
(甲)天然放射性	123	15. 宇宙射线	182
1. 原子核的基本特征	123	16. 介子和自发衰变过程 宇宙线的起源	188
2. 天然放射性	128	17. 宇宙射线核过程	196
3. 位移定则和放射系	132	(丙)原子能	198
4. 观察放射性现象的方法	139	18. 原子核的结构 核力	198
5. α 蜕变	143	19. 核分裂	204
6. γ 射线谱和内变换	147	20. 星体能量的来源	208
7. β 蜕变 中微子	151	21. 原子核裂变过程的发现	210
8. 质谱仪与同位素	153	22. 铀后元素	212
(乙)原子核的蜕变	156	23. 镓和镓的发现 镓的制备	216
9. 原子核的人为的转变 核反应	156	24. 中子和铀核的相互作用	219
10. 中子的发现	161	25. 核分裂现象的解释	220
11. 正电子和人为放射性的发现	165	26. 核分裂的链式反应	222
12. 反质子	170	27. 减速剂和自续链式反应	225
13. 高能粒子加速器	172	28. 原子弹	230
(1) 高压倍加器	173	29. 轻原子核的聚变和热核反应 氢弹	231
(2) 静电加速器	173	30. 原子堆	234
(3) 回旋加速器	175	結論	237
(4) 电子加速器	178		
(5) 同步加速器 (同步稳相加速器)	179		
結語	239		
附录 I 門捷列夫元素周期系	241		
附录 II 物理常数表	242		
附录 III 同位素表	244		
附录 IV 原子核类表	246		

总 論

物質的結構如何，在自然科学的发展史中是一个很古老的問題。远在 2400 多年以前，希腊的哲学家德模克里图^①和一些其他的哲学家們早就提倡了物質結構不是連續的而是分立的學說。他們認為物質是由許多个极小的不可分割的顆粒所組成，这种顆粒被称为原子（原子的原文有不可再分的意思）。但当时的原子學說还只是一种臆測，沒有實驗的依據，直到十八世紀初期，在化学研究的基础上才建立了比較具体的原子學說。偉大的俄国自然科学家罗蒙諾索夫^②发现、并以實驗証明了物質和运动的不变性定律，以及在化学变化中物質总質量不变的定律。他还完善地发展了物質的原子动力論^{*}，証明热現象和气体扩散現象是由于原子的运动所造成。到了十九世紀，道尔頓^③（1802 年）在說明化合物系由較簡單的物質（称为元素）所組成时，在他的假說中引用了原子的概念。随后（1808 年），他又发表了倍比定律。此时，原子學說才逐漸地稳固起来。

在物理学中，原子的概念首先在克劳修斯^④、麦克斯韋^⑤和玻耳茲曼^⑥等所創立的气体分子运动論中取得了惊人的发展。不过

① Democritus, 公元前 460-370

③ J. Dalton, 1766-1844

⑤ J. C. Maxwell, 1831-1879

② M. V. Lomonosov, 1711-1765

④ R. Clausius, 1822-1888

⑥ L. Boltzmann, 1844-1906

* 依照現在的說法，應該是分子动力論

这还仅仅滯留在理論的阶段，原子和分子的真实性沒有得到公認，在当时一般人都認為任何一种元素的原子是不可再予分割的。1897 年湯姆孙^①发现了电子，这可說是原子物理学的先驅，旧时我們对原子的看法，此时才被否定，知道它是由更小的物質元所組成。到了二十世紀，原子物理学发展得很快，它已几乎成为近六十年来物理学发展的主流。由于这种科学的发展，不仅使我們对于物質結構有了較深入的了解，并且进一步还使我們認識到在研究微觀世界的客觀性質时，以往我們根据观察宏观物体所得到的直觉概念，是不适用于这样的微觀領域里的。

我們在分子物理学中，曾从經典力学和建筑在它上面的經典統計力学出发，根据观察宏观物体归納得来的机械模型去討論分子結構，解釋了許多实验現象，从而取得了很大的成就。显然，在原子物理学中，如果我們也从經典力学出发，用机械模型来討論原子結構，确是一个很自然的处理方法。可是，这样做时会导致許多不可克服的困难（和这同时，在經典电动力学和光学的发展过程中，也遇到許多同样的困难）。这些困难表現在旧时經典理論无法解釋上世紀末和本世紀初物理学中所不断发现的新現象和新实验結果。理論和事实之間既有矛盾存在，必然是理論的本身还有缺陷，因而导致理論上的改革。这种改革发生在本世紀的前二十五年中，它不但使以往我們对時間、空間、能量、質量的看法和基本粒子所遵循的因果律完全改觀，而且还进一步使我們找到了它們內在的和深入的联系。在時間和空間观念方面的改革与相对論的产生相关联，而在因果律方面的改革則与量子論和量子力学的产生相关联。量子力学的建立就是原子物理学发展的結果。可是我們

① J. J. Thomson, 1856-1940

要認識到这种改革并不意味着經典理論的廢弃，而只是变更我們对許多基本概念的理解和看法，从而明确經典物理理論的运用界限，在这个界限的范围之内，經典理論仍旧保持它完整的效用。例如，相对論否定絕對空間和絕對時間这两个形而上学的观念，給予時間和空間以新的唯物的观点，它統一了电磁現象中运动的相对性原理和力学中运动的相对性原理，同时它对于經典的牛頓力学作了一个基本上的修正。虽然这个修正有很大的革命性，但在应用到远較光速为小的实际运动物体时，結果就和牛頓力学几乎没有什么差別。又如我們在討論輻射能的吸收与放出时，按照量子力学，能量的变化只能跳变一个一定的、不連續的数值，因而我們說能級是分立的。可是当相鄰能級的差別非常小时，也可以把它們看做是連續的，因而經典力学也就是量子力学的一种极限情形。

本世紀以来，由于实验技术和装备上的进步，以及理論和实践的相互結合，整个物理学，尤其是原子物理学，获得了迅速而巨大的进展。我們在研究原子与原子核的性質和它們的結構等方面，已有了极重大的成就。現在我們不但知道原子内部有很复杂的結構，知道它决不是某种絕對簡單的物質元；我們还知道，原子的構成部分有一系列的、不同的基本粒子。这些粒子的性質不同于經典力学中的一般質点，它們具有明显的波和粒子的二象性，而且不同的基本粒子可以相互轉变。凡此种种，都迫使我們摆脱了旧时机械模型的范疇，进一步把原子学說发展成为更符合于客观实际的新理論和新看法。今后我們必須在这样的基础上去認識原子和原子核的本質。

原子物理学的主要內容是从实验和理論两方面去研究原子的結構、它內在的規律性和实际应用等問題。为研究方便起見，我們

把它划分为四个部分。首先,我們介紹基本粒子; 其次,討論原子的核外結構。接着說明波和粒子的二象性并約略地介紹量子力学的基本概念,最后討論原子核。

I. 原子物理学发展的概要 基本粒子

引 言

本章的主要内容是叙述原子物理学发展的概要。我們随着历史的发展程序去說明原子物理学的主要内容，从而認識微观世界里物质客体的本质。基本粒子是物质和能——物质的另一种形态——的最后的单位，我們的叙述也就环绕着它，以此作为重心。

在整个物理学发展史中，原子学說的发展是一个进步的、和唯物科学思潮相适应的理論。在本章中，我們希望讀者不仅能理解原子和电子的不可穷尽性；还要能进一步認識到物体的本质也是相对的，它决不是永恒不变的，这样才能建立我們的正确的科学的宇宙观。

1. 分子和原子学說

在物理学的各部門中，我們常常引用关于物质的原子結構的概念。虽然原子学說在古希腊时代早已萌芽，然而在当时还没有实验的基础。在十七世紀，胡克、^①波义耳^②和牛頓^③也都曾作出物质系由許多个不連續的質点所構成的結論，可是他們的論証都

① R. Hooke, 1635-1703

② R. Boyle, 1627-1691

③ I. Newton, 1642-1727

不够充分。到了十八世紀初期，科学家們已能对許多在那时以前所不了解的物質的性質，根据普通的力学定律，用原子学說来解釋。罗蒙諾索夫所发表的物質的原子动力論，就是这样的一个典型的例子。不过在十九世紀以前，似乎我們还没有找到支持分子或原子学說的直接証据。

道耳頓可以說是原子学說的始創者。在解釋倍比和定比定律时，他首先假設所有的元素是由許多原子所組成。他指出，化合物的形成，系由于一种元素的一个、或較一个为多的原子，和另一种元素的一个、或較一个为多的原子互相組合而成。然而他沒有能說明一个元素的分子，也能由一个或較一个为多的原子自身所組成。这个結論，直到1808年盖·呂薩克^①在考究相互作用着的气体的容积时才予以指出。到了1811年，阿伏伽德罗^②作出假設，說明在溫度与压力等同的情况之下，同容积的气体含有数目相同的分子。然而，阿伏伽德罗对分子和原子之間所指出的这样的差别，几乎在随后的四十多年內沒有能完全得到公認，以致大大地延迟了化学原子学說的发展。

到了1869年，俄国化学家門捷列夫^③发现了周期律，同时，他最先正确地提出了关于一切化学元素的原子具有同一本性的問題。这个重大的貢獻，在我們关于原子結構知識的发展史中，起了最基本的作用。

2. 电 子

对于原子本身結構的研究，严格地講还只是近六十年来的事

① L. J. Gay-Lussac, 1778-1850

② A. Avogadro, 1776-1856

③ D. E. Mendeleev, 1834-1907

情。1863年法拉第^①宣布了著名的电解定律，他首先从实验结果说明了电的颗粒性。亥姆霍兹^②指出：要是果真物质是由颗粒所组成的话，那么法拉第定律的意义，就是肯定地说明电也具有颗粒性。1874年斯东耐^③把这种基本电荷称为电子，他并约略地计算出它的电量的数值。不过这个电子所代表的假设的电量单位的数值，实际上有很大的误差，它只是现代公认值的 $\frac{1}{16}$ 。但此后电子存在的证据，却逐渐累积起来。到了1879年，克鲁克斯^④在部分抽空了的放电管中发现了阴极射线；他首先指出构成这些射线的颗粒，是一种物质粒子。汤姆孙进一步发现，这些阴极射线就是带有负电荷的电子注，它们有一定的质量，以高速沿管长移动。他还测定了电子的荷质比。与此同时，还有许多其他类似的研究，也都指出了电的颗粒性结构，可是没有能找到直接的和具有决定性的验证。自从1897年威尔孙^⑤发明了云室以后，许多学者包括汤姆孙在内，都企图去直接测定膨胀室内凝聚于离子上的水滴所带的电量。根据这些实验的结果，到1909年为止，大多数的物理学家已都认为电荷只能以电子电荷的整数倍出现。直接测定电荷的方法，首由密立根^⑥在1911年所实现。利用和密立根相类似的方法，俄国物理学家约非^⑦在1912年独立地测定了从光电效应中所放出的电子的电荷（电子电荷测定后，就可从电子荷质比的结果中，算出电子的质量，因而他们也同时测定了电子的质量）。密立根和约非的实验的重要性，在于不仅他们精密地测定了离子所带的电量，并且证明了电荷有最小单元量的存在，也就是说，他们测

① M. Faraday, 1791-1869

③ G. J. Stoney

⑤ C. T. R. Wilson, 1869-

⑦ A. F. Ioffe

② H. Helmholtz, 1821-1894

④ W. Crookes, 1832-1917

⑥ R. A. Millikan

定了电荷的基本單位——电子电荷。

3. 原子模型

自从电解现象发现后，离子的存在，早就为化学家所熟知。离子和电子的发现，初步地使关于原子的复杂結構問題有了牢固的實驗基础。許多事实无可置疑地証明原子是一个复杂的电系統。比較早的洛倫茲^①的理論是假定原子內存在着具有彈性联系电子，从此可以說明許多与光在物体內傳播有关的現象，但关于正电荷的携帶者的問題，以及原子內运动的真实性質等問題仍未解决。在二十世紀的初期，科学家提供了两种不同的关于原子結構的假說。

第一种假說是假定正电荷以恒定的体密度在一大小等于整个原子，亦即半徑約为 10^{-8} 厘米的球的範圍內分布。电子浸在这个球里，并且按照庫倫定律与球的各个体积元相互作用*。若浸在球內的只有一个电子，那么这个电子位于球的中心，在位移很小的情形下，它将在与位移成正比的力的作用下返回球心。在有若干个电子的情形下，这些电子应位于一定的对称图形的角上；并且在位移离开它自己的平衡位置为很小的情形下，也将在与位移成正比的力的作用下，返回原来的平衡位置。这样說明了原子內的彈性力的存在，因而可有簡諧振动发生。凭藉这种运动，使洛倫茲，杜魯德^②等得以創造他們的理論光学，無疑地解釋了光学中例如色散和吸收中的一部分現象。另一个好处是如此运动着的电子，依照經典电动力学，它只发射出一种頻率的光，从而解釋了綫光譜的

① H. A. Lorentz, 1853-1928

② P. Drude

* 这个原子模型习惯上称为湯姆孙模型

成因。

但这个原子模型帶有明显的人为性質，因为在这个模型中正电荷和負电荷具有不同的性質：負电荷以單个的顆粒——电子存在着，而正电荷則在很大的体积內以連續的体电荷密度分布着。同时，为了要說明为什么正电荷在庫倫斥力作用下不致飞散，必須假定它們不相互作用（这和电动力学的要求相違反），或者假定除庫倫力外，还存在着某些其他类型的力，而这些力足足以抵銷庫倫力，否則它就不能自圓其說。

第二种假設認為原子的結構与太阳系的結構相似：原子中心有一个帶正电的核，电子圍繞着这个核旋轉，核的大小和整个原子相比較是很小的，这种模型叫做**原子的核模型***。

原子的核模型最先在放射性物質所发射出的 α 粒子穿过金属箔时的散射實驗中获得了驗證。實驗結果，指出絕大多數的 α 粒子在穿过金属箔时或者直綫地通过；或者和原来路程作成一个小角度散射开来，而只有极少数的 α 粒子以很大的角度偏离原来的直綫路程。这个結果导致这样的結論：原子中心具有一个体积很小的帶正电的核。这个核称为**原子核**，它的直徑約小于 10^{-12} 厘米。在原子核的周圍，有很多电子環繞着它旋轉，电子的数目恰好等于原子的序数。原子核所帶的正电荷和外面環繞着它的所有电子所帶的負电荷的总和相等而符号相反。这样，使我們从整个的原子看来，它所帶的电量是中性的。原子的直徑大約是 10^{-8} 厘米。

但是，这样的核模型和經典电动力学之間有矛盾存在。繞核旋轉的电子是以加速度（向心加速度）在运动着。根据經典电动力

* 这个原子模型习惯上称为盧瑟福-玻尔模型

學，加速運動的电子必然要發射出電磁波，因而也就要損失能量。它的速度將逐漸減小，並且电子將逐漸趨近于原子核，最后必然要落到核上面去。從另一方面看來，电子繞核旋轉的頻率，應該連續地改變着，因而應有連續光譜發出，決不會有綫光譜呈現。這兩個結論和實驗結果之間存在着尖銳的矛盾，因為實際上原子是一個非常穩定的結合體，並且發射出表征它自己的綫狀光譜。

1912年玻爾^①提出了原子結構的量子理論，同時他指出，在原子內部的運動過程上，經典物理已不再適用，他大膽地提出了三個假設，把原子的核模型和量子化概念結合起來，得到了關於構成原子光譜的理論上的解釋。但是在光譜學和原子物理學中還有許多現象單單憑量子論還是無從解釋的，而且也不能用模型的更好選擇來避免；關於量子解釋與經典力學間的矛盾，則更無法解決。直到1926年量子力學的整個系統建立起來之後，它解決了許多量子論所不能解決的問題，這其間才取得了統一的看法。

4. 倫琴射綫

1895年倫琴^②在進行陰極射綫實驗時，發現了一種貫穿本領極強的、人眼所看不見的、並能使許多固體（亞鉛氟化鋇、閃鋅礦等）發射熒光，使照相底片感光 and 使空氣電離的射綫。由於在當時還不知道這種射綫的性質，倫琴稱之為X射綫，現在通稱為倫琴射綫。

倫琴射綫是當陰極射綫投射到玻璃管壁或特置的對陰極時產生的。倫琴射綫的貫穿本領，也就是它的硬度，隨着激發這種射綫的電壓的升高而增大。不同的物質對這種射綫有不同的透明度。物

① N. Bohr, 1885-

② W. K. Röntgen, 1845—1923

質的原子的原子量愈高，對於這種射線的吸收本領愈大，因而它的不透明度，也愈大。就在這樣的基礎上我們利用它來攝取骨骼和病變部分的倫琴射線照相。因為骨骼和病變部分的原子的原子量，一般都大于四周血肉的原子的原子量，因而能現出它們的明顯的陰影。

進一步的研究，發現倫琴射線具有偏振（1905年巴克拿^①所發現）、干涉（這種實驗首由俄國物理學家林尼克^②所做成）、衍射（1912年勞厄^③所發現）、反射（1922年康普頓^④加以証實）和折射（1922年西格巴^⑤所發現）等現象。幾乎普通光的波動特征它都具備，因而我們知道倫琴射線也是電磁波的一種，唯一的差別在於它的波長較短而已。

可是還有一些其他的實驗，例如康普頓倫琴射線散射實驗等，使我們對於這種射線得出和波動觀點完全相反的結論，這裡說明倫琴射線在散射過程中好象是一個具有一定能量和動量的顆粒。它在和電子碰撞時遵循能量和動量守恆定律，正和彈性球的碰撞情況相同。我們在光學中*曾經說明愛因斯坦推廣了普朗克的輻射能量量子假設，引用光子（光子）觀點，完滿地解釋了光電效應的實驗定律。在那裡，我們只証明了因光子的作用所產生的光和原子之間的能量交換關係；在這裡，從散射倫琴射線的頻率改變定律中，我們不但又一次地証實了光子觀點的正確性，並且推前了一步，還驗證了光子自身的顆粒性結構。

① C. G. Barkla, 1877—1944

② V. P. Linik

③ M. von Laue

④ A. H. Compton

⑤ M. Siegbahn

* 參看“物理學*光學之部”

如所周知,倫琴射綫不仅在医学上取得了重要的应用,近年来在工业上已广泛地用来檢查材料的缺陷和金属的性能。倫琴射綫結構分析在結晶学和技术上都有极广泛的应用;尤其在技术上,它是研究金属(鋼、有色金属、合金等)特性的主要方法。

在原子物理学中,倫琴射綫光譜的研究,使我們能准确地决定所有的元素在周期系中的位置——元素的原子序数。近年来倫琴光譜分析方法在求取阿伏伽德罗常数、电子电荷以及电子荷質比的最准确的数值时,也获得了重大的成就。显然,它对于原子結構理論的发展,产生了很大的作用。

5. 天然放射性和同位素 質子

原子物理学发展的次一阶段是研究原子核本身的結構問題,这一部門的學問称为原子核物理学。討論原子核外結構的學問則称为原子物理学。

1896年法国物理学家貝克勒尔^①在研究鈾鹽时发现它們放射能使照相底片感光的、人眼所不能見的射綫。在磁場中研究这种射綫时可以証明它們是由三个不同的成分所組成。其中一个成分在磁場中的偏轉与帶正电的粒子流的偏轉相同,这个成分叫做 α 射綫。第二个成分的偏轉与帶負电的粒子流的偏轉相同,而第三个成分完全不发生偏轉。后述两种成分分別叫做 β 射綫和 γ 射綫。两年后,居里夫人和她的丈夫居里^②发现了两种新的元素,鐳和釷,这两种元素也具有放射輻射的能力,它們所产生的輻射和鈾的輻射相似,不过比它还要强得多。此外,他們还发现以前所知

① H. Becquerel, 1852-1908

② P. Curie, 1859-1906; M. Sklodowska Curie, 1867-1934