

中國科學社主編

理科學習叢書

物理学★原子物理学之部

鄭一善編著



上海科学技术出版社

中國科學社主編

理 科 學 習 叢 書

# 物理学★原子物理学之部

鄭一善編著

上海科学技术出版社

## 内 容 提 要

本書为中国科学社主編的“理科学習叢書”物理学——原子物理学之部，內容包括原子物理学发展的概要、基本粒子、原子的核外結構、波和粒子、量子力学的基本概念和原子核等等。

本書主要内容系依照高等教育部 1955 年再度修訂的綜合性大学普通物理学教学大綱而編写，頗适合大專学生作为課外讀物之用，亦可供中級技术干部或修物理学时作为自学用書。

理科学習叢書  
物理学★原子物理学之部  
第一卷 編

上海科学技术出版社出版

(上海南京西路 2004 号)

上海市书刊出版业营业許可証出 093 号

上海南印刷五厂印刷 新华書店上海发行所总經售

开本 787×1092 1/32 印张 25/27 1 字數 112,000

(版科技版印 6,500 册)

1959年3月第1版 1959年3月第1版第1次印刷

印数 1—8,000

## 理科學習叢書總序

在學習蘇聯先進科學技術來進行社會主義建設中，基礎科學的學習佔有極重要的地位。然而在這方面的適當學習資料却極感缺乏。翻譯過來的蘇聯教材，詳備廣博，即使蘇聯的大學生，依照莫斯科大學校長彼得羅夫斯基院士的話，也感到過於厚重，而舊時英美方式的一套書籍，當然也不適合於今天的我們來應用。現在需要有基礎科學方面一系列的精簡扼要的學習資料，不但對大專學生來說，可以學得少一些又學得好一些；尤其對在職幹部，使他們在業餘時間，一卷在手，可以“無師自通”地學到了蘇聯基礎科學的精義。

爲了配合這個需要，我們邀請有經驗的教授專家們來編撰有系統的基礎科學學習資料，定名爲“理科學習叢書”。希望能將蘇聯科學的重要環節精簡突出，學習他們掌握唯物辯證法的規律來理解自然現象的基本內容，從而能夠結合我國的實際情況來從事社會主義建設。

現在先從物理學方面着手，因爲物理學的基礎知識不僅是大專學生必須通曉，而且也是基本建設幹部所必須首先掌握的。這樣深入淺出的、有系統的、簡明扼要的物理學學習叢書，是我們可以初步提供出來的微末貢獻。我們儘管抱有服務的宏願，可是限於人力物力，現在祇能盡一些綿薄的力量，先編撰這一種出來，預擬在一二二年內把物理學各部分的叢書出齊。希望社會各界予以關切支持，我們當盡力所及，來考慮繼續編撰其他門類的理科學習叢書。

編者

一九五五年五月

# 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. 綫狀光譜和氢的光譜綫系                 | 24  |
| 3. 光譜項                         | 29  |
| 4. 光譜項的性質                      | 33  |
| 5. 玻尔原子模型 氢和类氢原子<br>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<br>元素周期系     | 61  |
| 10. 电子壳层的建造                    | 65  |
| 11. 倫琴射綫光譜和 <u>莫塞莱定律</u>       | 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<br>方法       | 82  |
| 3. 电子衍射实验                      | 88  |
| 4. 物質波                         | 89  |
| 5. 海森伯 <u>不确定关系</u>            | 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<br>方程式的比較    | 98  |
| 9. 解答經典波动方程式的步骤——<br>一维空間內的    | 101 |
| 10. 薛定諤方程式对某些簡單問<br>題的应用       | 104 |
| 11. 波动力学对 <u>氢原子問題</u> 的<br>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  |     |
| (甲)天然放射性            | 123 | 反应               | 180 |
| 1. 原子核的基本特征         | 128 | 15. 宇宙射线         | 182 |
| 2. 天然放射性            | 128 | 16. 介子和自发衰变过程    | 宇宙  |
| 3. 位移定则和放射系         | 132 | 线的起源             | 188 |
| 4. 观察放射性现象的方法       | 139 | 17. 宇宙射线过程       | 196 |
| 5. $\alpha$ 蜕变      | 143 | (丙)原子能           | 198 |
| 6. $\gamma$ 射线谱和内变换 | 147 | 18. 原子核的结构       | 核力  |
| 7. $\beta$ 蜕变 中微子   | 151 | 19. 核分裂          | 204 |
| 8. 质谱仪与同位素          | 153 | 20. 星体能量的来源      | 208 |
| (乙)原子核的蜕变           | 156 | 21. 原子核裂变过程的发现   | 210 |
| 9. 原子核的人为的转变 核反应    | 156 | 22. 铀后元素         | 212 |
| 10. 中子的发现           | 161 | 23. 镭和钋的发现 钋的制备  | 216 |
| 11. 正电子和人为放射性的发现    | 165 | 24. 中子和铀核的相互作用   | 219 |
| 12. 反质子             | 170 | 25. 核分裂现象的解释     | 220 |
| 13. 高能粒子加速器         | 172 | 26. 核分裂的链式反应     | 222 |
| (1) 高压倍加器           | 173 | 27. 减速剂和自链式反应    | 225 |
| (2) 静电加速器           | 173 | 28. 原子弹          | 230 |
| (3) 回旋加速器           | 175 | 29. 轻原子核的聚变和热核反应 |     |
| (4) 电子加速器           | 178 | 氢弹               | 231 |
| (5) 同步加速器 (同步稳相     |     | 30. 原子堆          | 234 |
| 加速器)                | 179 | 结论               | 237 |
| 结语                  | 241 |                  |     |
| 附录 I 门捷列夫元素周期系      | 243 |                  |     |
| 附录 II 物理常数表         | 244 |                  |     |
| 附录 III 同位素表         | 246 |                  |     |
| 附录 IV 原子核类表         | 248 |                  |     |

## 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<sup>①</sup>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义)。但当时的原子學說还只是一种臆測，沒有实验的依据，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<sup>②</sup>发现，并以实验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<sup>③</sup>(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，原子學說才逐漸地穩固起来。

在物理学中，原子的概念首先在克勞修斯<sup>④</sup>、麦克斯韋<sup>⑤</sup>和玻耳茲曼<sup>⑥</sup>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

② J. Dalton, 1766-1844

③ J. C. Maxwell, 1831-1879

\* 依照現在的說法，應該是分子动力論

④ M. B. Ломоносов, 1711-1765

⑤ R. Clausius, 1822-1888

⑥ L. Boltzmann, 1844-1906

这还仅仅停留在理論的阶段，原子和分子的真实性的沒有得到公認。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<sup>①</sup>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覺概念，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）。这些困难表现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

<sup>①</sup> J. J. Thomson, 1856-1940



要認識到這種改革並不意味着經典理論的廢棄，而只是變更我們對許多基本概念的理解和看法，從而明確經典物理理論的運用界限，在這個界限的範圍之內，經典理論仍舊保持它完整的效用。例如，相對論否定絕對空間和絕對時間這兩個形而上學的观念，給予時間和空間以新的唯物的觀點，它統一了電磁現象中運動的相對性原理和力學中運動的相對性原理，同時它對於經典的牛頓力學作了一個基本的修正。雖然這個修正有很大的革命性，但在應用到遠較光速為小的實際運動物體時，結果就和牛頓力學幾乎沒有什麼差別。又如我們在討論輻射能的吸收與放出時，按照量子力學，能量的變化只能跳變一個一定的、不連續的數值，因而我們說能級是分立的。可是當相鄰能級的差別非常小時，也可以把它們看做是連續的，因而經典力學也就是量子力學的一種極限情形。

本世紀以來，由於實驗技術和裝備上的進步，以及理論和實踐的相互結合，整個物理學，尤其是原子物理學，獲得了迅速而巨大的進展。我們在研究原子與原子核的性質和它們的結構等方面，已有了極重大的成就。現在我們不但知道原子內部有很複雜的結構，知道它決不是某種絕對簡單的物質元；我們還知道，原子的構成部分有一系列的、不同的基本粒子。這些粒子的性質不同於經典力學中的一般質點，它們具有明顯的波和粒子的二象性，而且不同的基本粒子可以相互轉變。凡此種種，都迫使我們擺脫了舊時機械模型的範疇，進一步把原子學說發展成為更符合於客觀實際的新理論和新看法。今後我們必須在這樣的基礎上去認識原子和原子核的本質。

原子物理學的主要內容是從實驗和理論兩方面去研究原子的結構、它內在的規律性和實際應用等問題。為研究方便起見，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。我们随着历史的发展程序去说明原子物理学的主要内容，从而认识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，我们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，原子学说的发展是一个进步的、和唯物科学思潮相适应的理论。在本章中，我们希望读者不仅能理解原子和电子的不可穷尽性；还要能进一步认识到物体的本质也是相对的，它决不是永恒不变的，这样才能建立我们的正确的马克思列宁主义的宇宙观。

### 1. 分子和原子学说

在物理学的各部门中，我们常常引用关于物质的原子结构的观念。虽然原子学说在古希腊时代早已萌芽，然而在当时还没有实验的基础。在十七世纪，胡克、波义耳<sup>②</sup>和牛顿<sup>③</sup>也都曾作出物质系由许多个不连续的质点所构成的结论，可是他们的论证都

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別，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事

① L. J. Gay-Lussac, 1778-1850

② A. Avogadro, 1776-1856

③ Д. Е. Менделеев, 1834-1907

情。1868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年威尔逊⑤发明了云雾室以后，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

② G. J. Stoney

③ C. T. R. Wilson, 1869-

④ A. Ф. Крукс

⑤ H. Helmholtz, 1821-1894

⑥ W. Crookes, 1832-1917

⑦ R. A. Millikan

定了电荷的基本单位——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结构问题有了牢固的实验基础。许多事实无可置疑地证明原子是一个复杂的电系统。比较早的洛伦兹<sup>①</sup>的理论是假定原子内存在着具有弹性联系的电子，从此可以说明许多与光在物体内传播有关的现象，但关于正电荷的携带者的问题，以及原子内运动的真实性质等问题仍未解决。在二十世纪的初期，科学家提供了两种不同的关于原子结构的假说。

第一种假说是假定正电荷以恒定的体密度在一大小等于整个原子，亦即半径约为  $10^{-8}$  厘米的球的范围内分布。电子浸在这个球里，并且按照库伦定律与球的各个体积元相互作用\*。若浸在球内的只有一个电子，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。这样说明了原子内的弹性力的存在，因而可有简谐振动发生。凭藉这种运动，使洛伦兹、杜鲁德<sup>②</sup>等得以创造他们的理论光学，无疑地解释了光学中例如色散和吸收中的一部分现象。另一个好处是如此运动着的电子，依照经典电动力学，它只发射出一种频率的光，从而解释了线光谱的

① H. A. Lorentz, 1853-1928

② P. Drude

\* 这个原子模型习惯上称为汤姆孙模型

## 成因

但这个原子模型带有明显的人为性质，因为在这个模型中正电荷和负电荷具有不同的性质：负电荷以单个的颗粒——电子存在着；而正电荷则在很大的体积内以连续的体电荷密度分布着。同时，为了要说明为什么正电荷在库仑斥力作用下不致飞散，必须假定它们不相互作用（这和电动力学的要求相违反），或者假定除库仑力外，还存在着某些其他类型的力，而这些力适足以抵消库仑力，否则它就不能自圆其说。

第二种假设认为原子的结构与太阳系的结构相似：原子中心有一个带正电的核，电子围绕这个核旋转，核的大小和整个原子相比较是很小的，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质所发射出的 $\alpha$ 粒子穿过金属箔时的散射实验中获得验证。实验结果，指出绝大多数的 $\alpha$ 粒子在穿过金属箔时或者直线地通过；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 $\alpha$ 粒子以很大的角度偏离原来的直线路程。这个结果导致这样的结论：原子中心具有一个体积很小的带正电的核。这个核称为原子核，它的直径约小于 $10^{-12}$ 厘米。在原子核的周围，有很多电子环绕着它旋转，电子的数目恰好等于原子的序数。原子核所带的正电荷和外面环绕着它的所有电子所带的负电荷的总和相等而符号相反。这样，使我们从整个的原子看来，它所带的电量是中性的。原子的直径大约是 $10^{-8}$ 厘米。

但是，这样的核模型和经典电动力学之间有矛盾存在。绕核旋转的电子是以加速度（向心加速度）在运动着。根据经典电动力

\* 这个原子模型习惯上称为卢瑟福-玻尔模型

学, 加速运动的电子必然要发射出电磁波, 因而也就要损失能量。它的速度将逐渐减小, 并且电子将逐渐趋近于原子核, 最后必然要落到核上面去。从另一方面看来, 电子绕核旋转的频率, 应该连续地改变着, 因而应有连续光谱发出, 决不会有线光谱呈现。这两个结论和实验结果之间存在着尖锐的矛盾, 因为实际上原子是一个非常稳定的结合体, 并且发射出表征它自己的线状光谱。

1912年玻尔<sup>①</sup>提出了原子结构的量子理论, 同时他指出, 在原子内部的运动过程上, 经典物理已不再适用, 他大胆地提出了三个假设, 把原子的核模型和量子化概念结合起来, 得到了关于构成原子光谱的理论上的解释。但是在光谱学和原子物理学中还有许多现象单单凭量子论还是无从解释的, 而且也不能用模型的更好选择来避免; 关于量子解释与经典力学间的矛盾, 则更无法解决。直到1926年量子力学的整个系统建立起来之后, 它解决了许多量子论所不能解决的问题, 这期间才取得了统一的想法。

#### 4. 伦琴射线

1895年伦琴<sup>②</sup>在进行阴极射线实验时, 发现了一种贯穿本领极强的、人眼所看不见的、并能使许多固体(亚铂氰化银、閃鋅矿等)发射荧光, 使照相底片感光 and 使空气电离的射线。由于在当时还不知道这种射线的性质, 伦琴称之为X射线, 现在通称为伦琴射线。

伦琴射线是当阴极射线投射到玻璃管壁或特置的对阴极时产生的。伦琴射线的贯穿本领, 也就是它的硬度, 随着激发这种射线的电压的升高而增大。不同的物质对这种射线有不同的透明度。物

① N. Bohr, 1885-

② W. K. Röntgen, 1845—1923



質的原子的原子量愈高，对于这种射綫的吸收本领愈大，因而它的不透明度，也愈大。就在这样的基础上我們利用它来攝取骨骼和病变部分的倫琴射綫照相。因为骨骼和病变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显的阴影。

进一步的研究，发现倫琴射綫具有偏振（1905年巴克拿<sup>①</sup>所发现）、干涉（这种实验首由俄国物理学家林尼克<sup>②</sup>所做成）、衍射（1912年劳厄<sup>③</sup>所发现）、反射（1922年康普頓<sup>④</sup>加以証实）和折射（1922年西格巴<sup>⑤</sup>所发现）等現象。几乎普通光的波动特征它都具备，因而我們知道倫琴射綫也是电磁波的一种，唯一的差别在于它的波長較短而已。

可是还有一些其他的实验，例如康普頓倫琴射綫散射实验等，使我們对于这种射綫得出和波动观点完全相反的結論，这里說明倫琴射綫在散射过程中好象是一个具有一定能量和动量的顆粒。它在和电子碰撞时遵循能量和动量守恒定律。正和彈性球的碰撞情况相同。我們在光学中\*曾經說明爱因斯坦推广了普朗克的輻射能量子假設，引用光量子（光子）观点，完滿地解釋了光电效应的实验定律。在那里，我們只証明了因光子的作用所产生的光和原子之間的能量交换关系；在这里，从散射倫琴射綫的頻率改变定律中，我們不但又一次地証实了光子观点的正确性，并且推前了一步，还驗証了光子自身的顆粒性結構。

① C. G. Barkla, 1877—1944

② В. П. ЛЕНИК

③ M. von Laue

④ A. H. Compton

⑤ M. Siegbahn.

\* 参看“物理学·光学之部”