
原子物理学

(第二版)

郑一善 编著

上海科学技术出版社

原子物理学

(第二版)

郑一善 编著

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本书原为“理科学习丛书”物理学——原子物理学之部,在第二版修訂时改为现名。内容包括原子物理学发展的概要、基本粒子、原子的核外结构、波和粒子、量子力学的基本概念和原子核等。这次修訂改写了宇宙射线、介子和奇异粒子及宇宙线的起源等三节,以及附录。

本书适合大专学生作为課外讀物之用,亦可供中級技术干部进修物理学时作为自学用书。

原 子 物 理 学

(第二版)

郑一善 編 著

上海科学技术出版社出版 (上海瑞金二路 450 号)

上海市书刊出版业营业许可証出 003 号

商务印书館上海厂印刷 新华书店上海发行所发行

开本 850×1156 1/32 印张 7 16/32 插版字数 197,000

(原科技版印 6,500 册 1957 年 7 月第 1 版)

1959 年 3 月新 1 版印 8,000 册

1965 年 5 月第 2 版 1965 年 5 月第 1 次印刷

印数 1—3,500

統一书号 13119·86 定价(科六) 1.10 元

序

在辯証唯物主义观点上理解自然現象的本质，提高科学技术的理論水平，从而結合我国实际情况来进行社会主义的建設中，基础学科的学习占有极重要的地位。編写本书的目的就是想在这方面提供适当的学习資料。本书內容着重于介紹原子物理学的基础知識，并尽力采取深入浅出、精簡扼要的編写方式，这样不但对大专学生來說，可以学得必要的知識；尤其对在职干部，使他們在业余时间，可以通过自学得到这門学科的基本知識。

本书初版在1957年刊行，原名“理科学习丛书、物理学原子物理学之部”。嗣后在1958及1959年續有增印，但1960年后未再重印。近年来鉴于广大讀者在学习上的需要，而书中部分内容已稍嫌陈旧，因而在不改变原有体系的原則下全面地进行了修訂，特別对宇宙射綫，介子及奇异粒子等节已全部加以重写，以适应目前在这些方面的发展情况。此外，书后附录亦已全部更換新的数据。又因过去組編的理科学习丛书未能出齐，故本书在再版后改名为“原子物理学”作为单行本刊行。

在再版增訂过程中蒙上海科学技术出版社惠予协作，除由該社編輯同志对全书作了文字上的修改外，插图亦經重新繪制，使本书增色不少，謹此致謝。

郑一善 1963年11月

目 录

序

总論	1
----	---

I. 原子物理学发展的概要 基本粒子

引言	4	5. 天然放射性和同位素 质子	10
1. 分子和原子学说	4	6. 中子 人为放射现象	12
2. 电子	5	7. 宇宙线 正电子	13
3. 原子模型	6	8. 介子和核子力	14
4. 伦琴射线	8	結論	15

II. 原子的核外结构

引言	17	椭圆轨道	38
1. 原子的有核模型	17	7. 空间量子化	43
2. 线状光谱和氢的光谱线系	20	8. 电子的自旋 光谱双线	46
3. 光谱项	24	9. 原子电子壳层的构成 门捷列夫元素周期系	52
4. 光谱项的性质	27	10. 电子壳层的构成	56
5. 玻尔原子模型 氢和类氢离子光谱的性质	31	11. 伦琴射线光谱和莫塞莱定律	65
6. 原子结构理论的继续发展		結論	70

III. 波和粒子 量子力学的基本概念

引言	71	8. 薛定谔方程和经典哈密顿运动方程的比较	87
1. 德布罗意假设	71	9. 解经典波动方程的步骤——一维空间内的	89
2. 德布罗意假设的实验证明 布喇格方法	73	10. 薛定谔方程对某些简单问题的应用	91
3. 电子衍射实验	77	11. 波动力学对氢原子问题的应用	100
4. 物质波	79	結論	106
5. 海森伯测不准关系	80		
6. 几率的概念	83		
7. 薛定谔方程的建立	84		

IV. 原子核108

引言.....	108	速器).....	157
甲、天然放射性.....	109	14. 人工加速粒子所引起的核反应	158
1. 原子核的基本特征.....	109	15. 宇宙射线.....	162
2. 天然放射性.....	113	16. 介子.....	166
3. 位移定则和放射系.....	117	17. 奇异粒子 宇宙线的起源.....	173
4. 观察放射性现象的方法.....	122	丙、原子能.....	177
5. α 蜕变.....	125	18. 原子核的结构 核力.....	177
6. γ 射线谱和内变换.....	129	19. 核分裂.....	182
7. β 蜕变 中微子.....	132	20. 星体能量的来源.....	186
8. 质谱仪与同位素.....	134	21. 原子核裂变过程的发现.....	188
乙、原子核的蜕变.....	137	22. 超铀元素.....	189
9. 原子核的人为的转变 核反应	137	23. 铀和钍的发现 它们的制备.....	193
10. 中子的发现.....	142	24. 中子和铀核的相互作用.....	196
11. 正电子和人为放射性的发现.....	145	25. 核分裂现象的解释.....	197
12. 反质子.....	149	26. 核分裂的链式反应.....	199
13. 高能粒子加速器.....	151	27. 减速剂和自续链式反应.....	201
(1) 高压倍加器.....	152	28. 原子弹.....	205
(2) 静电加速器.....	152	29. 轻原子核的聚变和热核反应	
(3) 回旋加速器.....	154	氢弹.....	206
(4) 电子加速器.....	156	30. 原子核反应堆.....	208
(5) 同步加速器(同步稳相加		结论.....	211
結語.....	213		
附录 I 門捷列夫元素周期系.....	215		
附录 II 物理常数表.....	216		
附录 III 一些放射性同位素表.....	219		
附录 IV 原子核素表.....	221		

总 論

物质的结构如何，在自然科学的发展史中是一个很古老的问题。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们早就提倡了物质结构不是连续的而是分立的学说。他们认为物质是由许多个极小的不可分割的颗粒所组成，这种颗粒被称为**原子**（原子的原文有“不可再分”的意义）。但当时的原子学说还只是一种臆测，没有实验的依据，直到十八世纪初期，在化学研究的基础上才建立了比较具体的原子学说。俄国的自然科学家罗蒙诺索夫^②发现、并以实验证明了物质和运动的不变性定律，以及在化学变化中物质总质量不变的定律。他还完善地发展了物质的原子动力论^{*}，证明热现象和气体扩散现象是由于原子的运动所造成。到了十九世纪，道尔顿^③（1802 年）在说明化合物系由较简单的物质（称为**元素**）所组成时，在他的假说中引用了原子的概念。随后（1808 年），他又发表了倍比定律。此时，原子学说才逐渐地稳固起来。

在物理学中，原子的概念首先在克劳修斯^④、麦克斯韦^⑤和玻耳兹曼^⑥等所创立的气体分子运动论中取得了很大的发展。不过这只是处于理论阶段，原子和分子的真实性的还没有得到公认，在当时一般人都认为任何一种元素的原子是不可再予分割的。1897 年汤姆孙^⑦发现了**电子**，旧时人们对原子的看法才被否定，知道它是由更小的物质元所组成的，而原子物理学即由此创生。到了二

① Democritus, 公元前 460~370.

② М. В. Ломоносов, 1711~1765.

③ J. Dalton, 1766~1844.

④ R. Clausius, 1822~1888.

⑤ J. C. Maxwell, 1831~1879.

⑥ L. Boltzmann, 1844~1906.

⑦ J. J. Thomson, 1856~1940.

* 依照现在的说法，应该是分子动力论。

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，不仅使我們对于物质结构有了較深入的了解，并且进一步使我們認識到在研究微观世界的客观性质时，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观領域里的。

我們在分子物理学中，曾从經典力学和經典統計力学出发，根据观察宏观物体归納得来的机械模型去討論分子结构，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结构，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、质量的看法和基本粒子所遵循的因果律完全改观，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，在这个界限之內，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，同时它对子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发放时，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

邻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质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內部有很复杂的結構,而且知道它决不是某种絕對简单的物质元,而是由一系列的、不同的基本粒子所构成。这些粒子的性质不同于經典力学中的一般质点,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畴,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质。

原子物理学的主要内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馬克思列宁主义的宇宙观。

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质点所构成的結論，可是他們的論証都不够充分。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质的性质，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质的原子动力論，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

① R. Hooke, 1635~1703.

② R. Boyle, 1627~1691.

③ I. Newton, 1642~1727.

时,他首先假设所有的元素是由许多原子所组成。他指出,化合物系由一种元素的一个、或较一个为多的原子,和另一种元素的一个、或较一个为多的原子互相组合而成。然而他没有能说明一个元素的分子,也能由一个或较一个为多的原子自身所组成。这个结论,直到1808年盖·吕萨克^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作出假设,说明在温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间所指出的这样的差别,几乎在随后的四十多年内没有能完全得到公认,以致大大地延迟了化学原子学说的的发展。

到了1869年,门捷列夫^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问题。这个重大的贡献,在我们关于原子结构知识的发展史中,起了最基本的作用。

2. 电 子

对于原子本身结构的研究,严格地讲还只是近六十年来事情。1863年法拉第^④宣布了著名的电解定律,他首先从实验结果说明了电的粒子性。亥姆霍兹^⑤指出:要是果真物质是由微粒所组成的话,那么法拉第定律的意义,就是肯定地说明电也具有粒子性。1874年斯东耐^⑥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^⑦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微粒,是一种物质粒子。汤姆孙进一步发现,这些阴极射线就是带

① L. J. Gay-Lussac, 1778~1850.

② A. Avogadro, 1776~1856.

③ Д. И. Менделеев, 1834~1907.

④ M. Faraday, 1791~1867.

⑤ H. Helmholtz, 1821~1894.

⑥ G. J. Stoney, 1826~1911.

⑦ W. Crookes, 1832~1919.

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，也都指出了电的粒子结构，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^①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^②在1911年所实现。利用和密立根相类似的方法，约非^③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^④的理论是假定原子内存在着具有弹性联系电子，从此可以说明许多与光在物体内传播有关的现象，但关于正电荷的载体的问题，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，并且按照库仑定律与球的各个体积元相互作用*。若浸在球

① C. T. R. Wilson, 1869~1959.

② R. A. Millikan, 1868~1953.

③ А. Ф. Иоффе, 1889~1969.

④ H. A. Lorentz, 1853~1928.

* 这个原子模型习惯上称为汤姆孙模型。

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。这样说明了原子內的彈性力的存在,因而可有簡諧振动发生。凭借这种运动,使洛倫茲,杜魯德^①等得以創造他們的理論光学,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負电荷具有不同的性质:負电荷以单粒子——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,而这些力适足以抵銷庫倫力,否則它就不能自圓其說。

第二种假設认为原子的結構与太阳系的結構相似:原子中心有一个带正电的核,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质所发射出的 α 粒子穿过金属箔时的散射实驗中获得了驗證。实驗結果指出,絕大多數的 α 粒子在穿过金属箔时,或者直綫地通过,或者和原来路程成一個小的角度散射开来,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带正电的核。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,有很多电子圍繞着它旋轉,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圍繞着它的所

① P. Drude, 1863~1906.

* 这个原子模型习惯上称为卢瑟福-玻尔模型。

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^①提出了原子结构的量子理论，同时他指出，对于原子内部的运动过程，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，而且也不能借助于选择更好的模型来解释；量子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，这时才取得了统一看法。

4. 伦琴射线

1895 年伦琴^②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（亚铂氰化钡、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。

① N. Bohr, 1885~1962.

② W. K. Röntgen, 1845~1923.

物质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摄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^①所发现)、干涉(这种实验由林尼克^②首先做成)、衍射(1912年劳厄^③所发现)、反射(1922年康普頓^④加以証实)和折射(1922年西格巴^⑤所发现)等现象。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长較短而已。

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粒子。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換关系;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,还驗證了光子自身的粒子性結構。

如所周知,倫琴射綫不仅在医学上得到重要的应用,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

① C. G. Barkla, 1877~1944.

② В. И. Лэнг.

③ M. von Laue, 1879~

④ A. H. Compton, 1892~1961.

⑤ M. Siegbahn, 1886~

光谱分析方法在求取阿伏伽德罗常数、电子电荷以及电子荷质比的最准确的数值时,也获得了重大的成就。显然,它对于原子结构理论的发展,产生了很大的作用。

5. 天然放射性和同位素 质子

原子物理学发展的次一阶段是研究原子核本身的结构问题,称为原子核物理学。而讨论原子核外结构的则称为原子物理学。

1896年法国物理学家贝克勒耳^①在研究铀盐时发现它们放射能使照相底片感光的、人眼所不能见的射线。在磁场中研究这种射线时可以证明它们是由三个不同的成分所组成。其中一个成分在磁场中的偏转与带正电的粒子流的偏转相同,这个成分叫做 α 射线。第二个成分的偏转与带负电的粒子流的偏转相同,而第三个成分完全不发生偏转。后述两种成分分别叫做 β 射线和 γ 射线。两年后,居里夫人和她的丈夫居里^②发现了两种新的元素,镭和钋,这两种元素也具有放射辐射的能力,它们所产生的辐射和铀的辐射相似,不过比它还要强得多。此外,他们还发现以前所知道的元素钍也具有这样的放射性。我们称这种能自发地发射射线的元素为放射性元素,而称这种放射现象为天然放射现象。天然放射现象的产生,是由于在放射性元素的原子内,含有一个不稳定的原子核,它在放射 α 、 β 或 γ 射线后蜕变为另一种比较稳定的原子核。不仅如此,进一步的考究,我们发现原子核在蜕变过程中还有其他各种不同的粒子放出:其中有分裂为两个差不多等重的原子核的,也有分裂为三个四个的。所有这些事实,无非告诉我们原子核本身的结构也是很复杂的。

既然负电荷都是电子电荷的整数倍,那么人们自然会联想到也许正电荷也是某种正的基本单元电量的整数倍。鉴于氢原子从整个看来是中性的,所以氢核上的正电荷在数值上必与电子电荷

① H. Becquerel, 1852~1908.

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

相等，因而很容易使人們联想到氦原子核上的电荷也許就是基本的单元正电荷。要是所有的原子核果真都由氦原子核組成的話，那么正电荷的粒子性結構，将很自然地被发现到。这样，由于氦原子核的质量在原子量单位的尺度上是 1^* ，因而所有其他元素的原子量也将都是整数。事实上我們知道有一些元素的原子量确是整数，可是大多数的元素的原子量都偏离整数很远，例如氯的原子量就是这样，它的数值是35.46。

1910年湯姆孙把氦的离子注(称为氦的**阳射线**)，在磁場和电場中使它偏轉。从他所得到的結果里，可以說明大多数的氦原子的原子量是20，而少数的氦原子的原子量是22；它們的相对含量恰使其平均原子量等于用化学方法所测定的数值20.2。沙台^①(1911年)称这种化学特性和同而原子量不同的原子为**同位素**。在湯姆孙这个实验之后，阿斯頓^②和許多其他科学家繼續发现大多数的元素都由二种或二种以上的同位素所組成。就第一級近似来讲，所有的同位素的原子量几乎都是整数。到目前为止，包括人为的**放射性同位素**在內，自然界中已找出了1300多种不同的同位素，它的质量数从1开始到257为止，其中天然的約有300多种(参看附录IV)。同位素的发现，使我們認識到虽則各种元素从化学的观点看来好象是純粹的，可是从物理的观点看来，它們是許多种結構相同、质量不同的不同原子的混合物。但关于氦原子核是否为基本的物质元問題依然沒有得到解决。不过此时人們似乎已了解到有两种“**原始的原子**”存在着，它們是电的载体：**負的电子**和**正的氦原子核**——称为**质子**。所有的物质似乎都由这两种“原始的原子”构成，且在构成时大概其中包含有二个步骤：第一步，从质子和电子构成緊密的原子核；第二步，环繞着这个核外面还有許多个散漫的电子，这些电子和原子核形成了一个从整个看来是中性的原子。然而在一系列的新事实和新实验結果被发现之下，我們后来知道这种简单的图象是經受不起考驗的。

① F. Soddy, 1877~1956.

② F. W. Aston, 1877~1945.

* 虽則事实上氦原子核的质量是1.007593，但对我們的討論并不发生影响。