

[美] V. F. 韦斯科夫 著

二十世纪物理学

科学出版社

内 容 简 介

本书译自韦斯科夫著的《二十世纪物理学》一书,共选译了十二篇评述性文章,介绍了现代物理学中一些较重要的课题和新的发展。对了解物理学的发展有一定参考价值。

本书可供对物理学感兴趣的大专院校师生、科技人员和中等文化水平的读者阅读。

Victor F. Weisskopf

PHYSICS IN THE TWENTIETH CENTURY

Selected Essays

The MIT Press, 1972

二十 世 纪 物 理 学

[美] V. F. 韦斯科夫 著

杨福家 汤家镛 译
施士元 倪光炯 张礼

*

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

中 国 科 学 院 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1979年5月第一版 开本:787×1092 1/32

1979年5月第一次印刷 印张:6 7/8

印数:0001—285,000 字数:154,000

统一书号:13031·996

本社书号:1405·13—3

定 价: 0.52 元

译者前言

《20世纪物理学》一书是美国物理学家维基·韦斯科夫近卅年来发表的文章的选集。我们选译了其中介绍现代物理学一些较重要课题和新发展的文章共十二篇，编成此书，仍采用原书名。

“二十世纪物理学”一文是一般性的评论，是作者在1969年在欧洲物理学会所作的报告。文章概述了本世纪物理学的发展，重点是有关物质基本结构问题。

“量子物理中的质和量”讨论量子理论的基本概念。作者强调量子力学不同于经典力学的特点，这种特点就规定了物质在质上的多样性和稳定性，文章写得很有启发性。

“量子阶梯”用对话形式论述近代物理的一些基本问题，写得比较生动，文中还涉及一些有趣的哲学观点。

“量子论与基本粒子”是1968年写成的。作者根据对原子、原子核研究的经验，论述了基本粒子物理学的发展，这是当前物理学的前哨之一。

“电子理论的新发展”着重介绍当前理论物理学中最精确、最可靠的一部分，即量子电动力学的进展。文章写于1949年，当时量子电动力学经历了一次重要的突破，作者曾参与了这一发展工作。文章深入浅出，在今天仍有一定参考价值。

“复合核”和“核结构问题”都是关于原子核结构的。文章涉及的概念对原子核物理的发展曾起过相当重要的作用。

“核模型”是在著名的壳层模型（原子核内核子独立运动模型）提出不久后写的，解释强相互作用核子为什么可能自由

地运动。

最后四篇文章,涉及面较广,讨论的问题比较专门。

“对称性在核、原子和复杂结构中的作用”,从基本的对称性一直讲到生物体的对称性,强调说明量子力学规律在这两方面联系中的作用。

“宇称的失效”通俗地介绍了李政道和杨振宁以及吴健雄等人在 1957 年左右发现的宇称不守恒的理论和实验。

“高速运动物体的视觉形象”论述相对论的一个概念——洛伦兹收缩,说明高速运动物体的视觉形象并不是收缩,由此把爱因斯坦发表狭义相对论 55 年以来的一个误解说清楚了。

“光与物质相互作用”从物质的原子性质出发,解释光与物质的相互作用,说明物体的不同颜色和形态的由来。

我们认为这些文章有一定的参考价值,因而译出介绍给我国读者。译文不当之处,请读者批评指正。

目 录

译者前言.....	(i)
二十世纪物理学.....	(1)
量子物理中的质和量.....	(23)
量子阶梯.....	(38)
量子论与基本粒子.....	(47)
电子理论的新发展.....	(72)
复合核.....	(97)
核结构问题.....	(129)
核模型.....	(153)
对称性在核、原子和复杂结构中的作用	(157)
宇称的失效.....	(164)
高速运动物体的视觉形象.....	(180)
光与物质如何作用?	(190)

二十世纪物理学

近代科学精神的根源深植于古代文明之中,在希腊、中国和犹太-基督教传统的文明中,都可以找到这种根源。但是它破土而出,并开始快速增长,那已经是意大利文艺复兴时代的事情了。自那时以来,科学的知识和经验以日益加快的步伐逐渐积累,一直到本世纪,它已经在对自然界的运动规律探索得最为深入的一些方面,向人类的才智提出了挑战。要在一篇短短的文章中描述所有这些成就,实在是办不到的事情。我只能寥寥数笔,把这个课题勾画一下——就算是一幅素描吧!评论物理学在二十世纪中的发展,的确是一次令人眼花缭乱的经历。相对论、量子论、原子物理、分子物理、固态物理、核物理、天体物理、等离子体物理、粒子物理——所有这些都是二十世纪的产物。

在这个世纪的开始阶段,物理学发生了一次质变。以前,物理学主要研究两种基本的自然力——引力和电磁力。经典力学的发展,从伽利略和牛顿到拉格朗日和哈密顿,已经表明,有一个自然律在地球上和在宇宙中都是有效的,这就是引力定律。电动力学这个十九世纪的产物,是由法拉第、麦克斯韦和赫兹建立的,是场的概念在物理学上第一次广泛应用。电、磁场被认为是空间中的独立实体,电现象在物质中所起的决定性作用也被人们揭示出来。在十九世纪中,把热的本性认作是无规运动,则是理性认识的另一次明澈闪现,它使我们能

本文原发表于《Science》, 168, 3934, 923(1970)。经作者修改后编入。

理解到周围环境正在发生的一些现象。分子运动论和热力学的发展,通过卡诺、克劳修斯、亥姆霍兹、玻尔兹曼和吉布斯的工作,促使人们用物质的原子和分子结构来思考问题。这些基本单元的存在,在十九世纪已为人所知;对它们的大小和重量的估计也并非不准确。但是那时物质的性质并没有为人所了解;它们不是从一些更为基本的概念演绎出来,而只是用一些物质的特定常数来测定和表达,譬如像弹性、压缩性、比热、粘滞性、热导率和电导率、介电常数和抗磁常数等等。瑞利的那些著作是一个十九世纪物理学家的自然观的范例。它们充分而完美地论述了电场和磁场,光和声的经典波动现象,以及从若干经验常数推算出来的固体、液体和气体的许多性质。

十九世纪的物理学工作者不是不知道原子间的力对于确定物质性质的重要性。我们记得麦克斯韦就曾研究过气体分子间的排斥力。但那时人们无法说明这些原子间的力的本质是什么,也无法在各种情况下说明这些力的强度有多大或者它是否存在。那时大家认为,各种元素性质之间的复杂的多样性不属于物理学工作者的讨论范围;分析它们并将其分门别类,乃是化学工作者的任务,正如一百年以前门捷列夫在他的元素周期系中如此成功地做过的那样。不同种类原子的特定性质——特征性光谱和它们的化学键——已为化学工作者所知,并由他们编目,大家都不认为它是物理学的一个适宜课题。原子样品的那些天生的形式和一再重复出现的性质,对于十九世纪物理学的概念性结构来说是件陌生的事情。电子在1900年已经发现,很明显,它们必定是原子结构的不可缺少的部份,但是在原子内部,我们能期望有怎样的结构呢?经典物理对此不能提供任何线索。

物理学的黄金时代

对物理学来说,二十世纪确实是从1900年开始的。这一年代并非偶然,它是普朗克关于作用量子的著名论文发表的一年,也即量子论诞生的一年。回想一下物理学在本世纪头三十年中的进展速度,给人留下的印象是很深刻的:1900年普朗克提出作用量子;1905年爱因斯坦发表狭义相对论;1911年卢瑟福发现原子结构;1912年劳厄实现X射线在晶体上的散射;1913年玻尔提出量子轨道和对氢原子光谱的解释;1916年爱因斯坦发表广义相对论;1917年卢瑟福实现第一次核嬗变;1922年玻尔解释元素周期表[结构法则(Aufbauprinzip)*];1924—1926年间,德布罗意、海森伯、薛定谔和玻恩建立量子力学;1925年泡利发现不相容原理;1927年于伦贝克和高斯密特发现电子自旋;1928年狄拉克提出相对论性量子力学;1927年海特勒和伦敦发表化学键理论;1930年布洛赫和索末菲发表金属传导理论。让我们暂且先说到这里,虽然物理学的进展到1930年决没有终止;它在减慢到今天这样比较慢的步伐以前,仍然以同样的速度向前至少又走了十年。

在那个时期创造出来的庞大理论体系中,相对论(包括狭义和广义)的地位同其他理论多少有点不一样。它是在二十世纪初叶诞生的。这是一个使力学、电动力学和引力理论统一起来的新概念体系,这个体系带来了某种崭新的时空观。但是,从某些方面来看,这一观念体系与其说是经典传统的突破,还不如说是集十九世纪物理学大成的登峰造极之作。然而,量子论却正是一种突破;它是向着未知世界,即向着不能纳入十九世纪物理学概念网络的现象世界所跨出的第一步。

* 指下一号元素是上一号元素加一个质子和一个电子所形成的(译者注)。

必须创造出新的表述方法和新的思想方法，才能洞察原子和分子的世界，理解原子和分子具有分立的能量状态，它们的光谱和化学键具有一些特征性的花样。

新的思想方法是在本世纪二十年代中期形成并加以系统化的。1924年德布罗意提出波粒二重性，而关于粒子波的方程则是薛定谔于1925年提出的。在这些年代里，在尼·玻尔的领导下，并借助于海森伯、克拉默、泡利和玻恩等人的思想，在哥本哈根表达了并批判性地分析了量子力学的概念。他们所写的文章墨迹未干，新的思想方法便开始为几乎所有的原子现象提供了解释，而这些现象从被发现以来一直使物理学工作者感到迷惑不解。玻尔和索末菲的量子化规则，在被提出时似乎带有任意性，但最后却被证明是量子力学逻辑上的必然结果；原子光谱学变成了演绎性的科学；借助于泡利不相容原理，尼·玻尔的半经验的结构法则合乎逻辑地从量子力学得出了。于是，门捷列夫的原子性质周期表便很容易地得到了解释。几年以后，人们认识到化学键是一种量子力学现象；金属和晶体的结构也是那样。对于物理学的这一黄金时代，我们不妨借用邱吉尔的一句话：“这么少的几个人在这样短的时间内居然做出了这么多的工作，真是前所未有的。”

量子力学赋予我们对原子世界的观点以三个鲜明的特色：

首先，它已经引入了一种特征性的长度和能量，这种长度和能量支配着原子现象，赋予它们一种标度和准绳。一方面是核和电子间的静电吸引，另一方面是被约束电子的典型量子动能，这两者的组合确定了一个长度（玻尔半径）和一个能量（里德伯单位）。原子的大小取决于这一长度，它是几个基本常数的组合： $\hbar^2/mc^2$ ，其中 e 是电荷单位， m 是电子质量， $\hbar$ 是作用量子。里德伯单位则由组合 $mc^4/\hbar^2$ 表示。于

是原子的大小和能量便从根本上得到了确定和说明。

其次,量子力学已经引进了一种特征性的“状态”,这是过去物理学中所没有的。电子的波函数代表着简单对称性的一些特殊形式或花样,这种对称性是电子处于核和其它电子的引力场中时所特有的。这些花样(图1)是我们环境中的所有东西都赖以形成的基本形状。它们直接取决于束缚电子的力场。只要原子处在相同的条件下,出现的花样总是全同的和不变的。特征形式和花样的出现,同量子力学中处理力学概念的新方法紧密相联。在一给定的电子花样内,电子的位置只有几率性的意义;对于别的力学属性(譬如动量),情况也是一样。它们之间缺乏确定性,而有某些不肯定的关系。可是,量子力学对原子实体和观察提供了精细得多的描述,它绰有余裕地补偿了上述这种确定性的缺乏。

还有,理想的全同性概念也已经引进来了。两个原子或者处于相同的量子态,在这种情况下它们是完全相同的;或者处于不同的量子态,在这种情况下它们肯定是不相同的。全同的、几乎全同的和不相同的这三种状态之间的连续过渡已经消失了。全同性具有可测量的物理结果,譬如由全同原子组成的分子光谱中的强度变化就是一例。

量子力学的第三个特色是用量子数来表征量子态的特性。性质归结为数量:处于某种状态的原子的所有性质,完全由电子的数目以及那个状态的一些量子数来确定。毕达哥拉斯的观念在这里再生:原子的频率谱代表着一系列特征值,它好像是那个原子的典型“谐音”;“天体谐音”*重又出现在原子世界之中。开普勒曾经推测,太阳系中那些行星轨道的大

* 毕达哥拉斯(六世纪的希腊哲学家)及其信徒认为,天体运动会发出神才能听得见的乐声。轨道不同,好像乐器的弦长不同,乐声也不同;天体轨道间的数值比例具有特殊的重要性,它是“天体谐音”的体现(译者注)。

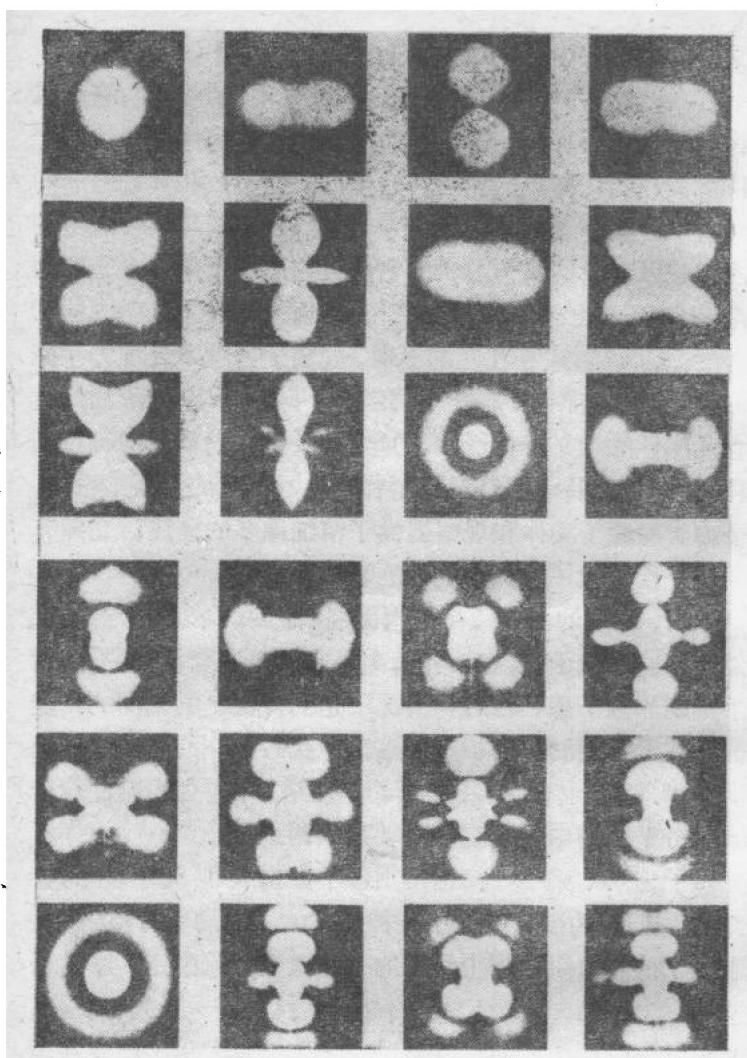


图1 电子在球对称场中的分布花样。注意这些都是模型照片。

小,在几何上或数值上成简单的比例,这一点已被证明是错误的;但是,这个推测在原子那些电子轨道的关系中却再生了,这一次可是量子力学的直接结果。

导致特征形状和完全确定的实体的规律一旦发现，自然哲学的一个基本问题也就解决了。显然，自然界从根本上来说是由这样一些实体作成的，我们的经验每天都是这样地告诉我们的。各种材料都有一些特征性的性质，铁在蒸发和再冷凝以后仍然保持为同样的铁。研究物质的特定性质开始时是化学而不是物理学的事情；但是量子力学解释了这些性质，从而使化学不再成为一门独立的科学了。多个原子可以集聚成为各种较大的单位，集聚的方式无限丰富而又完全确定，这些现在都在量子力学的合理解释的范畴之内。分子键的理论现在开始有了，这里电子波的花样（轨道函数）把原子核聚在一起，并保持正确的排列。既然人们在这里所要处理的又是核电荷和电子的相互作用，与原子中相同的大小和能量就必定出现——这就是大小为几个玻尔半径的原子间距，以及能量为电子伏量级的结合能。

原子的集团由两种粒子（重的核和轻的电子）所构成，它们靠相互吸引而结合。原子间距由电子云的大小确定，这个长度也可看作是电子零点振动的幅度。由于核的质量大得多，它在分子中的零点振动比电子的小得多（其比值就是质量比的平方根）；因此，在分子和固体中核形成为位置相当固定的“骨架”，而电子则连续分布，犹如人体中包围骨骼的软组织。核在分子内部位置相当固定的这种排列，把结构的特色引入了化学和材料科学，并且由此产生了它全部的“建筑学”上的后果。

原子集团的量子力学描述，使我们理解了所有的材料性质和材料常数，它们曾经是经典物理学收集的经验数据。原则上，所有上面提到的常数都可以用基本常数 e 、 m 和 h 以及核质量来预告或加以表达。例如，表征固体物质的抗压阻抗（即体积弹性模量）来自这样的事实：体积的缩小导致电子量

子动能的增大;它替代了经典观念中的原子的“硬度”概念。

分子中的核框架有完全确定的结构,这一点大分子(分子基团的长的线性排列)具有特殊的重要性。这些基团内不同次序的排列方式有极多的可能性,每种序列都是完全确定和相当稳定的,这反映为我们的动、植物中的生命体系的无数种类——这是一种复杂的复制和再生过程的结果。这件事情在最近十年中已经搞清楚了。所以,化学、材料科学和分子生物学都是电子在原子核的库仑场中运动的量子力学的直系后裔。基本的结构只有很有限的稳定性,它可以用特征性的能量单位(里德伯)的分数来量度。强度为几个电子伏的扰动就将使它们瓦解。这是一个化学和生物学的脆弱世界,它们在稍大于几个电子伏的粒子能量所相应的温度下就毁坏了,大多数恒星中存在的温度就有这么大。我们司空见惯的那种物质形态,在宇宙中却是罕见的现象。

新的现象世界

镭在居里夫人手里发出微弱的光晕,这是一个有力的启示:在物质中存在着我们依然没有弄清的现象。放射过程清楚地告诉我们,在原子内部必定有某些能量要比里德伯单位高得多。卢瑟福利用这些过程来洞察原子的结构,又从 α 射线在原子内的反常散射而发现了原子核。看来难以置信的是,仅仅六年以后(即1917年),他又用同样的工具去研究核的成分,并且发现它的某些组元是一些质子。一个新的现象世界就此展现在我们的眼前。但是一直到十五年以后,直到在物理学中具有伟大意义的1932年,核的成分才被揭示出来。那一年里,查德威克发现了中子,费米发表了他的放射性 β 衰变理论,而安德森和尼德迈耶则发现了正电子。这些发现中的每一项都有影响深远的意义。

正电子的存在证实了狄拉克相对论性波动方程(1927年)的正确性和深刻性,这个方程是数学思维力量最出色的例证之一。它通过量子力学和相对论的结合,论证了电子自旋(连同它的典型磁矩)存在的必然性。此外,这个方程还显示出一种基本对称性,它相应于存在着两种类型的物质——普通的物质和反物质,它们的性质相同,而电荷和其他特征性的量子数则相反。只要能量足够,物质和反物质可以在真空中被创造出来;我们也能使它们在湮灭的逆过程中回复为纯能量*。这些不平常的特色在它们在自然界中被发现以前,在理论上已经由狄拉克方程预告了。

既然发现了中子是核的一种组分,那就表明存在着一种新的自然力。这是一种强烈的非电性效应,正是这种效应把中子和质子紧紧地束缚在核的约束之内。它体现了某种新的东西——一种新的自然力,在宏观物理中没有任何相似物。“强相互作用”被发现了。

费米的 β 衰变理论论证了基本粒子间另一种相互作用的存在。中子发射轻子对(一个电子和一个中微子)而使本身转变为质子。这种转变是由所谓弱相互作用引起的,它是引力的、电磁的和强相互作用的补充,乃是第四种相互作用。弱相互作用的强度极弱,以致它引起核过程的时间标度竟达到秒、天或年的量级。

这样,1932年就成了一种新型物理学的开端,它的对象是核结构和它的组元,它所研究的是那些至今尚未弄清楚的力和相互作用。

让我们再回来讨论中子和质子间的力。散射实验已经揭示,这种力具有相当复杂的结构。它是短程的、在距离大于1

* 这种说法不妥。正、反粒子湮灭为光子,光子不是纯能量,它也有质量。光子和粒子都是物质存在的形式。(译者注)

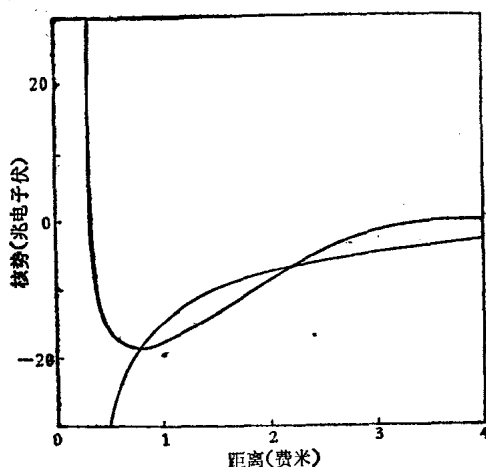


图2 两个核子间的力势。粗线表示核势的近似形状。精确值还依赖于核子的相对自旋取向以及量子态的对称性。细线表示两个异荷(荷值等于电子电荷值的3.3倍)粒子间的静电势。

费米时是吸引性的;在距离小于1费米时,变成排斥性的(参见图2)。同时,它还强烈地依赖于两个粒子的相对自旋取向,以及波函数的对称性。在这方面,以及在短距离显出排斥性上,它同两个原子间的化学力相似(后面还要谈到这种相似性)。在估计吸引强度时,让我们假想中子和质子具有相反的电荷 g 和 $-g$, 依此比较一下这种吸引力相当于多少静电吸引力。当然,核的吸引是短程的,且在小距离处变为排斥性,但在静电吸引和核力吸引部份之间作一定性比较还是有用的。比较表明,核的吸引约相当于两个大小为 $g \cong 3e$ 的相反电荷之间的静电吸引。有了这一结果,我们就能用在原子情况下已经用过的相同的量子力学原理来估计简单核体系的近似大小和能量。我们所要做的只是在玻尔半径和里德伯单位的表式中把 e 代之以 g , 并把电子质量代之以核质量。这样,我们就得

到核的玻尔半径 $a_N = \frac{\hbar^2}{Mg^2} \cong 2 \times 10^{-13}$ 厘米, 核的里德伯常数

$Ry_N = \frac{Mg^4}{2\hbar^2} \cong 3$ 兆电子伏. 核的体系是原子体系的十万分之一,

而相应的能量则在兆电子伏区.

核力一旦确立, 把核作为中子和质子的体系, 就能应用量子力学. 在核物理中, 只要重复原子的量子力学工作, 就行了, 只是单位的标度不同. 核能级谱显出与原子谱相似的结构, 它们有相同种类的量子数, 但多了一个重要的量子数——同位旋量子数. 它的由来是: 核力并不区分中子和质子, 所以对核的情况来说, 人们应该把这两种粒子看作是同一种粒子(核子)的两个状态. 由此发生的情况在形式上相似于一个费米子的两个普通的自旋态. 正是这种相似, 使海森伯引进了同位旋和同位旋量子数的重要概念. 弱相互作用提供了一个使中子变为质子或使质子变为中子的过程, 这样一来, 自旋的类比也获得了一种动力学的含义. 所以, 核体系不是具有确定中子数和质子数的实体; 确定不变的只是核子的总数 A . 所有 A 相等的核属于同一个量子体系, 在 A 相等、仅仅是其中被质子代换的中子数目不同的那些核量子态之间, 确实有不少典型的相似性. 原子态之间的跃迁伴随着光量子的发射和吸收(或一些等效的过程), 核的跃迁则不仅伴随着光辐射, 而且可能有发射轻子对的弱相互作用伴随发生, 那时体系的电荷不再是固定的, 而是要改变一个单位.

在原子和核的结构中有许多引人注意的相似. 其中之一是核性质依质量数 A 而变的周期性, 它起因于壳结构的相似性. 惰性气体具有高稳定性和低反应率, 它在原子物理中的地位相当于核物理中的那些闭壳核. 但是, 两种情况下闭壳处的占有数不同, 因为平均势的性质不一样, 也因为在内,

自旋-轨道耦合起着重要的作用,也存在着一张核性质的门捷列夫周期表. 把某些性质,譬如像激发能和结合能,或者原子的体积和核的四极矩等,分别对原子内和核内的质子数的依赖关系作一番比较是颇有意思的. 无论是原子还是核,两者都显示出同一种类型的周期性,壳结构的影响是相当明显的.

类似于原子化学,也存在着核化学,但是有一个本质的区别. 在原子和分子中,组元中的某一些,如原子核,位置相当固定,它们彼此隔开一段距离而形成分子的骨架. 核结构中的情况却不是这样.那里每一种组元都分布在整个核体积上. 因此,如果两个核在一次碰撞中互相反应,它们就完全融合在一起. 两个氧核形成一个硫核而不是一个 O_2 分子. 没有那一种粒子,它的零点振动比客体(核)的线度来得小;因此,在原子化学中发现的那种形式的多样性和现象的复杂性,在核化学中并没有发现. 此外,对于能够并合成为一个单位的核子数目也是有限制的,这是因为质子之间有静电排斥的缘故.

核子的内部结构

认为原子和核是相似的,可能并不完全恰当.更正确的对比可能是把核同分子作比较,核子起的作用与原子相当.为什么呢? 因为核子之间的力是复杂的,它既依赖于距离,又依赖于其它一些性质. 核力很像是原子之间的化学力;它在小距离处有排斥性,势能在中间有个极小,它还依赖于波函数的对称性. 它使人们作出这样的设想: 同化学力相类似,核力也不是一种像静电吸引那样的基本力,它可能是从存在于核子内部的某种更为基本的现象推演出来的效应,是某种强得多但是又简单得多的东西的剩余效应,正如化学力