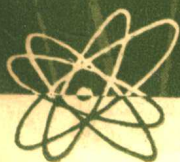


基本粒子

(日) 汤川秀树 片山泰久 福留秀雄 编著



科学出版社

53.83
3-06

物

基 本 粒 子

〔日〕汤川秀树 片山泰久 福留秀雄 著

张 珏 译

.....

科 学 出 版 社

1 9 7 5

内 容 简 介

基本粒子是目前物理学中研究的重要问题之一。本书是介绍基本粒子的中级科普读物。全书共分三部分,第一部分是历史回顾,概略地回顾了原子、原子核物理学的发展史;第二部分是关于基本粒子的概述,介绍了各种基本粒子的发现、实验装置、衰变过程、相互作用、性质、模型以及谱系等;第三部分是理论解说,定性地说明了基本粒子理论中的几种重要理论。关于汤川本人所提出的非定域场理论和基本空间理论,有较为详细的解说。

本书可供中学教师、大专院校师生、一般科技工作者参考。

湯川秀樹 片山泰久 福留秀雄 著

素 粒 子

[第 二 版]

日本岩波書店, 1972

基 本 粒 子

[日] 湯川秀樹 片山泰久 福留秀雄 著

张 质 贤 译

*

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

*

1975 年 8 月第 一 版 开本: 787×1092 1/32

1975 年 8 月第一次印刷 印张: 5 1/16

印数: 0001—16,000 字数: 112,000

统一书号: 13031·247

本社书号: 401·13—3

定 价: 0.42 元

中译本前言

基本粒子是当前物理学中研究的重要课题。自从三十年代开始建成了各种粒子加速器和发明了各种探测工具后，随着加速器能量的提高和探测技术的改进，陆续不断地发现了许多新的基本粒子。目前利用能量越来越高的粒子相互碰撞，还在继续不断地发现各种新的粒子。人们通过研究基本粒子的相互作用和相互转变来了解它们的性质和内部结构，以加深对物质结构的认识。因此，基本粒子物理学是探索物质结构的最重要学科之一。但目前基本粒子物理学尚处在探索阶段，还有许多问题有待于进一步的深入研究。

本书深入浅出地介绍了人类认识物质结构的历史发展过程和目前对基本粒子的初步了解。本书作者之一汤川秀树是介子场理论的提出者，这一理论使人们对于把原子核内的质子和中子结合在一起的核力有了一个新的认识。书中还详细地阐述了作者近年来提出的非定域场理论和基本空间理论。本书对于了解基本粒子物理学的现状和今后的发展有一定参考价值。

遵照毛主席关于“洋为中用”的教导，我们翻译出版了这本书。在翻译过程中，有些地方曾由译者作了一点删节。译文不当之处，欢迎读者批评指正。

作 者 前 言

无论是不是科学家，人们对于自己所生活的世界总是希望有较深的了解。有些人只希望详细了解世界某一有限部分或某种特殊事物。另有一些人则相反，希望概括地了解我们所生活的整个世界。前者是专门家(狭义科学家)倾向较强的人，例如，其中有的人把一生献给研究某种植物而不后悔。后者是哲学家(正确说自然哲学家)倾向较强的人，他们是属于曾经说过“万物皆为水”的泰勒斯一类的人。

人们经过了多少代的努力，才获得了今天的成果。无论是狭义科学家倾向较强的人，或自然哲学家倾向较强的人，他们都以不同的研究方法相互补充，为建立今天以基本粒子为基础的物质观作出了贡献。虽说如此，这些也还不是最后的定论。也许是因为这个缘故吧，我们对于“基本粒子是什么？”这个问题，也还不能作出满意的回答。最近二十年来，基本粒子的种类迅速增加，为此已提出了几种统一描述基本粒子的方法；然而，任何一种方法也还不能说是确立的理论。至于哪种方法比较接近于真理，客观的判断也是很困难的。从某种意义上说，这可能意味着必须对基本粒子概念进行根本的改造，同时也意味着各种基本粒子背后可能存在着某种使它们存在、产生和湮灭的因素，这些因素到底是什么，也需要进一步探索。

本书的目的并不是把基本粒子看作是某种已知的东西，率直地反映现有情况，而是在于阐明尽管我们已经知道了有关基本粒子的许多事实和经验规律，但基本粒子本身本质上还是未知的东西。

本书第一版写成于 1961 年，在此后不到八年的时间内，就出现了许多需要补充和改写的新内容。去年以来，我们就认为应该出新版的时期已到了。第一部分叙述的是到三十年代为止物理学家探索基本粒子的情况，所以几乎没有必要改写。第二部分介绍目前所知道的有关基本粒子的许多事实和大多数基本粒子研究工作者的共同想法。这次还把第一版第三部分的部分内容并入了第二部分。从 1960 年以来，陆续发现了许多寿命极短的新粒子，即所谓共振态，最近又从各种观点在广泛地议论着雷吉假说，因此第二部分补充了这两方面的新内容。第三部分介绍目前有关基本粒子的知识和想法还有哪些不能令人满意之处，同时讨论了基本粒子背后还可能存在着什么更基本的规律。特别从 1966 年以来，我和片山逐步地发展了基本领域的理论，对这方面的问题也作了比较详细的介绍。

和第一版一样，第一部分由福留执笔，第二部分由片山执笔，第三部分由我执笔，第三部分也有一部分是由片山执笔写的。就全书来说，我们当然力求能够首尾一贯，但是也没有特意消除由于执笔者个性不同而出现的一些特点。如前所述，本书的目的不是在提供有关基本粒子的个别知识，而是要阐明有关基本粒子的各种思想方法。因此，我们认为在某些章节内出现一些执笔者个人的见解是完全可以的。特别是在第三部分，强烈地反映了我个人的一些主观见解，这一点不得不预先声明。

汤川秀树

1969 年 2 月于京都

目 录

中译本前言	i
作者前言	ii
一、基本粒子图象的形成	1
1. 原子论的发展	1
1.1 古希腊的原子论	1
1.2 十七世纪机械的、力学的原子论	3
1.3 化学的原子论	4
1.4 气体分子运动论	8
1.5 原子间作用力的本质	9
1.6 电子的发现	11
2. 力和场	14
2.1 媒递作用和超距作用	14
2.2 光的波动说	15
2.3 电磁学和场	16
2.4 麦克斯韦理论	20
2.5 光的电磁波说	21
2.6 洛伦兹电子论	22
2.7 以太和相对论	23
3. 原子结构和量子力学	26
3.1 量子论的诞生	26
3.2 光量子说	27
3.3 放射能和原子	28
3.4 原子模型的确立	31
3.5 线光谱的量子理论	33
3.6 自然界的连续和不连续	34
3.7 物质波和量子力学	35
3.8 相对论量子力学和正电子	38

3.9 发散的困难	39
4. 原子核结构和介子	41
4.1 中子的发现	41
4.2 β 衰变理论	43
4.3 核力和介子	45
二、基本粒子世界	47
1. 基本粒子的出现	47
1.1 基本粒子的故乡	47
1.2 宇宙线中的基本粒子	48
1.3 第一代基本粒子	50
1.4 大量出现的第二代粒子	53
1.5 大型加速器时代	55
1.6 汽泡室和放电室	57
1.7 第三代基本粒子——共振态	60
1.8 巨大的科学	62
2. 基本粒子的一生	64
2.1 基本粒子的诞生和死亡	64
2.2 寿命的测定	66
2.3 基本粒子的家族	69
2.4 奇异数	72
2.5 带电空间的设想	75
2.6 基本粒子的相互作用	77
2.7 相互作用的性质	79
2.8 宇称不守恒	81
3. 基本粒子的性格	83
3.1 基本粒子也有结构	83
3.2 核子的电磁结构	85
3.3 核子间的作用力	87
3.4 基本粒子的共振态	89
3.5 基本粒子反应的分析	91
3.6 雷吉假说	94
3.7 基本粒子的关联性	96

3.8 由衰变现象探索基本粒子的图象	99
4. 基本粒子的谱系	101
4.1 基本粒子数能减少吗?	101
4.2 坂田模型	102
4.3 基本粒子的对称性	104
4.4 基本粒子的排列	106
4.5 奇异的夸克粒子	108
4.6 探索轻粒子	111
三、基本粒子的规律性	113
1. 基本粒子的统一描述	113
1.1 理论的贫困	113
1.2 历史会重演吗?	114
1.3 海森堡的一元论	115
1.4 负几率	118
1.5 S 矩阵理论	121
1.6 基本粒子图象的抽象化	123
2. 基本粒子的广延性	125
2.1 定域场理论不包含矛盾吗?	125
2.2 非定域相互作用	128
2.3 非定域场理论	130
2.4 具有无限分量的场	132
2.5 内部自由度的力学效果	134
3. 基本粒子和基本领域	136
3.1 狭义相对论的时空	136
3.2 广义相对论的时空	138
3.3 几何学对象和量子力学对象	140
3.4 刚体、弹性体模型和非定域场	141
3.5 基本领域的概念	143
3.6 四维基本领域的理论	146
3.7 时空和量子化	148
基本粒子表	151
简略年表	153

一、基本粒子图象的形成

1. 原子论的发展

1.1 古希腊的原子论

我们眺望大自然界，可以看到无限变化多端的物质以及这些物质所产生的各种复杂现象。然而，大自然并不仅仅是复杂的，通过这些多种多样的物质和现象，还可以认识到它们具有完美的秩序和规律。这样，在大自然界的多样性和规律性的背后，必然存在着把它统一起来的基本原理，这种想法自古以来就在人们的头脑中萌芽了。人们对大自然的探究有两种方法，一种方法是借助于神，因而产生了神话和宗教；另一种方法是不借助于神，而是以物质为根据寻求自然界的基本原理，这种唯物论的想法自古以来就形成了。

为了统一地说明自然界的多样性和规律性，曾思考出了一些原理，其中最古老的有在中国和印度流传的“万物皆由地、水、火、风、空形成”的五行说，以及公元前六世纪希腊密来多斯学派的泰勒斯所提倡的“水为万物之本”的说法，等等。这些说法，从现在的眼光看来，都是非常朴素的，但是可以承认，这是以物质为根据寻求自然界的基本原理，对大自然界作理性探究的雏形。这种思想的要点是，认为多种多样的物质是由少数的基本实体构成的，并且企图用它来说明自然界的统一性和多样性。

这样，认为一切物质都是由基本实体构成的这种思想，可

以说从有史以来就形成了；但是，在泰勒斯以后的古希腊时代，它才达到了哲学上的成熟和精练。在泰勒斯以后，以物质、存在、生成的概念为中心而发展的希腊哲学，在公元前五世纪产生了来乌起保斯、德谟克利特的原子论。爱来阿学派主张物质是一个单一不可分的全体；阿那科萨哥拉斯认为物质是由可以无限分割的无数种类的“种子”构成的；而来乌起保斯和德谟克利特提出了原子论，他们认为，在物质中存在着不能再分的最小单位，物质就是由这种最小单位——原子构成的[原子(atom)一词来自希腊语，意思是不能再分之物]。按照他们的想法，原子是永远不变的，是不能破坏的终极粒子，分散地存在于空虚的空间。这样，物质不仅可以由“充实”的原子构成，而且也可以由空虚的空间构成，因此，物质的运动和变化都是可能的。原子可以由形状和大小来加以区别，在空虚的空间还可以占有不同的位置，除此之外，不具有其他任何性质。他们还认为，人们的感官所能感觉到的物质的多种多样的性质，都是由原子的各种排列和各种结合形式产生的。德谟克利特曾经说过这样的话：“一个物体只是在表观上具有颜色，而且还具有甜味或咸味，只有原子和空虚的空间是真实的存在。”来乌起保斯还认为，原子的运动不是偶然的，而是按照完全的因果关系发生的。这种想法可以从他的下面一段话看出来，他说：“不能无中生有，一切事物都有根据，因而产生必然结果”。他认为，原子的运动是它本来就有的，这种运动能引起碰撞，由这种碰撞产生了成为世界开端的“涡动”。

从我们现代的知识看来，来乌起保斯、德谟克利特的原子论，也有许多方面是正确的。然而，当时还没发明能证明原子实际存在的方法，因此他们的原子论当然只是思辨上的臆说。证明原子的实际存在，是很久以后十八世纪末期和十九世纪

初期的事情。

来乌起保斯、德谟克利特的原子论，由爱比克劳斯（公元前四—三世纪）所继承。在古代，原子论的最后代言人是公元前一世纪罗马的路克来杜斯。在这以后，由于基督教的兴起，除亚里斯多德的哲学以外，其他一切希腊哲学都被看成邪说而被禁止了。在神学支配下的漫长中世纪中，成为古希腊唯物论顶峰的原子论完全被遗忘了。

1.2 十七世纪机械的、力学的原子论

在中世纪宣告结束之后，文艺复兴开始了，古代希腊哲学才重见天日。但是，原子论的复兴，却是在形而上学的自然哲学转变为近代自然科学之后的十七世纪才实现的。和伽利略同时期的加桑迪复活了原子论，以后玻义耳、牛顿等人又加以发展。在十七世纪发展的自然科学主要是力学，当时的原子论也反映了这种情况，是机械的、力学的原子论。当时给予原子以力学性质，完全以力学概念为中心来说明原子的性质。在初期由于动力学尚未完成，专以静力学的图象来说明原子。例如，为了说明原子的结合，假定原子具有特别的钩、棘、突起等部分，认为原子的结合也和普通物体的连结一样，是由这些部分实现的。

最初用原子论解释物理学、化学现象的是玻义耳，他认为多数的物质可以由其他物质通过化学反应来合成，但是也有一些物质不能由其他物质通过化学反应来合成。他把这种不能由其他物质合成的物质称之为“元素”。他认为，对应着各种元素存在着各种原子，元素的差异在于原子结构不同。他首先引入的元素概念，对使点金术转变为近代化学作出了巨大贡献。

到了牛顿，原子论中的力学图象由机械的、静力学图象转

变为动力学的图象。牛顿发现了万有引力定律，圆满地说明了天体运动，建立了有概括性的首尾一贯的力学理论体系。在万有引力定律中，引入了空间中互相离开的物体之间也存在着互相作用力的概念。他根据这种力的概念，认为物体结合时并不一定需要互相接触。牛顿把这种力的概念应用于原子论，在天体和原子的图象之间建立了对应关系，把原子从不自然的钩、棘等解放出来，认为它是很小的球状粒子，在这些原子之间有和万有引力相类似的力在作用着。于是他认为气体、液体是球状原子的集合体，并且把他的力学定律应用于这些原子，试图来说明气体、液体的运动。

1.3 化学的原子论

到十八世纪的后半期，化学的实验技术有了进步，相继地发现了氢、氮、氧等元素，而且不仅已能进行定性的实验，还能进行定量的实验了。

1772年，拉瓦锡精密地测定了化学反应前后的物质质量，发现在化学反应前后，物质质量的总和不变。这说明物质的性质虽然因化学反应而发生变化，但是物质是守恒的。对于认为原子不可分的原子论来说，这是一个很好的证据。

1799年，普劳斯特发现，参与化学反应的物质质量成一定的整数比（定比定律）。例如，一克氢和八克氧化合成九克水，不按照这样的比例使氢和氧进行反应时，氢和氧不能完全变成水，多余的要剩下而不化合。道尔顿在1804年发现，两种元素的化合物有两种以上时，在这些化合物中，如果一种元素的量是一定的，和它化合的另一种元素的量成为简单的整数比（倍比定律）。

这样，在化学反应中元素的量成一定的整数比这一事实，暗示物质是由某种可数的最小单位构成的。道尔顿曾把上述

事实用下述的原子假说来说明，即纯粹的物质都是由具有一定质量的原子构成的，和元素相对应的原子不能创造也不能破坏；和化合物对应的原子是由成为该化合物成分的元素原子结合而成的。

1809年，盖·吕萨克发现，在气体的化学反应中，在同温等压下，参与一个反应的气体的体积成简单的整数比；如果生成物也是气体，它的体积也和反应气体的体积成简单的整数比（气体反应定律）。例如，两公升的氢和一公升的氧化合时，生成两公升的水蒸汽。

盖·吕萨克认为，如果假定不论哪种气体在同温等压下，在相同体积内含有相等的原子数，就可以用道尔顿的原子论说明气体反应定律。然而道尔顿自己发现，这项假定和他的原子论有矛盾，这就是说，如果这项假定正确，在上述例子中，两个氢原子和一个氧原子应当生成两个原子的水，这样，在一个水原子中就只能含有半个氧原子了。

1811年，阿伏加德罗在道尔顿的原子论中又引入了“分子”的概念，这样就解决了上述的矛盾。他认为，不论气体是化合物，还是元素，构成气体的要素不是不可分的原子，而是由几个原子相结合而成的分子；元素的分子是由同种原子构成的，化合物的分子是由几种不同的原子构成的。例如，氢的分子是由两个氢原子构成的，水的分子是由两个氢原子和一个氧原子构成的。于是他假定，不论哪种气体，在同温等压下，在相同体积中所含的分子个数是相同的（阿伏加德罗假说），这样就圆满地说明了气体反应定律。阿伏加德罗假说的正确性，以后被很多事实所证明，现在已认为是完全确定的事实了。

和以前的原子论相比，道尔顿、阿伏加德罗的原子论是很大的进展。在以前的原子论中，原子是构成物质的单位，宏观

物质是多数原子的集合体，在原子和宏观物质之间没有任何过渡阶段。这样，要从原子推知各种物质的性质是非常困难的。然而，道尔顿、阿伏加德罗的原子论认为，宏观物质的化学性质，是由少数原子构成的分子这个单位决定的；因此，知道了分子的性质，就能够知道由它所构成的物质的性质。在物质结构中发现存在着原子、分子这样的层次，这对于从物质的微观结构的要素来推导物质的性质，起了巨大的推进作用。

如果以阿伏加德罗假说和定比定律为线索，来分析化学反应，就可以决定构成各种气体分子的原子的种类和个数，决定各种原子或分子的质量比。如果规定氧原子的质量为 16，这样得到的原子或分子的质量比都是整数值，如所周知，这个值就是该原子(分子)的原子量(分子量)。普劳特以这一事实和氢的原子量近似地等于 1 为根据，于 1815 年提出了所有原子都是由氢原子构成的这一假说。这个假说虽然不正确，但是却成了后来原子核结构理论的先驱。

一物质的分子量以克为单位时称为该物质的克分子，按照阿伏加德罗假说，克分子气体中所含有的分子数，不论哪种气体都是一定的。这个数叫阿伏加德罗数。以后由多数实验知道，这个数是一个非常大的数字，是六千万亿的一亿倍(6×10^{23})。例如分子量为 2 的氢的克分子为 2 克，在 2 克氢中有 6×10^{23} 个氢分子。

十九世纪的化学家用上述方法，对许多物质的分子进行了研究，决定了构成这些分子的原子数和种类。他们还提出了表示分子结构的分子式。例如用 H_2O 表示水的分子，这个分子式表示一个水的分子是由两个氢原子(H)和一个氧原子(O)构成的。

在研究许多物质的化学反应和分子结构的过程中，又发

现各种原子都是以一定方式和其他原子相结合的。这种结合能力可以用原子伸出的结合手来表示。可以认为，原子间的结合是由两个原子的手和手连接而发生的，在稳定的分子中，所有的手都被占满了，没有闲着的手了。一个原子所具有的结合手数目，称为该原子的原子价。凯库勒和弗兰克朗基于原子价的想法，于 1858 年研究了原子在分子中的结合状况，提出了表示这种结合状况的结构式。这里曾有过一段有名的故事，据说苯的龟壳形结构式是凯库勒在睡梦中想出来的。原子价和表示原子价的结合手，使我们回想起十七世纪所设想的原子钩；至于它的本质是什么，起初一直不明了；到了二十世纪，量子力学诞生之后，出现了用电子交换说明化学结合的理论，这时才明了原子价的本质。

由于发现了原子价，人们知道原子的结合是依照简单的规律进行的，所以这是一项重大的发现。此外，化学结构式对于分析复杂的有机化合物的分子，也发挥了巨大的作用。

门德列夫于 1869 年发现，把各种元素按照原子量大小顺序排列，它们的各种物理、化学性质作周期性的重复。也就是说，元素的原子价随着原子量的增大逐次增大到 7 为止；下一个原子量较大的元素的原子价，又回到 1 而进入下一个周期。这样就知道了，在原子量和原子价之间存在着一定的函数关系。这件事暗示原子具有某种周期结构，这种结构对决定物质的性质具有重大意义。门德列夫认为，他的周期表上的空位是当时尚未发现的元素，并预言了这些元素一定存在（例如镆），他还根据周期律详细地预言了这些元素的物理和化学性质，结果也都和事实相符合。根据原子论发现的周期律，能够作出令人惊异的预言，这表明原子论已经不是为了说明实验事实而创造的假说，而是正确地掌握了物质内部结构的理论。

1.4 气体分子运动论

和化学中的原子论发展同时，物理学中的原子论也平行地发展。玻义耳、牛顿曾试图用原子论说明气体的物理性质，这项工作到了十八世纪被伯努利所继承。进入十九世纪之后，随着热力学和化学原子论的发展，关于气体分子运动论的研究也正式开始了。

在十九世纪初期，关于热现象的说明，热素说占主导地位，即认为热现象是由热素这种物质引起的。但是，买厄在1841年发现，力学运动能够转化为热，1854年焦耳加以证实之后，热素说才被完全否认，并且承认热是构成物质的微粒子的动能的说法是正确的。

用肉眼看来，气体中好象没有任何变化，但是它的分子却是在不停地运动，许多分子以极大的速度飞来飞去，这种动能来自热能，而分子又经常互相碰撞，因而沿着复杂的迂迴曲折的道路运动。这样，即使每个分子都遵守一定的运动方程，但是就总体来说，还是完全不规则的运动。因此统计理论适用于这种现象。根据这种想法来研究气体的物理性质的学问，就是气体分子运动论。

气体分子运动论，从十九世纪中期开始，经过克劳修斯、麦克斯韦、玻耳兹曼等人加以发展，获得了巨大的成功。例如，玻义耳-查理定律能够用来很好地说明气体的压力、体积和温度的关系，也能够正确地说明气体的粘性、扩散等性质。气体分子运动论对原子论的最大贡献，在于用它能决定阿伏加德罗数的数值以及原子的绝对质量和大小，这些数值用化学方法是得不到的。根据气体分子运动论所决定的氢的直径和质量，分别为 1.4×10^{-8} 厘米（约为一亿分之一厘米）和 1.7×10^{-24} 克（1克的一万亿分之一再乘六千亿分之一），这