

微观世界认识史话——从古代原子论到层子模型

先 鼎 昌

(一) 古代人是怎样想象物质结构的

我们身旁的世界真是多姿多样！春天，光秃的树枝上绽出小小的新芽，它们长大成叶子，成为夏天的浓荫；几个月后，它们变得金黄、暗红，秋风把它们吹落一地，最后，只剩下孤独的枝干在寒风中萧瑟。绿色的植物曾经填饱过温和动物的口腹，而这些温和的动物又会是凶禽猛兽的牺牲品，在它们的爪吻下迅速地只余下一堆皮毛和骨头，连这在风雨的侵蚀下最后也变成尘土。有生命的是这样变化，无生命的也同样在变化。河流会枯涸，岩石会崩裂，桑田会变成沧海，然而在这一切变化的同时，宇宙又是那么和谐。

人类很早就在这众多的变化着的物质中看到有许多共同的东西，许多共同的性质，并且想象，尽管天地万物种类繁多，但是基本的构成和规律毕竟是简单和有限的，否则就无法解释万物的变化和天地的和谐。古代的巴比崙人和埃及人认为宇宙的本原只有三种：水、气、土。火被加入到构成宇宙本原的时候在历史上要晚得多。在中国是战国时代的五行阴阳家学派，在希腊是安那赫西曼德 (Anaximander, 公元前 611—547 年)，他认为宇宙最初的物质是“无定物”，由无定物依次生成土、水、气和火，再由它们生成整个宇宙。比他稍后一些的希腊哲学家赫喇克里特 (Heraclitus, 公元前 550—475 年) 说得更清楚：“世界是包括一切的整体，它并不是由任何神或任何人所造成的。它过去、现在和将来都是一团按规律燃烧、按规律熄灭的永恒的活火”。火失热成水，水失热成土，这样就可以解释万物的生成及流转。



图 1 Democritus

二千四百年前的希腊哲学家德谟克里特 (Democritus, 公元前 460—370 年)

物质在种类上来看，本原是有限的，这是古代哲学家们的看法。在建立了这个看法之后，更深刻的另一个问题被提出来了：物质在数量上是否有一个最小的单元呢？用哲学语言提出来的问题是：对物质的分割，是否能够无穷尽地继续进行下去？

二千四百年前的希

和二千三百年前中国战国时代宋国的哲学家惠施 (公元前约 350 年) 的回答是否定的。用惠施的话说：“至小无内，谓之小一” (最小的物质是不可分的，称作最小的单元)。

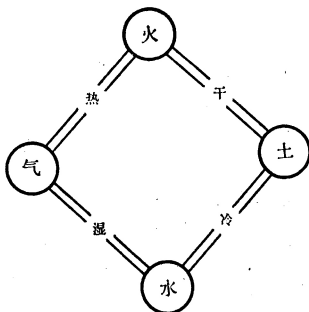


图 2 亚里斯多德的元素

就是说，对物质的分割，不能无穷尽地进行下去。惠施所说的“小一”，就是现在叫做原子的东西。“原子”在希腊文中，是不可分割的微粒的意思。这样，对物质的分割在到达原子的大小之后，就不能再继续进行下去了。

另一个希腊哲学家亚里斯多德 (公元前 384—322 年) 和中国战国时代赵国的哲学家公孙龙 (公元前 325—250 年) 的看法正好相反。公孙龙说：“一尺之椎，日取其半，万世不竭” (一尺长的木棒，每天截取它的一半，永远也没有截完的时候)。

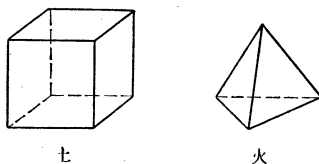


图 3 柏拉图的元素

而对亚里斯多德来说，天地万物是由冷热干湿四种性质构成的，冷和热、干和湿是相反的性质，不能组合，所以四种性质可以组合四种元素 (图 2)：

冷 + 干 = 土，冷 + 湿 = 水

热 + 干 = 火，热 + 湿 = 气

四种性质的增减，决定物质之间的差异。物质是连续的，当然是永远可分的。

和上面两种观点都相反的，是又一个希腊哲学家柏拉图 (公元前 427—347 年) 的观点。他认为，分割物质的过程，将以数学形式的更改而告终。构成天地万

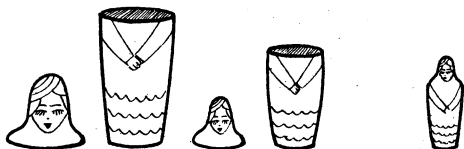


图 4 俄罗斯木偶

物的四种元素——火、水、土、气——各以一种几何学

上的正多面体来表征(图3),元素土由立方体表征,元素火由正四面体表征,等等.对物质的分割,到达一定程度时,就会破坏这种几何多面体的特征.

也许,从现代的科学眼光看来,柏拉图的观点比德谟克里特或亚里斯多德的观点更有可取的地方,因为它指出了数量改变的进行,会导致物质本质的变化.尽管我们不喜欢柏拉图哲学里其它的观点,但单就这一点而言,我们却要承认它是接近辩证法和近代物理学的发现的.一分为二的过程,并不是俄罗斯木偶的拆开.俄罗斯木偶是一种传统的俄罗斯手工艺品:一个木偶,把它的头拧下来,可以倒出第二个小一点的木偶;把第二个木偶的头拧下来,又可以倒出第三个更小一点的木偶.如此一层一层拆下去,可以拆出许许多多一个比一个小的木偶来.不过这些俄罗斯木偶是没有质的变化的.

(二) 物质结构学说从哲学到科学

停滞的、与科学发展脱节的哲学不免流于空论.尽管德谟克里特、公孙龙、柏拉图等哲学观在他们的时代极有创见,毕竟它们还是与近代科学相差甚远.我们不应目眩于古代思想的光辉,把量子力学追溯于易经,把量子场论追溯于元气,等等.好在二千多年来科学的发展并没有因为沐浴在古代哲学思想的光辉里就止步不前.虽然是出于对黄金和长生不老追求,古代的化学家——西方的炼金术士和东方的丹客大大地推进了人类对物质结构的认识;而近代化学更把人类领进一个五光十色令人眩目的时代.在上一个世纪的头一年,人们认识的元素已经有了二十八种,但这只不过是元素大发现的开始.在其后的五十年里,人们总共又发现了二十七种新元素,几乎和以前人们知道的元素的总数一样多,而且几乎每年都有报道发现新元素的消息.到了1869年,人们知道的元素种类增加到63种.一切已知的物质,都是由一定比例的不同数量的不同元素的原子所组成,这样,原子论便从哲学的观念变成现代科学研究的对象.

原子论在近代化学中取得了极大的成就,但不同元素之间极不相同的性质却使人们迷惑.门德列夫的周期表是人类认识物质结构重要的一步,它指出了不同元素不同性质的规律,从它在1869年问世之日起,化学元素的发现便从偶然的事件变成有据可循的、事先可以周密规划的事件.周期表不但可以解释为什么已知的元素具有这样或那样的性质,而且还可以预言未知的元素,和它们应当具有什么样的性质.

周期表的成就是空前的.我们看到自它发表之后的一系列传奇性的故事.1875年,法国的化学家巴波德朗发现了元素镓,并且在巴黎科学院刊上报告了这个新元素的性质.不久后他收到发自俄国圣彼得堡的一封信,说他的实验肯定有些毛病;镓是应当存在

的,但它的比重不应当是巴波德朗报告中的4.7,而应当是在5.9到6.0之间.巴波德朗是个诚实的科学家,他重新检查了自己对镓性质测定的实验,发现他的镓盐有一些杂质,在仔细地清除了这些杂质之后,测得的镓的比重是5.96!这样看来,镓的发现者对他发现的元素的认识,还比不上那个从未看到过镓的人——门捷列夫.这以后一系列新元素的发现——铀、锕、惰性气体……都是周期表胜利的见证,它们一个个地被发现,一个个被安放在周期表事先为它们规定好的位置里.

周期表能够极好地预言了化学元素的性质,但是它有一件事不能解释——它本身,为什么化学元素的性质会有周期性的变化.

(三) 原子的分割

看来,门捷列夫比任何他的同时代人,以及在他以后的同国人更清楚周期表的成就和局限性.1889年他在英国化学学会年会纪念法拉第的演说中说:“在周期律发现之前,元素只是反映了一些孤立的、偶然的自然现象,我们无法预知任何新的东西,因此一切新发现都是些不速之客.周期律使我们第一次能够看到还没有被发现的元素,而且在新元素还没有发现之前就能描述它们的许多特性.……打开我们眼界的这一工具——周期律——需要进一步加以改善,它不仅需要有新的补充,而且还需要改进,需要有新的动力.”

这个新的动力来自周期表发表四十二年之后英国物理学家卢瑟福的发现.1911年,卢瑟福在他著名的 α 粒子散射实验中发现,原子并不是象德谟克里特想象那样的是一个不可分割的整体.原子全部质量的绝大部分集中在一个微小的原子核上,原子核带正电,而在远离原子核处有微小的电子在运动,原子核和电子

之间是一片虚空.为了形象地得到一个关于原子的图象,想象把一个氢原子放大一百亿倍,这样,它便是一个直径一米的“球”.当我们第一眼看这个“球”时,简直要大吃一惊——我们什么也没有看到!因为在这个一米直径的原子核里,原子核的直径只有

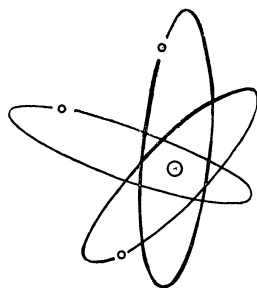


图5 科普宣传画中的原子

0.01毫米,相当于一颗灰尘的大小,而电子,则比灰尘更为微小!细心的读者马上会发现,我们常见的科普宣传画上关于原子的图象(图5)是如何地错误,不过这也是没有办法中的办法,因为我们总没有本领看到掉到一张纸上的一颗灰尘.

1912年,卢瑟福的学生莫斯莱通过实验定出每种

元素的原子核所带的正电荷数目（由于原子整个是中性的，这实际上也就是原子里面围绕着原子核转的电子的数目），他的结果表明，周期表里元素的排列就是按原子核的电荷数的排列，这就是门捷列夫周期表的实质。

至于为什么在周期表里不同位置上的元素具有如此不同或相同的化学性质的原因，这有待于开始于1913年丹麦物理学家玻尔的原子模型，完成于二十年代末的量子力学来说明。

玻尔模型和量子力学，不但最终地显示了化学元素周期表的实质，也解释了光谱里各纷纭复杂的谱线系列。不过这是一个完全新的力学，难以“常情”来比喻。在玻尔的原子模型中，原子有如一个微小的太阳系，原子核好比是太阳，电子好比是行星，哥白尼的太阳系是由太阳与行星间的万有引力形成，而玻尔的“微小太阳系”则是由于原子核与电子间的电吸引力所形成。在哥白尼的太阳系中，行星可以在任何连续的轨道上运行，而在玻尔的“微小太阳系”中，电子只能在某些不连续的轨道上运行。

原子的分割是很容易的，例如用紫外线照射原子就可以把电子从原子里分离出去。这样，通过卢瑟福的实验和玻尔原子模型及量子力学的建立，最终宣告了在哲学上曾经是那样地至上，在科学发展史上起过那样重要作用的一个概念——原子是物质不可分割的最小组成部分——的结束。

不过，同时我们要看到，原子的分割，不是公孙龙式的分割。我们需要用一种新的化学和新的物理来讨论原子和原子的分割。

（四）原子核的分割和基本粒子

习惯的势力是巨大的，不但在日常生活中如此，在科学发展的历史中也是如此。

在发现了原子的结构之后，科学家们在猜想，原子核有没有最小的结构。这种猜想的科学根据是如果把氧原子质量的十六分之一取作原子量的单位，那么任何原子的原子量都非常接近于一个整数，例如氢的原子量，是这个单位的1.008倍。那么，可否认为，一切元素的原子核，都是由氢的原子核构成的呢？这真是一个有吸引力的想法，科学家于是给氢原子核起了一个名字“质子”，在希腊文中，质子是最简单的粒子的意思。不必是哲学家的读者也会看到，这是德谟克里特原子观的一种形式的复活。

不过这个猜想——直到英国物理学家查德维克在原子核里发现一种不带电的，质量与氢的原子核几乎完全一样的粒子之后才变成现实。查德维克发现的粒子被命名为中子，就是不带电的粒子的意思。由于氢原子核是带正电的，如果一切原子核都是由氢原子核组成的话，我们没有办法解释同位素——原子核有着相同电荷，但是原子量不同的元素——的存在。中子的存

在正好说明这一点：一切元素的原子核都是由不同数目的质子和中子构成的，质子数目相同，但中子数目不同的原子核对应着同一种化学元素的不同同位素。

这个理论随即被实验所证实。物理学家们“分割”了原子核，这次分割的“刀子”不是紫外线，而是中子。在中子的轰击下，重一些的原子核会碎裂成两个或三个较轻的原子核，有时还会放出中子。

在这个基础上，复杂的自然界被还原成如此简单，又如此和谐的结构。构成天地万物的是不同的元素，而不同的元素的原子却又都是由中子、质子和电子构成的。它们是构成天地万物的基石。它们是最早一批被人类认识的基本粒子。属于这第一批基本粒子的，还有光子——组成光波的最微小的粒子。

如果有人要问：构成太阳系的是万有引力，构成原子的是电磁力，构成原子核的力是什么？答案是：构成原子核的力是比万有引力和电磁力要强得多的一种力，叫做强作用力。后来还发现，有一些原子核是不稳定的，经过一定时候，会变成另外一种原子核，这种过程叫做衰变，引起衰变的力，是一种比电磁力还要弱得多的力，人们把它叫做弱作用力。这些发现是一些反对公孙龙式无限可分哲学观的例子：在原子核现象和原子核的分割中，我们有一种完全新的物理学规律。

从1932年提出原子核理论到今年整整有五十年了。五十年来，尽管人们对原子核现象的研究有了巨大的进步，但是与人们对原子现象的理解相比，其透彻程度就相差甚远。也许，我们不能够在原子核的层次上对核现象有一个透彻的了解，就象不能在分子的层次上对分子力或化学力有一个透彻的了解一样——对它们的透彻了解，是在弄清原子的结构之后——有待于我们对物质更深一个层次性质的了解。

（五）基本粒子的大发现和基本粒子的周期表

早在一九三五年，科学家就猜想基本粒子的家族成员可能比上面提到的四个要多。这猜测来自推崇庄子“判天地之美，析万物之理”（研究天地的和谐，分析事物变化根本的道理）哲学思想的日本物理学家汤川秀树。他把强作用力和电磁力作了比较（图6），提出这

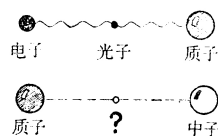


图6 电磁力和强作用力的起源

样的问题：既然电磁力的根本道理是尽管两个带电的粒子相距很远，但光子可以在它们之间来回，好比一根纽带，于是产生了电磁力，如果强作用力也是由于这种图象产生的话，那么来回于两个质子之间的粒子是什么？汤川分析了强作用力，得出结论是它应当是一种质

量介乎电子与质子之间的粒子,后来人们称之为介子.

1936年,科学家在宇宙线中找到了一个质量和汤川预言的差不多的粒子,起初大家很高兴,以为这就是产生强作用的那个粒子了.不过经过十年左右仔细的分析,肯定这个粒子没有强作用力,只有电磁力,因此不可能是汤川预言的那种粒子,而只是属于电子家族的一类粒子,这就是后来被起名为 μ 介子的粒子.汤川预言的那种粒子在战后1947年终于被找到,它被命名为 π 介子.

有几年,人们安于看到组成世界的基本粒子图象:

具有电磁力的	具有强作用力的
电子,光子, μ 介子	质子,中子, π 介子

不过这个简单的图象没有能够维持多久,二十世纪的五十年代,开始了基本粒子的大发现时期,起先是一个一个地报道,后来是一批一批地报道,这情况真是有点与一百年前的新元素大发现时期相似.基本粒子一批批地发现,显示在人们眼前一种又一种新奇的性质:奇

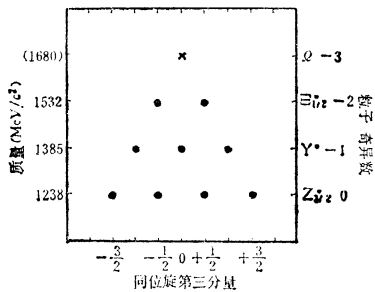


图 7

异数, G 宇称, 同位旋……, 又一次把人们带到五光十色令人目迷的境地. 物理学家每年刊登一次新的基本粒子表, 就象一百三十年前化学家刊登元素表

或八十年前物理学家刊登光谱线系表一样. 到了1961年,基本粒子表里的粒子数目,已经超过1869年人们知道的元素的数目.当然人们对一个类似于化学元素周期表的、能把基本粒子分类和显示它们性质规律性的“基本粒子周期表”的强烈要求是很自然的了.

试图制造这个周期表的物理学家很多,但成功的是美国的物理学家盖尔曼.1961年,盖尔曼提出他的基本粒子周期表,他的根据是基本粒子之间的一种对称性质.按照他的分类,他预言在 Δ 粒子系列(见图7)里应当有一个重的粒子,它的电荷应当和电子的一样,它是所谓“奇异”的粒子,奇异数是-3,它的质量是质子质量的1.8倍.盖尔曼把这个粒子叫做 Ω^- 粒子.就在盖尔曼的“周期表”发表之后的第三年,这个粒子就被找到了,它的性质和“粒子周期表”里预言的完全一样.

(六) 层子模型

虽然盖尔曼的“粒子周期表”取得了巨大的成功,但是填到这个周期表里新发现的粒子越来越多,到1965年,包含在这个表里的粒子的数目已经达到107

种.这样,基本粒子大发现的结果已经走到了基本粒子原来概念的反面,使人难以想象这么多的基本粒子都是基本的.而且,盖尔曼的“粒子周期表”的成功使人觉得,要进一步理解这个成功背后的实质,就必须深入到基本粒子的内部去研究它们的构造.这正是在1965年那个炎热的夏天,北京的一些物理学家们在中关村里热烈地讨论这个问题时的信念.这信念来自人类认识微观世界的历史经验,来自这些年来基本粒子物理学(一直到1965年,人们一直是这样称呼这门学科的,但近年来,由于认识到这些基本粒子的不基本,所以改称为粒子物理学.以下,我们将从这新的称呼,把基本粒子统称粒子,在必要冠以基本二字时加上引号)研究中正反两方面的经验和毛泽东“一分为二”的哲学思想.

质子和中子有内部结构的迹象,是早在1960年美国物理学家荷夫斯塔特的电子在质子上的散射实验中显示出来的(人们不禁想起半个世纪前卢瑟福的 α 粒子在原子上的散射实验,正是那个实验显示出原子的内部结构).1963年,盖尔曼和另一个美国物理学家茨威格提出,“粒子周期表”成功的实质是三个基础的粒子和它们的反粒子,一切具有强作用力的粒子都是由它们以各种不同的组合构造而成的.盖尔曼给这三个基础粒子取了一个古怪的名字“夸克”,根据的是英国作家乔伊斯著的《芬尼根的彻夜祭》中的诗句:

为检阅者似的马克王,三声夸克!夸克是海鸥的叫声,取意主要是个三字,因为组成当时已经发现的重子和介子需要三种这样的粒子.

当时国际物理学界对粒子的内部结构的认识就到此为止,而且有一种倾向就是多偏重于粒子间对称性质的讨论,避免涉及回答粒子内部的结构.这里面一个很重要的原因就是夸克不但有着古怪的名字,而且有着很古怪的性质,例如电荷只有电子电荷的三分之一——古怪得连它的提出人盖尔曼几乎要把它们收回去,从此宣称它们只不过是是一些数学符号.

不过北京的物理学家们却决定认真地研究粒子的内部结构,而且尽可能地研究构成粒子的动力学.粒子结构的动力学是一个困难的问题,也是一个还未成熟的问题.如果说卢瑟福实验确定了原子的原子核——电子结构,荷夫斯塔特实验并不给出确定的结构图象,而只是肯定质子不是一个几何学上的点;如果说在玻尔的原子模型中构成原子的力是已知的电磁力,但在粒子的构造模型中构成粒子的力在当时则几乎完全是个未知之数.

层子模型就是在这样的前提下发展起来的.层子这个词是在1966年初夏在北京民族饭店开的一次会议上确定下来的.那时对夸克、基础粒子、亚基本粒子、元强子等等可能的选择都觉得不满意,最后才确定了层子这个名字,以表示这也不过是物质构成的无限

层次中的一个特定层次的构成组分。

尽管构成粒子的层子之间的作用力还不清楚，但是，无论它有着什么形式，粒子的结构和性质最后还是通过描述层子在粒子中的分布的波函数表示出来。所以，在一定的程度上，动力学的讨论，可以归结到波函数的讨论上去。这个波函数，需要反映导致上节讲过的“粒子周期表”的对称性，需要反映层子在粒子中束缚得很厉害的这个图象，也需要反映粒子作为一个整体，在运动的过程中可以具有巨大的速度这个事实，因而，在整个计算的形式，需要符合爱因斯坦的相对论的要求等等。

这是层子模型里关键性的一步！在走出这一步之后，纷纭复杂的粒子现象重又变得相对地简单。粒子由于电磁力而引起的各种衰变过程和由于弱作用力而引起的各种衰变过程（这些过程在每年公布一次的《粒子表》里真是琳琅满目，使人眼花缭乱）通过波函数联系起来，有了一个统一的图象。一些以前被认为是每个粒子独特具有的性质，如介子和重子的性质，如粒子内部电和磁的分布情况，还有电矩、磁矩等，现在看来不再是孤立的、彼此无关的，而是通过波函数联系着，有着确定的关系。

除了这些成就之外，在层子模型里，还可以看到在粒子之间，还存在着一些更大的对称性，这些对称性，是不必象一些国外的物理学家那样，另外再作假设的。

可以说，层子模型是一个在构成粒子的作用力还不够清楚的情况下，用一定程度上反映了作用力的一般的特性的波函数，来研究粒子内部结构的模型。在这个模型里，复杂的粒子世界的一些主要的特征得到了统一的解释。

（七）层子模型以来

在研究层子模型的时候，不但北京的物理学家，而且全世界的物理学家，对层子之间的作用力的性质都知道得甚少。但是经过十八年的研究，物理学家们对

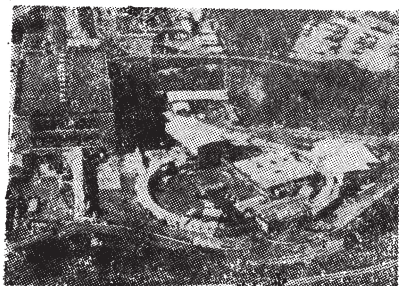


图8 分割粒子的工具——高能加速器

这种力的性质增加了不少的知识。

这知识来自分割粒子的种种尝试。

分割一根木棒，用一把刀子就可以了，分

割出来的还是木棒。分割一个原子，用紫外光就可以了，分割出来的是电子和原子核。分割一个原子核，需要用中子，或者另一个原子核来轰击，可以从原子核里分割出质子和中子来。分割粒子的“刀子”是有着巨大

能量的光子、电子、质子，而分割粒子的“作坊”是往往占地达几平方公里的高能加速器（图8）和附属的实验大厅。科学家们希望用这种“刀子”，从粒子中分割出层子来，就象在五十年前人们用中子轰击原子核，把原子核打碎，并从里面分割出质子和中子那样。

不过这种分割至今没有成功，粒子受到轰击，并没有碎裂成为层子，而是“碎裂”为更多的粒子和反粒子。虽然至今还没有找到层子，但科学家的努力并没有白费，他们发现，组成粒子的“基础粒子”远不止盖尔曼所提出的那样只有三种；他们间接地弄清楚层子的许多性质和对层子之间的力有了进一步的认识。比如说，层子应当具有一种叫做“颜色”的性质，而层子之间的力，和这种“颜色”大有关系，服从一门叫做“量子颜色动力学”的规律。而且，还很有可能，层子是不能从粒子中轰击出来的，要把层子轰击出来，向它射击的炮弹可能需要有无穷大的能量。

爱思索的读者可能要反驳：“这怎么可能呢？这是违背一分为二的规律的！”是的，至今为止人类对微观世界的认识都是符合这个规律的，不过，“分”，不是简单的公孙龙式或俄罗斯木偶式的分，在物质的不同层次上，分割有着不同性质的含义。层子也许能够被轰击出来，也许不能被轰击出来，这一点在科学上还没有定论，但是有一点可以肯定的是，在层子这个层次上，物质构成的规律，与我们以往知道的各个层次上——原子核、原子、分子等固体，等等——物质构成的规律是有着性质上的不同的。

在上一世纪大量新的化学元素被发现。从本世纪五十年代起大量新的粒子被发现。现在在实验上表明存在的层子已多达三类十五种。很可能还会发现新的前所未有的层子。看来物理学又在接近一个新的发展阶段的起点。研究各种层子性质之间的联系规律性，探索某种层子的“周期表”，更进一步探索层子的内部结构的阶段即将来临。让我们引法拉第的一段话来结束这篇史话：“没有什么难以想象的事情是不能存在的，如果它是与自然规律相一致的话；对于这类事情，实验是这种一致性的最好的检验”。