



中国科学院数学研究所 朱重远

一提起“新粒子”，许多人会想，顾名思义，“新粒子”大概就是指新发现的粒子。这个想法究竟对不对呢？也对也不对。现在被称为“新粒子”的那些粒子，确实是近几年发现的，但是，并不是所有近年来新发现的粒子都被叫做“新粒子”。究竟具有什么特点的粒子才被称为“新粒子”呢？要讲清这个问题，还得先从“老”粒子谈起。

“老”粒子的大家庭

第一个“新粒子”—— J/ψ 粒子是一九七四年发现的。在这以前的“基本”粒子大家庭（我们称它为“老”粒子大家庭）早已是成员众多，“面目”“性格”也各不相同。从成员数目看，有二百多个，但真正要把数目说得很确切，却也做不到，因为有的成员似有非有。从质量看，小的小到静止质量为零，大的大到几十亿电子伏（相当于质子质量的几倍，电子质量的几千倍）。从寿命看，有的至少比五十万亿亿年（ 5×10^{21} 年）还要长，甚至可以认为完全稳定，有的寿命却比一亿亿亿分之一秒（ 10^{-24} 秒）还要短。他们的自旋角动量各取特定的数值，有的是普朗克常数 \hbar 的整数倍，有的是半整数倍。他们参加的相互作用，类型也有不同。除掉引力作用大家都参加外（引力作用很弱，在微观现象中可以暂且不管它），其它已确定的作用类型，有作用相当强的“强相互作用”，比强作用弱的“电磁相互作用”以及弱得多的“弱相互作用”。说得更具体一点，这三种作用强弱程度的比例大体是 $1:10^{-2}:10^{-14}$ ，相差相当大。不过，尽管“老”粒子的大家庭有着千差万别，每个成员都有不同于其它成员的特点，它们之间，还是有“相近”和“相差很远”之分。所以它们可以分为几个族，每个族内各粒子的“面目”“性格”相近，不同族之间则相差很远。这几个族是：

光子族：族内粒子只参加电磁作用，其自旋角动量是 \hbar 。只有组成“光”的“基本”粒子——光子属于此族。

轻子族：此族粒子参与电磁作用及弱作用，但不参与强作用。它们的自旋角动量是 \hbar 的半整数倍。它们的寿命一般比较长。我们大家比较熟悉的“电子”就

属于此族。除此之外，还有 μ 子、电子型中微子、 μ 子型中微子以及它们的反粒子。在“基本”粒子大家庭中，它们的质量比较小，也许这就是人们称它们为“轻子”的原因。不过，最近发现的“重轻子” τ 也属于此族，它却相当重。

除掉上面所说的几种粒子外，其余的粒子都参与所有的相互作用，特别

是它们参与强相互作用。所以，它们被称为“强子”。强子又分为两族：

强子 { 介子族：自旋角动量为 \hbar 的整数倍。
重子族：自旋角动量为 \hbar 的半整数倍。

强子家族在“基本”粒子大家庭中占据了压倒多数的席位，乍一看来，似乎相当复杂。不过，早在六十年代，人们就已发现，这个庞大的家族存在着明显的规律性，它们可分为一个个数目为八个、九个或十个的小组。这种情况，与元素周期表十分类似。大家知道，元素周期表是元素原子结构的反映。直接的类比就使人联想到强子族成员的上述规律性是强子结构的表现。确实，如果假定：存在着三种更加基础的粒子——层子 u 、 d 和 s ，介子由一个层子和一个反层子构成，重子由 3 个层子构成，强子的大量性质就能够得到很好的解释。从这个意义上看，强子这种分成小组的规律性，完全可以称之为强子的“周期表”。这正是一九六五年——六六年我国“基本”粒子理论工作者提出层子模型的主要依据之一。

既然二百多个“老”强子的性质基本上可以由三种层子决定，强子家族实际上也就没有那么错综复杂。

六十年代以来，新发现的粒子数目是不少的，不过到七四年为止，所发现的都可以填入上述强子的“周期表”，所以，正如现在再发现一个元素周期表预言的元素不会再引起很大的轰动一样，这些粒子的发现也没有引起震动。这种情况，一直延续到 J/ψ 粒子被发现。

J/ψ 粒子的发现

其实，在 J/ψ 粒子发现以前，就已经出现过一些与它有关的奇怪现象。比如，一九七〇年，在美国布洛海文实验室工作的一个实验组，用高能质子轰击铍靶，发现产生出来的 $\mu^+\mu^-$ 粒子系统，在其不变质量^(*) 约为 30—40 亿电子伏（3—4Gev）的区域，数目比较多。不过，他们的仪器无法辨认出这是不是由新的粒子所造成。后来，正是在同一个实验室，另一个由中国血统的物理学家丁肇中领导的实验小组，在测量仪器和手段上下了功夫，做了一个类似的实验，他们测量高能质子

打靶后产生的电子—正电子对。由于他们化了很大的力气提高了仪器的分辨能力，终于确定了他们的实验中看到的那些电子正电子，几乎都是从—个质量约为31亿电子伏(3.1Gev)，寿命相对说来比较长的粒子衰变出来的。他们称这个粒子为J粒子。同—年，在斯坦福高能电子正电子对撞机上工作的—个实验组，也在先发现—些线索的情况下，立即改装仪器，提高精度，把这个粒子测了出来。他们称它为 ψ 粒子。一九七四年十一月—旬，两个实验组都宣布了他们的结果。从他们给出的实验结果，经过分析，还可以确定J/ ψ 粒子的寿命在—万亿亿分之一秒(10^{-20} 秒)左右。

这又是—个“老”粒子家庭的新成员吗？让我们翻—翻“基本”粒子性质表，作—个比较。—看你就会发现，—般说来，质量很大的粒子寿命都很短，而且质量愈大，寿命就愈短。那些质量在20亿电子伏(2Gev)以上的粒子，寿命都在—亿亿亿分之一秒(10^{-24} 秒)左右。J/ ψ 粒子质量更大，寿命却反而长—万倍，这不能不使你觉得，J/ ψ 粒子不像“老”粒子的样子，这也正是J/ ψ 粒子—发现，就引起高能物理界巨大震动的原—因。

“新粒子”“新”在那里？

初步的印象并不能代替严谨的科学分析。J/ ψ 粒子发现后，北京的“基本”粒子工作者进行了这种分析。

为了证实初步的印象，我们不妨试着把J/ ψ 放到各个“老”粒子家族中去，看看是不是有合适的位置。

如果把J/ ψ 放到光子族，它的寿命就应比测到的短—百倍。如果把J/ ψ 放到轻子或重子族，只要看看自旋角动量就已经知道这是不行的，因为轻子和重子的自旋角动量应是 \hbar 的半整数倍，而J/ ψ 的却是 \hbar 的整数倍(后来还测出J/ ψ 的自旋角动量正好是 \hbar)。也有人提出，它会不会是—对重的轻子结合在一起？具体算—下，就发现其寿命要比测到的长几百万倍！把J/ ψ 放入“老”的介子族行不行呢？也不行。这里需要稍为详细地说几句。—般，—个粒子的寿命，主要决定于两个因素：使它衰变的作用的强弱以及它可以变到的态的数目。作用愈强，可以变到的态的数目愈多，它就愈容易变，寿命就愈短。如果J/ ψ 和“老”介子差不多，它与“老”介子衰变的相互作用强弱程度就应该差不多，不同处只是在于J/ ψ 的质量更大。质量愈大，可以变到的态的数目就愈多，寿命就应该愈短。可是，J/ ψ 粒子的寿命却比那些20亿电子伏(2Gev)左右的“老”介子寿命长—万倍。

说来说去，J/ ψ 确实不像“老”粒子，它必定与“老”粒子有重要的不同。

J/ ψ 粒子究竟“新”在什么地方呢？

—开始，人们曾经作过许多各不相同的猜测。不过，经过三年来大量的实验和理论的研究，人们的认识已经逐渐趋于—致。

原来，J/ ψ 粒子确实是参与强作用的介子，不过，与“老”介子不同，它是由—种与“老”层子u、d、s不同的“新”层子—c层子和它的反粒子 \bar{c} 组成的。这种“新”层子比“老”层子重得多，所以，J/ ψ 粒子的质量就比较大。其它包含c层子的粒子也比较重，实际上，最轻的含c层子的粒子，也比J/ ψ 粒子的质量的一半要重，因此，由于能量不够，J/ ψ 粒子不能衰变到—对含“新”层子的粒子。它只好衰变到比较轻的“老”粒子。不过，衰变前的J/ ψ 粒子是“新”层子组成的体系，衰变后的体系中则全是“老”层子，前后之间没有任何共同的层子作“桥”。这与“老”介子衰变很不相同。“老”介子在衰变前后都是“老”层子组成的体系，有—些共同的“老”层子作“桥”，把前后联系起来。容易想像，没有“桥”，J/ ψ 粒子衰变成“老”粒子要难得多。这就是J/ ψ 比许多比它轻的“老”介子寿命还长得多的原—因。

新的第四种层子登上了“基本”粒子的舞台——这就是目前对“J/ ψ 粒子新在那里”这个问题的回答。

更多的“新粒子”

读到这里，许多读者—定会问：既然J/ ψ 粒子是由新层子c与它的反粒子 \bar{c} 构成，新层子就不能与老层子—起构成其它“新粒子”吗？回答是确实可以。

J/ ψ 粒子发现后，实验工作者化了很大的力气去寻找其他新粒子，现在已找到了十多种。它们是：

由新层子与 \bar{u} 层子构成的 D^0 、 D^{*0} 粒子

由新层子与 \bar{d} 层子构成的 D^+ 、 D^{*+} 粒子

由新层子与 \bar{s} 层子构成的 F 、 F^* 粒子

由新层子与其反层子构成的，与J/ ψ 有所不同的其它粒子 $\psi(3684)$ 、 $\chi(3415)$ 、 $\chi(3545)$ 、 $\chi(3510)$ 、 $\chi(3550)$ 、 $\eta_c(2870)$ 。此外 $\psi(3770)$ 和 $\psi(4414)$ 也有可能是新层子与其反层子构成的。(这里，括号中的数目字是该粒子的质量，单位是百万电子伏)。

除掉这些介子外，在实验上，由新层子和u层子、d层子—起构成的 $\Lambda_c^+(2260)$ 、 $\Sigma_c^{++}(2430)$ 和 $\Sigma_c^0(2430)$ 等新重子也有—些证据。

“人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在—个水平上”。新粒子的发现又—次证明了辩证唯物主义的这—光辉论断。最近，在用高能质子打原子核产生 $\mu^+\mu^-$ 的实验中发现了质量为9.4Gev、10.0Gev、10.4Gev的三个新粒子，标志着又有新的东西出现了。究竟是新的第五种、第六种……层子，还是其它原因造就了它们？这个问题，要在进行大量的实验和理论研究后，才能得到回答。

注：按照相对论，—粒子系统的[(总能量) 2 —(总动量) 2 C^2]= M^2C^4 (C是光速)在各惯性系中是—样的。M通常就叫做“不变质量”或“静止质量”。

另外，按相对论，质量=(能量)/(光速) 2 。光速是常数，所以常常用能量的单位——电子伏特代替质量的单位。我们说质量是1电子伏，就意味着质量是 1.78×10^{-33} 克。