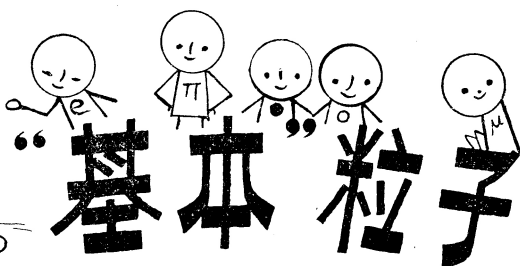


# “孤粒子”

与



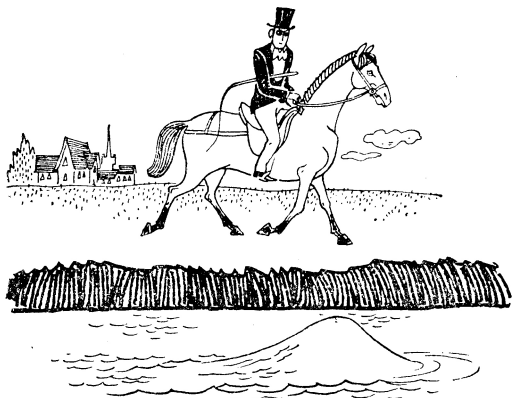
# 基本粒子

汤 拒 非

## 孤立波的发现

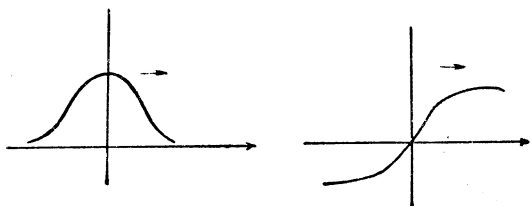
1834年，一位名叫斯科-罗素的人，偶然遇见了一次稀有的事例，他对这次事例作了生动而美丽的描述。

“我看到两匹骏马沿运河拉着一只船迅速前进，船突然停止，这时随船运动的水并没有停止，它激烈地在船头翻滚堆积起来，随即突然离开船头以巨大的速度向前推进。它的形式是一个大鼓包，一个轮廓清晰而又光圆的水堆。沿着运河继续前进而不明显地改变它



的形式和速度。我在马上跟踪注视，发现它以大约每小时8—9英里的速度前进，保持它原来约30英尺长，1到1.5英尺高的形状。后来它的高度逐渐降低，经过一英里的追逐后，在运河的拐弯处看不见了。”

这是在文献上最早记录的水面上“孤立波”的事例。对于这一现象，经过六十余年后，在1895年才由柯特维格(Korteweg)和德弗里士(de Vries)两人(以下简称KDV)提出理论的解释。他们指出“孤立波”应有如下两种形式：



从文献上看，斯科-罗素所见到的“孤立波”大概属于左边的一种。

通常我们在湖面上见到的水波，总是向四面散开并且总是很快就消失了。为什么斯科-罗素所见到的水波竟有这样奇特的形状，并且能够保持它的形状向前推进达一英里之遙而不消失呢？根据KDV的研究，这是由于水这种流体还有两种特殊性质，即所谓“非线性效应”和“色散效应”。粗略地说，前者是指水波的能量同水滴离开平衡位置的位移和速度等物理量之间有一种较为复杂的关系。由于这一效应，水波的“叠加原理”遭到了破坏，后者是指水波的传播速度随波长而变化的效应。在一定的条件下，这两种效应起主导作用，这时就可能出现“孤立波”的现象。1971年查布斯基(Zabusky)和加尔文(Galvin)等人在水箱中进行了实验，证明了KDV的研究结果是正确的。

## 孤立波的一个有趣的性质

孤立波虽然有它独特之处，但在很长一个时期内没有引起人们足够的重视，有很多人还认为孤立波的这些特点，在孤立波与孤立波的碰撞过程中，必然会受到破坏，而分散成许多通常的水波，丧失它原来的性质，这种想法直到1962年才得到纠正。当时由丕林(Perring)、斯克姆(Skyrme)等人用电子计算机对孤立波-孤立波的碰撞进行了计算，结果表明，孤立波在通过碰撞以后，能够以原来的形式和速度继续向前运动，不发生改变。这表明孤立波是一个稳定的形态，我们不应把它当作昙花一现的东西，而应当把它当作一个客观的实体，就像分子和原子一样的东西来对待。确实，对于通常的水波，我们也见到当水波和水波相遇时，会相迭合而又分开，保持原有的形式继续传播不受影响。但这些都属于线性波的形式。对于非线性波像孤立波这种东西，也能在碰撞中保持它独特的性质不变，这不能不使人感到惊讶。

在丕林等人的工作之后不久，查布斯基等人又发现了不仅是水中的孤立波，还有其它物质中的孤立波(例如等离子体)也能经过碰撞保持它原有的形式不

变。由于这样一个原因，一个新的名词“孤粒子”(Soliton)被引进来表示所有这一类的孤立波，即它能经过碰撞而不改变其形状和速度的。

## 粒子与波

孤立波的研究已经有三百多年的历史，但孤粒子的研究被应用到“基本”粒子中来还是近几年的事情。不应忘记孤粒子根源于波的现象。一般的看法这和电子、质子总不能完全一样。为了把这两者统一起来，我们要把人类对“基本”粒子的认识过程作一追叙。大约在半个世纪以前，人们发现了所谓微观粒子的“两重性”。这首先是在光的现象中发现的。原来人们都认为光是电磁波的一种，按照这个理论，光的能量应当是连续地分配在光波上。但是“光电效应”的实验却表明光的能量是不连续的。就单色光而言，每一份最小的能量是 $h\nu$ ，这里 $\nu$ 是单色光的频率， $h$ 是普朗克常数。于是产生了“光子”的概念。承认了光具有粒子的性质，不久以后，一位法国物理学家德·布罗意指出，对于像电子、质子这类过去的所谓粒子，也许还存在有波动的性质，这种性质应当能在它的传播的过程中表现出来，他并指出这种物质波的波长与它的动量之间应有如下的关系： $\lambda = h/P$

式中 $P$ 代表粒子的动量， $\lambda$ 就是德·布罗意波的波长。德·布罗意的这一想法很快就被实验物理学家加以证实。实验用电子束通过一个晶体箔照射到照相底片上，发现底片上出现了绕射条纹，正像X光波通过晶体一样。以后用分子束、原子束进行了实验，都得到了相同的结果。这一切表明，微观粒子都具有二重性。粒子性、波动性是微观粒子不可分割的两重性。量子场论就是综合地描述了微观粒子的这两种性质而建立起来的一门科学。

正是由于微观粒子的这种两重性，所以人们发现孤粒子，并认识到它既有波动性，又能保持形状大小不变，有类似于粒子的特征之后，因而就企图把它引进微观粒子的研究中来，那是很自然的。但是这一企图由于下列一些原因而变得复杂起来。

首先，经过五十余年的发展，微观物理的研究已经进入了研究“基本”粒子结构的时期。1965年我国的理论物理工作者们提出了“基本”粒子的层子模型，在国外也有类似的理论。这一理论大大地推进了“基本”粒子的研究。在这种形势下，孤粒子在“基本”粒子的研究中到底担当一个什么样的角色呢？是把孤粒子和某些已经观察到的“基本”粒子(如 $\pi$ 介子)直接划等号呢？还是让它担任另外一种角色呢？

其次，孤粒子本身的某些性质也使我们在把它直接用于“基本”粒子的研究中时需要作更多的考虑。例如，以前所讨论的孤粒子在理论上都属于一维的形式，但是任何实在的“基本”粒子都存在于三维的空间中，

这表明孤粒子的概念还需要进一步发展才能更好地联系物理的实际。

## 孤粒子概念的延拓

上面提到的孤立波和孤粒子的意义是比较窄的，它包含了有限的几种。用它们来解释目前五色缤纷的“基本”粒子现象是很不够的。两年前(1976)美籍中国物理学家李政道教授和他的合作者扩充了孤粒子的定义。他们定义的孤粒子为：(i)有一个不为0的静止质量，(ii)永远约束在空间的一定范围内(即不耗散)，按照这一定义孤粒子的种类就多得多了。例如，现在有三维空间的孤粒子，这比原来只有一维形式的孤粒子更接近了物理的实际。又例如，以前讨论的孤粒子自旋为0，现在则包括自旋为1/2的孤粒子。

在1974—75两年中，美国有两批物理学家提出了一种所谓“基本”粒子的口袋模型。这两种模型出发点不同，但它们共同的特点是认为“基本”粒子由夸克所组成，而夸克被约束在类似于口袋一样的东西之内，早一点的那个叫MIT口袋，晚一点的那个叫Slac口袋。它们所谓的口袋也可以认为是孤粒子的某种形态。口袋模型的作者把夸克比作一种小昆虫，这种昆虫喜欢在沙土上钻洞而用沙土把自己掩埋起来。孤粒子正好为这种昆虫提供了一个合适的掩体。

远在1931年，英国物理学家狄拉克就考虑了在电磁现象中没有孤立的磁荷这一事实。他从理论上研究了在有孤立磁荷(即磁单极子)存在的情况下，电磁理论应当如何修正的问题。他发现，一旦自然界有磁单极子存在，则每一个磁单极子上必附有一条奇异的弦，且磁荷的大小与电子电荷应该有下面的关系：

$$eg = \frac{1}{2} n\hbar c \quad n \text{ 为整数}$$

式中 $g$ 代表磁荷， $e$ 代表电子电荷， $h$ 是普朗克常数， $c$ 是光速。随后，理论物理学家和实验工作者不断在这方面进行探索，也有多次报导似乎实验上发现了磁单极子的事例。1973年荷兰一位青年物理学家特荷夫(G't Hooft)指出在一种新的理论中，磁单极子可以不带有奇异弦。他的这个理论在最近几年当中曾经成为最热烈讨论的题目之一。由于特荷夫所发现的磁单极子也是非线性方程式的一种解，符合孤粒子的定义，所以它又是一种孤粒子。李政道教授曾经把这类孤粒子列为拓扑性的孤粒子。而把另一种不同于这一类的孤粒子叫做非拓扑性的。

## 展 望

尽管孤粒子作为物理的实在已经在许多物理的领域内确定地成立。但在“基本”粒子的研究中，它的地位还需要进一步研究，把孤粒子作为“基本”粒子的写照有许多吸引人的地方。首先它有一定的大小，在空

间有一定的广延。这比过去用点模型描述更符合实际。其次它的存在是由于非线性效应，即使在耦合很弱的情况下也能出现。但是，当试图把孤粒子引进“基本”粒子的理论中来时，问题立刻就发生了。首先孤粒子的解是较难得到的。即使得到的有限几个解，也不足以用来对“基本”粒子作完备的描述。更严重的是如果有两个孤粒子的解存在，当把这两个不同的解叠加

起来后，就不再是原来方程式的解了。由于这样一些原因，目前还不能建立起一整套用孤粒子来描述“基本”粒子现象的理论。当然，事物是不断发展的，人们对于客观实际的认识也在不断地深化，孤粒子理论的发展能否成为一个更完善的描述“基本”粒子的理论，或者只不过是一种有趣的数学模型，我们将拭目以待。

(吴文渊插图)