

高能物理的发展

朱洪元

(中国科学院高能物理所)

高能物理是经原子核物理研究和宇宙线研究中诞生出来的。在第二次世界大战以后，加速器技术、粒子探测技术和数据的获取和处理的技术迅速发展。在五十年代初加速器的能量开始超过一个GeV，从而有可能开始对高能物理现象进行系统的研究。高能物理也就开始成为物理学中一个独立的分支学科。

高能物理研究的一批重要成果是数以百计的、前所未有的粒子的发现。在本世纪二十年代，中子还没有被发现。当时人们曾经认为：自然界一切物体是由原子组成的，而原子又是由电子和原子核组成的，原子核则是由质子和电子组成的。因此归根到底，自然界一切物体都是由电子和质子组成的。所以称电子和质子为“基本粒子”。在1932年发现了中子。而且中子和质子能够相互转化，很难说谁比谁更基本。因此只能认为中子也是基本粒子。在同一年发现了正电子。很难说质子和电子比正电子更基本，更不能说正电子是由质子和电子组成的。因此只能将正电子也当作基本粒子。后来发现的粒子愈来愈多，它们能相互转化，很难说这个粒子比那个粒子更基本。在另一方面又很难设想，基本粒子的种类会多到数以百计。所以现在将“基本”二字取消，统称它们为粒子。

研究这些粒子，发现它们都是配成对的，配成的粒子称为正、反粒子。正、反粒子的一部分性质完全相同，另一部分性质完全相反。例如：电子和正电子就是一对正、反粒子，它们的质量和自旋完全相同，但它们的电荷和磁矩完全相反，又例如：中子和反中子也是一对正反粒子，它们的质量、自旋、平均寿命完全相同，但它们的磁矩完全相反。有些正、反粒子的所有质量完全相同，因此就是同一种粒子。光子和 π^0 介子就是这类粒子的二个例子。

研究这些粒子的另一个重要发现是：没有一种粒子是不生不灭，永恒不变的。在一定条件下都能产生和消灭，都能相互转化，毫无例外。直到二十年代，人们还认为电子和质子是永生不灭，永恒不变的。但后来发现，电子遇上正电子，就会相互消灭而转化为光子。反过来高能光子在原子核的库伦场中能转化为一对电子和正电子。在缺中子同位素中，质子会转化为中子而放出一个正电子和一个中微子。质子遇上反质子就会相互消灭而转化为许多介子。 π 介子和原子核相碰撞，只要能量足够高，就能转化为一对质子和反质子。因此产生和消灭是高能物理过程中非常普遍的现象。

直到本世纪二十年代，人们认为自然界就存在两种基本相互作用力。一种是万有引力，另一种是电磁力。其它的力的根源都是这二种基本相互作用力。原子核物理研究发现，自然界还存在另外二种基本相互作用，就是强相互作用和弱相互作用。在氢原子中，电子的结合能为13.6eV，这是源于电磁相互作用。在氮原子核中，平均每个核子的结合能高达 7×10^8 eV，这就是来源于强相互作用。原子核的 β 衰变就是来源于弱相互作用。这两种相互作用不能还原为万有引力相互作用和电磁相互作用。现在实验上已经发现的四种基本相互作用的强度可以用下列的无量纲参数来表达：

万有引力相互作用

$$\frac{Gm_p^2}{\hbar c} = 5.9 \times 10^{-39}$$

弱相互作用

$$\frac{G_F m_p^2 c}{\hbar^3} = 1.0 \times 10^{-5}$$

电磁相互作用

$$\frac{e^2}{\hbar c} = \frac{1}{137}$$

强相互作用

$$\frac{g_s^2}{\hbar c} = \frac{1}{5}$$

其中 G 为万有引力常数， G_F 为费密弱相互作用常数， e 为正电子电荷， g_s 为强相互作用常数， m_p 为质子质量。在现在加速器所产生的粒子和宇宙线中的粒子的能量所能达到的范围内，万有引力在高能物理过程中所起的作用微不足道，但是在原子核物理和高能物理现象中，强相互作用和弱相互作用起作用的范围普遍和电磁相互作用起作用的范围同样普遍。它们能导致多种粒子的产生、转化和消灭。

为了提供关于强相互作用、电磁相互作用和弱相互作用的一些感性认识，在表（1）中给出三个衰变过程的平均寿命，它们是分别由这三种相互作用决定的

表 1

相互作用类型	衰变过程	平均寿命（秒）
强	$\rho^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$	4.2×10^{-24}
电磁	$\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$	8.3×10^{-17}
弱	$\mu^- \rightarrow e^- + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$	2.2×10^{-8}

其中 γ 代表光子， π^+ 、 π^- 、 π^0 分别代表正、负、中性 π 介子， e^- 和 μ^- 分别代表电子和 μ 子， ν_e 代表和电子相应的反中微子， $\bar{\nu}_\mu$ 代表和 μ 子相应的中微子，表（2）给出三个高能碰撞过程的总截面，它们分别是由强相互作用、电磁相互作用和弱相互作用决定的。

表 2

相互作用类型	碰撞粒子	总截面（ cm^2 ）
强	$\pi + N$	2.5×10^{-28}
电磁	$\gamma + N$	1.0×10^{-28}
弱	$\nu_\mu + N$	6.1×10^{-37}

其中 N 代表核子，中微子 ν_μ 的能量为100GeV。

在所有这些粒子中，光子是传递电磁相互作用的媒介， W^+ 、 W^- 、 Z^0 中间波色子是传递弱相互作用的媒介。引力场的量子“引力子”和理论上预言的传递强相互作用的媒介“胶子”迄今还未在实验上发现。

除了光子和 W^+ 、 W^- 、 Z^0 中间波色子以外，所有在实验上已经发现的粒子可以按照其是否参予强相互作用分为两大类：一类参予强相互作用，称为“强子”；另一类不参予强相互作用，称为“轻子”。然后又可以按自旋将强子分为两大族：一族的自旋为半整数，统称为“重子”；另一族的自旋为整数，统称为“介子”。实验上最早发现的重子是质子。最早发现的介子

是 π 介子。最早发现的轻子是电子。因为质子的质量为电子质量的1836倍，所以称前者为重子，后者为轻子。 π 介子的质量为电子质量的270倍，为质子质量的 $1/7$ ，介于二者之间，所以称为介子。现在实验上已经发现的质量最大的轻子是 τ 轻子。它的质量几乎是质子质量的二倍，一点也不轻。实验上已经发现的 γ 介子，它的质量约为质子质量的10倍。由于历史的局限性，早年提出来的名词：“重子”、“介子”、“轻子”已经不合适，但仍然一直沿用到今天。

已经发现的轻子共三代、六种，它们是

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau \end{pmatrix}$$

与之相应，存在三代、六种反轻子。在实验上已经发现的以百计的粒子绝大部份是强子。实验研究发现，强子并不是没有大小的点粒子，都有一定的大小。例如：质子和中子的半径都是 0.8×10^{-13} 厘米。进一步的实验研究发现，强子内部还有带点电荷的东西。因此强子是具有内部结构的粒子。强子内部带有点电荷的东西称为层子和相应的反层子。强子由层子和反层子组成。将强子按照其性质分类，发现强子形成一组一组的多重态，就像化学元素可以按照元素周期表，形成一族一族一样。从这些规律可以推断：现在实验上已经发现的强子都是由三代、六种层子及相应的反层子组成的。这三代、六种层子分别以下列符号表示

$$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}$$

看来在轻子和层子之间可能存在着某种对称性。

设以 e 代表正电子的电荷，则 e, μ, τ 轻子的电荷均为 $-e$ 。 ν_e, ν_μ, ν_τ 是与之相应的中微子，它们都是中性的、不带电。 u, c, t 层子的电荷均为 $\frac{2}{3}e$ ； d, s, b 层子的电荷均为

$-\frac{1}{3}e$ 。所有轻子和层子的自旋为 $\frac{1}{2}$ ，因此都服从费密统计法则。

假使引进“层子数”这一量子数，并令层子的层子数为1，反层子数的层子数为-1，则所有强子和原子核的层子数均为3的倍数。例如：介子的层子数为 0×3 ，重子的层子数为 1×3 ，反重子的层子数为 -1×3 ，氘核的层子数为 2×3 ，氦核的层子数为 4×3 ，金核的层子数为 197×3 。这是一个非常有兴趣的现象性规律。根据强子的分类，特别是对于一组一组重子的内部波函数的研究，可以推断，强子内部还隐藏着前所未有的内部自由度。在这种自由度中，每一种层子都有三种不同的状态。由于原色有红、绿、蓝三种，所以将“色”这个字借用过来，称这种自由度为“色自由度”。设将每一种层子的三种不同状态分别以拉丁字母R、G、B标志，则 u 层子可以处于

$$u^R, u^G, u^B$$

三种不同的状态。其它各种层子的三种不同状态也可以这样表示。可以将层子在色自由度中的三重态当作SU(3)群的基础表示，那末所有强子在这个SU(3)群变换中都是不变的，都是色单态。所以对于强子的结构说来，色自由度是一种隐蔽的自由度。

但这种色自由度会在高能物理过程中显示出来。高能电子和正电子相互碰撞，从而消灭并转化为许多强子，就是这样一种过程。测量这一过程的截面表明，的确存在色自由度，否则这一过程的截面的大小应该只是实验值的 $1/3$ 。

因此到目前为止，实验上已经观察到的粒子，除光子和 W^+ 、 W^- 、 Z^0 中间波色子以外，都可以归结为三代、六种轻子和相应的反轻子以及三代、六种层子和相应的反层子。每一种层子或反层子在色空间中可以处于三种不同的状态。在表(3)中给出光子， W^+ 、 W^- 、 Z^0 中间波色子，轻子和层子的一些主要性质。其中 t 层子的发现是今年七月初欧州核研究中心UA1实验组宣布的，一共只得到六个事例，质量的测量很不准确。还没有其它实验组加以证实。从表中可以看出，质量最轻的粒子是光子，它没有静止质量。在实验误差范围内，三种中微子的质量也可能等于零。但由于这些实验还不很精确，中微子的质量是否等于零，还有待更精确的实验来检验。质量最大的粒子是 Z^0 中间波色子，它的质量约为质子质量的100倍。由于处于自由状态的层子还没有被发现，表(3)中所给的层子质量是根据强子的质量值，用理论估计的处于束缚状态中的层子的质量值。可以看出轻子和层子的质量谱和原子、原子核的质量谱以及它们的能级谱很不相同。质量值之间的间距随着质量值的升高而升高。

高能物理现象一方面具有微观物理现象中普遍存在的波、粒二重性；另一方面又包含着大量的产生和消灭过程。为了反映这些特点，在理论中引进“量子场”这一概念。量子力学能反映微观世界的波、粒二重性，但是由于它所描述的是自由度数目确定的物理系统，因此不能反映粒子的产生和消灭过程。经典电磁场理论所描述的是具有无穷多自由度的系统，能够反映电磁波，其中包括光波的产生和消灭，但不能反映波、粒二重性。要建立一个既能反映微观世界的波、粒二重性，又能反映粒子的产生和消灭过程的理论，就得按照将经典力学改造成为量子力学的方法，将经典场改造成为“量子场论”。在这种理论中，场量是算符，满足一定的运动方程和对易关系或反对易关系。例如：电子应由量子旋量场 $\psi(x)$ 反映。

自由电子场可以作如下的傅里叶展开：

$$\psi(x) = \sum_{p_1} \{ a_{ps} u_{ps} e^{ipx} + b_{ps}^* v_{ps} e^{-ipx} \}$$

其中

$$P_0 = \sqrt{m_e^2 + |p|^2}$$

u

v_s 和 v_{ps} 是表达自旋状态的旋量波函数。 a_{ps} 是代表一个动量为 P 、自旋取向为 s 的电子的消灭算符； b_{ps}^* 是代表一个动量为 P 、自旋取向为 s 的正电子的产生算符。因此量子场一方面反映了正、反粒子之间的不可分割的联系，另一方面又反映了产生和消灭过程的普遍性和它们之间的不可分割的联系。按照这一方法建立起来的量子电动力学，在用重整化方法处理高次近似计算结果中出现的无穷大以后，得到的理论结果和最精密的实验结果相符合。例如实验测得的电子磁矩值为：

$$(1,00115965241 \pm 0,00000000020) \frac{eh}{2m_e C}$$

表 3

	粒子种类	自旋	质量 (MeV/c ²)	电荷 (e)
光 子	γ	1	0	0
	W^+	1	0.1×10^4	1
	W^-	1	8.1×10^4	-1
中 间 波色子	Z^0	1	9.4×10^4	0
	e	1/2	0.511	-1
	ν_e	1/2	$< 6 \times 10^{-5}$	0
轻 子	μ^-	1/2	1.0×10^2	-1
	ν_μ	1/2	< 0.57	0
	τ^-	1/2	1.78×10^3	-1
	ν_τ	1/2	$< 2.5 \times 10^2$	0
	d	1/2	9	- $\frac{1}{3}$
层 子	u	1/2	5	$\frac{2}{3}$
	s	1/2	1.75×10^2	$-\frac{1}{3}$
	c	1/2	1.25×10^3	$\frac{2}{3}$
	b	1/2	4.50×10^3	$-\frac{1}{3}$
	t	1/2	$\sim 3 \times 10^4 \sim 5 \times 10^4$	$\frac{2}{3}$

量子电动力学的理论结果在误差范围内与之符合。

关于弱相互作用的最早的理论是费密提出来的。关于强相互作用的最早的理论是汤川提出来的。前者是关于原子核 β 衰变的理论，后者是关于核子力的理论。因此这两个理论都是在原子核物理研究中诞生的。在这二个理论中，质子、中子、介子、电子、中微子都是没有内部结构的点粒子。强子内部结构的发现立刻对这二个理论产生影响，但后果并不相同。在 β 衰变中放出的电子和中微子的能量都是 MeV 数量级，相应的波长比核子半径大二个数量级。在这种情况下将核子当作点粒子处理还是一个很好的近似。因此费密的 β 衰变理论仍然可以成为一个现象性的理论。事实上直到今天，在原子核物理中研究 β 衰变仍在用费密型的理论。

但是核子力的力程、核子和介子的半径都是 10^{-13} 厘米数量级。汤川理论中的汤川力即使作为核子力的现象性理论也难以胜任。事实上后来原子核物理研究的重要理论结果，如壳层模型、综合模型，都和汤川的核子力理论没有多大关系。汤川力类似电磁力，是交换没有内部结构的点粒子产生的。现在看来，核子力是由于交换一对正、反层子产生的，因此更类似于交换一对电子而产生的化学键。核子力并不是基本的强作用力，只是基本强作用力的一种表现，基本强作用力是将层子结合成为强子的力。从这个角度看，强子结构和原子结构之间的关系有些像原子结构和分子结构之间的关系。例如：氢原子和氢分子的大小都是 10^{-8} 厘米数量级，它们的结构很难截然分开。强子和原子核的大小都是 10^{-13} 厘米数量级，它们的结构也很难截然分开。正如分子结构的基本理论必须建筑在原子结构的基本理论的基础之上一样，原子核结构的基本理论也必须建筑在强子结构的基本理论的基础之上。关于强子结构的基本理论现在还处于探索阶段。因此直到现在，原子核结构的理论还处于现象性理论的阶段。

关于弱相互作用的基本理论五十年来经历了曲折的道路，已经取得决定性的成就。这一成就是两路初看起来彼此无关的进展的汇合。其中一路进展和实验的进展密切相关，从不同的弱相互作用过程的实验数据推导得的弱相互作用常数的大小差不多是相同的，这表明，不同的弱相互作用过程可能有统一的起源，宇称在弱相互作用过程中不守恒的发现对于理解弱相互作用起了十分重要的作用。后来确定弱相互作用为 V-A 型，即矢量型和赝矢量型，这表明弱相互作用和电磁相互作用相类似，可能也是通过矢量场的量子传递的，在弱相互作用和电磁相互作用之间可能存在着某种连系。这就为统一地理解电磁相互作用和弱相互作用提供启示。

另一路进展是理论在自己内部矛盾的驱使下向前发展的。费密型的弱相互作用理论中的发散困难不能用重正化的方法来处理。因此这种理论就可能是弱相互作用的现象性的近似理论，不可能是弱相互作用的基本理论。费密型弱相互作用理论中，弱相互作用不需要通过任何媒介传递，是一种直接相互作用。量子电动力学中的电磁相互作用是以光子为媒介传递的，而量子电动力学是可以重正化的。如上所述，实验上已经有迹象表明弱相互作用可能也是通过自旋为 1 的粒子作为媒介传递的。这种粒子和光子不同之处在于：光子的质量为零，它所传递的电磁力是长程力；由于弱相互作用的力程比核子力的力程还要短得多，因此传递这种力的粒子一定具有很大的质量。此外，光子不带电，但传递弱相互作用力的粒子可能带有电荷。可以按照量子电动力学的形式来建立弱相互作用的理论。这种理论有二点和量子电动力学不同，即传递弱相互作用的矢量粒子的质量不为零，而且它还带有电荷。这种理论中的发散困难的确远没有费密型弱相互作用理论那样严重，但仍然是不可重正化的。不可重正化

的原因是传递弱相互作用的矢量粒子的质量不为零而且带有电荷。

这一困难的解决是由于物理规律的定域不变性的研究开辟道路的。量子电动力学对于定域 $u(1)$ 变换具有不变性。作为万有引力的基本理论的广义相对论对于定域坐标变换具有不变性。在三十年代，曾经在理论上研究原子核强相互作用现象所呈现的同位旋不变性，建立了同位旋不变的理论，但当时建立的这种理论只对于整体同位旋变换具有不变性。在1954年，杨振宁和密耳斯研究如何建立具有定域同位旋不变性的理论。他们发现，为此必须在理论中引进三种矢量场，它们在同位旋空间中形成 $su(2)$ 群的伴随表示。在量子化以后，这些场的量子代表自旋等于1，质量等于零的粒子。这种粒子所传递的力类似电磁力和万有引力，是长程力。对于内部自由度具有定域不变性的理论称为“规范场理论”。在这种理论中必须引进一套矢量场，称为“规范场”。它们在这种内部自由度中形成这种变换群的伴随表示。假使变换是可对易的，相应的理论称为“阿贝尔规范场论”。例如量子电动力学就是阿贝尔规范场论，因为 $u(1)$ 群中的变换是可以对易的。假使变换是不可对易的，相应的理论称为“非阿贝尔规范场论”。杨振宁和密耳斯提出的理论就是一种非阿贝尔规范场论，因为 $su(2)$ 群中的变换是不可对易的。

由于在实验中观察到的长程力只有万有引力和电磁力两种，并没有观察到杨振宁和密耳斯理论所预言的长程力。所以在相当长一段时期内人们不知道如何在物理学中应用这种非阿贝尔规范场论。

直到1964年希格斯才发现，有可能既保持理论的基本方程的定域不变性，又可能使规范场的量子，自旋为1的粒子具有不等于零的质量。物理规律对于某种变换具有不变性的具体含义是：

(1) 表达物理规律的数学方程的形式在这种变换中保持不变。

(2) 描述具体物理过程的是这套方程的解，但这些解的数学形式在这种变换中未必保持不变。

(3) 这些解在变换中所获得的新的数学表式仍然是这套基本方程的解，因此它们也是客观上可能产生的物理过程的表达。

长期以来人们一直认为：代表真空的解在这种变换中是不变的。例如，真空在坐标变换后仍是真空。在量子场论中，代表真空的状态就是能量最低的状态。人们长期认为，假使物理的基本理论具有某种内部对称性，那么代表真空的解在相应的变换中也是不变的。

希格斯发现，假使在量子规范场论中表达真空的解在定域变换中不再是不变的，那么规范场所描述的自旋为1的粒子的质量就可能不等于零。希格斯的方法是在理论中引进一套标量场，称为“希格斯场”，并使希格斯场的值在代表真空的解中不为零。这就使代表真空的解在定域变换中不再保持不变。这种理论叫做“真空的对称性自发破缺”的量子场论。之后温伯格和萨拉姆将非阿贝尔规范场论从强相互作用领域移植到弱相互作用的领域，利用希格斯的方法，使真空自发破缺，建立了今天“电弱相互作用理论”。这一理论中所包含的发散困难可以用重正化方法解决。在七十年代这一理论成功地经受了九种实验的检验。在1983年1月和5月在实验中分别发现了这一理论预言的传递弱相互作用的 W^+ 、 W^- 和 E^0 中间波色子。实验测得的这些粒子的质量值和理论所预言的质量值在实验和理论的误差范围内相符合。这是这一理论的决定性的胜利。从十九世纪末发现放射性起，八十多年来经过许许多多实验家和理论家的努力，终于建立起电磁相互作用和弱相互作用相互密切连系的基本理论。这一理论和麦克斯韦建立的将电和磁统一起来的电磁理论一样，是物理学发展过程中的一个

里程碑。

物理规律的每一种不变性都导致一种相应的守恒定律。物理规律的每一种定域不变性都导致一种相应的相互作用。万有引力相互作用、电磁相互作用和弱相互作用和物理规律的定域不变性不可分割地连系在一起。当前人们集中力量研究一种强相互作用理论：“量子色动力学”是一种对于在色空间中的 $su(3)$ 变换具有定域不变性的非阿贝尔规范场论。这种理论要求存在八种矢量场，称为“胶子场”。胶子场所传递的相互作用就是强相互作用。将层子、反层子结合成为强子的就是这种力。实验发现：层子在强子内部相当自由，好像没有受到多大的束缚力似的。但是迄今为止，即使用能量最高的加速器所产生的高能粒子也没有能够将层子从强子中打出来。自由胶子的质量是零，不带电，在这方面很像光子。光子很容易产生出来。但是到目前为止，还没有能够将自由胶子产生出来。可以证明，在量子色动力学中，强相互作用的强度随着层子间距离的缩小，随着它们之间的动量传递的增加而减弱。这一性质称为“渐近自由”，它可以解释层子在强子内部相当自由这种现象。这一性质也使人有可能用微摄论的方法来探讨高动量传递的强相互作用过程。低次近似计算的结果和实验结果在定性上是符合的。但要对量子色动力学进行定量的、精密的检验，不仅需要精确的实验结果，也需要精确的理论结果。因为高次近似的贡献相当可观而又难于计算，所以目前在这方面还有困难，需要进一步努力。用量子色动力学研究大距离、低动量传递的强相互作用现象在数学上还要困难得多。量子色动力学是否是强相互作用的基本理论这一问题看来还需要经过长期的努力才能得出结论。

第二次世界大战结束以来，高能物理实验发现了一系列新现象，从而对理论提出了一系列新问题。例如：

(1) 强相互作用的基本规律是什么？为什么直到现在还没有在实验中发现自由层子？

(2) 弱相互作用的基本规律是什么？在弱相互作用中宇称不守恒，CP不守恒的机制是什么？

(3) 已经发现了三代轻子和层子。到底一共有几代？为什么有那么多种层子和轻子？为什么它们有这样的质量谱？

(4) 假使层子和轻子有内部结构，它们又是由什么东西组成？内部存在什么样的相互作用？决定它们的内部结构规律是什么？

(5) 怎样统一地理解各种不同的基本相互作用？

(6) 怎样统一地理解层子、轻子等费米子和传递各种基本相互作用的波色子？

W^+ 、 W^- 、 E^0 中间波色子的发现表明，我们终于在第(2)和第(5)个问题上取得了重要的进展。但即使这个电弱相互作用理论本身也存在着有待解决的问题。这个理论不能预言导致真空对称性自发破缺的希格斯粒子的质量值。在实验上至今还没有发现这种粒子。在二十年代，物理学中的基本物理常数有六个：

$$h, c, m_e, m_p, e, G$$

其中只包含三个无量纲常数：

$$\frac{e^2}{hc} = \frac{1}{137}, \quad \frac{Gm_p^2}{hc^2} = 5.9 \times 10^{-20}, \quad \frac{m_p}{m_e} = 1836.$$

自从高能物理实验发现了一系列新现象以来，理论中的无量纲常数已经增加到十八个。理论中存在那么多的参数这一事实表明，这个理论中有一部分具有基本理论性质，但也有很大一部分带有现象性理论的性质。我们到达全面地理解这一切现象的实质还有很长一段路要走。

在这十八个无量纲参数中，有十四个参数和希格斯场有关，因此弄清楚希格斯场和有关参数的实质到底是什么，是一个非常重要的课题。

是不是问题就是这一些呢？当然不见得。 Z^0 中间波色子衰变时放出高能光子的事例是一个迹象；不久前在质子、反质子对撞机上观察到的一些难于解释的包含有很大的探测不到的动量的事例是又一个迹象；表明前所未知的新现象可能正等待人们去发现。所有这一切再次强调：客观世界是无穷无尽的，人对客观世界的探索也是无穷无尽的。

高能物理研究的进展是和粒子加速技术，探测技术以及实验数据的获取和处理技术的迅速进展分不开的。已经建成的质子、反质子对撞机的质心能量已经高达540GeV，直径达2.2公里。质子和反质子在超高真空管道中运行所经过的距离超过冥王星轨道的直径而不丢失，发现 W^+ 、 W^- 、 Z^0 中间波色子的二个实验中的一个实验所用的探测器重达2000吨。这样高能量的质子和反质子相碰撞平均产生几十个粒子，它们的径迹和动量都要标准测量。在一亿次碰撞过程中才能产生一个实验中观察到的 W^+ 和 W^- 粒子的事例。在十亿次碰撞过程中才能产生一个实验中观察到的 Z^0 粒子事例。这不仅需要非常灵敏和精确的探测技术，也需要非常强大和快速的数据获取和处理能力。没有自动控制、电子学、计算技术等等一系列非常高、精、尖技术的支持，就不可能有今天的高能物理实验研究。在许多情况下，工业所能提供的最高水平的技术还不足以满足高能物理实验的要求。为此，高能物理实验研究中心必须尽力进一步提高技术的水平。这又反过来对工业技术起促进作用。

现在正在建造周长为27公里的电子、正电子对撞机，欧洲和美国都在酝酿在下一步建造质心能量为二万GeV的对撞机。强子和原子核的大小比原子和分子的大小小五个数量级。假使层子和轻子的确具有内部结构，现有的实验表明，它们的半径小于 10^{-18} 厘米。假使层子和轻子的半径比强子也小五个数量级，那末它们的半径将是 10^{-18} 厘米数量级。研究这样微小的结构需要波长比这还短的粒子束。这样的粒子束的能量将超过 10^4 GeV。估计进行这方面的研究将是本世纪末或下世纪初的任务了。

(上接49页)

- [134] 张经坤、刘荣川、王述新、夏元复、祁守仁，科学通报29，175 (1984)。
- [135] 王友桐，固氮通讯，3，88 (1982)。
- [136] 王友桐，化学通报6，18 (1983)。
- [137] 陈立群、连少辉、黄天钧、江寿平、杨燮龙、王梅生、顾元吉，生物化学与生物物理学报15，483 (1983)。
- [138] 张毓昌、朱德煦、朱念周、钱可萍、余宝元，科学通报27，756 (1982)。
- [139] 朱念周、张毓昌、陈益梅、朱德煦，科学通报29，427 (1984)。
- [140] 应育浦、李哲、胡嘉瑞，中国科学(B)2，169 (1982)。
- [141] 阙学敏、张恩林、李宜荣，科学通报27，511 (1982)。
- [142] 邵涵如、吴卫芳、尚慧云，第二届全国穆斯堡尔谱学会议论文汇编(五)，广州(1983.12)。
- [143] 阙学敏、谢鸿森、李宜荣、张恩林，科学通报28，1126 (1983)。
- [144] 甘源明，矿物岩石3(2)，71 (1983)。
- [145] 吴功保、王友桐、张淑君、丁浩华，岩石测试1(1)，23 (1982)。
- [146] 章佩群、计桂泉、徐培苍，矿物学报3，231 (1982)。
- [147] 应育浦、张旗、于莉，岩石学研究(第一辑)，地质出版社，p.150 (1982)。
- [148] 杜金龄、邓璟、姚德贤、曾令初、陈仁术、余正方、郑裕芳，第二届全国穆斯堡尔谱学会议论文汇编(五)，广州(1983.12)。
- [149] 葛瑛雅、陈升平、张建洪、李哲、应育浦、于莉，矿物学报2，141 (1982)。
- [150] 潘贤家、孙仲田、金国樵，核技术5，49 (1983)。
- [151] Zhang Gui-Lin, et al., Phys. Lett. 91A, 417 (1982)。
- [152] 高乃飞、张秀芳、瞿振元、刘英杰、成克强，第二届全国穆斯堡尔谱学会议论文汇编(五)，广州(1983.12)。