



基本粒子及其相互作用的标准模型

◇丁亦兵 (译)



“标准模型”是用来描写一种量子理论的术语，这种理论包括了强相互作用理论(量子色动力学)和弱电统一理论。图中也把引力相互作用包括了进来，尽管它不属于标准模型。

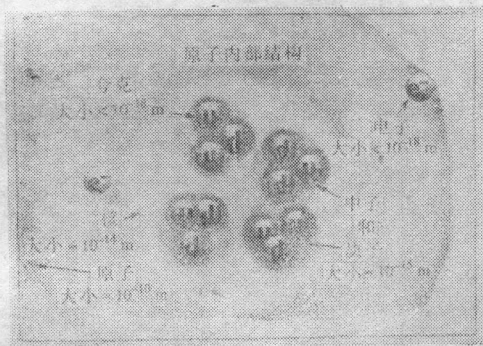


图1 (如果这个图按质子和中子的尺度为标准来画,则夸克和电子比0.1mm还要小,整个原子要有10km大.)
费米子(物质组分,自旋=1/2,3/2,5/2...)

轻子自旋=1/2			夸克自旋=1/2		
味	质量 GeV/c ²	电荷	味	近似质量 GeV/c ²	电荷
ν_e 电子中微子	$<2 \times 10^{-8}$	0	u 上	4×10^{-3}	2/3
e 电子	5.1×10^{-4}	-1	d 下	7×10^{-3}	-1/3
ν_μ μ 子中微子	$<3 \times 10^{-4}$	0	c 粲	1.5	2/3
μ μ 子	0.106	-1	s 奇	0.15	-1/3
ν_τ τ 子中微子	$<4 \times 10^{-2}$	0	t (顶未发现)	>89	2/3
τ τ 子	1.784	-1	b 底	4.7	-1/3

自旋是粒子的内部角动量。它的单位就是角动量的量子单位 \hbar , 其数值为:

$$\hbar = h/2\pi = 6.38 \times 10^{-25} \text{ GeVs} = 1.05 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

电荷是用质子的电荷为单位给出的。在SI单位制中,质子的电荷是 1.60×10^{-19} 库伦。

粒子物理中的能量单位是电子伏(eV),它是一

个电子在一个伏特的电势差作用下获得的能量。质量是用 GeV/c² 作单位的(记住: $E = mc^2$)。其中 $1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV} = 1.60 \times 10^{-10}$ 焦耳,质子的质量是 $0.938 \text{ GeV}/c^2 = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 。

色荷: 每个夸克

玻色子(力的传递媒介,自旋=0,1,2)

统一的弱电相互作用 自旋=1	质量 GeV/c ²	电荷	强作用或色 自旋=1	质量 GeV/c ²	电荷
γ 光子	0	0	g	0	0
W^-	80.6	-1			
W^+	80.6	+1			
Z^0	91.16	0			

都带有三种“强荷”之中的一种,这些“强荷”也称为“色荷”。它们与可见光的颜色没有任何关系。胶子有八种可能的“色荷”。正如带电粒子通过交换光子而相互作用一样,在强相互作用中,带色荷的粒子交换胶子。轻子、光子、 W 和 Z 都没有色荷,因此没有任何强相互作用。夸克和胶子都不能单独存在。它们都被禁闭在色中性的强子内。这种禁闭起源于在带色荷的粒子之间胶子的多重交换效应。

禁闭: 随着带色荷的粒子(夸克和胶子)距离的增大,它们之间的色力趋近一个常数值,色力场中的能量不断增加,到最后这些能量就要转换成一对夸克和反夸克(见下图),它们组合成色中性的“强子”(介子和重费米子强子的实例)

重子 qqq 和反重子 $\bar{q}\bar{q}\bar{q}$

符号	名称	夸克成分	电荷	质量 GeV/c ²	自旋
p	质子	uud	1	0.938	$\frac{1}{2}$
\bar{p}	反质子	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	-1	0.938	$\frac{1}{2}$
n	中子	udd	0	0.940	$\frac{1}{2}$
Δ	Δ 超子	uds	0	1.116	1/2
Ω^-	Ω 超子	sss	-1	1.672	3/2

性质	相互作用	引力	弱相互作用		电磁相互作用		强相互作用	
			(弱电相互作用)				基本的	剩余的
作用在		质量-能量	味	电荷	色荷	看上面的有关介绍		
受到作用的粒子		所有粒子	夸克、轻子	带电粒子	夸克、胶子	强子		
媒介粒子		引力子(待发现)	$W^+W^-Z^0$	γ	胶子	介子		
两个u夸克距离 时的强度(相对于电磁作用)	$\begin{cases} 10^{-18}m \\ 13 \times 10^{-17}m \end{cases}$	$\begin{matrix} 10^{-42} \\ 10^{-41} \end{matrix}$	$\begin{matrix} 0.8 \\ 10^{-4} \end{matrix}$	$\begin{matrix} 1 \\ 1 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 25 \\ 60 \end{matrix}$	不适用于夸克		
原子核中的两个质子之间的强度		10^{-36}	10^{-7}	1	不适用于强子		20	

玻色子强子的实例

介子 $q\bar{q}$					
符号	名称	夸克成分	电荷	质量 GeV/c^2	自旋
π^+	π 介子	$u\bar{d}$	+1	0.140	0
K^-	K 介子	$s\bar{u}$	-1	0.494	0
ρ^+	ρ 介子	$u\bar{d}$	+1	0.770	1
D^+	D^+ 介子	$c\bar{d}$	+1	1.869	0
η_c	η_c 介子	$c\bar{c}$	0	2.980	0

子)放了出来。

剩余的强相互作用：色中性的质子和中子形成原子核的强束缚力来源于质子和中子内部带色荷的组分之间的剩余的强相互作用。它和把电中性的原子束缚在一起，与形成分子的剩余电相互作用完全类似。这种剩余相互作用可以看成是强子之间交换介子。

物质和反物质：每种粒子都有一种对应的反粒子，用表示粒子的符号上面加上一横来代表。粒子和

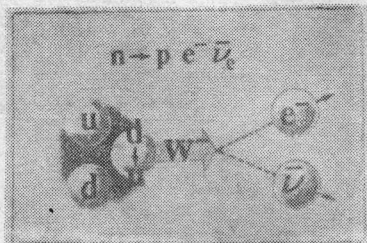


图2 一个中子通过一个虚的(中间)W玻色子衰变成一个质子、一个电子和一个反中微子。这就是中子的β衰变。

反粒子有相同的质量，自旋，但电荷相反。某些电中性的玻色子(如 Z^0 , γ 和 $\eta_c = c\bar{c}$ ，但 $K^0 = d\bar{s}$ 除外)是它们自己的反粒子。

下图是物理过程的一些示意图。它们并不准确，尺度也毫无实际意义。图中棕色区域是胶子云或胶子场，实线表示夸克的路径，虚线相应于轻子路径。

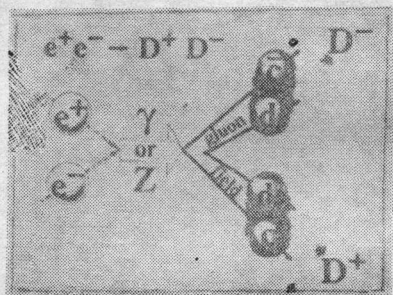


图3 一个电子和一个正电子(反电子)在高能下可以湮灭，然后通过一个虚的Z玻色子或一个光子产生 D^+ 和 D^- 介子

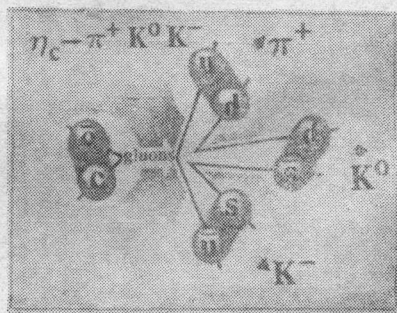


图4 在 η_c 介子中的一对 c 和 \bar{c} 夸克湮灭成虚胶子。在胶子云中产生的夸克对可以形成 π^+ 、 K^0 和 K^- 介子作为它的终态。

名家谈物理学习方法(五)

感官与思维。打破砂锅问到底，多问几个为什么，避免直觉带来的错误。在当今教学中过分强调电教手段，以动画和选择好的画面来“诱使”学生只相信感官

而缺少思维是现代技术在教学上应用的失策。

东南大学物理系教授 曹想
学习与研究。学习前人的成果，在实践中验证、探索。学习和研究互相促进，学是为了用，在用中提高。

中科院高能所研究员 叶铭汉