

粒子物理近两年的进展

朱重远

近两年来, 粒子物理的各个领域都得到了许多新的成果. 在 1983 年国际轻子光子会议上报告了各种新进展, 会议以后又陆续发表了一些新结果, 现对粒子物理实验及理论的现状作一介绍.

一、 ω^\pm 、 z^0 的发现及其性质

ω^\pm 及 z^0 的发现可以说是粒子物理学上最大的事件之一. 在西欧中心质心能量为 540GeV 的质子、反质子对撞机 SPS 上, UA1 组及 UA2 组通过反应 $P + \bar{P} \rightarrow \omega^\pm (\rightarrow e^\pm \nu) + \text{其它}$ 及 $P + \bar{P} \rightarrow z^0 (\rightarrow e^+ e^- \text{ 或 } \mu^+ \mu^-) + \text{其它}$, 发现了 ω^\pm 及 z^0 粒子 UA1 组已得到 52 个 $\omega \rightarrow e\nu$ 的事例, 确定了它们是二体衰变产物, 得到了 ω^\pm 的质量为 $80.9 \pm 1.5 (1 \pm 0.03) \text{GeV}$ 测得的截面与假定 ω^\pm 由层子反层子形成所预言的一致, 电子与质子夹角的角分布有强烈的前后不对称性, 与 V-A 理论一致. 测得的 z^0 事例共 6 个, 4 个是 $e^+ e^- (e^+ e^- \gamma)$, 2 个是 $\mu^+ \mu^-$. 定出的质量为 $95.6 \pm 1.5 (1 \pm 0.03) \text{GeV}$, 产生截面也与由层子及层子形成 z^0 一致, 角分布与标准弱电统一理论的预言不矛盾. 由测得的 z^0 衰变宽度限 $\Gamma_{z^0} < 8.5 \text{GeV}$, 可以估出中微子的类型小于 18 种. UA2 组得到的结果为 $m_{\omega^\pm} = 81.0 \pm 2.5 \pm 1.3 \text{GeV}$, $m_{z^0} = 91.9 \pm 1.3 \pm 1.4 \text{GeV}$, $\Gamma_{z^0} < 11 \text{GeV}$. 两组的上述结果均与标准模型所期望的一致.

测得的 ω 、 z^0 的性质中唯一出人意外的是 $z^0 \rightarrow e^+ e^- \gamma (\mu^+ \mu^- \gamma)$ 事例非常多. UA1 组宣布 4 个含 $e^+ e^-$ 的事例中有一个可解释为 $e^+ e^- \gamma$, 另外还发现了一个可能是 $\mu^+ \mu^- \gamma$ 事例, UA2 组在他们认为大概是 $z^0 \rightarrow e^+ e^-$ (或 $e^+ e^- \gamma$) 的八个事例中清楚地看到了一个 $e^+ e^- \gamma$ 事例. 这些事例中光子能量都很大. 按照标准模型, UA2 组估计他们发现的那种有大能量光子的事例应该大约每 200 个 $e^+ e^-$ 事例才出现一个. 这一现象有待于实验及理论的进一步研究. 最近 UA1 组探索 $\omega^\pm \rightarrow e^\pm \nu \gamma$ 及 $\mu^\pm \nu \gamma$, 在 52 个 $e\nu$ 事例及 18 个

$\mu\nu$ 事例中, 没有看到任何这类事例, 因此, 看来不能将上述 $z^0 \rightarrow e^+ e^- \gamma$ 解释为重电子产生. 这一问题是当前大家都十分注意的.

二、轻子族

苏联 ITEP 组宣称他们在缬氨酸中测氚衰变谱定 ν_e 质量的仪器分辨率提高到了 20eV, 发现 $m_{\nu_e} > 20 \text{eV}$. 但是一般认为, 他们的分析中, 分子效应的估计还存在着很大的不确定性. 所以, 这一结论尚未得到公认.

ν_μ 及 ν_τ 质量的新上限分别为 0.5MeV 及 250MeV

鉴于中微子质量对于理论十分重要, 全世界马上就要有十多个新实验装置(包括国内)开始实验.

三、各种层子及相应的强子

(1) Υ 族 Novosibirsk、DESY、CESR 的测量清楚地显示出四个态. 质量分别为 $9495.9 \pm .1 \text{MeV}$, $10020.9 \pm .4 \text{MeV}$, $10350.2 \pm .5 \text{MeV}$ 及 $10576.2 \pm 1 \text{MeV}$, 衰变到 $e^+ e^-$ 的宽度分别为 $1.24 \pm .05 \text{keV}$, $.54 \pm .03 \text{keV}$, $.40 \pm .03 \text{keV}$ 及 $.27 \pm .04 \text{keV}$. 这些数值与各种势模型计算的结果大体一致. 肯定了将它们填入 $Y(1s)$ 、 $Y'(2s)$ 、 $Y''(3s)$ 及 $Y'''(4s)$ 的合理性. 此外, 测得 $Y'' \rightarrow \pi^+ \pi^- Y$ 、 $Y'' \rightarrow \pi^+ \pi^- Y'$ 及 $Y' \rightarrow \pi^+ \pi^- Y$ 的分支比为 $5.0 \pm .6\%$ 、 $3.2 \pm 1.9\%$ 及 $18.8 \pm 1.0\%$, 与 QCD 多极展开理论的计算值符合.

(2) P 波 ($b\bar{b}$) 态 在 $Y'' \rightarrow \gamma x'_b$ 及 $Y' \rightarrow \gamma x_b$ 衰变中已经发现质量约为 $10256 \pm 5 \text{MeV}$ 的 x'_b 及质量为 $9899.7 \pm .8 \text{MeV}$ 的 x_b . 理论上, 这些 P 波态包含着 $J = 0, 1, 2$ 的三个态. 晶体球组观察了两个 x_b 态的分裂, 给出质量值为 9913 ± 6 及 $9894 \pm 6 \text{MeV}$. 他们还用 $x_b \rightarrow Y(1s)$ 的电偶极跃迁理论作输入估出 x_b 的强子型衰变宽度为 $\Gamma(x_b, J = 1) = 80 \pm 18 \text{keV}$, $\Gamma(x_b, J = 2) = 210 \pm 49 \text{keV}$. 这些初步结果表明, 已经开

始测量 P_J 分裂从而为了解层子间自旋有关的势提供实验依据。

(3) B^\pm, B^0, \bar{B}^0 介子 ($b\bar{u}, b\bar{d}, \bar{b}u, \bar{b}d$) 测量 B 介子寿命对于确定小林-益川 (K-M) 矩阵中的混合角十分重要。JADE、MAC 及 MARK II 三个组的实验结果分别为: $\tau_b < 1.4 \times 10^{-12}$ 秒 (95% C. L.); $\tau_b = 1.8 \pm .6 \pm .4 \times 10^{-12}$ 秒 (90% C. L.) 及 $\tau_b = 1.2^{+0.4}_{-0.3} \pm .3 \times 10^{-12}$ 秒 (90% C. C.). 此外, CLEO 组测出 $0.4 < (\tau_{B^\pm}/\tau_{B^0}) < 3.3$. 这表明 B^\pm 及 B^0 的寿命都相当长, b 层子的衰变是压低的. CLEO 测得 $Y'''(4s)$ 衰变的分支比为: $B_r(Y''' \rightarrow B^+ B^-) = 0.60 \pm .02$, $B_r(Y''' \rightarrow B^0 \bar{B}^0) = 0.40 \pm .02$. 这表明 Y''' 几乎全部衰变到 $B\bar{B}$, 很像一个产生 B 介子的工厂, 对于研究 B 粒子十分有利. 他们已测得 $m_{B^0} = 5274.2 \pm 1.9 \pm 2.0 \text{ MeV}$, $m_{B^\pm} = 5270.8 \pm 2.3 \pm 2.0 \text{ MeV}$.

B 介子衰变分支比测出了不少, 其中重要的有: $B_r(B \rightarrow D^0 + x) = 80 \pm 20 \pm 20\%$, 表明 b 层子主要衰变到 C 层子. 由此可以推得 $b \rightarrow u/b \rightarrow c < 0.5\%$. 另外, $B_r(B \rightarrow I^+ I^- x) < 0.3\%$. 表明, 味道改变的中性流很小.

(4) $\eta_c(c\bar{c})$. MARK III 组通过测量 $J/\psi \rightarrow r\eta_c$, $\eta_c \rightarrow \phi\phi$ 的角分布, 直接从实验确定了 η_c 是 O^- 态.

(5) $F(c\bar{s}, s\bar{c})$ 介子. 以前 F 的最强证据来自光生, 很粗糙. 现在 CLEO 在 e^+e^- 对撞机上看到了衰变为 $\phi\pi^\pm$ 的 F 介子, 确定了其质量为 $1970 \pm 5 \pm 5 \text{ MeV}$, 比过去的值要低, 因此, 在 e^+e^- 对撞机上, F 的实验看来最好在 $\psi'''(4030)$ 处进行.

(6) (csu) 重子. CERN 用 Σ^- 超子束研究终态 $AK \pi^+\pi^+$ 的分布发现了一个十分清楚的峰, 其质量值为 $2460 \pm 25 \text{ MeV}$. 这就是新 (csu) 重子.

(7) 黎粒子衰变. 实验上观察到 $\tau_{D^+}/\tau_{D^0} = 2.08 \pm .34$. 表明除掉 c 层衰变机制外, 确实有层子间交换 w^\pm 的机制在起作用. t 及 A_t^\pm 衰变的实验还太粗, 无法判断是否有层子湮没为 w 的机制起作用.

(8) 核子衰变. 自从萨拉金矿宣称看到 3 个质子衰变的候选事例以来, 没有发现任何新的候选事例. IMB 的数据已把质子衰变到 $e\pi$ (及 $\mu\pi$) 的寿命下限上推到 10^{32} 年, 基本上否定了最简单的 SU , 大统一模型. 也没有看到中子振荡及其它稀有衰变事例.

四、胶球

带有颜色的两个或多个胶子可以形成颜色单态, 这就是胶球. 理论估计质量最低的胶球在 $1 \sim 2.5 \text{ GeV}$ 之间. 由于 OZI 规则禁戒的过程必须通过交换多个胶子进行, 因此, 在终态中如果某些与其它部分没有共同的层子的部分出现共振, 则其很可能来自胶球. 目前常用的实验有 $J/\psi \rightarrow r + \text{强子}$ 及 $\pi + p \rightarrow n + \phi$. 研究胶球的困难在于低质量的胶球常常与某些普通介

子有同样的量子数, 它们可能混合, 实验上很难区分它们.

(1) $\iota(1440)$. 此态由 MARK II 在 $J \rightarrow r\iota(\rightarrow K^\pm K_s^0 \pi^\mp)$ 中发现. 晶体球组发现 $\iota \rightarrow \pi\delta(\rightarrow K^+ K^-)$, 确定了它是 0^{-+} 态不是 $E(1420)$. 但是, 把 ι 看成胶球, 则应看到 $\iota \rightarrow \eta\pi\pi(\sim K^+ K^- \pi)$, 而这一过程至今未见. 此外, 实验上已经看到的 $J/\psi \rightarrow r r \rho$. 也有待说明这些 $r\rho$ 不是来自 ι . (如是胶球, 则很难理解 $\iota \rightarrow r\rho$ 如此之大). 总之, 目前说 ι 是胶球还为时太早. 也可能它是胶球及普通介子的混合.

(2) $\theta(1640)$. 这是在 $J/\psi \rightarrow r\theta(\rightarrow \eta\eta)$ 中发现的. 测量 $\eta\eta$ 角分布已确定它是 2^{++} 态. 但是实验给出的分支比数值还无法区分它是胶球还是 $(q\bar{q})$ 介子或四层子态.

(3) $\epsilon(2220)$. 此态在 $J/\psi \rightarrow r\epsilon(\rightarrow K^+ K^-)$ 反应中发现. 质量为 $2220 \pm 20 \text{ MeV}$. 宽度为 $30 \pm 10 \pm 20 \text{ MeV}$, $B_r(J/\psi \rightarrow r\epsilon)B_r(\epsilon \rightarrow K^+ K^-) = (8.0 \pm 2.0 \pm 1.6) \times 10^{-5}$. 目前无法说它究竟是那类粒子. 有人甚至猜它是希格斯粒子. 这需要进一步进行研究.

(4) $g_r(2120)$ 、 $g_r'(2220)$ 及 $g_r''(2360)$. 这是 BNL/CCNY 组通过对 $\pi p \rightarrow n\phi\phi$ 作相移分析得到的. CERN 也用 π^- 打 B_s 靶做类似的实验, 在截面中没有看到这些态, 不过后者未作相移分析, 还不能说与 BNL/CCNY 的结果冲突.

从实验分析角度看, 人们也许应该化更多力量去寻找具有“外来”量子数(即无 $q\bar{q}$ 态的)的“怪球”.

五、各种理论预言的其它粒子

(1) t 层子. 在 PETRA 上, 直到最高质心能量 43.15 GeV 没有看到 $R = \sigma(e^+e^- \rightarrow \text{强子})/\sigma(e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-)$ 的增加. 也没有看到在 t 阈上会出现的慢粒子. 这意味着 t 的质量大于 $1/2 \times 43.15 \text{ GeV}$. 不过, 上面提到的 B 介子实验间接地给出了一些关于 t 的信息. 几乎所有的无 t 模型中, b 属于弱 $SU(2)$ 同位族单态, 从而导致味改变的中性流. 这些模型预言 $B_r(B \rightarrow I^+ I^- x) > 1.4\%$. 现在 CLEO 测得 $B_r(B \rightarrow I^+ I^- x) < 0.3\%$, 排除了几乎所有的无 t 模型. 最近测出的 B 寿命及 $b \rightarrow u/b \rightarrow c$ 比值, 与 $K_L \rightarrow \mu^+\mu^-$ 分支比、 K 衰变的 CP 破坏参数 ϵ 以及 K_L 和 K_s 介子质量差一起, 使得对 m_t 值作与具体模型依赖关系较少的分析成为可能. 各种分析给出的 m_t 值大体在 $20 \sim 70 \text{ GeV}$ 之间. 不过由于理论及实验上都还有相当多的不确定因素, 所以这只能提供一个大概的范围.

(2) 轴子. 标准的 Peccei-Quinn 轴子理论预言 $B_r(J/\psi \rightarrow rA)B_r(Y \rightarrow rA) = (16 \pm 3) \times 10^{-3}$, 但晶体球组给出 $B_r(J/\psi \rightarrow rA) < 1.4 \times 10^{-3}$, CLEO 给出 $B_r(Y \rightarrow rA) < 3 \times 10^{-4}$. 所以, 标准的 Peccei-Quinn 轴子已被排除.

(3) 右手带电中间玻色子质量的新下限是380GeV (设 $m(\nu_R) = 0$).

(4) 带电希格斯粒子及带电 Techni π 介子质量的新下限为 16GeV.

(5) 加速器及宇宙线实验都没有看到新的磁单极子的候选事例. 大统一磁单极通量的观察值上限已达 $7 \times 10^{-15} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{sr}^{-1}$, 接近 parker 限.

(6) 加速器上寻找各种超对称伙伴粒子得到的都是否定的结果. 它们的质量下限大多在十几 GeV.

(7) 自由层子仍然没有看到. 总而言之, 上述各种寻找新类型粒子的实验得到的结果都是否定的.

下面我们简单地小结一下主要理论的现状.

六、标准模型现状

所谓“标准模型”,是指强作用的 SU_3 量子色动力学及弱电统一 $SU_2 \times U_1$ 理论,现分别加以讨论.

(1) **弱电统一理论.** ω^\pm 及 z^0 的发现给弱电统一理论以极大支持; 在原子宇称破坏、极化 $e-d$ 及 $\mu-N$ 散射、 $e^+e^- \rightarrow I^+I^-$ 等实验中已见到标准模型预言的弱电干涉现象; 带电弱流的大量实验均与 $V-A$ 理论一致. 1979年 CERN 束流捕集实验给出 ν_e 数/ ν_μ 数小于1, 现在除 CHARM 组以外其它各组 (BEBC, CDHS, FMOU) 的结果均与1不矛盾, 此问题不再尖锐地存在.

留下的有待解决的问题有:

ν_μ 实验中同号双轻子产生问题, 即实验上 $\sigma(\nu_\mu A \rightarrow \mu^- \mu^- X): \sigma(\nu_\mu A \rightarrow \mu^- X) \sim 10^{-3}$, 远大于标准模型中各种可能的来源如 \bar{b}, \bar{c} 产生、 $D^0-\bar{D}^0$ 混合等的贡献, 这一现象至今尚无完满的解释. 此外, t 层子及希格斯粒子尚未发现; 中微子如果有质量也需要在理论作某些改动; $z^0 \rightarrow e^+e^- \gamma$ 事例太多也有待于作出解释.

总的说来, 弱电统一模型取得了极大的成功. 这使得人们猜测, 留下的问题有的可能是实验不正确, 或者可能只是需要找到某些新的机制来解释的问题.

(2) 微扰量子色动力学

应用微扰量子色动力学的基础之一是部分子模型. 目前大量的实验, 如深度非弹性电子-核子散射, μ 子-核子散射、中微子-核子散射电子-正电子湮没为强子、强子-强子硬碰撞等过程, 均给出了一致的核子中层子、反层子及胶子的动量分布函数, 这表明部分子模型及微扰量子色动力学工作得很好. 最近, 通过双光子过程测量光子结构函数的工作已经得到了一些结果. 不过由于事例数还不多, 还不能区分纯量子电动力学以及量子色动力学贡献的部分.

按照最简单的夸克部分子模型, 电子-核子深度非弹性散射的纵截面与横截面之比 R 应为零, 早些年, 实验测出的 R 达到 0.18 左右, 成为人们关心的问题之一. 最近 CDHS 有了第一个大 x ($0.4 < x < 0.7$) 时 R

的测量, 结果为 $R < 0.006 \pm 0.12 \pm 0.25$. 小 x 处测量的结果也下降了很多.

在微扰 QCD 方面, 近年发现的一个有待解释的重要现象是所谓“EMC”效应. 这是欧洲 μ 粒子合作组 (EMC) 在测量氘及铁中质子的结构函数时发现的. 实验结果表明, 铁中质子分布函数与氘中的不同, 其比值对 x 的分布成一条斜线而不是 1. SLAC 已用多种核靶进行测量, 结果肯定了 EMC 效应的存在. 而且斜线的斜率随原子核质量数增加而增加, 原子核费米运动的改正与此效应在相反的方向. 这一效应可能是部分子模型的问题, 但似乎更像是核结构问题. 无论如何, 这是一个有待于进一步研究的重要问题.

除掉各种深度非弹性散射, 电子-正电子对撞产生喷注等实验以外, J/ψ 物理, Υ 物理等也给出了不相矛盾的量子色动力学能量尺度参数 A^{-1} , 这表明微扰量子色动力学工作得很好.

(3) **非微扰量子色动力学.** 这方面主要的新进展是在格点规范理论中用蒙特卡罗方法开始进行定量的计算. 主要的新结果有: 证明了层子禁闭确实存在, 算出了弦张力的初步结果; 发现对于 SU_2 及 SU_3 非阿贝尔规范理论, 层子及反层子之间的有效位势与线性势加上带有跑动耦合常数的库仑势一致; 发现在格点间距趋于零的极限下, 等势面的转动对称性的恢复是十分明显的; 出现了第一批用计算复合算子的格林函数的方法去定量计算胶球及介子质量谱的工作; 用有限温度的 Wilson 圈讨论了从强子相到夸克-胶子等离子体相的相变, 发现此相变存在.

格点规范理论计算的主要问题是计算量太大, 目前所取的格点数目都是很少的 (例如, 计算 SU_3 有效势用了 $8^3 \times 12$ 个点), 很难算出精确的结果. 此外费米子效应难以考虑, 已经建议了一些方法, 但还没有在计算机上进行实际计算. 可望今后这一方面将有进展.

总起来看, 现在标准模型 $SU_3 \times SU_2 \times U_1$ 工作得很好, 理论预言与大量实验符合. 可以认为标准模型是已经建立并得到了实验证实的理论.

七、大统一及超对称理论

(1) **最简单的 SU_5 大统一理论预言:** $\sin^2 \theta_w = 0.214 \pm 0.004$; $m_b/m_t = 2.8 \sim 2.9$; $\tau_p = 10^{29 \pm 1}$ 年. 前二个预言与实验符合得很好, 但 τ_p 值已为最新的实验值所排除. 简单的修改 SU_5 的粒子填充内容或将 SU_5 推广到 $SO(10)$ 不能给出自然而漂亮的结果. 这使得人们最近将注意力转向超对称大统一理论.

(2) **超对称大统一及超引力.** 简单的 SU_5 大统一理论上就存在着“规范等级问题”即: ①不能解释为什么 $m_w/m_{\text{大统一}} \sim O(10^{-11})$ 而且对于辐射修正稳定 ②不能解释为什么希格斯 5 重态中颜色三重态比弱二重态重得多 ③理论中能量标度有 $m_w, m_{\text{大统一}}, m_{\text{普朗克}}$ 等,

似乎独立标度数太多了。在超对称大统一理论中，由于质量项、汤川耦合项不重正，自然地解决了规范等级的第一个问题①。对于第二个问题也可以用一些并不十分漂亮但尚勉强可行的方法解决。对于第三个问题③，已经提出了一种“几何等级”机制。其中超对称破缺是基本的，在 10^{11} — 10^{12} GeV 左右。它通过辐射修正诱导出大统一能量尺度，然后间接地在轻粒子部分诱导出能量尺度 m_w 。在这一理论中，大统一优点得以保持，而质子衰变寿命可以比较长。不过这一理论中超对称破缺是手放进去的，需要至少引进 3 个新的场，而且大统一尺度已高达普朗克质量，应该考虑引力。最近做到很热闹的超引力理论可以解决这些问题，但它却是不可重正的，同时还有其它的问题，所以至今没有满意的理论，所有这些理论都在研究中。

八、复合模型

由于至今没有找到希格斯粒子，使得人们猜测希格斯场可能是新的费米场的玻色凝聚。这种被称为 T 色 (Technicolor) 模型的思想是很吸引人的，但它预言的带电伪戈德斯通玻色子 P^\pm 的质量应为 $7\sim 9\text{GeV}$ ，实验上直到 16GeV 都没有看到这种粒子。修改模型可以使得与实验不矛盾，但同时失去了模型的吸引力。为了使夸克获得质量而提出的推广的 T 色模型由于其理论上并不漂亮而使得相信它的人更少些。

轻子及层子种类的增加以及它们的性质呈现出三代结构促使人们猜测轻子及层子也是由某些更基本的亚粒子组成的。显然，如果轻子及层子是束缚态，它们的半径必定很小，能量尺度必定很高 (至少是 TeV 量级)。因此，一个突出的问题是如何解释轻子及层子的质量很小。一般，人们寄希望于手征对称性。但是，由此出发导出的 't Hooft 反常自洽条件没有找到现实的吸引人的解。现在已提出的模型虽然很多，但往往亚粒子数目与轻子及层子的种类数目差不多，甚至还更多。“代”的问题、质量谱的问题都没有得到解决。而

且，由于这些问题涉及到亚粒子形成轻子及层子的新的重力力学，计算是很困难的。

九、磁单极子催化质子衰变问题

前几年，理论上发现在 SU_2 磁单极场中的无质量费米子存在零能束缚态，导致费米子数不守恒。罗巴可夫假定 SU_2 磁单极场中的无质量费米子也存在零能束缚态解，由此导出存在着质子衰变被磁单极催化的效应。最近，吴大峻等证明了在通常的最简单的 SU_2 大统一理论中，不存在零能量磁单极-费米子束缚态，因而催化效应不存在。其它模型的情况还有待于研究。

十、粒子物理展望

由前所述可知，几乎所有的强、电磁及弱作用现象可以用 $SU_3 \times SU_2 \times U_1$ 标准模型描述。只有个别几个实验现象与理论预言不一致。而且看来这种不一致可能是实验本身的问题，也有可能只是需要理论上考虑某些新的机制。似乎不存在要求理论作某种根本的改变。那末，在这种情况下，是不是粒子物理已经到达“没有多少东西要发现了，余下的只是愈来愈精确的测量”的时期了呢？显然不是！撇开尚待解释的几个实验与理论的矛盾不谈，光是标准模型就至少有十九个参数，它们都是手放进去的，很难想象一个基本的理论会这样。此外，在这里我愿意再次强调轻子及层子的下列三“代”结构：

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e \\ u \\ d \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \\ c \\ s \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau \\ t? \\ b \end{pmatrix}$$

它与元素周期表十分类似，但至今尚无良好的解释。或许这里需要革命性的思想。可以期望，伴随着对于这一唯象规律的本质的揭示，将会出现粒子物理乃至整个物理学新的重大突破。