

· 学科发展 ·

已观察到顶夸克的证据

郑志鹏 李卫国

(中国科学院高能物理所,北京 100039)

[摘要] 美国费米国家实验室的CDF实验组在对撞能量1.8 GeV的TEVATRON质子-反质子对撞机上观察到了顶夸克的证据。给出顶夸克的质量为 $174 \pm 10^{+12}_{-14}$ GeV/ c^2 ,产生截面为 $13.9^{+1.1}_{-1.0}$ Pb

4月26日,美国费米国家实验室宣布:寻找顶(top)夸克的实验获得新结果。在能量为1.8 TeV(10^{12} eV)的质子-反质子对撞机TEVATRON上工作的CDF探测器小组发言人称:他们观察到了顶夸克存在的直接证据并展示出了他们的实验数据。

这一消息使国际高能物理界为之兴奋,国内外报刊也报道了这一消息。那么这一实验的意义在哪里?实验证据是什么?

还是先从夸克说起。

夸克模型

60年代初,物理学家把已发现的强子(参与强相互作用的粒子)按电荷、自旋等特性进行排列、分类后,发现了有规律的对称性,提出强子是由三种夸克组成的理论。这种理论能很好地解释以上规律,并预言存在一种新的 Ω^- 粒子,不久在实验上果真找到了。

1974年,丁肇中领导的一个小组和B. Richter领导的另一个小组分别独立发现了一个新的粒子 J/ψ ,其质量相当大,寿命很长。为了解释它的产生和衰变特性,必须引入第四种夸克(粲夸克或c夸克)的存在。而 J/ψ 是由粲夸克和反粲夸克($c\bar{c}$)组成的。1977年又发现了一个称为 Υ 的新粒子,揭示了第五种夸克(底夸克或b夸克)的存在。按照对称性规律,夸克至少还有第六种(称为顶夸克或七夸克)。强子由三代、六种夸克组成的理论称为夸克模型。夸克模型得到了迄今为止实验的支持。十多年来,人们一直致力于寻找顶夸克的实验和理论研究。

顶夸克的寻找

十多年来,所有的正负电子对撞机,如:德国的PETRA,美国的PEP,日本的TRISTAN,美国的SLC以及欧州的LEP,还加上质子-反质子对撞机,如欧洲的SPS和TEVATRON,都把顶夸克的搜寻作为一项重要的目标进行。

在正负电子对撞机上可能会得到比较清晰的信号。通常是使用 R 值(正负电子到强子的截面与正负电子到 $\mu^+\mu^-$ 截面之比值)测量的方法,观察 R 值是否上涨以及测量正负电子产生强子喷注的球度和冲度分布。在正负电子对撞机上找不到顶夸克证据时,物理学家就认为它必

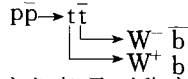
本文于1994年5月13日收到。

定很重(大于 $100 \text{ GeV}/c^2$),因此寄希望更高能量的质子-反质子对撞机TEVATRON。

CDF 探测器及结果

工作在 TEVATRON 上有两个探测器,一个叫 CDF,另一个叫 D0。CDF 是一个通用探测器,由径迹室、1.5 万高斯的超导线圈、电磁量能器、强子量能器以及 μ 探测器组成。它可以测量质子-反质子对撞后产生的粒子的动量、能量等特性,并可分辨不同的粒子。它从 1985 年起就在 TEVATRON 上工作。

CDF 对 1992—1993 年度采集的 19Pb^{-1} 积分亮度的数据进行了仔细的分析,寻找 $p(\text{质子})\bar{p}(\text{反质子})$ 对撞产生的 $t(\text{t 夸克})\bar{t}(\text{t 反夸克})$:



t 衰变为 W (中间玻色子)和 b 夸克,它们都是不稳定的。 W 可以衰变为轻子(电子或 μ)及中微子,也可衰变为两个轻夸克。轻夸克和 b 夸克在探测器中表现为强子喷注。对 b 夸克鉴别有两种方法:一是寻找 b 夸克衰变的次级顶点;另一种则是寻找 b 夸克衰变的能量较低的轻子。

由以上方法一共寻找到两个都由 W 衰变的轻子事例(本底为 0.56 个);六个事例皆为一个轻子加三个(或三个以上)强子喷注(本底为 2.3 个);七个含有 b 夸克衰变为低能轻子的事例(本底为 3.1 个)。考虑到其中有三个是重记的,因此一共分析出 12 个 $t\bar{t}$ 事例。他们根据误差分析推算出将本底误认为信号的几率是很小的,仅为 0.26%。因此认为以上事例来自 $t\bar{t}$ 的可信度是较大的。

对 12 个事例中的 7 个事例进行了拟合,得到顶夸克质量 $m_t = 174 \pm 10^{+13}_{-12} \text{ GeV}/c^2$,相应的产生截面为 $13.9^{+6.4}_{-4.8} \text{ Pb}$ 。

在 TEVATRON 上的另一个探测器(结构与 CDF 相似)是在 1992 年开始进入对撞点的。他们在 4 月 26 日同时宣布:找到了一些有趣的事例,但与本底数目可比拟,因而尚不能确认顶夸克的存在。

CDF 得到顶夸克的质量与最近从 LEP 对撞机上测量到的一些结果(如 Z 的宽度,强作用耦合数 α_s 的值)可间接推算出来的顶夸克质量值很接近。

按 CDF 给出的顶夸克质量,比 u, d 夸克重 580 倍,比质子重 180 倍。它为什么这么重? 夸克之间质量不同是什么原因造成的? 这是高能物理需要回答的问题。

离确认还有一段距离

CDF 只获得了 12 个事例,统计尚需进一步提高。正如费米实验室主任 J. Peoples 所说:“我们的研究手段还需进一步改善以获得更多的顶夸克证据。”

CDF 的发言人也实事求是地说:“我们还不能说发现了顶夸克,宁愿说找到了顶夸克证据,因为我们今后还需收集更多的顶夸克事例。”

的确已有一个令人兴奋的开始,但离最后确认还有一段距离,还需做许多艰苦细致的工作。大家也期望早日得到 D0 组的消息。

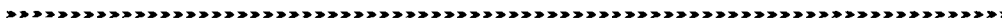
EVIDENCE OF TOP QUARK BY CDF

Zheng Zhipeng Li Weiguo

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica, Beijing 100039)

Abstract

CDF collaboration has observed the evidence of top quark in 1.8 TeV $p\bar{p}$ collisions, on the Tevatron at Fermi National Lab. From the observed top candidate events, the top mass is derived to be $174 \pm 10^{+13}_{-12}$ GeV/ c^2 , the cross section of top production is $13.9^{+6.1}_{-4.8}$ Pb.



· 信息 ·

韩国开始“生物技术——2000”计划

韩国开始了促进生物技术发展的一项大型政府-工业界联合计划。这项新计划叫做“生物技术——2000”。据科学与技术部说,作为韩国赶超先进国家技术大战略的一部分,该项计划预计在未来 14 年中将花费约 200 亿美元。预计工业界为此将投入约 2 亿美元。

但是,对这个预算计划人们不能不抱一定的怀疑态度。因为 1991 年韩国开始它在计算机内存芯片领域中赶超先进工业国家技术成就的“G-7 计划”时,到 2001 年政府估计总投资为约 70 亿美元,但到去年为止,这个估计数字已经减为 42 亿美元,而且在 10 年计划的头两年其实际花费仅约 7 亿美元。据韩国的一位外交官说,他总是将这种计划的数字除以 3,才是更符合实际的数字。

尽管有此怀疑,“生物技术——2000”仍将是一项大型计划,它在规模上要远远大于“G-7 计划”。与“G-7 计划”相同,该计划除了科学与技术部之外,还有其它政府部门的参与,包括商业、工业与能源部,卫生社会事务部,教育部,环境部,以及农业、林业与渔业部。计划将涉及 6 个范围广泛的领域,即工业技术,健康技术(包括生物医学工程,生物功能分子生物学,以及人类基因研究),农业和食品技术,环境技术,能源技术,以及基础生命科学技术。主要参加者包括大田科学城的科学与技术部遗传工程研究中心,汉城的农业部韩国食品研究所,以及韩国科学技术研究所(遗传工程研究中心即隶属于此)。

按照这种“优秀中心”的设置方案,科学与技术部还将在 9 年中向参与此计划的挑选出的 9 个大学研究中心每年提供约 100 万美元的经费。

去年才任命的化学家出身的科学与技术部部长 Si Joong Kim 曾是这项生物技术计划的主要推动者。生物科学家们认为只要他在任,该计划将会得到进一步的发展。但是,韩国的部长们更换相当频繁,因此,该计划的前景仍是未卜。

(合作局袁幼新译自《Nature》1994 年 2 月 3 日刊)