

质子的奇异海探究

王金果

刘晓_{由页}

质子，通常被简单地理解为由3个夸克组成的客体。然而，根据量子色动力学(QCD)理论所预言的丰富的结构，说明这种简单理解是不全面的。胶子和夸克-反夸克对所形成的海的提出，意义重大，如据此可解释质子的总自旋。目前，几个科研机构正在研究夸克-胶子海对核子其他特性的影响，以期精确测定奇异夸克海中奇异夸克对质子的电荷分布及磁化强度的实际影响。目前，4个主要的实验合作组已经介入，他们的结果已初步勾画出奇异夸克在质子中的粘合图像。

奇异夸克对质子的这些特性的贡献最易测定，因为奇异夸克是夸克海的所有组分中最易于理解的组分。上夸克和下夸克因为其质量最轻，是夸克海中可能最容易出现的。但是，它们与价夸克有同样的量子数，因此，几乎难以区分他们彼此的贡献。奇异夸克的质量次轻，因而很可能是夸克-胶子海中的次要组分。

宇称破坏的电子散射为认识奇异夸克提供了一种大有希望的方法。这些实验研究了极化电子束与靶粒子的一些碰撞。特别地，他们测量了交换一个光子的电磁相互作用和包括一个 Z^0 玻色子交换的中性弱相互作用。电子被极化，意味着它们的自旋或是沿着它们行进的方向(右手)或是沿着与之

相反的方向(左手)。这使得可以将这种电弱相互作用分为电磁力分量和弱力分量。

电磁力是呈宇称守恒或是镜像对称的，因而电子的手性对散射率没有影响。但是弱力是非镜像对称的，其宇称破坏。因此，左手和右手电子束在中性弱力作用下可以观察到不同数目的散射事例。通过对弱力和电磁力标志物对比，可以用实验来区分上夸克、下夸克和奇异夸克的贡献。

直面挑战

由于电磁力比弱力强得多，为了测量散射率的微小的差异或不均匀，必须记录大量的散射事例，这是对实验提出的挑战。此外，必须留心把人为的不对称性误认为是因弱力作用而引起的真的不对称性的这种可能。例如，当电子束相对于靶的位置或角度改变时，极化束从右手的改为左手的，上述情况就会出现，反之亦然。对这些实验的特殊要求是，无论位置还是角度的改变都必须特别细微，位置的改变要小于几个纳米，角度的改变要小于几个毫微弧度。要确保如此的稳定性，要求实验者和加速器物理学家及其操作人员之间必须密切协作，并且严密监控电子束从源极经加速器进入实验通道的各项特性。

4个方案均采用宇称破坏的电子散射束研究奇异夸克对质子结构的影响。这4个实验分别是麻省

留下的碎块堆，后来被小行星西尔维亚俘获为卫星。同样的，其他的小行星-卫星系统也可能是这种方式形成的。

小行星-卫星系统也可能由另一种方式形成。有的小行星是哑铃的，如果又自转很快，那么就可能断裂为几块而形成新的小行星-卫星系统。

为什么在火星和木星轨道之间没有形成一颗大行星，而形成众多小行星呢？根据一些观测证据和理论研究，整个太阳系是由气体-尘埃的原始星云形成的。转动的原始星云在自引力作用下收缩，中心区物质聚集形成太阳，外面扁化为星云盘。星云盘中的不稳定性导致尘埃聚集为小的团块，聚集为“星子”，星子再逐渐聚集为行星。小行星是行星形

成过程的半成品。星云盘的温度分布决定了木星区发生冰物质凝聚，而小行星区的冰物质不凝聚，因为木星区的固态原料多，形成的初始星子就较大且生长快。这些星子之间的引力摄动使得部分大星子的轨道变为穿过小行星区，吸积而带走小行星区的物质及小星子。于是，小行星区的原料减少了，使得星子生长停顿在半成品状态，不能形成大行星，而仅残留下半成品的小行星。穿过小行星区的大星子也摄动那里的小行星而使它们的轨道变为多样化，更容易发生相互碰撞而碎裂成小的小行星。

(江苏南京大学天文系 210093)

理工学院 - Bates 直线加速器中心的 SAMPLE 实验、美因茨电子回旋加速器的 A4 实验、美国能源部杰斐逊实验室的 G0 实验和霍尔质子宇称实验 (HAPPEX)。各个实验都非常注重奇异夸克的不同组合对电荷分布和磁化强度的影响。这些奇异的电形状因子和磁形状因子分别由 G_{π}^+ 、 G_{π}^0 代表。利用氢靶采用向前散射的实验,如 G0、A4 和霍尔质子宇称实验,均测得它们的线性组合(确切的组合因实验而异)。要区分这两个形状因子,需要对向前和向后的散射角都要进行测量或是用不同的标靶(如氘)。

麻省理工学院 - Bates 直线加速器中心的 SAMPLE 实验现已完成,测得氢和氘靶上 200 兆电子伏电子散射的向后散射角。由伴有接近 0.1GeV^2 的动量传递 Q^2 的电子散射产生的切连科夫光被反射镜阵列聚焦到一套 8 英寸的光电倍增管上,研究人员特别专注于获得 G_{π}^0 , 即奇异夸克对质子磁矩的贡献。

美因茨 A4 实验的研究人员用一种新型全吸收热量计,利用 1022 块含有氯化物的感光非常快的独特石英,并配以读出电子设备,来探测散射电子。他们已经测得电子在 Q^2 为 0.23 和 0.11GeV^2 两个值时与氘的向前散射角(35°)。

美国能源部杰斐逊实验室的 G0 实验和霍尔质子宇称实验具有利用连续电子束加速器设备 (CEBAF) 产生的高质量的极化电子束的优势。他们得到的实验结果是,用 3GeV 的电子束将使得极化率达到 86%。G0 实验需要用独特的束脉冲构造和特制的分光计,以测定所有大立体角。G0 所需分光计是以环形超导磁铁为基础的,用来灵活地测量分布在较大范围的向前散射角(因而 Q^2 范围较大)的散射反冲质子。确定散射质子飞行时间的技术需要利用每 32 毫微秒都有电子束到达的脉冲束。用此脉冲装置,可使 $40\mu\text{A}$ 的电子束产生相当于 $640\mu\text{A}$ 的瞬时电流,从而对加速器提出了新的挑战。

HAPPEX 用一对高分辨力和微小感应的光谱仪来精确测量瞬间单一动量转移时的向前散射角。初步得到实验结果如下:氢靶下 $Q^2 = 0.48\text{GeV}^2$, 近期用氢和 ^4He 两种靶都是取 $Q^2 = 0.1\text{GeV}^2$ 。HAPPEX 的研究人员利用氢靶实验可测量奇异夸克对质子中电荷和磁场强度分布这种组合的贡献。 ^4He 是没有净自旋的核子,因而氢靶可以将其与质子奇异的电形状因子隔离开来。

所有这些实验的结果为奇异夸克对质子的电荷

分布和磁场强度的贡献提供了一种粘合图像,并一致承认其对质子的影响非零。然而,当前的实验尚不够精确,以至于我们不能断言奇异夸克的贡献是非零的。

继续探索

在蕴含 QCD 的一些模型中,对奇异性形状因子的预言改变极大。诚然,我们对非微扰 QCD 本身所要验证的预言要比对这些模型更感兴趣,因为我们所用的工具是格点 QCD。随着奇异性磁矩近期精确的测定 ($G_{\pi}^0 = -0.046 \pm 0.019\mu_N$, 结果是误差不超过质子磁矩的 1%), 在这方面的的工作已取得显著进步。对此预言的验证将推动未来极高精确度的测量。

此间,各个实验将继续进行。霍尔质子宇称实验不久将取得实验数据,这些合作实验希望使两种标靶的实验误差都能减少 3 倍。G0 和 A4 实验均已将探测器转动 180° , 而且不久即可测得 Q^2 在不同值时的向后散射电子, G_{π}^0 对 Q^2 非常敏感。通过向前向后散射测量结果的对比,可以分别确定 G_{π}^0 和 G_{π}^+ 。这些附加测量可以让实验者得到遍及动量传递范围的 G_{π}^0 和 G_{π}^+ , 从而可以减弱奇异海对质子结构的影响。

(编译自《CERN 快报》2005 年 10 月号;王金果,公安部国际合作局 100741;刘晓,北京大学外国语学院英语自考部 100089)

科苑快讯

美国科学家发明
“永久”核电池

美国罗切斯特大学科学家发明能连续使用 10 年而无需再充电的核电池, 电池中的能源是放射性蜕变的氘——超重氢, 这一作用过程早已为科学家所知, 但是迄今为止没有一种能将蜕变能量转变成电能的合理方法。

罗切斯特大学菲利普·富歇教授及其同事研制成一种能捕捉蜕变时产生大部分电子的方法, 他们利用经过特殊处理具有半导体性能的硅晶作为收集器, 在硅晶中产生电流。为了使吸收表面更大, 硅晶制成微孔状。

新型“永久”核电池能在“更换电池”相当困难的地方获得应用: 心脏起搏器、人造内脏器官、太空和深海传感器等。富歇教授指出, 他发明的最新核电池经过改进后其效率可以提高 200 倍。

(周道其译自《乌克兰新闻时报》2005/ 5/ 17)