

粲夸克的电荷—宇称非对称性

(中国原子能科学研究院 周书华 编译自 Hiroaki Aihara. *Physics*, May 29, 2019)

在基本粒子物理的标准模型中，电荷—宇称(CP)对称性是严格遵守的，但在夸克之间的弱相互作用中是违反的。理论认为，在弱相互作用中CP对称性的破坏，可能使早期宇宙中产生的物质比反物质多。

在量子物理体系中，CP是一个算符，其作用是将粒子转换成其反粒子，同时进行空间变量的镜像反演。如果一个反应或衰变在CP转换后保持原来不变，就称为是CP对称的。在与基本粒子有关的3种相互作用中，电磁和强相互作用是CP对称的，而弱相互作用不是。

弱相互作用中CP违反是1964年在美国的布鲁克海文国家实验室发现的。实验观察到，由1个反奇异夸克和1个下夸克组成的 K_s^0 介子，在极少数情况下衰变成两个 π 介子。这种衰变要求对称性破坏。此后，在B工厂的观测确定了B介子(含有美丽夸克——又称底夸克)的CP违反。为解释这些观测，理论

学家们提出了Cabibbo—Kobayashi—Maskawa(CKM)模型，该模型假定6种夸克是“混合”的。这种“混合”描述，例如，1个美丽夸克通过弱相互作用转变成1个上夸克的概率。由于CP违反，此概率将不同于1个反美丽夸克转变成1个反上夸克的概率。

按照CKM模型，奇异夸克CP不对称性只有千分之几，而美丽夸克达到0.7。粲夸克CP违反要小得多，非对称性在 10^{-4} 到 10^{-3} 之间。研究人员通过研究D介子寻找粲夸克的CP违反，D介子是含有粲夸克的最轻的粒子。由于预期的非对称性很小，需要研究大量的D和反D介子。CERN大型强子对撞上的LHCb探测器重约4500吨，专门为研究含有粲夸克或美丽夸克的粒子而设计。可收集高能质子—质子对撞中产生的每个粒子的种类、轨迹、动量和能量，可以从对撞点发射出的几十亿个粒子中挑选出特定的粒子。

相同数量的中性D(D^0)

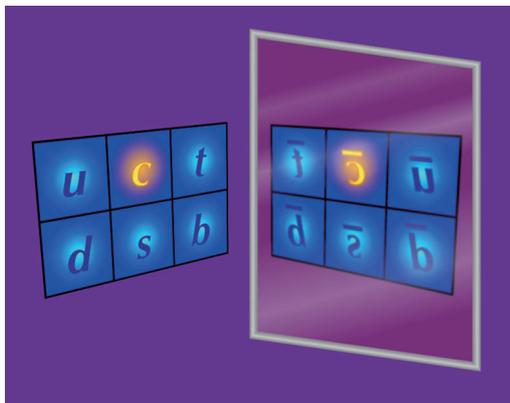
和反中性D介子(\bar{D}^0)是作为质子—质子碰撞中的初始产物或B介子衰变的次级产物生成的。LHCb具有超强能力可在—特定事件中将 D^0 与 \bar{D}^0 区分开。实验积累了大量数据，提取出约5千3百万个 $D \rightarrow K^- K^+$ 衰变，此外，数据中还包括1千7百万个 $D \rightarrow \pi^- \pi^+$ 衰变，其中D代表 D^0 和 \bar{D}^0 。

每一衰变中CP非对称

性由 D^0 衰变成 $K^- K^+$ ($\pi^- \pi^+$)的数目与 \bar{D}^0 衰变成 $K^- K^+$ ($\pi^- \pi^+$)的数目之间的非对称性给出。为了消除小的非CP贡献，如探测效率和质子—质子碰撞中粒子产生机制的非对称性，实验测量了在 $D \rightarrow K^- K^+$ 和 $D \rightarrow \pi^- \pi^+$ 衰变中CP非对称性之间的差别。得到的结果为 $(-1.54 \pm 0.29) \times 10^{-3}$ 。距0(或无非对称性)5.3个标准偏差，清楚地确定了在粲介子衰变中的CP违反。

在夸克系统中CP违对于奇异夸克和美丽夸克早已确定，这两种夸克属于电荷等于 $-1/3e$ 的类别，LHCb的结果首次证实电荷为 $+2/3e$ 的粲夸克的CP非对称性。所得到的结果处于标准模型预期的上限 10^{-4} 到 10^{-3} 。理论学家已阐明，在所有夸克中的CP违反的程度不足以解释宇宙中物质多于反物质。这意味着标准模型并非完整的理论，尚有未知的粒子和相互作用等待着被发现。

许多超出标准模型的理论预言， $+2/3e$ 电荷的夸克系统具有增强的CP违反。粲夸克小的CP非对称性可能很有价值。如果，例如一种标准模型外的相互作用增加了 10^{-3} 的CP非对称性，这在粲夸克中比在奇异夸克和美丽夸克中更值得注意，后两者标准模型CP违反相对较大。LHCb结果目前的精度，还不能确定是否未知的粒子和相互作用影响着粲夸克系统的CP违反。但是随着更多数据的收集，粲夸克系统可能用作探寻超出标准模型的新物理的工具。更多内容详见*Phys. Rev. Lett.*, 2019, 122; 211803。



最新的LHCb实验结果发现，进行镜像反演时，粲夸克与反粲夸克行为不同