

# 极化反质子束

冯宝树

自旋是微观粒子的一种属性，我们可以把微观粒子想象成为一个小陀螺，“小陀螺”围绕自转轴旋转，这就是微观粒子的自旋运动。在一股束流中，如果束流中粒子自转轴的指向是杂乱无章的，那么我们从实验中是无法观测到与粒子自旋有关的物理现象。这种束流就叫做非极化束流。反之，如果束流中的粒子的自转轴的指向基本上取得一致，这种束流就叫做极化束流，自转轴指向一致性越强，束流的极化度也越高，那么我们就可以从实验中观测到与粒子自旋有关的物理现象。例如在 1973 年美国阿贡实验室在加速器 2GS 上成功地加速了极化质子束，此后围绕  $P \uparrow P \uparrow$  散射问题他们作出了一系列工作，并发现了双重子共振态。此后人们认为应用极化束流进行实验有助于细致地了解基本粒子反应，用极化的质子反质子束对撞可以检验夸克模型，并进一步了解强相互作用机制。

目前，西欧中心已将质子同步加速器 SPS 改建成质子反质子对撞机，并应用这台对撞机发现了  $W^+$  及  $Z^0$  粒子，今后他们将在提高反质子束流强，提高对撞束流的能量与亮度方面下功夫，以期作出更出色的工作来，西欧中心并拟建大型强子对撞机 LHC，这台机器很可能是一台质子反质子对撞机（目前最后方案尚未确定）。美国费米实验室已准备将加速器 Tevatron 改建成为质子反质子对撞机。目前人们已掌握了几种获得极化质子束的方法，例如利用氢分子流先得到氢原子流，再利用特殊的强磁场得到极化的氢原子流，再将极化的氢原子流进行电离就可以得到极化质子流。又如在美国费米实验室采用俘获超子衰变时产生的质子的方法，得到极化度为 50% 的极化质子束。人们也在探讨得到高能高极化度的极化质子束的新方法，如用能量为 400 京电子伏的质子打靶产生次级粒子，再通过次级粒子  $\lambda \rightarrow \pi^+ p \uparrow$  的衰变可能得到 300 京电子伏的极化质子束。这一方法从理论上看来是可行的。总之，目前质子反质子对撞机已经有了，也已经可以得到极化质子束了，如果能得到极化反质子束，那么就可以实现极化的质子反质子对撞了。

1984 年 4 月下旬，在北加利福尼亚的海边小村庄内，由贝克莱实验室的翁·查姆贝来和密歇根大学的阿兰·克锐施主持的会议上就如何获得极化质子束进

行了讨论，与会者为世界各地的高能物理学者。在会议上，威斯康星大学的威莱·哈柏利作了极化质子束的报告，西欧中心的西蒙·范·德·米尔作了反质子束流的存储问题的报告。与会者提 12 种获得极化反质子束的方法，经过热烈的讨论后，认为最多只有三种方法有实现的可能。

第一种方法是：先用正电子与反质子合成反氢原子，而后再用强磁场将反氢原子流进行极化，再经过电离，就可得到极化反质子束。与会者公认这一方法是可行的，但是效率如何呢？据贝克莱实验室的卡尔松·杰弗斯和麻省理工学院的但尼尔·克莱帕尔的估计，在目前的技术条件下，大约每秒可合成一千个反氢原子，这个效率是十分低的，但也是十分吸引人的，因为迄今人们还未能合成反物质，反氢原子的合成也许是在人工合成反物质方面打响的第一枪，即使得不到极化反质子束，就是得到反氢原子也是一个很大的成功，目前日本京都大学的克·路马依和密歇根大学的阿泽·锐池已分别着手这个实验。

第二种方法是美国阿贡实验室的阿·约克萨瓦提出的。由于费米实验室已成功地从超子衰变中得到极化质子束，故他提出如果采用俘获反超子衰变时产生的反质子，那么有可能得到极化度为 50% 的极化反质子束。与会者认为此方法是可行的，但是由于这样得到的极化反质子束流强十分低，因此还要克服提高俘获率，储存及加速等难关。

第三种方法是所谓“自旋过滤技术”。人们已发现在能量低于 1 京电子伏时，质子反质子散射显著地与碰撞粒子的自旋轴是平行的还是反平行的有关。利用这一性质，在已有束流的反质子环中注入极化质子流。在一定的能量下，利用自旋轴是平行还是反平行时质子与反质子的反应率不同的特点，使一种自旋态下的反质子更多地被散射，从而更快的从储存环中消失。这样一来，大约经过 10—20 个小时后，反质子束流可能呈现出较大的极化性质。

显然上述三个方法中，实现每一种方法都会遇到巨大的困难。但是人们已经看到了获得高能极化反质子束的可能性，一旦人们获得了高能极化反质子束，实现了极化的质子反质子对撞，人们可能对强相互作用有更深刻的理解，从而推动高能物理向前发展一步。