

1983年8月11—18日,在美国费米国家加速器实验室召开了第12届国际高能加速器会议。有来自欧、日、苏和美等国家的科学家和工程师们,他们相聚一起交换并讨论了这一领域的最新进展。会议的主要议题是讨论80年末和90年代所能运行的更高能量的新型加速器。

今年,高能加速器作出了最为激动人心、引起国际物理学界极大兴趣和积极反响的,是欧洲、核子研究中心(CERN),在他们改装质子同步加速器为正反质子对撞机上找到了人们期待已久的玻色子(W^\pm, Z^0 粒子)。它们有什么重要呢?

原来在1967年,由格拉肖-萨拉姆-温伯格(GSW)三人提出了把弱力和电磁力统一成一个数学模型,并对传递弱力的 W^\pm, Z^0 粒子作出了明确的预言,1973年也是由CERN,首先得到了与 Z^0 粒子相联系的中性流证据,间接地证明了 Z^0 的存在,到1978年几乎世界上各大高能实验室相继地在加速器上完成了类似的实验,肯定了由 Z^0 粒子传递的中性流存在,定量的结果与他们的理论预言一致,这就使得当时大多数物理学家一致认为这是一个成功的模型。鉴于把这两种力统一起来是本世纪物理学光辉成就之一,这就使他们三人于1979年分享了诺贝尔物理学奖金。83年CERN用它拥有世界最大的加速器找到了与理论预言完全符合的 W^\pm, Z^0 粒子,除了还有待发现的希格斯粒子外。这就使得理论物理学家确信,在试图发展一种统一自然界各种力的理论这一进程中,他们正沿着正确的道路迈进。

为了提高加速器的能量,美国费米国家加速器实验室也对他们拥有的高能加速器加以改装。就在本年七月份,费米实验室正式宣告,他们已成功地改装了他们的实验主加速器,增添了超导磁环,可使它的粒子能量倍增达1000京电子伏(1京=10⁹),然后再进行1000京电子伏的正反质子对撞,从而将成为世界最高能量的加速器。

为什么世界各国竞相提高它们加速器的能量呢?对研究物质的微观层次来说,有两个理由:一、高能粒子束(如电子、质子束)很像X射线探针那样,能够深入物质的内部。粒子的能量与波长是有联系的,粒子能量越高,相应的波长越短,这样对高能粒子而言,犹如它能“看到”物质内的很小距离,就可探知物质结构更深的层次。目前世界上最高能量的加速器已能探知10⁻¹⁶厘米间距的信息,这样的间距相当于质子直径的千分之一,所以能够探测到中子和质子内部更精细的结构。实验物理学家就是用这样尖锐的探针发现质子内部有大小不同的客体,称它为“部分子”。——理论物

新型加速器

德青 编译

理学家称它们为层子(或夸克),至于“部分子”就是层子一说,还有待证明。不论“部分子”或层子;它都暗示了质子是由更为“基本”的客体所组成。

二、可以研究粒子碰撞过程,能量转换为其他物质的新形式。按爱因斯坦的质能方程 $E=mc^2$ (E 为能量, m 为质量, c 为光速)。高能反应可能产生一些更重的粒子,如新近发现的 W^\pm 和 Z^0 粒子。在原来CERN的质子同步加速器,虽然可以加速质子达450京电子伏,但是由于它是直接轰击静止靶,因此把大部分能量消耗在增加较小质量的粒子的动能上,剩下可供产生粒子的能量仅有30京电子伏。故不足以产生由G. S. W所预言的80—100京电子伏的 W^\pm, Z^0 粒子。CERN的科学家鲁比亚(Rubbia)等人的努力,使CERN终于在1978年同意将同步质子加速器(SPS)改装成正反质子对撞机,并于1981年7月首次进行了每束能量为270京电子伏正反质子对撞。这两束对头撞的粒子就有540京电子伏可供产生新粒子的能量,显然,对产生 W^\pm, Z^0 粒子是绰绰有余的。这两束粒子相撞的能量等价于用185000京电子伏的粒子去轰击一个静止靶。

费米实验室为了提高它原来500京电子伏的能量,采用了超导技术。当超导材料的温度低于某临界温度时,电流可在超导中无电阻地流动。因此,用超导产生的磁场具有比正常磁铁高得多的磁场强度,从而大大提高了粒子的能量并降低功率的费用。现费米实验室的加速器圆环是用990块磁铁组成的,明年可达到质子为1垓电子伏(1垓=10¹²)的能量。为了实现正反质子对撞,费米实验室另外建造了一个小的储存反质子的环,以便需要时注入到主加速器内进行对撞实验。到1985年,一旦完成,它就可以给出质子能量为2垓电子伏的正反质子对撞。

事实上,目前世界上,所有计划或正在兴建的高能加速器,均是采用欧洲中心和费米实验室所属同种类型的加速器。前者未用超导磁体,后者采用了而已。新建的高能加速器既可进行固定靶实验又能进行对撞实验。

CERN的下一个大的计划是建造大的正负电子储存环(LEP),这部机器是根据同步加速器的原理来加速正负电子,让它们沿着相反的运行轨道进行对撞。

电子在磁场内作曲线轨道运行时,要辐射能量称为同步辐射,轨道的曲率越大,辐射能量越多,辐射能量是按电子能量的四次方而增加的。所以用这种办法来加速电子是得不偿失的。为了减少同步辐射的损失,就要使电子在曲率不大的磁环内运行(即要求在屈

长大的磁环内运行)。LEP 的周长长达 27 公里,而 CERN 的 500 京电子伏的 SPS 加速器却仅有 7 公里的周长!不过,曲率不大的 LEP 也有一个优点:它的最大场强只需 0.13 忒斯拉就够了,而 0.13 忒斯拉的 LEP 足可以维持 120 京电子伏的电子和正电子的运行。低场强的 LEP 可使设计建造费用减半。另外,只需高频加速腔采用超导技术,不需超导磁体环。据科学家们估计,要使 LEP 加速器达到 350 京电子伏,需要周长 300 公里,耗费资金 50 亿美元,而第一阶段的 50 京电子伏的 LEP 仅耗资 3 亿美元。这表示投资与增加的能量平方成比例。但是,美国斯坦福直线加速器中心的雷什特(B. Richter)提出的单通道直线对撞机的巧妙方案,可使投资仅与能量成比例。

直线对撞机的想法,其实是十分简单的,只要将两个直线加速器对准,让电子、正电子对撞就成了。它与储存环相比,各有利弊:第一,因为直线型加速器是依靠一连串的加速腔体来达到高能量的,不像同步加速器只需几个腔体周而复始地多次加速就成了。因此在加速腔体和消耗功率方面的化费是大的。另外,正是由于粒子直线运行,因此可以大大减少磁铁的用量。第二,在储存环中的同一粒子束可以重复多次地碰撞。而直线对撞机,每束只能碰撞一次,因此利用率低。

雷什特还积极改造原来的直线加速器(SLAC),将它原来 32 京电子伏能量提高到 50 京电子伏。SLAC 的科学家与工程师估计要建造与 LEP 相同能量的直线对撞机,也可同时完成。今年美国里根政府已批准他们的计划,并拨给 1984 年度三千二百万美元经费。现在他们已制成了一个“阻尼环”,并试验过 50 兆速调管(供功率使用)的样机。不过,到底 1986 年 10 月 1 日是否能完成,还要决定 1985 年的投资多少。估计届时需要五一六千万美元。

与此同时,苏联核物理研究所大力发展电子直线对撞机。他们第一步先将每束 150 京电子伏的两机器实现正、负电子对撞。如果加速梯度为 100 兆电子伏/米能建成,则总长为 3 公里。1978 年的试验表明 150 兆电子伏/米是可能的。去年,已在 30 厘米的样机加速机构中产生了 55 兆电子伏/米的梯度,这比 SLC 的梯度 17 兆电子伏/米高得多。第二步,计划每束可达 500 京电子伏,两个直线对撞机的总长为 10 公里。苏联高能物理研究所还计划兴建一个质子同步加速器 UNK。两环的质子对撞,将获得能量为 2.2 核电子伏。如在超导环中的反质子碰撞,可得正反质子对撞总能量为 6 核电子伏,磁铁隧道周长为 19.3 公里,却是 CERN 和费米实验室的同步质子加速器的三倍。

日本也不甘落后,在建造高能加速器方面急起直追。日本国家高能物理实验室(KEK),81 年开始建造一台正负电子储存环。Tristan 计划在 3 公里的主环中,使每束 30 京电子伏的正负电子对撞。去年 12

月开始建隧道,一个 8 京电子伏的储存环已经安装。由于改成超导加速腔,Tristan 将能加速到 40—50 京电子伏。引人注目的是它的第二阶段,在同一隧道中建造超导磁铁环,可储存 300 京电子伏的质子。一旦完成,Tristan 将达到 160 京电子伏质心系能量的电子-质子对撞。

西德最近批准了电子-质子对撞机计划。他们已有成功地运转正负电子对撞机 DESY 的经验。PETRA 对撞机最近达到总能量 43 京电子伏。新提出来的 HERA 机器将设在公园下周长为 6.45 公里的隧道内,采用了类似费米实验室加速器的超导磁体,可加速质子达 820 京电子伏。电子用正常磁铁可达 30 京电子伏,电子和质子在注入到新的主环以前,仍由 PETRA 加速。大约需化费 9.6 亿马克(DM)。

另外有长岛的布鲁克海文国家实验室,正在进行一个巨质子-质子对撞机的工作(称 ISABELLE),该机器将采用超导磁体加速每束达 400 京电子伏。7 月份美国高能物理咨询委员会(HEPAP)以有限的多数 10 对 7 否决了 ISABELLE,却选择了化费十亿美元建造一个 20 核电子伏的质子同步加速器“DE SERTRON”这种“超级对撞机”将可模拟“大爆炸”形成的情景。

总之,从上一届国际高能加速器会议到这一届的发展趋势来看,尚没有根本的新加速原理突破,在不远的将来,高能加速器将集中发展对撞机,其中有质子-质子,质子-反质子,质子-电子和正负电子对撞机。

下一步,高能加速器将发现什么粒子呢?粒子物理学家至少希望找到另一个夸克和与 $W^{\pm}Z^0$ 粒子有联系的希格斯粒子。不过,对于大多数科学家来说,还是希望获得支配自然界运动规律的那些料想不到的意外线索。