

# 未和高能加速器

宛 夏

由于“基本”粒子的运动转化规律及其内部结构都必须在粒子具有很高能量的情况下才能显现出来，所以高能加速器是研究“基本”粒子的一种不可缺少的手段。到目前为止，高能加速器已发展到十分庞大的规模。现在世界上最大的质子加速器的能量是400—500京电子伏（1京=10亿），它是一个环形加速器，直径为2公里；最大的电子加速器的能量是22京电子伏，这是直线加速器，长度为3.2公里。这样高的能量对于研究“基本”粒子是不是够了呢？看来还不够，因为近年来对于“基本”粒子的研究，预示着还可能存在一些比质子重好多倍的粒子。例如弱相互作用的研究，就预示可能存在着中间玻色子 $W^+$ 、 $W^-$ 、 $Z^0$ 等，它们在理论上都比质子重九十倍以上。另外，宇宙线实验还发现，能量超过 $10^{14}$ 电子伏的宇宙线粒子，能够在大气中引发一些目前不能解释的异常现象：例如一次碰撞可以打出上百个以至几百个强子（参与强相互作用的粒子，包括重子和介子）大大超出经验公式的预计；在有些事例中，产生的很多强子中竟没有一个中性 $\pi$ 介子！宇宙线的这些超高能事例毕竟极其希罕，要深入细致地分析研究这种新现象，以及寻找更重的新粒子，还得依靠加速器。那么，需要多少能量的加速器呢？若是想用质子打靶打出中间玻色子 $W^+$ 、 $W^-$ 、 $Z^0$ ，所需要的质子能量至少是3200京电子伏，为目前世界最大加速器所达到的500京电子伏的6倍多。若是想用加速器产生上述异常现象，那就要把粒子至少加速到 $10^{14}$ 电子伏=10,000京

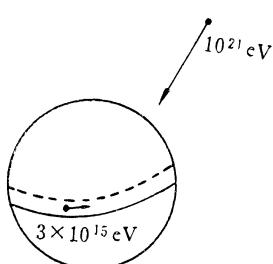


图1 已发现宇宙线粒子的最高能量的 $\sim 10^{21}$ 电子伏，而按照现有的方法和技术，造一个直径和地球一样大的加速器，能量也只有 $\sim 10^{15}$ 电子伏，相差百万倍。

电子伏，是500京电子伏的20倍。

于是就面临一个问题，是不是要建造规模更大得多的加速器？按照现有的方法和技术，一个10,000京电子伏的环形质子加速器直径应是40公里，一个1000京电子伏的电子直线加速器的长度应是145公里，……即使造出了这样大的加速器，也不能说足够了，因为正如毛泽东同志所说的：“在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上”。就是把强子的结构弄清楚了，也还有更深一层的物质结构问题和更高能量尺度的自然规律需要去探索，需要去发现。认识自然是改造自然，认识自然没有止境，改造自然也没有止境。这样，就迫使高能加速器的技术和原理非彻底改造不可，未来的高能加速器究竟会是什么样子？这个问题现在还不是回答的时候。但是有些可能性是目前已经看出来的，而且也已引起了人们的重视，这里简单地介绍一下。

**1. 对撞机** 两束高能粒子对撞，比一束高能粒子打静止的靶，力量要大得多。譬如说，

两束10京电子伏的质子对撞，就相当于200京电子伏的高能质子束打静止的氢

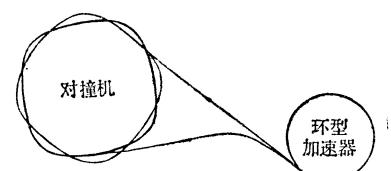


图2 这是一种由两个交叉的储存环组成的对撞机，两束高能粒子在两环相交的八个点上对撞

靶；两束40京电子伏的质子对撞，就相当于3200京电子伏的高能质子束打静止的氢靶等等。因此，对撞机在有些方面来说，的确能够提高高能加速器的效能。但是，对撞机不能代替高能加速器，对撞的高能粒子束还是要用高能加速器来获得。而且对撞机不能产生高能的次级粒子束，从而在高能加速器上可以做的很多有意义的实验，在对撞机上都做不了。此外，对撞机里

面“基本”粒子作用的反应率只相当于高能粒子束打静止靶的反应率的百万分之一。所以对撞机显然是高能加速器的一个相当重要的补充部分，但它并没指出建造更新型的高能加速器的道路。

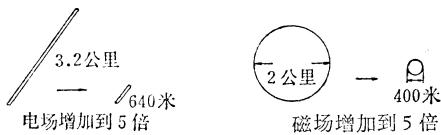


图3 利用超导体,直线加速器的长度、圆形加速器的直径都可缩小

**2. 超导加速器** 有些金属或合金在温度降到足够低时(例如液体氢或液体氦的温度),会失去电阻而成为超导体。利用超导线来做磁场线圈,只要不大的电能就可以得到极强的电流,从而产生特别强的磁场,利用超导体来做直线加速器的谐振腔,只要不大的高频电能就可以得到特别强的高频电场。刚才讲的世界最大电子直线加速器长3.2公里,能够把电子加速到22京电子伏,电子平均每走一米可获得7兆电子伏的能量。如改成超导直线加速器后,从理论上计算电场至少可以增强到5倍,电子平均每走一米可获得35兆电子伏的能量。那么,走3.2公里后,电子的能量就可以达到100京电子伏。又譬如,刚才讲的世界最大质子加速器,直径为2公里,可以加速到500京电子伏,它现在用的磁场是1.7万高斯。如果改用超导磁体,把磁场提高5倍达到8.5万高斯,那么,只要400公尺直径的圆形加速器,就可以把质子加速到500京电子伏。另外,8.5万高斯的磁场改装到2公里直径的环形加速器上,就可把质子加速到2500京电子伏。此外,用超导磁体还有一个好处,就是可以大大节省加速器的耗电量。因此,我们需要强调超导加速器的研制,对于发展高能物理有很重要的意义,但是同时也要看到,超

导加速器主要依靠的是超导技术的改进,加速的原理并没有变。如果单靠超导来提

高能量,那么,

根据现有超导

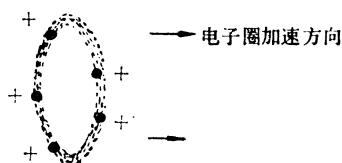


图4 电子圈可以吸住带阳电的粒子,带着它们加速

技术的水平,同样大小的加速器,能量的提高也只是几倍或十几倍,还不能算是加速器的彻底改造。

**3. 集团加速** 集团加速就是用大量密集的电子所造成的强电场来加速质子或其他重离子。人们探讨过

多种方案,其中比较引起注意的是电子环加速器。方法是利用磁场把大量的电子约束成很细的环(环厚度2毫米左右,环半径5厘米左右),这个电子环是带阴电的,可以吸附带阳电的质子或其他重离子,再用外加电场使电子环加速,就可以带着质子或其他重离子跑,使质子或其他重离子达到很高的能量。但在这种加速原理中电子环的稳定性是一个大问题。要想把电子环加速到很高的能量而不散开,在技术上不是一件轻而易举的事。目前电子环加速器只在加速重离子方面有些进展,但远远没有达到高能。而且,电子环加速器是否能够把质子加速到很高能量,依赖于电子环加速器是否能把电子环加速到很高能量,这样就遇到了一般的高能电子加速器所遇到的老问题,而且在技术要求上要比一般的电子加速器复杂得多。所以,电子环加速器是不是改造高能质子加速器的一个方向还是一个疑问。

此外还有一些其他的集团加速方案,都只在理论上进行过探讨,如何具体实现还不太清楚。

**4. 激光加速器** 激光可以把大量的能量集中到很小的范围,而且单色性好(就是说,它基本上是一种波长的波,而不是若干种波长的波的混合),因此有可能用它来代替超高频(微波)的电磁波来加速带电粒子。大家知道,光波就是电磁波的一种,只是频率比超高频电磁波还高,波长比超高频电磁波还短罢了。激光加速的优点是它可以集中大量的能量,因而可以产生

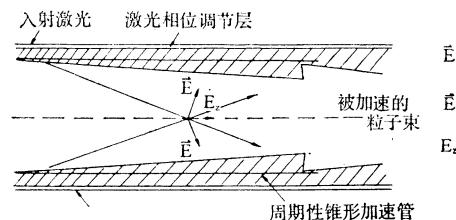


图5 用激光加速粒子(示意图)

很强的电场。例如目前激光技术已能达到每平方厘米 $10^{18}$ 瓦的功率密度(即每秒通过每平方厘米的激光能量),按照这个功率密度,电场可达到每米一千九百京电子伏,如果能够做到用它来加速带电粒子,带电粒子每走一米就可获得几百京电子伏的能量。因此几公里长或几公里直径的高能加速器就可以缩小到几米大。但目前这还只是理论上看到的可能性,还有待更多的科学实验和理论上的探讨。困难肯定是很大的,但从长远来看,这是一个具有吸引力的可能性。越来越庞大的体形总有一天会变得轻巧起来。

(题头: 牛顿学)