

# 对撞机工作原理和北京正负电子对撞机

谢家麟

## 一、前言

对撞机是研究高能物理(或“基本”粒子物理)的重要手段,因此,在讨论对撞机之前,有必要先谈谈高能物理。

高能物理是研究组成一切物质的基本粒子的结构和它们之间相互作用的学问。随着近代物理学的进展,人们对物质的认识深入到越来越深的层次。现在我们知道,组成物质的分子是由原子组成的,原子是由原子核和电子组成的,原子核是由质子和中子组成的。质子和中子这些原来以为是不可再分的基本粒子,近来又发现是由更小的层子组成的。图1给出大到银河

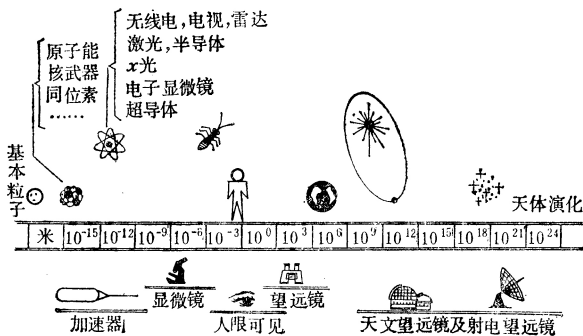


图1 各种物体的尺寸和观测它们的手段

系、小到基本粒子的一些物体的尺寸和观测它们的手段。由图可见,基本粒子是如此之小,就是最好的显微镜也不能看到它们。那么,又怎能对它们进行研究呢?人类使用一种能提供很高能量的机器——加速器,就可以对它们进行深入细致的研究了。所以,我们可以说加速器及其探测仪器是人类感官对微观世界的延伸。

## 二、使用加速器研究基本粒子

加速器能提供高能量的带电粒子(质子、电子等)束流。这些高能粒子束流,犹如快速的炮弹能摧毁坚固的堡垒一样(见图2),能供基本粒子发生变革,从而

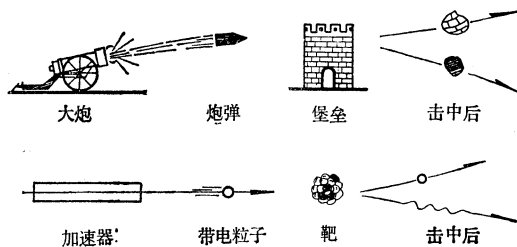


图2 使用加速器研究基本粒子示意图

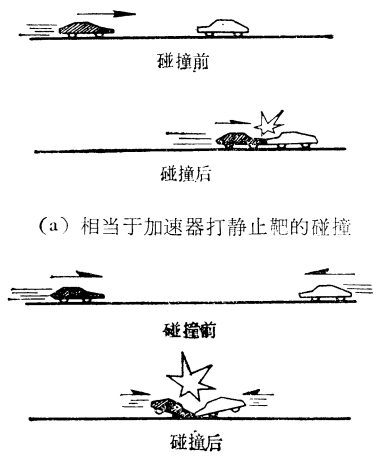
显示出内部的结构和运动规律。因而,早期有人把加速器叫做原子击碎机。

加速器能量越高,就越能给出物质越小层次的信息。正如把一个物体放得越高,它落下来就会对下面物体破坏越甚,从而越能显示内部的情况是一样的。从另一角度看,显微镜是人类眼睛的延伸,加速器是显微镜的延伸,能量愈高就相当于分辨本领越大的显微镜,可以观测更小的物质层次。

## 三、加速器与对撞机

加速器提供的高能粒子束流,一般用来轰击固体或液体靶产生高能反应。打静止靶的加速器是一种反应产率很高的装置。但是,高能质子打到静止靶中的质子上,很大一部分能量将成为它们向前运动的动能,而没有参与高能反应,也就是说,这部分能量不可避免地被浪费了。一个1000GeV的高能质子同步加速器,它的束流的有用能量还不到42GeV!而且,加速器能量越高,有用能量所占的比例越小,这意味着研究极高能

现象,打静止靶的加速器是很不经济的。



(a) 相当于加速器打静止靶的碰撞

(b) 相当于对撞机的碰撞

图3 对撞机工作原理示意图

对撞机中又有正负电子对撞机、质子-质子对撞机、质子-反质子对撞机等。但最常见的是正、负电子对撞机。这也是本文讨论的主要对象。图3用两辆汽车的碰撞来说明加速器与对撞机的区别。显然,两车相撞的结果是原来的动能一部分耗于损毁车子(相应于产生内部反应的有用能量),一部分存在于撞后的运动(相应于无用的能量),由图可以很容易地看出,对撞机是最有效地利用加速能量的装置。

#### 四、对撞机的特点

对撞机的第一个特点是有用的能量高。当两束电子对撞时,如果每束电子能量为 2.2GeV, 则其有用能量相应于一台 19000 GeV 的电子加速器产生的电子束轰击静止靶中的电子。这个数字是十分惊人的。近年发现的  $\gamma$  粒子是首先在美国费米国家加速器实验室的

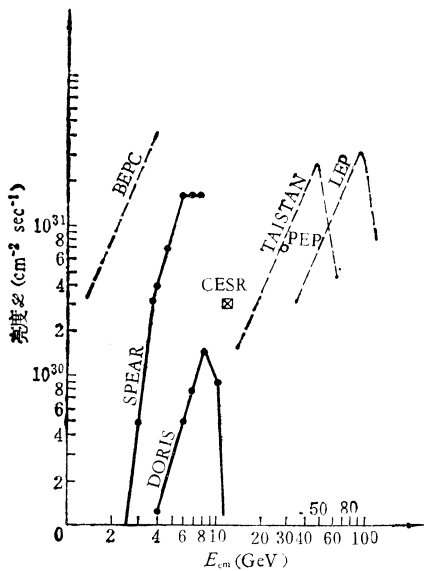


图4 几个正负电子对撞机亮度随质心能量的变化

因此,科学家们想到,如果使用两束能量相等的高能粒子对头相撞,那么两束粒子的全部能量将都能用于产生高能反应。于是,就出现了对撞机。它是加速器的一种发展,所以有时也被泛称为“加速器”。

400GeV 质子同步加速器上找到的。但西德 DORIS 正负电子对撞机和美国 CESR 正负电子对撞机每束只有 5GeV, 即能对  $\gamma$  粒子进行更为深入细致的研究,取得了良好的成果。

然而,有其利必有其弊。对撞机是使两束带电粒子相撞,而带电粒子在束中的密度远小于液体靶或固体靶。因此,对撞机的亮度就远比静止靶加速器低,一般要小千倍以上。即高能反应产生率很低,物理实验要进行较长的时间。这是对撞机的第二个特点。

对撞机的第三个特点是在正、负电子对撞时亮度随能量变化急剧,见图4,一个对撞机只能在一定的能区工作,尽管存在高能的对撞机,但是低能量的对撞机还是可以做它的设计能区范围内的独特工作。这与高能量的质子同步加速器完全可以进行低能量的工

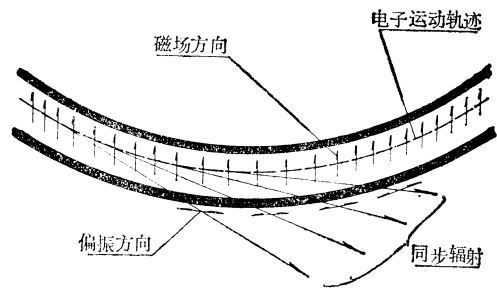


图5 同步辐射示意图

表 1

类型	名称	国别	每束能量 GeV/Bam	出束日期
加 速 器	FNAL	美	500	72
	KEK	日	12	76
	SPS	西欧	400	76
	TEVATRON	美	1000	82
	UNK	苏	3000	90
对 撞 机	ISR	西欧	31.4(p-p)	71
	SPEAR	美	4.2(e±)	72
	DORIS	西德	5.1(e±)	74
	VEPP-2M	苏	0.67(e±)	75
	DCI	法	1.7(e±)	76
	VEPP-4	苏	7.5(e±)	80
	PETRA	西德	19(e±)	78
	PEP	美	18(e±)	80
	CESR	美	8(e±)	80
	ISA	美	400(p-p)	87
	FNAL	美	1000(p-p̄)	84
	SPS	西欧	270(p-p̄)	81
TRISTAN	日本	30(e±)	86	
LEP	西欧	50(e±)	90	
BEPC	中国	2.2(e±)	86	
SLC	美	50(e±)	86	

作是很不相同的。

对撞机的第四个特点是在它进行高能物理实验的同时，电子和正电子由于受到磁场偏转做迴旋运动而辐射能量，产生同步辐射(图5)。同步辐射具有光强度大、方向性强、高度准直、偏振，连续光谱而且范围宽等优点，在物理、化学、生物、天文、医学、半导体等方面有广阔的应用。因此，正负电子对撞机既可用于基础研究，同时还可用于应用研究。

按照已有原理建造打静止靶的高能质子加速器，由于规模和造价的限制，一般认为不大可能超过几千GeV的能量。这就是说，在提高能量，进一步延展人类的感官来认识微观世界的道路上，现代的打静止靶的加速器的路子似乎已差不多到头了。而对撞机由于前述的特点，却方兴未艾，成为世界上研制的主要趋势。表1是近年来世界上建造高能加速器和对撞机的统计，它清楚地说明了这一点。

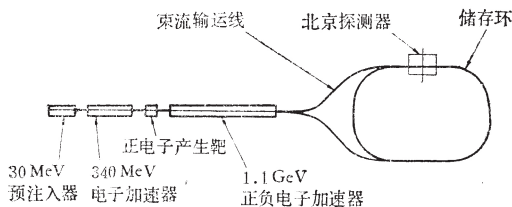


图6 BEPC 总体布局示意图

### 五、北京正负电子对撞机

目前，我国正在北京中国科学院高能物理研究所研制一台能量为2.2GeV的正负电子对撞机(简称BEPC)。下面简单介绍一下它的总体布局和工作状态。

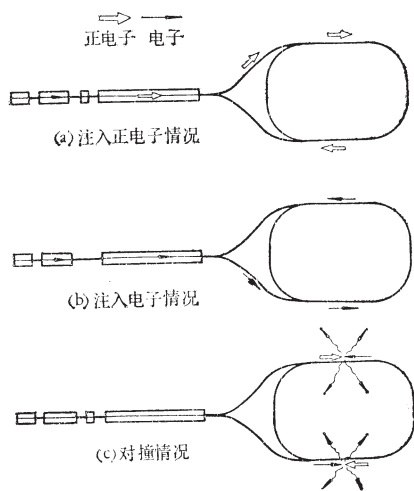


图7 BEPC 工作状态示意图

电子和正电子的直线加速器。它由30MeV的预注入器、340MeV的电子加速器和1.1GeV的正、负电子加速器

组成。预注入器的任务是对由电子枪产生的电子束进行调制，使它变成很窄的束团，然后经340MeV电子加速器加速打靶，产生正电子。正电子经加速到1.1GeV的注入能量。在加速电子时，先将正电子产生靶移到束流线外，这样，电子枪产生的电子即可直接加速到1.1GeV。注入器提供的正负电子分别经由束流输运线注入到储存环内，沿相反的方向作迴旋运动。见图7(a)、(b)。

储存环在注入阶段在1.1GeV工作，等到环中先后累积了足够数量的正负电子以后，磁铁的磁场即开始升高，正、负电子由高频站供给的能量得到加速。当能量达到2.2GeV时，磁场保持恒定，两团正、负电子开始对撞，见图7(c)。因此，储存环的工作包括累积、加速和对撞三个阶段，它是由真空盒、高频加速站、偏转磁铁、聚焦磁铁、扭摆磁铁等多种元件组成的一个周长为300余米的椭圆形的环。

储存环上有二个对撞点，正、负电子在对撞点进行对撞，产生高能反应。为了进行探测，在对撞点处装有北京探测器，它是磁谱仪类型的通用探测器。由中心漂移室、主漂移室、飞行时间计数器、簇射计数器、μ子计数器等组成的探测系统。任务是探测碰撞后产生的各种粒子的种类、径迹、能量和动量。它的直径和长度

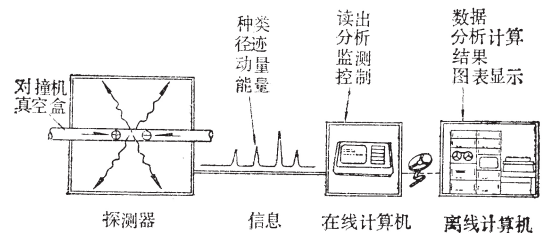


图8 对撞机中的探测器和计算机的功能

各约4米，重约400吨。它犹如人类的眼睛，观察微观世界的秘密。

正如人类观察事物一样，光用眼睛还不够，还必须用大脑来分析。所以，探测器给出的表征高能反应产生的粒子的性质、状态的电脉冲信息，还必须经过电子计算机根据实验要求编制的程序进行分析、处理，才能得到最后的实验结果，这相当于人类大脑的作用。计算机又分为在线计算机和离线计算机二类。在线计算机控制和监测探测器的工作状态，并对给出的数据进行读出、分析和处理。离线计算机则要把磁带记录下的上亿个数据，进行繁复的计算，最后以图表方式给出实验结果。由于离线分析工作量十分庞大，需要大型计算机才能胜任，因此，对撞机总体中必须包括装置大型计算机的计算中心。图8形象地说明探测器和计算机的功能。

## 六、结语

上面简单介绍了对撞机的原理和特点,也介绍了我国北京正负电子对撞机的概况。可以看出,由于正负电子对撞机有效能量高,低能的对撞机工作范围不会被高能所覆盖,并且可供多种科学的研究和应用。北京对撞机的建造是在我国具体情况下发展高能物理

和应用研究迈出的正确的、重要的一步。它的建成必将会对我国科技现代化作出巨大的贡献。但是,必须指出,北京对撞机的研制是一项学科综合、技术精尖的科研工作,要求工程设计、进度和投资密切结合。高能物理的高速发展必然要求工程的进度要快,这就要求具有高度有效的科学组织管理水平……。这一切需要我们全力以赴,认真对待,让我们团结起来,在党的领导下,为完成这个光荣、艰巨的任务而奋斗!