

美国正在建造的高能加速器

陈思育 陈佳洱

(国家自然科学基金委员会数理科学部)

摘要 应美国能源部邀请,我们参加中国核物理学家代表团赴美考察,先后访问了劳伦斯贝克利实验室,洛斯阿拉莫斯国家实验室,建在弗吉尼亚州的连续电子加速设备,布鲁克海文国家实验室和美国能源部总部。参观了美国正在建造或正在运行的几个加速器及其实验设备,了解美国核物理研究的现状及未来的研究计划,探讨中美双方在核物理领域合作的可能性。本文主要介绍美国正在建造的三个高能加速器的一般情况。

1. 引言

近40年来,世界各国,主要是美国、苏联、德国、日本和西欧核子研究中心,先后建造了高能加速器,从事高能物理和核物理研究。我国于1988年建成北京正负电子对撞机,开展高能物理和同步辐射应用研究,对撞机的性能指标超过世界上同类型对撞机。

随着人们对微观世界认识的深入,需要建造更高能量的加速器,以探索新的粒子,检验标准模型。为此,美国正在建造三个高能加速器,分别加速电子、重离子和质子,即在弗吉尼亚州建造连续电子束加速设备(CEBAF),在布鲁克海文国家实验室建造相对论重离子对撞机(RHIC),在得克萨斯州建造超导超对撞机(SSC)。这三个加速器计划分别于1994年,1997年和1999年完成。

2. 连续电子加速设备

Continuous Electron Beam Accelerator Facility(CEBAF)是美国能源部(DOE)和美国基金会(NSF)核科学顾问委员会(NSAC)于1983年建议建造的一台大型返航式超导直线加速器,建造费用2.69亿美元,于1987年开始建造,计划1993年建成加速器,1994年开始做物理实验。项目总投资4.92亿美元。

CEBAF的主要组成部分是45MeV的注入器,两条平行安装的直线加速器,9条电子返航输运线,3个终端实验厅和液氮致冷设备。直线加速器的主要部件是超导加速腔,材料是铌,工作频率1.5GHz,设计场强5MV/m,品质因子 2.4×10^9 ,工作温度2K。每一条直线加速器的能量增益是0.4GeV,电子经返航输运线,多次通过直线加速器,每加速一周,能量增加0.8GeV,设计的最高能量为4GeV,最大电流为200 μ A。CEBAF的最大特点是连续束流,即工作因子为100%。束流可同时引出到3个实验厅,能量可在0.5GeV到4.0GeV之间变化。

建造CEBAF的目的是研究核的基本结构,核的中间成分及在高动量转换下的核结构。3个实验厅分别装有高分辨电子谱仪和强子谱仪,大接收度谱仪,高动量和短轨道谱仪,分别用于探测双粒子,多粒子末态,高动量和短寿命粒子。

CEBAF建成后,在电磁核物理领域将处于世界领先地位,将有来自200多个研究单位的600多名核物理学家参加工作。

3. 相对论重离子对撞机

Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC) 是 NSAC 于 1983 年建议建造的, DOE 于 1987 年批准布鲁克海文国家实验室提出在布鲁克海文利用 80 年代初停建的质子对撞机隧道建造 RHIC 的建议。因为 RHIC 的隧道及其它设施,如中心控制室、办公大楼,3 个实验厅和束流输运系统等早已建成,所以 RHIC 的建造费用,包括探测器,为 3.95 亿美元。

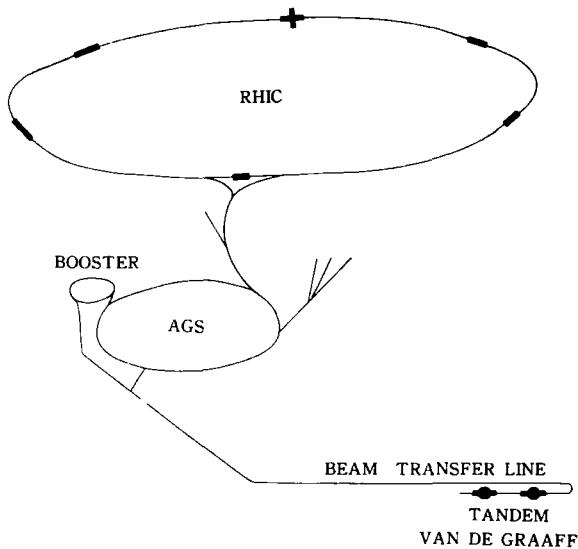
RHIC 是双环结构,两环在隧道中水平交叉放置。每个环的周长约 4 公里,由 6 个弧段和 6 个直线段组成。重离子在两个环中绕相反方向旋转,在 6 个直线段的中间交叉点对撞。计划在其中的 4 个对撞点做实验,另两个对撞点留作备用。重离子在注入 RHIC 之前经过了 3 次加速,即经串列加速器、增强器和交变梯度同步加速器 (AGS) 加速。从串列加速器到增强器的束流输运线长 600 米,增强器周长约 200 米,AGS 周长为增强器的 4 倍。重离子在 AGS 中加速到 $14.5\text{GeV}/u$,再注入 RHIC (见图)。两台串列加速器已经投入运行,增强器也已建成,并于 1991 年 6 月开始调试束流,AGS 早已建成,用于加速质子 26 年后,于 1986 年改成加速重离子,RHIC 计划于 1997 年建成。

RHIC 加速粒子的种类可以从质子到原子量为 197 的金离子。加速质子的最高能量为 250GeV ,对撞亮度为 $1.4 \times 10^{31}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$,加速金离子的最高能量为 $100\text{GeV}/u$,对撞亮度为 $2 \times 10^{26}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。

RHIC 是当今世界上唯一能提供研究宇宙起源所需的高温、高密度条件。RHIC 建成后,现代理论预期的夸克——胶子等离子体有可能再产生和被检验,从而揭示时空的起源。

4. 超导超对撞机

Superconducting Super Collides (SSC) 是当今世界上正在建造的最大加速器,轨道呈椭圆形,周长为 87 公里。两个轨道在隧道中上下放置,在椭圆形的两侧各有一个对撞区,每个对撞区有两个对撞点,其中一个对撞区暂不放探测器,留作备用。加速质子的最高能量为 20TeV ,对撞亮度为 $1 \times 10^{33}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。



质子在注入 SSC 之前经过了 4 次加速,即经直线加速器(LINAC)、低能增强器(LEB)、中能增强器(MEB)和高能增强器(HEB)加速。直线加速器又由 4 部分组成,即负氢离子源(H^- source),高频四极加速器(RFQ)、杆耦合直线加速器(DTL)和边耦合直线加速器(CCL),总长约 200 米,最高能量为 600MeV。直线加速器设计时留有空间,以便今后增加加速器长度,提高能量到 1GeV。3 个增强器的输出能量分别为 1.0 / 1.1GeV(对应注入能量为 0.6 / 1.0GeV), 200GeV 和 2TeV。

SSC 的建造费用为 60 亿美元,预期 1999 年建成。SSC 建成后,有条件检验理论预言的 T 夸克和希格斯(Higgs)的粒子产生,高能物理研究将进入新的阶段。

THE HIGH ENERGY ACCELERATORS BEING BUILT IN THE U.S.A. —INFORMATION OF VISITING THE U.S.A.

Chen Siyu Chen Jianer

(Department of Mathematical and Physical Sciences, NSFC)

启 事

本刊自 1992 年开始,交北京报刊发行局向全国发行。邮发代号为 82-413。定价不变。欢迎全国各科研单位、高等院校、有关部门及广大高级科研人员到当地邮局订阅。

逾期漏订的读者和查询《中国科学基金》创刊以来各期杂志的读者,可与本刊编辑部联系。

《中国科学基金》编辑部新址:北京市海淀区花园北路 35 号东门(邮政编码:100083)。电话:201.6655-415。

本刊编辑部