

# 俄罗斯高能物理研究现状简介



· 毛慧顺 ·

俄罗斯的高能物理研究主要分布在科学院所辖的一些研究所中。但个别研究所仅有一、两个研究组。本文主要简介几个具有相当规模,在高能物理研究上有相当实力的研究中心。

1. 联合核子研究所 JINR (Joint Institute for Nuclear Research, Dubna)

联合核子研究所位于莫斯科北郊的杜布纳 (Dubna), 原是苏联、中国以及东欧等社会主义国家共同投资建立起来的核物理研究基地。50年代末, 60年代初, 不少中国原子能专家和留学生在该所从事过核科学和基本粒子的研究。但我国在60年代中已宣布退出联合所。

目前该研究所共有员工约6000人。合作成员国的约300个研究单位和30多个科学组织参加该所的研究工作。

过去几年, 联合核子所的研究内容集中在高能核物理和基本粒子物理, 如相对论核相互作用机制: 重要课题有“在相对论四速度空间中强子物质的反对称特性”, “四速度空间中多粒子过程的物理规律”, 利用俄罗斯高能物理所的70GeV原子加速器, 研究40GeV  $\pi$  介子在核的库仑场中, 在阈值附

近产生  $\pi$  对的过程……等; 再如新元素的同位素和新的核的合成等也是该所的重要研究内容。近几年来, 联合所在粒子物理方面的重要实验成果来自两个方面: 一是在西欧核子中心 (CERN) 的加速器 LEP 上的物理工作 DELPHI, 该实验是与 CERN 合作完成的。联合所还参加了西欧中心的 NA-4 等实验; 二是在俄罗斯高能物理研究所的加速器完成的实验。

目前, 联合核子所已成立一个超高能实验室, 其实验主要在俄罗斯高能物理所, 西欧中心或美国费米实验室的加速器上进行。

联合核子所在1958年建的10GeV加速器还在。但目前已开始筹建对撞机, 计划分三步完成:

- (1) 1993—1994年完成重离子贮存环。
- (2) Charm- $\tau$  工厂, 最大能量2.5GeV/束, 亮度  $1.1 \times 10^{31}/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$ 。希望1996—1997年完成。
- (3) 正负电子对撞机, 超导加速器, 8—10GeV/束, 希望2000年完成。

该加速器的预制研究已达十年, 已有1.5GeV的超导加速器模型。但目前经费是最大问题。若经费不允许, 准备用单束先作内靶实验, 暂不对撞。

## 2. 高能物理研究所

高能物理研究所位于莫斯科南郊的雪比古夫 (Серпухов) 城的布鲁特维诺镇 (Protvino)。1963年开始设计70GeV质子加速器(最大能量76GeV), 1967年建成, 1968年开始正式成立高能物理所。现有职工约6000人, 其中高级物理学家250人, 科学家和电子学等专家600人。高级物理学家配有1:10的助手。行政人员和工人约占总职工的1/2, 约3000人, 其中200名工人专门从事新加速器磁铁的生产。与德国、美国、法国和日本等国有关协作关系。

从1985年开始考虑筹建名为 UNK 的3TeV 质子-质子对撞机, 希望以此超过美国费米国立加速器实验室 (FNAL) 的2TeV 质子对撞机, 并与美国正在建造的超级超导对撞机 (SSC) 相抗争。原计划分三步

磁性液体既兼有磁性材料和液体的一些性质, 还具有另一些特有的性质。例如, (1) 典型的超顺磁性, 在磁场作用下无磁滞回线现象, 即剩余磁化强度和矫顽力都为零; (2) 可控的粘滞性, 可用外加磁场来控制其粘度; (3) 可调节的磁浮力, 可用外加磁场来改变磁性液体的表观密度和浮力; (4) 磁致双折射和二向色性, 可用外磁场使光在磁液中传输时产生各向异性和偏振; (5) 高度稳定性, 能长期保持均匀状态, 在磁场和重力场中不会发生凝聚和成团现象; (6) 磁致超声传输各向异性等。

根据磁性液体的组成和特性, 磁性液体可以分为三类: (1) 非金属磁性液体, 磁性基质和载液均为非金属; (2) 金属磁性液体, 磁性基质为 Fe、Co 或其合金

的纳米磁粉, 载液为非金属液体; (3) 全金属磁性液体, 磁性基质和载液(如水银)均为金属的磁性液体, 具有良好的导热性和导电性。

磁性液体因兼有磁性材料和液体的特点, 目前已在许多方面得到重要应用和显示独特的优点。例如, 用于轴密封和润滑, 具有承受高转速、非接触、基本无泄漏、无污染, 兼有润滑作用等优点; 用于扬声器, 可提高承受功率、改善音质和频率特性; 用它作磁液阻尼器, 可由磁场精确定位和控制; 用它作磁液传感器, 可用于高灵敏度测量加速度和非接触式测量输电线电流; 利用其磁光效应特点, 可制成磁控光快门、磁光调制器; 还可在宇航失重条件下用于磁流体发电、磁液陀螺、磁性燃料和磁性笔等, 利用磁力代替重力的作用。

进行:

(1) UNK-1: 把原有 70GeV 加速器 (U-70) 的亮度增加到  $5 \times 10^{11}$  质子, 注入周长比 U-70 要大 14 倍的 UNK-1 贮存环, 把质子能量加速到 400GeV. 加速器采用普通磁铁. 原定 1995 年完成.

(2) UNK-2: 把 UNK-1 的磁铁全部改成超导磁铁, 使之能量达 3TeV, 并引出束流作固定靶实验. 原计划 1998 年完成.

(3) UNK-3: 另一个 3TeV 超导磁铁贮存环, 实现 3TeV  $\times$  3TeV 质子对撞, 亮度  $4 \times 10^{12}/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$ . 由于经费问题, 该部分何时完成的计划尚未作出.

目前在研究使用西欧中心反质子 ( $\bar{p}$ ) 源的可能性, 考虑建造  $P-\bar{p}$  对撞机, 计划亮度  $10^{11}/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$ .

当前进展状况是, 400GeV 的普通磁铁已近完成. 但超导环共需 25000 块磁铁, 即使按工厂 3 条生产线, 一周工作六天, 每天三班倒, 也只能每天生产 3 块, 需 3 年时间. 何况经费不落实, 目前仅完成 30 块超导磁铁, 约 1%.

目前的实验建议主要是在 UNK-2 引出的强子区和中微子区作固定靶实验. 三个主要的实验建议是:

(1) NEPTUN PROJECT: 研究 400—3000 GeV 的自旋效应、弹性散射中的极化现象等.

(2) GLUON PROJECT: 研究胶子相互作用和胶子球的产生.

(3) MPS PROJECT: 多粒子谱仪, 研究  $c, b$  等重夸克.

对撞机虽尚未着落, 但已有二个实验建议提出: UCD——通用量能器探测器和 TSD——从流光室为主的探测器.

### 3. 新西伯利亚核物理研究所 (Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk)

核物理研究所 (INP), 是原苏联科学院西伯利亚 (Siberian) 分院中的第一个研究所, 建于 1958 年 2 月, 它是在以库尔恰托夫 (I. V. Kurchatov) 为头的原子能所的新加速方法实验室基础上建立起来的. 目前研究所已有约 3500 名职工. 研究所由高能物理、同步辐射、工业加速器和等离子体或可控热核反应四大部分组成, 约各占 25% 左右. 该所的特点是, 70% 的科研经费 (包括高能物理等) 和工资来自本所自己产品的销售, 仅 30% 来自政府. 到 1992 年已生产销售约 120 台加速器, 其中 100 台在原苏联境内, 我国已购或欲购 6—7 台.

高能物理研究方面的状况如下:

早在 1965 年与美国 SLAC 同时, 实现了电子与电子束对撞的实验. 二年内建成了  $2 \times 160 \text{ MeV}$  的电子对撞机 VEP-1 并进行了  $\phi$  介子实验. 目前 VEP-1 作为模型展览在该研究所.

VEPP-2 是  $2 \times 0.67 \text{ GeV}$  的正负电子对撞机,

1969 年时亮度为  $3 \times 10^{10}/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$ . 用以研究  $\phi$  介子特性, 并与意大利物理学家在 1970 年一起观察了  $e^+e^-$  湮灭中强子的多重产生.

VEPP-2M 是在 1971—1973 年建造的对撞机, 能量与 VEPP-2 相同, 亮度提高 100 倍. OLYA 是以经火花室和闪烁计数器为基础用在 VEPP-2M 上的第一个谱仪, 以高精度研究  $\phi$  的稀有衰变和直到  $2E = 1.4 \text{ GeV}$  阈值附近的强子的多重产生. 在 1979—1984 年期间, 具有 32KGs 的超导线图探测器 KMD 工作在该加速器上, 以高精度测量中性  $K$  的质量和  $\phi$  介子的电磁半径. 在 1982—1987 年的实验, 是用 NaJ(Tl) 计数器作成的中性粒子探测器完成的, 细致研究  $\rho, \phi, \omega$  的辐射衰变机制. 鉴于 VEPP-2M 的能区是  $360 \text{ MeV} < 2E < 1.4 \text{ GeV}$ , 亮度  $4 \times 10^{10} - 10^{11}/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$ , 二个对撞点, 正在进行和筹备二个实验, 目的是提高  $R$  和  $(g-2)$  值的测量精度, 提高  $\rho, \phi, \omega$  分支比的测量精度, 及作双光子研究. 实验一是使用 CMD-2, 低温磁探测器. 超导磁场 1.7 Tesla, 探测器由漂移室、低温高压火花室, BGO 和 CsI 量能器、正比室和二层  $\mu$  子探测器组成. 已取数半年, 还在继续. 下步改用液氙 (Xe) 量能器. 实验二是用称之 SND 的晶体球作探测器. 由 3 层共 5 吨 NaI 晶体组成, 13 个辐射长度, 在晶体球内及层间有二个漂移管室, 一个工作在正比区测  $dE/dX$ , 一个工作在自淬灭流光模式, 即可由灵敏丝也可由阴极读出, 用以测漂移时间. 晶体球共由 1700 个晶体计数器加铁吸收体组成, 用激光刻度, 光纤读出. 该探测器尚在建造中, 准备工作在自 1993 至 1998 年.

VEPP-3 是 3GeV 能量的增强器贮存环. 用作 VEPP-4 的增强器和注入器, 并作同步辐射光源.

VEPP-4, 能量  $2 \times 5.5 \text{ GeV}$  正负电子对撞机, 1979 年开始运行. 在  $2 \times 5 \text{ GeV}$  能量上亮度达  $6 \times 10^{10}/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$ . 1980 年 4 月 OLYA 和 MD-1 两个探测器开始在加速器上作实验, 研究和精确测量  $J/\psi, \psi', \gamma, \gamma',$  和  $\gamma''$  等, 给出  $\epsilon(2.2)$  共振态产生的上限. 目前正在改进 VEPP-4 的能散度和纵向极化, 改进后的加速器称之 VEPP-2M.

新西伯利亚核子所还一直在积极研究直线对撞机, 积极参予高能物理所的 UNK 加速器计划, 并在探索建一台电子-质子直线对撞机的可能性.

### 4. 列别捷夫物理所 (P. N. Lebedev Physical Institute)

在俄罗斯的其他一些物理研究所内也都有高能物理研究小组, 其中列别捷夫物理所的高能物理部较大.

列别捷夫物理所是很著名的研究所, 拥有 6 位诺贝尔奖获得者. 该所分五大部分, 其中一部分在莫斯科中心, 第二大部分是高能物理部, 位于离莫斯科市中心 50 公里的第二个科学卫星城中, 以写电磁学一书老

(下转第 37 页)

而在某些情况下,它的后果提供了解决问题的钥匙。

所以,我们完全可以换一种思想方式。自行车之所以倒下,并不是来自自然界的惩罚,而是自然界对人类的提示:自行车还是倒着放最好。电磁轨道炮弹丸的击穿也是一样。总之,灾难本身就是自然界的一种演示。它告诉了我们应该怎样去作。我们应该领悟自然界的这种赐予。在电磁轨道炮上,这种领悟迟了25年。在另外一些问题,这种领悟很快。

在某些科学实验装置,如热核实验装置中,需要一种环形磁场。这样的磁场用一组线圈排列成环形而产生。这样形成的环形磁场并不是均匀的。它的强度与到中心对称轴的距离成反比。通过线圈的电流与磁场的方向垂直,因而受到沿半径方向向外的张力。由于磁场不均匀,这张力也不均匀,越靠近环中心越大。因而在环中心必须有支撑结构将这些线圈顶住。在支撑力和电磁力作用下,作用在线圈的局部应力可能非常大,有可能产生不稳定的变形,拿行话来说,叫做失稳。它会使线圈损坏。

自然界通过这一损坏,或者说,灾难,给了我们什么提示呢?似乎不太清楚。为了弄清这一问题,我们

把其中的一盘线圈做得象面条那样柔软,通上电,放在环形磁场中,看看它会变成什么样子。

这个实验作起来有点象扶乩。为了排除重力的影响,可使这一线圈放在一光滑的平面上。如果环中心有一个圆柱形的支撑物的话,那么这一柔软线圈在环形磁场中将形成一定的形状。由于线圈是柔软的,它不能承受剪切力,只受到张力。所以这样的线圈称为纯张力线圈。它的形状的数学表述可用方程来推导。如果把环形磁场的每一盘线圈都做成纯张力线圈的形状,它在磁场中产生的应力分布均匀。因此,在同样材料下,采用纯张力线圈会使环形磁场增大几倍。我们从中所得的好处也来自自然界的提示,因为这种纯张力线圈可视为圆形线圈失稳后变形的结果。

虽然获得的结论不能乱套,但从上述例子可以看到,在不稳定过程及其前因后果的背后,似乎存在着更深刻的道理。明白了这些道理,对科学及技术的研究也许有所裨益。同时,通过看来平凡的事物,培养自己抽象的思辨习惯和能力。而这种习惯和能力,比起积累知识来,至少具有同样重要的价值。

## 桌面上的对撞机

苏中启(译) 程鹏翥(校)

高能物理实验需要耗资惊人的粒子加速器。例如在美国得克萨斯正在建立中的53英里长的超导超级对撞机,需耗资80亿美元才能建成。但是依利诺阿贡国家实验室的物理学家们已经成功地试验了一种新技术,能显著地减少大型加速器的尺寸与成本。

采用这种称为尾流场加速(Wake-field acceleration)的新技术,能使6英里长的加速器胜任传统的周长为80英里的加速器的工作。在尾流场加速装置中,一束电子射入一陶瓷管中,当这束电子在管中飞过时,这些电子的负电荷在管子表面产生瞬间正电荷。此正电荷拖动一较小的第二束电子束,在第一批电子的尾流中于几个十亿分之一秒后注入管中,非常像卡车的滑动气流拖动紧靠其后行驶的汽车。结果第一批电子束通过它的“尾流”将一些能量传递给第二束电子。一台实验的桌面加速器在小于10英寸的距离内已将电子能量从1500万伏提高到2300万伏。尾流场加速器使得物理学家可以回答如何获得以前达不到的能量问题。

(译自《健康和科学进展》90年7—8月号51页)

## ·封面说明·宇宙三部分

本期封面十分形象地展示了我们的宇宙,它把宇

宙表现为三部分:内部空间,包括粒子、原子核、原子、物质态;生命物质,包括DNA(脱氧核糖核酸)、病毒、细胞、人体、生物圈;外部空间,包括太阳系、附近的星星、银河系和星系团;若以人体为中心,两边分别趋向于无限小(粒子)和无穷大(星系团)。最后,无处不在的宇宙微波背景辐射实现了无穷小和无穷大之间的连接。

(马基茂、童国梁提供)

代邮: 欢迎订阅本刊1992年合订本,每本20元;欢迎订阅1993年增刊,每本6元。可通过当地邮局汇款至:北京918信箱秋埔收

(上接第24页)

塔姆的儿子小塔姆(E. I. Tamm)为高能物理所所长。全所约200人。在1947—1948年期间从事原子弹研究,近年才对外开放,与西欧中心(CERN)德国DESY实验室和美国FNAL等都有协作关系。主要研究的领域是加速器技术、高能和中能核物理及粒子物理、以及同步辐射。该所有一台1.2GeV的电子加速器,研究电子与液氦和液氙的相互作用,以及 $\gamma$ 光子与 $^{12}\text{C}$ 的相互作用,用NaI晶体测量。

俄罗斯的高能物理研究,不论在理论方面,还是加速器技术和探测器方面都有雄厚的基础,国际协作也十分紧密。目前,由于经济原因缺乏科研经费,但仍然是高能物理界的一支重要力量。各研究所对与中国的协作也十分感兴趣,值得我们重视。

代邮 1993年增刊拟出版,需购者请按每本6元寄往:北京918信箱秋埔收