



童 国 樑

1989年7月14日，欧洲核子研究中心（CERN）的 LEP（Large Electron-Positron Collider）正负电子对撞机将正式运行，这一天是法兰西共和国大革命两百周年纪念，特意选择这个日子作为 LEP 的“生日”，可见科学家们对这个新的正负电子对撞机的重视与期待了。

一、规模巨大的全球性合作——世界大串连

一提到全人类规模的合作，往往会想到奥林匹克运动会。不错，在四年一度的奥林匹克圣火下，不同信仰、不同肤色的体育精英走到了一起，在更高更快更强的口号下奋力拼搏。但是你可知道，人类世界中还存在一块友谊和合作的乐园，那就是日益发展的高能物理实验组织。这里要介绍的 LEP 计划就是这种国际合作的典范。提到 LEP，自然首先应谈简单介绍一下 CERN（来自法文 Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire）。大家知道，CERN 是由西欧奥地利、比利时、丹麦、联邦德国、法国、希腊、意大利、荷兰、挪威、西班牙、葡萄牙、瑞典、瑞士和英国等十四国联合建成的一个大型高能物理研究基地，最初于 1954 年 9 月在联合国科教文倡导下建成。地址设在日内瓦郊区瑞士和法国的边界上。每年 8—9 亿瑞士法郎（约合 5.3 亿美元—6 亿美元）的经费由 14 个成员国支付，办法是按联合国统计的各国前三年的国民净收入按百分比平均摊派，但单独一国的支付数不超过 CERN 年度预算的 25%，贡献最多的四个成员国是联邦德国（25%）、法国（21%）、英国（14%）和意大利（12%）。CERN 建立的三十多年来，随着高能实验物理的发展，先后建立了质子同步回旋加速器（600MeV，1957）、质子同步加速器（28GeV，1959）、交叉储存环（ISR，28GeV 质子束对撞，1971）和超级质子同步加速器（SPS，315GeV 质子和反质子束对撞，1983），并在粒子物理研究中作出的重要的贡献，这些贡献包括 1) 中性流的发现和传递弱相互作用的三个中间矢量玻色子 W^\pm 、 Z^0 的发现。

当前世界上最大的正负电子对撞机—LEP 是于 1981 年 12 月被 CERN 当时的 12 个成员国批准的，LEP 计划第二阶段的正、负电子束流能量为 100GeV，

设计亮度为 $2.8 \times 10^{31} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。为了形象地理解这个 LEP 的能量，让我们让它与温度联系起来。见图 1 所示。在 100GeV 的电子与 100GeV 正电子对撞的瞬间，温度可达到 $2.32 \times 10^{15} \text{°C}$ 。这个温度相当于 4000 亿倍太阳表面的温度！大家也许记得，过去有人把原子弹爆炸描写为“比一千个太阳还亮”，但是如果把它与 LEP 的正负电子对撞时所达到的温度比较，那还真是小巫见大巫了。LEP 工程于 1983 年 9 月 13 日正式破土动工，在 LEP 破土动工庆典上，当时的法国总统密特朗、瑞士联邦主席阿尔伯特都出席了。经过六年的紧张建设，这项预算耗资为 9 亿 1 千万瑞士法郎（约合 6 亿美元）的 LEP 第一期工程终于完成了。LEP 第一阶段束流设计能量为 55GeV，亮度为 $1.6 \times 10^{31} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。LEP 束流圈的隧道多次穿越瑞士和法国的边界，周长 27 公里。隧道上交替地布满了偏转磁铁、聚焦磁铁以及射频加速腔。目前在 LEP 的四个对撞点上安排了 ALEPH、DELPHI、L3 以及 OPAL 四个大型的高能物理实验，这些实验云集了世界上大批最优秀的高能实验物理学家。这四个实验的建设与 LEP 对撞机同时进行。当 LEP 运转时，这些实验开始获取数据。

如果说，LEP 对撞机的科技合作还限于欧洲国家之间的话，那么 LEP 上四个实验的合作范围却遍及全球了。由于这些实验的规模大，巨大的财力、物力、人力以及技术需求决不是少数几个研究单位所能承受的。这里列举两个数字可以帮助理解这一点：LEP 四个实验需要近 2000 个高能实验物理学家以及相近人数的工程技术人员；LEP 的每个实验的投资约在 1 亿美元以上，显然只有广泛的国际合作才能满足这些要求。这正是当今高能物理实验的显著特点。在这方面 L3 实验是最典型的。L3 实验是由美国著名科学家、诺贝尔奖金获得者丁肇中教授领导的，参加国包括来自美、中、苏和欧亚十四个国家的 36 个研究所，L3 探测器是 LEP 四个实验中规模最大、耗资最多的一个。L3 实验的特长是精密测量电子、光子和 μ 子。高分辨率测量从 100MeV 到 100GeV 极大的动态范围的电子和光子的能量和位置（对 100MeV 的电子、光子的能量分辨率 $< 5\%$ ；而对于 $> 1\text{GeV}$ 的电子和光子，要求能量

分辨率 $<1\%$), $L3$ 特选 11000 根总重 12 吨昂贵的锗酸铋 (BGO) 晶体组成电磁量能器. BGO 晶体的密度与铁相近, 但具有与钻石类似的透明度, 它们对闪烁是很灵敏的, 并且具有优良的光学性能. BGO 晶体比较贵重, 光是加工费每 C. C 就需要 5 美元. 但对于 $L3$ 实验, 经费服从物理要求. 也正因为这个出发点, $L3$ 探测器的各个部分都是高标准的, 使得 $L3$ 探测器成为 LEP 四个实验中投资最大的一个. 我们以 $L3$ 强子量能器的研制为例介绍这种全球性的国际科技合作是如何进行的. $L3$ 实验的强子量能器是由瑞士、中国、苏联、美国、意大利和印度联合承担的. 苏联把用过的铀板 (U^{235} , 用作强子量能器的吸收体) 分别送到制造强子量能器桶部的瑞士和端盖部的联邦德国. 桶部丝室在中国、苏联和美国制造, 部盖部分丝室在西德和印度制造, 而 μ 子过滤器则在意大利制造, 最后送到瑞士总装. 这真是一场“世界大串连”.

LEP 各实验组通常每三个月召开一次大组会, 讨论大组的财政、工作进度, 制订下一步工作计划, 报告各自的研究结果. 这时, CERN 往往聚集了来自世界各地的科学家, 各个大组会就象一个联合国大会, 但不是讨论政治问题, 而是讨论科学问题. 实际上, 瑞士政府对上述两种会是“一视同仁”的, 和联合国职员一样, 手持 CERN 工作证的人进入瑞士不用另办入境签证.

二、最前沿的物理目标

1983 年鲁比亚 (Rubia) 领导的 UA1 实验组在 CERN 的质子、反质子对撞机 SPS 上发现了传递弱相互作用的中间矢量玻色子 W^+ , W^- 和 Z^0 . 给弱电统一理论以决定性的支持. 鲁比亚因此荣获 1984 年诺贝尔奖金. 近年来, 人们一直在寻找标准模型、超对称模型所预言的希格斯 (Higgs) 粒子, 顶夸克、超对称伴子等. 实验寻找的能区范围包括现存的所有的加速器能区, 例如西德 DESY 的佩特拉 (PETRA), 束流能量可达 $\sim 20\text{GeV}$, 日本筑波的特里斯坦 (正、负电子对撞机, 束能可达 30GeV). LEP 的投入运行, 将为寻找上列新粒子以及其他新现象提供机会.

1. Z^0 粒子性质的精密测量

Z^0 粒子自 1983 年宣布被发现以来, 总共才收集到几百个 Z^0 事例, 但在 LEP 能区, 如果把 LEP 的质心能量固定在 Z^0 质量处 ($\sim 92\text{GeV}$), 那么一天就可产生 2.8×10^4 个 Z^0 粒子. 基于这样的高统计, 我们可以对 Z^0 的性质作精密测量.

这样一方面可以检验轻子的普适性; 另一方面可以确定是否存在新的中微子.

2. 顶夸克素 (Toponium) 的寻找和研究

60 年代只知道夸克有 3 种, 即 u 、 d 和 s . 70 年代又发现了两种, b 夸克 (丁肇中小组和里希特 (Richter) 小组, 1974 年) 和 c 夸克 (莱德曼 (Lederman)

小组, 1977 年). 但标准模型所预言的 t 夸克则一直没被确认. 在 LEP 能区可以继续开展对 t 夸克的寻找.

t 夸克和其反夸克 \bar{t} 的束缚态顶夸克素是标准模型的一个理想实验点, 问题是在什么地方能够发现这些态. 如果, 顶夸克素的一些态恰好落到 Z^0 处 (即 92GeV 附近), 那么就需要做大量的工作把它们与 Z^0 分开. 如果顶夸克素的基态比 Z^0 轻, 则根据 LEP 性能的现有估计表明, 当实验取数据几个月后, 就可以发现几个较高的态. 如果, 顶夸克素是重的, 那么产生它就更困难, 相应的物理研究也变得更困难了. 顶夸克素物理可以看出 Z^0 物理的一个补充, 它为现在流行的许多理论提供了敏锐的试验.

3. 新粒子寻找

在 LEP 能区可以对许多新粒子进行实验寻找. 这里所说的新粒子并不是专指的具有特定性质的粒子, 而是一种统称. 它们中间的有些粒子涉及到某种理论或模型, 而有些粒子根本不存在描写它们的专门理论, 但并不妨碍实验物理学家在实验中探索它们.

a) 希格斯 (Higgs) 粒子和 t 夸克

在标准模型中, 弱作用和电磁作用是通过统一的理论来描述的, 而它们的差别是由于引入希格斯机制实现的, 也即通过希格斯机制把弱电统一破坏掉, 使得弱中间玻色子 W^\pm , Z^0 获得质量 (近百 GeV), 同时至少还要存在一个希格斯粒子, 也可以有几个希格斯粒子. 希格斯粒子是一种中性的或带电的自旋为零的粒子. 实验上, 大家在不断地寻找它. 一旦出现了一种新现象, 总要想一想是不是找到了 Higgs 粒子. 结论又总是否定的. 久而久之, 使这个粒子带上了神秘的色彩.

t 夸克也是标准模型预言的, 但至少仍未确证. 顶夸克素的寻找是 t 夸克研究的重要途径. t 夸克和希格斯粒子若不存在, 标准模型将需作出重大的修改.

t 夸克和希格斯粒子的寻找是 LEP 物理的重要目标.

b) 超对称性粒子

超对称性理论 (有不同的版本) 预言了超对称性粒子. 超对称性是指费米子和玻色子之间的对称性. 这种理论预言了每种粒子都有一个自旋与它相差 $1/2$ 的超对称性伴子, 每对对应粒子的质量不一定相等. 例如普通轻子、夸克、光子、胶子、 Z^0 和 W 分别都有自旋为 0 的超对称性轻子、夸克伴子以及自旋为 $1/2$ 的超对称性伴子 photino, gluino, zino 和 wino. 如果这种对称性存在, 玻色子和费米子引起的发散相互抵消, 使得理论的高能行为大大改善. 但很遗憾的是近十年来对这些超对称性粒子的寻找均无肯定的结果. 所以这种对称性只停留在理论探索阶段上. LEP 能区为超对称性粒子的寻找提供一个新的机会.

c) 其它新粒子

这里所列的一些新粒子并不象 a) 和 b) 那样具有很强的理论动机, 正因为这样, 一旦这些粒子被发现将具有更大的意义。

第四代重轻子。目前一共发现三种带电轻子 e, μ, τ 以及对应的三种中微子。是否存在比 τ 更重的第四代重轻子?

电子的激发态 e^* 和 μ 子的激发态 μ^* 。 e^*, μ^* 的存在是对 QED 的一种可能的偏离, 寻找 e^* 和 μ^* 的意义当然是不言而喻的。

自由夸克的寻找。

上列的几种新粒子都已在现有的加速器实验和其它实验中寻找过, 没得出肯定的结果。LEP 实验为这些寻找创造了新的条件。

本节中列举的 LEP 研究课题只是目前认识到的一些主要内容, 实际上 LEP 物理要比这丰富得多, 而且随着实验的开展必然会发现更多更好的研究课题。

三、LEP 与中国

中国与 CERN 有良好的合作关系。70 年代后期以来, 中国科学院与 CERN 的科学家之间有频繁的人员互访活动, 并在 1983 年签订了正式的双边合作协议, 我国的高能物理学界对 LEP 计划十分关注。1983 年, 经科学院、所(校)批准, 正式参加了丁肇中领导的 L3 实验合作组。和由著名高能物理学家斯坦伯格(Steinberger)领导的另一 LEP 实验组 ALEPH。

五年多来, 我国三个参加 LEP 实验的小组、近五十名实验物理学工作者一直在为 LEP 实验紧张工作, 并作出了重要贡献。高能所的 L3 合作小组与苏联理论与实验研究所、瑞士苏黎世高等工业大学、瑞士联邦反应堆工程研究所、美国密歇根大学一起承担了 L3 强子量能器桶部的研究。强子量能器是研究喷注现象的主要探测器, 在 LEP 实验中占有重要地位。该组按计划建成并测试了包括 4 万多根正比管的 800 个正比室, 质量上乘, 获得同组很高评价。这些正比室运到瑞士后组装成模块后已成功装入了 L3 探测器。在这期间, 该组开展了前后向漂移室的单元研究, 写出了 L3 前后向漂移室设计建议书。科技大学组与美国 Cornell 大学、CERN 一起合作承担了亮度监测器的设计、建造工作。亮度监测器包括两部分: 记录正、负电子能量的 BGO 晶体以及记录它们方向的多丝室。该组提出了自己的正比室设计方案, 可以节约大量投资, 受到合作组的重视。高能所 ALEPH 合作小组在 1987 年完成了第一层 μ 探测器中间角的 950 根流光管。1988 年 10 月, 他们利用国产塑料管材, 完成了第二层 μ 探测器的 3500 根流光管的建造与测试任务。这些流光管的长度从 1.1 米到 7 米不等, 共有一百多种规格, 总长度达 22 公里, 这些流光管已全部安全运抵 CERN 并装入 ALEPH 探测器上。 (下转第 29 页)

现代物理知识

1989 年第 4 期

取之不尽, 用之不竭的理想能源

——激光惯性约束核聚变……………王淦昌(1)

我国基本粒子研究发展中的一个里程碑

——记王淦昌教授发现反西格马负超子($\bar{\Sigma}^-$)

……………丁大钊(5)

物理学与现代生命科学……………杨文修(7)

宇宙的图象……………S. W. 霍金著 鲍丙豪译(10)

里德伯原子……………张志三(13)

中微子——层出不穷的神秘故事……………魏民(25)

超导材料、理论新进展及应用前景……………章立源(28)

有趣的光折变效应……………张治国(23)

光化学光谱烧孔——频域光学存储技术

……………聂玉昕 王夺元(17)

第三代稀土永磁材料——钕、铁、硼……………刘英烈(15)

氢弹是如何爆炸的……………彭先觉(19)

一个举世瞩目的实验计划……………童国樑(30)

中国物理学会简介……………程义慧(21)

第二届吴健雄物理奖评选工作开始……………(22)

编者与读者……………(4)

西欧核子研究中心 LEP-L, 大型探测器……………

和它的建设者……………童国樑供稿(封面)

王淦昌先生……………汪雪瑛文、本刊记者摄(封二)

胡刚复、饶毓泰、叶企孙、吴有训

物理奖第一届颁奖大会在京举行……………

……………程义慧文, 本刊记者摄(封三)

约里奥·居里夫妇……………王 渭(封四)

主 办 中国科学院高能物理研究所

编 辑 《现代物理知识》编辑部

邮政编码 100039 北京 918 信箱

主 编 黄 涛

出 版 科 学 出 版 社

北京东黄城根北街 16 号

印刷装订 中国科学院印刷厂

总发行处 北京市邮政局

订购处 全国各邮电局

国外总发行 中国国际图书贸易总公司

(中国书店)

北京 2820 信箱

一九八九年七月出版

国内统一刊号: CN11-2441

本文作者则详细论证了自由载流子(电子或空穴)与负 U 中心(电子-电子或空穴-空穴)相互作用机制。考虑到新材料的特点是处于金属与绝缘体分界线边缘的金属态,我提出了在新材料中存在两大子系统。一是“自由”载流子系统,尽管其密度可能很低;另一子系统为负 U 中心系统,这是假设系统中存在局域化的电子对,对内两电子间存在相互吸引作用(即关联能为一 $U, U > 0$)。新超导材料的新物理起源于“自由”载流子与组成负 U 中心的近局域载流子之间的混杂(mixing)作用。在这一模型下的理论计算表明,这种混杂作用大大提高了超导转变温度。这是因为,借助于自由载流子与负 U 中心内局域载流子之间的混杂作用,使自由载流子之间的等效吸引大为增进,从而极大地有利于超导电性之增进。按这一机制已能就高温氧化物超导材料的 T_c 为什么高、超导转变宽度较大、在 T_c 处的比热跳跃实验值、相干长度实验值、热力学临界场及超导穿透深度等作出合理解释。特别是我们的理论预言,在高 T_c 氧化物超导体的超导能隙能量范围之内存在有小的态密度。最近, S. L. Cooper 等人对单晶 $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ 的喇曼散射实验确实表明在能隙内存在少量电子态。

然而,目前有关超导机制问题还远未解决,人们对于理论和实验的工作正向深入细致方向发展。

三、超导应用前景

马梯阿斯曾说:“如果在常温下,例如 300K 左右能实现超导现象,则将使现代文明的一切技术发生变

(上接第20页)

化和比威力(威力与弹的重量之比)都很大。例如美国 80 年代初期研制的 MX 导弹的子弹头,每个重量不足 200 公斤,而威力却接近 50 万吨梯恩梯当量。目前已研制出的特殊性能氢弹有中子弹和冲击波弹。中子弹的正式名称叫增强辐射武器,是一种以中子杀伤效应为主的小型氢弹。它的当量一般在 1~2 千吨,设计上以氘氟气体作热核装料,并让产生的高能中子有较大

(上接第32页)

的几率(例如 60% 以上)穿出弹体。冲击波弹则是一种以冲击波毁伤效应为主的万吨级氢弹。它的主要特点是放射性沉降少,与同当量的纯裂变弹相比,放射性沉降要减少 10 倍以上。因此它的另一名称叫减少剩余放射性武器。从总的趋势上看,氢弹技术还在进一步发展,当前的主要动向是探索以核 X 光激光和核电磁脉冲弹为标志的第三代核武器。

除了参加探测器的建造外,这三个组还在国内积极创造条件,准备开展 LEP 实验的数据分析。现在高能所和科技大学的计算中心都已移植了 CERN 全

部程序库,发展了 L3 和 ALEPH 的分析程序,建立了适应于高能实验数据分析的工作环境。同时,高能所还通过卫星利用 X25 通讯接口实现了与 CERN 的计算机连网(LinK),这为相距遥远的高能所与 CERN 之间的通讯、文件传递,以及数据传输提供了极大的便利。这几个组的实验工作者还同国内理论界展开经常的 LEP 物理讨论会,为在国内不失时机地做出有意义的物理结果积极工作。

化”。这是对超导技术应用前景的确切评论。概括起来,超导技术将用于下列的广泛领域:
电能输送 电动机发电机制造
发电厂结构之改变(包括磁流体发电兴起)
超导线圈储能技术
超导磁悬浮列车 超导电子计算机
超导电子学器件 超导磁体
高灵敏度电磁仪器 地球物理探矿技术
地球研究技术 医学临床应用
针灸机理研究 特异功能研究
生物磁学学科大发展
强磁场下物性及生物变异之兴起
军事应用

等等。应用涉及能源、交通、自动化、通讯、地质、医学、军事、基本科学等广大的领域。

当前,在尚未发现室温超导材料的情况下,除应大力继续寻求其它高温超导材料外,还应使液氮温区出现超导电性的材料实用化。从现实情况看, Bi-Sr-Ca-Cu-O 材料性能较稳定而不很脆,易于制作,是宜于进行实用研究的一种材料。就不同的实用方向而言,超导电子器件的应用预计将比在电力工程上之应用发展更快,从开发的角度来看,这一点值得注意。

超导应用的开发投资较大,不一定能见到速效。但是,由于它对国计民生及军事有重大意义,可以说,谁能在这场国际竞争中领先,谁就进入了先进国家之列。

在廿一世纪,人类终将发现,超导技术革命使他们的生活比上一世纪有着深刻的变化。

目前,中国高能物理学界与国外的同行一样,正以兴奋的心情注视着 LEP 实验的每一个进展与成就。