

LEP 上的 OPAL 探测器

汪兆民

目前正在西欧中心 (CERN) 建造的 LEP 是世界上能量最高的大型正负电子对撞机, 其设计能量为 $2 \times 65 \text{ GeV}$, 亮度为 $10^{32} \text{ 厘米}^{-2} \cdot \text{秒}^{-1}$, 储存环直径 8.6 公里, 可在八个对撞点上同时进行实验. LEP 第一期工程耗资高达 10 亿瑞士法郎, 质心能量 $2 \times 50 \text{ GeV}$, 将于 1988 年投入实验使用. 毫无疑问, LEP 的建成, 将为人们在更高的能压探索物质微观结构的奥秘创造了良好的条件, 为粒子物理的研究和发展作出重要的贡献. LEP 物理委员会已批准了首批在 LEP 上进行实验的四个实验计划, OPAL 计划就是其中之一. OPAL 的名称是来自英文 "An Omni Purpose Apparatus for LEP with 4π coverage" 的缩写, 它表示为 LEP 上用的 4π 立体角通用型探测器.

OPAL 计划所要研究的物理问题主要包括以下几个方面:

1. 研究 Z^0 和 ω^{\pm} 的产生和衰变, 测量三个玻色子的耦合: $Z^0\omega^+\omega^-$, $\gamma\omega^+\omega^-$.

2. 寻找新粒子, 例如 t 夸克, Higgs 粒子 (H^0 , H^{\pm}) 或 technipions (P^0 , P^{\pm}) 以及重的长寿命粒子.

3. 测量反应 $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$, $\mu^+\mu^-$, $\tau^+\tau^-$ 的角分布 $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ 以及 Z^0 和 ω^{\pm} 的质量, 检验弱电统一理论和大统一理论.

4. 通过测量多喷注事例的三胶子顶点、 α_s 的能量依赖关系和 $\gamma\gamma$ 散射, 研究 QCD 的规范不变性.

5. 对过程 $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$, $\mu^+\mu^-$, $\tau^+\tau^-$ 和 $e^+e^- \rightarrow$ 强子进行精确测量, 若发现与理论预言值有偏离, 则将提示有新现象产生 (例如 Z' , 费米子的内部结构等等).

由于在能量很高的情况下, 正负电子对撞产生的反应道很多, 事例十分复杂, 为了达到上述物理目的, 必须尽可能多地把每个事例的详细信息都记录下来, 为此, OPAL 探测器设计成通用型装置, 这样适应性

较强, 并为探测那些意想不到的意外现象提供了一种最灵敏的设备.

OPAL 探测器装置如图 1 所示, 有一长度为 6.5 米, 直径为 4.3 米的超导螺线管产生最大场强为 10000 高斯的磁场, 它的磁通回路铁

同时作为强子量能器和 μ 鉴别器的强子吸收体, 总重量 2540 吨. 线圈内部有一中心探测器, 它由顶点探测器、喷注室和 Z 室三部份组成. 顶点探测器是一个圆柱形漂移室, 它紧靠束流管, 用于精确测量靠近碰撞中心径迹的 R, ϕ, Z 坐标 (R 是径向位置, ϕ 是方位角, Z 是沿束流方向的位置), 确定短寿命粒子衰变的顶点和带电粒子动量. 为了减少多次散射, 束流管采用壁厚为 0.5% 辐射长度的铍管, 从而提高了位置分辨和排除束——气体相互作用本底的能力. 顶点探测器的外面是喷注室, 室中沿每条径迹可测量 160 个点, 通过丝的位置、漂移时间和电荷分配比值可定出带电粒子径迹和动量, 并通过能量损失的多次取样, 对粒子进行鉴别. 喷注室在垂直于束流方向分成 24 等分 (15°), 每

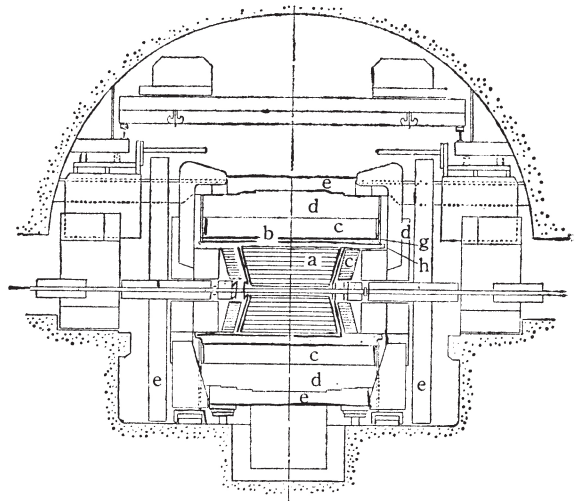


图 1 OPAL 探测器简图

a. 中心探测器; b. 螺线管; c. 电磁量能器; d. 强子量能器; e. μ 漂移室; f. 亮度监测器; g. 飞行时间计数器; h. 电磁预取样器; i. 最小 β 四极磁铁.

个扇形包含一个由 160 根阳极丝构成的平面和两个 639 根阴极丝构成的平面, 相邻两根阳极(阴极)丝之间的距离为 10 毫米(2.5 毫米)采用氩-甲烷或氩-氦混合气体。Z 室在喷注室的外面, 它是由 24 个 4.5 米长、50 厘米宽和 7 毫米厚的单元组成, 每个单元在 Z 方向又分成 9 个漂移单元, 阳极在漂移单元的中心, 电离电子可沿 Z 轴漂移(平行于磁力线), 它可精确测量径迹的 Z 坐标, 从而有利于图象重建和提高对粒子质量分辨的能力, 同时, 结合顶点探测器中 Z 坐标的信息, 可提供事例触发选择, 压低宇宙线和束流管内产生的各种本底。为了测量电子和光子的方向和能量, 总数为 11940 块铅玻璃计数器包在中心探测器四周, 复盖的立体角是 4π 的 99%, 铅玻璃块厚度 22 个辐射长度, 探测效率可达 90% 以上, 能量分辨

$$\sigma_E/E \sim \left(\frac{4}{\sqrt{E}} + 0.1 \right) \% (E: \text{GeV}).$$

为了进一步改进能量分辨和提高 γ/π^0 、 e^+ /强子的排斥比, 在铅玻璃计数器之前有一厚度为 1.5 个辐射长度的电磁预取样装置。铅玻璃计数器和预取样装置之间是飞行时间计数器, 用作对带电粒子作进一步的鉴别并测量其能量和提供快触发信号。强子量能器包括圆桶部、内端盖和外端盖, 它们都是由数个 8—10 厘米厚的铁板和塑料流光管或窄隙正比室单元构成, 铁板同时作为磁通回路轭铁和 μ 过滤器。探测器的信号通过电荷感应板和条读出, 以便对喷注的能量和簇射径迹的位置进行测量。利用强子量能器可测定强子的能量和运动方向, 它对测量长寿命中性强子的能量尤为重要。强子量能器复盖的立体角为 4π 的 97%, 预计能量分辨为 $\sigma/E \sim 1.3/\sqrt{E}$ ($E: \text{GeV}$)。在正负电子对撞实验中, 对遍举 μ 子对测量能直接验证弱电理论, 其次, 通过对半轻子衰变中产生的 μ 子(包括 $t \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow s$ 级联衰变中产生的三 μ 事例)的研究, 还可了解重夸克 b, t, \dots 的性质。在 OPAL 探测器中, μ 鉴别器包括一个桶部、两个端盖, 桶部是四层漂移室, 可在 $(R\phi)$ 平面定出 μ 子的飞行方向, 两个端盖是由两层带有 1 厘米宽感应条的流光管组成, 它提供两维坐标和角度的测量。整个立体角接近于 4π 。另外, 在小角度处有测量亮度的探测器, 它由多丝室和铅玻璃量能器组成, 可鉴别小角度电子并测量其能量, 供亮度测量和标记双光子过程用, 标记电子的范围为 30—110 毫弧度。

由于 OPAL 探测器可对带电粒子的动量作精确的测量, 对各种粒子进行鉴别, 能以极好的能量分辨对电子和光子进行测量, 还可测定带电强子和中性强子的能量, 所以 OPAL 探测器尤其适用于对包括 Higgs 粒子和其他新粒子的稀有过程以及两体末态 (e^+e^- , $\mu^+\mu^- \dots$) 的研究, 可详细研究 t 夸克粒子、Higgs 粒子和其他新的重粒子的衰变及寻找重稳定粒子(例如自由夸克), 由此可知, OPAL 探测器是足以胜任前面

提出的所有物理目标的。目前, 该探测器的主要部件都已经过模型试验, 各部份实验装置正在加紧建造中, 研制经费达 7300 万瑞士法郎, 可以预料, 和 LEP 上的其他探测器一样, OPAL 探测器的建成并投入使用, 对高能物理的发展将起积极的推动作用, 我们期待在不久的将来, 从 LEP 获得鼓舞人心的新的研究成果。