

未来粒子物理之一瞥

B. G. Levi

粒子物理学家们近来一直在讨论究竟从何处着手,才能取得最振奋人心的物理新发现,用什么样的实验设备,才能最好地实现这一愿望。对此,去年夏天,由美国物理学会粒子和场分会发起,邀集粒子物理学家们频繁接触交换意见,去年十月末,在马里兰大学,粒子和场分会的年会上,又继续讨论了这方面的问题。有大约150名高能物理学家参加了粒子和场分会召集的夏季讨论会,该会从6月28日到7月16日,在科罗拉多州的Aspen附近的Snowmass举行,讨论粒子物理及未来的实验设备问题。其目的是,就美国的粒子物理学来讨论与估计未来的感兴趣的物理课题,探索技术能力可能达到的限度,考虑未来实验设备的性能。组织委员会主席,哥伦比亚大学的查理·鲍泰(Charles Baltay)强调说:我们夏季会议的任务是探讨物理问题,不作任何具体的结论。

虽然粒子和场分会的夏季讨论会,更加深入地讨论了未来的物理学与加速器问题,但在内容与方法上,与以往有些不同:一、没有集中地研究某一种特殊设备,而是概括地涉及美国一切未来的设备及实验方案。二、在编组方面,提倡来自不同的专业领域的粒子物理学家们之间,相互交叉,在整个的气氛上,激励大家自由讨论,康奈尔大学的莫里·蒂格纳(Maury Tigner)把这种形式称之为“自由轮转”式的讨论。

Snowmass会议的工作方式,是把讨论的课题排列成矩阵的形式,每个参加者,上午出席“行组”会议,下午参加“列组”的会议。四个行组,按物理课题划分:标准模型的检验;超标准模型;加速器技术;新加速器概

念与新探测器概念。列组,按五类设备划分:轻子—轻子;轻子—强子及强子—强子;对撞机;固定靶加速器与非加速器实验设备。

美国现有的与计划中的加速器,情况不大一样,有的正在进行物理研究,有的处于在建之中。大多数的大型设备在运行,有些则正在建造或还在预研阶段。费米实验室,正处在安装Doublor/Saver的时期,即在现有的主环下面,装一组超导磁体的存储环,期望今春能将全部磁体就位,并且冷却下来。设计中的首要问题是解决体积问题,故采用超导磁体。费米实验室将从此新环上引出1000GeV的质子束,并作为按固定靶设计的机器投入运行,叫做Tevatron II。该实验室还计划在1985年建成一个加有辅助冷却的反质子源,使之作为质子—反质子对撞机投入运行,叫做Tevatron I。TEV-I的质子能量为2000GeV(或2TeV),预计亮度可达 $10^{30} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$ 的量级。

布鲁克海文,目前有30GeV的交变梯度同步加速器在运行,但是必须果断地放慢Isabelle工程的进展,Isabelle计划为一台400对400GeV质子—质子对撞机。称作Isabelle也罢,还是改变原计划,使之耗资少一点,叫一般的碰撞束加速器也罢,是会重新露面的。布鲁克海文已经提请讨论几种可供选择的设计方案,到三月份,将从中选出一个来。布鲁克海文的负责人Nicholas Samios认为,加速器的头一个候选者是具有束流能量为400GeV,亮度可达 $10^{35} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$ 量级的质子—质子对撞束的加速器。另一个竞争者是20对400GeV的电子—质子对撞机,或者是重离子对撞机。Paul Reardon(前普林斯顿等离

子体物理实验室副主任)最近已成为布鲁克海文对撞束加速器的设计负责人及高能实验设备的副主任。

斯坦福直线加速器中心(SLAC)目前正在运行的有三台轻子加速器,即33GeV直线加速器及两台电子—正电子对撞机, SPEAR (4对4GeV), PEP (18对18 GeV)。斯坦福直线加速器中心,一项研究与发展计划是研制一台直线的电子—正电子对撞束机,每股束流能量有50GeV,可能到1986或1987年才建造。该机,有助于判定利用直线的正负电子加速器,实现更高能量轻子碰撞的可能性。

康奈尔大学有一台8对8GeV的轻子对撞机,叫CESR。他们曾打算建一台50对50GeV的Successor,但十月又说,在Ithaca地区不再实行此项计划了。

在欧洲,CERN的两台大型新设备首次露面。该中心的质子—反质子对撞机,最近开始运转,其质心能量为540GeV,设计亮度为 $10^{29}\text{cm}^{-2}\text{sec}^{-1}$ 。CERN还在建造一台正负电子对撞束机(LEP),初始束流能量为50 GeV,将来要提高到每束130GeV。联邦德国DESY(电子同步加速器)的两台正负电子对撞束装置在运转中。其DORIS为5对5GeV;其PETRA在20对20GeV情况下刚开始运行,期望到明年春天能在22.5对22.5GeV的状态下运行。DESY正在寻求建造HERA的计划,是一台30对800GeV的电子—质子对撞机。

未来的实验设备。关于美国的加速器,包括已经得到拨款,或者已获批准的,以至已在建造中的,到八十年代末,能够投入运行的主要设备,可能就是Tevatron和SLC。至于其他实验设备,那就要到1990年以后了。在建造设备的费用增长,而又减少投资的情况下,粒子物理只能走不同的道路,其进程不可能是齐头并进的。因而讨论的关键问题,就落到下一代的实验设备将是什么样的这个问题上。关于对轻子和强子这两类对撞机,有人认为,应搞电子—质子机。另一种呼声,

粒子物理就用非加速器实验设备,去搞低能及宇宙线的实验。

Snowmass会议的一个小组,对质子—质子对撞机,从技术上和经济上两个方面,研究了它的可行性,其质心能量将比TEV-1要大20倍。他们为20对20TeV加速器考虑了两种极端的设计方案;一种是,用特制的10-T磁铁,排列成一个或两个环,其周长约50公里;另一种是,用2.5-T“超纯铁”磁体,比较便宜,但环的周长约需200公里。如此庞大的加速器,需占好大一块平原地。讨论中有几位参加者提出放在美国西南部去建,还藉此起了个绰号,叫Desertron(意为在荒芜不毛之地建的环形轨道加速器——译者)。由于超纯铁磁体,更宜于自动化生产,与会者感到,第二种设计方案或许要便宜些,不过即便是高度自动化地生产与安装,不管怎样,这两种方案无论哪一个的估计费用,也得十亿美元以上,于是结论是,建造10TeV对10TeV的质子—质子加速器,可低于十亿美元。

关于未来的正负电子对撞机,LEP和SLC的经验,对于判断用环形结构还是用直线型结构,究竟哪种可使轻子机逐步提高到更高能,会有所帮助。问题的中心归结到:在这两种类型中,亮度对能量的依赖关系。

Snowmass固定靶加速器小组,研究了固定靶机的实用性与可行性,这类固定靶机或者是改进为高能强子对撞机,或者是热切地希望改成中等束流能量的设备。另一个搞实验的小组,其实验可在非加速器实验设备上进行,如在地下实验室里做。他们认为,比如大统一理论的判定性实验,实现这些实验是复杂的,而主要的实验将会在高能加速器实验室进行。

Tigner说,整个粒子物理学界必须意识到,建造下一代实验设备的巨大技术难题,他极力主张搞加速器的研究与发展计划,及时地寻找解决办法,使粒子物理能向前发展,期望有所新发现。

关于实验计划。在现有的和即将建成的加速器上所做的一系列实验，是彻底地检验所谓的“标准模型”，这是根据Snowmass小组的讨论提出来的。标准模型包括弱电相互作用的规范理论（温伯格—赛拉—格拉肖型），以及量子色动力学的规范理论。夏季讨论会的参加者们，提出了一份为检验这种模型可能做的实验的完备清单，包括截面估算，事件出现的特征等等，这些结果在美国的各式各样的实验设备上，是可以期望得到的。

标准模型的若干检验性实验，涉及它所预言的各式各样的粒子。这些粒子中，首先是带电的和中性的矢量玻色子 W^\pm 及 Z^0 ，预料其质心能量分别约为80和90 GeV。其次是质量未知的Higgs玻色子。这种玻色子与规范理论附加了一个标量场有关，使之产生自发对称破缺，在低能时，规范粒子有一个有限的质量。）再就是顶夸克、 τ 中微子以及胶子束缚态（量子色动力学的场量子）。标准模型进一步预言了夸克束缚态的能谱；底夸克能谱的测量，对于彻底地检验这些预言，似乎是最有希望的。这样的目录还可以继续列下去，对所列的款项，强子—强子，轻子—强子及轻子—轻子对撞机是完全可以给出重要结果的。虽然强子对撞机可提供较高的束流能量和较高的数据率，而轻子对撞机却可以获得较干净的事件。

尽管标准模型是成功的，但它不完善。主要缺点在于，它没有阐明粒子质量或者味的起源，它也没有说明夸克和轻子大统一的可能性。

另一个小组，对标准模型加以修正，试图消去Higgs标量，这些标量是硬加的，引进了许多任意参数。并提出两个可能的解决办法：一是天然色法(technicolor)，Higgs场用新费密子的束缚态来替代。再就是超对称性法，是把标量放到费密子的多重态中去，使得它们中的多数耦合由对称性考虑来确定。

上述两种方法，在1 TeV或1 TeV 以下的质量标度方面，会预示新的结果。至少对

于预言质量比典型质量标度—约在10~250 GeV之间的某处—更轻的某些粒子，几种独立的论点可以得到。例如天然色法能够给出与1 GeV质量标度低位质量态相似的天然 π 介子和天然 η 介子。超对称性法，可能产生已知粒子的配偶粒子，如Smuon或Selectron粒子。虽然这两种理论，都有吸引力，可还都不成熟，况且也许是错误的。即便是这样，在标准模型之外的物理研究组，仍然期待着，在此能区内可发现某些质量结构。不过，对于新粒子还有其他建议，包含复合轻子与复合夸克，以及夸克或轻子族的新成员和带电的Higgs玻色子。

除标准模型之外，还有大统一理论，其预言包括质子的衰变和大磁单极子的存在。所有这些预言，至少在某种程度上依赖于标准模型，作为引导来说，又超出了标准模型。Martin Perl在粒子和场分会年会上说，关于探索型实验，应是搜寻当前所能预言之外的一些现象。

粒子物理学家如今面临着**困难的选择**，是如何使未来的物理学与未来的实验设备相适应。显然，任何一种新的实验设备，必须进入一个新的领域，是有较高的能量（这是传统的方向），或是亮度更大，也或许是二者的某种混合呢。因为截面趋向于随着能量的增高而减小，所以亮度则显得越来越重要。如何调整是很复杂的，要依据总的能量，也要看做什么反应，与会者中有些人凭经验得出，对常数事件率是，十倍的亮度约相当于三倍的能量。Kane估计，标准模型之外的物理研究组，所考虑的大量验证实验，需要亮度大约是 $10^{39} \text{cm}^{-2} \text{sec}^{-1}$ 。

能量—亮度的调整，受探测器的限制，如把探测器的效率提得更高，则对亮度的要求，就可相应的降低。另一种因素，就是强子对撞机的亮度大，产生的本底也大，对探测器就提出了一个严重问题，即必须提高探测器分辨事件的能力，并经得起强辐射。此外，需要配置大量的计算机数据获取与分析

系统。新探测器技术研究组估计，其限度为 10^{32} — $10^{34}\text{cm}^{-2}\text{sec}^{-1}$ 。主要的探测器类型有，测量飞行中的衰变事件，用空间分辨很好的顶点探测器，分析喷嘴，用精确分置的强子热量计，以及其他鉴别粒子的新装置。

能量—亮度的问题，对于未来的粒子实验设备的选择，也是有影响的。轻子对撞机，事件的截面对总截面之比很高，这就可以做更干净的实验和更精确地实验，不过要

达到强子对撞机所使用的高能，轻子对撞机受一定限制。在经费方面，质子—质子对撞机的建造费用，随着能量的增加而急剧增长；反质子—质子对撞束的加速器，可减少费用，然而要损失亮度。无论怎样，机械结构—相互作用次数，添加上更多的环—可能在这种或另一种调整方式中来改动。

(张毓亭译自 *Phys. today*, 1983, №1, 冉启惠校)