

高能物理学的发展与展望

朱 洪 元

(中国科学院高能物理研究所)

自然科学基础研究一方面探索生命的奥秘。一方面向广阔的宇宙扩充,一方面深入微观世界。高能物理就是研究微观世界当前所达到的最前沿。

直到本世纪三十年代初人们还认为,对微观世界的探索即将到达终点。宇宙间万物都是由原子组成的,而原子又是由电子和原子核组成的。当时还没有发现中子,因此认为原子核是由质子和电子组成的,于是归根到底,宇宙间万物都是由电子和质子组成的。因此,将电子和质子称为“基本粒子”。当时又认为,宇宙间一切相互作用力,最终都来源于两种相互作用力,就是万有引力和电磁力。于是,将这两种相互作用叫做“基本相互作用”。假使能统一地理解电子和质子,统一地理解万有引力和电磁力,那末,人对微观世界的认识就大功告成,留待后代去研究的将只是一些具体的问题和技术性的问题。为了达到这个目的,爱因斯坦、爱丁顿曾经贡献了他们的后半生,但都没有成功。

自然界看来远比这些伟大的科学家的想象力丰富。现在已经发现的基本相互作用已经从两种增加到四种。所增加的一种叫做弱相互作用,原子核的 β 衰变就是弱相互作用的一种表现;另一种叫做强相互作用,质子和中子之所以能结合成为原子核就是由于存在着强相互作用。至于基本粒子,后来发现新的基本粒子愈来愈多,现在竟已达二百多种。因此已经没有人相信,这些都是基本粒子。所以现在高能物理学家将“基本”这两个字取消,将它们简单地统称为“粒子”。

可以将已经发现的绝大部分粒子分成两

类:一类参予强相互作用,叫做“强子”;另一类不参予强相互作用,叫做“轻子”。已经发现的轻子和反轻子共三族十二种。其余的二百多种都是强子。这些强子可以按照其性质分类,分成许多组,就象将化学元素分类成周期表那样,很有规律性。而且在实验上证明,强子有一定的大小,半径为 10^{-13}cm 数量级。以后又在实验上证明,强子内部存在着带点电荷的组份。这就表明,强子具有内部结构。组成强子的带点电荷的组元称为“层子”。已经发现的强子都是由五类三十种层子和反层子组成的。高能物理开拓了物质结构研究的新领域,比原子核结构更深一个层次的强子结构的新领域。

在三十年代,质子和中子被认为是“基本粒子”,汤川秀树企图按照量子电动力学那种方式来建立核子力的理论,然后在此基础上建立原子核的基本理论。他认为核子力是由于在核子之间交换一种叫做“介子”的基本粒子产生的,正如荷电粒子之间的电磁力是由于交换光子所产生的那样。现在已经认识到介子不是什么基本粒子,而是由一对正反层子所组成的具有内部结构的粒子。因此,核子力并不象电磁力,倒更象交换一对电子所产生的原子之间的化学键,是由交换一对正反层子产生的。因此,原子核结构与其说是象原子结构,倒不如说更象分子结构。

原子和原子核的半径相差四、五个数量级,因此,它们的结构可以分开来处理。即使对于原子核的内部结构几乎一无所知,仍然可以建立关于原子结构的基本理论。但是原子和分子的大小都是 10^{-8}cm 数量级,它们的结构很难截

然分开。从物质结构的层次看，分子结构相对于原子结构来说，分子是属于上一个层次，原子属于下一个层次。因此，从历史的发展看，早在认识到原子具有内部结构以前，人对于分子结构和化学键已经有许多知识，掌握了许多经验规律。但是，严格说来，那个时期发展的关于分子结构的理论是现象性的理论。关于分子结构的基本理论是在发展了原子结构的基本理论以后，再以此为基础才发展起来的，是从海特勒-伦敦的理论开始的。

与此相似，原子核和强子是物质结构的不同层次，相对说来原子核属于上一个层次，强子属于下一个层次。但是它们的大小都是 10^{-13}cm 数量级，因此它们的结构很难截然分开。从历史发展看，对原子核结构的认识早于对强子结构的认识。但是要对原子核的结构有基本的理解，首先必须对强子的结构有基本的理解。直到现在为止所发展的有关原子核的理论还是属于现象性的理论。从这个意义上说，原子核物理和高能物理是密切相关的，基本的强作用力并不是将核子结合成原子核的核子力，而是将层子结合成强子的强作用力。现在称传递层子之间的基本强作用力的媒介为胶子。要建立原子核的基本理论，首先必须发展强子结构的基本理论。

直到现在为止，还没有能够在实验上产生和观察到自由的层子和自由的胶子。层子到底有几种，它们各具有什么性质；胶子有几种，它们各具有什么性质；这是高能物理实验研究的非常重要的课题。与此相似轻子到底有几种，它们各自具有什么性质，是高能物理实验研究的另一类非常重要的课题。

对于弱相互作用的研究，从五十年代到七十年代有很大的进展。爱因斯坦的后半生致力于统一地理解引力相互作用和电磁相互作用的研究工作，没有成功。但现在我们很可能已经达到统一地理解电磁相互作用和弱相互作用的深度。这一理论已经经受住许多实验的检验。在八十年代过去以前，这一理论将接受关键的实验检验。传递弱相互作用的媒介叫做中间玻色

子。这一理论预言：带电的中间玻色子的质量约为质子质量的八十多倍，中性的中间玻色子的质量约为质子质量的九十多倍。要产生并观察到这种中间玻色子需要能量很高的对撞机。这一理论还预言一种叫做希格斯 (Higgs) 场的存在。按照这一理论，所有层子、轻子和中间玻色子的质量都和希格斯场有关。因此，在实验上研究希格斯场的量子：希格斯粒子是否存在？希格斯机制的实质到底是什么？这些也将是非常重要的实验研究课题。

现在正在理论上探索如何统一地理解强相互作用、电磁相互作用和弱相互作用。轻子和层子都参与电磁相互作用和弱相互作用，而后者还参与强相互作用。但是，假使强相互作用和电磁相互作用、弱相互作用之间不存在绝对的界限，那末在层子和轻子之间也就不存在什么绝对的界限。在这种情况下，自由质子就可能不再是绝对稳定的，可能转化为轻子和质量较小的强子。现在在实验上测定的质子寿命的下限是 10^{31} 年。现在正在进行进一步的实验，将这一下限提高，探索是否存在自由质子的衰变过程。

已经发现的轻子和层子的种类有相当多。现在已经发现的质量最大的轻子的质量约为质子质量的二倍，已经发现的质量最大的层子的质量约为质子质量的五倍，不能排除质量更大的轻子和层子的存在。这样多的轻子和层子的存在自然会提出研究它们的质量谱的问题和它们的性质之间的联系的问题，再进一步就要研究这些层子和轻子是否具有内部结构的问题。事实上坂田昌一提出强子内部结构的思想是在 1955 年。在那个时候，已经发现的强子的种类还没有现在已知的层子和轻子的种类多。现在国际上已经在理论上开始探讨层子和轻子的结构。到目前为止还没有能够在实验上测量出轻子和层子的大小，只给出了轻子半径的上限约为 10^{-16}cm 。

可以这样说：高能物理已经深入强子结构的领域，而对强子结构的理解是对原子核的结构的基本理解的基础，为此正在探索层子的种

类和性质。探讨将层子束缚成强子的强相互作用力的机制。在目前看来,最有希望获得成功的强相互作用基本理论是“量子色动力学”。但现在在数学方法上能开始用量子色动力学处理的问题只是小距离、高能量的过程。所谓小距离是小于 10^{-15}cm 。所谓高能量是大于 10 GeV 。即使在这一领域中也只能得到可以定性地而不是定量地解释实验事实的近似理论结果。至于在长距离和低能量的领域,目前也还没有对于量子色动力学适用的数学处理方法。自从三十年代中期认识到自然界存在着强相互作用以来,处理强相互作用理论的数学方法一直就是十分困难的问题,现在情况也还是这样,原因是由于强相互作用常数远比电磁相互作用常数为大。许多效应在电磁过程中很小,开始可以不去考虑;但在强作用过程中却一点也不小,一开始就必须考虑,这就使问题大为复杂化。例如,在整个原子的质量中,电磁场所占的份量很小,但在质子中胶子场所占的比重就可能达到 50% 。看来要建立正确的强相互作用和强子结构的基本理论,前面还有很长的路要走。

对弱相互作用的基本理论可能接近于完成,正在计划将传递弱相互作用的中间玻色子产生出来,对其性质进行研究,用以检验现有的弱相互作用的理论。这个理论是一个和电磁相互作用统一的理论。下一步的目标将是统一地理解强相互作用、电磁相互作用和弱相互作用。更进一步的目标是对所有四种相互作用统一地理解,与此相联系的目标是统一地理解轻子和层子。高能物理的进展已经接近于探索物质更深一个层次的结构,即层子和轻子的结构。

在五十年以前,物理学中只剩下三个无量纲常数有待解释,即

$$\frac{e^2}{hc} = \frac{1}{137},$$

$$\frac{GM_p^2}{hc} = 5.90 \times 10^{-39},$$

$$\frac{M_p}{m_e} = 1836.$$

现在,由于高能物理学的发展,有待解释的无量

物理

纲常数竟已增加到二十个左右。假使以后再发现新的层子、新的轻子,或其它新的粒子、新的现象,有待解释的无量纲常数还会增加。这从一个方面说明高能物理学所开拓出来的新领域的广度和深度,也说明我们对微观世界的认识和理解的限制性。我有一个感觉,我们这一代物理工作者好象是一个一头扎进海中的人,只知道海很深,但脚还没有接触到海底,还摸不清海到底有多深。在我们前面还有无限的未知领域有待探索和理解。

研究客观世界,必须变革客观世界,观察客观世界变革中如何运动和转化,才能认识客观世界的本质。高能物理也是如此。目前变革微观客体最有效的工具还是加速器。建造能量愈来愈高的加速器正是为了能对微观客体进行愈来愈深刻的变革。例如,西欧核研究中心正在建造周长为 27 公里 的正负电子对撞机,它的一个主要目的是为了产生传递弱相互作用的中间玻色子。在七十年代中期以前建造的加速器主要是用来轰击静止靶的质子同步加速器、电子同步加速器和电子直线加速器,现在世界上能量最高的这类加速器见表 1。

表 1

所在研究所	加速器类型	能量 (GeV)
FNAL (美国)	质子同步加速器	500
CERN (西欧中心)	质子同步加速器	400
SLAC (美国)	电子直线加速器	30

这种加速器的优点是可以有许多不同种类的次级粒子束流,可以同时进行许多实验;缺点是有效的碰撞能量低,它正比于加速器能量的平方根。要达到很高的有效碰撞能量,经济上很难办到。例如假使有效碰撞能量要达到 160 GeV ,以产生一对正负中间玻色子,即使用质子同步加速器,加速器的能量至少要高达 13500 GeV ,比现在能量最高的加速器的能量还要大 27 倍 ,这在经济上目前很难办到。

因此,在七十年代中期以后,国际上建造的

和正在计划建造的高能加速器都是对撞机。这种对撞机的优点是有效的碰撞能量高，和加速器的能量成正比；缺点是碰撞的粒子种类不能变，只能是质子或电子。可以同时进行的实验少，少则二个，多则四、五个。现在世界上已有的能量最高的对撞机列于表 2。

表 2

所在研究所	对撞机类型	对撞能量 (GeV)
CERN (西欧中心)	质子反质子对撞机	270+270
DESY (西德)	正负电子对撞机	19+19
SLAC (美国)	正负电子对撞机	18+18

正在建造中的对撞机列于表 3。

表 3

所在研究所	对撞机类型	对撞能量 (GeV)
BNL (美国)	质子质子对撞机	400+400
CERN (西欧中心)	正负电子对撞机	50+50
KEK (日本)	正负电子对撞机	30+30

估计今后在质子同步加速器上进行的实验研究工作仍将提供许多成果，但最前沿的研究成果将主要由对撞机上进行的实验提供。

在解放初期，我国的高能物理实验研究由当时的近代物理研究所承担，高能物理理论研究则在近代物理研究所和大学中进行。由于条件的限制，当时的高能物理实验研究工作只能利用宇宙线来进行。我国利用宇宙线进行的高能物理实验研究工作以及高能物理理论研究工作，除在十年动乱期间受到严重破坏之外，一直在发展。为了利用高空宇宙线的较高的强度，在云南建立了宇宙线工作站。在五十年代中期，曾经利用云雾室观察到宇宙线中产生的奇异粒子事例成百个。但因那时能量为 3GeV 的“宇宙加速器”已经建成，利用扩散云室和泡室观察到大量的、比上述事例多得多的奇异粒子事例。否则我们当时的宇宙线研究工作会是国际上重要的研究成果。早在六十年代中期，我国就提出了强子结构的“层子模型”，这是属于强子结

构理论研究领域的开创性工作。现在在西藏还建立了高山乳胶室，这是世界上最高的宇宙线工作点之一，正在进行能量极高的宇宙线事例的研究。已经得到一些能量高达 10^{16} eV 左右的很有兴趣的宇宙线事例。此外，还在准备利用高空气球开展宇宙线的研究工作。

在 1956 年，我国参加了当时社会主义各国共同建立的联合原子核研究所。于是我们就有可能利用高能加速器来进行高能物理实验研究。反西格马负超子就是王淦昌同志领导的研究组利用联合原子核研究所的能量为 10GeV 的质子同步加速器发现的。这是人们第一次发现的带奇异量子数的荷电重子的反粒子。在高能物理研究中这是一个重要的进展。我国的科学家和美国的科学家还同时而又彼此独立地提出了轴矢量流部分守恒的理论。当时我国承担了联合原子核研究所经费的 20%。最后在 1965 年我国退出了该所，并决定建立我国自己的高能物理实验研究中心。以后由于十年动乱，这一决定没有能够实现。

粉碎“四人帮”以后，我国的自然科学基础研究开始恢复，1977 年冬制定全国基础科学规划，对高能物理的发展也提出了建造质子同步加速器的初步设想，但由于十年浩劫对我国国民经济的破坏远比原来估计的严重，这个初步设想和我国的国民经济不相适应，因此，在 1980 年冬就开始酝酿和讨论如何调整我国的高能物理发展规划。经过反复论证，提出建造每束能量为 2.2 GeV 的正负电子对撞机以及相应的实验设备的方案。九月间又由数理学部邀请国内有关专家再一次进行方案论证会。会议审议并通过了电子对撞机以及相应的实验设备的预制研究项目。在 1981 年还曾经两次派代表出国和国际上的同行们进行讨论。国外有经验的高能物理学家绝大多数都认为这个方案比较起来是一个合适的方案。中央领导原则上批准了电子对撞机和相应实验设备的方案。

这一调整方案所选择的研究领域是粲粒子物理和 τ 轻子物理、兼顾奇特强子的探索和双光子物理。概括地说，高能物理方案调整主要

根据如下的想法：将研究领域的战线缩短，但研究课题则更接近高能物理研究的前沿；在研究工作的数量上作出让步，但在质量上不仅没有让步，反而提出更高的要求。这样调整了的方案需要的投资小得多，但对科技人员、工人、管理人员提出的要求更严格、更高了。

这一调整方案如能实现，那末不仅将提供一批在学术上有意义的研究成果，而且将在人才培养上和科学技术上打下很好的基础，在国民经济条件具备时可以向高能物理研究的最前沿挺进。调整方案中的设施定名为“北京电子正电子对撞机”，英文缩写为“BEPC”。主要设施包括四个部分：（1）作为注入器的电子正电子直线加速器；（2）电子-正电子储存环；（3）作为探测器的谱仪；（4）数据处理中心。

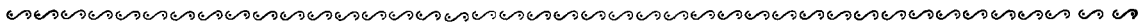
“高能加速器预制研究和建造工程调整计

划任务书”已经编制完成，并已由国务院批准。

扩充设计通过后就可以进行工程设计。各种关键部件的模型预先研制工作也已经开始。

原作为质子同步加速器的注入器的质子直线加速器，其第一段能量为 10 MeV 部分已于去年十二月出束。这台质子直线加速器扩大能量后可以用来生产医用短寿命缺中子同位素，和开展中子治癌的研究。

自从我国于 1956 年参加联合原子核研究所以来已经过去了二十六年，但由于各种原因，利用加速器进行的高能物理实验研究始终没有能在国内生根。在十一届三中全会以后确定下来的这个高能物理调整方案看来比较稳妥，也比较积极。这一方案的执行将使高能物理实验研究终于在我国生根，为以后的发展打下良好的基础。



（上接447页）

1. 在中国物理学会的领导下，建立一个包括与会单位在内的“物理学史工作联络组”，联络地点设在北京，委托北京师范学院物理系负责经常性的事务工作。

联络组是一个各单位自愿参加的进行经常性的联系、交流、通报情况的工作组织，负责汇集各地物理学史教学、普及、资料工作动态，不定期地编印“物理学史普及工作通讯”，或在《物理学会通讯·教学专辑》上交流，以促进各地工作的相互了解和交流。

参加联络组的各单位代表，应每年向联络组通报两次本单位的工作进展情况。一年以内不作通报的即作为自动退出。

2. 会议呼吁各出版单位能够有计划地组织出版一些物理学史方面的经典著作和重要资料，组织编写和翻译一些普及性的物理学史丛书，特别要向广大青少年提供这一类富有知识性、趣味性和启发性的读物。各有关单位应组织人力及时收集整理本地区、本单位

著名物理学家的回忆录和生平传记，作好这些活史料的积累工作。中国科学院自然科学史研究所和北京大学、南开大学、中国科技大学等单位，尽快整理出本单位物理学史和科学史方面的藏书及外文期刊目录，向兄弟单位提供参考。

3. 各省市物理学会主要依靠本地区的力量，为本地区大中学校物理教师举办各种形式的物理学史知识普及活动（包括“讲座”），积极推动物理学史的教学和研究工作。

中国物理学会拟于今年第四季度为高等院校（主要是工业院校和非物理专业）基础物理课教师举办一期“物理学史讲习班”（约十天）。另外，争取在明年适当时候给开设物理学史课程的教师举办一次专题性的教学和研究学习班。

（本刊讯）