

基本粒子物理学的进展

DEVELOPMENT OF ELEMENTARY-PARTICLE PHYSICS

何祚庥

编者按：本文是何祚庥同志应本刊之约，根据1986年美国科学院出版的《跨越90年代的物理学》中《基本粒子物理学》分册的内容撰写的。

(一)

《跨越90年代的物理学》一书中的重要内容是其中的《基本粒子物理学》部分。这一部分总结了基本粒子物理学近20年内的发展，指出了这一领域发展的前景。

首先，作者对什么是基本粒子物理学作了回答：“基本粒子物理学研究的是物质、能量、空间和时间的基本性质。基本粒子物理学家找寻构成物质的基本组成部分，以及决定它们行为的相互作用力。和所有物理学家一样，他们探索决定周围物质世界的统一原理和物理定律”。为了能深入物质结构的内部，必须有相应的探测内部的探针。这样的探针只有大大缩短入射粒子的波长才能做到，也就是必须将粒子加速到具有极高的能量。因此，粒子物理学又称为高能物理学。

其次，作者还正确地估价了粒子物理学所获得的革命性的成就。他们指出，近30年的重要发现是：人们在研究质子、中子的结构和相互作用力的同时，发现了数以几百计的强子。所有这些强子以及质子和中子等，都不是“基本”粒子，而是由某种更小的粒子——夸克所组成。当前的实验状况表明，已经由实验确定地证实了有5种夸克，并且初步的实验表明可能还存在第6种夸克。

可是，和强子以及质子、中子等粒子不同的

是，电子似乎表现为不可分的、无结构的某种基本的组成部分，而且已知共有6种和电子性质相类似的粒子。这6种粒子又统称为轻子，所以，按照现在的知识水准来看，通常人们所理解的物质，是由夸克和轻子构成的。

夸克和轻子有一个重要区别，那就是夸克之间存在着强相互作用。但是，夸克和轻子之间还具有电磁作用和弱相互作用。近20年来在粒子物理方面的一个重要进展就是人们对于这三种相互作用的本性，有了比较深入的理解。尤其是建立了一种弱相互作用和电磁相互作用相统一的理论。这一理论为近年来的大量实验充分证实。特别是在1983年相继发现了弱相互作用的携带者—— W^+ 和 Z^0 粒子。这和1920年左右证实了电磁相互作用的携带者——光子的存在是同样性质的重要发现。同时，近年来还有间接而强有力的证据，表明强相互作用的携带者——胶子的存在。这三种相互作用都由相类似的理论，即规范理论所描述。因此，似乎在“亚粒子”现象中，展示着可以用单一的和统一的语言来描述这些现象的前景。

此外，作为粒子物理发展的一项副产品，就是发现粒子物理学和人们研究早期宇宙发展的一种理论——宇宙大爆炸理论间的有机联系。有许多粒子物理学所探讨的过程将只能在早期的或极早期的宇宙强化中实现！

所有上述这些成就，人们总结成为称做标准模型的理论，也就是习惯地称为弱电统一理论和量子色动力学的理论。正如科学史所启示的那样，在人们的认识跃登上一个新的水准以后，就重新激发起人们对于老的问题的注意，同时也就提出一系列新的问题。关于强子的夸克模型，以及描写强、弱、电三种相互作用的规范理论，就构成了我们向新的知识领域迈进的起点。

但必须指出：上述的标准模型只是构成了描述粒子及其相互作用的一个框架。在许多方面它们是不完整的，甚至不一定是恰当的：人们仍然不了解夸克和轻子的许多性质，例如，关于轻子中的中微子以及夸克的质量就不甚了解。人们也不很懂得为什么电磁作用的携带者，光子的质量是零，而弱作用的携带者， W^+ 和 Z^0 却有很重的质量。不仅如此，现有的理论中还有许多未能解释清楚的常数。人们正在寻求对这些问题的更为基本的和完整的解答。

还有一类问题是超出现有的概括范围的。例如，究竟有多少种夸克和轻子？夸克和轻子是否有某种内在原因而相互关联着？例如，在标准模型中，夸克的数目必须和轻子的数目相等，这样才能保持理论的自治性。又如，强相互作用能否和已达到初步统一的弱相互作用和电磁相互作用有更进一步的统一？

此外，还存在一系列更为基本的问题。夸克和轻子是否真的是基本的粒子？是否还存在别种类型的基本粒子以及另外的相互作用？目前在粒子物理学中还较少涉及的引力相互作用，是否也具有量子性质，同时也能和其他相互作用统一在一起？还有更为基本的问题：在愈来愈小的距离内，量子力学是否还能适用？我们是否真的懂得了空间和时间的基本性质？

(二)

粒子物理学的真正进展，是由于实验和理论的复杂的交互作用的结果。实验工作给出了许多新的数据，理论被这些数据所检验，而理论又用来使数据条理化。有时，理论的深刻的见解导致设计新的实验；有时，新的出人意料的数据冲击着大家已接受的理论。数据的长期的积累常常会形成一些理论上未解决的“佯谬”，有时会导致理论观念的根本的革新。实验有时会发现新的实体，如自由夸克或磁单极子，这冲击着现有理论的图象。所以，在这种

意义上说，物理学是实验的科学，只有实验才能告诉那些理论观念是正确的，还是错误的。

在这一领域中绝大多数的实验是用加速器实现的。因为加速器提供高能粒子束。目前存在着两类加速器，一类是高能粒子束轰击在固定靶上，另一类是利用两股高能束流的对撞，因而又称为对撞机。不论在固定靶或对撞机的实验中，都会产生大量的次级粒子，因而就要设计不同的甚至是十分复杂的粒子探测器。加速器和探测器便组成了研究基本粒子物理学最主要的工具，有许多的发明和研究是为了改进探测器和加速器。

近 20 年来的固定靶的实验极大地丰富了人们的知识。例如，这些实验曾表明中子和质子等粒子是由三种夸克组成的，后来又发现了第四种和第五种夸克，而且还发现了时间和空间基本的对称性的破坏。由于固定靶的实验积累了大量的实验数据，这大大有助于人们对强子的相互作用的系统的了解。

近年来越来越重要的是对撞机上的实验，特别是因为对撞机将能大大增加用来研究基本碰撞过程的可利用的能量。有两类对撞机：一类是正负电子对撞机；另一类是质子-质子型的对撞机。在正负电子对撞机上实验曾经分享了第四种夸克的发现，还发现了电子的亲属—— τ 轻子，发现了强子的喷注，尤其是为强相互作用的携带者——胶子的存在提供了强有力的证据。近来在质子和反质子的对撞机上更对弱相互作用的携带者—— W^+ 和 Z^0 粒子的发现，作出了基本性的贡献。

上述最重要的一些发现都是由于建造新的高能加速器的结果。未来的更高能量的加速器将会给出质量更高的新的基本粒子。研究稀有的事例或非常的碰撞也可能导致重要的发现。这类事例的研究通常要在高强度的粒子束中才能实现。因此，束流的强度和能量便构成高能加速器的最重要的指标。

(三)

作者认为，跨越 90 年代的基本粒子物理学未来的发展，最重要的是以下两台加速器的建造。一是超导式的超型的质子-质子对撞机（简称为 SSC）。这一对撞机的能量约比现有的最大的对撞机 Tevatron（其能量为 10^{12} eV）还要大 20 倍！另一是斯坦福正负电子的直线对撞机（简称为 SLC），其能量范围为 $8 \sim 10 \times 10^{10}$ eV。由于 SSC 对撞机建成后将成为世界上能量最大的加速器，无疑将能推进人们对于更重粒子的研究，并能检验新

的理论观念。历史经验证明：每当加速器的能量有新的推进，随之而来总是一大片最激动人心的，带有基本重要性的新的领域的开拓。至于 SLC，除了它将推进粒子物理的研究以外，由于这一加速器是一项新技术，有可能将加速器推进到更高的能量，并由于这一加速器所释放出的同步辐射将广泛地应用到工业、医药和其他科学领域，所以，作者强烈地支持上述加速器物理学及其工艺的研究。

作者还认为，对于美国现有加速器的利用，也是一个重要领域。其中较重要的有：30 GeV 的交变梯度同步加速器， 10^{12} eV 的超导加速器，康耐尔的正负电子对撞机，斯坦福大学的 33 GeV 的固定靶的电子直线加速器，SPEAR 和 PEP 的正负电子对撞机等。

对于理论物理的研究，作者强烈地支持现有的理论物理的研究纲要。尤其是基本粒子的理论工作者常常和其他领域，如统计物理、凝聚态物理、宇宙论等紧密地交叉着，并常对这些领域起着重要作

用。

此外，作者还强烈地推荐非加速器的物理学，即在实验工作中不用到加速器但又是十分重要的一些实验，如地下的质子衰变的实验，超高能宇宙线的实验，太阳中微子的实验，反应堆上有关中子和中微子的实验等。此外，很重要的是有关中微子质量的测量的实验，以及自由夸克、磁单极子的寻找等。还有一类实验是和原子物理相交叉的，如量子电磁理论的精密检验，在原子体系中，弱相互作用和电磁力的混合，基本的对称性的微小的破坏等等。许多这类工作是属于小规模实验室中的实验，但其中有些实验所涉及的粒子的能量却是当前加速器所不能达到的领域。作者认为，这类实验是和用加速器所做的实验同等重要并且是相互补充的重要工作。

本文作者何祚麻 (He Zuoxiu) 系中国科学院理论物理研究所研究员。

(上接 21 页)

因此，应根据当年物价指数及相关因素的变动情况，调整运价。有条件的地方，可实行区域运价、季节运价和特殊运价，甚至放开运价，随行就市。

——提高沿海地区交通基础实施建设投资比例。借鉴国外经验，沿海地区交通运输要超前发展，其投资总量应占沿海地区基建总投资的 18~20% 左右。

——筹建沿海地区交通银行。通过发行债券和股票，吸收国内预算外资金和社会游资，吸引外资、台资、侨资，投向交通运输业，并通过多渠道筹集资金和银行资金增值，建立交通运输专用建设

基金，为沿海地区交通运输发展提供稳定的资金渠道。

——沿海港口、公路是国民经济的基础设施，应与铁路线路和民航机场一样，免征土地占用税，返还能源交通建设基金。

——根据“谁建、谁管理、谁受益”的原则，允许内陆省份到沿海地区建码头、修公路，允许收取过路费、过桥费和港口使用费。

本文作者廖小波 (Liao Xiaobo) 系交通部政策研究室研究人员。