

基础科学和现代物理的前景

Prospects for Basic Science and Modern Physics

李政道

(诺贝尔物理奖获得者)

本文是李政道教授在清华大学的演讲。

—编者—

现在全国都知道,科学技术是第一生产力。科学技术分为几部分,一是基础科学,一是应用,然后再到生产,它们是相互关联的。从基础科学发展到科技应用,从科技应用再发展到大量生产,最终进入人民的日常生活。完全可以这么说,没有今天的基础科学就没有明日的科技应用。

在19世纪,法拉第在实验的基础上发现了电磁感应规律,麦克斯韦在理论上把电、磁规律统一于方程组。由电磁规律的研究,产生了电动机、电话、电报、电视、传真、雷达等。现代通信技术的发展完全归功于电磁理论这一基础研究。这些科技成果的应用,大大改善了人类的生活。

再看19世纪末到20世纪初,在1887年,米切尔森(Michelson)和莫利(Morley)在美国做了一个很简单的实验。他们测量了光顺着地球转和逆着地球转的速度。简单一想,顺着地球转速度应当快一点,因为还有地球转动的速度;背着地球转应当慢一点。可是他测出来的结果,两个速度完全一样。这就推翻了牛顿当初确立的绝对性的惯性系统(absolute inertial frame)。另一个实验是,发现每个东西热了都要发射,那么发射的光谱又意味着什么?这个实验在理论上很难解释。1900年普兰克(Planck)解释了这个实验,他用了很大胆的一个理论设想,这就是关于黑体辐射的普兰克公式。这两个实验好像是和我们日常生活没有什么大的关系。不然!从第一个实验就产生了相对论,从第二个实验就产生了量子力学。这些基础理论在1925年相继完成。

1925年以来,这些理论的应用产生了原子构造、分子物理、核能、激光、半导体、超导体、X光技术以及超级计算机,等等。所有20世纪的科学文明从哪儿来的?假如没有相对论、量子力学,它们都根本不会有!而这个发展过程很快,到20世纪50年代初,这些技术基本都有了,现在已得到广泛应用。

我们说,没有今天的基础科学,就没有明日的科技应用,这是不可违背的科学规律。从我们物理的角度看,整个宇宙(包括从小的粒子、核子、原子、分子到人、树、地球、整个星云),都是依照一组相当简单的基本原理演变着的。在空间上,一切物质都受一些基本规律的制约;时间上,从宇宙开始到现在,还是这些基本规律起作用。而研究基础科学,就是去研究这些基本规律到底怎样掌握宇宙。等于说基础科学是一个“总机关”,先掌握住科学的基础规律,就掌握住了这个总机关,它一动才发生了所有的科技应用,从科技应用再大量影响人类社会文明。

刚才我举了19世纪和20世纪的例子。今天我要讲一下,从接近20世纪末的现在,向前面看,我们会什么问题?我们都清楚,电、磁和弱作用三者是联系起来的。可是这里面有几个缺点:一个是它们需要总共17个参数,好像太多了一点。另外,同上面讲的上世纪末、本世纪初的两大难题一样,我们发现这里面也有两个很大的谜。一个谜是,这些理论都是建立在对称的基础上的,可是几乎对称的量子数都不守恒。对称应该守恒,不守恒应当不对称。怎么把这两个好像很相反的现象统一起来?第二个谜是,一切强子(即强作用的粒子)都是由夸克构成的,可是单独的夸克却看不见!这这也是一个谜。

我先来解释第一个谜,叫“失去的对称(missing symmetries)。”我们现在的理论都是对称的,而我们现在看这个世界是不对称的。对称的量子数不守恒,那显然是有一个新的作用把对称破坏了。这个新作用到底是什么,我们不知道,可它存在是绝无问题的。我们还认为,不对称的道理是因为物质的真空不对称。还有一点很重要,就是所有的质量,电子的质量也好,质子的质量也好,我们的质量也好,所有质量都破坏了对称。要了解质量怎样可以破坏对称,就要了解这个质量的起源在什么地

方。现在美国有几个大的加速器正在研究这个问题,我后面要说到。我们还是先来集中看这个谜。既然不对称是因为真空出了毛病,那么什么是真空?真空是一个没有物质的态,可真空是有作用的态。好比把这个房间完全封闭起来,然后抽真空,把原子拿掉,把空气拿掉,把物质都拿掉。可是,拿掉了物质,你没法把作用拿掉,所以真空是没有物质,但真空还是充满了“虚物质”。为什么会有虚物质?量子力学叫“测不准关系”,就是说每一个时候,随便哪个时间,它都可以发生一个能量的涨落。有能量的涨落,就可以有虚物质。真空并不是经典物理的“以太”,真空是可以激发的。这一点最为重要。这个观点是我和另一位学者在1974年提出来的。真空可以激发,这可以做实验,激发真空是一个很重要的事情。

激发真空要用高技术重离子对撞机和加速器。世界上正在建造的有两个,一个叫RHIC,将在1996年建成;另一个是SSC,估计1999年可以建成。SSC是历史上空前的一个加速器,SSC的第一届亚太合作会议是1992年5月21日至24日在北京召开的,清华是参加工作的主要的单位之一。

我们现在看第二个谜,叫“看不见的夸克(unseen quarks)”。我们充分地了解到,一个介子是一个夸克和反夸克组成的,重子是三个夸克组成的,这没有什么稀奇。稀奇的是,你用高能量撞击它,撞出来的不会是单独的夸克,它永远还是一些强子。假如说在越高的能量下它内部作用越强,你可以解释为什么“撞”不出来;可是有充分的实验证明,能量越高,它的作用越弱,可你就是“撞”不出来。这个现象越想越神奇。请注意,一切重子(包括质子、中子、原子核等)都是由夸克组成的,你们各位每个身体里也有无数的夸克,可它们就是“走”不出来,都“禁闭”在你身上。所以,这是一个普遍性的、很基础的谜。

我们解释的方法是这样的。我们说,这是因为量子色动力学的真空出了毛病。我们都知道,在超导体中不可能有磁场存在,也就是说 $B=0$ 。我们认为,量子色动力学的真空中色电场等于0,即 $E=0$,就是说它不能容忍任何色电场存在。可是如果有夸克,夸克一定要发射色电场,这个电场不能走进真空,这就要被真空“挤”住,所以夸克就走不出来。要做这个研究,也有几个方法。可以加高温,也可以加压力。这是一个物理现象。假如这个现象是对的,我们就可以激发真空。

在理论上研究激发真空,要很精密地计算它的相变,用的办法是格点规范场论。由于计算非常复杂,就需要用很快很快的计算机。

实验上,就是方才讲的,除了SSC这个质子对撞机以外,最快要做成的是RHIC。SSC的建造要80

亿美元;RHIC若是现在造差不多要10亿美元,好在它的土建已完成,现在动工造机器本身,需要5亿美元,它的规模比SSC小一点,但它可以激发到重离子,功能不完全一样。

从上面这些可以看出,基础科学是科技应用的基础,可是在发展基础科学的过程中,要用到很多高科技。你攻一个基础科学,到一个新的领域去,不光是物理要有新的想法,对高科技的应用也要有新的想法,你不能仅靠一般性的东西,因为我们是走在高科技的前面。

在这里我要再讲一点,在国内,基础科学和高科技也有创造。最近两年粒子物理最重要的发现是在北京,是北京正负电子对撞机的 τ 质量的测量。以前把全世界所有实验总结起来,测量的 τ 质量是 $1784.1 \pm (2.7-3.6)$ 兆电子伏;现在新的是 1776.9 ± 0.5 兆电子伏。两者差别并不算大,为什么这样重要呢?因为 τ 的寿命是跟质量的5次方成反比,所以质量差一点,寿命就差得相当多。从以前的测量我们认为,轻子和 μ 轻子不满足普适性,这是个很重要的观念。新的质量值推翻了“不满足普适性”的根基。这是近两年粒子物理界最重要的工作,是世界公认的。这个工作是北京正负电子对撞机完成的。

北京正负电子对撞机是在1984年10月奠基,1988年10月对撞成功,到1992年2月测出 τ 质量。这里面所有的建筑和科研实验都是祖国科学家在国内做的!与世界上同样的设备比,它的水平很高。依我看,它还有很多新的实验可做出来!

现在我来总结一下,没有今天的基础科学,就不会有明日的科技应用;而在研究和发展基础科学的过程中,要用到很多的高科技项目,像超级计算机,也要用到凝聚态的固体物理的概念。

因为物理是“唯一”的物理。在粒子物理研究方面,从这个世纪初发现了电子以后,我们走的方向是:大的是小的东西组成的,小的是更小的东西组成的,因而我们越来越要找更小、更小、更小的基本的东西。而探测越小的空间,需要的能量就越高,所以我们要造更大、更大、的加速器。可是我们忽然发现,这条路不完全对,“小的”跟“大的”又连起来了。真空是每个地方都有的,是宏观的物理;粒子是微观的世界。微观的物理把客观的世界连起来,而且不光是连起来,我们还可以把它激发。假如我们真正能够激发真空,那么,这就可以引导到一个新的领域去。我们相信这是非常基础的。因为真空是每个地方都有的,自古以来就有的。所以,很可能我们的工作,对于科技应用、对于生产、对于人类的社会、对21世纪将会产生重要影响,可能就跟我们前几代科学家所做的事情相仿佛!

(原载《中国科学报》1993年9月6日,紫光整理。

责任编辑 蔡德诚)