

诺贝尔奖金物理学奖的启示

先 鼎 昌

(中国科学院高能物理研究所,北京 100039)

诺贝尔奖金物理学奖给我们如下的几点启示: 1. 科学思想的积累和交流十分重要; 2. 科学上的突破仍需成熟的时机; 3. 技术发展对实验物理学思想有巨大的作用。

诺贝尔奖金物理学奖(以下简称诺贝尔奖)从 1901 年起颁发,迄今已近 90 年,回顾这些得奖项目,可以得到许多启示,下面讲一下我们体会到的三点。

一、科学思想的积累和交流

从 20 世纪的 30 年代至 40 年代的诺贝尔奖项目中,我们可以看到科学思想的积累和交流在重大发现上变得十分重要,这关系到能否捕捉住一个重大发现或失之交臂。

1930 年德国的博特在用 α 射线轰击铍靶时,观察到一种穿透本领比最硬的 γ 射线还大的射线,当时把它称为铍辐射。1931 年,法国的约里奥-居里夫妇用这种铍辐射轰击石蜡及其它含氢物质时,发现石蜡及其它含氢物质会放射出强的质子(氢原子核)流。当时,铍辐射普遍被认为是 γ 辐射,但 γ 辐射是不会产生这种现象的。博特和约里奥-居里夫妇(后来都是诺贝尔奖的获得者),还有其它研究铍辐射的一些科学家,当时都没有意识到他们已经走到一个重大发现的边缘。在研究铍辐射的物理学家中有一位英国人查德威克,他是卢瑟福的学生。卢瑟福于 1920 年在英国皇家学会所作的“贝克连科普演讲”中曾提出过一种设想:原子核里有一种中性粒子,可能是由质子和电子结合得非常紧的“中性偶对”,它对原子光谱没有影响。1924 年,卢瑟福和查德威克曾尝试寻找这种中性粒子,但是没有成功。在约里奥-居里夫妇的实验结果出来之后,查德威克马上敏锐地意识

到,铍辐射决不是 γ 辐射,而是卢瑟福与他找寻了多年的那种中性粒子。正是用这个思想指导,查德威克通过一系列的实验研究,证明当 α 粒子打在铍核上时,产生了一种质量与质子差不多的、中性的新粒子,这就是被当作铍辐射的中子。

重温原子核裂变发现的故事亦颇有教益。严格说来,轰击原子核使之发生改变的尝试,是卢瑟福在 1919 年开始的。中子发现后,从 1934 年起,意大利的物理学家费米便用之作为轰击原子核的炮弹,用慢化了的中子制备了几十种新的人工放射性同位素,实验的全部结果于 1935 年初公布。一般说来,当被轰击的原子核俘获一个中子后,总处于一个激发的状态,随后通过 γ 跃迁及 β 衰变成为一个新的原子核,它的原子序数比原来的原子核高,亦即是周期表中下一位的元素。当时周期表上最后一位元素是铀,费米便尝试用中子轰击铀以产生 93 号超铀元素。其后几年间,许多人作了这种实验,有人宣称发现了超铀元素,有人却宣称得到镭和钋,但化学家如约里奥-居里夫妇及哈恩等人对此则有保留意见,他们都没有注意到 1934 年德国一位女化学家诺达克在费米实验之后所写的《论第 93 号元素》一文。文中写道:“人们同样可以接受这样一种概念,即中子轰击原子核,或质子(或 α 射线)轰击原子核时可以产生不同的核作用。当中子轰击重元素时,可以设想这些重元素分裂为几个大的碎片(它们是已知元素的同位素),而不是形成重元素附近的元素。”

经过 1936 年至 1938 年间欧洲设多实验室

科学家的努力,特别是通过约里奥-居里夫妇和萨维奇,以及哈恩和斯特拉斯曼的很难的化学分析,证明铀被中子轰击后能产生钡($Z = 56$)、镭($Z = 57$)和铯($Z = 58$)的同位素。但是,他们没能越出已知的物理规律的框框,提出新的见解。直到1939年初,在瑞典避难的奥地利女物理学家迈特纳从她的长期的合作者哈恩处获悉此事,才与她的侄子弗里希一道,作出了铀原子核在中子轰击下裂变的结论。如果诺达克的意见能受到重视,那么也许裂变的结论是会更早得出的。

二、科学上的突破和时机

有一个广为流行而又在相当大的程度上不正确的观点是:理论物理的突破,取决于杰出人物的天才和创造性。我想在这里通过弱电统一理论的建立来分析这个问题。

在上一个世纪,麦克斯韦成功地把电的现象和磁的现象统一起来,在20世纪的初期便开始了把更多的相互作用统一起来的尝试。两位先行者是数学家卡卢察和克莱因。随后,物理学的巨人爱因斯坦在完成他的广义相对论后转向这个问题。他使用的数学工具是比黎曼几何还要广义的几何学,他讨论的物理是引力和电磁力的统一。爱因斯坦并没有成功,一直到临终前一天,他还在整理他关于统一场论的计算,为之他奋斗了近40年。不但爱因斯坦,大科学家如埃丁顿、薛定谔,以及后来的海森伯、泡利都作过认真的尝试,但是他们都没有成功。

简单用“错误的哲学指导思想”来批评这些没有成功的努力是错误的。我们不妨回到爱因斯坦开始研究统一场论的1919年。那时候,已经发现了质子、原子核,而且玻尔已经指出, β 衰变是在原子核中发生的。人们广泛接受原子核是由质子和电子组成的观点。卢瑟福就认为“原子核虽然细微,但却是一个由带正电与带负电的物体,通过强的电力束缚在一起的十分复杂的系统”。物质由质子与电子构成,便是这个时代的物质结构的图象,核物理学还处在没有

中子的原子核和没有中微子的 β 衰变阶段。无怪乎爱因斯坦统一场论的出发点是引力场与电磁场了。当然不可能有现在的成功的弱-电统一场论的物理出发点。在爱因斯坦逝世前一年(1954年),杨振宁和米尔斯发表了一篇开创性的论文,但它的重要性等许多年后才被人们充分地认识到。他们把与电荷相应的 $U(1)$ 规范对称群的定域规范场论,推广用于具有 $SU(2)$ 同位旋对称性的核子,得到一个重要的推论:应当有一种新型的物质存在,它在强作用力的起源上,会起重要的作用。这种场称为杨-米尔斯场。

不过,如果用这个理论来研究强作用,那么马上便会发现它的不足,就是杨-米尔斯场的粒子必然是没有质量的粒子。迄今被发现的没有质量的粒子,只有光子和中微子,它们都没有强作用。这样,零质量的粒子问题便构成杨-米尔斯理论的根本困难。尽管这个理论很有吸引力,但是物理学家,包括它的作者,不得不把它搁置起来。

这样过了七年,在1961年,一个年轻的美国物理学家格拉肖提出了把弱作用力和电磁作用力统一起来的方案。他的方案的基础,就是粒子内部自由度的 $SU(2) \times U(1)$ 对称性。这是突破性的一步,但还不是成功的一步,因为这两种力统一的基础是杨-米尔斯场,而当时并没有找到克服杨-米尔斯场的零质量粒子的困难的办法。

1964年,三个物理学家小组,其中两个在英国,一个在比利时,分别独立地提出克服杨-米尔斯理论的困难的办法:当内部对称性具有自发破缺的性质时,杨-米尔斯场的粒子将可以是有静止质量的(希格斯机制)。这是杨-米尔斯场论的发展中至关重要的一步。

1967年,美国的温伯格,及稍后在1968年巴基斯坦的萨拉姆,分别把希格斯机制应用于建立后来被称为温伯格-萨拉姆的弱电统一理论,这个理论是格拉肖方案的逻辑发展:弱作用与电磁作用的内部对称性是 $SU(2) \times U(1)$,它是自发破缺的,通过希格斯机制,与这个内部

对称性相应的杨-米尔斯场将有三个得到质量，它们是传递弱作用的粒子 W^\pm 和 Z^0 ，另一个没有质量，它是传递电磁作用的光子。

温伯格-萨拉姆理论尽管构思新颖，但它却有着严重的数学问题有待解决：用它计算物理过程，不可避免地会得到许多无穷大的结果，因而这些计算是不可信的。正是由于这个原因，人们没有太认真看待这个理论。这样一过又是六、七年。

到了1971年，荷兰的年轻物理学家艾托夫特证明，杨-米尔斯理论是可以重整化的，因此，温伯格-萨拉姆理论里的一切计算都是有确切意义的。一时间，全世界的粒子物理学家的注意力都集中在温伯格-萨拉姆理论上，用这一理论，能够解释所有的弱作用现象，并预言中性流、新粒子 W^\pm 和 Z^0 等一系列新的物理现象。这些在其后的岁月中被一一证实了。格拉肖、温伯格、萨拉姆，被授予1981年的诺贝尔物理学奖。

从爱因斯坦开始的统一场论至此已得到一个阶段性的结果，但远未终止，因为物理学家们还在尝试把强作用也统一在一个扩充的温伯格-萨拉姆理论中，另外引力场也未能被考虑到。无论如何，通过这个诺贝尔奖项目，我们可以看到，伟大的人物可以超越他们的时代，提出最重要的问题，但毕竟不能超越他们的时代的限制。只有当条件成熟时，杰出的人物才能把握住时机，登上他们时代的顶峰。

三、技术发展对实现物理学思想的巨大作用

在回顾诺贝尔物理学奖的历史时，人们会充分地看到物理学思想的突破对技术发展的推进，而一个往往被人评价不足之处，就是技术发展对实现物理学思想突破的巨大作用。其实这是现代科学发展的一种普遍的规律，1986年的得奖项目有代表性地说明了这点。

光学显微镜的发明，使人们第一次进入微生物尺度的世界。但是，要进入原子尺度的微

观世界，只有使用波长相当于原子尺度的光，而不是可见光，才有可能。X光以及X光在晶体物质上的衍射的发现，带来了沿用至今的物质结构分析技术。不过，用这种方法得到的不是单个原子或分子的图象，而是X光的衍射花样，它反映有序物体中大量原子的空间分布情况。

1925年法国物理学家德布罗意提出一切物质都具有波动性的理论，这个理论被美国的戴维森和杰默，以及英国的汤姆森分别由电子在镍晶体上及通过金属薄膜后的衍射花样得到证实。这样人们又得到另外一种波——与运动着的粒子相应的德布罗意波。短波长的X光穿透能力太大，而且不易聚焦，成为用它来制造显微镜的一个不利的因素，而高速度的带电粒子如电子，则兼有短波长及有适当的穿透能力并且容易聚焦的优点。这便是1932年德国物理学家卢斯卡和克诺尔发明电子显微镜的基础。在这里，电子代替了光，电磁透镜代替了光学透镜。电子显微镜的出现给物质的微观结构的研究带来了巨大的推动。

近年来，对物质表面结构的研究发展得十分迅速。这门学科的发展，要求有一种能够拍摄物质的表面、精细到原子的显微术。以往的方法都达不到这个目的，因为X光和具有较大动量的电子都很容易进入物质内部，这样给出的是物质内部结构，而不是表面结构的图象。

1978年，一位德国的研究生宾尼格意识到，半个世纪前苏联物理学家伽莫夫提出的电子穿透势垒的隧道效应，是研究表面形貌的理想方法。在探针与被测表面之间的隧道电流随着它们之间的距离增大而指数地减小，当距离在原子尺度范围内改变一个原子距离时，隧道电流可以有上千倍的变化，也就是说，隧道电流的电子来自表面层的原子。如果有精密的扫描装置，使得探针与表面的微观距离保持恒定，则隧道电流也就保持恒定。这样就可以通过探针相对于待测表面的三维扫描，得到表面的准确到单个原子的形貌。这里，要解决的关键问题是精密仪器的制造，要求探针垂直与平行于表

(下转第49页)