

# 爱因斯坦和狄拉克谁对 20 世纪物理学发展贡献大

郁 忠 强

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

《现代物理知识》2001 年第 6 期上的有两篇文章:一篇是关于英国杂志《物理世界》最杰出的 10 位物理学家排名的报道,爱因斯坦位居榜首,而狄拉克排名第 8;另一篇是王正行先生的文章“狄拉克获诺贝尔奖的经过”,该文介绍了狄拉克在 20 世纪 20 年代对物理学的贡献和 30 年代物理学界对狄拉克的评价。读完这两篇文章后,细细想了一下爱因斯坦和狄拉克对



20 世纪物理学的贡献,有一些话想说。

王正行先生的文章一开头就说:“20 世纪物理学的第一位巨人当然是爱因斯坦。”毫无疑问,爱因斯坦是 20 世纪物理学的巨人,他对 20 世纪物理学的贡献是革命性的,影响是深远的。然而,回顾 20 世纪物理学的发展,特别是 20 世纪后半世纪物理学

的迅猛发展,狄拉克的贡献要比爱因斯坦的贡献大,而狄拉克仅排名第 8。我想简单介绍一下爱因斯坦和狄拉克对物理学的主要贡献,然后作一些比较,最后谈谈我的一些想法。

科学巨星——爱因斯坦

爱因斯坦对近代物理学的主要贡献是 1905 年提出的相对论和 1915 年创立的广义相对论。爱因斯坦提出的相对论主要根据两个基本原

理:相对性原理和光速不变原理。相对论打破了人们几千年以来所习惯的关于绝对空间和绝对时间的概念。爱因斯坦第一次告诉我们,世界是如此的复杂,空间和时间是不能完全分开的,它们是统一在一起的。他又指出物体的质量和能量是有关的,给出了著名的质能公式:  $E=mc^2$ 。在牛顿力学中,时间、

击敌方信息系统;纳米导弹可以以智能方式攻击敌方飞机、导弹、火炮、坦克、军舰,使传统称雄称霸的威武壮观的航母战舰、飞机、坦克等败在“微型军”手下,届时将出现“小吃大”的战场奇观。

在经济上,以纳米分子器件、微机电系统和专用集成微型仪表为代表的纳米技术将获取巨额经济效益,它将促进 21 世纪头 10 年的经济大发展,将形成难以估量的庞大的高技术市场。其规模之大,将超过微电子芯片产业。美国政府早在 1993 年就将“微米和纳米级制造”列入国家关键技术,1995 年又将发展微机电系统和专用集成微型仪表技术用于制造纳米卫星。目前纳米技术在光学、医学、半导体、信息等领域的产品营销额已高达 500 亿美元,预计到 2010 年可高达 14400 亿美元。

### 3. 纳米检测技术是纳米技术的“制高点”

要制造出性能优越的纳米器件,必须搞清楚各种纳米材料结构的力、光、电、磁和热性能,研究纳米

空间内的化学反应过程、物理传输过程,以及原子、分子的排列、组装方式与奇异物质性能的关系。这样才能在理论指导下,发现新现象、新方法和新技术。美、日、德、英都相继组建了纳米检测研究机构,许多大学和研究所都建立了纳米技术研究中心,例如美国斯坦福大学、加州大学伯克利分校、康奈尔大学、霍普金斯大学等都先后建立了纳米检测与表征研究机构。许多国家不惜投入巨资,研究纳米材料新性能以及操纵排列组装原子的方法,其目的是抢占纳米技术制高点,使之在未来竞争中夺取主动权。

对纳米技术的发展,我们决不可以坐等观望。我国已在纳米材料、微电机制造技术上取得了许多成果。例如我国科学家最近用新方法、新工艺快速合成大量高质碳纳米纤维和单壁碳纳米管,在这个方面一举跃上世界先进水平。特别是快速生成单壁碳纳米管技术,目前世界上仅有美、日等少数国家才能生产。

空间、质量、能量这些物理量是绝对的、独立的，而在爱因斯坦的狭义相对论中，时间和空间统一起来了，质量和能量统一起来了，物质和运动统一起来了。狭义相对论成了近代物理学的基础理论。1915年爱因斯坦创立了关于引力的新理论，建立了广义相对论。他告诉我们，在物体的旁边，空间和时间要被扭曲，他提出了3个检验广义相对论的著名实验：光谱线的引力红移、太阳引起的光线偏折和水星轨道近日点的反常进动。在以后的数十年，这3个预言先后被实验所验证。广义相对论不仅得到了实验的验证，也在后来的实践中得到了不断的发展。它改变了人们对于宇宙的认识。爱因斯坦的才智达到了当代人们智慧的顶峰，完成了开始于伽利略和牛顿确定的时间、空间、能量和质量的完美的综合。他们提出的狭义相对论和广义相对论在物理学史上完成了一次革命，和同时发展起来的量子论成了20世纪物理学的主要基石。

1919年爱丁顿对日全食的观测证实了爱因斯坦关于星光在掠过太阳表面时拐弯1.7秒偏转角的预言，使爱因斯坦名声大震。全世界的报纸颂扬着爱因斯坦和他的相对论，不管是懂得相对论的人还是不懂得相对论的人都狂热地崇拜着这位神秘的科学巨星。荣誉像潮水般地不断向爱因斯坦涌来。爱因斯坦收到了来自世界各地的请帖，他一站接一站地访问了荷兰、英国、法国、美国、日本、中国、巴勒斯坦、西班牙……总统的接见、科学家的宴会、记者的访问，到处都是欢迎的人群，到处都是炽烈的情绪。爱因斯坦的相对论具有无比的魅力和感召力，人们把它看做是人类智慧的骄傲。爱因斯坦谈的都是人们日常生活遇到的时间、空间、光线……，也就是人们所熟悉的概念，但是由他所创立的相对论又是那么深奥、发人深思、令人赞叹。爱因斯坦成了人们心目中智慧的化身，成了科学家的形象大使。

法国物理学家朗之万在1931年称爱因斯坦现在是，将来仍然是人类宇宙中有头等光辉的一颗巨星，他比牛顿更加伟大，因为他对科学的贡献，更深刻地进入了人类思想基本概念的结构之中。

爱因斯坦获得了1921年诺贝尔物理学奖，量子力学的奠基人玻恩、海森伯、德布罗意和薛定谔也相继获得了诺贝尔物理学奖。很多物理学家认为20世纪30年代以后的物理学可以沿着相对论和量子论所指引的方向发展下去，延伸开去。人们对于周围世界和日常生活所遇到的问题已经达到了如此深

刻而又如此精确的认识。似乎没有什么更多的物理需要人们去挖掘了。

1928年狄拉克发表了他的关于电子的相对论性波动方程(后称为狄拉克方程)后，在一段时间内没有引起物理学界的重视。在以后的几十年里，狄拉克方程的重要性才逐渐被人们认识，狄拉克对近代物理学发展的贡献渐渐地显露出来。

### 标准模型的源头——狄拉克方程

年轻的英国物理学家狄拉克于1928年发表了关于电子的相对论性理论——狄拉克方程。他的理论成功地解释了电子的自旋和氢能级的精细结构。在他的方程中引入了一个4分量的数学函数——自旋量。好像在我们日常生活中，在时空环境下，我们需要有4个轮子的小汽车才能在马路上行走，而不是像杂技演员那样的独轮车或两个轮子的自行车。在解狄拉克方程时出现了两个解，其中一个是电子处于负能态的解。我们知道，电子处于负能态是无法理解的，能量只能是正的。经过一段时间的思索，狄拉克大胆地提出了解决负能态之谜的设想。他指出带负电荷的粒子的负能态就是带正电荷的正能态。这就是狄拉克预言的电子的反粒子——正电子。同时狄拉克的电子理论提供了正电子产生和湮灭的理论方法。根据狄拉克的电子理论，当光子的能量大于正负电子对的静止质量时，它通过物质时就有可能产生一对正负电子。与辐射产生正负电子对的过程密切相关的是它的逆过程，即正电子通过物质时，正电子和负电子将成对湮灭，结果发出一对光子。

1932年，安德森等人在宇宙线中发现了正电子，在实验上证实了正电子的存在。正电子和电子相比，除了所带的电荷相反外，它的其他性质和电子相同，我们称它为电子的反粒子。正电子的发现证明了反粒子的存在。

实际上，早在正电子发现之前，人们已经提出过疑问，为什么质子带正电，而没有相同质量带负电的质子？为什么电子带负电，而没有相同质量带正电的粒子？为什么自然界在电荷符号的分配上有选择性？当时对这些问题无法回答。正电子的发现证明了电子有反粒子，那么其他的粒子，如质子、中子等是否也存在反粒子呢？这在物理学上称做电荷的对称性。如果这种对称性在自然界中是根本的，人们会很自然地进一步问：有没有反原子？有没有反原子组成的反物质？在宇宙空间是否存在反物质世

界?正如狄拉克在1933年12月12日接受诺贝尔物理学奖时所说:“如果我们承认正、负电荷之间的完全对称性是宇宙的根本规律,那么,地球上(很可能是整个太阳系)负电子和正质子在数量上占优势应当看做是一种偶然现象,对于某些星球来说,情况可能是完全另一个样子,这些星球可能主要是由正电子和负质子构成的。事实上,有可能是每种星球各占一半,这两种星球的光谱完全相同,以致于目前的天文学方法无法区分它们”。这些问题当然是太大了。要肯定地回答这些问题有待于今后多代人的努力。

20世纪后半世纪,物理学得到了飞速的发展。反质子、反中子、和反超子的发现,正负电子对撞机的发明,能量越来越高的加速器的建造,高能物理实验和粒子物理理论取得了辉煌的成就。量子电动力学被越来越精密的实验所验证,关于强相互作用的理论——量子色动力学的建立,和弱电统一理论的确立,最后形成了粒子理论的标准模型。该模型描述了组成物质的基本粒子和他们之间的相互作用。这一伟大成果的取得是全世界各大实验室几十年来共同努力的结果。

可以说,标准模型的源头是狄拉克方程,没有狄拉克方程,没有粒子和反粒子的湮灭和产生的理论,规范力的重整化将无法实现。我们就不能得到粒子物理的标准模型。没有狄拉克所指出的粒子和反粒子,就不可能有正负电子对撞机,就不可能有能量越来越高的加速器,也就不可能在世界上有如此规模的粒子物理实验中心。也就不可能有近半个世纪一个接一个的激动人心的新发现。

狄拉克在发表他的著名的方程时,许多物理学家,包括他的老师、同事和他本人没有认识到该方程的深远意义。即使在狄拉克获得诺贝尔物理奖时,也不是所有的物理学家能认识到狄拉克方程潜在的深远影响(见王正行的文章)。随着20世纪后半世纪物理学的进展,有些物理学家才认识到,狄拉克对20世纪近代科学的发展比爱因斯坦有更大的贡献。

#### 关于物理学家的排名

为什么爱因斯坦会被《物理世界》选为第1名,而狄拉克仅排名第8?众所周知,爱因斯坦的声望和在公众面前的知名度远远高于其他科学家。几十年来,爱因斯坦一直是,今后仍然是全世界科学的代表和形象大使。这种情况在我们社会生活中是极

常见的。

从物理学的角度来考察,爱因斯坦比狄拉克更加著名,被更多的人所敬仰也是可以理解的。从伽利略、牛顿到爱因斯坦,科学家们一直研究的是存在于人们周围的世界。伽利略研究物体在斜面上的运动,牛顿告诉我们地球上物体运动的规律和天上的星体的运动规律。爱因斯坦综合了时间、空间、能量和质量的关系。他的理论仍然讲的是我们周围的世界。他所提出的检验广义相对论的著名的3个实验,都是发生在我们周围世界的真实。而狄拉克所预言的反粒子和反物质在我们日常生活中却是“不存在”的和“无用”的。在我们生活的地球上,没有反物质的矿藏,在海洋最深的角落里或者在珠穆朗玛峰的顶峰,我们永远不可能发现一丁点儿反物质。

狄拉克预言正电子的时候,许多科学家认为正电子只是狄拉克的杜撰。当时看起来,正电子和我们所关心的周围世界的组成毫无关系,它仅仅是一个虚构的概念。即使安德森等人发现了正电子,1/4世纪后发现了反质子,人们还不能透彻地理解狄拉克所概括的奇特的世界,这个世界确实和人们的日常生活离得太远。

在随后的几十年里,物理学家相继发现了越来越多的基本粒子,包括许多轻子、夸克和他们的反粒子。人们将他们分类,研究他们的性质、产生和湮灭。逐渐认识到大部分基本粒子只能在实验室中产生,只能在巨大的加速器和对撞机的实验中产生。20世纪末,实验上证明了目前只存在3代基本粒子的家族,其中只有第一代的轻子和夸克才是组成我们熟悉的周围物质世界的基本成分,而第二代、第三代的轻子、夸克和他们的反粒子是“无用”的。这些“无用”的粒子比“有用”的粒子还多。对这些“无用”的粒子的研究不仅使我们更深入地了解物质的组成和4种基本相互作用力,而且将我们带入了一个人类千百年来关心的问题——宇宙的起源。也就是说,狄拉克为人们开启了一个全新的世界,宇宙在大爆炸(发生在150亿年或200亿年以前)以后没有多久,在那个时候,宇宙是所有家族的粒子和反粒子的一个完好的混合体。经过了很久很久以后,形成了今天的宇宙,一个仅仅由第一家族的粒子组成的世界。

科学家们在研究反物质和认识宇宙的历程中不断地前进,尽管这个进程很慢,但还是在一步一步地前进。1965年著名的意大利物理学家捷基基(Anto-

她用物理的情趣,引我们科苑揽胜;  
她用知识的力量,助我们奋起攀登!

## 欢迎投稿, 欢迎订阅

又是一年春草绿。《现代物理知识》在广大读者的关心和爱护下,迎来了 21 世纪的第二个明媚的春天。在新的一年里,她像大家一样,会有更新的创意、更高的追求!

新年里的《现代物理知识》,继续设有物理知识、物理前沿、科技经纬、教学参考、中学园地、科学源流、科学随笔和科苑快讯共 8 个栏目。欢迎大家向这些栏目踊跃投稿。恳请大家注意如下几点:稿件请用方格稿纸誊写,用微机打印的则请单面打印并留 1.5 倍的行距;外国人名地名,请译成中文,有必要保留外文名称时则在文中首次出现时将外文用括号括在中译名后面,图表中的外文也尽可能地译成中文;文稿中的插图最好单独成页,并在文稿中的相应位置标上插图的编号;文稿无需附“摘要”和“关键词”等,一般也无需附“参考文献”,只需附上英文题目和作者的英文姓名;请注意语言规范,例如,“其它”一律改为“其他”,“公里”改为“千米”,“公斤”改为“千克”,数字和百分数尽量采用阿拉伯数字,除了书刊名称用书名号外,一般文章的题目则用引号。

在邮局漏订或需要过去杂志的读者,请按下列价格汇款到《现代物理知识》编辑部(100039,北京 918 信箱现编部)补订。1992 年合订本,18 元;1993 年合订本,18 元;1995 年合订本,22 元;1996 年合订本,26 元;1993 年增刊,8 元;1994 年增刊,8 元;1994 年附加增刊合订本,36 元;1996 年增刊,15 元;1997 年合订本,30 元;1998 年合订本,32 元;1999 的合订本已售完,尚有 1、4、5、6 期单行本,每本 3 元;2000 年附加增刊合订本,38 元;2000 年增刊,10 元;2001 年合订本,48 元;2002 年每期 7 元,全年 42 元;《微观绝唱》(《诺贝尔奖百年鉴》丛书之一,江向东、黄艳华著,卞毓麟、匡志强责任编辑,上海科技教育出版社 2001 年 6 月出版),10 元。以上所列,均含邮资或免邮资。

mino Zichichi) 等人发现了反氦。1982 年 CERN 建成了低能反质子环 LEAR,可以将高能反质子贮存起来,并加以减速,使发现反原子成为可能。1995 年捷基基领导的一个由德国和意大利物理学家组成的实验组在 LEAR 上第一次成功地获得了 9 个反氦原子。1996 年美国费米实验室的科学家证实了这个激动人心的结果。一般的氢原子是由一个电子围绕着一个质子组成,而反氦原子是由一个正电子围绕着一个反质子组成。反氦原子的生成给科学家们打开了研究反物质性质的大门,以便有可能检验最基本的物理原理。

宇宙中是否还存留反物质?显然我们不能在地球上寻找,因为地球有大气层包围。即使有来自宇宙空间的反物质,它也会在大气层中和物质碰撞而湮灭。我们必须到大气层外去寻找。诺贝尔奖获得者丁肇中教授领导的 AMS 合作组就是要将一个探测反物质的探测器送上国际空间站去寻找来自宇宙空间的反物质。

狄拉克所预期的反粒子和反物质世界实在和我们日常生活离得太遥远,但也不是遥不可及。欣慰的是在我们日常生活中已经有了一点点的应用。例如在医院里每天都在应用的正电子发射层析技术(PET),利用放射性核衰变产生的正电子对脑部进行扫描,正电子可以和脑中的电子湮灭,产生一对相反方向发出的光子,记录和分析这些光子就可以给出脑部的层析图像,以便诊断有无脑病。

狄拉克的理论不仅影响了 20 世纪后 70 年的物理学,也将深刻地影响今后物理学和宇宙学的研究和发展。

物理学家的成就都是建立在前人的基础上,没有牛顿的三大定律也就没有爱因斯坦的相对论,没有爱因斯坦的相对论也就没有狄拉克方程。按物理学家的贡献大小排名次是很困难的。物理学家的排名也并不重要,重要的是我们要继承和发扬他们的科学精神,在他们的科学成就的基础上不断深化和提高对自然界的认识,为人类造福。