

从 2006 年诺贝尔物理学奖谈起

郭汉英

2006 年诺贝尔物理奖表彰马瑟和斯穆特教授,以他们为首的学者利用宇宙背景探索者卫星(COBE)的数据,证实宇宙微波背景辐射的黑体形式,并发现各向异性。这是对精确宇宙学这些重要成果的肯定。

诺贝尔奖的网站记载了当天对斯穆特教授的电话采访:“作为这些观测的结果,作为被证实的大爆炸理论,现在很好地被接受了。是这样的吗?”斯穆特教授立即回答:“大爆炸理论是被接受的宇宙论。(我们)绝不能完全证实任何理论,不过,它是被接受的宇宙论。”在肯定大爆炸宇宙论的同时,斯穆特教授强调“绝不能完全证实任何理论”。这无疑是正确的;但也反映了以广义相对论为基础的宇宙学所面临的尴尬。

一、暗宇宙的挑战和物理学面临的问题

1998 至今的观测表明,宇宙几乎完全是暗的:“暗能量”和“暗物质”约占 73% 和 23%,已知物质只占约 4%,其中包括各类星体所占的千分之几。暗宇宙在加速膨胀,不渐近于闵氏时空,可能具有正的宇宙常数,渐近于常曲率为正的德西特时空。然而,按照通常处理,德西特时空有许多疑难:能量不正定、没有超对称,更谈不上超弦;如果把宇宙常数解释为量子“真空能”,理论值比观测值大 122 个量级!等等。

美国能源部和国家自然科学基金组织专家编写,在 2004 年公开发表《量子宇宙——21 世纪粒子物理学的革命》一书。提出粒子物理,其实是物理学所面临的 9 大问题:有尚未发现的自然原理、新的对称性、新的物理规律吗?如何解释暗能量?是否存在额外空间维度?是否所有相互作用能够统一?为什么(基本)粒子如此之多?何为暗物质,能否在实验室中实现?中微子告诉我们什么?宇宙如何演化至今?反物质哪里去了?

同年,美国加州大学圣巴巴拉分校理论物理研究所建所 25 周年,举行会议研讨“物理学的未来”。

几位诺贝尔物理学奖获得者和许多著名物理学家与会。会议结束前,当年诺贝尔物理学奖获得者、该所所长格罗斯综合大家的意见,以《物理学的未来》为题,对今后 25 年物理学的发展提出 25 个问题。内容包括:宇宙起源和演化;暗物质和暗能量的性质;星体如何形成;广义相对论的正确性;量子力学是否自然最终描述;基本粒子质量谱的起源;超对称是否存在;能否求解量子色动力学;何为弦理论;何为空间-时间的真实性质;物理学是否依赖于“环境”;运动学和动力学是否必须区分;有没有凝聚态的新物态;对于复杂的混沌动力系统能否定量理解;量子计算机如何实现;能否构造室温超导体;生物学有无一般理论;是否需要新的数学;能否使基因学成为有预见的科学;何为意识的物理基础;能否估量婴儿意识的发端;计算机能否创造理论物理,如何训练之;物理能否保持统一而不分裂为各式各样的分支;大事物的行为能否至少在原则上由小事物决定;何为理论物理的作用——实验的奴仆或是更高层次理解的成就;新仪器越来越昂贵,如何应对大科学这一危机等。

这些几乎涵盖了从微观、宏观到宇观的所有基本物理问题,而且包括了生命和意识的起源、计算机科学与人工智能,涉及到复杂性和还原论,以及理论与实验的关系,物理学发展的前景等等。就在这次报告中,格罗斯提出:“知识最重要的产品是无知”。

其实,早在 2000 年召开的弦论会议上,由格罗斯和著名弦理论家威滕等,从与会者提出的种种问题中,就曾汇总跨世纪的十大理论问题。

我们只需浏览近几年提出的这些重大问题,就会发现当前物理学的状况,与 19 世纪末、20 世纪初时非常相似,物理学的发展又到了一个紧要关头,又面临着巨大的挑战。正如 2002 年底,美国国家科技办主任马堡(John Marburger)所指出的,“发现从未期待的宇宙之基本性质的机会出现了!”

二、上个世纪物理学的重大发展

这些问题恰恰表明,物理学作为自然科学中最

编者按:本文是中国科学院理论物理所资深研究员郭汉英为本刊撰写的有关相对论新发展方面系列文章中的第一篇,本刊将连续刊登相关物理学发展的几篇文章,敬请读者关注。

为基础的学科,在上世纪取得了重大发展,而重大发展又带来一系列新问题。

物理学涉及物质各种形态及运动的起源、性质、构成、统一、呈现和演化的基本规律,时间-空间和宇宙的起源、性质、呈现和演化的基本规律,测量、实验和观测的方法和规律等等;还涉及到生命以及意识的起源、呈现和演化。物理学这些基本问题的研究,越来越具有极强的哲学背景和意义。

在微观、宇观和复杂性几个方面,物理学在上世纪取得了革命性进展:量子论的建立和发展,狭义和广义相对论的建立和发展,宇宙作为一个演化整体的确立,不同尺度和复杂性物态的认识等等,量子论和相对论已经成为当代物理学的理论基础,当代物理学已进展到前所未有的深度、广度和复杂程度。

物理学已非常庞大,包括高能或粒子物理、核物理、等离子体物理、凝聚态物理、原子分子物理、光物理、声学、引力和天体物理,理论物理,计算物理和应用物理等等。如何保持物理学内在的统一,也就成了问题。

物理学研究离不开数学,物理学的数学问题又促进了数学发展。物理学不仅与力学、化学、天文学、地质学、材料科学、生物学和生命科学等关系密切,甚至与社会科学,如金融与经济学紧密联系,出现了经济物理学。

物理学与现代技术之间交相呼应,成为发展科学技术,促进社会进步的重要基础学科。物理学基础研究和应用开发的相互结合非常紧密:应用开发对于基础研究不断提出要求;同时,基础研究对于新技术、新设备,以及计算机和计算技术等的需求也越来越高。物理学涌现出的思想、原理、方法和实验手段和技术等等,不断促成新技术和新产业的出现和生长;物理学对于现代技术发展和社会进步的影响,往往难以估计。源于高能物理的互联网,对于当代社会各个方面的变革非常突出;激光技术、纳米技术等等的广泛应用也都如此。

总之,当代物理学的综合、广泛、深入、复杂、创新和应用,不断推动科学和技术,以及社会的发展和进步,不断丰富着人类的思维方式;具有鲜明的时代特征。

三、几个值得关注的根本问题

然而,物理学史上从来没有不存在问题的理论体系。前面一些权威性的提法反映了目前的状况。

但是,有哪些根本问题最值得关注呢?

就非相对论性量子力学而言,其本质到底是什么?量子测量过程在理论上如何描述?对于这些根本问题,一直存在着激烈争论。

早在上世纪30年代,爱因斯坦、勃多尔斯基和罗森提出EPR佯谬,试图说明量子力学与狭义相对论相矛盾。薛定谔也提出著名的薛定谔猫的理想实验,试图说明量子力学几率解释与生活经验相悖。80年代以来,实验技术的发展使理想实验得以具体实现。结果表明量子力学正确,但也没有否认狭义相对论。同时提出如何理解量子纠缠、量子隐态传输、量子信息和量子计算等一系列新课题。前面提及的许多问题,都涉及量子理论的实质,值得特别注意。量子论初期出现的“零点能”涉及“真空”的性质,本质至今尚不清楚。如果把在宇宙尺度上的“零点能”看成宇宙常数,就导致 122 次方的巨大差异。

狭义相对论中,单程光速不变是“约定”,与假定静止钟的固有时、静止尺的固有长度分别服从欧几里德几何密切相有关。暗宇宙并不趋向于平直的闵氏时空;因而在大尺度上并不支持这些假定。这很可能是暗宇宙挑战的要害,然而在上面所有的问题中均未涉及。

量子场论,作为量子论与狭义相对论的结合,取得了巨大成就,也带来了一系列极其深刻的问题。例如描述物质基本组分(夸克和轻子)之间的弱-电磁-强作用的标准模型虽然取得成功,虽然在目前的能量标度下与实验符合,其微扰论的计算与实验符合到11位有效数字,这是前所未有的精度。然而,如此精确的微扰计算在理论上却不成立。不仅如此,“基本粒子”有五十几种、有二十几个参数,需要由实验确定:涉及质量和电荷以及弱作用和强作用强度、电荷共轭与空间反演分别和共同破坏的本质等等。其中,仅仅是夸克质量的参数就会差上几个量级,如何解释如此奇特的质量谱?而且,使传递弱作用的中间玻色子获得质量的对称自发破缺机制也与宇宙常数疑难相关。

其实,“真空”的性质和作用一直非常重要,在量子场论中更是如此。精确的微扰计算总要出现“真空涨落”,对称自发破缺涉及真空能量、夸克囚禁的问题,也很可能与真空性质密切相关。而“真空”的性质,恰恰既具有局部性质,也具有大范围性质,以及二者之间的联系。事实上,暗宇宙的挑战恰恰与

宇观尺度上的真空性质有关。

著名物理学家安德森指出,“更多是不同的”。复杂性研究已经成为物理基础研究的一个重要方向。复杂系统的规律并不能够归结为个体或极少数的规律,在任何尺度或者能标上,从来没有做到过。极多个体的系统会满足随机和统计规律;这是不能还原为个体规律的。何况既不太多、又不很少的个体所组成的系统行为更为复杂。作为整体,不同尺度上的复杂系统会呈现出什么新的运动形态和规律?这个问题极为重要和基本。

从数量上看,组成大分子的原子数目多到一定程度,便从无机物的分子突变为有机物的分子,而基本物理规律的对称性却在破缺;进而,会呈现出生命,涉及到意识起源。

对称性、对称性的局域化以及对称性破缺,在上世纪物理学的发展中,不断起到极其重要的作用。对于当前物理学的进展,这一重要线索同样值得借鉴。包括惯性运动、惯性系以及狭义相对性原理在内的,具有不同对称性的惯性原理,是牛顿力学和狭义相对论的重要基本原理;也是量子理论定义物理量,引进运动方程的出发点。

暗宇宙的观测事实,是否对于这个极其重要的原理有所暗示?我们以为,这恰恰是问题的本质:既然宇宙并不渐进于平坦的闵氏时空,而是渐进于常曲率的德西特时空,那么,以爱因斯坦狭义相对论为定义物理量和引进物理规律的基础,在宇宙大尺度上,就会有偏差;因而需要在原理上探讨什么是在宇宙大尺度上定义物理量和引进物理规律的基准。

事实上,应该把惯性原理推广到常曲率的德西特时空,狭义相对论亦可随之推广,这是与爱因斯坦相对论不同的全新方向。

结语

“知识最重要的产品是无知”,的确在一定意义上反映了物理学取得突破进展的同时,又面临新挑战的实际。我们知道,除了“无知”这一最重要的产品之外,知识还会带来一些“副产品”。比如,权威、自封“权威”和偏见等等。偏见比无知离真理更远,权威性的偏见则会导致谬误和压制,自封“权威”的偏见势必更加糟糕。

“知识最重要的产品是无知”的说法是否“颠覆了人类的自信”?不然,孔子说:“知之为知之,不知为不知,是知也。”承认无知是求知之始,恰恰是智者

所为。然而,不能仅仅承认无知,还必须勇于探索。历史上,有过几次对物理学发展的错误估计,认为物理学已经基本完成的这类误解,或许来自某些权威,甚至自认“权威”的偏见。物理学的发展,也是不断“颠覆”这类偏见的所谓“自信”的过程。

如何对待权威?爱因斯坦盛赞伽利略的英雄人格和科学成就,极其赞赏伽利略所代表的主导思想:“竭力反对任何根据权威而产生的教条”,“只承认经验和周密的思考才是真理的标准”。事实上,这也恰恰是爱因斯坦创造奇迹、取得成功的重要原因之一。爱因斯坦当然不希望其理论成为“根据权威而产生的教条”。

爱因斯坦认为,“物理学构成一种处在不断进化过程中的思想逻辑体系”。“进化的方向是增加逻辑基础(原理)的简单性”。“我们应该准备改变这些概念——即物理的原理基础,以便逻辑上用最完美的方式审慎已认识到的事实”(《物理学与实在》1936年)。这里,爱因斯坦大概是在暗示他尚未实现的统一场论的追求。在今天,这也是弦理论的追求。

其实,一种逻辑体系无所谓进化。一种未完成的逻辑体系,才谈得上如何完善的进化;一系列未完成的逻辑体系之间,也会有发展或进化的关系可言。爱因斯坦相对论体系的建立和发展过程已经表明,物理学理论并不完备,总是处在不断追求完备的过程之中。那么,向哪里进化?什么是可能正确的途径?爱因斯坦关于“进化的方向是增加逻辑基础(原理)的简单性”的观点,值得我们注意。

把惯性原理推广到常曲率的德西特时空,建立德西特不变的狭义相对论;进而在局域德西特不变性的要求下描述引力。这一与爱因斯坦相对论不同的方向,却恰恰可使基本原理更为简单,并改进基本原理之间的自恰性。

我们将陆续在几篇短文中,通过介绍有关物理学的发展和问题,探讨这个方向的合理性。

(北京市中国科学院理论物理研究所 100084)

作者简介

郭汉英,中科院理论物理所研究员、博士生导师。曾获中科院先进工作者、全国科学大会奖状,中科院自然科学二等奖,中科院科技进步一、二等奖,国家自然科学基金二等奖。研究领域涉及引力、相对论天体物理、场论、粒子物理、数学物理、计算物理、金融与管理科学及自然科学的哲学问题等。