

宇宙与量子

杨金民

中国科学院理论物理研究所

----- 《物理教学》特约稿件(07年29卷2期2-3页)

摘要： 本文简述人类对宇宙了解的现状以及对量子宇宙的认识，并指出量子宇宙研究所面临的挑战。

关键词： 宇宙；量子

宇宙中人类的出现也许完全是个偶然、是个巧合、是温伯格的人择原理所导致的大自然精细调节的结果。但自从有了人之后，人的思绪便伸向孕育人类的茫茫宇宙，开始对大自然进行思索和挑战，到如今人类已经把触角伸向太空，真正实现了‘九天揽月’并开始觊觎别的星球了。作为地球上最聪明人种之一的中国人，很早就开始了对宇宙的遐想，古代的中国诗人屈原在‘天问’里汇集了对天的好奇心和询问。从屈原的时代到现在一千多年过去了，人类对宇宙和大自然的认识有多少呢？

人类曾经很自高自大地认为自己所居住的地球是宇宙的中心，日月星辰围绕着地球转。后来发现这种认识不对，地球不是中心，而是作为太阳系中的一颗行星在围绕着太阳转。再后来发现我们的太阳系只是茫茫银河的一个普通的小家庭，宇宙中象太阳这样的发光星体数不胜数，太阳只是宇宙中发光星体的沧海一粟。

宇宙大家庭的游戏规则是爱因斯坦的广义相对论，但是现在人们渐渐明白，要了解宇宙的起源和构成，还需要探究深奥的量子世界，要了解无穷大的宇宙还必须彻底认识构成宇宙的无穷小的量子细胞。实际上，静谧广袤的宇宙到处弥漫着躁动不安的量子，这些处于剧烈运动和喧闹之中的基本粒子所遵循的游戏规则是量子理论，它们行踪诡秘，犹如鬼魂似的时而出现但又转瞬即逝，这些看不见的微观粒子支撑着宇宙那令人眼花缭乱的大千世界。深奥的基本粒子理论和神话般的现代宇宙理论相结合，渐渐揭开了宇宙老人的神秘面纱。

现代宇宙学的大爆炸理论告诉我们，宇宙起源于大约 137 亿年前的一个原始火球的大爆炸，这个火球极小，比米粒还小得多，但具有极高的温度和极大的密度，它包容现今的整个宇宙。自从火球爆炸开始创生宇宙，宇宙便永无歇息地处于膨胀之中，就像一个一直在发胀的面包，而星体就像是镶嵌在面包里的葡萄干。直到现在宇宙还在加速膨胀，日月星辰一直在远离地球，因而终有一天地球上的人类再也看不到夜空中的银河（也许到那时人类早已灭绝了）。从火球爆炸的那一刻起，宇宙的尺寸便以光的速度扩展，因此，如果现在有人想到宇宙的‘尽头’看一看，那么他需要乘坐接近光速的火箭至少化费 137 亿年，虽然爱因斯坦的相对论预言处于高速运动的人的寿命可以大大延长，但凡人肉身的我们肯定无法实现这一愿望。即使有哪位神仙以光速走了数百亿年，他也看不到宇宙的尽头，因为我们在宇宙之中行走犹如蚂蚁爬行于一个球的表面，有限有界但没有尽头。相对具有 137 亿年历史的宇宙老人来说，只有几十亿年历史的太阳和地球之类的星体算是年轻的了，当然，地球上的生命和人类更是宇宙母亲的新生儿了。

宇宙的早期就象《圣经》里的创世纪所说的那样一片混沌，在宇宙的年龄小于一秒钟的时候，宇宙就象一锅热粥，各种基本粒子混于其中，但从大约一秒钟开始，我们现在常见的一些轻元素(如氢、氦、锂)就开始合成了，奇妙的是宇宙大爆炸理论所预言出来的这些轻元素的丰度和观测的结果出现了惊人的符合。另外，在宇宙年龄为大约百万年时所遗留下来的至今滞留

在宇宙中的 3K 微波背景辐射也被精确测量出来了，但宇宙年龄为大约一秒钟时所遗留下来的中微子背景还没有测量到。

根据基本粒子理论，宇宙大爆炸初期宇宙中充满了如今自然界中早已绝迹的各种基本粒子，这些粒子在宇宙爆炸初期现身并活跃于宇宙，但是它们英年早逝，纷纷衰变绝迹而退出宇宙舞台。要了解早期宇宙就必须研究这些粒子的行为，就必须再次使它们现身，这就需要在高能粒子对撞机上通过高能粒子对撞湮灭所产生的极高能量把它们产生出来并研究它们的行为和生死之道。因此，了解宇宙起源需要基本粒子物理，高能粒子对撞机是遥望过去宇宙历史的一种‘望远镜’。

谈到透过基本粒子了解宇宙就不能不提一下中微子，因为它们在标准模型基本粒子家族中独树一帜，在宇宙学中也扮演着独特的角色。中微子‘身轻如燕’，其体重还不到电子质量的百万分之一，它们逍遥洒脱，与别的粒子只有很弱的作用，它们基本上以光的速度在宇宙中逍遥穿行如入无人之境，几公里厚的铅版也休想拦住它们的通道。正因为中微子的这种‘无为’特性和极强的穿透力，遥远的天体里发生的反应所产生的中微子可以直达我们的地球，向我们传达信息、诉说遥远的天体里所发生的故事，比如，太阳发来的中微子告诉我们太阳的发光机理，超新星发来的中微子告知我们超新星的爆发机制，还有前面提到的宇宙婴儿时期所留下的背景中微子可以告诉我们早期宇宙所发生的故事。由于中微子对洞察宇宙的重要性，人们建造了大型的探测中微子的‘望远镜’。目前世界上对中微子的研究如火如荼，中国正雄心勃勃建造大型的中微子探测器，通过探测大亚湾核反应堆所释放的中微子来加深对粒子和宇宙的理解以推动人类的文明。

虽然粒子物理和宇宙学的结合使得人们渐渐明白了宇宙，但有一些疑难还缠绕在人们的心头。首先是宇宙中的暗物质问题。宇宙学观测表明宇宙中的物质绝大部分是我们看不见的暗物质，我们能看得见的普通物质只占宇宙物质的一小部分。目前，暗物质还困惑着我们，我们不知道它们究竟是些什么物质，由什么粒子组成。粒子物理中取得辉煌成就的标准模型对此无能为力，无法解释暗物质的存在和组成。这些暗物质虽然我们看不见，但对宇宙中星体的形成功不可没，对如今星体的运行作用也很大，没有它们的引力作用，星体就会脱离轨道而导致宇宙星系家庭的大乱。它们都是些不带电的稳定粒子，在宇宙初期的极高能量下产生出来，混迹于宇宙混沌之中，之后随着宇宙温度的下降而冻结（freeze-out）出来，从那之后便弥漫于宇宙，直到今天还笑傲于江湖而无处不在。这些逍遥的暗物质粒子虽然体重笨拙（质量可能是质子的几百倍），但从其行为看它们和中微子基本上是一丘之貉，行踪诡秘，来无影去无踪，极难捕获。目前人们正在用各种方法探测它们的踪迹，比如普通粒子被这些暗物质粒子碰撞后会有反冲，暗物质粒子也会偶尔发生湮灭而产生出高能的光子、中微子或反物质粒子。另外，高能粒子对撞机（如正在建设中的欧洲核子研究中心 CERN 的大型质子对撞机 LHC）可以大量产生出暗物质粒子，它们逃逸出探测器而带走大量的能量。粒子物理的对撞机实验和天体物理的实验相结合将会彻底揭开暗物质之谜。

物质与反物质之谜也令人不解。宇宙大爆炸之初，物质和反物质都存在，而且等量。但目前宇宙中只有物质而没有发现反物质，反物质只能在实验室中产生出来。在宇宙演化的过程中，究竟什么时候、靠什么机制使得物质超过了反物质以至后来反物质湮灭殆尽而只剩下了物质呢？这到目前还是个谜。据有些理论推测，在早期宇宙的某一时刻，物质与反物质的平衡被打破，物质与反物质的量不再相等而变为十亿零一比上十亿，这种微弱的不平衡导致了如今物质大千世界的存在，如若不然，物质与反物质将湮灭殆尽，会导致一个没有物质（当然也就没有人类）而只有能量的死寂宇宙。

还有一个严重问题是宇宙学常数或暗能量问题。爱因斯坦在其宇宙学方程中引入了一个常数相，放在方程的一边它就是宇宙学常数，而放在方程的另一边它就是暗能量。目前还不知它究竟是常数还是暗能量，只知道它的作用巨大，如果没有它，宇宙就会塌缩而变得越来越小，

它的存在驱动宇宙的膨胀。如果它是个常数,为什么它比理论预期的要小一百二十个数量级呢?如果它是宇宙中无处不在的暗能量,那么这种能量的本质是什么、是如何产生的呢?

以上的这些谜团有待于宇宙和粒子物理学家联手去解开。茫茫宇宙似乎蕴藏着无穷的奥秘,人类也会前赴后继地去探索。对宇宙的了解程度是人类文明的重要标志,路漫漫,求索无休止。