

# 暗物质与暗能量研究新进展

◆ 蔡荣根 周宇峰

中国科学院理论物理研究所, 北京 100190

**摘要** 本文简要回顾了暗物质和暗能量研究的历史。重点综述了暗物质实验探测的最新进展和理论研究动态, 对各种可能的暗能量模型进行了比较介绍。最后对我国暗物质和暗能量方面的研究进行了介绍和展望。

**关键词:** 暗物质 暗能量

中图分类号: O41 文献标识码: A

文章编号: 1009-2412(2010)03-0003-07

DOI 10.3969/j.issn.1009-2412.2010.03.001

## 一、引言

20世纪的几个重大发现彻底改变了人们对于宇宙的认识。20年代末, 哈勃发现我们的宇宙不是静态的, 而是在膨胀。这一发现开启了现代宇宙学的研究; 90年代末, 美国的两个超新星(SNe)研究小组根据他们的观测数据发现我们的宇宙正处于加速膨胀之中。宇宙的加速膨胀表明宇宙中存在着暗能量; 而早在30年代 Zwicky通过对星系团中星系的速度弥散度的研究, 推断出宇宙中存在着大量的暗物质。

目前的天文观测表明, 宇宙中可见的重子物质仅占宇宙总能量组成的4%左右, 看不见的暗物质占23%, 而宇宙中占能量组成73%的成份是以看不见的暗能量形式存在的。暗物质是什么? 暗能量的本质是什么? 这些是当前宇宙学家和理论物理学家面临的重大问题。诺贝尔奖获得者李政道先生认为理解暗物质和暗能量是21世纪科学的大挑战。

目前世界上的科技强国都在集中大量的人力、物力和财力研究暗物质和暗能量。例如, 美国国家

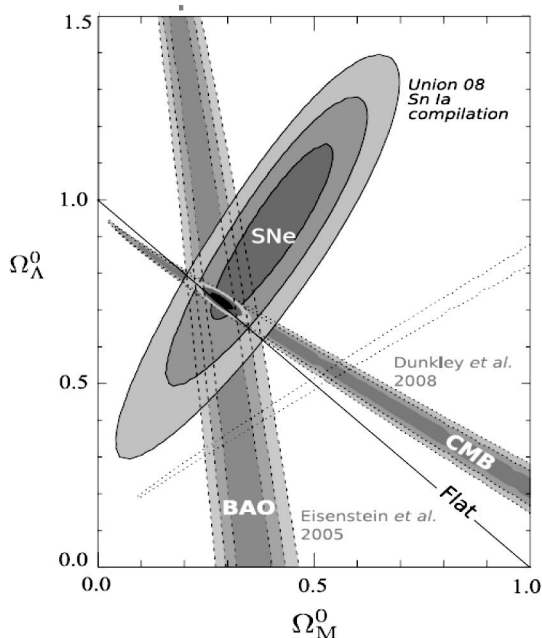


图1 天文观测对宇宙中暗物质和暗能量的限制<sup>[1]</sup>

研究委员会在2002年由19名权威物理学家和天文学家联合执笔的报告中列出了新世纪要解答的11个科学问题, 其中“什么是暗物质”和“暗能量的性质是什么”被分别列在第一和第二位。报告同时建议美国研究机构应加强协调、集中资源为这些难题寻找答案。国际上许多进行精确宇宙学研究和探测暗物质、暗能量的地面和空间实验正在计划和筹建中, 已经投入运行与在建的地下暗物质探测实验室达20多个; 空间实验包括EGRET、PAMELA、Fermi和Planck卫星等等, 在筹划中的还有SNAP卫星、AMS-02 LSST望远镜等; 正在运行的大型强子对撞机(LHC)也将有力地推动暗物质的探测。

我国也正在积极推进暗物质、暗能量方面的研究工作。2010年国家973计划项目“暗物质、暗能量的理论与实验预研”正式启动, 将充分利用理论研究与实验探测设计相结合和多学科交叉融合的优势, 积极发挥理论先行的作用, 突破探测器的关键技术, 优化实验探测方案设计, 为开展对暗物质的空间

收稿日期: 2010-5-5 修回日期: 2010-5-12

本文作者: 蔡荣根, 研究员, caing@itp.ac.cn 周宇峰, 副研究员, yfzhou@itp.ac.cn

研究资助: 国家973计划项目(2010CB833000)。

和地下探测、暗能量的精确测量提供可靠的物理依据、可行的实验设计和有效的探测方案,为推进我国空间卫星的天体粒子物理实验平台、国家深部地下实验室和南极 Dome A 地面天文望远镜观测实验基地等大科学目标的建设做出贡献。项目首席科学家吴岳良院士将研究目标进一步凝练为“两暗一新”,即通过对暗物质和暗能量的深入研究,探索微观和宇观世界的新现象、发现新规律、提出新理论。

## 二、暗物质

暗物质发现的历史可以追溯到 20 世纪 30 年代。1933 年 Zwicky 通过对后发座星系团中星系的径向运动速度的研究,发现其中星系的速度弥散度可达每秒 1000 km,据此推断出的星系团质量比从星系团中发光星体推断出的质量大了近 400 倍。因此,他推测星系团可能主要由不发光的物质构成,并首次提出“暗物质”的概念<sup>[2]</sup>。不过此观点当时未能引起学术界的认同。令人信服的暗物质存在的证据来自于女科学家 Rubin 和其同事 Ford 在 1970 年对仙女座大星云中星体旋转曲线的研究。运用改进的观测技术,他们可以探测到远离星系核区域(大约 24 kpc)的星体的径向运动速度。按照牛顿万有引力定律,如果星系的质量主要集中在星系核区,星系外围的星体的速度将随着距离增大而减小。但观测结果表明在相当大的范围内星系外围的星体的速度是恒定的<sup>[3]</sup>。这要么意味着牛顿万有引力定律是不正确的,要么意味着在星系非核心区分布有大量的不发光物质,而且它们的质量要远大于可见物质。他们的工作启发了大量的后续研究工作,研究显示目前已知的几乎所有旋臂星系的质量都主要来源于暗物质,甚至可能存在几乎完全由暗物质组成的星系。

暗物质虽不可见,但其存在可通过引力相互作用显现出来。根据爱因斯坦的广义相对论,光线经过强引力场时将会发生弯曲。如果从遥远星系发出的光线经过有暗物质的区域到达地球,地球上的观测者将会发现星系的影像发生改变,这种现象被称为引力透镜现象。这种改变可表现为单个星系影像的变形,出现环状、弧状的影像甚至出现多个影像;也可表现为大量背景星系影像的整体变化,可通过统计方法分析;也可表现为星体亮度的变化。通过引力透镜效应的研究,人们发现了大量暗物质存在的证据。在整个宇宙尺度上,通过对宇宙中微波背

景辐射的精细观测,可以确定宇宙中暗物质的总量。目前的观测表明宇宙总能量的约 23% 由暗物质贡献。宇宙中大尺度结构的形成研究也支持冷暗物质的存在。

虽然目前暗物质的存在已经得到了广泛的认同,但暗物质是什么仍是一个巨大的谜团。由于暗物质的非重子性,它不可能由构成我们地球和星系的任何一种已知物质组成。我们目前了解到的暗物质性质仅仅包括:在宇宙学尺度上稳定、不带电荷、非重子、有质量和非相对论性运动等有限的几个方面。

暗物质的存在对粒子物理理论提出了挑战。目前唯象学上非常成功的粒子物理标准模型中只有中微子可能是暗物质。但研究表明其无法成为宇宙中暗物质的主要组成部份。暗物质的存在要求有超出标准模型的新物理模型。许多新物理模型中自然要求存在稳定的弱相互作用的有质量粒子(WMP),其相互作用和质量在电弱相互作用及相关能标附近。在宇宙早期的大爆炸之后的演化中,它们通过脱离热平衡和化学平衡而残留下来,是宇宙中暗物质的一类可能的候选者。在目前比较受关注的新物理模型中,如最小超对称模型、额外维度模型、Little Higgs 模型和具有某种分立对称性或利用 P 和 CP 对称性的多个 Higgs 模型等,都可以自然地存在 WMP 类型的暗物质候选者。新物理模型中也存在着非 WMP 类型的暗物质,如与强相互作用 CP 破坏相联系的轴子(axion)等。

在一类最小超对称模型中,如果要求存在 R-宇称,则最轻的超对称伴子(LSP)可以是电中性的 neutralino,它因无法衰变到其它的粒子而成为暗物质的候选者<sup>[4]</sup>。neutralino 是一类 WMP 类型的具有费米子属性的暗物质。在暗物质湮灭过程中,neutralino 主要湮灭到重夸克、规范玻色子和希格斯粒子等。综合目前已有的正负电子对撞机和 B-工厂的实验测量,最小超对称模型的参数空间得到了较强的限制。对最小超对称模型的一些变种如最小超引力(mSUGRA)模型的参数空间的研究已经较完善。研究表明在这类模型中 neutralino 的质量约在数百个 GeV,其构成以规范超伴子为主。与其允许的参数空间范围相对应的暗物质-核子弹性散射截面在  $10^{44}$ — $10^{46}$  cm<sup>2</sup> 之间。这为在地下实验室探测暗物质提供了明确的指导。在超对称模型中,其它可能的暗物质候选者包括中微子和引力子的超对称伴子 sneutrino

no和 gravitino。其中 sneutrino由于与核子的耦合太强而受到实验的严格限制。gravitino作为暗物质的候选者则受到宇宙中轻元素合成的限制。

在一类额外维度模型中,如 UED 模型,由于 KK 对称性的存在,标准模型粒子对应的最小 Kaluza Klein 激发态 (LKP) 可以成为暗物质的候选者。其中最小 KK 激发态  $B^{(1)}$  具有玻色子属性,热力学剩余丰度要求其质量在 400—1200 GeV 左右。它与标准模型粒子的耦合与超对称模型中的 neutralino 有很大不同,主要湮灭道为费米子对,其中以带电轻子为主。这导致其与核子的散射截面较小,直接探测的难度较大。但其较大的轻子对湮灭截面可以通过宇宙线轻子能谱探测来检验。

在 Little Higgs 模型及其各种变种中可以有多种暗物质候选者。在这类模型中为了满足现有电弱精确检验实验的限制,可以加入 T-宇称。这使得理论中自然出现稳定的粒子如自旋为 1 的重光子 AH,其质量约在 100—300 GeV 左右,它主要通过希格斯耦合到规范粒子和费米子对。其与核子的自旋无关弹性散射截面在  $10^{45}$ — $10^{50}$   $\text{cm}^2$  之间,自旋相关弹性散射截面小于  $10^{46}$   $\text{cm}^2$ ,有可能在下一代的直接探测实验装置中得到检验。其湮灭到高能  $\gamma$  光子过程可以在间接探测实验如 Fermi 中得到检验。

在具有 P 和 CP 对称性的左右对称模型中,规范单态 Higgs 粒子可自然作为暗物质的候选者而不需要引入新的对称性,并通过二重态希格斯耦合到规范粒子和费米子对,其与核子的自旋无关弹性散射截面在  $10^{44}$   $\text{cm}^2$  附近,并在一定的参数空间其弹性散射截面可接近现有的实验上限  $10^{43}$   $\text{cm}^2$  [5,6]。其它理论模型中还存在非 WMP 类型的暗物质候选者,如超重的 WMPzilla 超弱的 SuperWMP 及轻 axion 和其超对称伴子 axino 等。

最近的暗物质空间观测实验和地下探测实验取得了重大进展,给暗物质研究提供了巨大的机遇。2008年 8月 PAMELA 实验组公布了宇宙线空间观测实验的结果,显示地球附近的太空中存在超出预期的较高能量(大于 10 GeV)的正电子,与传统的宇宙线理论预言的能谱明显不符合,同时该实验组并没有观测到反质子的超出现象[7]。随后我国紫金山天文台参与的 ATIC 国际实验组发表了高空气球探测器的探测结果,发现在数百个 GeV 高能区正负电子的总能谱有明显的超出,并且在约 600 GeV 的地方有非常快速的下降,这一结果与暗物质粒子湮灭的

物理图像相吻合[8]。然而,由于气球实验受到了飞行时间和测量精度的限制,仅依靠 ATIC 目前的数据还无法明确判定超出正负电子的真正来源,比如可能是近距离脉冲星的贡献等。Fermi 卫星实验以前所未有的精确度测量了正负电子的总能谱,其结果与 ATIC 并不完全一致,一方面没有观察到与 ATIC 结果一致的电子谱型,无快速下降,但另一方面也发现较平缓的超出[9]。

2008年 4月中国和意大利合作的 DAMA 实验组宣布了最新的暗物质观测结果:直接从实验数据获得 12 个年调制周期,总曝光量达 0.82 吨年,以 8.2 $\sigma$  显著性给出 WMP 与探测仪器相互作用模型无关的年调制量。DAMA 实验组认为其结果完全排除了本底、环境温度、系统的不稳定性等诸因素的影响,是到目前为止暗物质探测唯一的正面结果。此结果有待于其它实验组包括 DAMA 实验组自身的进一步验证。目前其它的直接探测实验如 CDM S 和 XENON 给出的暗物质与核子直接散射的反应截面上限已经低于每核子  $10^{44}$   $\text{cm}^2$ ,这已经对最小超对称模型中相当一部分参数空间给出了限制。如何正确理解 DAMA 和其它实验的结果,成为一个紧迫的课题。2009年 12月 CDM S-II 宣布发现了两个可能的暗物质与核子碰撞的事例。但由于精度的限制,目前还不能排除是统计误差引起的[10]。最近的 CoGeNT 实验也宣称观察到轻的暗物质粒子的可能迹象。

近期实验方面的进展极大地推动了对暗物质的理论研究。目前针对 DAMA 和 PAMELA、ATIC 的暗物质模型和唯象研究处于极为活跃的状态。用目前流行的理论模型来解释 PAMELA /ATIC 和 DAMA 的结果都存在或多或少的困难。可能的改进包括引入大的增强因子,考虑暗物质的衰变、长程相互作用导致的量子索末菲效应、共振态增强效应等,但还没有十分满意的理论机制和唯象模型。

目前暗物质理论研究较为活跃的一个方向是针对暗物质模型的研究,包括最小超对称模型及其变种和推广模型、额外维度模型、Little Higgs 模型、各种类型的 Hidden Sector 模型和标准模型的最小推广(多个 Higgs 模型)中 WMP 暗物质的湮灭及衰变过程的性质。在满足暗物质剩余丰度的条件下研究其湮灭或衰变产物,如正电子、反质子、高能中微子和光子的信号特点,为空间间接探测实验提供理论依据。同时重点关注未来实验可能观测到的高能中微

子及光子信号。

另一类研究重点在于对现有空间间接探测实验结果的唯象研究,由于 PAMELA 没有观测到反质子的超出,这表明暗物质的主要湮灭道为带电轻子而非规范粒子或夸克,这就给一些暗物质模型如最小超对称模型带来了一定的困难。对此,需要对模型的参数空间进行更详细的研究。同时,也需进一步研究构造以轻子为主要湮灭道的理论模型。另一方面,为了解释 PAMELA 和 ATIC 上观测到的正负电子超出,暗物质在地球附近的密度分布要比通常由热力学残余丰度给出的大出 2—3 个数量级。如何构造模型能同时满足这两方面的要求是研究的重点之一。

地下直接探测研究方面的重点是寻找和发展更有效探测暗物质的方法。通过自旋相关与自旋无关的散射截面确定暗物质的基本属性。研究 DAMA 实验的正结果和其它实验如 CDMS 和 XENON 给出的零结果是否一致及其它们的物理原因。鉴于 DAMA 的实验结果,探寻可能存在的统一解释目前所有直接探测实验结果的暗物质-核子相互作用机制,研究非弹性散射和测量仪器靶物质的相关性等。

正在运行的大型强子对撞机 (LHC) 将提供研究暗物质产生和相互作用的很好机会。在 LHC 上单个基本粒子可以达到的有效能量约为 2 TeV, 许多暗物质粒子候选者将有可能被直接产生出来。为此,通过分析研究 LHC 上的信号和背景将有可能找到暗物质粒子存在的直接证据。

### 三、暗能量

1998 年美国的两个超新星 (SNe) 研究小组根据他们的观测数据发现,我们的宇宙不是人们以前认为的在减速膨胀,而相反是在加速膨胀<sup>[11][12]</sup>。根据万有引力定律,所有的物质之间都存在相互吸引力,所以宇宙中物质之间的相互吸引力必定使得宇宙的膨胀速度变慢,即宇宙膨胀应该是减速的。因此,宇宙的加速膨胀表明宇宙中应该存在一种斥力(负压强)的能量成份。这一成分在现代宇宙学研究的文献中被称为暗能量。相继大量不同类型的天文观测,如宇宙背景辐射(CMB)、宇宙大尺度结构中的重子声学震荡(BAO)、引力透镜(GL)等,都表明宇宙中确实存在着这一暗能量成分。

区分物质性质的一个重要参数是它的状态参数

$w$ , 它是物质压强和能量密度之比。普通的尘埃物质,其压强可忽略不计,故其状态参数  $w = 0$ 。宇宙中的非相对论重子物质、暗物质的状态参数  $w = 0$ , 即物质为主时期的宇宙状态参数为  $w = 0$ 。相对论的气体,如光子,其状态参数  $w = 1/3$  即辐射为主时期宇宙的状态参数为  $w = 1/3$ 。著名的爱因斯坦引入的宇宙学常数,其压强等于负的能量密度,故其状态参数为  $w = -1$ 。根据爱因斯坦场方程,为使得宇宙加速膨胀,宇宙中的物质其状态参数必须小于  $-1/3$ , 而我们日常见到的所有物质其压强总是正的,因此其状态参数也是正的。这就是为什么说宇宙加速膨胀的发现对我们提出了严峻的挑战。

宇宙中存在暗能量的最直接观测证据来源于 Ia 型超新星观测。用它测量宇宙中超新星的光度距离和红移,依此可推断宇宙膨胀的规律。最近给出的最大 Ia 型超新星样品组合包括 397 个超新星数据的 Constitution, 第二个重要的证据来源于宇宙微波背景辐射各向异性的精确测量。宇宙微波背景涨落的测量表明我们的宇宙是空间平坦的。这一结果结合超新星测量表明暗能量在宇宙中占有 73% 左右,而物质占 27%。WMAP-5 的结果给出到最后散射面的距离为  $R = 1.715 \pm 0.021$ 。宇宙微波背景的精确测量对将来暗能量的研究非常重要, Planck 卫星希望将宇宙学参数的不确定性降到 1% 左右。宇宙中大尺度结构的观测实验 BAO(重子声学震荡)在星系大尺度分布上留下了重要的印记,在尺度  $r \sim 110 h \text{ Mpc}$  上星系分布的二点关联函数上有一个鼓包。这个鼓包就是光子退耦时在重子分布上留下的印记。SDSS 给出  $A(z = 0.35) = 0.469 \pm 0.017$ 。

其它暗能量的观测证据包括: (1) Integrated Sachs-Wolfe Effect (ISW)——暗能量的出现影响了 CMB 大尺度的各向异性。ISW 是由于不同红移的光子在通过依赖于时间的势阱中引起的,它导致低红移的物质分布和 CMB 温度极化之间一个小的关联。这一现象在星系、射电源与 CMB 的交叉关联中被观测到。这一信号预示着我们的宇宙不能被 Einstein-de Sitter 宇宙描述 ( $\Omega_m = 1$ )。 (2) WGL (weak gravitational lensing) 是探测暗物质和其成团性的强有力工具,在 2000 年有 4 个研究组宣布观测到这一信号。最近 100 平方度的透镜巡天给出  $\sigma_8 (\Omega_m / 0.25)^{0.6} \approx 0.85 \pm 0.07$ 。其它测量给出  $\sigma_8 \approx 0.8$  这可推出  $\Omega_m \approx 0.25$  这与平坦的、具有暗能量的宇宙模型是自恰的。 (3) X-ray clusters 测量得到星系团中辐射 X-射

线的气体与总质量之比也预示着暗能量的存在。因为星系团是宇宙中最大的结构,这一气体比例基本是一个常数,它近似为宇宙中重子与总物质质量比。

现代宇宙学是建立在爱因斯坦的广义相对论和宇宙学原理之上的。所谓的宇宙学原理是说我们的宇宙在大尺度上是均匀各向同性的。所以广义相对论、宇宙学原理和宇宙中的物质成分是研究宇宙学的3个基本要素。的确,自1998年发现宇宙的加速膨胀以来,基于这三要素,人们已经提出了许多模型来解释观测到的宇宙加速膨胀这一事实。可以将文献中的暗能量模型(严格地说是解释宇宙加速膨胀的模型)分为以下三类<sup>[13]</sup>。

第一类是修改爱因斯坦广义相对论。爱因斯坦的广义相对论是非常成功的引力理论,但是它仅在大到太阳系尺度,小到亚毫米尺度得到了精确检验。在小尺度上,量子引力效应必定对广义相对论有一定的修正;在宇宙学尺度上,没有原理保证广义相对论一定正确。因此,可通过修改广义相对论来解释观测到的宇宙加速膨胀效应。现存在许多修改广义相对论的方法,如标量-张量引力理论、有质量的引力理论和双度规理论等。在解释宇宙加速膨胀方面,目前国际上广为讨论的是 $f(R)$ 引力理论和外维度的膜世界图像。所谓的 $f(R)$ 理论是将爱因斯坦广义相对论作用量,修改为一个任意的标量曲率 $R$ 的函数。为了与太阳系内的检验一致和为了解释观测到的宇宙加速膨胀,函数 $f(R)$ 能被唯象地重构。很明显,这样重构的理论缺乏物理基础,也不唯一。自1999年以来,一个新的外维度世界图像吸引了人们的注意力。不同于传统的Kaluza-Klein理论,这个新的外维度世界图像假定我们的宇宙是一张嵌入高维时空中的三维膜,粒子物理标准模型描述的物质被禁闭在这一膜上,而引力可以在整个时空中传播。一个著名的膜世界图像是所谓的RS II模型:在这个模型中,一张三维膜被嵌入在五维的反德西特时空中,由于bulk的时空卷曲效应,五维的引力子在三维膜上发生局域化,使得在低能近似下,广义相对论在膜上得以恢复;而在高能极限下,膜上的引力是五维的。另一个被广泛讨论的膜模型是DGP模型:一张三维膜嵌入在一个五维的时空中。在这一模型中,修改的宇宙学动力学方程(Friedmann方程)有两个分支,其中一支具有晚时自加速行为。也就是说在这一模型中,不需要暗能量成份,宇宙也能加速膨胀。但是最近的研究表明这一模型已到了被排除的

边缘。目前的观测数据还不能排除许多引力修改模型。在这个方面还有待于进一步研究。

第二类是考虑宇宙的非均匀性。我们的宇宙在大尺度上是均匀各向同性的,但在小尺度上是明显非均匀的。一个自然的问题是宇宙的非均匀性能否解释观测到的加速膨胀效应。确实,目前国际上在这个方面有了一些研究,如视界内的涨落是否可以解释加速膨胀?我们的宇宙具有一个类似于洋葱的结构,可观测部分是一个很大的空洞,这样一个图像也可以解释加速膨胀效应。但是这些考虑还存在很大的争议,进一步的研究是需要的。

第三类是引入具有负压强的暗能量。目前国际上大量的研究致力于这一类情况:在爱因斯坦的广义相对论框架内引入具有负压强的暗能量。暗能量最经济、最简单的候选者是爱因斯坦本人在1917年引入的宇宙学常数。目前所有的观测数据与宇宙学常数在 $2\sigma$ 范围内是自恰的,但是人们必须面对著名的宇宙常数问题:为什么宇宙常数是如此之小,与一般的理论估计相差 $123$ 个数量级?这就是所谓的精细调节问题。超弦理论预言存在大量的真空,其中许多具有不同宇宙学常数。如何解释观测到的极其微小的宇宙学常数,其中一个可能性是利用人择原理。与暗能量问题相关的另一个问题是宇宙的巧合问题:为何暗能量密度与暗物质密度刚好在目前是一个数量级?为了解决这些问题人们提出了许多动力学暗能量模型,如quintessence, phantom, Chaplygin gas, K-essence, tachyon, quintom, hessence, holographic energy, agegraphic energy和Ricci dark energy等。一方面这些模型或多或少存在一些问题,另一方面观测数据还没有办法选出优胜者。此外,宇宙学常数与观测数据相一致的同时,状态参数小于 $-1$ ,或者跨过 $-1$ 的暗能量模型也是与观测数据相容的。具有这样物态的物质是不稳定的,这对现代物理学提出了更严峻的挑战。

观测暗能量的最重要的任务是确定暗能量的性质:根据天文观测数据,确定暗能量的状态参数。最近,Strobinsky等<sup>[14]</sup>利用Constitution数据和SDSS BAO拟合,宣称 $\Lambda$ CDM模型在大于 $1\sigma$ 与观测数据不合,并认为宇宙在红移 $z \approx 0.3$ 左右开始加速减慢。而文献<sup>[15]</sup>分析认为暗能量可能是在红移 $z \approx 0.33$ 左右突然出现的。可是其它的分析<sup>[16-17]</sup>,利用 $SN_c$  BAO和CMB等其它数据,并没有发现明显的动力学暗能量证据。这些分析或多或少依赖于模型,或者暗能

量的参数化。最近利用红移分并方法,在每一个并中,暗能量的状态参数为一常数,利用  $SN_e$ 、BAO、CMB 和哈勃常数的观测数据,没有发现明显的动力学暗能量证据<sup>[18]</sup>。即  $\Lambda$ CDM 模型与现在最新的观测数据仍是相符的。当然,这些数据也没有排除许多动力学暗能量模型。

#### 四、国内工作及展望

我国科学家积极参与了暗物质探测的众多国际合作组如 ATIC、DAMA、XENON 和 KIMS 等并做出了重要成果。比如 ATIC 国际合作组中以中国科学院紫金山天文台为第一完成单位完成的对宇宙线高能正负电子能谱的观测结果曾引起全世界的广泛关注,被美国和欧洲物理学会评选为 2008 年度世界物理学领域十大重大研究进展之一。利用国内四川锦屏山得天独厚的地理优势,我国可望建成世界上最深的地下暗物质探测实验室。在 973 项目的支持下,我国科学家将对通过卫星观测暗物质空间信号、地下吨级液氙探测器探测暗物质等探测方案展开预研,同时也将研究和发展的暗物质探测技术,如晶体、液氙和气泡室等新技术。

在国内许多理论物理学家的有力推动下,中科院理论物理所、高能物理所和北京大学等研究组积极开展这方面的理论研究。在暗物质模型构造、针对 PAMELA 和 ATIC 实验结果的唯象研究等方面做出了有一定国际影响的工作。比如提出了具有宇称和电荷自发对称破缺并带有规范单态粒子的左右对称模型,发现这两种基本对称性可以使单态粒子自动成为稳定的暗物质粒子,该模型可以自然解释暗物质丰度并预言了暗物质与核子的弹性散射截面可以接近当前实验给出的上限。

在暗能量的理论研究方面,国内研究人员也做出了具有国际影响力的研究成果。国内已经形成了一支以中青年为主的具有国际竞争力的、非常活跃的创新研究队伍。在宇宙学的相关课题上开展了富有成效的研究,取得了许多具有国际影响力的研究成果。特别在暗能量这一课题上,成绩尤为显著,提出了富有创新精神的暗能量模型,引导了国际上大量的后续研究,形成了暗能量研究的新方向。这些工作为进一步开展研究,取得突破性进展奠定了良好的基础。

未来暗物质研究必将从天文观测转向对暗物质

粒子性质的实验探测。从现在开始 10—20 年将是暗物质探测最重要和关键的时期。在暗物质、暗能量这一重大前沿研究领域,我国科学家应该有所作为。通过我国科学家齐心协力、优势互补、通力合作、努力拼搏,在这一重大前沿领域应该能够获得跨越式的发展。

#### 参考文献

- [ 1 ] Kowalski M, et al Improved cosmological constraints from new, old and combined supernova datasets *Astrophys J*, 2008, 686: 749
- [ 2 ] Zwicky F. Spectral displacement of extra galactic nebulae *Helv. Phys. Acta*, 1933, 6, 110
- [ 3 ] Rubin V C, Ford W K. Rotation of the andromeda nebula from a spectroscopic survey of emission regions *Astrophys J*, 1970, 159: 379
- [ 4 ] Bertone G, Hooper D, Silk J Particle dark matter: evidence, candidates and constraints *Phys Rept*, 2005, 405: 279—390
- [ 5 ] Guo W L, Wang L M, Wu Y L, et al Gauge singlet dark matter in a left-right symmetric model with spontaneous CP violation *Phys. Rev. D*, 2009, 79: 055015
- [ 6 ] Guo W L, Wu Y L, Zhou Y F. Exploration of decaying dark matter in a left-right symmetric model *Phys. Rev. D*, 2010, 81, 075014
- [ 7 ] Adriani et al An anomalous positron abundance in cosmic rays with energies 1.5–100 GeV. *Nature* 2009, 458: 607—609
- [ 8 ] Chang J et al An excess of cosmic ray electrons at energies of 300–800 GeV. *Nature* 2008, 456: 362—365
- [ 9 ] Abdo A A, et al Measurement of the cosmic ray  $e^+$  plus  $e^-$  spectrum from 20 GeV to 1 TeV with the fermi large area telescope *Phys. Rev. Lett* 2009, 102: 181101
- [ 10 ] Ahmed Z, et al CDM S-II results from the final exposure of the CDM S-II experiment *arXiv*: 0912.3592
- [ 11 ] Riess A G, et al Observational evidence from supernovae for an accelerating universe and a cosmological constant *Astron. J.*, 1998, 116: 1009
- [ 12 ] Perlmutter S et al Measurements of Omega and Lambda from 42 high redshift supernovae *Astrophys. J.*, 1999, 517: 565
- [ 13 ] Cai R G. On the theoretical models of dark energy. *High Energy Phys. & Nucl. Phys.*, 2007, 31, 827—834
- [ 14 ] Shafielo Sahnii V, Starobinsky A. Is cosmic acceleration slowing down? *Phys. Rev. D*, 2009, 80: 101301
- [ 15 ] Huang Q G, Li M, Li X D, Wang S. Fitting the constitution type Ia supernova data with the redshift binned parametrization method. *Phys. Rev. D.*, 2009, 80: 083515
- [ 16 ] Zhao G B, Zhang X. Probing dark energy dynamics from current and future cosmological observations *Phys. Rev. D*, 2010, 81, 043518

- [17] Sena P, et al. No evidence for dark energy dynamics from a global analysis of cosmological data. *Phys. Rev. D*, 2009, 80, 121302.
- [18] Gong Y G, Cai R G, Chen Y, Zhu ZH. Observational constraint on dynamical evolution of dark energy. *JCAP*, 2010, 01, 019.

## Recent Progresses in the Studies of Dark Matter and Dark Energy

Cai Ronggen, Zhou Yufeng

Institute of Theoretical Physics (ITP), CAS, Beijing 100190

A brief history of the discovery of dark matter and dark energy is introduced. The current statuses of the dark matter experimental searches and theoretical studies, as well as the models for dark energy are reviewed. Finally, the progresses and prospects in dark matter and dark energy studies in China are given.

**Keywords** dark matter, dark energy

## 科学人

### 5位大陆学者获得国际科技奖励

中国工程院院士、国家杂交水稻工程技术研究中心主任袁隆平教授因对中国以及全世界粮食安全做出的重大贡献被法国政府授予“法兰西共和国最高农业成就勋章”。

清华大学电机系何金良教授因在雷电防护和接地系统暂态特性方面做出的贡献被 IEEE 电磁兼容学会 (IEEE EMC Society) 授予技术成就奖。

2010年3月3—5日在德国 GSI 亥姆霍兹重离子研究中心举行的核物理、核天体物理和核反应 (NUSTAR) 年会上, 北京大学物理学院孟杰教授因在核结构和核天体物理理论方面做出的突出贡献, 获 2010 年度 GENCO 学会奖。

北京大学工学院袁明武教授因在计算力学领域做出的杰出贡献, 被国际计算力学协会 (IACM) 授予 2010 年度 IACM 奖。

2010年4月25—29日在美国举办的第16届国际选煤大会上, 中国工程院院士、中国矿业大学教授陈清如被授予“终身成就奖”。



子弹星系团碰撞后暗物质与气体发生分离，被认为是支持暗物质的有力证据之一

(参见本期“暗物质与暗能量研究新进展”一文)

小小——世界上第一只出生的iPS细胞四倍体补偿小鼠

(参见本期“通过四倍体补偿实验证明iPS细胞具有发育全能性”一文)



新型碳纳米管增强复合材料的结构和碳纳米管网络与高分子之间的耦合示意图

(参见本期“高强度复合纤维——利用连续网络结构与分子尺度耦合发挥碳纳米管的真正潜力”一文)

