

高红移 a 型超新星的搜寻和宇宙的加速膨胀^{*}

邓祖淦

(中国科学技术大学研究生院 北京 100039)

邹振隆

(中国科学院北京天文台 北京 100012)

摘要 观测研究表明, a 型超新星可以作为宇宙距离测量的标准光源. 天文学家还从近邻 a 型超新星光变的研究中得出可靠地确定其最高光度的方法. 在此基础上, 国际上两个相互竞争的研究集体经过几年的不懈努力, 对高红移超新星进行了搜寻和观测. 他们各自独立地得到了相同的结论: 宇宙学常数 > 0 , 宇宙在加速膨胀. 这项研究结果将对宇宙学, 星系和大尺度结构的形成和演化的研究产生重要影响. 更重要的是, 它把所谓“宇宙学常数问题”提到我们面前, 不再能够回避. 而这一问题的解决将有可能带来基础研究上的重大突破.

关键词 超新星, 宇宙学常数, 宇宙学

HIGH- z a SUPERNOVAE SEARCH AND THE ACCELERATION OF THE COSMIC EXPANSION

Deng Zugan

(Graduate School, University of Science and Technology of China, Beijing 100039)

Zou Zhenlong

(Beijing Astronomical Observatory, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012)

Abstract Observations of nearby supernovae show that supernovae a can be taken as standard sources for the measurement of distance on cosmological scales. Survey of the nearby supernovae a provides a reliable method to determine the peak luminosity of supernovae a with their light curves. Based on this, two rival international groups began to search for and observe high- z supernovae a several years ago. In 1998, both groups came up with the same conclusion: the cosmological constant > 0 , or the expansion of the universe is accelerating. This result has an important bearing on cosmology, the formation and evolution of the galaxy and the large-scale structure. More importantly, it brought forward the “problem of the cosmological constant”, not to be evaded any more. Solution of this issue may lead to a major breakthrough in the fundamental research.

Key words supernova, cosmological constant, cosmology

20 世纪是以相对论和量子论的发现为标志的人类科学和技术飞速进步的世纪. 本世纪以来, 主要基于这两项基础理论, 带动了技术的飞速进步, 从而把人类从电气时代推进到原子时代, 又进而发展到了信息时代. 与此同时, 人们对自然、人类和社会的了解也有了前所

未有的发展和深化. 然而, 不少人也许还并不熟悉本世纪众多科学发展中的一项最重要而有深

^{*} 国家自然科学基金资助项目

1999-01-26 收到初稿, 1999-04-02 修回

远意义的进展,那就是宇宙学在科学发展的大潮中已成为一门崭新的以观测和现代科学理论为基础的自然科学分支之一.观测宇宙学的重要问题之一是确定宇宙膨胀的速率和速率的变化.它们既与宇宙中物质和能量的数量有关,也和宇宙中所包含的物质和能量的种类密切相关.

几年以前,国际上一些天文学家和物理学家联合组成了两个相互竞争的研究集体,每个研究集体都包括了来自多个国家的科学家.他们在研究中使用了当今国际上最先进的设备,如10m级的Keck望远镜和哈勃空间望远镜等.经过几年的努力,这两个研究集体分别从自己的观测和分析出发,得到了同样的结果.他们的结果都显示:宇宙膨胀在加速而不是如原来大多数人认为的那样是减速的.去年底,美国《科学》周刊将这项研究成果评为1998年十大科学进展之首.本文将对此项进展的取得及其意义作一简要的评述.

1 膨胀的宇宙

宇宙学成为一门实测的自然科学始于本世纪早期.美国天文学家哈勃(Hubble)用当时最大的威耳逊山天文台的直径为2.5m的望远镜对星云进行观测并证明:我们所在的银河系之外还存在着许许多多和银河系类似的由众多恒星组成的星系,这些星系形成了组成宇宙的基本单元.这一发现奠定了现代星系和观测宇宙学研究的基础.观测表明,我们接收到的这些星系发出的光谱与实验室获得的光谱相比都朝长波方向移动(这种波长向长波端的移动叫做红移),哈勃还从观测发现红移的数值与星系的距离成比例.今天,人们将红移与距离的这种关系称为哈勃定律.它表明所有银河之外的星系均在离开银河系退行,而且越远的星系退行的速度越大.这就给出了一幅宇宙在均匀膨胀的图像.红移的数值给出了从光发出到被我们接收的这段时间内宇宙膨胀的定量估计.

爱因斯坦的广义相对论在应用到宇宙学

时,也得到宇宙的膨胀解.此后的宇宙微波背景辐射和轻元素丰度的观测进一步支持了这种膨胀宇宙的基本图像.今天的宇宙学模型正是在这样的观测和理论基础上建立和发展起来的.

宇宙中存在物质,物质间存在着万有引力.当宇宙膨胀时,物质间的引力作用应当使它的膨胀速度减缓.也就是说,宇宙膨胀应当是减速的.在宇宙学中有两个常数,即哈勃常数 H_0 和宇宙减速因子 q_0 .前者表示现在宇宙膨胀的速度而后者表示宇宙膨胀的减速.当 $q_0 > 0$ 时宇宙膨胀是减速的,反之则是加速的.

2 宇宙学常数

爱因斯坦很快就认识到当把广义相对论方程应用到物质均匀分布的宇宙时必然会得出演化的(或膨胀的)解.但是,在本世纪初,膨胀的宇宙很难以被人接受.这导致他在场方程中加入了一包含常数的项^[1],现在将它称作宇宙学项.加上宇宙学项的广义相对论方程可以得出不随时间膨胀的解.理论上也可以证明加上宇宙学项后的方程是广义相对论的最普遍的方程.但是,哈勃从观测上证实了宇宙是处在不断的膨胀中.而且,理论上又可以证明有宇宙学常数的方程所得到的静态解是不稳定的.所以,在那之后,宇宙学常数一度并不受到人们充分的注意.虽然,曾有过几次由于理论上或观测上的原因对 Λ 存在的可能进行过讨论^[2-3].但是,由于观测上不能给出确定的证据表明 Λ 的确存在,而从理论上对 Λ 数值的估计又存在难以调和的矛盾,因而 Λ 的存在并未被普遍接受.

可以解释为某种常数的真空能量密度.常数真空能量不可能用通常实验室内的实验进行测量,但它的存在对宇宙的演化有多方面的影响.首先,它对宇宙膨胀的影响与通常物质不同,它所产生的效应类似一种排斥而不是吸引.也就是说,它倾向使宇宙的膨胀加速.其次,它在宇宙膨胀过程中保持为常数,而不像通常物质那样,在宇宙膨胀时密度随之减小.因此,如

果宇宙中 $\rho > 0$, 且物质密度并不非常高, 这时, 在宇宙早期¹⁾, 物质密度会远远大于 ρ_0 . 因而这时宇宙的膨胀主要以物质的影响为主, 是减速的膨胀. 随着宇宙的膨胀, 物质密度将随着减小, 但是, ρ_0 的数值不变. 到了物质密度小于真空能量密度时, 宇宙的膨胀将由 Λ 所支配, 膨胀会逐渐变成加速. 其详细过程与宇宙中物质的含量和组成、 Λ 的大小等有关. 今天, 我们已经知道, ρ_0 的数值将对宇宙演化、星系和宇宙大尺度结构的形成和演化等天体物理中尚待解决的重大问题均有重要影响.

但是, 迄今为止, 对 Λ 的本质和它的数值仍然几乎一无所知. 从观测宇宙学的角度来看, 宇宙学常数不可能太大. 因为, 如果 Λ 太大, 宇宙将在很早以前就会随时间指数地膨胀. 这样, 我们今天将看不到远距离的星系. 另一方面, 从基本粒子物理可以提出各种估计 Λ 数值的方法^[4]. 从包含引力的量子场论来估计真空能量, 其所得的 Λ 的估计值比观测宇宙学预期的要大几十个量级. 这样大的差别带来了所谓“宇宙学常数问题”. 从物理学观点看来, 如宇宙学所许可的如此小的宇宙学常数 Λ 只能在理论上用某种不自然的微调才可能得到. 因此, 物理学家倾向于相信由于某种尚不知道的原因, 实际上等于 0.

3 宇宙膨胀的观测和哈勃图

从宇宙的演化了解宇宙中物质的成分以及 Λ 值的最直接的方法是测定宇宙随时间膨胀的情况. 这是由于宇宙膨胀速率的变化与宇宙物质密度、 Λ 等有关. 显然, 只有在观测到很远的天体(它们发出的光经历了在宇宙中长时间的传播)时, 这种膨胀速率的变化才可能比较明显地表现出来. 所以, 我们必须寻找一种天体或天文现象, 它们既能发出异常强的光, 使我们能够观测到很遥远的这种天体, 又有可以测定的特征, 能用以确定他们发出的光的强度.

我们知道, 一个发光强度(在天文学中称为光度)一定的光源, 在离我们近一些的地方看起

来更亮, 而在远处看上去则暗一些(在天文学中将观测到的明暗称为视亮度或亮度). 如果我们知道光源的光度, 我们就可以从观测到的亮度确定出光源到我们的距离. 容易证明, 在不膨胀的欧氏空间中, 这一比值与光源到观测者距离的平方成反比. 哈勃正是利用这种方法测定了银河系外星系的距离. 他当时所用的天体是造父变星. 这种星的光度呈现周期性变化. 通过对银河系内造父变星的研究发现, 它们的最高光度与其光变的周期有很好的关系, 通过这种关系可以可靠地确定造父变星的最高光度. 哈勃正是在邻近星系中识别出了造父变星并通过其光变周期确定他们的最高光度, 将其与观测得到的视亮度比较而得出了这些星所在星系的距离.

造父变星难以用于在宇宙尺度上进行距离测量, 因为它们的光度不够高. 目前, 即使用哈勃空间望远镜进行观测, 我们也只能利用造父变星测定与我们相距约数千万光年的星系的距离. 而要确定宇宙膨胀随时间变化, 我们需要观测与我们相距约百亿光年或更遥远的天体. 天文学家曾经试图用类星体、星系团中最亮的星系等光度比造父变星更高的天体来确定宇宙尺度上的距离, 但是由于这些天体的光度弥散大而又无可靠的校准办法, 而且, 它们还很可能存在着明显的演化, 因此这些有很高光度的天体很难用于宇宙尺度上距离的测量.

观测宇宙膨胀速率的变化基本方法是测量非常遥远的某种天体, 这些天体的光度可以可靠地确定. 从观测上我们可以测定它们的视亮度, 测定它们的红移, 从而可以知道光从它们发出到被接收这期间宇宙尺度由于膨胀增加了多少. 在膨胀的宇宙中, 视亮度与光度的比对红移的依赖和宇宙膨胀的具体情况有关. 它取决于宇宙今天的膨胀速率 H_0 、宇宙中物质的平均密度和物质的种类、 Λ 的数值和宇宙的几何等. 为此, 通常要研究极其遥远的天体光度与其亮度之比对红移的关系. 这一关系通常表示在

1) 这里所指的宇宙早期是指在暴涨以后, 或说在宇宙极早期的相变之后, 在相变期间, 真空能量是可以变化的.

所谓哈勃图上(实际上,通常使用的哈勃图是用所谓视星等与绝对星等之差对红移的关系.视星等和绝对星等是天文中常用的表示天体亮度和光度的量.他们分别与天体的亮度和光度倒数的对数成比例).比较哈勃图上的观测结果与不同宇宙模型的预言,我们可以对各种宇宙学模型加以判断和取舍.

4 I 型超新星

超新星是恒星在其演化终结阶段出现的一种剧烈爆发现象.早在 30 年代,巴德(Baade)就提出超新星有可能作为一种宇宙测量的标准光源^[5].直到 80 年代后期,天文学家逐步认识了超新星的分类并对一系列近邻超新星进行了仔细研究之后,才使这一想法有可能成为现实.天文学家发现,在各种超新星中,有一种被分类为 I 型的超新星,它们的主要特征是光谱中缺少氢谱线但却有强的 Si 吸收线.这些特征使人们有理由认为, I 型超新星是由于白矮星吸积其伴星的物质在其质量达到钱德拉塞卡极限^[2]时,出现不稳定并发生热核爆发所形成的.

从观测研究中还发现, I 型超新星是迄今为止可用以探测宇宙的最佳标准光源^[6,7].这是由于,它们极其明亮,在其光度最高时会达到太阳光度的数十亿到上百亿倍,因此,我们能够观测到非常遥远的、宇宙尺度上的这种超新星的爆发.更重要的是,它们的最大光度弥散较小.不仅如此,从对近邻的,即可以用其他观测方法可靠地确定出其距离的 I 型超新星的系统的观测和研究中,天文学家发现,可以从它们的光变和光谱特征很好地确定其最高光度^[8,9].图 1(a)是 Calan/ Tololo 低红移超新星巡天所给出的近邻 I 型超新星的光变曲线.从图中可以看出,尽管有一定的弥散,但是峰值光度高的 I 型超新星其光度在达到峰值后随时间变暗较缓,而光度较低者则下降较快.对数十颗近邻 I 型超新星的观测表明,除去极少数在颜色和光谱上反常者外,从最大亮度和 15 天后的亮度的变化可以很好地确定出他们的最高光

度.据此,可以用不同颜色的观测和在其亮度接近峰值时的光谱很好地判断出正常的 I 型超新星,并从它们的光变曲线可靠地确定它们的最高光度.

这样,即使不同 I 型超新星的光度有所不同,我们也可以精确地确定出其最高光度.图 1(b)给出了经过改正后 I 型超新星的光变曲线,从图中可以看出,在进行改正后,所有 I 型超新星的光变曲线非常一致.因此,它可以被作为很好的探测宇宙尺度的标准光源.

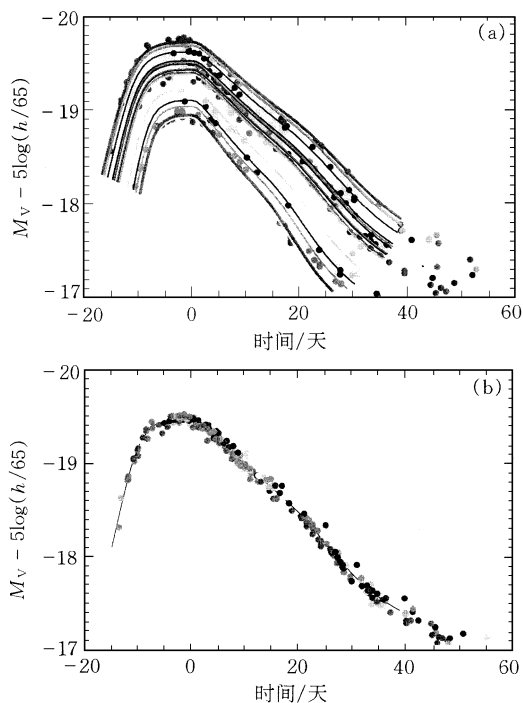


图 1 近邻 I 型超新星观测结果

- (a) 观测到的 I 型超新星的光变.纵坐标中 M_V 是超新星的绝对星等, $h = 100/H_0$.由图可以看出,峰值光度较高的 I 型超新星光度下降较缓,光度较低的下降较快;
- (b) 在利用峰值光度与光度下降快慢的关系对 I 型超新星的光变进行改正后所得的 I 型超新星光变曲线的模板(曲线)和在对图(a)中的 I 型超新星进行改正后所得到的数据.可以看出,改正后所有 I 型超新星的光变曲线的一致性非常好

2) 钱德拉塞卡在本世纪 30 年代指出:白矮星的质量大于约 1.4 太阳质量时,将由于相对论效应而出现不稳定.由此可以得出白矮星质量的上限.这一理论预言为以后的观测所证实.这一质量上限被称为钱德拉塞卡极限.

5 高红移 Ia 型超新星巡天

基于这些理由,从 90 年代以来,两个目的在对高红移,即非常遥远的 Ia 型超新星进行搜寻和观测,并以此确定宇宙学参数的多国合作集体相继形成.他们分别是超新星宇宙学计划(Supernova Cosmology Project,或简称 SCP)和高红移超新星搜寻队(High-z Supernova Search Team).这两个研究集体在近几年内利用目前世界上最好的设备,对高红移 Ia 型超新星进行观测,对宇宙膨胀进行了系统的、坚持不懈的研究.他们的工作方案接近相同.1998 年,这两个研究集体相继独立地发表了他们在各自观测资料基础上的研究成果^[10,11].他们都得出了相同的结论:宇宙在加速膨胀.

简要说来,他们利用 Ia 型超新星对宇宙膨胀进行探测的想法和方案如下:他们的研究都是在近邻 Ia 型超新星巡天基础之上,如我们在上节所述,这保证了从超新星爆发时观测到的光变特征能够清晰地判断出他们的最高光度;他们研究计划中的核心部分是搜寻高红移的超新星.为了精确地确定出这些超新星的最高光度,他们设计的观测方案要尽可能在达到最高光度前就发现它们.他们选择了 50—100 个天区,每个天区中有近千个高红移的星系.每月农历月初用 Cerro Tololo 的 4m 望远镜对所有这些视场进行两天观测.3 个星期后再对同样天区进行又一次观测,并立即将两次所得的几十万高红移星系的观测结果进行比较.如果发现任何一个星系的亮度有变化,就立即对其进行后续观测.一般情况下,可能发现一二十颗 Ia 型超新星.而这些超新星还在变亮,因为 Ia 型超新星光度的上升时间比 3 个星期要长.

Ia 型超新星一经发现立即要对它进行后续观测,这包括连续两个月用在 CTIO, WIYN 和 INT 等天文台的 4m 级地面望远镜,对红移非常高的超新星甚至用哈勃空间望远镜对其进行两个以上颜色的测光;用 10m 级的 Keck 望远镜在其最大亮度时进行光谱观测.通过这些

观测既可以从所得超新星候选体中可靠地选出正常的 Ia 型超新星,又提供了准确测定其最高光度的光变数据.同时,还要利用 Keck 或空间望远镜测定超新星所在星系的红移.在一年后,还要对超新星所在的星系进行测光,以保证能够准确地扣除星系而得到超新星的精确的亮度.

由于高红移超新星的光在从发出到被接收经历了很长的时间,在这段时间内宇宙已经发生了明显的膨胀.我们接收到的光比之超新星所发射出的光的波长有明显的红移.此外,由于同样原因,观测到的超新星的光变时标也有相应的膨胀.要利用测光和光变曲线准确地测定超新星的最高光度必须首先对此进行修正.可以由测定到的超新星的红移进行这些修正.他们的观测表明,在进行这些修正后所得的超新星的光变曲线和近邻的正常 Ia 型超新星很好地符合.将改正后的光变曲线与从近邻超新星所得的模板[图 1(b)]比较,就可以可靠地确定出超新星的最高光度.观测表明,经过这些修正后所得的高红移 Ia 型超新星的光变与近邻 Ia 型超新星一致.这种对红移进行改正后光变时标的一致性本身证明了红移的宇宙学性质,而不是由于所谓光子老化等其他原因.

对红移较低的 Ia 型超新星的观测结果虽然还不能得出宇宙膨胀速度的变化,却可以用以确定宇宙膨胀的速度.从中低红移超新星的观测,可得出哈勃常数 H_0 的数值.从 Ia 型超新星的观测所得的 H_0 约为 $65 \pm 3 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$,与用其他方法得出的结果一致.

6 H_0 和加速膨胀宇宙的观测证据

按照前面所述的方法,我们可以确定出每个超新星的最高光度与观测到的最大亮度之比(或视星等与绝对星等之差).在对许多 Ia 型超新星进行这样的观测后,我们可以得到利用 Ia 型超新星作为标准光源而得出的哈勃图.

图 2 是从 40 多颗红移在 0.4—0.83 的 Ia 型超新星所得到的哈勃图.在低红移处的点是

物理

由 Calan/ Tololo 低红移超新星巡天所给的结果. 不同的宇宙模型在此图上表现出不同的变化情况. 图 2 中的虚线是 $\Omega_M + \Omega_\Lambda = 1$ 且 $\Omega_M = 1$ 的各种模型所给的理论曲线, 其中 Ω_M 和 Ω_Λ 的取值为: $(\Omega_M, \Omega_\Lambda) = (0, 1), (0.5, 0.5), (1.5, -0.5)$; 而实线是 $\Omega_M = 0$ 的一些宇宙膨胀模型给出的曲线, Ω_M 和 Ω_Λ 的取值为: $(\Omega_M, \Omega_\Lambda) = (0, 0), (1, 0), (2, 0)$. 可以看出, 只有 $\Omega_M = 0$ 的模型与观测结果相符.

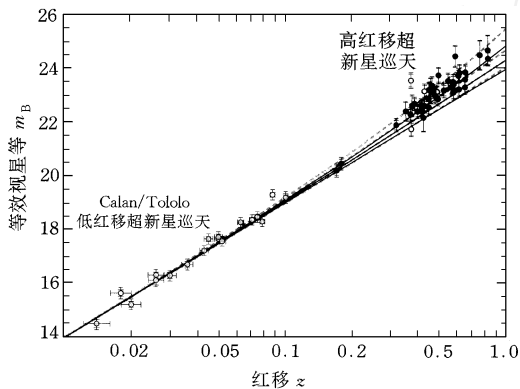


图 2 SCP 从 42 颗高红移 a 型超新星的观测得出的哈勃图

(红移在 0.1 以内的 18 颗低红移超新星的资料来自 Calan/ Tololo 超新星巡天. 纵坐标是等效视星等, 即经过改正后的视星等)

通常我们用无量纲参数 Ω_M 和 Ω_Λ 来表示宇宙中物质密度和真空能量密度. 它们的定义是: $\Omega_M = \rho_M / \rho_0$, 即今天宇宙中物质密度 ρ_M 与临界密度 ρ_0 之比, $\rho_0 = 3 H_0^2 / 8 \pi G$; $\Omega_\Lambda = \rho_\Lambda / (3 H_0^2)$, 代表宇宙中真空能量密度. 从图 2 可以看出, 在红移较低时, 各种模型和观测结果都很好一致. 只有在高红移下不同模型的差别才明显地表现出来. 与观测结果最佳符合的宇宙模型是 $\Omega_M > 0$ 的宇宙模型. 从目前的观测结果得到, 今天 Ω_M 相应的密度大约是物质密度的一倍. 因此, 今天宇宙膨胀将不是减速而是加速膨胀的.

图 3 更清楚地显示了观测和统计分析结果. 它是从对 40 多个 a 型超新星观测结果的分析得出的在 $\Omega_M - \Omega_\Lambda$ 图上的最佳拟合置信区. 图中给出了不同宇宙学模型所在位置或区域.

从 $\Omega_M = 0, \Omega_\Lambda = 1$ 到右下方的直线将空间分为封闭、平直和开放三部分. 通过 $\Omega_M = 1$ 的向右的实线将平面分成上下两部分. 它们分别对应于无限膨胀的宇宙和膨胀后最终还会又塌缩回来的宇宙. 可以看出, 当 Ω_Λ 不等于零时, 宇宙的平直与否不再完全确定其是否会无限膨胀了. 我们还可以看出, 只要 Ω_Λ 稍大于零, 它的效应就会使得宇宙变为无限膨胀, 其原因我们已经在前面谈到过. 图中左上角和右下方所画出的区域是没有大爆炸或太年轻的宇宙, 它们都不太像真实可能的情况.

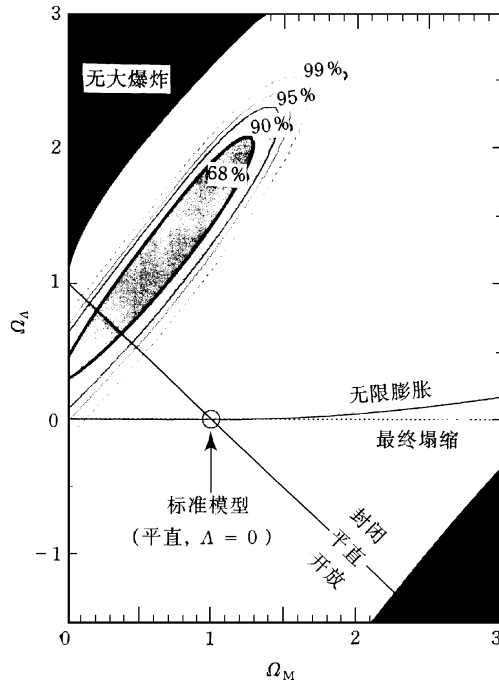


图 3 $\Omega_M - \Omega_\Lambda$ 平面上的最佳拟合置信区

图 3 中还给出了置信水平为 68%、90%、95% 和 99% 的等置信水平线. 从图 3 可以看出, 观测结果表明, 在很高置信水平上有 $\Omega_\Lambda > 0$, 并排除了所谓“标准宇宙模型”, 即 $\Omega_M = 0, \Omega_\Lambda = 1$ 的宇宙 (图中用圆圈标出了通常的标准宇宙模型所在的位置). 同时, 观测也在很高置信水平上表明 $\Omega_M > 0$. 如果我们取恒值图所围成区域的中心来估计宇宙参数, 可以得出, $\Omega_M \cong 0.7, \Omega_\Lambda \cong 0.3$. 因此, 这两个小组的观测结果表明, 宇宙是加速膨胀的、低物质密度的宇宙.

这两个联合研究组仍在继续他们的研究. 预期在未来几年内, 他们会观测到更多的高红移超新星. 对 Ia 型超新星爆发的机制以及是否存在演化和由于其所在星系中物质产生的红化等所导致的系统误差进行更仔细的研究, 必然会进一步使目前所得的初步结果更加准确. 高红移 Ia 型超新星的观测与未来几年中即将启动的大型项目, 如即将发射的 MAP 和 Planck 卫星对微波背景辐射的观测结果, SLOAN, 2df 和我国的 LAMOST 等大视场星系红移巡天的结果相结合, 必然会使宇宙学中的一系列重要参数的精确确定向前迈进一大步.

7 宇宙学常数 Ω_0 所带来的冲击

Ω_0 的结果和宇宙的加速膨胀无论对宇宙学还是物理学都将带来巨大的冲击. 首先, 它把宇宙学常数问题提到天体物理学家和理论物理学家的面前, 使得我们不再能够回避所谓“宇宙学常数问题”. 我们必须面对这一矛盾. 而在基础理论中重要矛盾的解决必然会带来科学上的突破. 我们必须回答诸如 Ω_0 究竟是什么, 它与目前粒子物理的超统一理论有什么关系, 它为什么有这样的值等一系列的问题. 根据科学发展的历史, 重要的观测结果总是伴随着重要的理论上的突破. 在这点上, Ia 型超新星的搜寻和研究无疑会是今后若干年内倍受关注的重要课题之一.

其次, 如我们已经提到的, 由于星系和宇宙大尺度结构的形成和演化都和宇宙的膨胀密切相关. 因此, 我们必须要对 $\Omega_0 > 0$ 对这些过程所带来的影响进行分析, 并与观测进行比较.

尽管我国没有如 Keck 和 Hubble 望远镜那样的大型设备, 但我国天文学家早就关注着超新星的研究. 自 90 年代以来, 利用我国现有的中小型设备对超新星进行了测光、光谱等多方面的研究. 尤其是中国科学院北京天文台兴隆观测站的 60cm 望远镜低红移超新星巡天计划, 在不到 3 年时间内已发现 30 个超新星, 其中 14 个为 Ia 型超新星. 这些超新星的大部分是

亮度在极大前发现的, 在近邻超新星发现方面处于国际前列. 有一批对象还进行了详细的测光和光谱演化的观测, 对近邻 Ia 型超新星的研究作出了重要的贡献.

这项研究也对我国开展基础研究提供了某些启示. 其一, 基础研究和高新技术间存在着密不可分的关系, 最新的基础研究结果必然大多数是利用最新的高技术获得的. 而基础研究的发展必然会对技术发展提出更高的要求. 许多事实已经证明, 基础研究的发展是高新技术发展的重要推动力. 在本项成果的研究中, 两个研究集体均大量使用了代表目前最高技术的 Keck 和 HST 这样的设备就是一个例子. 其二, 现代科学的发展已经在许多领域上以集团合作取代了手工作坊似的个体研究. 高红移超新星研究的两个联合体每个均有 20 位以上的高水平科学家参加, 他们来自 10 余个著名大学和研究所. 这些科学家经历了近 10 年的合作才取得了初步的重要结果. 今天的能够对全局有所影响的研究工作, 特别是在实验和观测研究上, 往往都是集体合作完成的. 鼓励和促使在我国的科研领域形成这样的既有长远目标又能保持长期合作研究的集体, 而不是使他们再回到个体研究的状态, 才有可能把我国的基础研究以更高速度推向更高水平.

参 考 文 献

- [1] Einstein A. Sitz. Preuss. Akad. D. Wiss., 1917, 1917:142
- [2] Petrosian V, Salpeter E E, Szekeres P. *Astrophys. J.*, 1967, 147:1222
- [3] Gunn J E, Yinsley B M. *Nature*, 1975, 257:454
- [4] Carroll S M, Press W H, Turner E L. *Ann. Rev. Astron. & Astrophys.*, 1992, 30:499
- [5] Baade. *ApJ*, 1938, 88:285
- [6] Perlmutter S *et al.* *Nature*, 1998, 391:51
- [7] Riess A G *et al.* *Astrophys. J.*, in press, (astro-ph/9805201), 1998
- [8] Hamuy M *et al.* *Astron. J.*, 1996, 112:2408
- [9] Riess A G *et al.* *Astron. J.*, in press, (astro-ph/9810291), 1999
- [10] Perlmutter S *et al.* *Astrophys. J.*, in press, astro-ph/9812133, 1999
- [11] Leibundgut B *et al.* astro-ph/9812042, 1999