

# 高角分辨率光学干涉测量 在天体物理中的应用

王正明 徐家岩

(中国科学院陕西天文台)

## 提 要

光学高分辨率干涉测量和成图在天体物理研究方面将具有广阔的应用前景,其中包括恒星物理、双星和多星系统、类星体和星系核、原行星和拱星壳等的研究。美国 Mark III 恒星干涉仪和红外干涉仪 ISI 已经在双星和拱星壳的观测方面取得了令人鼓舞的观测成果。正在研制中的天体测量空间干涉仪 POINTS 将会为造父视差的测定、双星系统恒星质量的确定、银河系结构和质量分布的研究等带来难以估量的效益。本文仅就上述内容作一简要介绍。

## 一、序 言

自从 1970 年 Labeyrie 对用望远镜拍摄的天体像中存在的斑点结构作了成功的解释以后<sup>[1]</sup>, 过去 20 年中, 不仅斑点干涉技术和与此有关的图像复原技术得到了飞速的发展。随着天文学家们对角分辨率提出的更高的要求, 现代 Michelson 光学干涉仪(即长基线光干涉仪)也陆续诞生和发展。一批过去用传统技术无法得到的高角分辨率观测结果已经在天体物理研究中起到了举足轻重的作用。根据现在已经建成的地面长基线光干涉仪和正在设计建造或计划中的地面和空间的(可见光和红外波段)长基线干涉仪计划, 我们可以展望到 20 世纪末、21 世纪初高角分辨率的观测结果将会为天体物理研究打开一个新的局面。

长基线光干涉测量在天体物理方面的应用, 从测量方法上来说可分为两大类: 第一类是天体物理方法, 也就是根据干涉图形和复相干度(条纹的振幅和相位)与待测天体表面强度分布之间的傅里叶变换关系, 通过测定条纹可见度和条纹相位, 或者直接从条纹可见度提取天体物理信息, 或者通过像的重构(即成图)来复原出天体表面亮度分布的像。以此来研究天体的形状、精细结构, 通过观测实践来验证或建立天体的结构与演化模型; 第二类是用天体测量方法获得的观测资料来进行天体物理研究, 它包括通过干涉仪的高角分辨率来测定天体的位置、自行、视差, 以研究天体的分布、质量、运动速度和轨道等。

本文分别介绍上述两类方法的应用前景和国际上已经获得的一些令人鼓舞的成果。

## 二、干涉测量的天体物理方法及其应用

从波的干涉原理可知, 一个点源发出的光波经过两个相距为  $d$  (基线) 的通光孔径及一系列光学系统(干涉仪本身)后结合在一起. 假设此时两束光强度相等为  $I_0$ , 在接收点的探测器上得到的光强度为

$$I = I_0(1 + \cos \Phi) = I_0 \left[ 1 + \cos \frac{2\pi s_0}{\lambda} \right] \quad (1)$$

式中  $s_0$  是两束光的光程差. 当光源是由许许多多多个点源组成的具有一定大小和形状的天体时,  $I_0$  为光源表面的光强度分布的函数, 即  $I_0 = I_0(\xi, \eta)$ ,  $\xi, \eta$  为天体表面点的坐标, 以角秒为单位, 以光源中心为坐标原点. 在探测器上得到的光强度为光源表面所有点源起作用的总和. 为简便起见, 我们以与基线  $d$  相平行的线光源为例, 则:

$$I = \int_{-w/2}^{w/2} I_0(\xi) \left[ 1 + \cos \frac{2\pi(s_0 + \xi d)}{\lambda} \right] d\xi \quad (2)$$

$s_0$  为光源中心点发出的光经干涉仪两臂后, 两束光在结合时的光程差, 光源中心点以外各点形成的光程差为  $(s_0 + \xi d)$ ,  $w$  为线光源长度, 将(2)式展开得

$$I = \int_{-w/2}^{w/2} I_0(\xi) d\xi + \int_{-w/2}^{w/2} I_0(\xi) \left[ \cos \frac{2\pi s_0}{\lambda} \cos \frac{2\pi \xi d}{\lambda} - \sin \frac{2\pi s_0}{\lambda} \sin \frac{2\pi \xi d}{\lambda} \right] d\xi \quad (3)$$

设

$$\left. \begin{aligned} V \cos \alpha &= \int_{-w/2}^{w/2} I_0(\xi) \cos \frac{2\pi \xi d}{\lambda} d\xi \\ V \sin \alpha &= \int_{-w/2}^{w/2} I_0(\xi) \sin \frac{2\pi \xi d}{\lambda} d\xi \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$I_c = \int_{-w/2}^{w/2} I_0(\xi) d\xi \quad (5)$$

$I_c$  是常数项, 为光源表面上所有点的光强度在检测器上不相干迭加得到的总强度, 则

$$I = I_c + V \cos \left( \frac{2\pi s_0}{\lambda} + \alpha \right) \quad (6)$$

(6)式和(1)式相比较可知, 尽管光源的强度分布随  $\xi$  而变, 但在接收点上得到的干涉像的强度分布的空间频率(条纹周期)与点光源产生的条纹空间频率一致, 只是当光源为非点源时在干涉像中产生的复相干强度为:

$$V e^{-i\alpha} = V \cos \alpha - i V \sin \alpha = \int_{-w/2}^{w/2} I_0(\xi) \exp \left( -i \frac{2\pi \xi d}{\lambda} \right) d\xi \quad (7)$$

若把(7)式的积分限扩大到  $(-\infty, +\infty)$ ,  $I_0(\xi)$  在  $\left(-\frac{w}{2}, \frac{w}{2}\right)$  域内不为零, 则  $V e^{-i\alpha}$  和  $I_0(\xi)$  很明显是一个傅里叶变换对. 实际上天体并非线光源, 但我们可把它分成一条条与基线平行的线光源, (4)式再对  $\eta$  方向(与  $\xi$  垂直方向)积分即可, (6)式的形式是不变的. 光学综合孔径就是通过不同方向、不同长度的基线对同一个源进行观测, 由实测的一系列  $V e^{-i\alpha}$  作傅里叶反变换得到天体的光强度分布  $I_0(\xi, \eta)$ , 通过计算机作图像处理, 就可以复原出天体表面亮度分布的像. 因此长基线的光学干涉阵可以用极高的角分辨率得到天体结构的细节, 在天体

物理研究中具有广阔的应用前景。

### 1. 综合孔径成图<sup>[2-6]</sup>

#### (1) 高分辨率成图在恒星物理方面研究的应用

当今人们对于许多有关恒星物理的现象和过程,即恒星的形成、演化过程,诸如由引力收缩形成星际物质云(原恒星),继而形成主序前星(PMS star),主序星,主序后星,一直到白矮星的演化过程,或者大质量恒星跳过 PMS 演化阶段,直接跃变到主序阶段,又或者质量更大( $>8M_{\odot}$ )的主序后星演化终止于一个超新星事件等等,已经有了一致的定性的认识。但是由于两个主要原因,使这些定性的认识尚不能得到统一的定量的分析。原因之一是用现在的数学方法和计算机还不足以对演化的某些阶段给出很好的模型;原因之二是由于在恒星演化的各个阶段都与质量损失(恒星风或密近双星的质量流)有密切的关系,而在现阶段有关质量损失(质量交换)的细节还有很大的不确定性,而且对质量损失的机制认识或者不清楚,或者存在很大的分歧。

除此之外,对恒星磁场的认识也还不足。恒星表层的磁场会引起“恒星的活动”,因而对恒星的结构和演化也会产生很大的影响。迄今为止我们对恒星表面活动区的范围、几何形状以及性质了解得极少。

如果有了高角分辨率成图的手段,我们就会获得与上述现象有关的各种新的信息,从而可对有关恒星结构和演化的问题取得一致的认识和了解。

#### (i) 原恒星

由于自转和可能的动态磁场,原恒星的几何形状可能会受到很强的影响,一般预计为轴对称的,而其结构可能更复杂。目前对原恒星性质的了解还很不够,通过流量和光谱的观测结果仍不能给出一致的认识。红外斑点干涉测量已在原恒星成图方面迈出了第一步,得到了其亮度分布的一些启示,但要获得原恒星几何结构方面的可靠信息,尚需要高角分辨率的成图结果。

#### (ii) 主序前星的拱星壳

与原恒星密切相关的是在 PMS 星周围观测到的冷的延伸壳,这很可能是原恒星原先最外层的残留物。虽然分光观测,例如 Krautter 1986 给出了 Th 28 的双极质量流和喷流的图形,可以说明 PMS 星周围拱星物质分布的轴对称性质,但是只有用高分辨率成图才能证实目前有关 PMS 星壳层的理论模型。

许多人认为 PMS 星的拱星壳有可能是行星系统的前身,即所谓的原行星。这些研究将有助于了解行星和低质量恒星的伴星的形成过程和条件。目前用 2.7mm 的毫米波干涉测量能达到的分辨率仅为  $6''$ , 而一个和太阳系大小相当(100AU)的系统,在 150pc 距离上的圆面的角直径为  $0''.6$ , 要想分辨清其结构细节,角分辨率至少要  $0''.06$ 。而目前红外斑点测量最好的分辨率约为  $0''.14(3.5\mu, 5m)$ 。在 VLT 的干涉测量成图能够成为现实之后,将比用目前红外干涉测量的角分辨率来研究金牛 T 型星好 30 倍,这样可以直接研究行星形成过程和对类似于太阳系的行星系统的早期演化进行直接观测。

#### (iii) 恒星风和密近双星物质流的研究

密近双星系统显示出各种复杂的现象,包括潮汐畸变、两子星的物质充满它们的洛希瓣

而导致的物质交流、以物质流的形式形成的拱星或拱双星系统带有的壳层、星盘和整个质量损失等种种尚不清楚的现象。用高角分辨率成图可以对上述现象作详细的研究。

目前恒星的质量损失率的经验值通常是根据恒星风的吸收线轮廓和恒星风的红外及射电辐射来确定的, 或者是把这些资料结合起来进行研究的。但是所有这些推导都是以风流的球对称性为假设的。用直接成图来检验恒星风的几何形状, 显然会使我们推论的质量损失率更为可靠。此外, 通过成图来推论恒星风的密度随半径下降的情况, 也会有助于改进我们对质量损失机制本身的了解。

#### (iv) 恒星本身表面结构的研究

如果能以好于 0.1 个恒星直径的分辨率来成图, 可直接观测到恒星黑子、恒星活动区、临边昏暗、自转致昏暗、非径向振荡图形以及可能的对流现象。这种观测将大大有助于了解恒星大气和内部结构, 也会消除目前对恒星进行测光和分光观测资料解释中的模棱两可或不确定性问题。

#### (2) 用高分辨率成图来分离和证认聚星、恒星群及星团成员

大麦哲伦云 R136A 长期以来一直是人们有激烈争论的天体, 它究竟是一个单星还是聚星系统? 光谱观测的结果它被解释为一颗单星。直到 1985 年用斑点全息技术观测了 R136A 后, 才结束了这场争论, 最终证实它是一个致密的恒星群而不是以前认为的单星。最近的 HST 的观测再次证明了干涉观测所得到的结论。

R136A 是一个用来说明过去被误认为单星, 而经斑点干涉测量后证认为致密恒星群最好的例子。在离我们比较近的星群里年轻的大质量恒星中, 这种类似情况也不乏发生。如果猎户四边形(猎户星云 450pc)是处在 10kpc 的距离上, 它就不可能被分辨出单颗恒星了。对于更遥远的距离, 星群不能被分辨而被误认为是单星的可能性就大大增加。其中一个例子就是于 1986 年用 Speckle 模板技术分辨出了 NGC 3603 中 HD 97950 是一个猎户四边形型的星群。

#### (3) 高分辨率成图用于星系核和类星体的研究

##### (i) 一般星系核

在离我们最近的一些星系中曾经发现少数星系的中央区有 0.5pc 或更小的结构, 是否所有的星系中都有这种结构, 它们的特征是否随绝对光度的变化而变化, 是否随星系的不同而不同? 这种星系核结构的起源是什么, 是否起源于星系中心的宁静黑洞, 星系核中的恒星成员情况如何, 这些问题都和一般星系的形成有密切的关系。

有一种现象是在星系的自转曲线上的, 发现在靠近中央几个角秒范围内自转曲线出现陡然上升, 这说明中心区自转速度比整个星系的其余部分高得多, 也说明中央区  $M/L$  的陡增。这已在 M31, M32 和 NGC 4594 中都发现了。这中央核区的物质是否为黑洞, 是否为质量很大的高密度的且有特殊质量函数的星团? 要想清楚地认识这些问题, 而且要研究距离比 M31 大 10 倍(10Mpc)的遥远星系, 必须用长基线高角分辨率干涉仪。

另一种现象是在椭圆星系 IC 1459 的核区和其他几个椭圆星系的核区发现, 核相对于星系其他部分的恒星成员以相反的方向自转。对这个问题曾经有过两种不同的解释, 要想弄清楚这种现象发生的概率以及它们可能的变化, 就必须对不同的星系作大量观测, 尤其要观测

遥远的星系。这也要靠高角分辨率的观测。

(ii) 活动星系核和类星体

在红外区和光学范围内对 AGN 和类星体进行高分辨率观测是有广阔前景的。以光学为例：用高角分辨率在光学范围内的观测可以研究宇宙中大量的物理过程，不同的角分辨率可以研究的范围和对象也不同。

a.  $1-10^{-2}$  角秒的分辨率可以研究：

电离气体的分布(密度、丰度、速度)；

具有喷流的环绕气体的相互作用；

搜寻射电喷流的光学对应体；

基本的恒星成员。

b.  $10^{-2}-10^{-4}$  角秒的分辨率可以从事：

宽发射线区的观测；

最终的吸积盘大小的测量或双星黑洞的探测。

c.  $10^{-4}-10^{-6}$  角秒的分辨率可以探测 AGN 和类星体的紫外光谱中黑体辐射部分的光球。

(iii) 观测通过引力透镜后的类星体

由于沿着类星体光线方向附近的恒星、星系和星系中的星团引力透镜的作用，类星体的光线会发生偏转。用长基线光干涉仪测量类星体，可以研究类星体的光度函数，尤其是亮端是如何受引力透镜影响的(有些类星体变亮，有些则变暗)；因为引力透镜的作用情况与星光路径上质量存在情况有关，因此用经过引力透镜后的类星体成像可以研究有关宇宙质量密度的信息。 $1-10^{-6}$  角秒的分辨率可以用于目前所感兴趣的多种天体物理问题的研究。

## 2. 条纹可见度曲线和天体物理信息的关系<sup>[7]</sup>

### (1) 角直径的测定

许多天体物理研究课题可以把天体当作一个亮度均匀分布或中心对称分布的圆面来看待，这样就可以使问题大大简化。(7)式对  $\xi, \eta$  作二重积分， $I_0(\xi, \eta)$  为圆面(半径为  $\theta$ ) 内光强度均匀分布或中心对称，可得  $\alpha = 0$ ，条纹可见度  $V$  为

$$V = \frac{2J_1(x)^2}{x} \quad (8)$$

式中  $J_1(x)$  是一阶一类贝塞尔函数， $x = \pi\theta d/\lambda$ ，这里  $\lambda$  为观测波长。因此，由条纹可见度的观测就可以求得恒星的角直径，从而进行很多天体物理课题的研究。

### (i) 单星的辐射流量 $F$ 和有效温度 $T_e$ 。

有了恒星的角大小  $\theta$  和地面上接收到的绝对辐射  $f$ ，由

$$F = 4f/\theta^2 = \sigma \cdot T_e^4 \quad (9)$$

就可以求得恒星表面的绝对辐射流量  $F$  和有效温度  $T_e$ 。由此可以建立恒星的有效温度尺度，加上距离的测定还可建立  $\lg L - \lg T$  的基本赫罗图。通过把绝对辐射流量  $F_\lambda$  和以相同有效温度预报的大气模型相比较，就可以把严格的检验应用于恒星的大气模型。

## (ii) 造父变星和 Mira 变星的观测

a. 造父距离: 造父变星周光关系的零点是一个很重要的问题。用干涉仪测定一系列造父变星的角直径, 把它们的平均角直径和脉动时角直径的视变化与分光观测的视向速度资料相结合, 可得到造父变星的距离。

b. 造父变星的性质: 用干涉仪测定造父变星的角直径, 并与测光、分光资料相结合, 可以同时得到造父变星的温度、光度、线半径等等, 从而为研究脉动机制提供实测资料。

c. Mira 变星: 在连续谱和在分子带及发射线内用干涉仪来观测 Mira 变星, 在它们的整个或部分脉动周期内观测, 就可确定与 Mira 变星脉动模式密切相关的有效温度值, 并由此推导 Mira 变星的脉动质量和与其密切相关的其他天体的物理性质。

## (iii) 恒星的线半径和光度

显而易见, 对已知视差的恒星确定了它的角直径就得到它的线半径。对双谱分光双星确定了视向速度、角距离和主星角半径后, 即可求得主星的线半径  $R$ 。并进而求得其光度:

$$L = 4\pi R^2 T^4 \quad (10)$$

## (iv) 其他研究

通过条纹可见度的观测, 还可以进行发射线星的研究及恒星自转、临边昏暗和星际消光的研究。

## (2) 双星的研究

双星可以看作两个相隔一定距离的亮度都是均匀分布的圆面, 由(7)式可得

$$V^2 = \frac{1}{(1+\beta)^2} \left[ \beta^2 V_1^2(d) + V_2^2(d) + 2\beta V_1(d)V_2(d) \cos\left(\frac{2\pi\theta_s d \cos\psi}{\lambda}\right) \right] \quad (11)$$

式中  $\beta$  为两子星的亮度比,  $\theta_s$  为两子星连线在天球上的投影,  $\psi$  为两子星连线方向与基线方向的夹角。由此可进行以下研究。

## (i) 双星轨道要素、距离、质量等物理参数的确定

由干涉仪观测能确定双星的全部七个轨道要素(双谱分光双星仅能得其中的4个)。与双谱分光双星的观测相结合, 可得每个子星的质量和光度以及它们的距离, 若干涉仪能分辨一个或两个子星的光球, 可得子星的线半径。用这种方法确定的距离, 比三角视差法(包括由伊巴谷卫星)测定的距离来得远, 而且相对其他方法而言还不受消光的影响。

## (ii) 新双星的普查

Speckle 技术已重新分辨了许多过去不知的双星或星群, 全天究竟有多少双星系统, 这种统计对于恒星形成和宇宙寿命的研究以及对于具有两可性现象的澄清都有重要意义。

(iii) Mark III 研究双星的最新成果<sup>[8]</sup>

Mark III 在 1988 年 9—11 月共用 44 个夜晚观测了  $\beta$  Ari, 又于 1989 年 3—12 月中的 47 个夜晚观测双星, 重点观测了  $\beta$  Tri。用 Mark III 得到的  $\beta$  Ari 的结果列于下表。

干涉仪观测  $\beta$  Ari 的重要意义在于: 由于确定了这两个子星的质量, 因而在经验的质光关系图中, 在权重较大的点子很少的部位上, 这两颗星为之补充了两个很重要的点。

## (3) 恒星尘埃壳的观测与研究

红外观测, 特别是红外长基线干涉观测是研究恒星尘埃壳的最有力手段。对少数尘埃壳和

轨道要素	Mark II 的结果	分光的结果
$P(\text{day})$	$106.952 \pm 0.077$	$106.9954 \pm 0.0005$
$T(\text{JD})$	$2447377.63 \pm 0.40$	$2444274.276 \pm 0.009$
$e_1$	$0.900 \pm 0.008$	$0.895 \pm 0.003$
$a''(\text{mas})$	$37.02 \pm 0.23$	—
$i(^{\circ})$	$46.07 \pm 0.57$	—
$\omega(^{\circ})$	$35.02 \pm 0.93$	$24.5 \pm 2.0$
$\Omega(^{\circ})$	$74.94 \pm 0.80$	—
$M_1$	$(2.34 \pm 0.10)M_{\odot}$	
$M_2$	$(1.34 \pm 0.07)M_{\odot}$	
距 离	$(18.87 \pm 0.61) \text{ pc}$	

无尘埃壳的天体，用干涉仪观测所得的条纹可见度曲线是大不相同的。根据简化了的辐射转移模型，采取一系列不同的参数，从数学上可以给出在尘埃壳大小、温度、光学深度不同情况下条纹可见度的理论曲线，与实际观测到的可见度曲线相拟合，可以确定恒星尘埃壳的各种参数。

ISI<sup>[8]</sup>用它的4—32米的可变基线于1988年9月和1989年4、6、7、10—12月对将近20个红外源进行了观测，重点观测了 $\alpha \text{ Ori}$ ，IRC+10216和 $\circ \text{ Cet}$ 。

对 $\alpha \text{ Ori}$ 的观测与用 $0''.05$ 直径的均匀圆面作模型来计算的可见度曲线非常接近，说明这颗红巨星主要是光球部分，只有很薄的尘埃壳。

IRC+10216是一颗长周期变星，用ISI分别在它光度极大和极小时进行观测。在 $11\mu\text{m}$ 波长上与ISI条纹可见度的观测资料拟合得很好的理论模型，是一个球状尘埃壳，里面恒星光球本身的角半径为 $0''.020$ ，在光度极大和极小时温度分别为2200K和1850K，对应的尘埃壳的内半径分别为2.5和1.7个恒星半径。在黑体特征的假设下，尘埃壳内半径的温度为1400K。在尘埃壳的光学深度取为接近1时(对 $11\mu$ )，所得到的拟合是最佳的。

$\circ \text{ Cet}$ 是一颗富氧长周期变星，用与IRC+10216同样的观测和分析方法得出它在光度极大时的理论模型参数，其结果与IRC+10216的结果同列于下表中。

源 名	恒星光球半径	光球温度	尘埃壳内半径	内半径处温度	光学深度(内半径处)
$\circ \text{ Cet}$	$r_0=0''.020$	2800 K	$2.5r_0$	1770 K	0.5
IRC+10216	$r_0=0''.020$	2200 K 1850 K	$2.5r_0$ $1.7r_0$	1400 K	1

### 三、POINTS计划及其对天体物理研究的意义

POINTS是美国SAO等单位正在试验和研制的一个空间干涉仪<sup>[10]</sup>，它的极限星等为15.5—17 mag，10min的观测可将一对相距 $90^{\circ}$ 的10 mag星位置测定到 $5\mu\text{as}$ 的精度。在10年中，它计划建立含有300颗恒星、5颗类星体的惯性参考系，其位置、视差和自行

不确定性分别为  $0.6\mu\text{as}$ 、 $0.4\mu\text{as}$  和  $0.4\mu\text{as/yr}$ 。同时相对于此参考系还将观测几千颗星的位置、视差和自行, 精度分别为几  $\mu\text{as}$  和几  $\mu\text{as/yr}$ 。

POINTS 高精度的视差、位置和自行结果对天体物理研究有十分重要的作用。

## 1. 河外天文学

### (1) 确定河外星系精确距离的问题

确定河外星系的精确距离需要用造父变星的周光关系作为一级距离指标, 目前用作河外星系距离校正的造父变星约有 20 个, 它们的距离都在 2kpc 以上, 没有一个是用三角视差测定过的, 可靠性仅为 15%。POINTS 可把它们之间的距离测定到 1% 的精度, 而且待测的造父变星范围会更大。

### (2) 中距离河外星系距离尺度的改进

中距离河外星系(如 LMC、SMC)的距离是由天琴 RR 型变星的周光关系确定的, 目前确定天琴 RR 星绝对星等的不确定性为 0.2 mag。用 POINTS 观测几百个中距离河外星系中的天琴 RR 星的视差, 可大大改进它的周光关系的零点。

### (3) 类星体距离的检验

在 POINTS 10 年的观测时间里, 它能以比标准偏差小几倍的误差测定出大于  $5\mu\text{as/yr}$  的相距张角甚大的类星体间的角速度, 按一般预计, 如果类星体距离是宇宙学距离, 那么这角速度就是跨越宇宙的相当于相对论的相对速度。

迄今为止, 天文学家对于类星体是否处于宇宙学距离还未取得一致的认识。如果用 POINTS 在 10 年内观测一组张角比较大的类星体的位置, 因为 POINTS 具有  $\mu\text{as/yr}$  级的测量精度, 应该可以检测出  $5\mu\text{as/yr}$  量级的类星体的切向角速度。用 POINTS 可以在  $5\mu\text{as}$  的精度上测量出类星体的绝对视差, 因而也就得到了类星体的距离。这距离应该和大多数天文学家所预料的类星体的距离是宇宙学距离的分析相吻合。在这种距离上的  $5\mu\text{as/yr}$  量级的角速度也就是相对论中的穿越宇宙的相对速度。

### (4) 精确确定近距星系的自行及其内部星团的自行

由分光得到的 M31 在天空平面中的视旋转速度为  $100\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $35\text{mas/yr}$ ), 其中众多的球状星团的速度弥散为  $130\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ 。如果能精确测定 M31 的自行和它内部星团的自行, 则 M31 的距离可精确得到。可用 POINTS 来确定它们的自行, 若精度达到  $0.4\mu\text{as/yr}$ , 则可以 1% 的精度来确定 M31 和 M33 的距离。

## 2. 银河系结构和星团的研究

### (1) 旋臂结构的研究

用 POINTS 直接测量在旋臂上的巨大的、非常年轻的恒星, 如 OB 星, W-R 星等, 可以把旋臂结构描绘得非常清楚, 不仅是一小段, 而且可以看清整个旋臂。同时还容易检测出旋涡星系的密度波理论所预计的恒星的运动。

### (2) 银河系的质量分布和总质量的研究

银河系的自转曲线是研究银河系质量分布的一个重要方面。银河系的自转曲线有待于进一步的高精度观测来证实。

Oort 和 Bahcall 把太阳附近银道面以上约 1000 颗恒星分布的密度和高度作了统计, 以



此来研究银河系的质量分布。POINTS 的观测可把这种研究对象的分布范围和研究对象的样本大大地扩大。

用 POINTS 来测定以 10kpc 为半径的球内天体的空间速度, 距离精度可达 1%—10%, 横向速度精度可优于  $0.2\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ , 这种测量是以 POINTS 的坐标框架为参考的, 因此是和类星体相关联的。由此精确地得到的不同银心距离上的真实空间速度, 可以用于估计银河系质量随半径的分布和估计银晕的速度椭球; 用遥远的恒星和星团的真实空间速度来确定它们在银河系内的轨道, 可以对银晕和银盘中的恒星和星团数目进行统计。

银河系的总质量或许可以根据银河系中逃逸速度的局部值来加以确定。对这些具有极高的逃逸速度的恒星来说, 要确定它们的切向速度和空间速度必须知道距离。由于这些恒星大约位于 300pc 处, 目前地面视差观测难以涉及。Humphreys 还认为确定银河系总质量并检验银河系中是否有一块很大的“暗物质”, 最好的途径是测定大、小麦哲伦云的空间速度。如果没有暗物质, 大麦哲伦云应以  $15\text{mas}/\text{yr}$  的自行向东移动, 如果有, 应移动得更快。这就需要 POINTS 的观测。

### (3) 银河系中星团的研究

测定球状星团空间速度的分布, 可以研究银河系的势函数。通过球状星团速度的确定来确定球状星团的轨道, 对银河系的形成理论有重要意义。POINTS 的观测可以给出球状星团的视差和内部的自行弥散度, 可以对星团的演化和动力学状态进行研究。同样对疏散星团也可以作更进一步的研究, 由于范围的扩大, 所研究的样本也会扩大很多。

### (4) 银河系天体的研究

质量是恒星最重要的物理量之一。POINTS 的观测可以给出目视双星的精确距离和两子星的轨道, 从而得出双星两子星各自的质量, 而不是两者之和。

高精度的观测可以检验广义相对论所预见的光线经过大质量天体附近发生的偏转。

POINTS 的观测, 特别是对星团中双星的观测, 可以把年龄和质光关系结合起来, 一方面更加全面地检验恒星演化模型, 另一方面在更远更宽的空间范围和光谱范围上研究恒星质量、光度、组成和年龄的关系。除了一般的恒星外, 还可以对特殊的恒星, 如像 W-R 星, 行星状星云, 银道面上大距离恒星, 射电星和极特殊恒星( $\eta$  Car 和 Cyg X-1)等进行更详细的研究。

---

一百多年前 C. A. Young 在他的 1888 年版的教科书中说到: “恒星的直径完全是不知道的, 而且也没有任何希望去测定太阳以外任何恒星的直径。”这在当时是对的<sup>[4]</sup>。但在 100 年后的今天, 天文学家不仅得到了 100 多个恒星的直径, 而且得到了在 Young 时代尚无法预料的大量观测结果。光干涉测量的发展使我们确信, 在今后的半个世纪中, 当我们有了高角分辨率成图和天体测量结果以后, 上述所讲的许多愿望和我们目前尚不能预料的天文信息的获得, 都将成为现实。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] Labeyrie, A., in *Progress in Optics*, ed. by E. Wolf, p. 49, North-Holland (1976).
- [ 2 ] McAlister, H. A., in *Proceedings of NOAO-ESO Conference, on High-Resolution Imaging by Interferometry*, ed. by F. Merkle, p. 3, (1988).
- [ 3 ] Appenzeller, I., in *Proceedings of NOAO-ESO Conference on High-Resolution Imaging by Interferometry*, ed. by F. Merkle, p. 19, (1988).
- [ 4 ] Ulrich, M.-H., in *Proceedings of NOAO-ESO Conference on High-Resolution Imaging by Interferometry*, ed. by F. Merkle, p. 33, (1988).
- [ 5 ] Ridgway, S. T., in *Proceedings of NOAO-ESO Conference on High-Resolution Imaging by Interferometry*, ed. by F. Merkle, p. 55 (1988).
- [ 6 ] Bertout, C. and Bouvier, J., in *Proceedings of NOAO-ESO Conference on High-Resolution Imaging by Interferometry* ed. by F. Merkle, p. 69, (1988).
- [ 7 ] Davis, J. and Tango, W. J., *A Proposal by the University of Sydney for the Construction of A Very High Angular Resolution Stellar Interferometry*, Appendix B, (1986).
- [ 8 ] Pan X. P. et al., *Ap. J.*, 356 (1990). 641.
- [ 9 ] Danchi, W. C., Bester, M. et al., *SPIE Conference on the Amplitude and Intensity Spatial Interferometry*, Proceeding SPIE, 1237, (1990).
- [10] Reasenber, R. D., Babcock, J. F. et al., *A. J.*, 96 (1988), 1731.

(责任编辑 林一梅)

## The Astrophysical Applications of High Resolution Imaging by Optical Interferometry

Wang Zhengming Xu Jiayan

(*Shaanxi Astronomical Observatory, Academia Sinica*)

### Abstract

The high resolution imaging technology based on optical interferometry will open up broad prospects for researches in astrophysics. In this paper we comprehensively describe its astrophysical applications, including the studies on stellar physics, binary and multiple stars, quasars and nuclei of galaxies, protoplanetary, circumstellar shells, and et al. Mark III stellar interferometer and Infrared Spacial Interferometer (ISI) have brought a few encouraging results for binary star measurements and circumstellar shell observations. The space astrometric interferometer, POINTS, will be of inestimably benefit to the survey of Cepheid parallax, the determination of masses of stars in binary systems, the study of the Galactic structure and the mass distribution in the Galaxy, and so on. Here, we can only give a brief introduction for potential abilities of optical interferometry and synthesis apertures in the field of astrophysics.