

# 银河系中球状星团的空间运动

武振宇<sup>1,3</sup> 陈 力<sup>1,3</sup> 王家骥<sup>1,2,3</sup>

(1. 中国科学院上海天文台 上海 200030)

(2. 中国科学院光学天文联合开发实验室上海基地 上海 200030)

(3. 中国科学院国家天文观测中心 北京 100012)

## 摘 要

球状星团是银河系中最古老的天体类型之一,其累积光度很大,是银晕中重要的示踪天体。已经发现的银河系球状星团有 140 多个,其中 120 个银心距  $R < 40$  kpc 的星团已被准确地测定了视向速度。根据这些数据以及球状星团金属度的统计分析,可以把球状星团次系再进一步分成某些不同的族群。目前已经测定过绝对自行的球状星团只有 38 个。尽管这些自行的精度比视向速度和距离的精度差很多,然而,由此可以得出三维的空间速度,在统计上显露出一些很有意义的结果。Hipparcos 星表的建立,将有可能把球状星团自行的测定直接建立在这一星表所体现的国际天球参考架之上,使得对球状星团空间运动的研究具有更坚实的基础,为银河系结构和早期演化研究作出更重要的贡献。

**关键词** 球状星团:空间运动

**分类号**: P154.12

## 1 引 言

根据球状星团恒星演化的等龄线拟合结果,银河系中最老的球状星团的年龄与大爆炸宇宙学得出的宇宙年龄非常接近,差值仅为 1 Gyr 量级。根据 Hubble 空间望远镜的最新观测,对 Hubble 常数作了修正,使宇宙年龄减小了几 Gyr,但是,在球状星团恒星的演化方面,根据对恒星物理量的最新研究,把这些输入参数作了修正之后,这些恒星的年龄也减小了 20% 左右<sup>[1]</sup>。

关于银河系的形成,历史上有两种截然不同的学说。一种是由 Eggen 等人<sup>[2]</sup>在 1962 年提出的快速坍缩模型(ELS 模型)。这一学说认为,原银河系是一个大小为 100 kpc 的大气体云,它本身参加宇宙的整体膨胀,同时在自引力的作用下发生坍缩。当它的密度升高到背景密度的 5.5 倍左右时,自引力明显超过气体的内部压力,立即发生快速坍缩,并在此过程中形成球状星团和晕族场星。另一种是 Searle 等人<sup>[3]</sup>在 1978 年提出的吸积模型(SZ 模型)。这

国家自然科学基金资助项目 中国科学院天文委员会天测天力分支学科资助项目

1999-03-08 收到

一学说根据银河系中的球状星团可以分为若干运动状况和金属度不同的族群，而认为银河系的许多族群是通过吸积一些较小的伴星系形成的。这两种学说并不互相排斥。比如说，可以认为银河系先在整体上由快速坍缩形成，以后在局部上，则有对伴星系的吸积现象发生。但是，Searle 等人的吸积模型的提出主要依据之一是球状星团的运动状况。而在当时，人们还只能根据视向速度这一维数据来研究球状星团的运动，并假定了球状星团次系以及其中各个族群的速度弥散度均是各向同性的，再采用统计方法来得出某些结果。这就使得他们的结论具有某种程度的不确定性。

1996 年，Dauphole 等人<sup>[4]</sup>最先把球状星团的绝对自行引入了对球状星团运动的研究。虽然他们只使用了当时已知绝对自行的 26 个球状星团的资料，而且绝对自行测定所依据的参考系也并不一致，但仍取得了一些令人感兴趣的结果。《Hipparcos 星表》的发表，使得球状星团自行的测定可以直接建立在这一星表所体现的国际天球参考架上，使其在系统上更接近惯性参考系。1997 年，Odenkirchen 等人<sup>[5]</sup>利用他们测定的 15 个球状星团基于 Hipparcos 的绝对自行资料，计算了这些星团在银河系中的轨道，探讨了轨道参数与球状星团金属丰度以及潮汐半径的关系。Dinescu 等人<sup>[6,7]</sup>1999 年测定了 15 个南天球状星团的基于河外星系的绝对自行并整理得到了一份由 38 个已较好测定了绝对自行的球状星团组成的星表<sup>[8]</sup>，在此基础上计算了它们在银河系中的轨道运动并进一步分析了轨道参数与金属丰度的关系以及轨道运动对星团内部动力学的影响。

## 2 球状星团的视向速度及其空间运动

现在已经发现的银河系球状星团有 140 多个，其中就有 140 个银心距小于 40 kpc，且有 120 个已经准确地测定了视向速度<sup>[9]</sup>。如果假定球状星团的运动各向同性，则可以通过对这些星团视向速度的统计分析，得出某些与银河系结构和早期演化有关的结论。但是，由于实际上球状星团在银河系中的运动并非各向同性，这些结论也就带有或多或少的不确定性。

在 60 年代以前，传统的看法认为球状星团在银河系中组成了一个球状子系。但是，后来通过对其视向速度的统计研究，发现银河系中的球状星团依据它们的金属度  $[Fe/H]$  和绕银河系中心转动的速度  $V_{rot}$  至少组成晕族和盘族两个分属于不同子系的族群。Kinman 在 1959 年就已提出了上述猜想<sup>[10]</sup>。Zinn 在 1985 年<sup>[11]</sup>、Hesser 等人在 1986 年<sup>[12]</sup>、Armandroff 在 1989 年<sup>[13]</sup>，均证实了 Kinman 的猜想，并把盘族球状星团归属于厚盘（参看表 1，其中  $\sigma_{los}$  是视向速度弥散度）。

表 1 晕族球状星团和盘族球状星团的差别<sup>[13,14]</sup>

特性	晕族星团	盘族星团
分布	球状分布	扁平分布，标高 0.8 ~ 1.5 kpc
金属度	$[Fe/H] < 0.8$	$[Fe/H] > 0.8$
$V_{rot}$	$(+50 \pm 23) \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$	$(+193 \pm 29) \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$
$\sigma_{los}$	$(116 \pm 11) \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$	$(59 \pm 14) \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$
水平支	蓝水平支、天琴 RR、红水平支	只有红水平支

Odenkirchen 等人<sup>[5]</sup>1997 年利用 Harris<sup>[9]</sup> 给出的 120 个球状星团视向速度资料，重新

分析了本地静止标准 (LSR) 和球状星团的转动速度, 得到  $v_{\text{LSR}} = (+235 \pm 43)\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $V_{\text{rot}} = (+46 \pm 30)\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ . 而按金属度划分, 则得  $v_{\text{LSR}} = (+220 \pm 42)\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ , 且对  $[\text{Fe}/\text{H}] < 0.8$  (晕族星团) 有  $V_{\text{rot}} = (+19 \pm 35)\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ , 对  $[\text{Fe}/\text{H}] > 0.8$  (盘族星团) 有  $V_{\text{rot}} = (+85 \pm 35)\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ . 由于采用了更多的观测资料, 这些数据与表 1 中给出的早期研究结果有显著差距 (尤其是盘族星团), 但两个族群的差别仍然存在。

Kinman<sup>[14]</sup> 在研究晕族场星时, 发现这些恒星可以再区分为球状晕和扁平晕两个族群。球状晕恒星绕银河系中心旋转轨道的最大银面距  $|z_{\text{max}}|$  可达 10 kpc 以上, 并且逆向转动, 速度  $V_{\text{rot}}$  平均约  $-80\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ ; 而扁平晕恒星的  $|z_{\text{max}}|$  一般不超过 2.5 kpc 左右,  $V_{\text{rot}}$  平均约  $+50\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ , 系顺行。有些晕族球状星团也有逆行, 晕族球状星团是否也可以分为球状晕和扁平晕, 这是一个值得研究的问题。

球状星团年龄的弥散度一般在 1 Gyr 左右<sup>[15]</sup>。但近年发现, 有一些银心距  $R_{\text{gc}}$  大于 16 kpc 的球状星团, 比具有相近金属度的球状星团年轻 3 ~ 5 Gyr。这些球状星团有的很靠近人马矮椭球星系 (dwarf spheroidal), 因此它们很可能与这个银河系的伴星系有联系, 甚至是在银河系与这个伴星系发生密近相互作用时被银河系吸积形成的<sup>[16]</sup>。由于这些球状星团都很暗, 尚难获得它们的运动学数据。

根据近年获得的这些研究结果, Hesser<sup>[17]</sup> 提出了一种复合的银河系形成的模型。这一复合模型认为,  $R_{\text{gc}}$  在约小于 8 kpc 的范围内, 原银河系按照 ELS 模型, 在几亿年内快速坍缩, 形成晕、核球和盘。而  $R_{\text{gc}}$  在此范围以外, 则 SZ 模型起一定的作用, 即原银河系对外围物质团块的俘获、吸积和吞并, 在某种程度上, 影响着晕中天体的形成。

### 3 银河系引力势模型与球状星团轨道的数值计算

要计算球状星团在银河系内的运动轨道, 必须先取定银河系的引力势, 也就是需确定银河系中质量的分布模型。为了减少数值计算, 这种模型都是大大简化了的, 并且采用解析的形式。因为已知球状星团绝对对自行的准确度很低, 球状星团轨道计算的主要误差来自于绝对自行误差, 而受银河系引力势模型差别的影响相对来说较小, 所以上述简化不会使基本的结论有显著变化。

银河系引力势模型主要的观测约束有: 银河系自转曲线、在太阳位置处的垂直力、本地物质密度及 Oort 常数、银晕物质的延伸尺度等。

银河系的自转曲线, 在太阳的银心距范围之内现已知道得很清楚, 然而在这一范围之外, 曲线的特征长期以来一直在讨论中。不过现已承认, 在很远距离处, 这一曲线是平坦的或者略有上升<sup>[18]</sup>。Oort<sup>[19]</sup> 在 1960 年发表的关于太阳位置处的垂直力  $K_z$  的工作在许多模型中得到应用。目前大部分模型采用 Oort<sup>[19]</sup> 的本地物质密度值  $\rho_0 = 0.15M_{\odot}\text{pc}^{-3}$ 。由于 Oort 常数的误差较大, 其在模型拟合过程中所起的约束作用并不明显。如果有更加精确的本地约束资料可以利用, 对于模型中某些参数的拟合是很有帮助的。

最简单的银河系引力势模型采用等温球的形式<sup>[20]</sup>。早期的球状星团轨道参数计算就是用的这种模型<sup>[21]</sup>。这种模型可以通过公式推导直接得出计算各种轨道参数要用的解析表达式, 不必借助数值方法。Odenkirchen 等人<sup>[5]</sup> 在 1997 年, 用这种模型来确定不同银晕延伸范围取值对球状星团轨道参数的影响。他们比较了由此得到的球状星团远银心距 (apogalactic

distance) $R_a$ , 结果表明只要取  $R_{\text{halo}}$  大于 30 kpc ( $R_{\text{halo}}$  为模型中的晕半径, 在此半径内银晕质量随  $R$  成正比地增加, 直到  $R_{\text{halo}}$ ), 在他们研究的 15 个球状星团中, 除了两个星团之外, 得出的远银心距几乎不再变化。

Allen 和 Martos 在 1986 年发表的论文<sup>[22]</sup>中, 以自转曲线、垂直力  $K_z$  及在 53 kpc 处的速度值 (由 Caldwell 及 Ostriker<sup>[23]</sup> 在 1981 年根据 Hartwick 和 Sargent 在 1978 年<sup>[24]</sup> 给出的数据导出) 为约束条件, 得出了用于轨道计算的三子系引力势模型 (AM86)。它由一个以点质量代表的核球, 一个 Ollongren<sup>[25]</sup> 型的盘, 以及一个大质量的球形晕组成。这一模型引力势的表达式完全解析, 但其选用的盘模型使得  $K_z$  在  $z$  方向的变化曲线具有一个不真实的肩, 并且假定了晕在 100 kpc 处截止。

Allen 和 Santillan<sup>[26]</sup> 于 1991 年对 AM86 模型作了改进 (下称 AS91 模型)。新的模型使用 Miyamoto 和 Nagai<sup>[27]</sup> 球对称的 Plummer<sup>[28]</sup> 球代替了点质量的核球模型, 并用 Miyamoto 和 Nagai<sup>[27]</sup> 推广后的轴对称 Kuzmin<sup>[29]</sup> 盘代替了 Ollongren 盘, 保留了 AM86 中晕的形式。改进后的模型更加逼真。

Dauphole 和 Colin<sup>[30]</sup> 于 1995 年以球状星团的银心距为晕延伸尺度的约束条件, 得到了一个新的模型 (DC95)。该模型的核球及晕均采用球对称的 Plummer<sup>[28]</sup> 球, 盘则与 AS91 中一样, 采用推广后的轴对称 Kuzmin<sup>[29]</sup> 盘。这个模型根据在离银心 40 kpc 到大、小麦哲伦云之间球状星团的分布有一个明显的缺口, 认为晕的延伸范围应当将球状星团的银心距约束在 40 kpc 以内。

AM86、AS91、DC95 等引力势模型具有以下几个共同特点: (1) 静态的, (2) 非球形的, (3) 有一与银河系的南北轴重合的旋转对称轴, (4) 相对银道面对称。因此, 使用以上模型进行轨道数值计算, 有以下共同的特点: (1) 只有两个经典的运动积分, 即能量  $E$  和角动量的  $z$  分量  $J_z$ ; (2) 若固定  $J_z$  的绝对值, 则定义  $\Phi_{\text{eff}} = \Phi + J_z^2/2\tilde{\omega}^2$ , 它有最小值  $E_{\text{min}}$ , 若限制  $E$  的值在  $E_{\text{min}} < E < 0$  范围内, 则子午面 ( $\tilde{\omega}$  和  $z$  组成的平面) 内的运动被限制在闭合曲线  $\Phi_{\text{eff}} = E$  内; (3) 球状星团在轨道上绕  $z$  轴旋转方向不变, 并由  $J_z$  的符号决定; (4)  $J$  绕  $z$  轴的进动方向总是与球状星团在轨道上绕  $z$  轴运动的方向相反; (5) 在且仅在轨道与银道面相交处 ( $z = 0$ )  $J$  的绝对值取局部极大值, 在且仅在银心距  $R$  的方向于子午面内与轨道相切处,  $J$  的绝对值取局部极小值 (此时必有  $z \neq 0$ )。

在银河系引力势模型取定之后, 为了计算球状星团的轨道, 还需把球状星团在日心坐标系中的距离、视向速度和绝对自行, 转换到银心坐标系下的三维位置和速度分量, 作为数值计算的初始条件。这些初始条件从理论上说应该参照银河系静止标准 (GSR)。这就需要用到本地静止标准参加银河系自转的速度 ( $v_{\text{LSR}}$ )、太阳的银心距  $R_{\odot}$  和太阳在银心坐标系中相对于 GSR 的运动速度分量。这些数据虽然也有一定程度的不确定性, 但对球状星团轨道计算结果的影响, 比绝对自行误差带来的不确定性小。

目前, 在球状星团的位置、距离、视向速度和绝对自行这些观测量中, 绝对自行的测量精确度对轨道计算结果可靠性的影响最大。这是因为球状星团的距离一般都很远, 绝对自行  $\pm 1 \text{ mas}\cdot\text{yr}^{-1}$  的误差值在 10 kpc 处就会产生约  $\pm 50 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$  的速度偏差, 这与球状星团空间运动的速度已属同一数量级。相对而言, 视向速度的准确度已达  $\pm 1 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ , 距离的相对准确度一般亦好于  $\pm 10\%$ 。

一般而言, 测定绝对自行的方法有三种: 使用经典参考系、使用场星并对太阳运动和银

河系自转作适当假定、使用河外天体。使用经典参考系来测定球状星团绝对自行, 由于经典参考系与惯性系的要求差距甚远, 因此意义不大。使用场星来测定球状星团的绝对自行, 涉及场星自行统计分布的特性以及对太阳运动和银河系自转所作的假设, 往往与真正的惯性系之间也有较大的系统差。现在普遍认为, 构造一个惯性参考架最准确的方法是利用河外天体。近十多年来, 利用地面观测资料测定球状星团参照于河外星系背景的自行, 取得了某些进展, 可是, 其准确度仍不够高。这是因为, 为了达到高测量精度, 要求使用长焦距的望远镜拍摄的底片; 可是, 为了在与河外天体联系时有高的系统准确度, 底片上应该有足够多的河外天体, 于是要求使用较短焦距的大视场底片, 甚至 Schmidt 底片。显然, 两者不可兼得。

Geffert 等人<sup>[31]</sup>把用上述三种方法测定的 M15 和 M3 的绝对自行作了比较, 结果表明, 不同方法之间的差值可大到  $6 \text{ mas}\cdot\text{yr}^{-1}$ , 平均为  $\pm 2 \text{ mas}\cdot\text{yr}^{-1}$ , 与这两个星团的绝对自行是同一数量级。

Hipparcos 卫星由于极限星等的限制, 不能直接测量球状星团的自行。但是, 由 Hipparcos 建立的新的恒星参考架, 提供了一个整体上一致和刚性的参考星网络, 它的运动则与河外星系背景相联系, 其系统准确度为  $0.25 \text{ mas}\cdot\text{yr}^{-1}$ <sup>[32]</sup>。因此, Hipparcos 星表的问世, 使得球状星团绝对自行的测定有可能建立在一个统一的准惯性参考架上, 从而大大消除不同来源的绝对自行数据之间的系统差。

球状星团轨道的数值计算通常把倒推的时段取为 10 Gyr, 这里需要强调的是这一时间界限在某种程度上只是假设, 并不起根本性的作用。就球状星团的年龄而言, 目前认为其平均值为  $10 \sim 12 \text{ Gyr}$ <sup>[33,34]</sup> 或者更高 (15 Gyr 左右<sup>[35,36]</sup>)。10Gyr 只是粗略的估计, 而在这一时段内近似地把银河系认为是静态的这一条件, 也只是假设而已, 并非确定的事实。

## 4 由计算球状星团的轨道运动取得的初步结果

1996 年, Dauphole 等人<sup>[4]</sup>搜集了总共 26 个球状星团的绝对自行测定结果。他们选取基于河外校准自行的 12 个星团以及 Cudworth 和 Hanson<sup>[37]</sup>使用相对自行经改正场星平均绝对自行得到的数据, 上述两类数据均没有的个别星团, 则选取其他来源的数据。他们根据这些绝对自行数据, 用 DC95 引力势计算了其中 25 个星团的空间运动速度和轨道参数 (另外一个星团距离太远, 是否属于银河系球状星团次系尚有疑问, 因此被剔除)。Dauphole 等人<sup>[4]</sup>分析了上述 25 个星团的轨道参数与金属丰度的关系。他们的结果表明球状星团运动轨道的偏心率随着金属丰度的减小而增大; 以金属度  $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.4$  为界限, 较富金属的星团的轨道参数值都比较贫金属星团的低; 而且晕团的金属丰度随银心距的变化存在梯度, 这一点支持了压力支撑下的快速坍缩的银河系形成过程, 即 ELS 模型。

1997 年, Odenkirchen 等人<sup>[5]</sup>利用他们测定的 15 个球状星团基于 Hipparcos 的绝对自行资料, 计算了这些星团在银河系中的轨道。他们的结果表明, 相对来说, 较富金属 ( $[\text{Fe}/\text{H}] > 1.4$ ) 的星团被局限于较小的银心距内, 具有向银心集中的趋势。但同时, 贫金属星团的银心距分布弥散很大, 且没有明显的金属梯度。此外, 在 15 个星团中, 有 6 个逆行的星团, 其金属丰度  $[\text{Fe}/\text{H}]$  集中在  $-1.5$  至  $-2.0$  之间。Beers 和 Sommer-Larsen<sup>[38]</sup>对晕族场星的研究也得到相同的结果。他们的分析表明, 在金属度  $[\text{Fe}/\text{H}]$  介于  $-1.5$  至  $-2.2$  的场星样本中, 存在显著的逆向转动, 在  $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.8$  处达到最小值。这与由球状星团得到的结果相符, 说明具有逆

行轨道的球状星团在化学成份上一般地较为一致,这也许意味着逆行的星团是整个球状星团次系中具有不同起源的独立群体。Odenkirchen 等人还分析了这些球状星团的潮汐半径与轨道参数的关系。结果表明,星团的潮汐半径不仅仅与星团轨道运动的近心距有关系,还与它们各自轨道的几何特性有关。

1999年, Dinescu<sup>[8]</sup>等人整理得到了一份由38个较好地测定了绝对自行的球状星团组成的星表。这些球状星团的绝对自行资料主要来自 Cudworth 和 Hanson<sup>[37]</sup>、Odenkirchen 等人<sup>[5]</sup>和 Dinescu 等人<sup>[6,7]</sup>的研究结果,对于某个星团有多个测量结果的情况,则取结果的平均值。Dinescu<sup>[8]</sup>等人使用这一星表中的绝对自行结果计算了这些星团的轨道。他们使用了两个不同的银河系引力势模型,计算结果表明由于模型选取的不同对最后轨道参数计算结果的影响是不明显的。他们发现有三个贫金属球状星团(M10, M28和NGC6752)的运动轨道和富含金属的盘族球状星团很相似,因此,部分贫金属的内晕是较低金属度的厚盘的延续。进一步考察这几个球状星团的年龄则表明厚盘的形成与晕的形成有重合的部分。他们的计算结果还表明水平支的恒星颜色偏红的星团都具有高的轨道运动总能量和轨道偏心率,并且,这些团的远心距都大于10kpc。他们认为这些球状星团是被银河系吸积来的。他们还计算了38个球状星团的瓦解速率,结果表明,对于球状星团的瓦解速率起主导作用的是星团的内部运动,而不是取决于银河系引力势中的核球与盘的潮汐作用。

## 5 结 束 语

对于有关银河系形成的模型,球状星团运动与其金属度的关系无疑将是一个很强的约束。然而,目前具有绝对自行数据的球状星团样本仍然太少,尚不能得出明确的结论。只有在得到更多球状星团的空间运动数据之后,上述约束才能真正有所作为。可是,地面观测绝对自行的准确度受到两方面的限制:一是参考系的准确度,二是观测数据本身的精度。前者,由于 Hipparcos 卫星空间观测结果的发表,得到了根本性的改善,当然也还有待进一步提高。后者,由于目前照相底片上星像位置的测量精度已能达到底片分辨率的极限,自行测定精度的提高只有依赖于观测历元跨度的增大。现在已发表的测定结果的历元跨度已经达到50至100yr,要在此基础上把自行的精度再提高一倍,需再等待相同的年数或更长的时间。这显然不能适应研究工作的需要。要在较短的时间内更加精确地测定大量球状星团的绝对自行,这一目标的实现寄希望于将来 GAIA 和 SIM 空间望远镜的发射与使用。然而,目前仍有一些地面观测资料未得到处理(例如上海天文台的库存球状星团底片资料),尽快地依靠现代底片测量仪器和优异的 Hipparcos 星表使这些珍贵的大历元跨度资料得到充分的利用,也具有很大的意义。

另一方面,目前使用的银河系引力势模型都是静态的,实际情况并非如此,特别是银河系形成的早期。因此,在未来的银河系引力势模型的构造过程中,应当考虑如何将银河系的大尺度演化加入银河系引力势模型当中。现在,与银河系引力势模型有关的观测约束有了一些最新的观测结果,例如,本地密度值  $\rho_0$  按照 Hipparcos 星表的研究结果<sup>[39]</sup>为  $0.098 \pm 0.011 M_{\odot} \cdot \text{pc}^{-3}$ , 太阳的银心距参数也有变化。这些新的观测结果都为进一步改进目前的银河系引力势模型提供了条件,使之更加逼真地体现银河系的质量分布。

## 参 考 文 献

- 1 Cassisi S, Castellani V, Degl'Innocenti S et al. *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 1998, 129: 267
- 2 Eggen O, Lynden-Bell D, Sandage A. *Ap. J.*, 1962, 136: 762
- 3 Searle L, Zinn R. *Ap. J.*, 1978, 225: 357
- 4 Dauphole B, Geffert M, Colin J et al. *Astron. Astrophys.*, 1996, 313: 119
- 5 Odenkirchen M, Brosche P, Geffert M et al. *New Astron.*, 1997, 2: 477
- 6 Dinescu D I, Girard T M, van Altena W F et al. *A. J.*, 1997, 114: 1014
- 7 Dinescu D I, van Altena W F, Girard T M et al. *A. J.*, 1999, 117: 277
- 8 Dinescu D I, Girard T M, van Altena W F. *A. J.*, 1999, 117:1792
- 9 Harris W E. *A. J.*, 1996, 112: 1487
- 10 Kinman T D. *M.N.R.A.S.*, 1959, 119: 538
- 11 Zinn R. *Ap. J.*, 1985, 293: 42
- 12 Hesser J E, Shawl S J, Meyer J E. *Publ. Astron. Soc. Pac.*, 1986, 98: 403
- 13 Armandroff T E. *A. J.*, 1989, 97: 375
- 14 Kinman T D. In: van der Kruit P C, Gilmore G eds. *IAU Symp. No. 164: Stellar Populations, The Hague, The Netherlands, 1994, Dordrecht: Kluwer, 1995: 75*
- 15 Richer H B, Harris W E, Fahlman G G et al. *A.P.J.*, 1996, 463: 602
- 16 Fusi Pecci F, Clementini G. In: van der Kruit P C, Gilmore G eds. *IAU Symp. No. 164: Stellar Populations, The Hague, The Netherlands, 1994, Dordrecht: Kluwer, 1995: 67*
- 17 Hesser J E. In: van der Kruit P C, Gilmore G eds. *IAU Symp. No. 164: Stellar Populations, The Hague, The Netherlands, 1994, Dordrecht: Kluwer, 1995: 51*
- 18 Brand J, Blitz L. *Astron. Astrophys.*, 1993, 275: 67
- 19 Oort J H. *Bull. Astron. Inst. Netherlands*, 1960, 15: 45
- 20 Biney J, Tremaine S. *Galactic Dynamics*, Princeton, NJ: Princeton University Press, 1987, :450
- 21 Brosche P, Geffert M, Klemola A R et al. *A. J.*, 1985, 90: 2033
- 22 Allen C, Martos M A. *Rev. Mexi. Astron. Astrofis.*, 1986, 13: 137
- 23 Caldwell J A R, Ostriker J P. *Ap. J.*, 1981, 251: 61
- 24 Hartwick F D A, Sargent W L W. *Ap. J.*, 1978, 221: 512
- 25 Ollongren A. *Bull. Astron. Inst. Netherlands*, 1962, 16: 241
- 26 Allen C, Santillan A. *Rev. Mexi. Astron. Astrofis.*, 1991, 22: 255
- 27 Miyamoto M, Nagai R. *Publ. Astron. Soc. Jpn*, 1975, 27: 533
- 28 Plummer H C. *M.N.R.A.S.*, 1991, 71: 460
- 29 Kuzmin G G. *Astron. Zh.*, 1956, 33: 27
- 30 Dauphole B, Colin J. *Astron. Astrophys.*, 1995, 300: 117
- 31 Geffert M, Colin J, Le Champion J-F et al. *A. J.*, 1993, 106: 168
- 32 Kovalevsky J, Lindegren L, Johnson K J et al. *Astron. Astrophys.*, 1997, 323: 620
- 33 Shi X, Schramm D N, Dearborn D S P et al. *Comments Astrophys.*, 1995, 17: 343
- 34 Shi X. *Ap. J.*, 1995, 446: 637
- 35 Walker A R. *Ap. J.*, 1992, 390: L81
- 36 Chaboyer B. *Ap. J.*, 1995, 444: L9
- 37 Cudworth K M, Hanson R B. *A. J.*, 1993, 105: 168
- 38 Beers T C, Sommer-Larsen J. *Ap. J. Suppl. Ser.*, 1995, 96: 175
- 39 Holmberg J, Flynn C. *Astro-ph/9812404*, 1998

## The Space Motion of Globular Clusters in the Galaxy

Wu Zhenyu<sup>1,3</sup> Chen Li<sup>1,3</sup> Wang Jiaji<sup>1,2,3</sup>

(1. *Shanghai Astronomical Observatory, CAS, Shanghai 200030*

(2. *Shanghai Section, Joint Laboratory for Optical Astronomy, CAS, Shanghai 200030*)

(3. *National Astronomical Observatory, CAS, Beijing 100012*)

### Abstract

Globular clusters are ones of the most ancient objects in the Galaxy. They are very important tracers in the Galactic halo due to their high accumulated luminosity. Today, about more than 140 globular clusters in the Galaxy are observed. Radial velocities of 120 globular clusters within galactocentric distances  $R < 40\text{kpc}$  are accurately determined. These globular clusters can be subdivided into some groups based on their radial velocities and metallicities. Up to now, only 38 globular clusters' absolute proper motions are determined. The accuracy of these Values is much lower than that of the radial velocities and distances. Using these data above, however, some interesting results have been attained from the three-dimensional space motions of these globular clusters. At present, it become possible to determine the absolute proper motions of globular clusters based on the International Celestial Reference Frame, optically represented by the new reference frame established by Hipparcos. It is of importance for the study of space motions of globular clusters and of the structure and earlier evolution of the Galaxy.

**Key words** globular cluster: space motion