

# 在疏散星团 M67 中发现一颗高速星

高新华

常州大学信息科学与工程学院, 常州 213164

E-mail: xhgcczu@163.com

2013-10-07 收稿, 2013-11-13 接受

常州大学校基金(ZMF1002121)资助

**摘要** 利用 UCAC4 星表(the fourth U.S. naval observatory CCD astrograph catalog)提供的高精度自行数据分析了疏散星团 M67 的运动学性质. 分析显示有 1 颗质量约  $0.8\sim 0.9 M_{\odot}$  的小质量恒星以约  $30\pm 9$  km/s 的高速相对于星团运动. 这颗高速星距星团中心的投影距离约  $0.4$  pc, 位于星团核心区. 其速度是星团核心区理论逃逸速度的 16 倍, 处于高速逃逸状态. 该星在颜色-星等图上的位置、空间投影位置以及视向速度表明它极有可能是 M67 的成员星. 在 M67 中发现高速星对理解星团内部动力学演化以及太阳系的起源都有重要意义.

**关键词**

疏散星团  
M67  
恒星  
颜色-星等图  
自行

球状星团(globular cluster)中存在高速星(high-velocity star)已经被观测所证实<sup>[1-3]</sup>, 但高速星的加速机制还没有完全搞清楚. 目前有 2 种机制可以解释球状星团中高速星的起源, 即双星-超新星抛射(binary-supernova ejection)和动力学抛射(dynamical ejection). 双星-超新星抛射是指密近双星系统(tight binary)中的较大质量主星以超新星爆炸的形式丢失相当一部分物质, 较小质量伴星会因为所受的引力束缚突然变弱而被抛射出去<sup>[4-6]</sup>. 动力学抛射是指致密恒星系统中的双星与另一双星(或单星)通过密近交会(encounter)而得到加速<sup>[7-9]</sup>. 球状星团的 2 种抛射机制都与双星有关, 且已发现的高速星都位于球状星团核心区<sup>[1-3]</sup>.

疏散星团 M67 的恒星密度虽远不如球状星团那样致密, 但经过充分动力学弛豫后已经形成明显的核-晕结构<sup>[10,11]</sup>, 核区的双星比例非常高<sup>[12,13]</sup>. M67 中是否也存在高速星呢? 据作者所知, 还没有在疏散星团中发现高速

星的任何报道. 最近, 高新华等人<sup>[14]</sup>在研究 M67 中的红团簇巨星(red clump giant)时发现有一颗红团簇巨星以约  $18\pm 10$  km/s 的速度离开 M67, 但就速度而言这颗巨星还谈不上高速星.

我们利用 DBSCAN 聚类算法<sup>[15]</sup>从距 M67 中心  $60$  角分范围内的 3615 颗恒星中分离出 392 颗成员星. UCAC4 星表<sup>[16]</sup>中有每颗成员星的位置(RA, DEC)、自行(pmRA, pmDEC)以及 2MASS (the two micron all sky survey)<sup>[17]</sup>星等数据. 从图 1 能看出这颗高速星与星团成员星的自行分布以及空间投影位置分布. 这颗高速星的自行明显偏离成员星, 其投影位置位于星团的核心区. 从图 2 中颜色-星等图上可以看出这颗高速星刚好落在星团主序带上, 位于主序下部. 图 2 所用的数据来源于 Yadav 等人<sup>[18]</sup>提供的 589 颗成员星( $Prb>0.6$ )恒星的测光数据, 此处不用 2MASS 测光数据的原因是暗星的 2MASS 测光数据的精度不高. 此外, Yadav 等人<sup>[18]</sup>还获得过该星的高分辨率光谱, 并计

算出该星的视向速度为  $+32.534\pm 0.214$  km/s, 对应的成员概率为 0.97. 另外, Balaguer-Núñez 等人<sup>[19]</sup>也将这颗恒星列为 M67 的成员星. 综合投影位置、颜色-星等图以及视向速度, 我们认为这颗恒星是 M67 成员星的可能性非常大.

表 1 列出了这颗高速星的一些基本性质, 这颗高速星距星团中心的角距离为  $1.7$  角分, 对应的投影距离为  $0.4$  pc (M67 的距离取  $850$  pc).

根据表 1 列出的高速星的绝对自行以及 M67 的平均自行, 可以计算这颗恒星的切向速度. 考虑到 M67 已经出现了明显的质量分层, 根据星团中心区域较亮的大质量成员星计算出的平均自行能更客观地代表星团整体自行. 根据 392 颗成员星中的 135 颗  $K_s$  星等亮于  $12$  mag 的恒星, M67 在赤经、赤纬 2 个方向的平均自行和对应的误差为

$$\mu_{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^n p_{\alpha} p m_{\alpha}}{\sum_{i=1}^n p_{\alpha}}, \mu_{\delta} = \frac{\sum_{i=1}^n p_{\delta} p m_{\delta}}{\sum_{i=1}^n p_{\delta}}, \quad (1)$$

**引用格式:** 高新华. 在疏散星团 M67 中发现一颗高速星. 科学通报, 2014, 59: 319-322

Gao X H. Discovery of a high-velocity star in the open cluster M67 (in Chinese). Chin Sci Bull (Chin Ver), 2014, 59: 319-322, doi: 10.1360/972013-1110

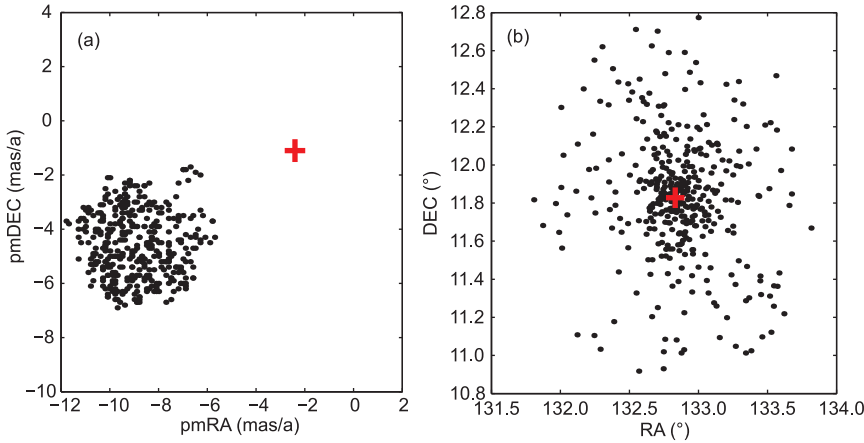


图1 (a) 392颗成员星以及高速星的自行矢量图; (b) 392颗成员星以及高速星的空间投影位置图  
红“+”代表高速星

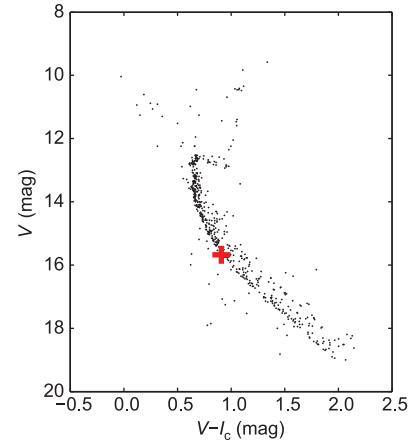


图2 根据 Yadav 等人<sup>[18]</sup>提供的 589 颗成员星的测光数据画的颜色-星等图  
红“+”代表高速星

表 1 高速星的基本性质<sup>a)</sup>

RA (J2000) (°)	DEC(J2000) (°)	pmRA (mas/a)	pmDEC (mas/a)	HRV (km/s)	R <sub>d</sub> (pc)
132.8320268	+11.8275181	-2.4±2.2	-1.1±2.3	+32.534±0.214	0.4

a) 位置(RA, DEC)、自行(pmRA, pmDEC)取自 UCAC4 星表<sup>[16]</sup>, 视向速度(HRV)取自 Yadav 等人<sup>[18]</sup>, 离星团中心的投影距离(R<sub>d</sub>)为作者计算所得

$$\sigma_{\alpha} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (pm_{ix} - \mu_{\alpha})^2}{(n-1)\sum_{i=1}^n p_{ix}}}, \sigma_{\delta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (pm_{iy} - \mu_{\delta})^2}{(n-1)\sum_{i=1}^n p_{iy}}}, \quad (2)$$

式中  $n$  是参与计算的恒星数目,  $(\mu_{\alpha}, \mu_{\delta})$  是星团在赤经、赤纬 2 个方向的平均自行,  $(pm_{ix}, pm_{iy})$  是第  $i$  颗恒星在赤经、赤纬 2 个方向的自行,  $(p_{ix}, p_{iy})$  是第  $i$  颗恒星在赤经、赤纬 2 个方向的权重(权重以恒星自行误差的平方倒数表示),  $(\sigma_{\alpha}, \sigma_{\delta})$  是星团在赤经、赤纬 2 个方向的平均自行的误差. 我们得到 M67 的平均自行  $(-9.2 \pm 0.1, -4.4 \pm 0.1)$  mas/a, 这一结果与 Bellini 等人<sup>[20]</sup>给出的结果符合得很好. 因此, 这颗高速星相对于 M67 的自行  $(6.8 \pm 2.2, 3.3 \pm 2.3)$  mas/a. 高速星在赤经、赤纬 2 个方向的切向速度为

$$\begin{aligned} V_x &= 4.74\mu_x d, \\ V_y &= 4.74\mu_y d, \\ V_t &= \sqrt{V_x^2 + V_y^2}, \end{aligned} \quad (3)$$

式中  $(V_x, V_y)$  是高速星在赤经、赤纬

2 个方向的切向速度,  $(\mu_x, \mu_y)$  是高速星在赤经、赤纬 2 个方向相对于 M67 的自行(单位: arcsec/a),  $d$  是恒星的距离(取 850 pc),  $V_t$  是总切向速度. 最后得到高速星的总切向速度为  $V_t = 30 \pm 9$  km/s.

可以通过球状恒星系统的 Plummer 模型<sup>[21]</sup> 公式

$$\begin{aligned} \Phi(r) &= -\frac{GM}{\sqrt{r^2 + a^2}}, \\ V_e(r) &= \sqrt{-2\Phi(r)}, \\ R_c &= 0.65a, \end{aligned} \quad (4)$$

粗略估算 M67 中各处逃逸速度的数值, 以判定这颗高速星是否处于逃逸状态. 式中  $G$  是万有引力常数,  $M$  是星团总质量(取  $1500 M_{\odot}$ <sup>[10]</sup>),  $\Phi(r)$  是距离星团中心  $r$  处的引力势,  $V_e(r)$  是距离星团中心  $r$  处的逃逸速度,  $R_c$  是星团核半径(取  $2.5$  pc<sup>[13]</sup>),  $a$  是常数. 根据式 (4) 可以画出逃逸速度与团心距的关系曲线(图 3). 可以看出 M67 核心处的逃逸速度大小约为  $1.85$  km/s, 这颗高速星的速度是逃逸速度的 16 倍, 显然处于高速逃逸状态.

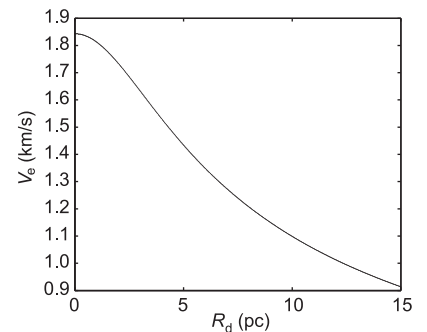


图 3 M67 中理论逃逸速度与团心距之间的关系曲线图

最后, 我们根据 Baraffe 等人<sup>[22]</sup> 给出的恒星演化模型估算了这颗高速星的质量. 根据 Yadav 等人<sup>[18]</sup> 提供的该星的  $V$  星等  $V=15.674$  mag, Taylor<sup>[23]</sup> 提供的红化数据  $E(B-V)=0.041$  mag, 距离 850 pc(绝对距离模数 9.64 mag), 年龄约 4 Ga, 得到该星的质量约为  $0.8 \sim 0.9 M_{\odot}$ .

本文在老年疏散星团 M67 中发现 1 颗质量约  $0.8 \sim 0.9 M_{\odot}$  的小质量高速星.

这颗高速星距星团中心的投影距离约 0.4 pc, 相对于星团整体的运动速度高达  $30 \pm 9$  km/s, 处于高速逃逸状态. 这颗高速星的质量比太阳小, 寿命比太阳长, 约 1 Ma 后将逃出 M67 成为 1 颗场星. 高速星已经在几个球状星团中被观测到, 但在疏散星团中还是第一次发现. 太阳被证明是 1 颗孤立的 G 矮星, 研究表明绝大多数恒星都以成团方式形成<sup>[24]</sup>, 有证据表明太阳也诞

生于星团环境<sup>[25,26]</sup>. M67 与太阳有非常相似的金属丰度和年龄, 且离太阳也比较近, 太阳相对 M67 的运动速度也与这颗高速星很接近, 本文中的高速星的发现表明太阳有可能起源于 M67, 且目前已经从中逃逸.

太阳以约 30 km/s 的速度相对于 M67 运动, 如果太阳是起源于 M67, 可以算出那次逃逸事件发生于距今约 28 Ma 前. 最近, Pichardo 等人<sup>[27]</sup>的数

值模拟结果表明: 太阳若是通过动力学抛射的方式逃逸, 太阳的行星系统会被破坏; 若 M67 与巨分子云交会(encounter), 太阳只有极低的概率逃逸. 需要指出的是 Pichardo 等人并没有考虑双星-超新星抛射的情况, 双星-超新星抛射发生时太阳沿原轨道上某点的切线方向被抛出, 这种抛射方式对太阳行星系统的影响也值得研究.

## 参考文献

- 1 Gunn J E, Griffin R F. *Astron J*, 1979, 84: 752–773
- 2 Meylan G, Dubath P, Mayor M. *Astrophys J*, 1991, 383: 587–593
- 3 Lützgendorf N, Gualandris A, Kissler-Patig M, et al. *Astron Astrophys*, 2012, 543: A82
- 4 Blaauw A. *Bull Astron Inst Neth*, 1961, 15: 265–290
- 5 Stone R C. *Astron J*, 1982, 87: 90–97
- 6 Tauris T M, Takens R J. *Astron Astrophys*, 1998, 330: 1047–1059
- 7 Hills J G. *Astron J*, 1975, 80: 809–825
- 8 Hills J G, Fullerton L W. *Astron J*, 1980, 85: 1281–1291
- 9 Leonard P J T. *Astron J*, 1991, 101: 562–571
- 10 Zhao J L, Tian K P, Su C G. *Astrophys Space Sci*, 1996, 235: 93–108
- 11 Bonatto C, Bica E. *Astron Astrophys*, 2003, 405: 525–530
- 12 Fan X, Burstein D, Chen J S, et al. *Astron J*, 1996, 112: 628
- 13 Davenport J R A, Sandquist E L. *Astrophys J*, 2010, 711: 559–572
- 14 高新华, 侯振杰, 朱家群. *科学通报*, 2013, 58: 2790–2794
- 15 Ester M, Kriegel H P, Sanders J, et al. In: *Proceedings of the Second International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 1996. 226
- 16 Zacharias N, Finch C T, Girard T M, et al. *Astron J*, 2013, 145: 44
- 17 Skrutskie M F, Cutri R M, Stiening R, et al. *Astron J*, 2006, 131: 1163–1183
- 18 Yadav R K S, Bedin L R, Piotto G, et al. *Astron Astrophys*, 2008, 484: 609–620
- 19 Balaguer-Núñez L, Galadí-Enríquez D, Jordi C. *Astron Astrophys*, 2007, 470: 585–596
- 20 Bellini A, Bedin L R, Pichardo B, et al. *Astron Astrophys*, 2010, 513: A51
- 21 Binney J, Tremaine S. *Galactic Dynamics*. 2nd ed. Princeton: Princeton University Press, 2008
- 22 Baraffe I, Chabrier G, Allard F, et al. *Astron Astrophys*, 1998, 337: 403–412
- 23 Taylor B J. *Astron J*, 2007, 133: 370–386
- 24 Lada C J, Lada E A. *Annu Rev Astron Astrophys*, 2003, 41: 57–115
- 25 Adams F C. *Annu Rev Astron Astrophys*, 2010, 48: 47–85
- 26 Zhou J L, Xie J W, Liu H G, et al. *Res Astron Astrophys*, 2012, 12: 1081–1106
- 27 Pichardo B, Moreno E, Allen C, et al. *Astron J*, 2012, 143: 73

## Discovery of a high-velocity star in the open cluster M67

GAO XinHua

School of Information Science and Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China

We report the discovery of a high-velocity star in the core of open cluster M67, located at a project distance of about 0.4 pc from the cluster center. The star has a tangential velocity of about  $30 \pm 9$  km/s relative to the cluster, corresponding to 16 times of the escape velocity in the core, which is only about 1.9 km/s. The high-velocity star is estimated to have a mass of 0.8–0.9  $M_{\odot}$ , and no evidence indicates that the star is in a binary system. The position in color-magnitude diagram, project distance from the cluster center and the radial velocity indicate that the star is very likely a member star of the cluster.

open cluster, M67, star, color-magnitude diagram, proper motion

doi: 10.1360/972013-1110

· 动态 ·

## 非晶材料未来研究问题和方向学术研讨会在北京召开

在国家自然科学基金委员会的支持和倡议下,非晶材料未来研究问题和方向学术研讨会于2013年12月15~17日在中国科学院物理研究所召开。此次会议由该所的汪卫华研究组承办,参加会议人员包括国内非晶材料和物理领域知名的专家和学者(其中包含3名国家“千人计划”专家、12名国家杰出青年科学基金获得者,2名国家“青年千人计划”入选者)以及非晶企业界代表。国家自然科学基金委员会、科学技术部以及中国科学院基础科学局的相关领导和其他领域的数位专家也莅临指导。

会议上,大家深入探讨了目前非晶材料和物理的现状和问题,在研究国内外非晶合金领域发展的状况和趋势的基础上,凝练出了非晶合金材料和物理研究的一些重要的关键科学和技术问题,包括玻璃转变和液体本质、原子尺度上的无序结构表征及描述、非晶结构与相稳定性和形变的关系、非晶形变机理、非晶材料的非晶化能力、磁性功能性非晶材料的制备等关键基础问题,以及如何结合现代新技术如3D打印来发展非晶制备技术,如何将材料基因工程技术引入非晶材料的探索发展,非晶材料高通量制备和表征技术等工程技术问题。另外,在这些问题的基础上,

还展望了未来非晶研究的重要发展方向。例如:(1)非晶材料的母相——液体研究:液体的性能是非晶本质(结构、结构和性能以及非晶稳定性)认知的关键,同时也是在非晶领域应用新型制备技术——3D打印的必要前提之一;(2)非晶结构研究:精细微结构解析并结合精密宏观测量,建立非晶结构模型和理论是非晶材料问题解决的基础;(3)非晶形变机理研究:表征和定义非晶中的流变单元,建立形变机制是非晶研究的有望取得突破的一个重要方向;(4)开发具有特殊功能特性的非晶材料及非晶材料的功能化(包括软磁、催化以及功能薄膜等)研究;(5)非晶制备新技术开发,如非晶3D打印技术,连续铸造技术等。这些方向的提出为国内非晶研究明确了将来亟需攻克的重点方向。

与会领导、专家、学者对研讨会形式给予了肯定和认可,并希望此类研讨会在今后能够定期召开,以促进非晶材料的基础研究与广阔的非晶合金应用领域有机结合,全面提高国内非晶领域的原始创新能力、推动我国非晶合金材料和物理研究迈向新的台阶。

(本刊讯)