

大麦哲伦云中年轻大质量星团 NGC1805和NGC1818的双星比例

作者：李程远

Background

双星的研究意义：

- 绝大多数恒星都在双星系统里形成；
 - 在星团中双星可以作为动力学质量分层的示踪体：
 - 双星的平均质量比单星更大，对质量分层效应更敏感；
 - 星团中心恒星致密分布，导致“软双星”瓦解，抵消部分质量分层效应。
-

研究双星比例的方法：

- 测量恒星视向速度的弥散来寻找双星：依赖于光谱分辨率，对短周期、亮源敏感
- 探测星团成员星的光变：不仅只对短周期、亮源敏感，还要求双星轨道面相对于我们的倾角较大
- 基于分析星团的CMD：效率高
 - 双星将给星团的主序带朝红端和亮端展宽

Background

星团中双星研究的重要参数：

- 双星比例：
$$f_{bin} \equiv \frac{B}{S + B + \dots}$$

S代表单星的数目而B代表双星的数目，省略号代表除了双星包含成员星大于或等于三颗的多体系统数目。

- 双星的质量比：
$$q \equiv m_2/m_1$$

其中 m_1 和 m_2 表示双星系统中质量较大的主要恒星的质量，以及质量较小的次要恒星的质量，因此 $m_2 \leq m_1$ 。

- 双星质量比的分布：
$$\frac{dN}{dq} \propto q^{-\alpha}$$

其中 $\alpha > 0$ 表示小质比双星占有所有双星的主要部分

Data

- 两个年轻大质量星团：NGC1818, NGC1805
- 波段：V - I, V
- HST/WFPC2

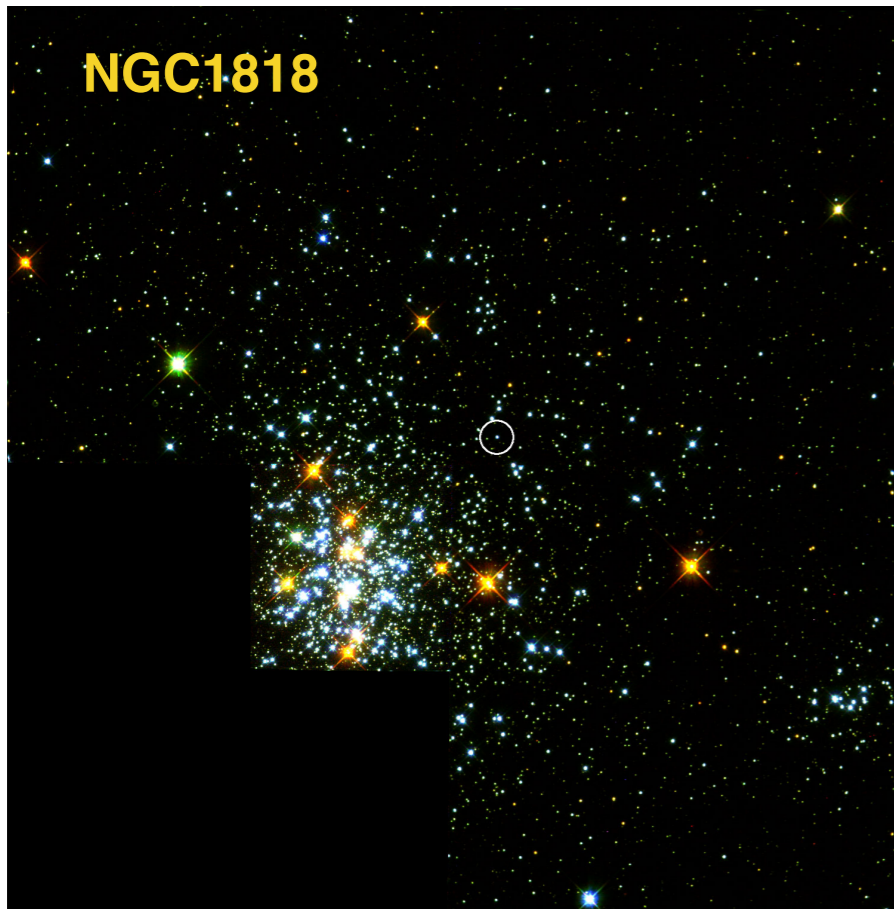
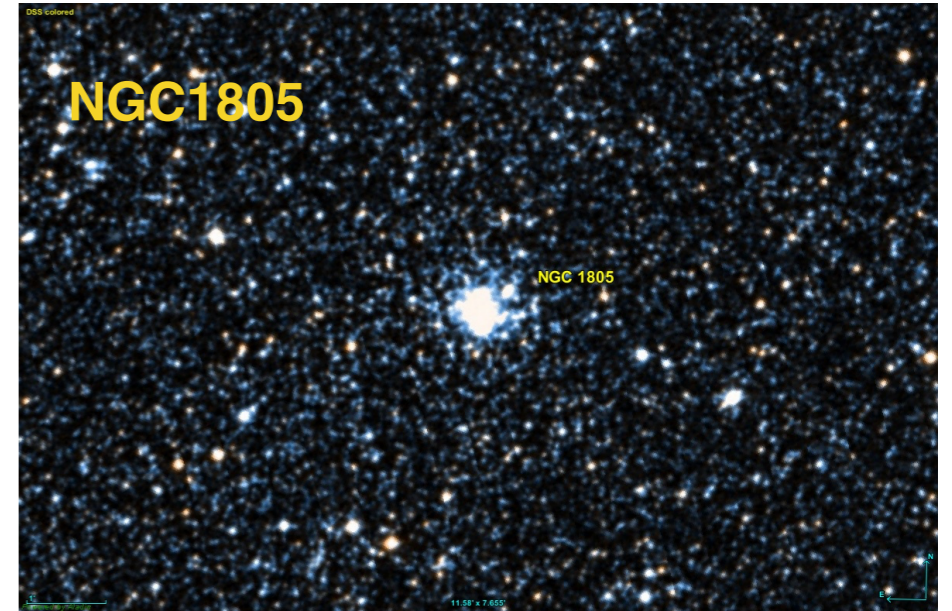


表 2.3 NGC1805 和 NGC1818 的一些基本参数

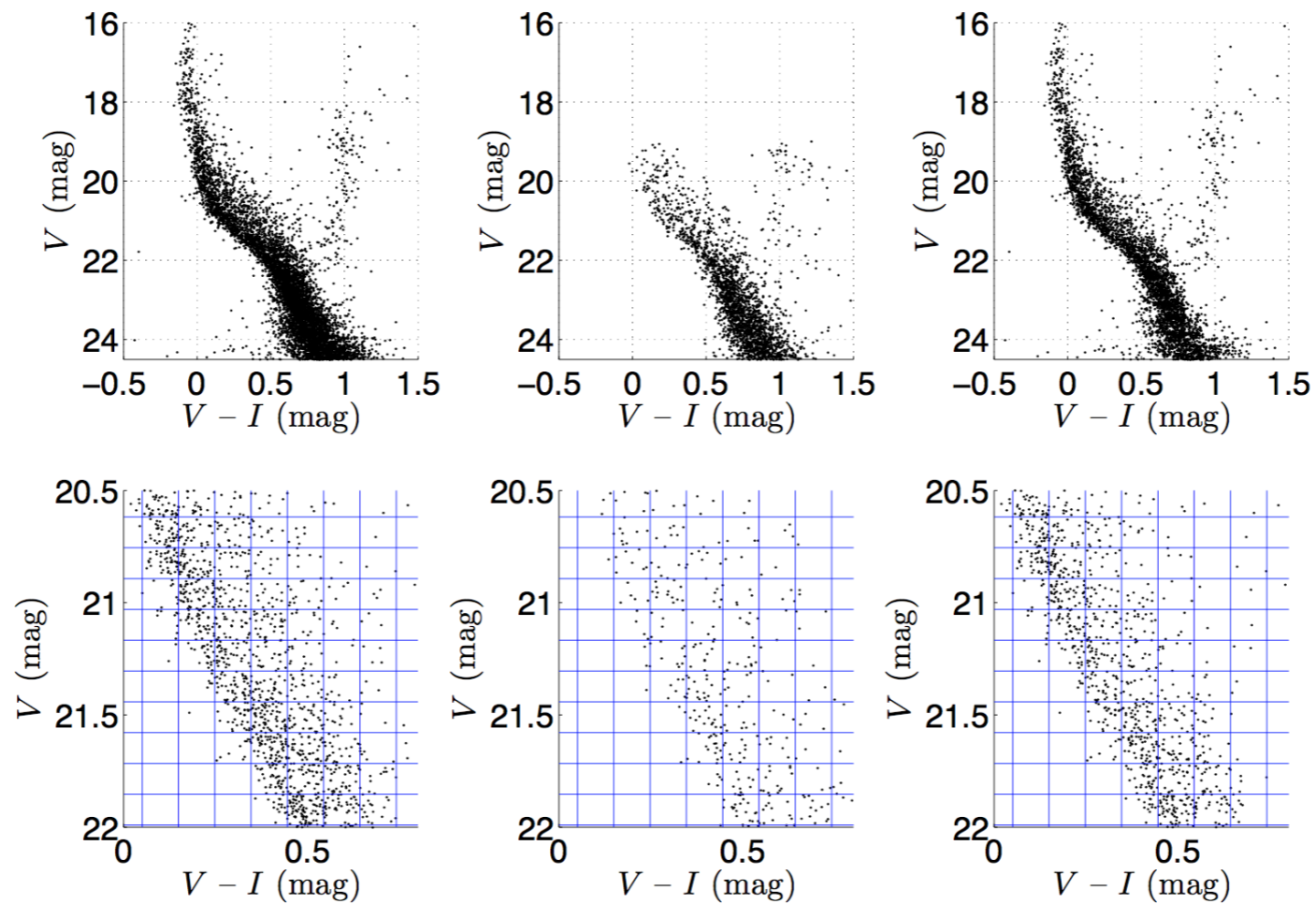
参数	NGC 1805	NGC 1818
$\log(t/\text{yr})$	7.65 ± 0.10	7.25 ± 0.10
Z	0.008	0.015
$E(B - V)$ (mag)	0.09 ± 0.01	0.07 ± 0.01
$(m - M)_0$ (mag)	18.50 ± 0.02	18.54 ± 0.02
α_{J2000}	$05^{\text{h}}02^{\text{m}}21.9^{\text{s}}$	$05^{\text{h}}04^{\text{m}}13.2^{\text{s}}$
δ_{J2000}	$-66^{\circ}06'43.9''$	$-66^{\circ}26'03.9''$
R_{field}^a (arcsec)	45.0 ± 0.3	72.7 ± 0.3

^a 场半径

Method

一、去场星污染:

- 随机减掉对应在背景场的CMD中对应数目的恒星;
- 如果背景场中的恒星数目比星团还对, 星团的CMD对应格子里的恒星计数为0。



Method

二、在颜色星等图上寻找双星：

- 测光后得到的未分解双星的星等为：

$$m_b = -2.5 \log(10^{-0.4m_1} + 10^{-0.4m_2})$$

m_1 和 m_2 是在双星中两颗成员星的星等，意味着双星在测光后会看起来比单星更亮。

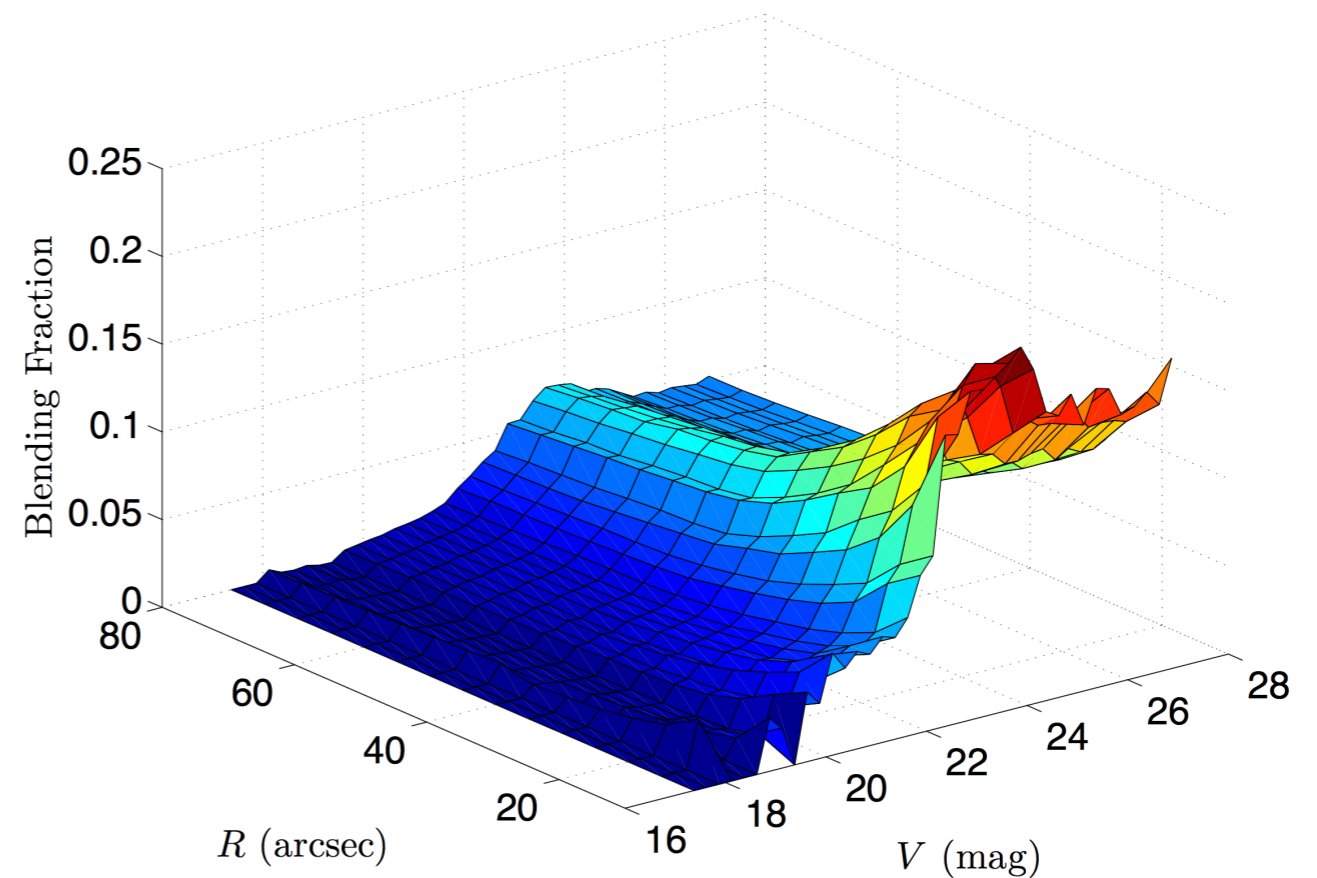
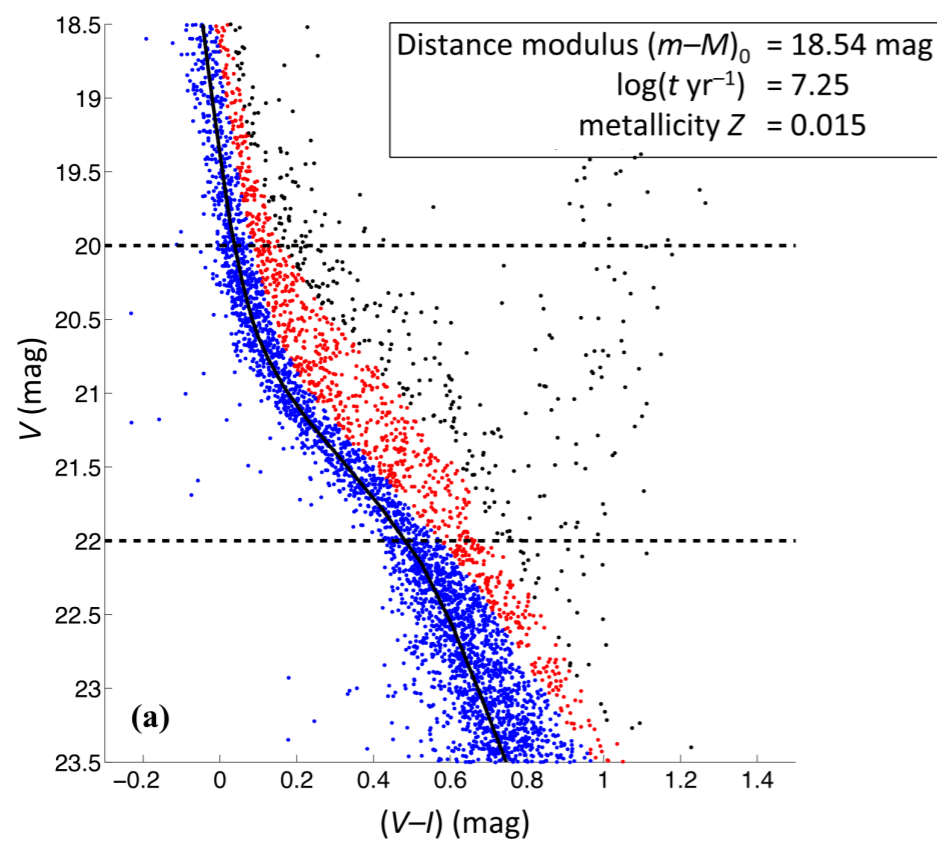
- 测光误差相对于星等的关系：

$$\sigma(m) = \exp(am + b) + c$$

σ 表示观测误差， m 是对应的星等； a, b 和 c 是拟合参数。

Method

- 选取V波段星等范围在20~24之间的星：
 - 亮于20等，主序较陡，视双星和双星并不能很好分开；
 - 暗于24等，观测误差太大，并不能分开双星和误差大的单星。



Method

V波段星等范围在20~24之间的星：

- 1、将符合主序脊线的等龄线描述出来，然后沿着等龄线左右各延展 3σ 的区域定义为单星主导的区域，该区域内的恒星数为 N_S ；
- 2、比这一区域更亮更红的区域则被定义为典型的双星系统或者多体系统。
- 3、对于双星区域，上限为等质比双星的序列 ($q=1$,比主序亮0.75个星等) 再向外延伸 3σ 作为双星区域的边界，双星区域内的恒星数为 N_b 。
- 4、用蒙特卡洛的方法算出视双星的混合比例 f_{opt} ，则双星的比例为：

$$f_{bin} = \frac{N_b}{N_b + N_S} - f_{opt}$$

- 5、用二维高斯轮廓拟合星团的空间分布得到星团的中心位置，并算不同半径处（环形）的双星比例，得到星团的双星比例沿径向的分布。

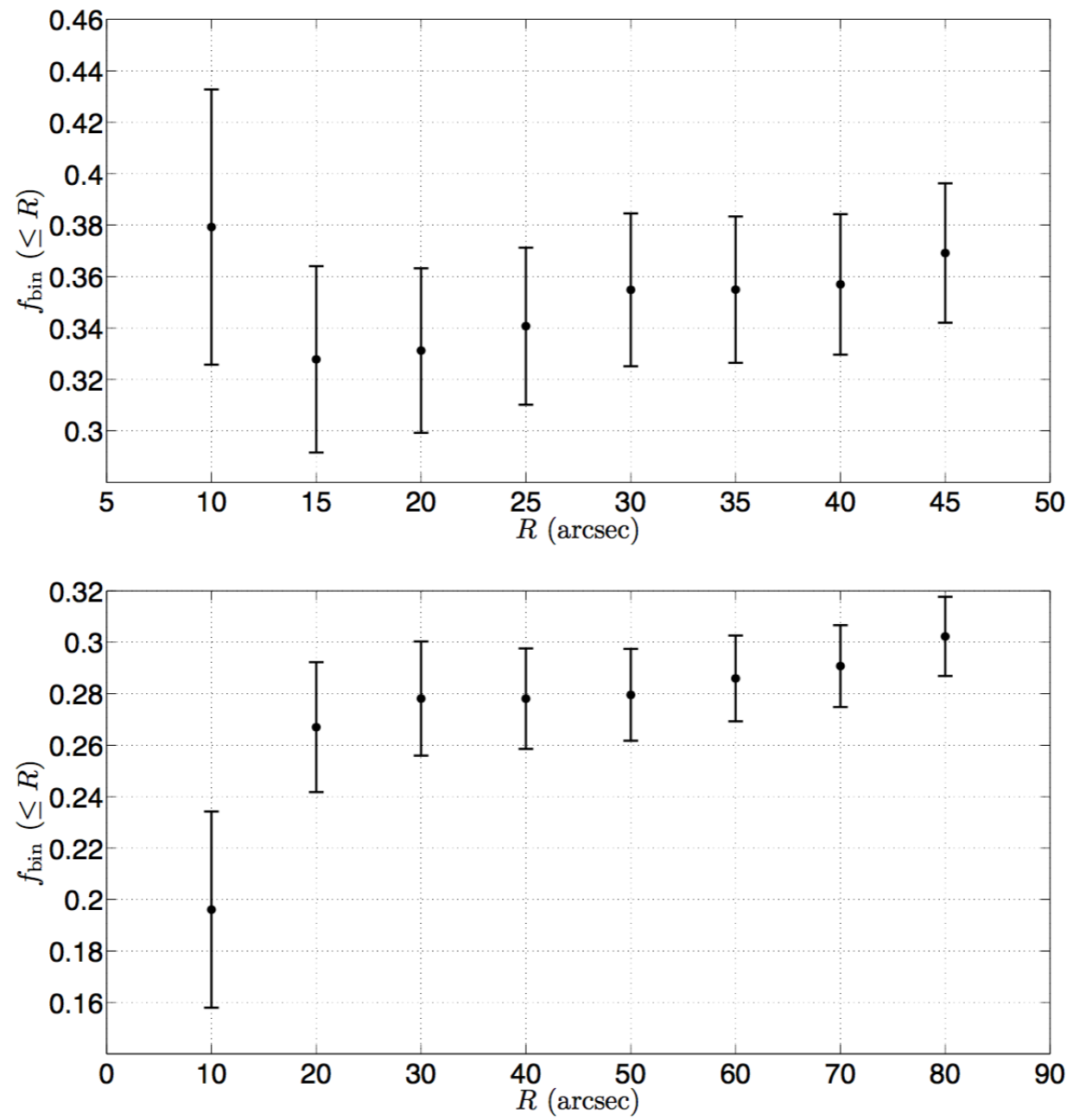


图 2.11 NGC1805 (上图) 和 NGC1818 (下图) 的双星比例径向分布, 误差棒包含的是泊松误差。

Method

三、Chi-square拟合

- 给定一个双星比例，生成一个模拟星团，用方法一算出该模拟星团的 N_b, N_S
- 真实星团测量得到的 N_b', N_S'
- 通过下面的公式计算对应的Chi-square: σ 是模拟星团数目的泊松误差

$$\chi^2 = \left(\frac{N'_s - N_s}{\sigma_{N_s}} \right)^2 + \left(\frac{N'_b - N_b}{\sigma_{N_b}} \right)^2$$

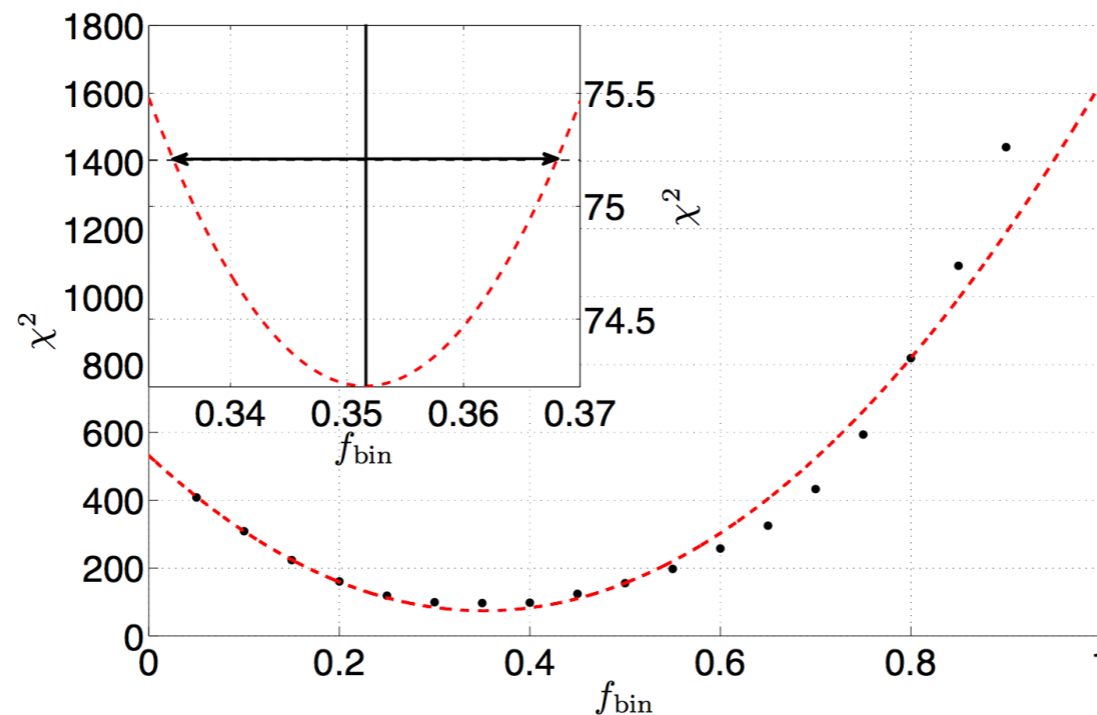


图 2.16 $\chi^2(f_{\text{bin}})$ 分布，红色虚线代表最佳拟合的二次函数，双箭头表征了 1σ 的误差，黑色箭头指向最佳拟合的双星比例 f_{bin} 。

Result

模拟星团假定了一个双星质量比的分布 α :

$$\frac{dN}{dq} \propto q^{-\alpha}$$

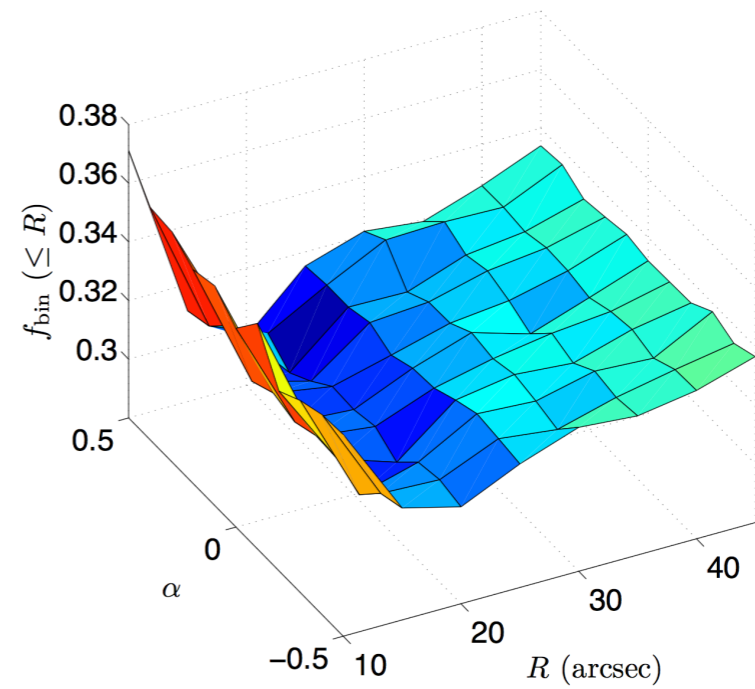
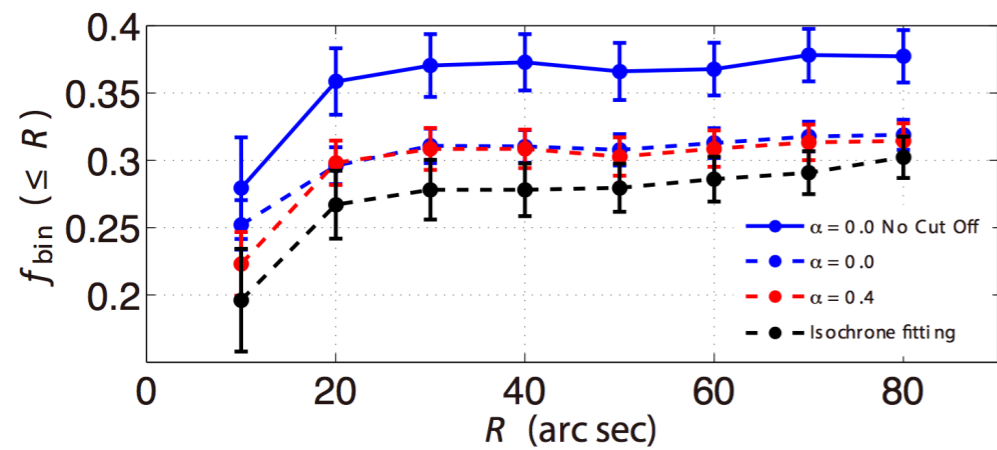
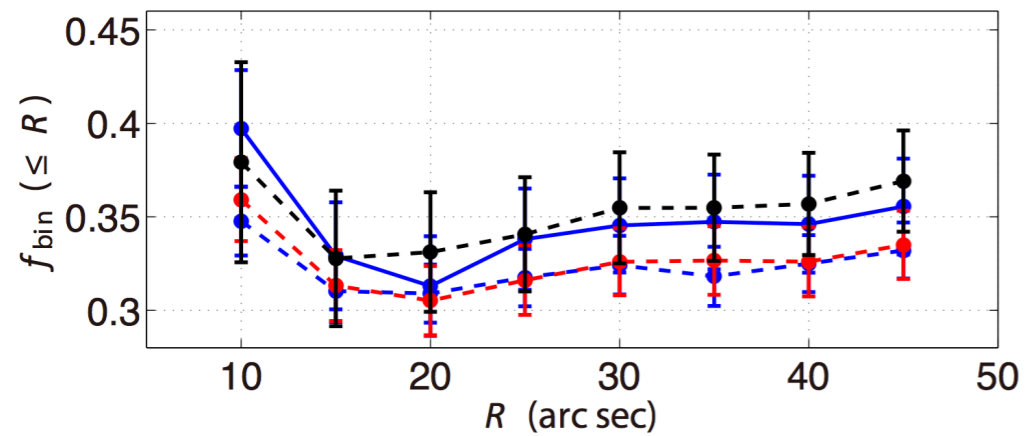


图 2.19 NGC1805 中双星比例径向分布对 α 的依赖关系 ($f_{\text{bin}}(\alpha, R)$)。

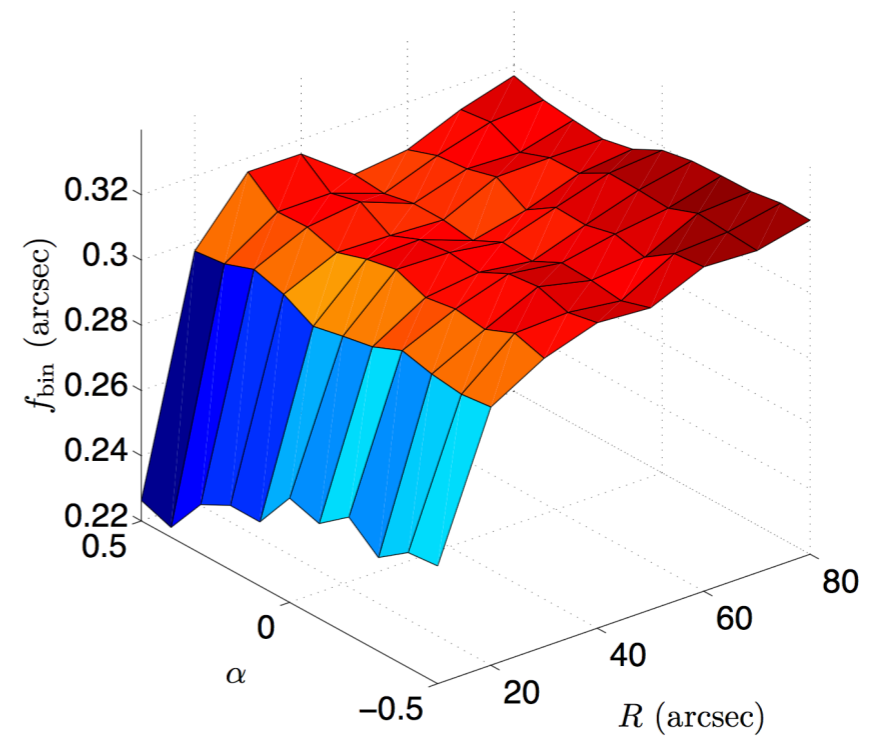


图 2.20 如图2.19, 不过对于 NGC1818 而言。

Conclusion

- **NGC1805**展示出双星比例从核心朝外围下降的趋势，然后缓慢增长到场星的双星比例水平；动力学质量分层效应十分有效；
- **NGC1818**则展示出沿半径方向单调增长的双星比例趋势，说明软双星系统或整备有效的动力学瓦解机制所影响；
- 可能是**NGC1818**的核心恒星的速度弥散比**NGC1805**大。

Thank you!

Method

生成一个模拟星团

- 按单星的等龄线生成数百万颗星均匀分布在观测星团的空间位置上
- 对于每一颗观测到的恒星，选择围绕它最靠近的20颗假星作为模拟星团的候选星
- 对于星等在 $V=20\sim 23$ 之间的源，再在颜色星等图上看哪个假星离真实观测的星更接近
- 加入双星比例和双星的质比分布来展宽模拟的主序，使之与观测类似