

# Кинематика OB-ассоциаций в эпоху *Gaia*

А.М. Мельник и А.К. Дамбис

*ГАИШ МГУ*

Первый релиз данных со спутника *Gaia*, благодаря большой временной базе (24 года) между наблюдениями Hipparcos и *Gaia*, позволил получить высокоточные собственные движения для примерно 2.5 млн звезд, которые опубликованы в каталоге TGAS (TGAS= Tycho-Gaia Astrometric Solution, описание метода см. Michalik et al . 2015).

Мы использовали данные TGAS для изучения кинематики OB-ассоциаций, выделенных Блаха и Хамфрис (1989).

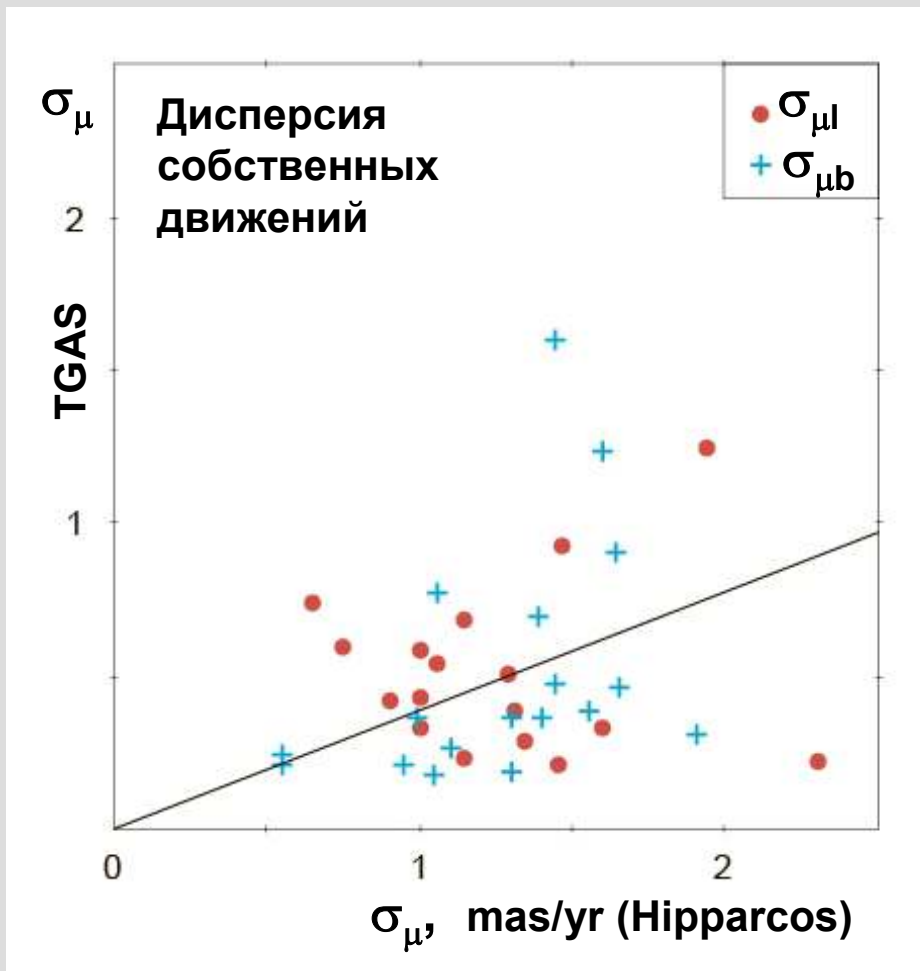
**Всего OB-ассоциации включают 500 звезд с собственными движениями из каталога TGAS. (774 звезды в Hipparcos)  
Средняя ошибка их определения**

<b>в каталоге TGAS</b>	<b><math>\varepsilon_{\mu}=0.059</math> mas/yr,</b>
<b>в каталоге Hipparcos</b>	<b><math>\varepsilon_{\mu}=0.916</math> mas/yr,</b>

**(mas/yr = миллисекунд /год).**

**Собственные движения в каталоге TGAS определяются почти в 15 раз точнее, чем в каталоге Hipparcos.**

# Дисперсия скоростей внутри ОВ-ассоциаций



Дисперсия собственных движений внутри ОВ-ассоциаций

$$\sigma_{\mu} (\text{TGAS}) = 0.4 \sigma_{\mu} (\text{Hipparcos})$$

Дисперсия скоростей внутри ОВ-ассоциаций имеет средние значение:

$$\sigma_{vI} = 4.3 \text{ км/с}$$

$$\sigma_{vB} = 3.4 \text{ км/с}$$

Для сравнения  $\sigma_{vR} = 9.7 \text{ км/с} !!!$

# Вириальная масса молекулярных облаков, из которых родились ОВ-ассоциаций

Предположим, что родительские гигантские молекулярные облака имеют сферическую форму, постоянную плотность, и находятся в вириальном равновесии  
(Larson, 1981; Solomon et al. 1987; Krumholz et al. 2006)

$$2K+U=0$$

$$U = - \frac{3GM^2}{5a}$$

$a$  – радиус гигантского молекулярного облака,  
 $M$  – его масса

$$K = \frac{3M\sigma^2}{2}$$

$\sigma$  – дисперсия скоростей в одном направлении

$$M_{\text{vir}} = \frac{5a\sigma^2}{G}$$

$a \rightarrow$  радиус ОВ-ассоциации,  
включающий 68% ее членов,

$$\sigma \rightarrow \frac{\sigma_{\text{vl}} + \sigma_{\text{vb}}}{2}$$

## Вириальная масса родительского молекулярного облака

$$M_{\text{vir}} = \frac{5a\sigma^2}{G} \quad \text{при } \rho = \text{const}$$

$$M_{\text{vir}} = \frac{9R_{\text{cl}}\sigma^2}{2G} \quad \text{при } \rho = \begin{cases} \rho_e (r/R_{\text{cl}})^{-1} & \text{при } r < R_{\text{cl}} \\ 0 & \text{при } r \geq R_{\text{cl}} \end{cases}$$

Медианное значение вириальной массы молекулярных облаков, из которых появились наблюдаемые ОВ-ассоциации, равно  $6.5 \cdot 10^5 M_{\odot}$ .

Это согласуется с массами гигантских молекулярных облаков  $10^5 - 10^6 M_{\odot}$  (Sanders, Scoville, Solomon 1985).

# Масса звезд в OB-ассоциациях

Многокомпонентное степенное распределение числа звезд  $\Delta N(M)$  в диапазоне масс  $\Delta M$ , полученное Кроупа (2002):

$$\Delta N(M) = C_0 \begin{cases} C_1 M^{-0.3} & \text{при } 0.01 < M/M_\odot < 0.08 \\ C_2 M^{-1.3} & \text{при } 0.08 < M/M_\odot < 0.5 \\ C_3 M^{-2.3} & \text{при } 0.5 < M/M_\odot < \infty \end{cases}$$

$C_1 = 0.469$ ,  $C_2 = 0.038$ ,  $C_3 = 0.019$  определяются из условия непрерывности

Для определения массы звезд использовалась зависимость масса – абсолютная звездная величина, полученная на основе падуанских изохрон (Брессан 2012). Эта зависимость является монотонной в диапазоне  $-7.8 < M_v < +0.5^m$ , включающем 99.3% звезд OB-ассоциаций. Возраст массивных звезд предполагался равным 4 млн лет.

**Мы считаем, что каталог Блаха и Хамфрис (1989) включает все звезды с массой  $M > 20 M_{\odot}$ , т. е. он ~полон до  $M_v < -4.0^m$ .**

$$N_{20} = C_0 C_3 (20^{-1.3} - 50^{-1.3})/1.3,$$

**где  $N_{20}$  – число звезд OB-ассоциации с массой  $M > 20 M_{\odot}$ .**

**Медианное значение звездной массы OB-ассоциаций  $M_{st}$  равно  $8.7 \cdot 10^3 M_{\odot}$ .**

**Если использовать только распределение Солпитера (1955) в диапазоне масс  $0.08 - 50 M_{\odot}$ , то медианное значение звездной массы OB-ассоциаций получается равным  $19 \cdot 10^3 M_{\odot}$ .**

# Эффективность звездообразования

Средняя эффективность звездообразования  $\epsilon$  в родительском молекулярном облаке равна отношению звездной массы к массе газа в облаке.

$$\epsilon = \frac{M_{st}}{M_{vir}}$$

Значения  $\epsilon$  для 18 рассмотренных ОВ-ассоциаций изменяются в пределах от 0.1% до 7%, медиана составляет 1.8%.

Это согласуется с другими оценками:

Myers et al. 1986 → 2%

Evans et al. 2009 → 3 – 6 %

Garcia et al. 2014 → 3%



# Вириальная и звездная масса, эффективность звездообразования

Name	$\sigma_{vl}$ km/s	$\sigma_{vb}$ km/s	$a$ pc	$M_{vir}$ $M_{\odot}$	$n_{\mu}$	$M_{st}$ $M_{\odot}$	$N_{20}$	$\epsilon$ 100%
SGR OB1	1.3	4.6	42	$4.3 \cdot 10^5$	13	$9.2 \cdot 10^3$	22	2.1
CYG OB3	2.9	1.6	49	$2.9 \cdot 10^5$	15	$11.7 \cdot 10^3$	28	4.0
CYG OB1	3.8	2.5	32	$3.7 \cdot 10^5$	12	$15.8 \cdot 10^3$	38	4.3
CYG OB8	3.7	13.9	42	$37.5 \cdot 10^5$	10	$7.1 \cdot 10^3$	17	0.2
CYG OB7	11.4	2.1	53	$28.0 \cdot 10^5$	16	$3.3 \cdot 10^3$	8	0.1
CEP OB2	3.2	4.2	45	$7.2 \cdot 10^5$	34	$8.3 \cdot 10^3$	20	1.1
CEP OB1	9.0	4.7	178	$97.8 \cdot 10^5$	20	$16.7 \cdot 10^3$	40	0.2
CEP OB3	1.3	1.3	12	$0.2 \cdot 10^5$	12	$1.2 \cdot 10^3$	3	5.7
PER OB1	5.0	3.1	59	$5.7 \cdot 10^5$	58	$35.8 \cdot 10^3$	86	6.3*
CAS OB6	2.4	3.9	78	$9.1 \cdot 10^5$	11	$7.9 \cdot 10^3$	19	0.9
CAM OB1	4.7	3.4	86	$16.7 \cdot 10^5$	26	$5.0 \cdot 10^3$	12	0.3
AUR OB1	2.6	1.5	69	$3.3 \cdot 10^5$	12	$3.7 \cdot 10^3$	9	1.1
MON OB2	1.3	2.6	71	$3.2 \cdot 10^5$	10	$5.8 \cdot 10^3$	14	1.8
NGC 2439	7.2	3.0	155	$46.6 \cdot 10^5$	10	$7.9 \cdot 10^3$	19	0.2
CAR OB1	7.0	2.3	63	$12.8 \cdot 10^5$	15	$21.2 \cdot 10^3$	51	1.7*
CAR OB2	1.9	2.2	27	$1.4 \cdot 10^5$	10	$9.6 \cdot 10^3$	23	7.0
CRU OB1	3.1	2.0	40	$3.1 \cdot 10^5$	17	$9.6 \cdot 10^3$	23	3.1
CEN OB1	5.4	1.9	70	$11.0 \cdot 10^5$	27	$20.8 \cdot 10^3$	50	1.9

\* Values of  $M_{vir}$  and  $\epsilon$  are corrected for the expansion effect

# Несвязанность ОВ-ассоциаций

$M_{\text{vir}}$  превышает  $M_{\text{st}}$  ОВ-ассоциаций более, чем в 70 раз, что свидетельствует в пользу их несвязанности.

Однако ОВ-ассоциации могут содержать газ внутри своего объема.

$$M_t = M_{\text{st}} + M_g$$

Какова масса этого газа?

$$M_g = \frac{4\pi}{3} a^3 \rho_H$$

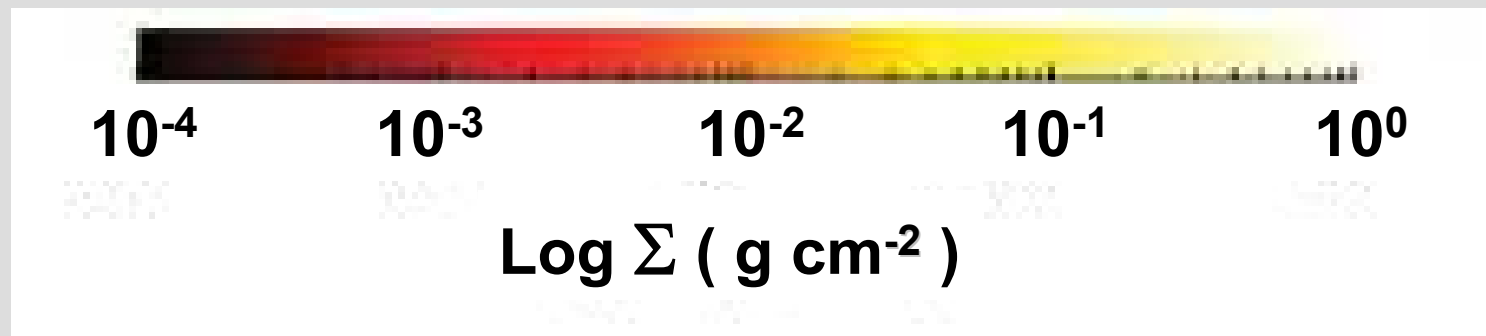
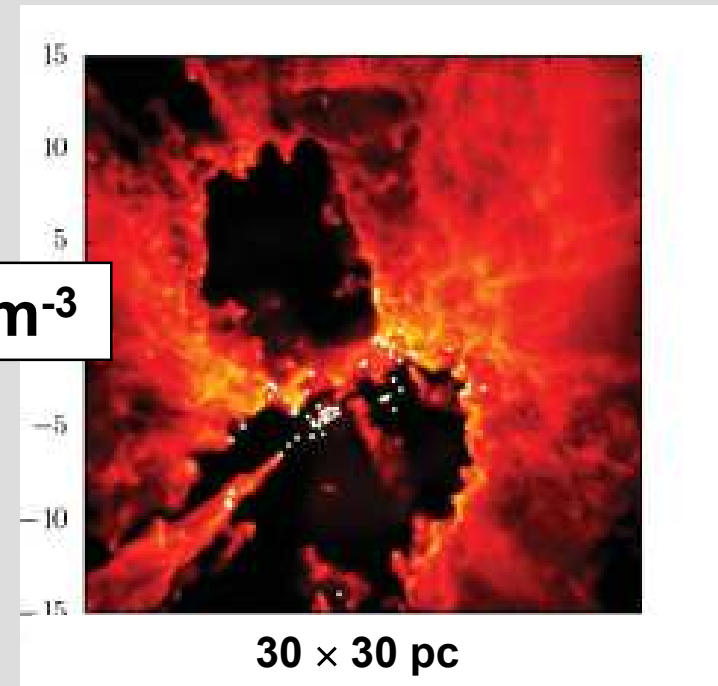
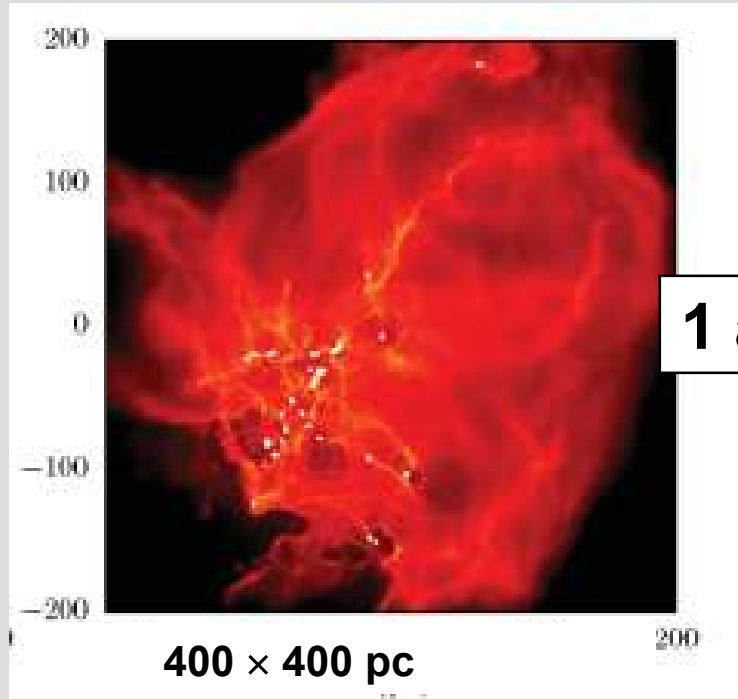
ОВ-ассоциации вполне могут содержать ионизованный и нейтральный газ

Оценка сверху  $\rightarrow \rho = 1$  атом  $\text{см}^{-3}$

Dale, Ercolano & Bonnell (2012)  
N-body + simulated star formation, HII regions, photoionization

$M=10^6 M_{\odot}$ ,  $r = 180 \text{ pc}$ ,  $T=3 \text{ Myr}$

$M=10^4 M_{\odot}$ ,  $r = 10 \text{ pc}$ ,  $T=2 \text{ Myr}$



**Медианная оценка массы нейтрального газа внутри объема ОВ-ассоциаций:**

$$M_g = 18 \cdot 10^3 M_\odot,$$

**что в ~2 раза превышает их звездную массу**

$$M_{st} = 8.7 \cdot 10^3 M_\odot.$$

**Но даже в этом случае вириальная масса  $M_{vir}$  ОВ-ассоциаций превышает их полную массу  $M_t = M_{st} + M_g$  в ~10 раз.**

**Таким образом, ОВ-ассоциации должны быть несвязанными объектами, при условии, что они не содержат много плотного газа в своем объеме.**

# Приливные радиусы ОВ-ассоциаций

Зная массу ОВ-ассоциаций в настоящее время, мы можем оценить ее приливной радиус:

$$r_{td} = \left( \frac{GM}{4A\Omega} \right)^{1/3}$$

где  $A = -0.5R\Omega'(R)$  -- постоянная Оорта

Если  $M = M_{st}$ , то:

$$r_{td} = 14 - 36 \text{ пк,}$$

медиана  $r_{td} = 26 \text{ пк,}$

61% звезд ОВ-ассоциаций  
лежит внутри  $r_{td}$

Если  $M = M_t$ , то:

$$r_{td} \propto a, \quad r_{td} < a,$$

медиана  $r_{td} = 40 \text{ пк,}$   
медиана  $a = 56 \text{ пк}$

73% звезд ОВ-ассоциаций  
лежит внутри  $r_{td}$

# Расширение ОВ-ассоциаций

**Vlaauw (1964) обнаружил расширение ОВ-ассоциаций по собственным движениям в системе FK4.**

**Ожидается во многих сценариях звездообразования.**

**Быстрая потеря газа гигантским молекулярным облаком, вызванная давлением горячего газа в III областях, может сделать молодую звездную группировку несвязанной.**

**Если >50% массы уходят из системы за 1 “crossing time”, то звездная система становится несвязанной (Hills 1980).**

**Более аккуратный учет релаксационных процессов и близких взаимодействий показывает, что система формирует расширяющуюся ОВ-ассоциацию и связанное скопление в ее центре (Kroupa и др. 2001; Voily & Kroupa 2003ab; Baumgardt & Kroupa 2007).**

## Закон расширения/сжатия :

$$V_l - V_{l_0} = p_l \cdot \Delta x$$

$$V_b - V_{b_0} = p_b \cdot \Delta y$$

$p > 0$  – расширение

$p < 0$  – сжатие

$\Delta x = r \cdot \sin(l-l_0) / \cos b$  – расстояние в направлении долготы  $l$

$\Delta y = r \cdot \sin(b-b_0)$  – расстояние в направлении широты  $b$

от центра OB-ассоциации

Характерные скорости расширения / сжатия :

$$u_l = p_l \cdot a$$

$$u_b = p_b \cdot a$$

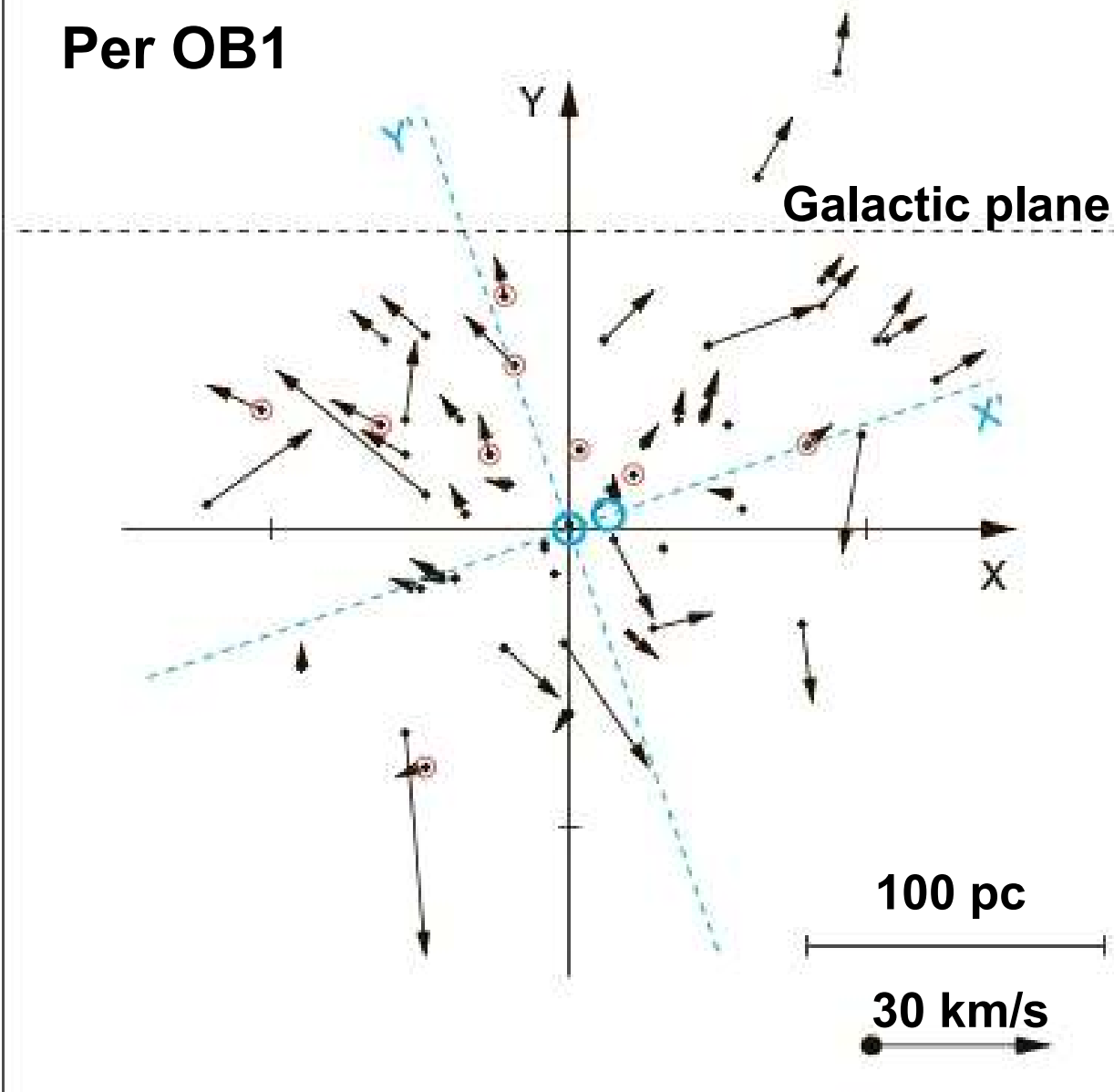
Рассматриваем только звезды с собственными движениями  
из каталога TGAS

## Параметры расширения/сжатия OB-ассоциаций

Name	$p_l$ km/s/kpc	$p_b$ km/s/kpc	$a$ pc	$u_l$ km/s	$u_b$ km/s	$n_\mu$
Sgr OB1	$70 \pm 38$	$238 \pm 26$	42	$2.9 \pm 1.6$	$10.0 \pm 1.1$	13
Cyg OB3	$139 \pm 138$	$159 \pm 116$	49	$6.9 \pm 6.8$	$7.9 \pm 5.8$	15
Cyg OB1	$-57 \pm 102$	$112 \pm 131$	32	$-1.8 \pm 3.3$	$3.6 \pm 4.2$	12
Cyg OB8	$-45 \pm 55$	$186 \pm 152$	42	$-1.9 \pm 2.3$	$7.7 \pm 6.3$	10
Cyg OB7	$-39 \pm 85$	$63 \pm 26$	53	$-2.1 \pm 4.5$	$3.4 \pm 1.4$	16
Cep OB2	$77 \pm 25$	$11 \pm 26$	45	$3.5 \pm 1.1$	$0.5 \pm 1.2$	34
Cep OB1	$56 \pm 19$	$1 \pm 39$	178	$9.9 \pm 3.4$	$0.1 \pm 6.9$	20
Cep OB3	$-39 \pm 48$	$71 \pm 67$	12	$-0.5 \pm 0.6$	$0.8 \pm 0.8$	12
Per OB1	$45 \pm 15$	$103 \pm 22$	59	$2.7 \pm 0.9$	$6.1 \pm 1.3$	58
Cas OB6	$9 \pm 47$	$227 \pm 80$	78	$0.7 \pm 3.7$	$17.8 \pm 6.3$	11
Cam OB1	$34 \pm 20$	$3 \pm 28$	86	$2.9 \pm 1.8$	$0.3 \pm 2.4$	26
Aur OB1	$-36 \pm 27$	$19 \pm 10$	69	$-2.5 \pm 1.9$	$1.3 \pm 0.7$	12
Mon OB2	$-278 \pm 77$	$232 \pm 203$	71	$-19.7 \pm 5.4$	$16.5 \pm 14.4$	10
NGC 2439	$64 \pm 42$	$-106 \pm 21$	155	$10.0 \pm 6.6$	$-16.4 \pm 3.2$	10
Car OB1	$118 \pm 43$	$111 \pm 28$	63	$7.5 \pm 2.7$	$7.0 \pm 1.8$	15
Car OB2	$-100 \pm 136$	$42 \pm 64$	27	$-2.7 \pm 3.7$	$1.2 \pm 1.7$	10
Cru OB1	$-29 \pm 47$	$29 \pm 23$	40	$-1.2 \pm 1.9$	$1.2 \pm 0.9$	17
Cen OB1	$-87 \pm 33$	$35 \pm 18$	70	$-6.1 \pm 2.3$	$2.4 \pm 1.3$	27



## Per OB1



Распределение  
относительных  
скоростей

$V_l - V_{l0}$  и  $V_b - V_{b0}$   
в ассоциации  
Per OB1,

58 звезд из TGAS

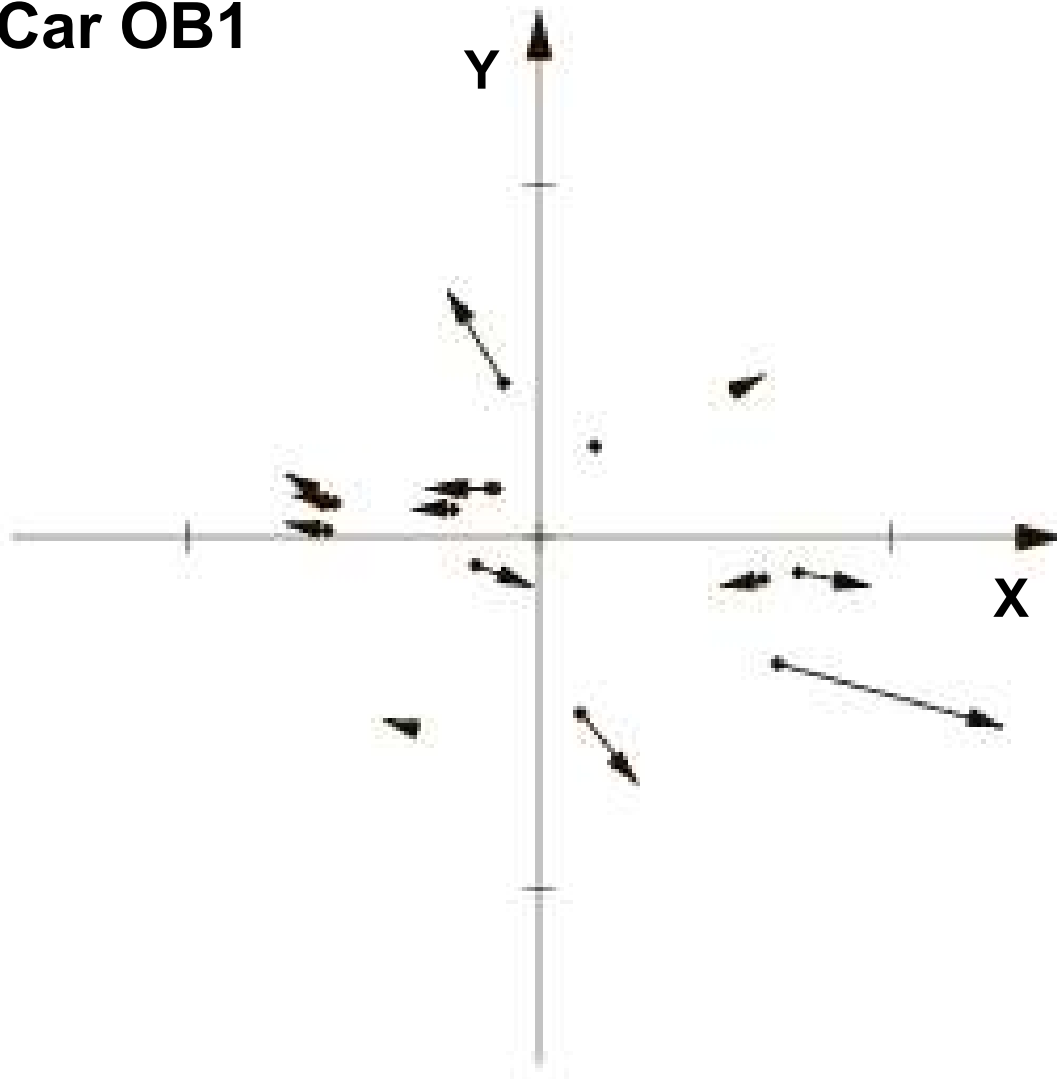
○ ○ -- двойное  
скопление  
h и  $\chi$  Персея.

Максимальное  
расширение по  
оси  $Y'$  перпенди-  
кулярной плос-  
кости h и  $\chi$  Персея.

○ -- красные  
сверхгиганты

$$u_l = 2.7 \pm 0.9 \text{ км/с}, u_b = 6.1 \pm 1.3 \text{ км/с.}$$

## Car OB1



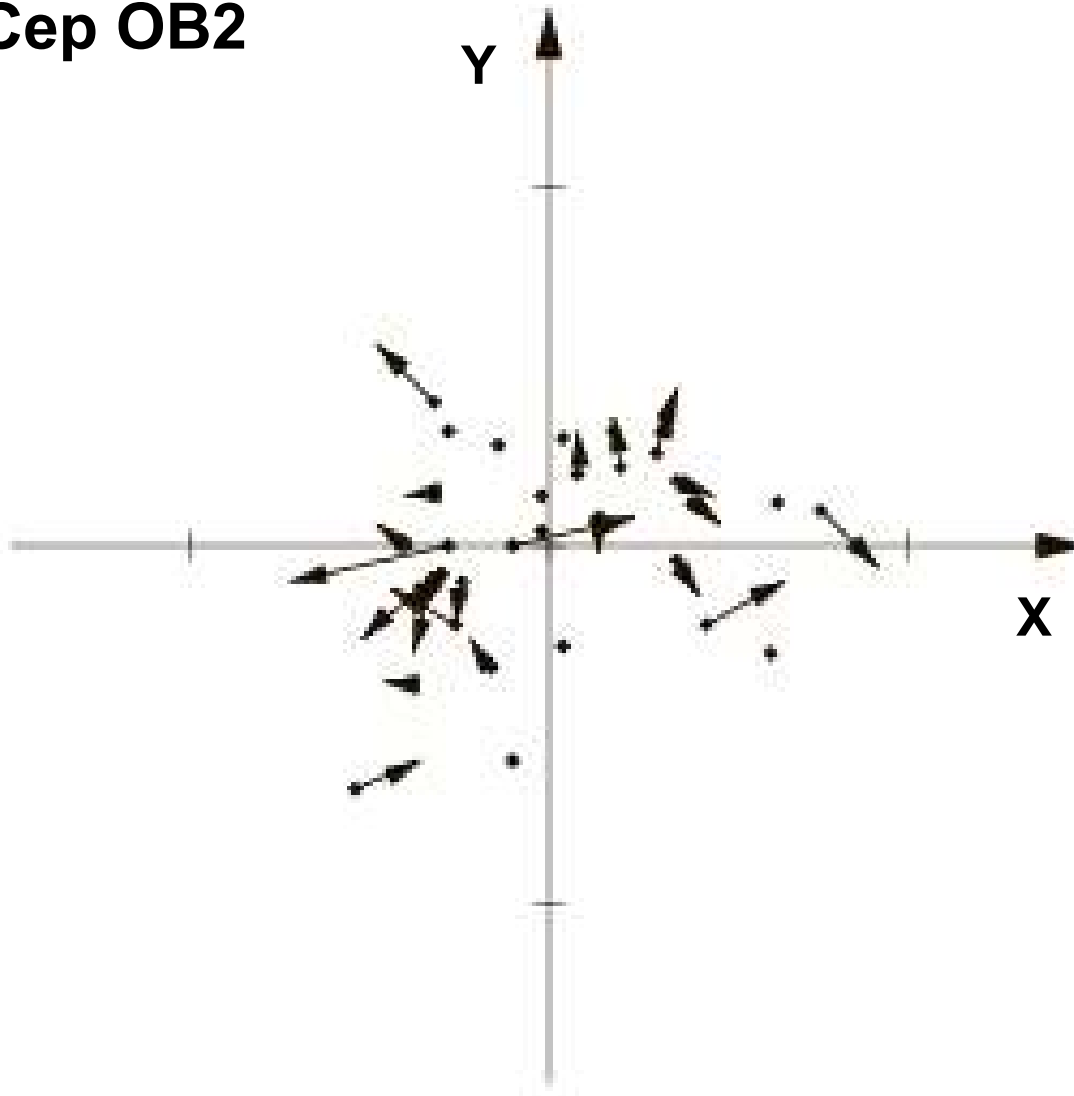
Распределение  
относительных  
скоростей  
в ассоциации  
Car OB1,  
15 звезд из TGAS.

Расширение по  
осям X и Y.

$$u_l = 7.5 \pm 2.7 \text{ км/с}$$

$$u_b = 7.0 \pm 1.8 \text{ км/с.}$$

## Сер OB2

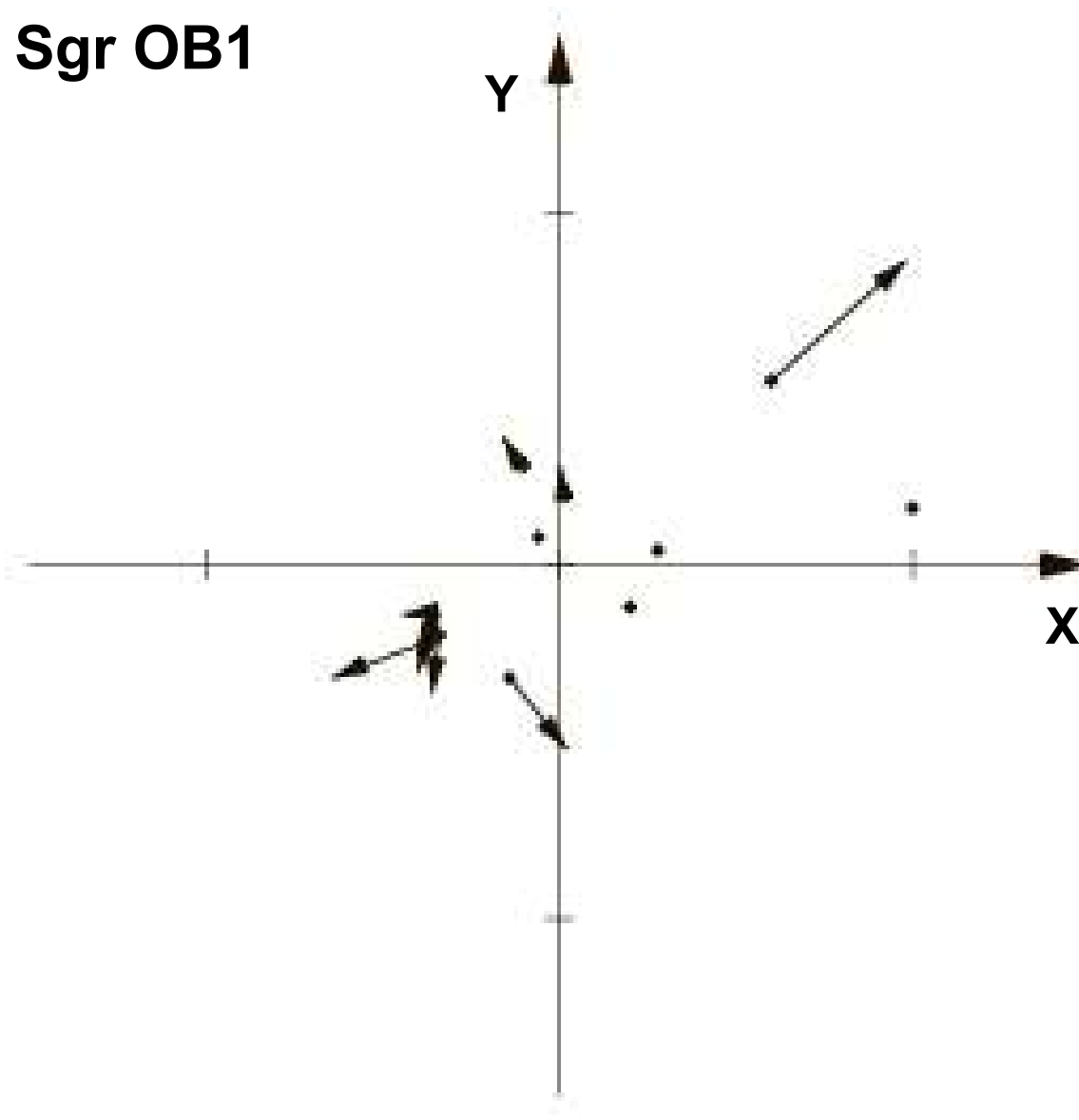


**Распределение  
относительных  
скоростей  
в ассоциации  
Сер OB2,  
34 звезд из TGAS.**

**Расширение по  
оси X в  
направлении  
Галактических  
долгот L.**

$$u_l = 3.5 \pm 1.1 \text{ км/с}$$

## Sgr OB1

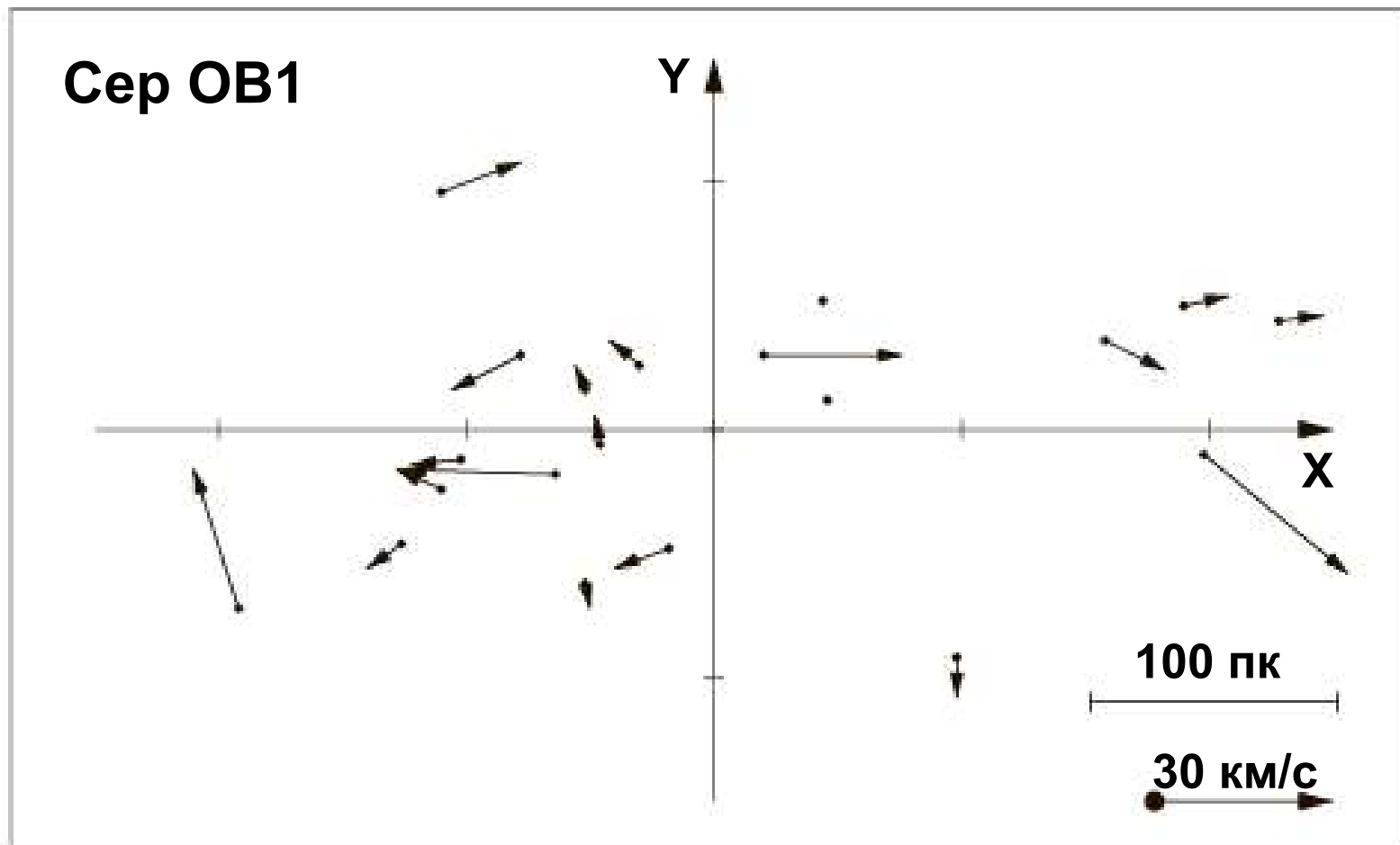


Распределение  
относительных  
скоростей  
в ассоциации  
Sgr OB1,  
13 звезд из TGAS.

Расширение по  
оси Y в  
направлении  
галактических  
широт  $b$ .

$$u_b = 10.0 \pm 1.1 \text{ км/с}$$

## Сер OB1



Распределение относительных скоростей  
в ассоциации Сер OB1, 20 звезд из TGAS.

Расширение по оси X в направлении галактических  
долгот L,  $u_l = 9.9 \pm 3.4$  км/с

# Кинематическое время

Первый способ:

$$S_1 = t \cdot V_1$$

$$S_2 = t \cdot V_2$$

$$S_3 = t \cdot V_3$$

.....



$$\Delta S = 1/p \cdot V_{rel}$$

$$T = 1/p$$

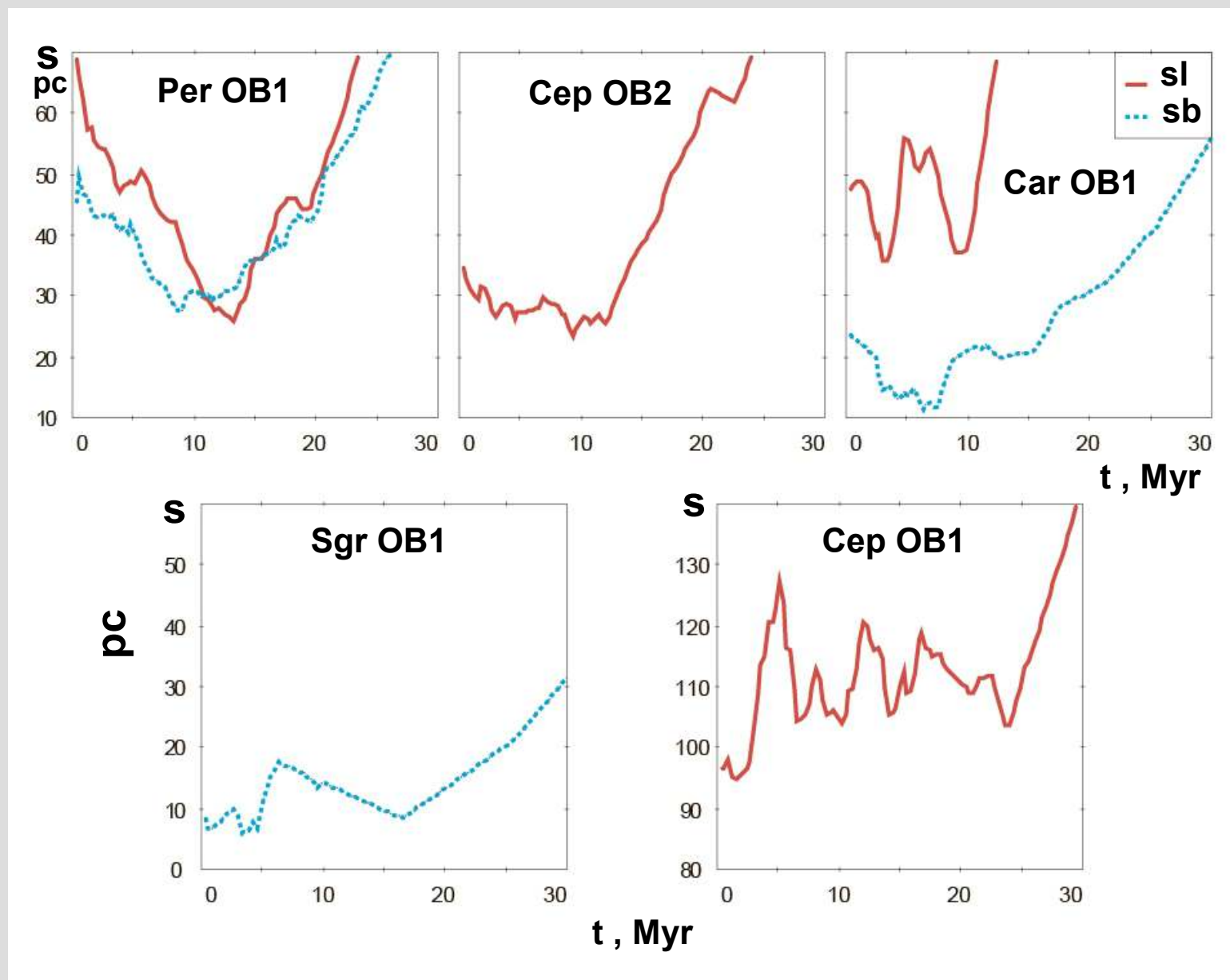
Второй способ:

(Brown, Dekker & de Zeeuv 1997)

Зная скорости  
звезды  
в настоящий момент,  
мы вычисляем  
координаты звезды  
в прошлом  
и ищем время,  
когда размеры  
ассоциации  
были минимальны.

# Определение кинематического времени вторым

способом



## Минимальны размер ОВ-ассоциаций

	sl	sb
Per OB1	26 пк	27 пк
Sep OB2	23 пк	--
Car OB1	36 пк	11 пк
Sgr OB1	--	6 пк
Sep OB1	100 пк	--



Среднее  $25 \pm 5$  пс

6 пк -- очень мало,

100 пк -- очень много для

гигантского молекулярного облака



## Кинематические возраста, определенные двумя способами

Name	$T_l$ Myr	$T_b$ Myr	$T_l^*$ Myr	$T_b^*$ Myr
PER OB1	$21.7^{+10.9}_{-5.4}$	$9.5^{+2.5}_{-1.7}$	$13.2^{+1.8}_{-3.9}$	$8.9^{+7.0}_{-3.4}$
CEP OB2	$12.5^{+6.3}_{-3.1}$	—	$9.2^{+1.1}_{-0.3}$	—
CAR OB1	$8.3^{+4.7}_{-2.2}$	$8.8^{+4.7}_{-2.2}$	< 10	$7.4^{+1.1}_{-5.1}$
SGR OB1	—	$4.1^{+0.5}_{-0.4}$	—	$3.3^{+2.7}_{-3.3}$
CEP OB1	$17.5^{+8.0}_{-4.4}$	—	< 23	—

Среднее значение кинематического возраста для Per OB1, Cep OB2 и Car OB1 равно  $10 \pm 5$  млн лет.

## **Выводы:**

**Среднее значение дисперсии скоростей звезд внутри 18 OB-ассоциаций, включающих не менее 10 звезд с собств. движ. из каталога TGAS, составляет 3.9 км/с.**

**Медианное значение вириальной и звездной масс OB-ассоциаций оказались равными  $M_{\text{vir}} = 6.5 \cdot 10^5$  и  $M_{\text{st}} = 8.7 \cdot 10^3 M_{\odot}$ .  
OB-ассоциации должны быть несвязанными объектами.**

**Медианное значение эффективности звездообразования в OB-ассоциациях равно 1.8%.**

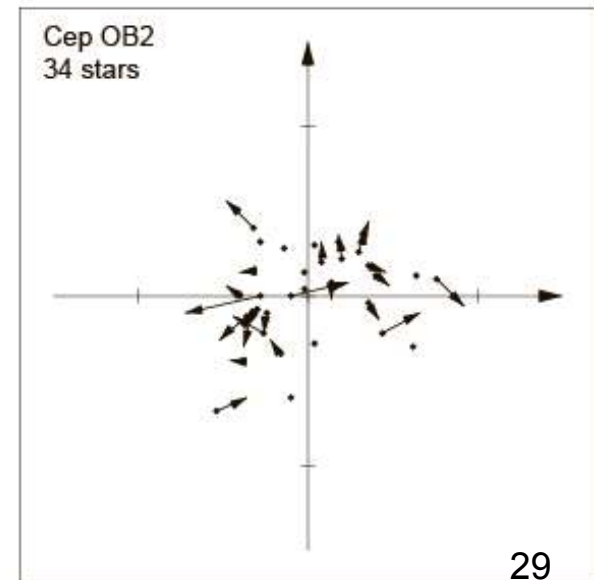
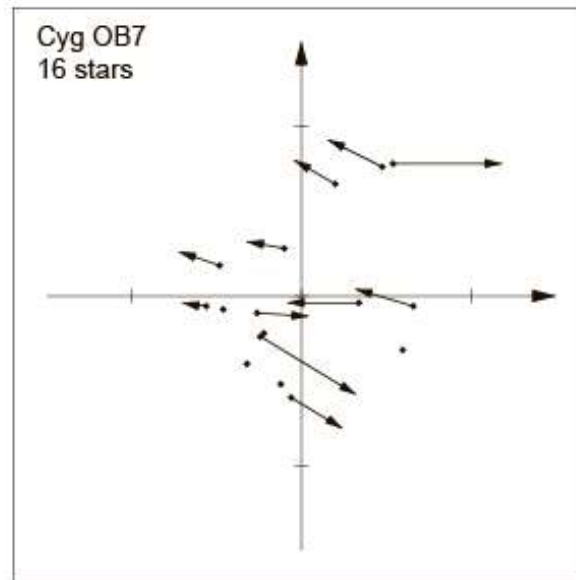
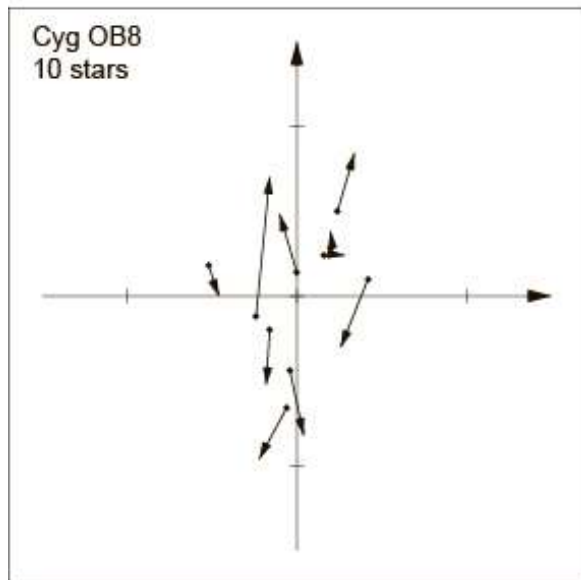
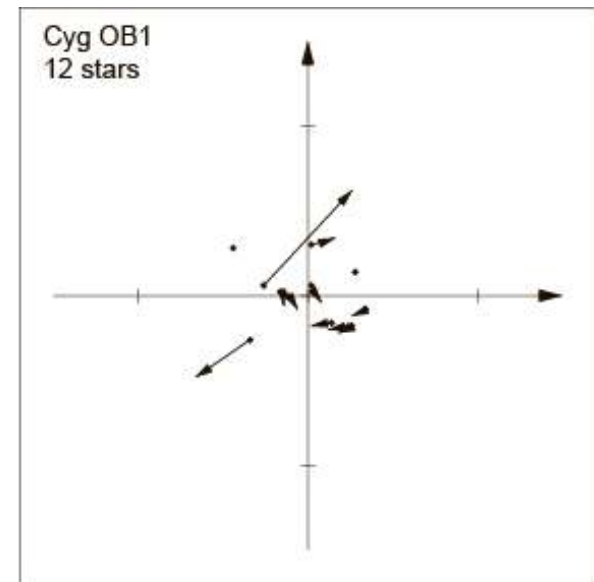
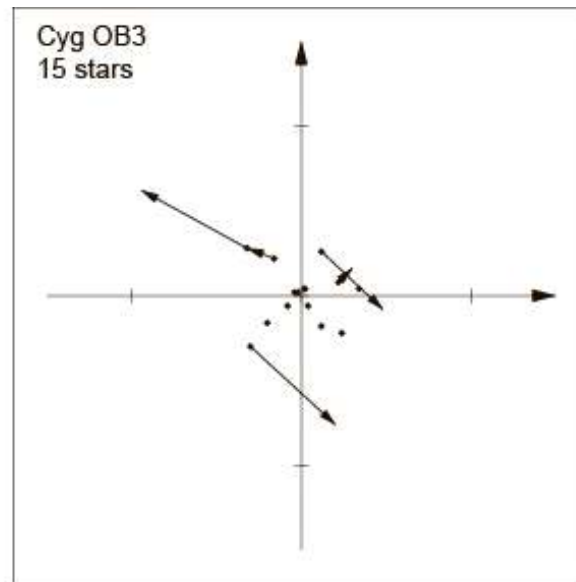
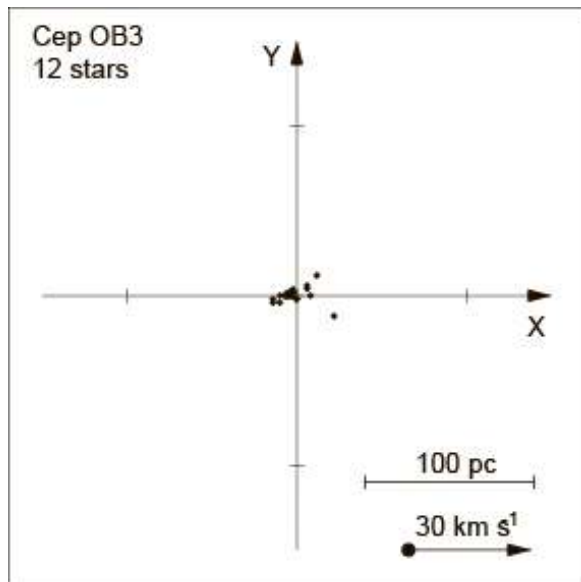
**Обнаружено расширение ассоциаций Per OB1, Cep OB2 и Car OB1, которое началось в малой области  $25 \pm 5$  пк  $10 \pm 5$  млн лет назад.  
Средняя скорость расширения равна 5.4 км/с.**

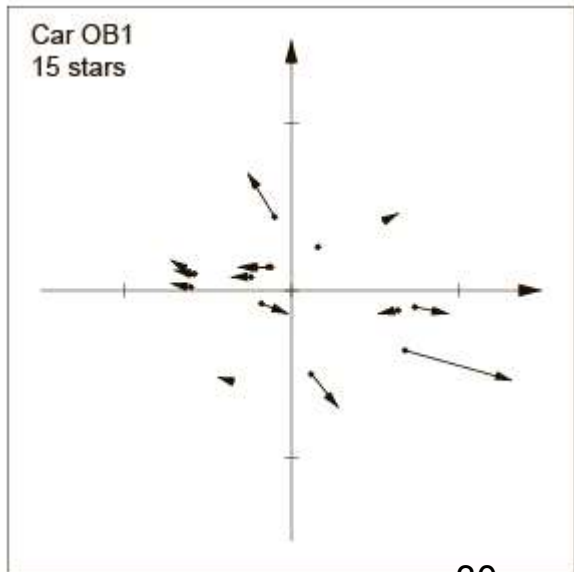
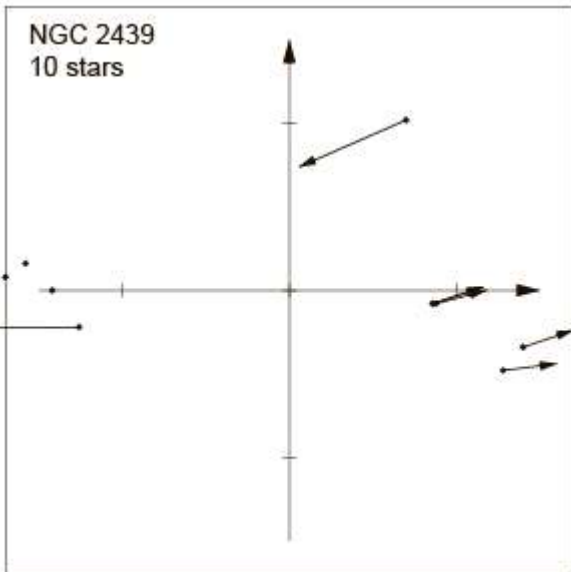
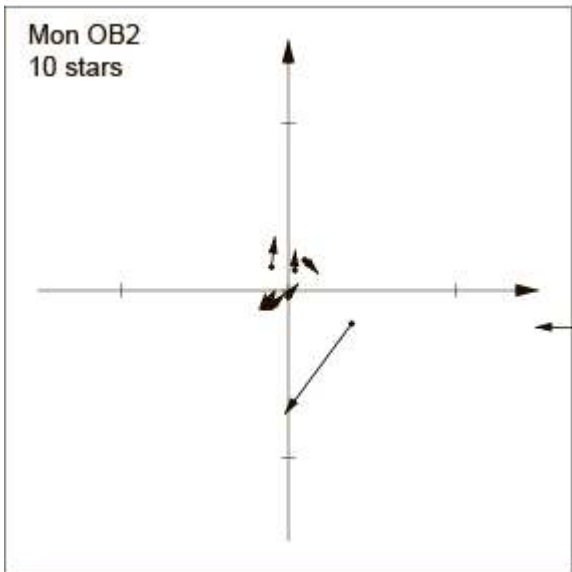
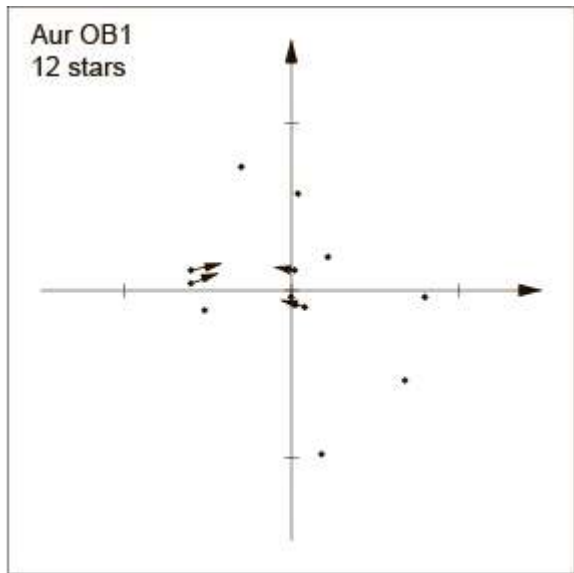
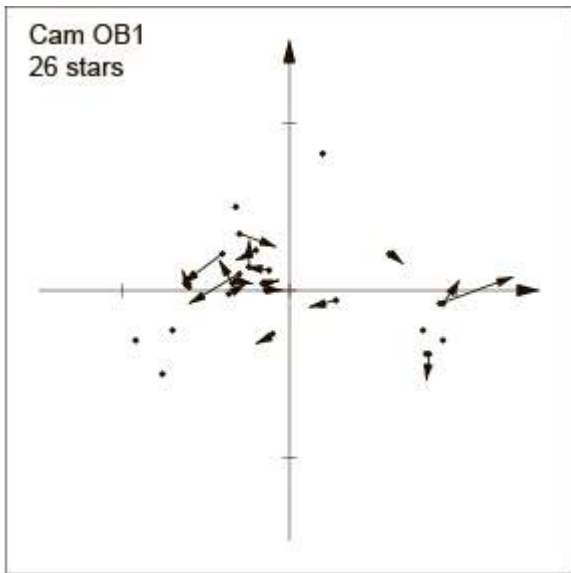
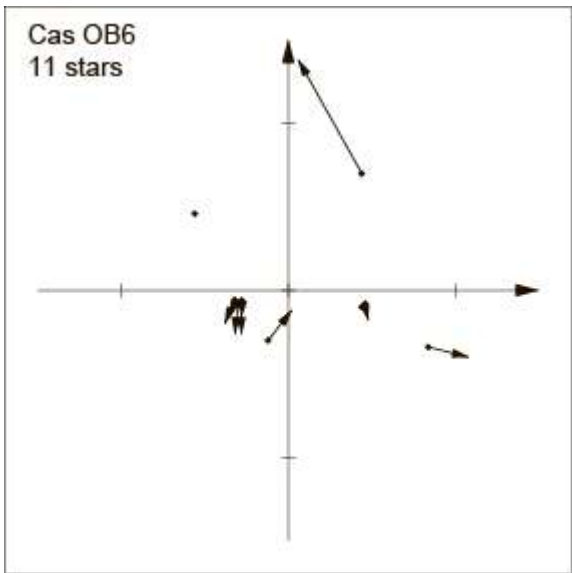
**Медианное значение минимального приливного радиуса OB-ассоциаций составляет 26 пк.**

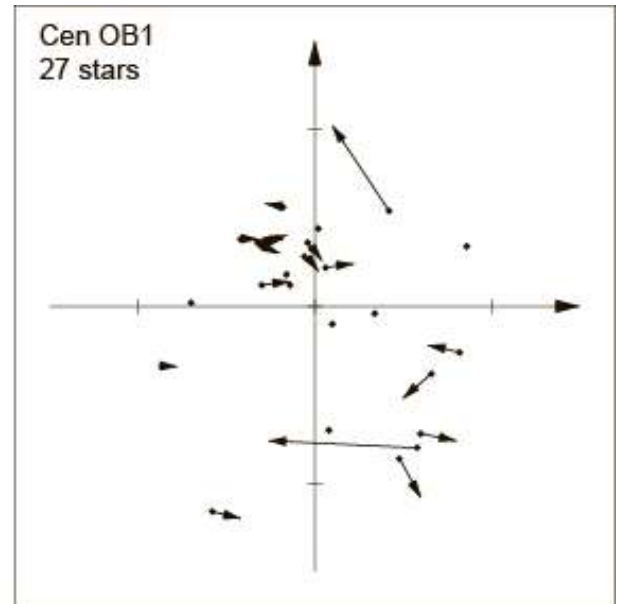
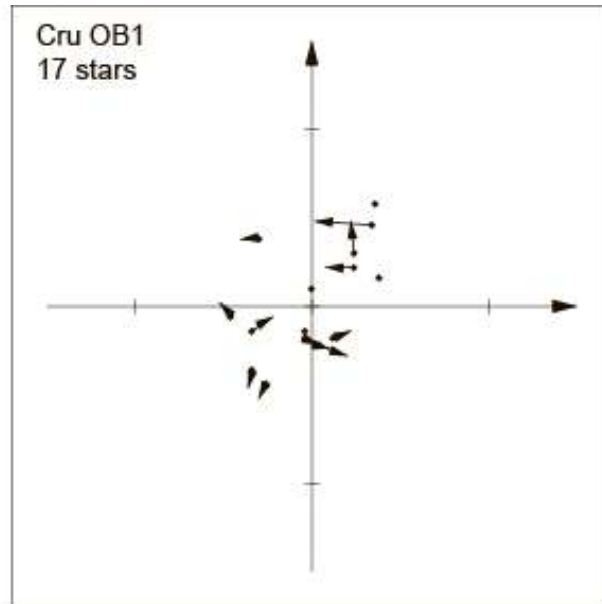
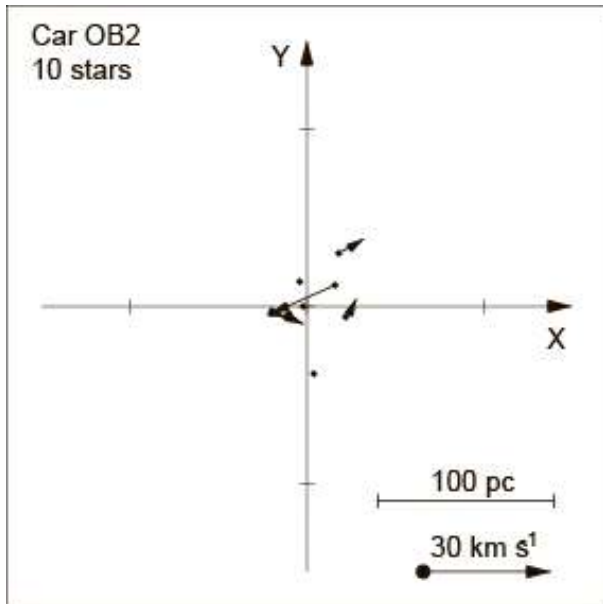
**Спасибо за внимание!**

Name	$l$ deg.	$b$ deg.	$r$ kpc	$R$ kpc	$\sigma_{vl}$ km/s	$\sigma_{vb}$ km/s	$a$ pc	$r_{td}$ pc	$M_{vir}$ $M_{\odot}$	$n_{\mu}$	$M_{st}$ $M_{\odot}$	$N_{20}$	$M_g$ $M_{\odot}$	$\epsilon$ 100%
SGR OB1	7.55	-0.77	1.26	6.25	1.3	4.6	42	24	$4.3 \cdot 10^5$	13	$9.2 \cdot 10^3$	22	$7.6 \cdot 10^3$	2.1
CYG OB3	71.47	2.01	1.83	7.13	2.9	1.6	49	28	$2.9 \cdot 10^5$	15	$11.7 \cdot 10^3$	28	$12.4 \cdot 10^3$	4.0
CYG OB1	75.84	1.12	1.46	7.28	3.8	2.5	32	31	$3.7 \cdot 10^5$	12	$15.8 \cdot 10^3$	38	$3.5 \cdot 10^3$	4.3
CYG OB8	77.91	3.36	1.83	7.34	3.7	13.9	42	24	$37.5 \cdot 10^5$	10	$7.1 \cdot 10^3$	17	$7.4 \cdot 10^3$	0.2
CYG OB7	88.99	0.03	0.63	7.52	11.4	2.1	53	19	$28.0 \cdot 10^5$	16	$3.3 \cdot 10^3$	8	$15.6 \cdot 10^3$	0.1
CEP OB2	101.59	4.64	0.73	7.68	3.2	4.2	45	26	$7.2 \cdot 10^5$	34	$8.3 \cdot 10^3$	20	$9.4 \cdot 10^3$	1.1
CEP OB1	104.14	-0.97	2.78	8.61	9.0	4.7	178	36	$97.8 \cdot 10^5$	20	$16.7 \cdot 10^3$	40	$576.4 \cdot 10^3$	0.2
CEP OB3	110.73	3.01	0.70	7.77	1.3	1.3	12	14	$0.2 \cdot 10^5$	12	$1.2 \cdot 10^3$	3	$0.2 \cdot 10^3$	5.7
PER OB1	134.67	-3.15	1.83	8.88	5.0	3.1	59	48	$5.7 \cdot 10^5$	58	$35.8 \cdot 10^3$	86	$20.9 \cdot 10^3$	6.3*
CAS OB6	135.02	0.75	1.75	8.83	2.4	3.9	78	29	$9.1 \cdot 10^5$	11	$7.9 \cdot 10^3$	19	$49.4 \cdot 10^3$	0.9
CAM OB1	141.08	0.89	0.80	8.14	4.7	3.4	86	23	$16.7 \cdot 10^5$	26	$5.0 \cdot 10^3$	12	$66.0 \cdot 10^3$	0.3
AUR OB1	173.83	0.14	1.06	8.55	2.6	1.5	69	22	$3.3 \cdot 10^5$	12	$3.7 \cdot 10^3$	9	$33.9 \cdot 10^3$	1.1
MON OB2	207.46	-1.65	1.21	8.59	1.3	2.6	71	25	$3.2 \cdot 10^5$	10	$5.8 \cdot 10^3$	14	$36.6 \cdot 10^3$	1.8
NGC 2439	245.27	-4.08	3.50	9.50	7.2	3.0	155	31	$46.6 \cdot 10^5$	10	$7.9 \cdot 10^3$	19	$384.7 \cdot 10^3$	0.2
CAR OB1	286.45	-0.46	2.01	7.19	7.0	2.3	63	34	$12.8 \cdot 10^5$	15	$21.2 \cdot 10^3$	51	$26.2 \cdot 10^3$	1.7*
CAR OB2	290.39	0.12	1.75	7.08	1.9	2.2	27	26	$1.4 \cdot 10^5$	10	$9.6 \cdot 10^3$	23	$2.1 \cdot 10^3$	7.0
CRU OB1	294.87	-1.06	2.01	6.90	3.1	2.0	40	25	$3.1 \cdot 10^5$	17	$9.6 \cdot 10^3$	23	$6.8 \cdot 10^3$	3.1
CEN OB1	304.06	1.44	1.92	6.62	5.4	1.9	70	32	$11.0 \cdot 10^5$	27	$20.8 \cdot 10^3$	50	$34.9 \cdot 10^3$	1.9

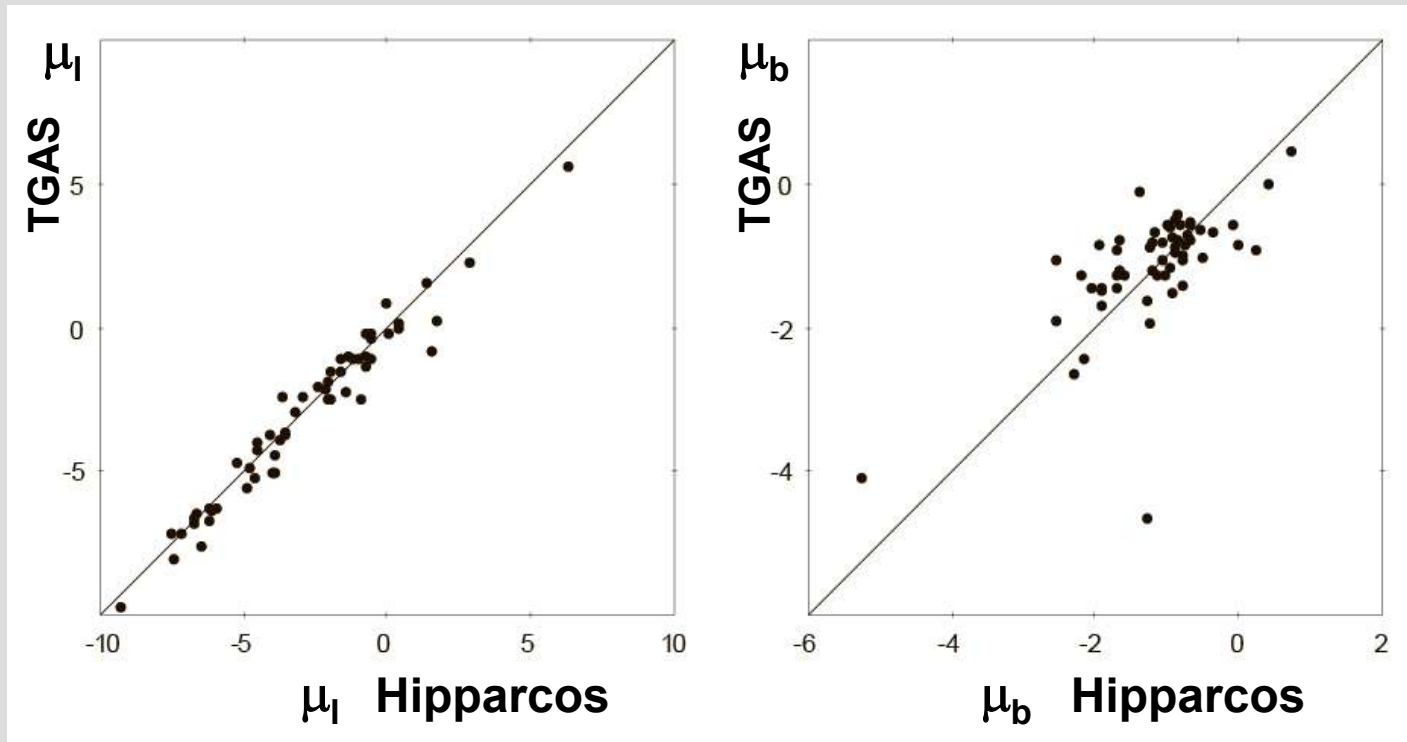
\* Values of  $M_{vir}$  and  $\epsilon$  for Per OB1 and Car OB1 are corrected for the expansion effect (Section 4.3)







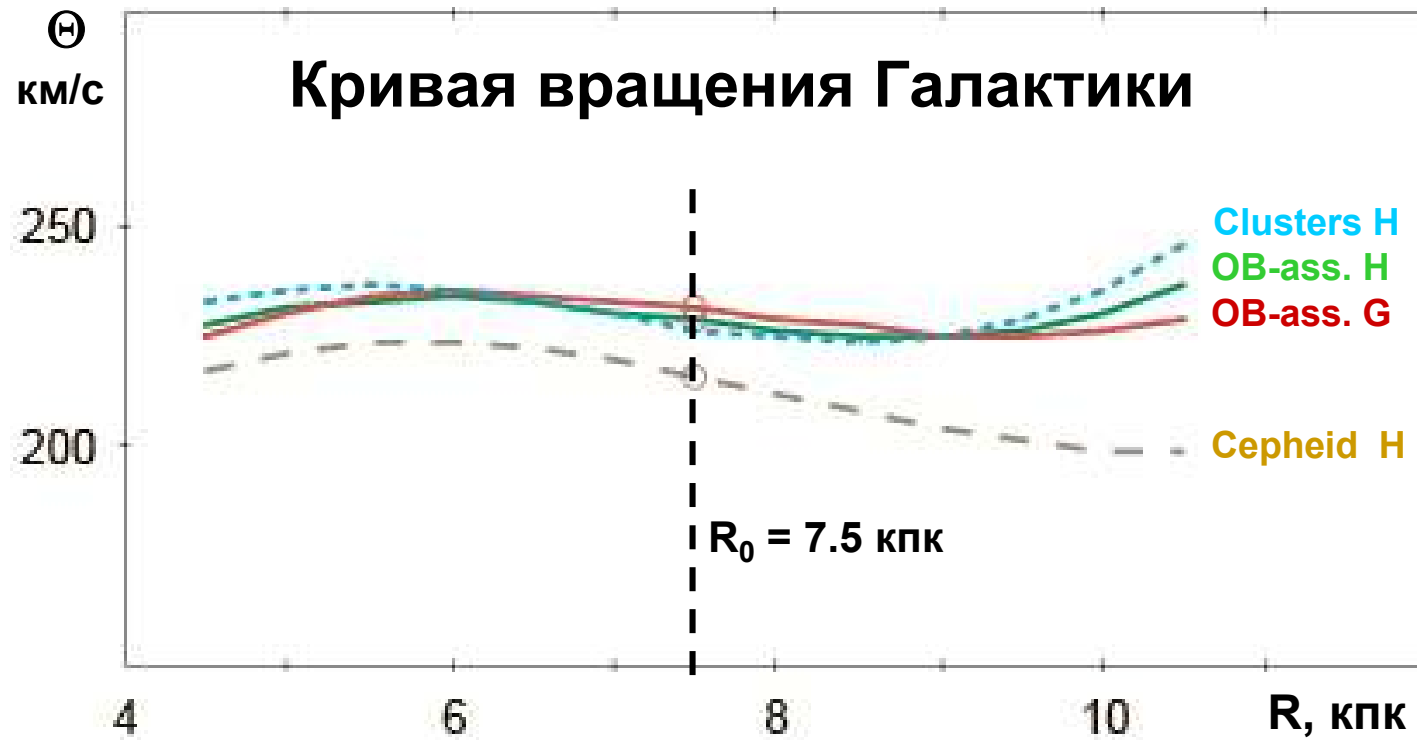
**Сравнение медианных значений  
собственных движений ОБ-ассоциаций  $\mu_l$  и  $\mu_b$ ,  
вычисленных с TGAS и Hipparcos каталогами.**



**Среднее значение разности**

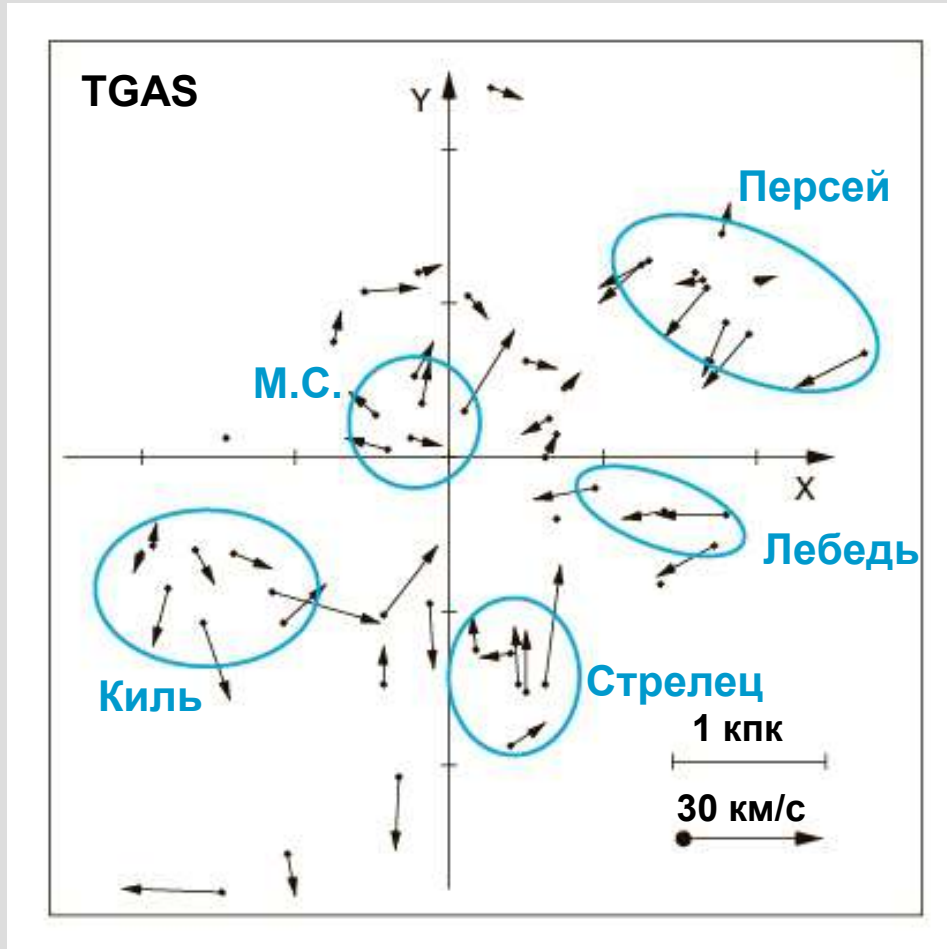
**$|\mu_{\text{TGAS}} - \mu_{\text{Hipparcos}}| = 0.67 \text{ mas/yr}$ , что сравнимо с  
ошибками в каталоге Hipparcos  $\varepsilon_{\mu} = 0.916 \text{ mas/yr}$ .  
На расстоянии 1.5 кпс  $\rightarrow 4.7 \text{ км/с}$ .**





Sample		$\Omega_0$	$\Omega'_0$	$\Omega''_0$	$u_0$	$v_0$	$\sigma_0$	$N_{eq}$
		км/с/кпк	км/с/кпк <sup>2</sup>	км/с/кпк <sup>3</sup>	км/с	км/с	км/с	
<b>1</b>	$n_{vr} \geq 2$	<b>30.9</b>	<b>-4.71</b>	<b>1.13</b>	<b>7.5</b>	<b>10.9</b>	<b>7.69</b>	<b>126</b>
	$n_{\mu} \geq 2$	<b><math>\pm 0.9</math></b>	<b><math>\pm 0.18</math></b>	<b><math>\pm 0.22</math></b>	<b><math>\pm 1.0</math></b>	<b><math>\pm 0.4</math></b>		
<b>2</b>	$n_{vr} \geq 5$	<b>31.1</b>	<b>-4.63</b>	<b>1.19</b>	<b>7.5</b>	<b>12.9</b>	<b>8.08</b>	<b>82</b>
	$n_{\mu} \geq 5$	<b><math>\pm 1.1</math></b>	<b><math>\pm 0.23</math></b>	<b><math>\pm 0.32</math></b>	<b><math>\pm 1.3</math></b>	<b><math>\pm 1.9</math></b>		

# Остаточные скорости OB-ассоциаций ( $V_{res} = V_{obs} - V_{rot} - V_{ap}$ )



Vres	VR	VT
Персей	-5.9 -6.7	-4.7 G -5.9 H
Мест. С.	+5.2 +5.3	-0.1 G +0.6 H
Лебедь	-5.8 -5.0	-11.7 G -10.4 H
Киль	-6.0 -5.8	+5.1 G +4.7 H
Стрелец	+9.8 +9.9	-1.2 G -1.0 H

Остаточные скорости OB-ассоциаций в звездно-газовых комплексах, вычисленные по собственным движениям из каталогов TGAS и Hipparcos, отличаются в среднем на 0.7 км/с.

## Движения OB-ассоциаций по Z-координате

$$V_z = 4.74 \mu_b \cos(b) r + V_r \sin(b) + w_0$$

Для 53 OB-ассоциаций с известными собственными движениями и лучевыми скоростями значение скорости Солнца по z-координате  $w_0$  и дисперсия  $\sigma_{vz}$  имеют значения:

$$w_0 = 7.7 \pm 0.43 \text{ км/с} \quad \sigma_{vz} = 3.8 \text{ км/с} \quad \text{TGAS}$$

После исключения трех OB-ассоциаций:

ARA OB1B (2.8 кпк)  $V_z = -9 \text{ км/с}$

R 103 (3.2 кпк)  $V_z = -15 \text{ км/с}$

Суг OB8 (2.3 кпк)  $V_z = +11 \text{ км/с}$

$$w_0 = 7.5 \pm 0.4 \text{ км/с} \quad \sigma_{vz} = 2.6 \text{ км/с}$$

Всего OB-ассоциации включают 500 звезд с собственными движениями из каталога TGAS.  
(774 звезды в Hipparcos)  
Средняя ошибка их определения

в каталоге TGAS	$\varepsilon_{\mu} = 0.059 \text{ mas/yr,}$
в каталоге Hipparcos	$\varepsilon_{\mu} = 0.916 \text{ mas/yr,}$

(mas/yr = миллисекунд /год).

Собственные движения в каталоге TGAS определяются почти в 15 раз точнее, чем в каталоге Hipparcos.

Мы вычислили медианные значения собственных движений звезд для 56 OB-ассоциаций, включающих, как минимум, 2 звезды из каталога TGAS.

