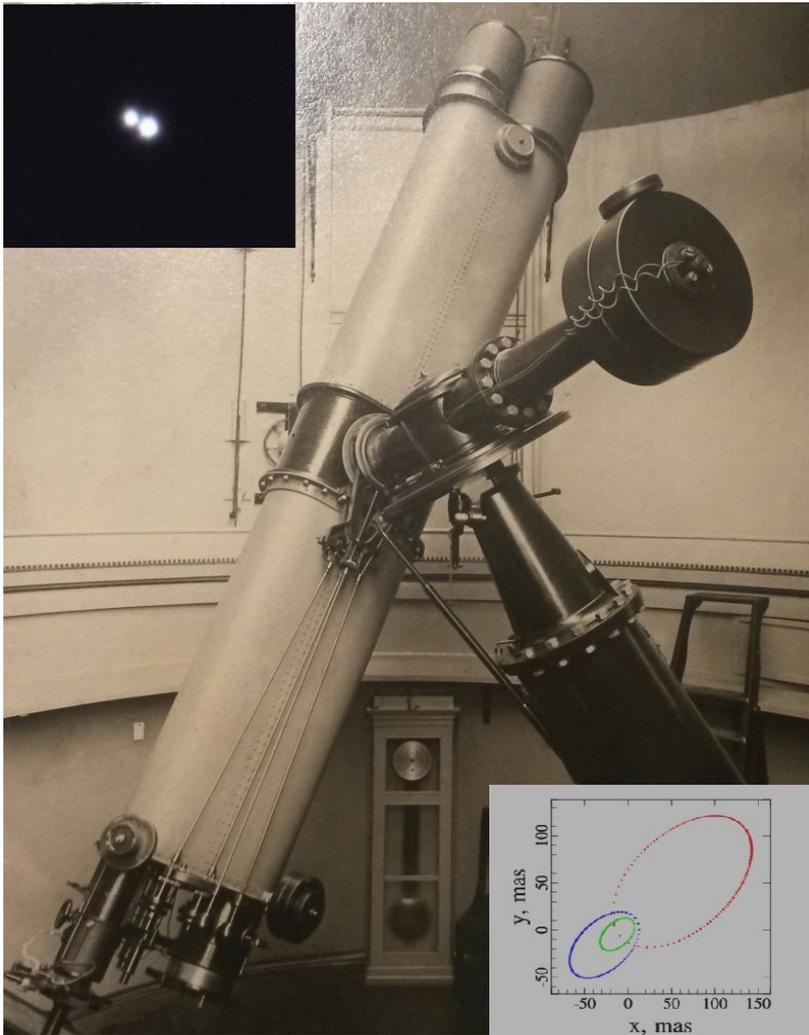
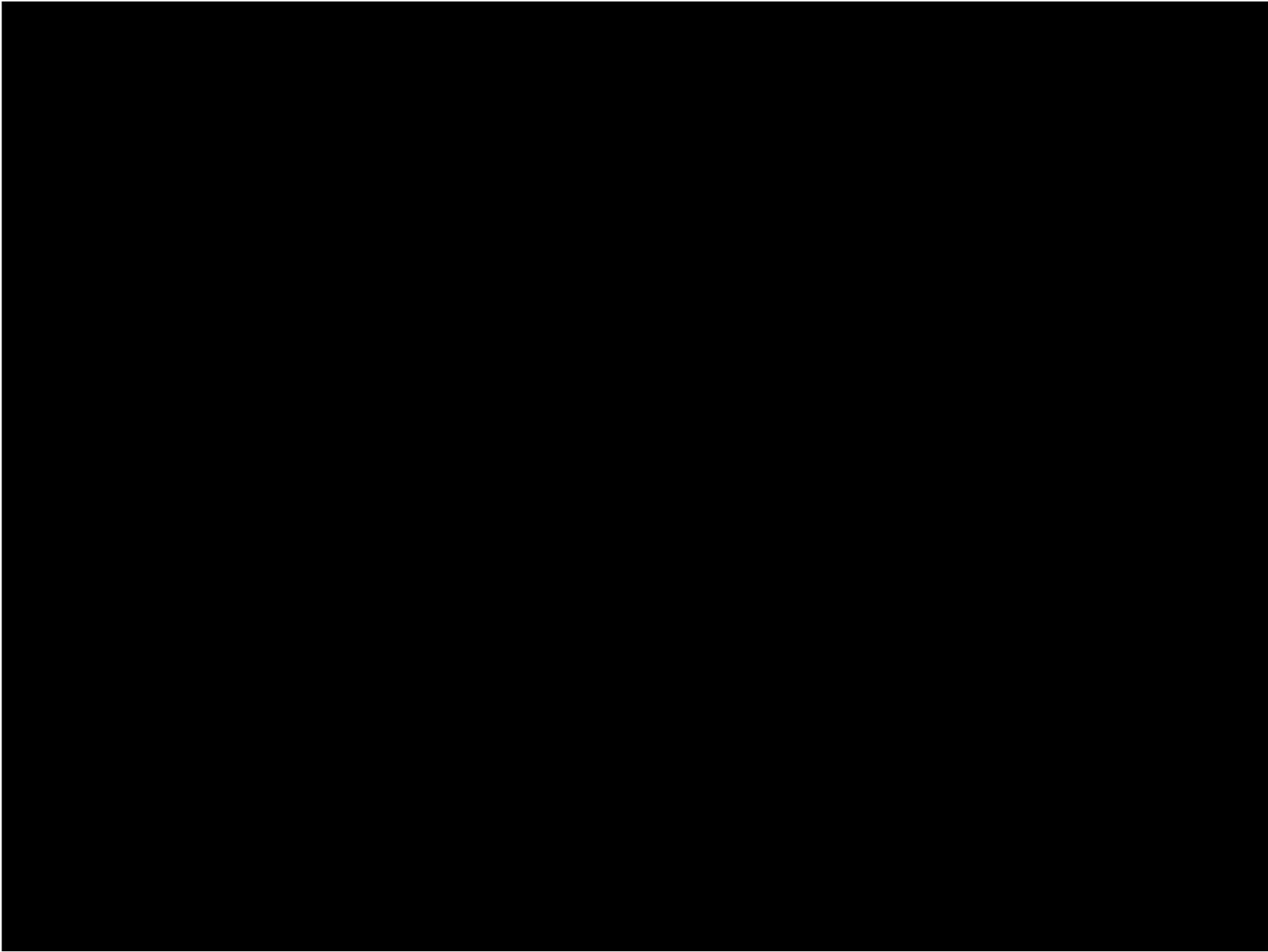


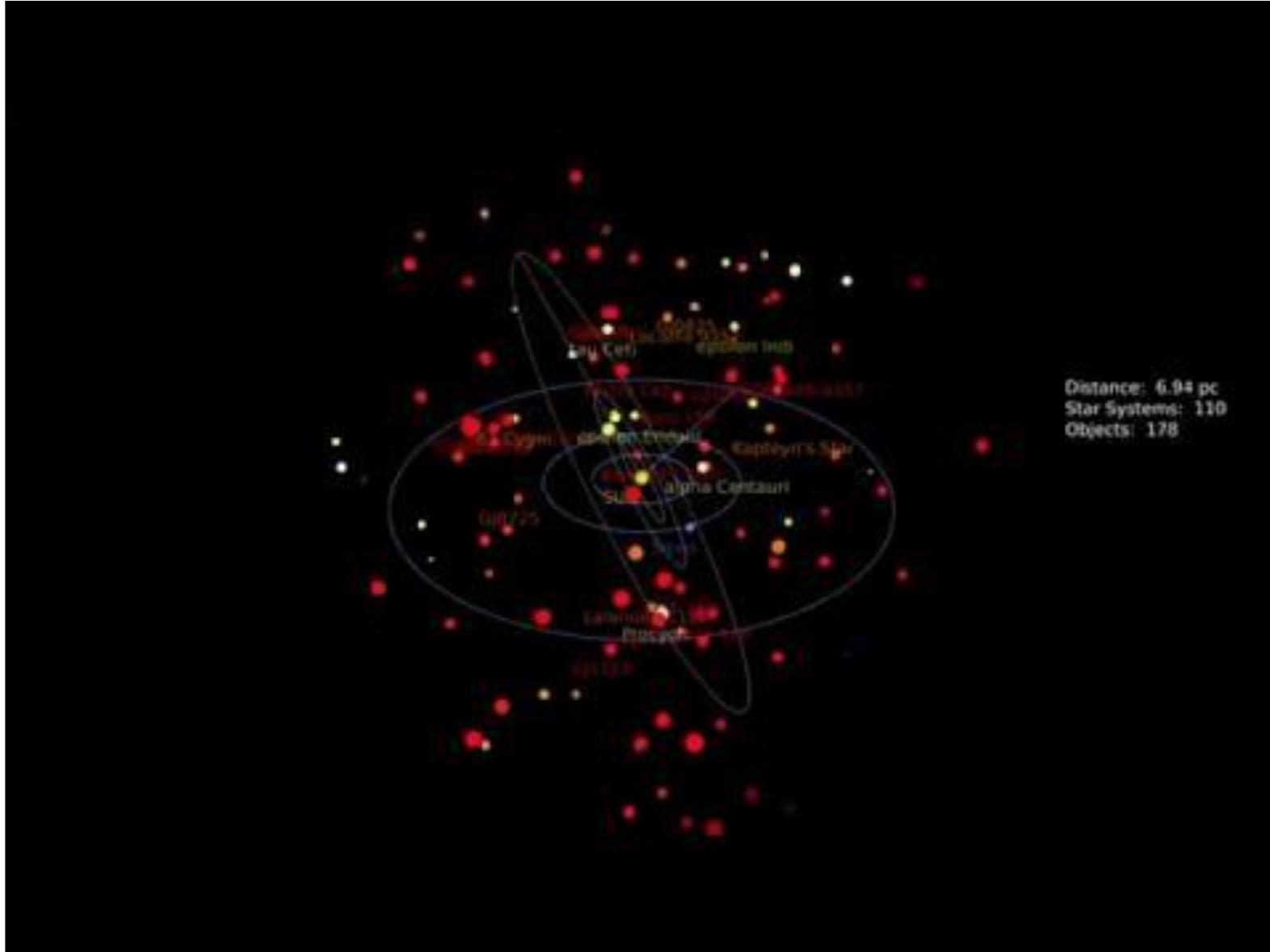
# Изучение тайн двойных звезд- карликов в Пулковской обсерватории



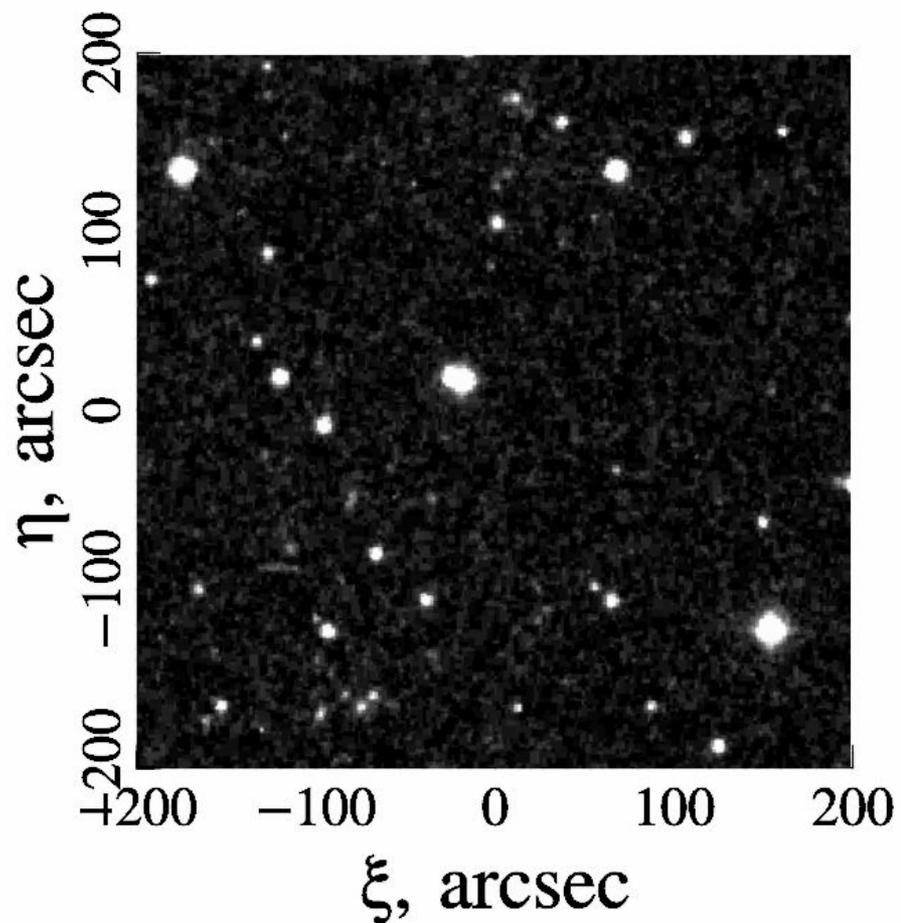
**Какие звезды принято называть карликами?**



# Где легче искать звезды-карлики?



**Близкие звезды довольно быстро двигаются на фоне более далеких звезд.**



Смещение звезды WDS14519+5147 за 50 лет

# Почему вообще есть эти карлики и гиганты?

*Строим модель звезды....*

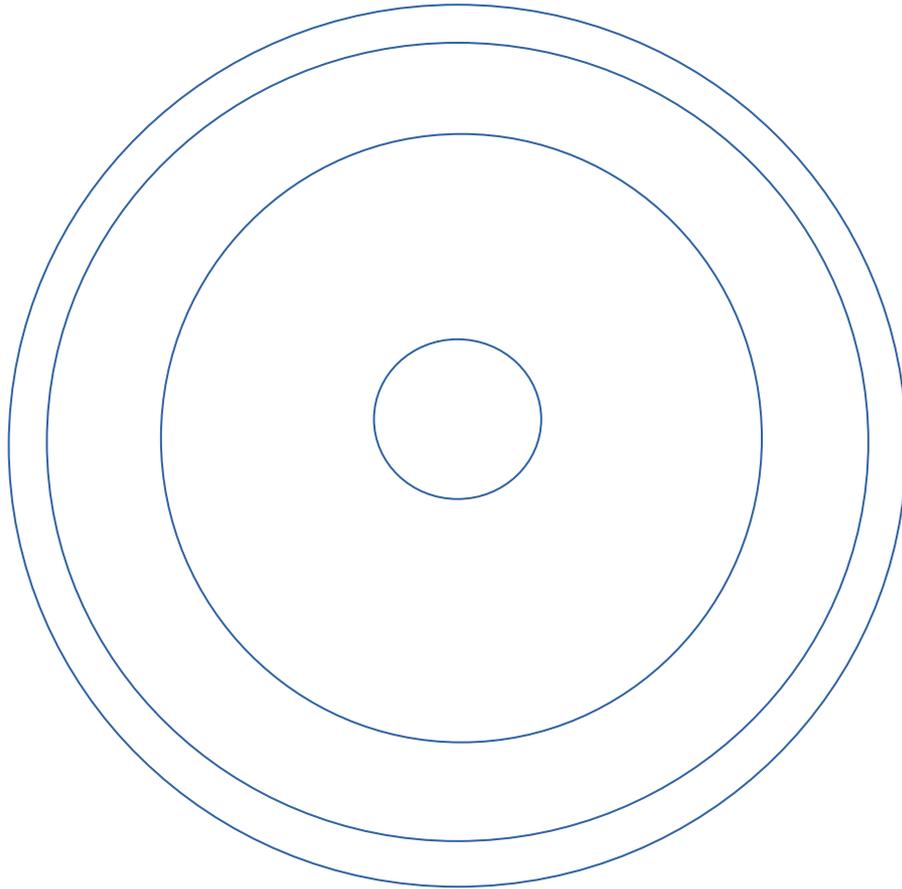


...but it is reasonable to hope that in the not too distant future we shall be competent to understand so simple a thing as a star...

Sir Arthur Stanley Eddington

# Почему вообще есть эти карлики и гиганты?

*Строим модель звезды....*

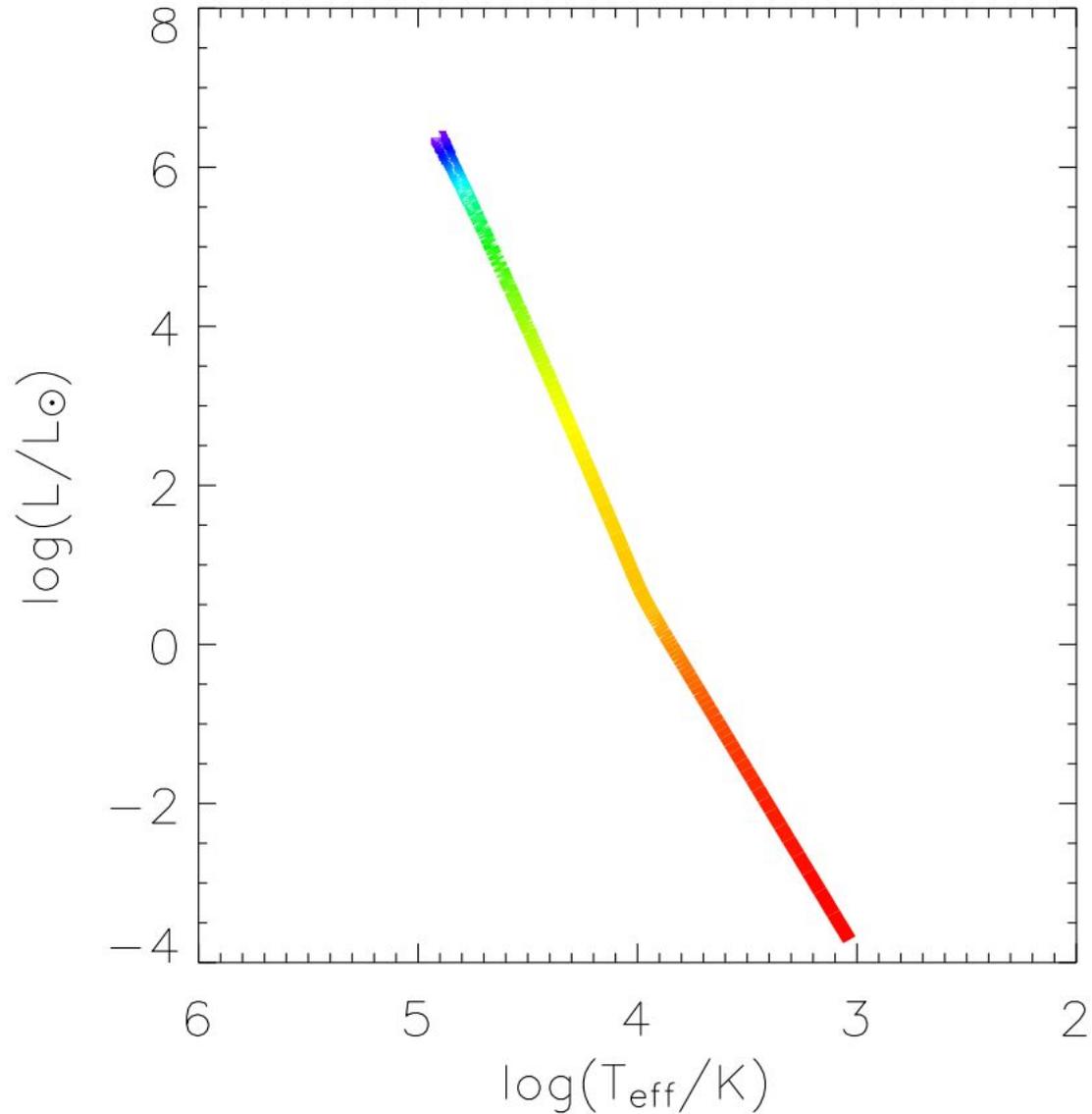


Что мы знаем: Массу, размер, светимость, температуру и хим. состав для внешнего слоя...

Решаем уравнения, находим параметры более глубокого слоя... и так далее до самого центра.

$$\begin{aligned}\frac{dm}{dr} &= 4\pi r^2 \rho, \\ \frac{dP}{dr} &= -\frac{Gm\rho}{r^2}, \\ \frac{dL}{dr} &= 4\pi r^2 \rho \epsilon, \\ \frac{dT}{dr} &= -\frac{3\kappa\rho L}{16\pi a c r^2 T^3},\end{aligned}$$

## Вот, что вышло... Ничего не напоминает?

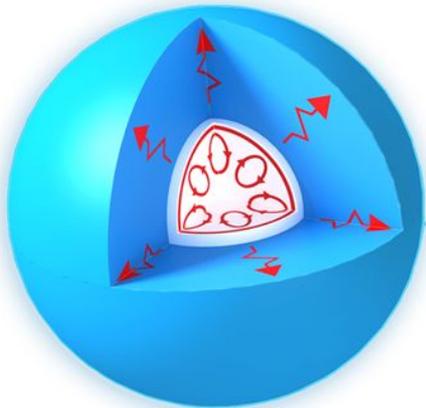


Тут собрано много моделей с солнечной металличностью и разными массами...

**Для звезд разных масс модели получились разные...**

## Heat Transfer of Stars

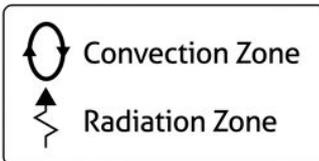
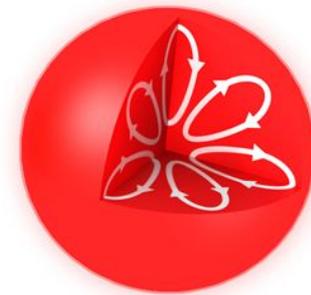
> 1.5 solar masses



0.5 - 1.5 solar masses

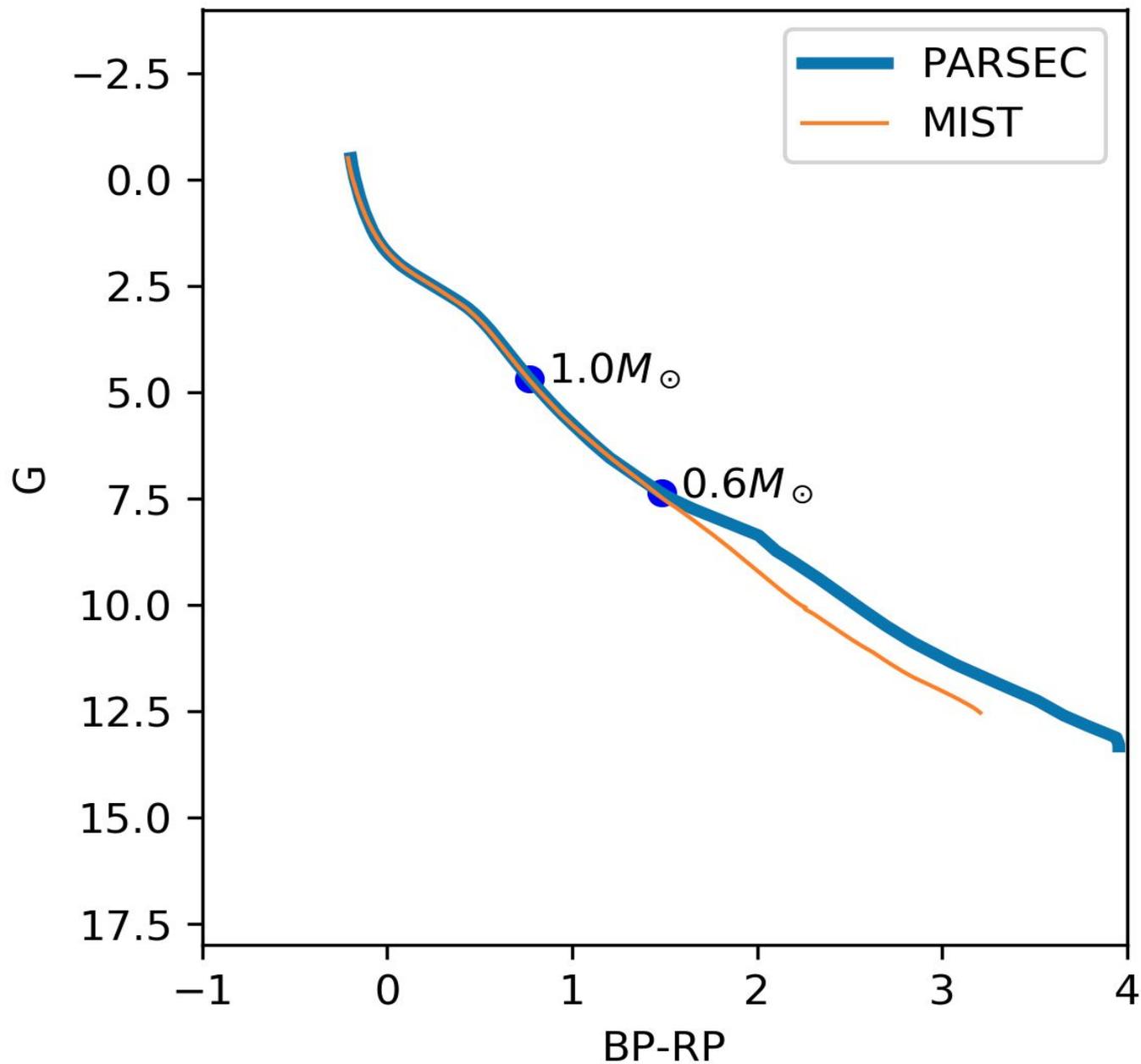


< 0.5 solar masses



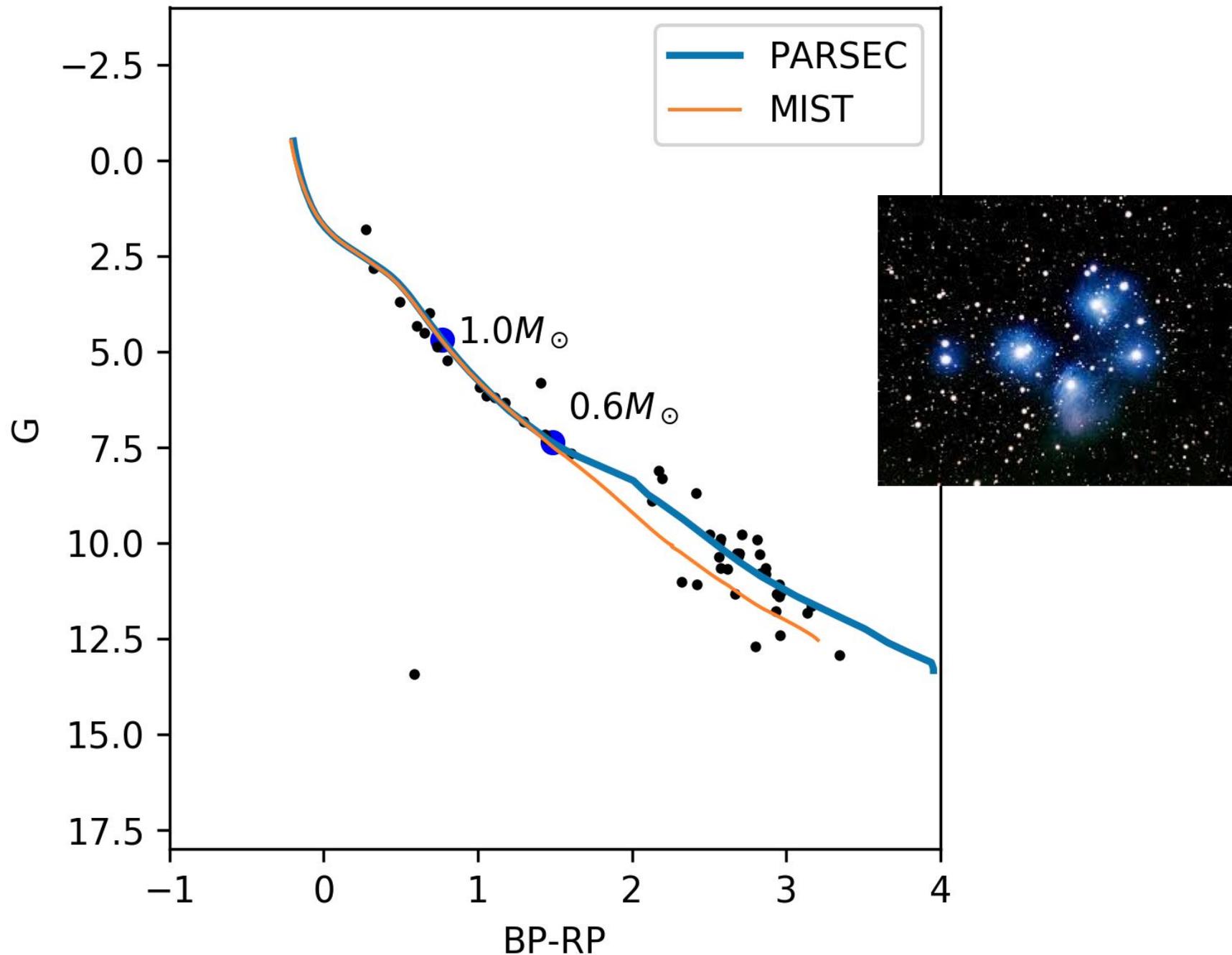
Внутри не проберешься, но есть возможность проверить, опираясь на статистику

# Насколько хороши модели для звезд разных масс



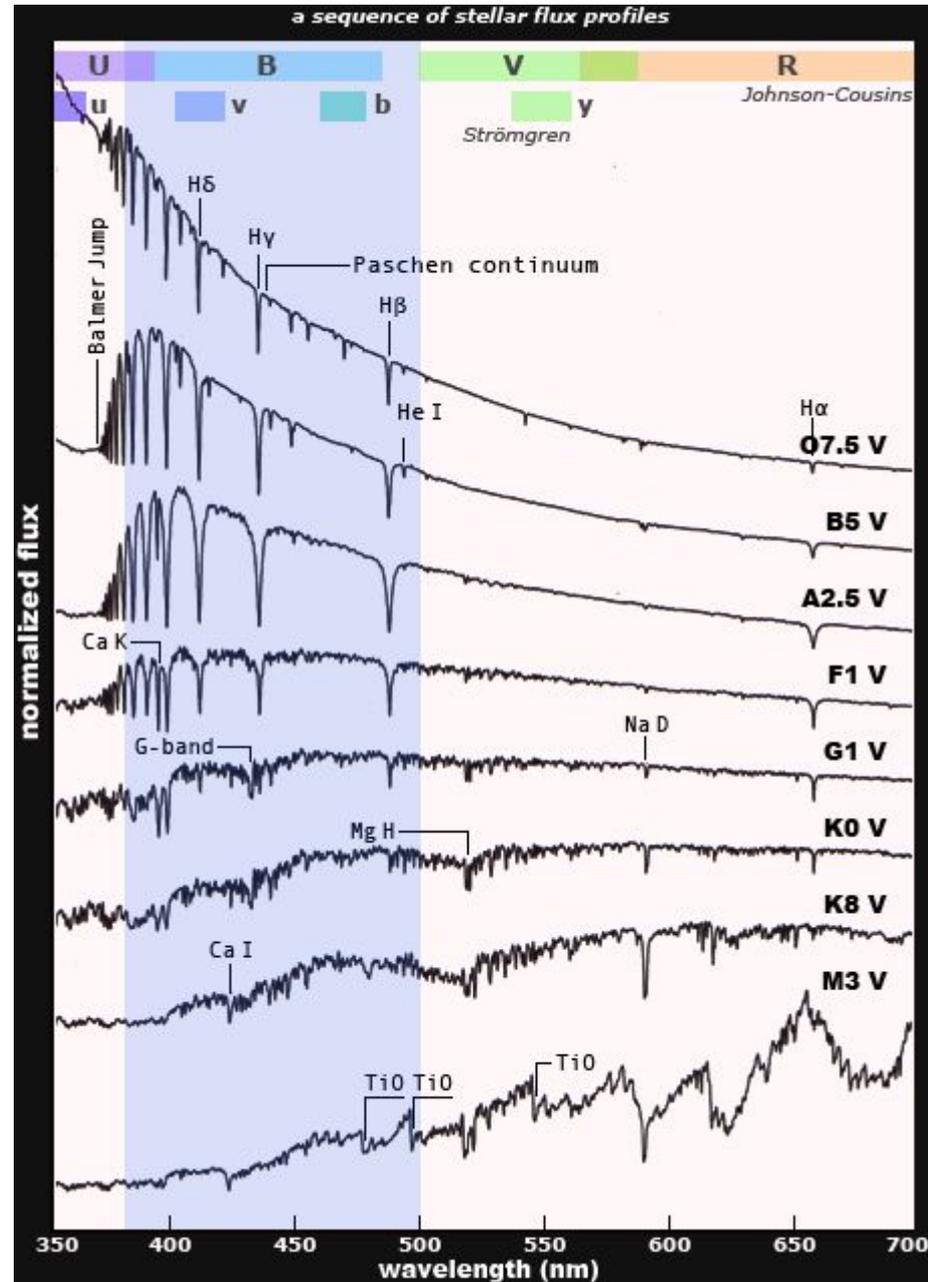
Теоретические изохроны PARSEC и MIST для солнечной металличности и возраста 100 млн. лет

# Насколько хороши модели для звезд разных масс



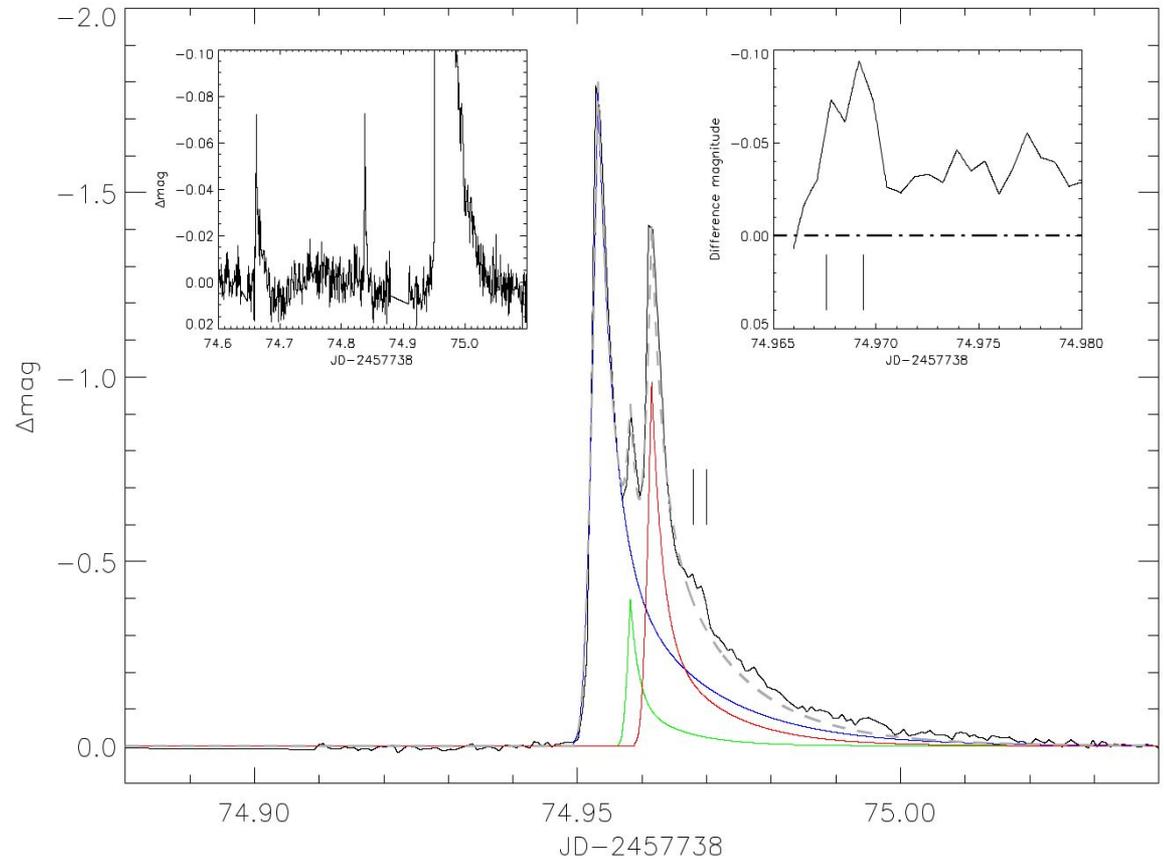
Теоретические изохроны PARSEC и MIST для солнечной металличности и возраста 100 млн. лет. Точки соответствуют звездам скопления Плеяды (M45)

# Почему так плохо все для $M < 0.6 M_{\odot}$



“сложная химия” - температура низкая, появляются молекулы (оксиды и т.п.)

# Почему так плохо все для $M < 0.6 M_{\odot}$

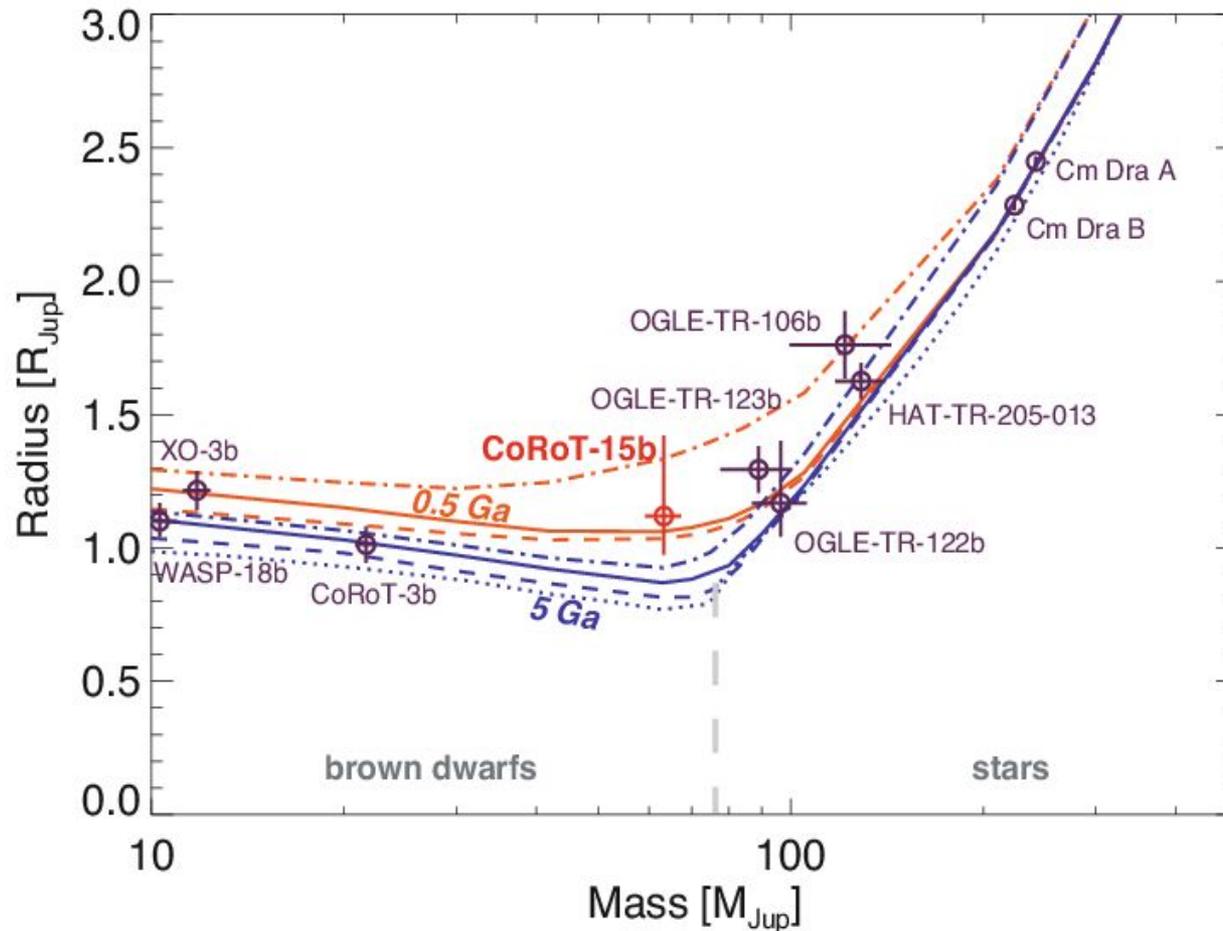


У этих звезд есть “магнитная активность”..., даже вспышки покрупнее солнечных.

Наблюдения на ALMA говорят о наличии сложного магнетизма, наличии “нетеплового” излучения.

<https://www.almaobservatory.org/wp-content/uploads/2017/06/151119-the-first-millimeter-detection-of-a-non-accr-eting-ultracool-dwarfpaper.pdf>

А еще мы плохо знаем эмпирические зависимости “масса-светимость”, “масса-радиус”...



Эх, нам бы где нибудь взять точные массы для калибровки зависимостей..., вот была бы жизнь!

Надо как-то взвесить эти карлики уже...



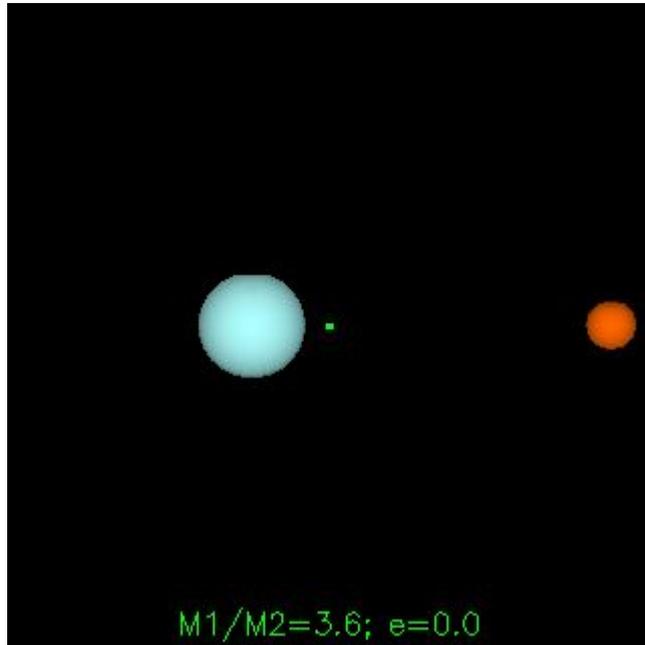
красный карлик



100 юпитеров

Весы учебные  
Предел взвешивания - 100 г  
Чувствительность - 0,2 г

## Двойные системы – классический способ оценки масс



### Задача двух тел

Все это ведет к третьему закону Кеплера:

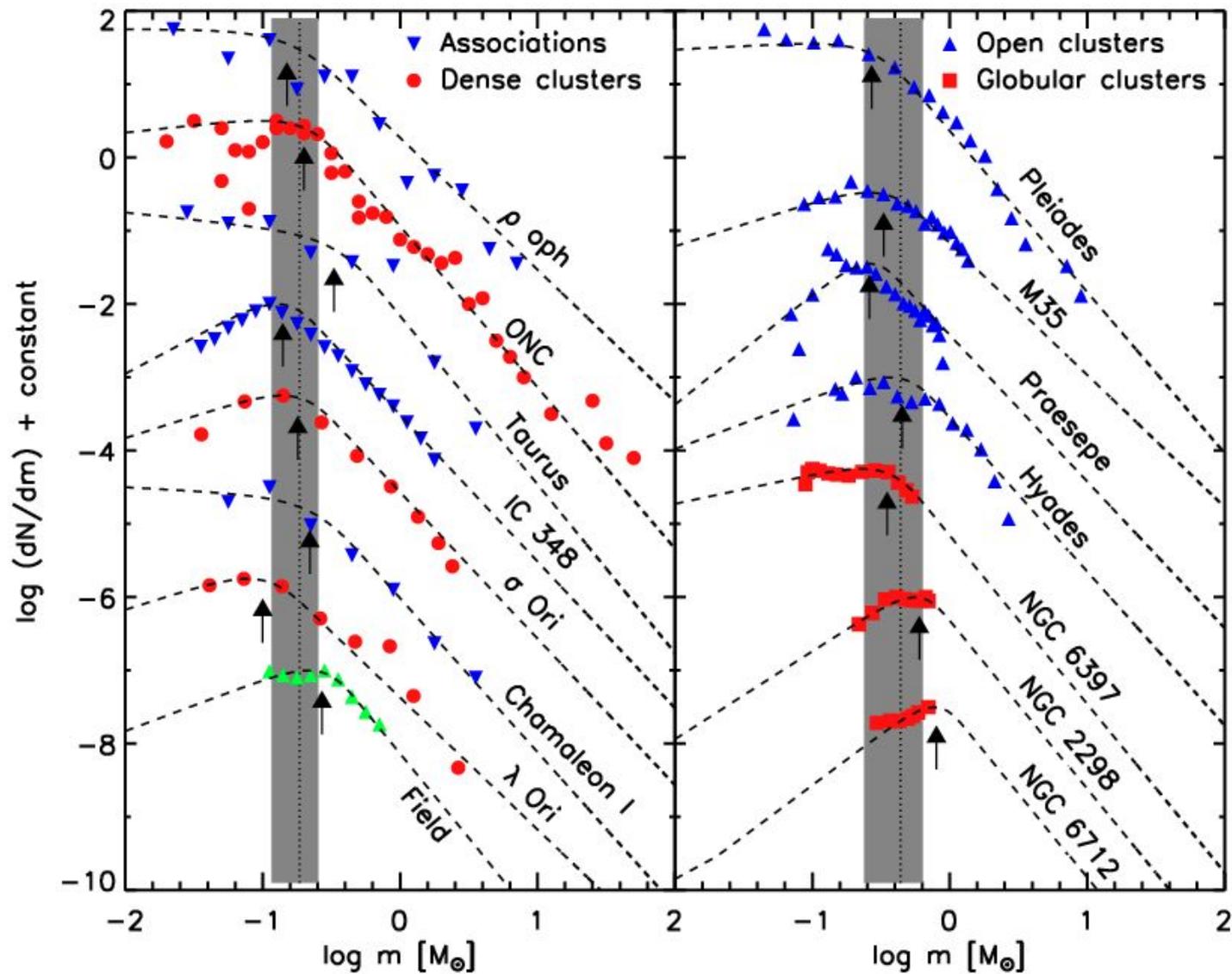
$$2\pi \frac{a^2}{T} = \sqrt{\mu} \sqrt{a}, \quad \frac{a^3}{T^2} = \frac{1}{4\pi^2} \mu$$

$$\frac{T^2}{a^3} (m_1 + m_2) = \frac{4\pi^2}{G}$$

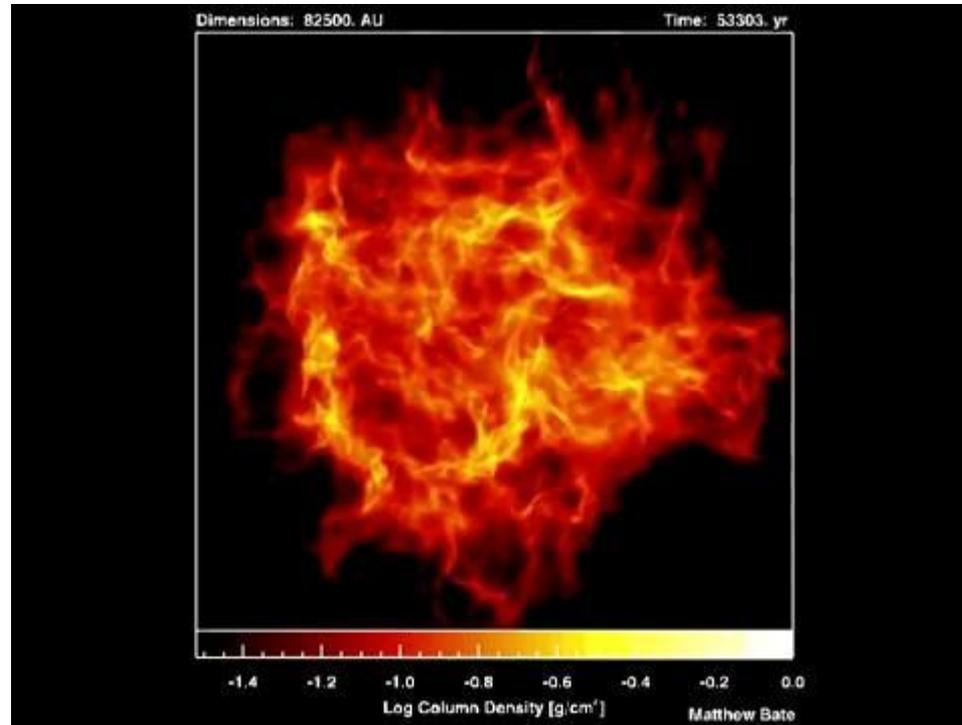
$$\frac{T^2}{a^3} (M + m) = 1$$

Период – в годах, масса – в массах Солнца, а большая полуось - в астрономических единицах...

# “Демография” маломассивных двойных систем – один из ключей к пониманию строения Галактики

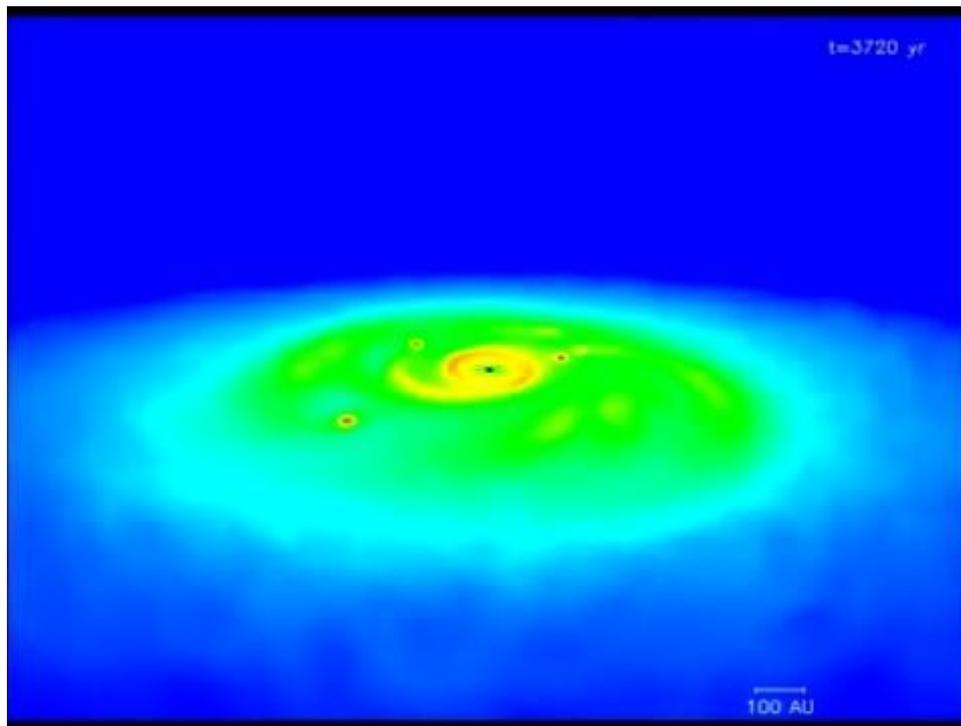


# Симуляция процесса звездообразования



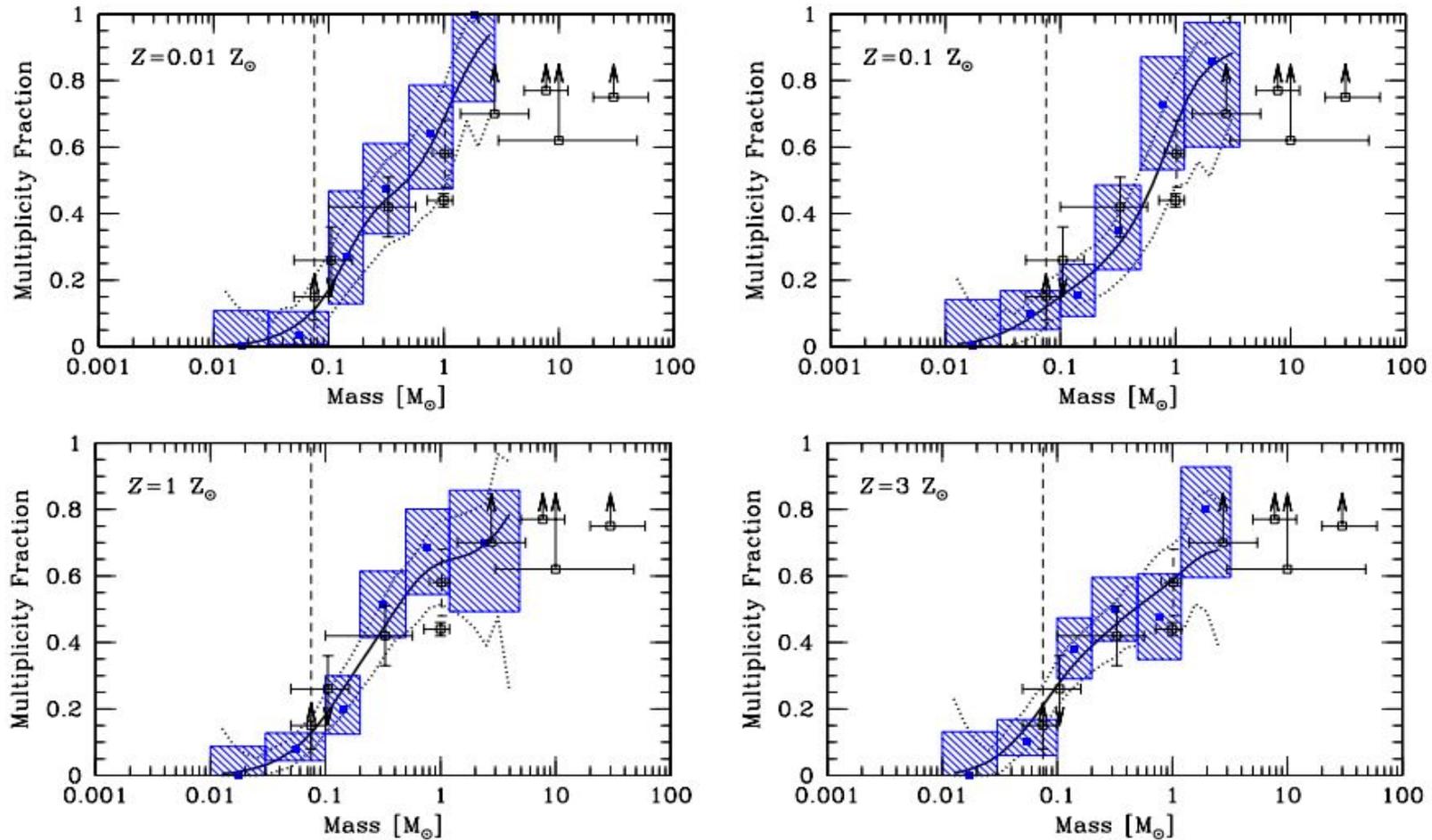
Такие симуляции, по идее, должны объяснить наблюдаемую функцию масс.

## Симуляция процесса звездообразования



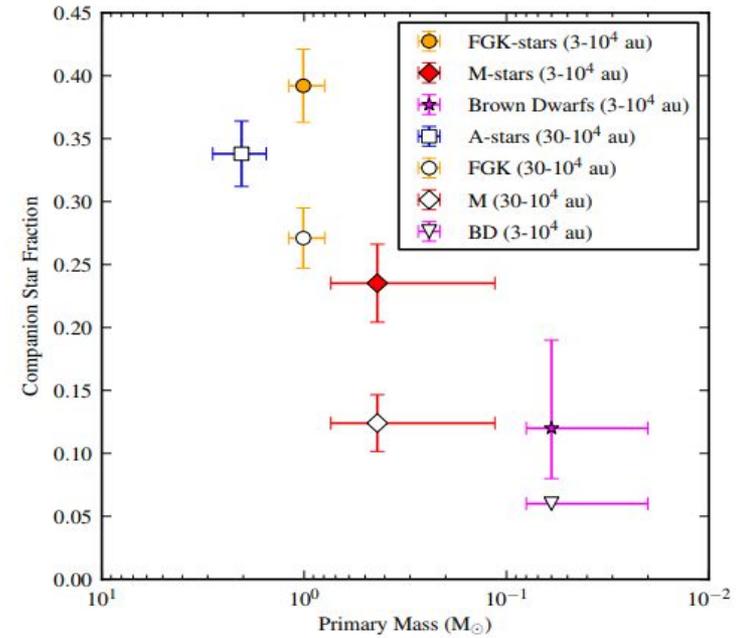
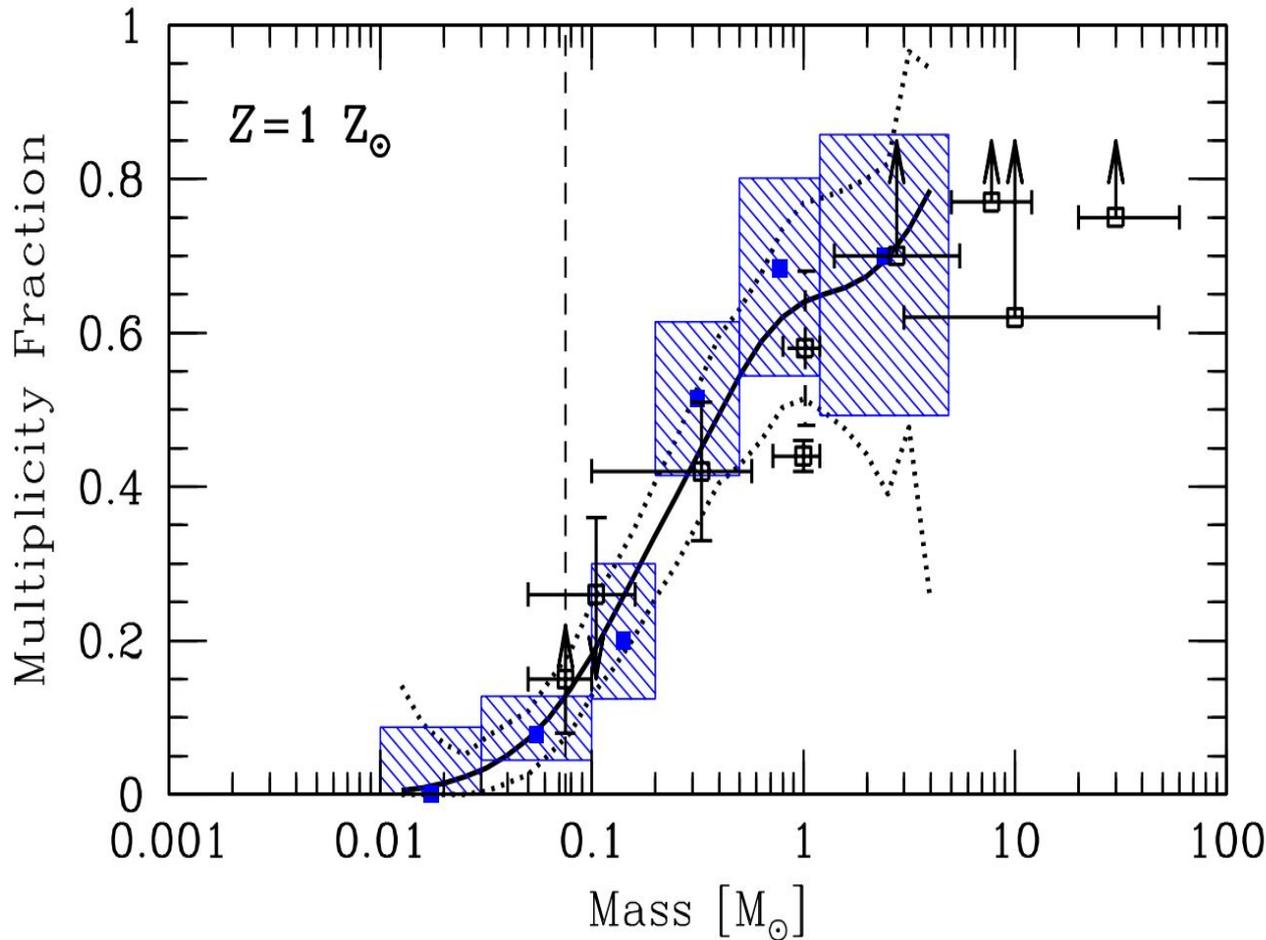
*Породить требуемую функцию масс путем только фрагментации облака не получается... В ход идет фрагментация диска вокруг массивной звезды с образованием звезд-карликов и коричневых карликов...*

# Сколько двойных звезд “рождается” в таких моделях?



**Figure 10.** Multiplicity fraction as a function of primary mass at the end of each of the calculations with different metallicities. The blue filled squares surrounded by shaded regions give the results from the calculations with their  $1\sigma$  statistical uncertainties. The thick solid lines give the continuous multiplicity fractions from the calculations computed using a sliding log-normal average and the dotted lines give the approximate  $1\sigma$  confidence intervals around the solid line. The open black squares with error bars and/or upper/lower limits give the observed multiplicity fractions from the surveys of [Close et al. \(2003\)](#), [Bari & Reiners \(2006\)](#), [Fischer & Marcy \(1992\)](#), [Raghavan et al. \(2010\)](#), [Duquennoy & Mayor \(1991\)](#), [Kouwenhoven et al. \(2007\)](#), [Rizzuto et al. \(2013\)](#), [Preibisch et al. \(1999\)](#) and [Mason et al. \(1998\)](#), from left to right. Note that the error bars of the [Duquennoy & Mayor \(1991\)](#) results have been plotted using dashed lines since this survey has been superseded by [Raghavan et al. \(2010\)](#). The observed trend of increasing multiplicity with primary mass is reproduced by all calculations. Since multiplicity is a steep function of primary mass it is important that similar mass ranges are used when comparing simulations with observations.

# Сколько двойных звезд "рождается" в таких моделях?



<https://arxiv.org/pdf/1503.00724.pdf>

Вот не очень-то согласуются модели и наблюдения.  
Впечатление такое, что много недооткрытых двойных :)

<https://arxiv.org/pdf/1901.03713.pdf>

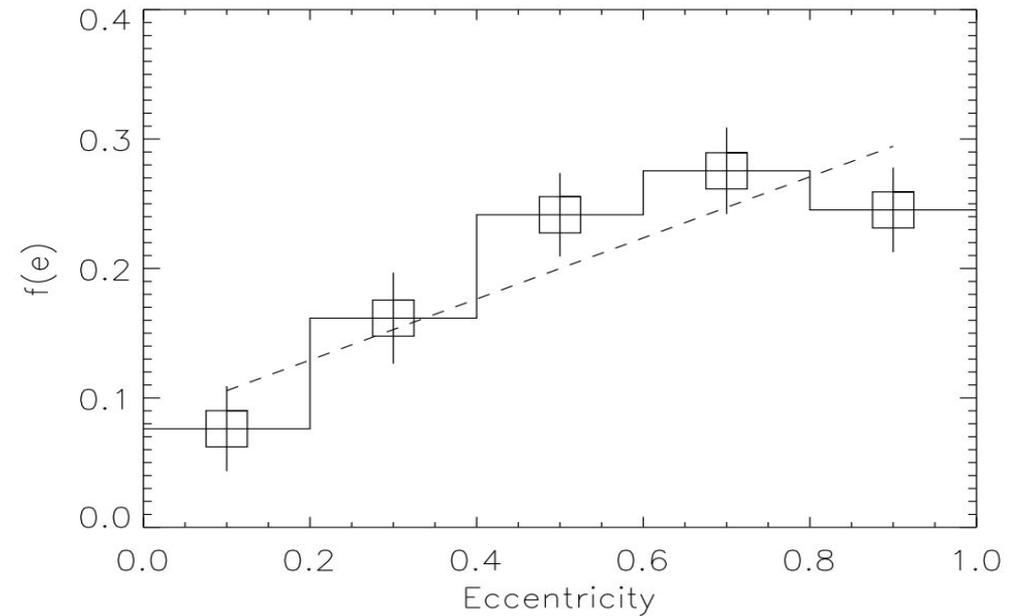
# Зоопарк орбит

Виктор Амазаспович  
Амбарцумян



$$f(e) = 2 e (1937)$$

*Eccentricity distribution of wide binaries* 7

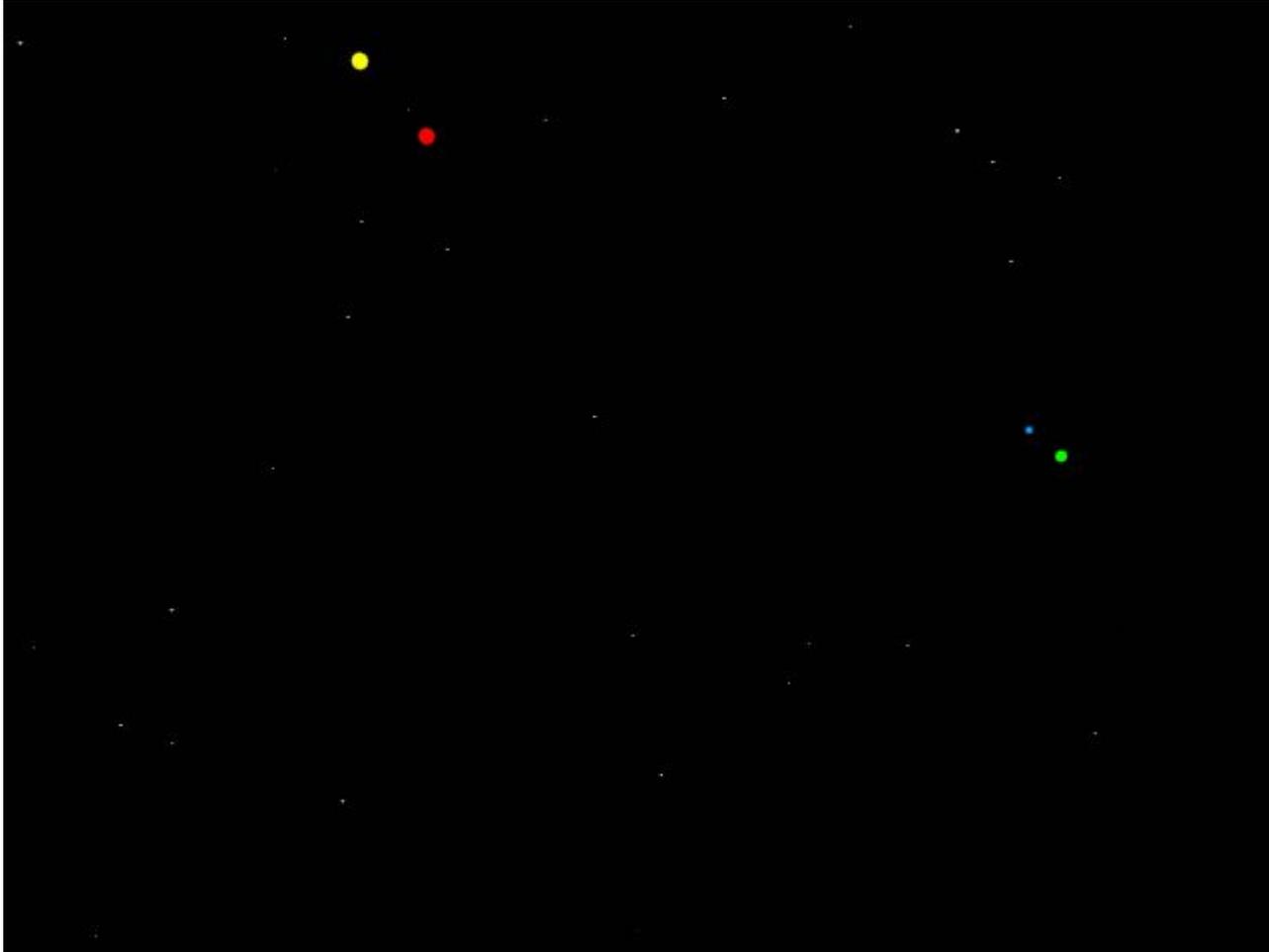


**Figure 7.** Eccentricity distribution of wide binaries and its errors determined by bootstrap for the combined sample. The dashed line is a linear model  $f(e) = 1.2e + 0.4$ .

## Подведем некоторый итог

Есть две причины искать двойные карлики....

1. Нужны маломассивные звездные пары для точных оценок масс.
2. Тест моделей звездообразования.



# Лаборатория Астрометрии и Звездной Астрономии Пулковской обсерватории



Александр  
Николаевич  
Дейч



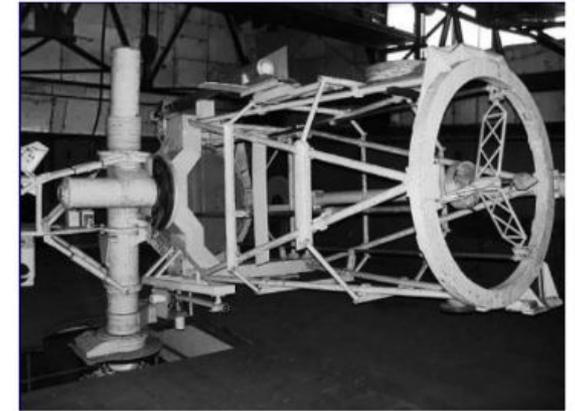
## Телескопы ЛАЗА в действии



$D=0.65$  m,  $F=10.5$ m,  
 $FOV=12 \times 12$  arcmins,  
 $CCD\text{-scale}=0.238$  arcsec/pix,  
 $Ph\text{-scale}=19.81$  arcsec/mm,  
 $mag_{lim} = 19.5^m$



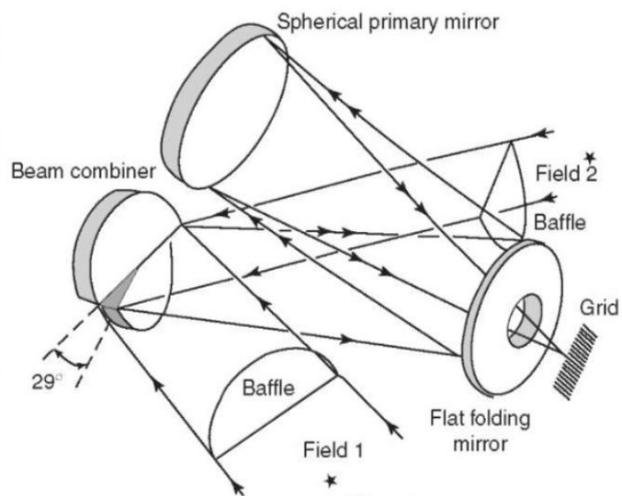
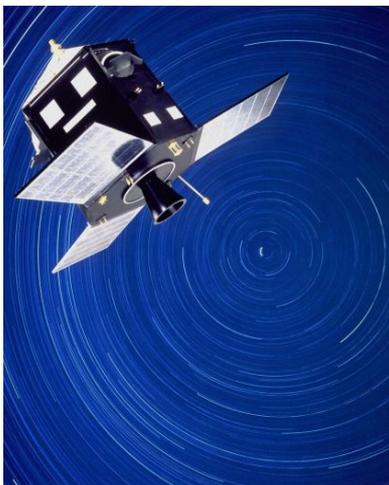
$D=0.33$  m,  $F=3.5$ m,  
 $FOV=35 \times 25$  arcmins,  
 $CCD\text{-scale}=0.530$  arcsec/pix,  
 $Ph\text{-scale}=59.56$  arcsec/mm,  
 $mag_{lim} = 17.0^m$



$D=1$  m,  $F=4$ m,  
 $FOV=30 \times 20$  arcmins,  
 $CCD\text{-scale}=0.460$  arcsec/pix,  
 $mag_{lim} = 20.0^m$

# Времена меняются... Нужны новые задачи для старых телескопов

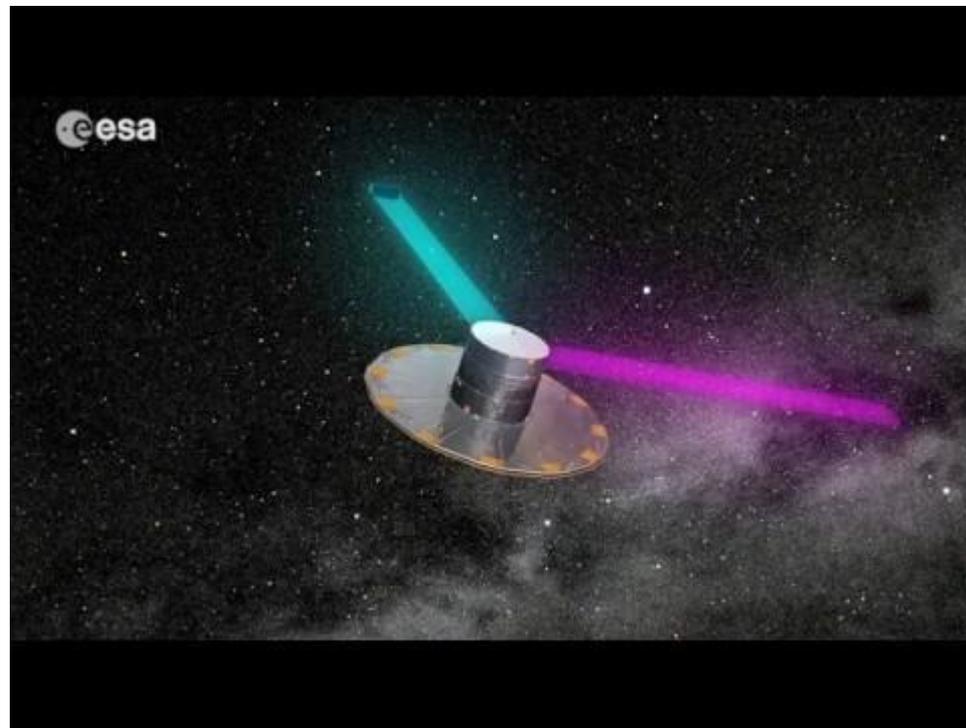
Миссии Hipparcos и Gaia изменили облик астрометрии



Телескоп системы Шмидта с диаметром главного зеркала 29 см!

Наблюдения велись с 1989.8 по 1993.2. Получены точные положения, собственные движения и оценки блеска для 117955 звезд до 9 mag. Есть измерения для объектов 12 mag.

Датчик, изначально предназначенный для отождествления звезд, позволил измерить положения еще более миллиона объектов!



## Второй релиз Gaia... Почти 1.5 миллиарда объектов

<b>Data product or source type</b>	<b>Typical uncertainty</b>
Five-parameter astrometry (position & parallax)	0.02–0.04 mas at $G < 15$ 0.1 mas at $G = 17$ 0.7 mas at $G = 20$ 2 mas at $G = 21$
Five-parameter astrometry (proper motion)	0.07 mas yr <sup>-1</sup> at $G < 15$ 0.2 mas yr <sup>-1</sup> at $G = 17$ 1.2 mas yr <sup>-1</sup> at $G = 20$ 3 mas yr <sup>-1</sup> at $G = 21$
Two-parameter astrometry (position only)	1–4 mas
Systematic astrometric errors (sky averaged)	< 0.1 mas
Gaia-CRF2 alignment with ICRF	0.02 mas at $G = 19$
Gaia-CRF2 rotation with respect to ICRF	< 0.02 mas yr <sup>-1</sup> at $G = 19$
Gaia-CRF2 alignment with ICRF	0.3 mas at $G < 12$
Gaia-CRF2 rotation with respect to ICRF	< 0.15 mas yr <sup>-1</sup> at $G < 12$

# Звезды-карлики – традиционная тема для ЛАЗА

Изучая визуально-двойные звезды, астрономы ЛАЗА частенько выявляли маломассивных карликов, как дополнительные компоненты уже известных двойных...

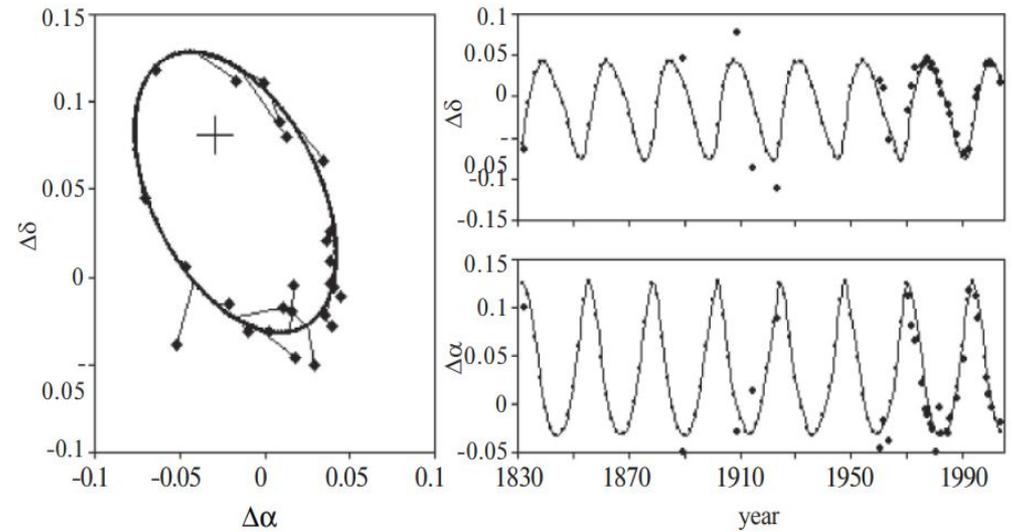


Fig. 1. The visible ellipse of the relative photocenter motion and a comparison of the observations with the orbital motion. The cross indicates the position of the barycenter, the smooth curve, the calculated orbital motion, and the diamonds, the observations.



Василий Яковлевич Струве  
(Friedrich Georg Wilhelm Struve)

1793 - 1864



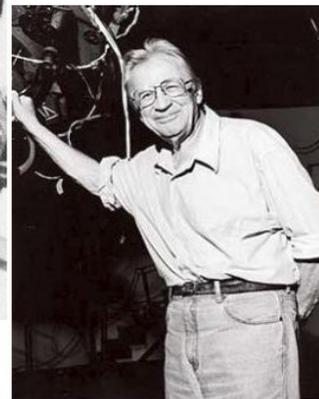
Сергей Константинович Костинский

1867 - 1936



Александр Николаевич Дейч

1899 - 1986



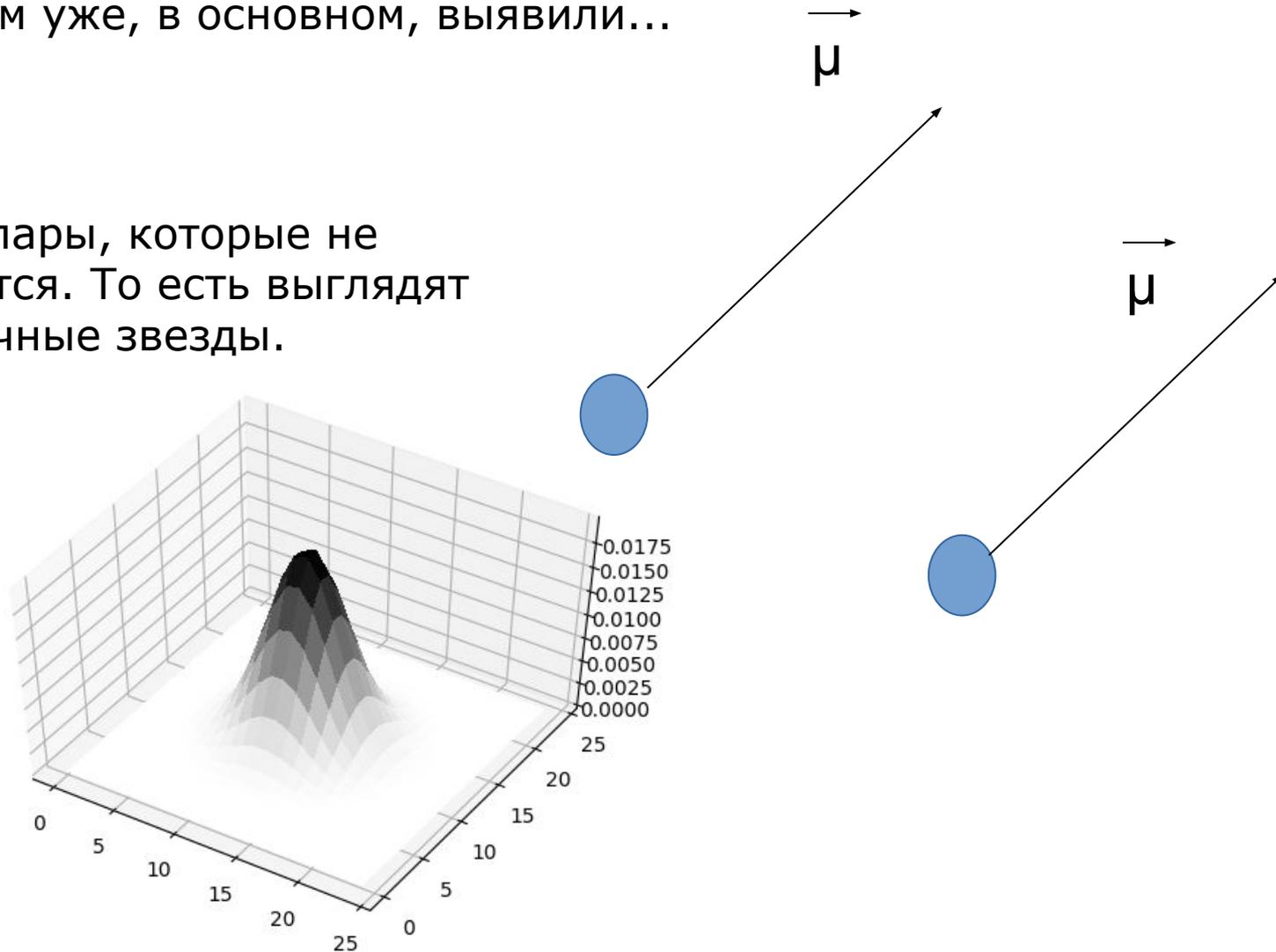
Алексей Алексеевич Киселев

1922-2013

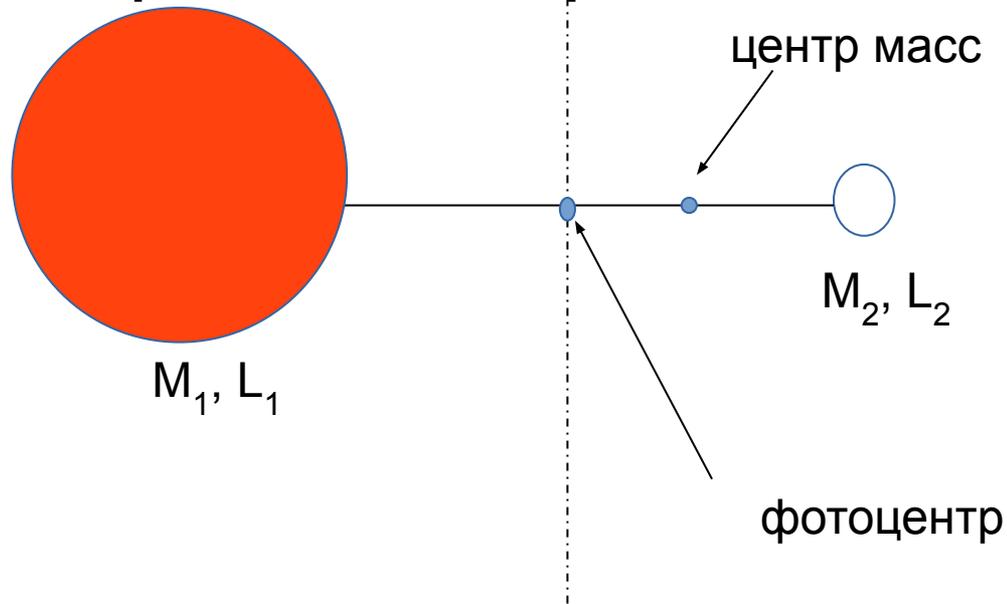
# Поиск двойных среди близких карликов – сравнительно новая задача ЛАЗА

Сравнительно широкие пары, характеризующиеся общим собственным движением уже, в основном, выявили...

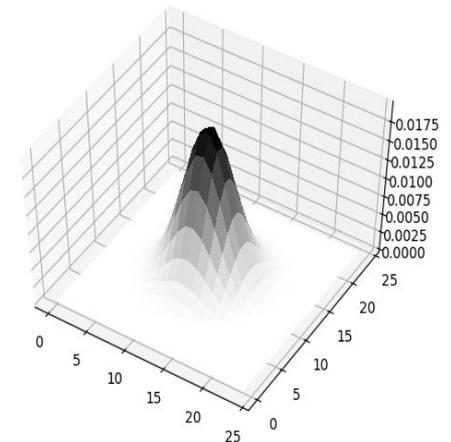
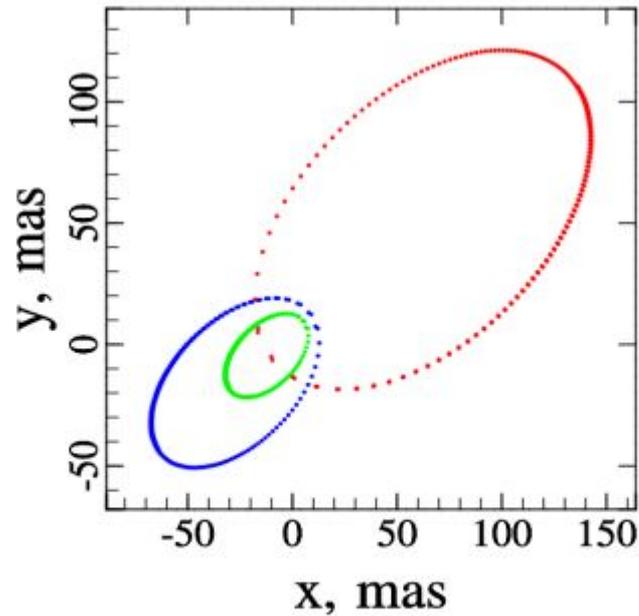
Остались пары, которые не разрешаются. То есть выглядят как одиночные звезды.



НО! Вот красный карлик + белый карлик...

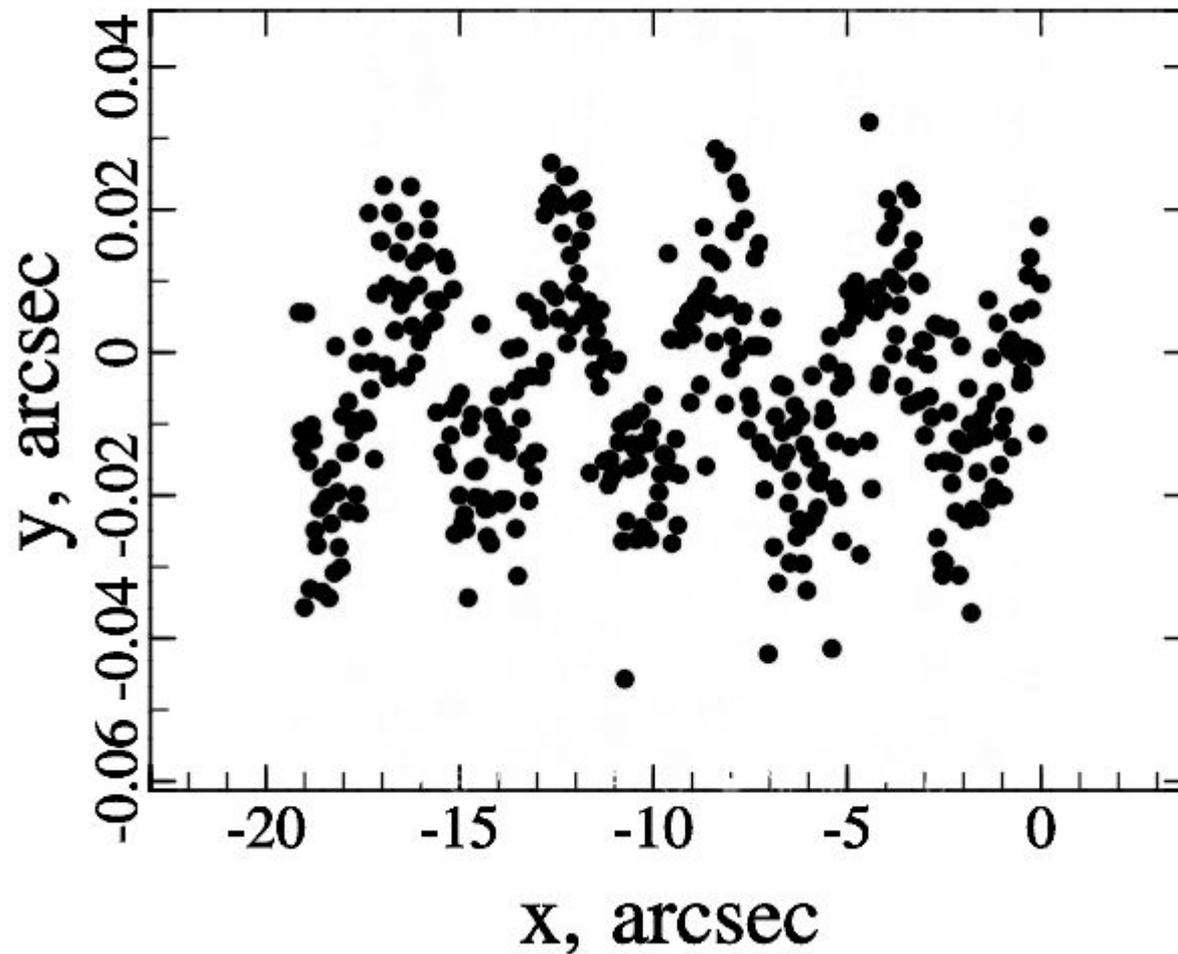


$$M_1 = 0.5M_2$$
$$L_1 = L_2$$

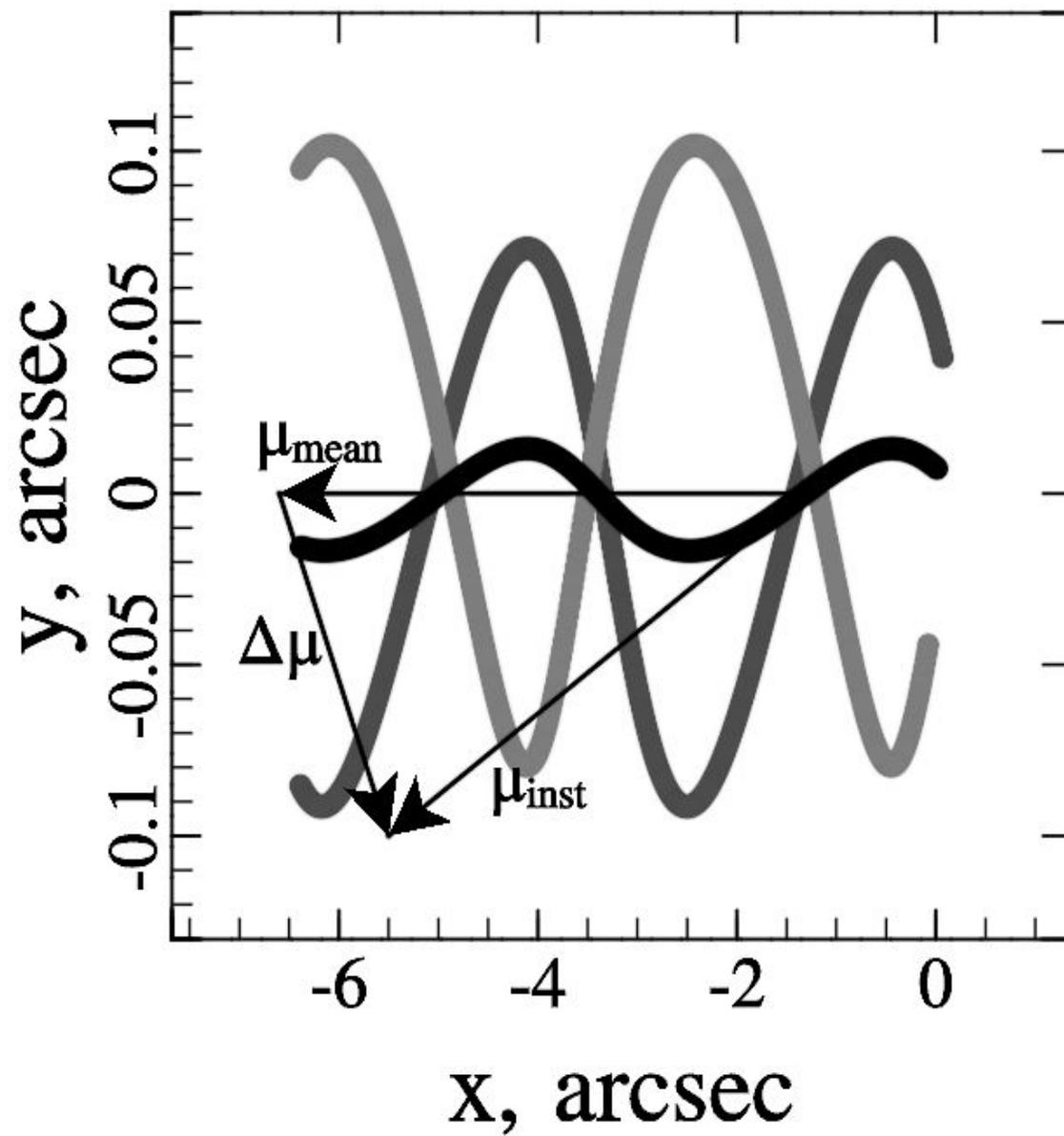


Пример движения системы красный "карлик + коричневый карлик". Зеленая траектория показывает движение фотоцентра.

Вот модель движения фотоцентра... Амплитуда в 40 mas – вполне обнаруживается в наземных наблюдениях... Вот только период обращения большой... годы... :(



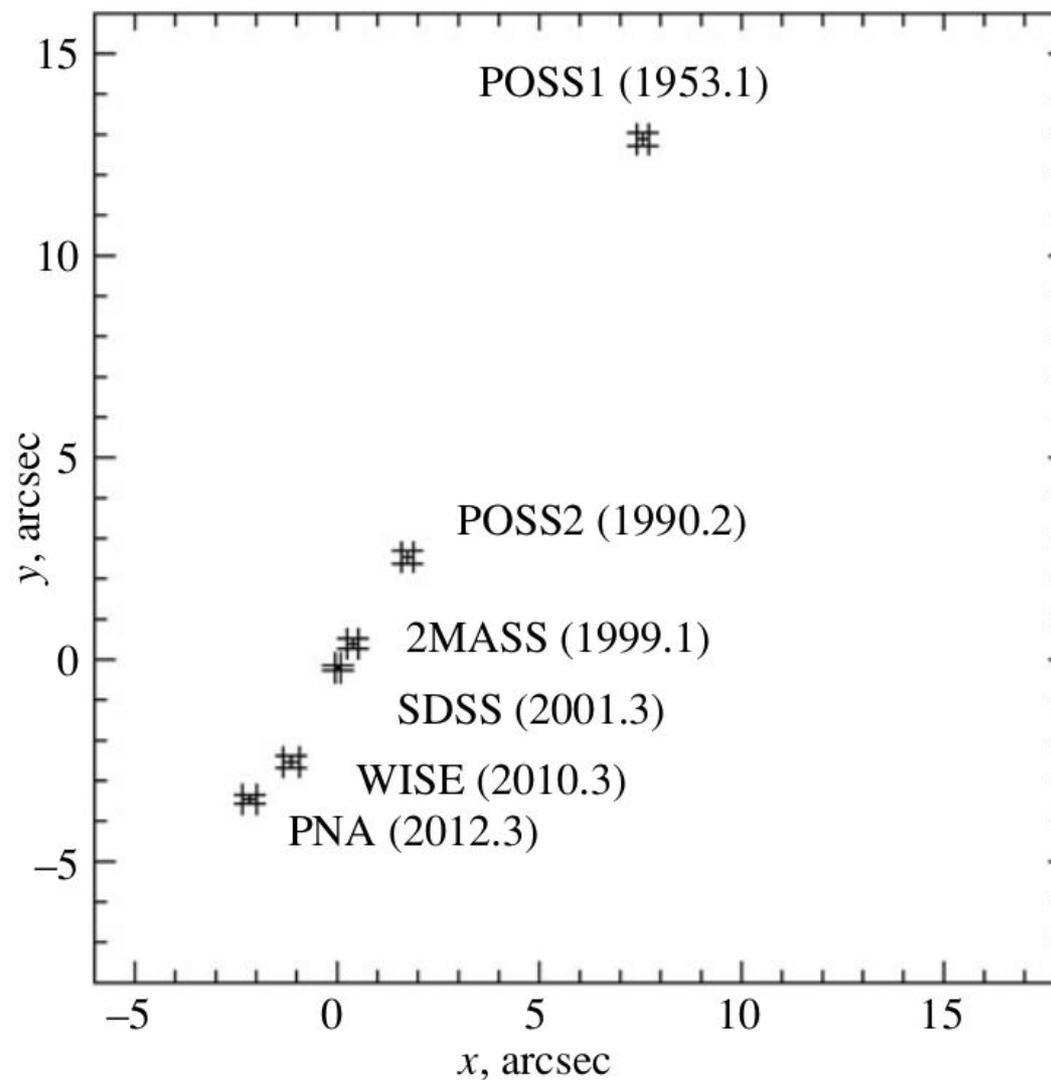
# Способ Вилена



Задача для Нормального.... Надо переснять 1300 звезд с большими собственными движениями за 5 лет.

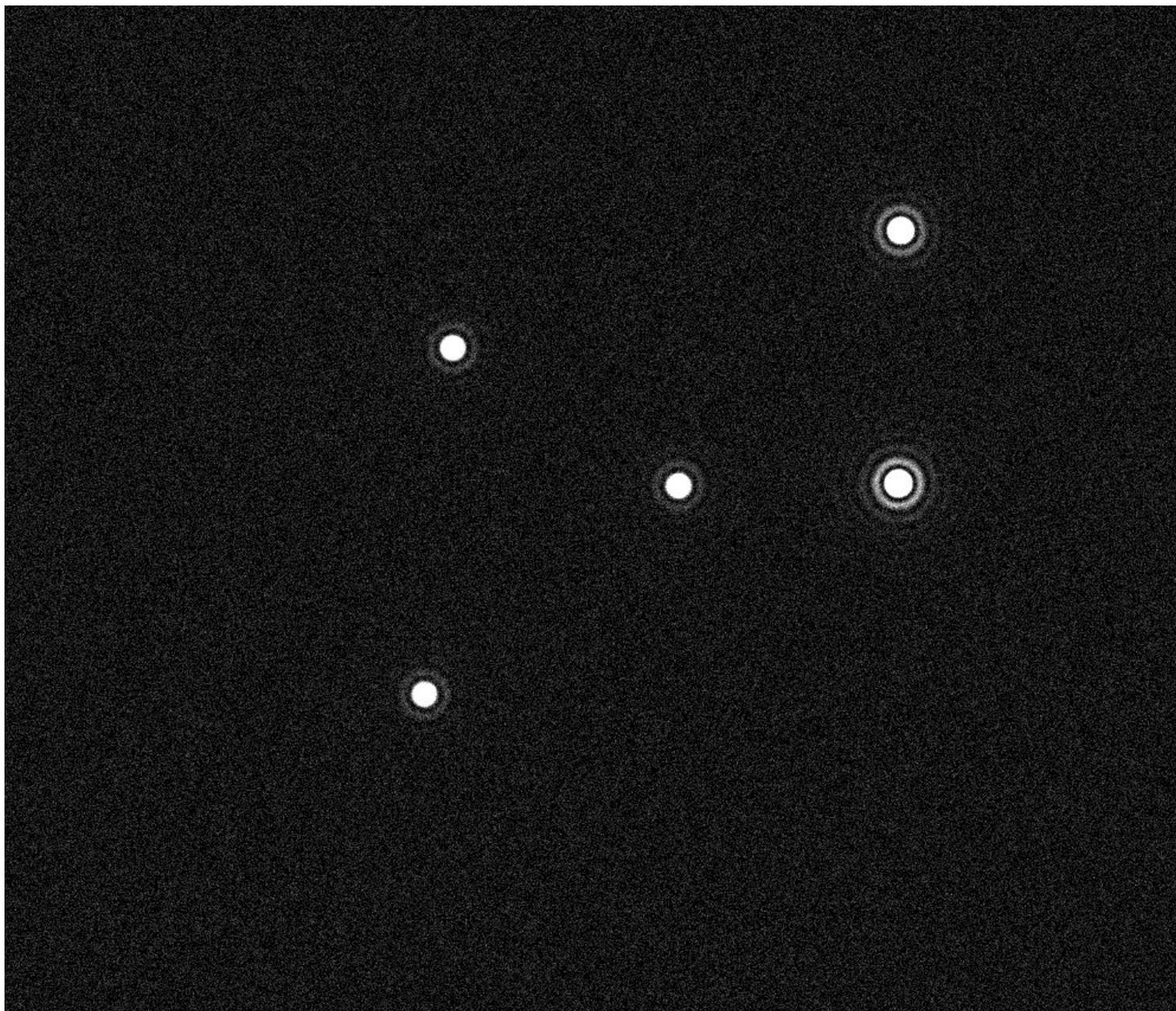


Итого для 121 звезды мы увидели признаки двойственности.



**Рис. 6.** Диаграмма движения звезды J0838+4715. Компоненты собственного движения составляют  $-158.1 \pm 2.6$  mas/год по прямому восхождению и  $-273.1 \pm 3.1$  mas/год по склонению. Средняя эпоха наблюдений  $-1994.3328$ .  $V_{\text{mag}} = 15.9$  (PNA — Пулковский Нормальный астрограф).

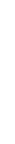
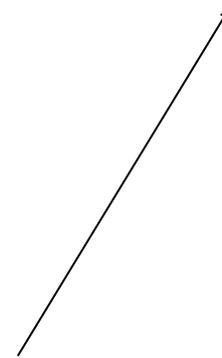
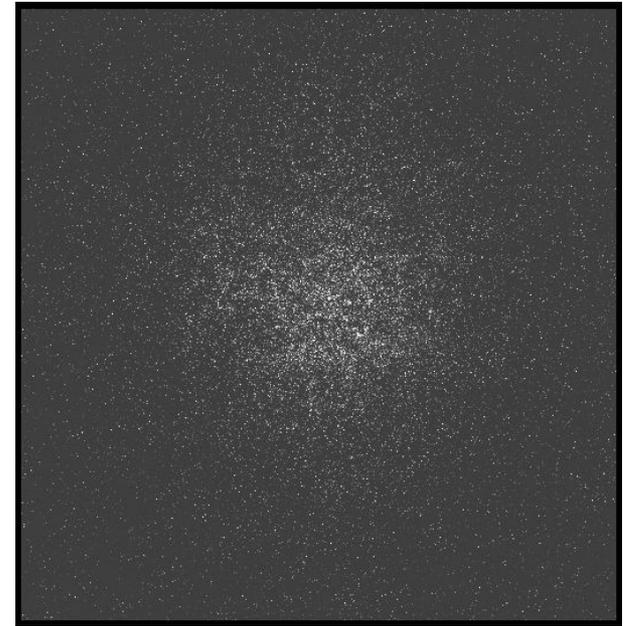
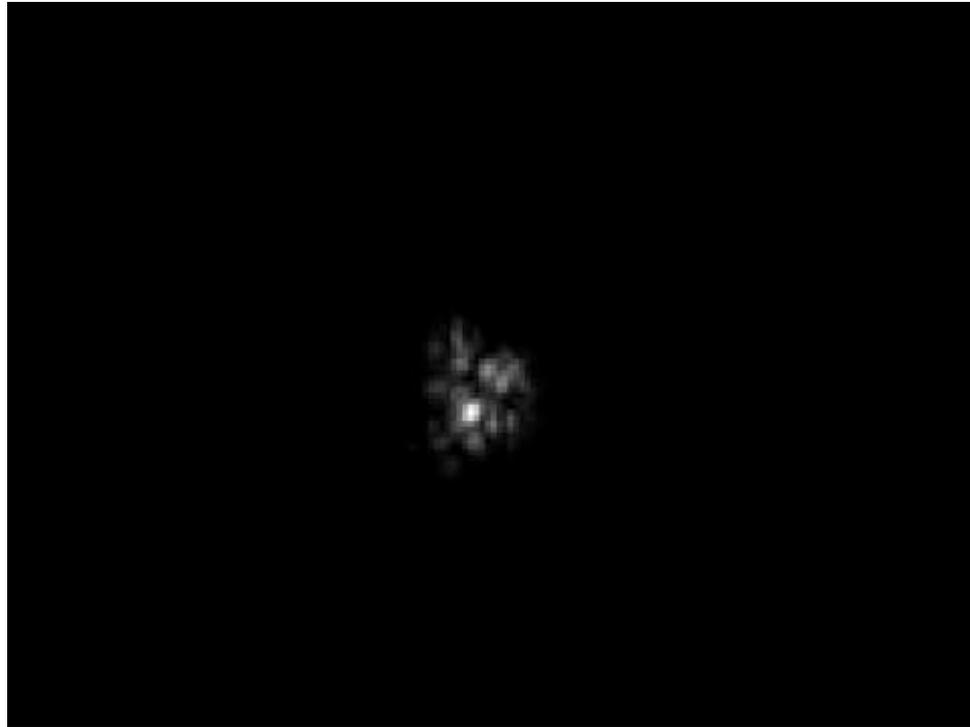
Как проверить... Вот в космосе будет видно так.



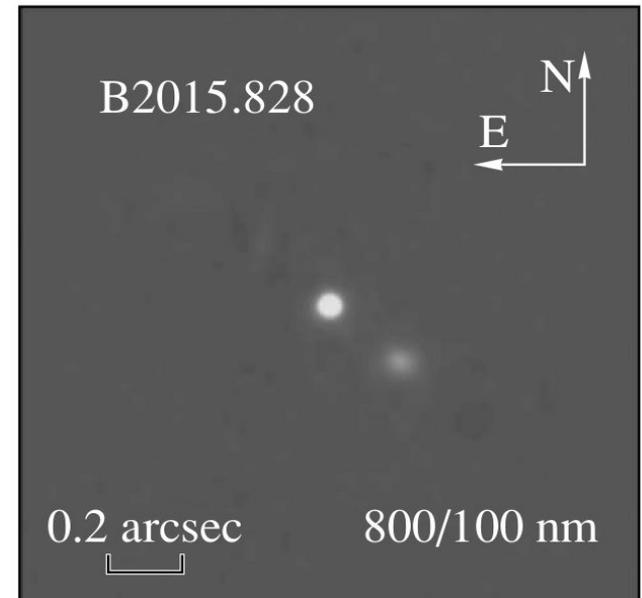
Как проверить... А на Земле... Ну как-то так :)



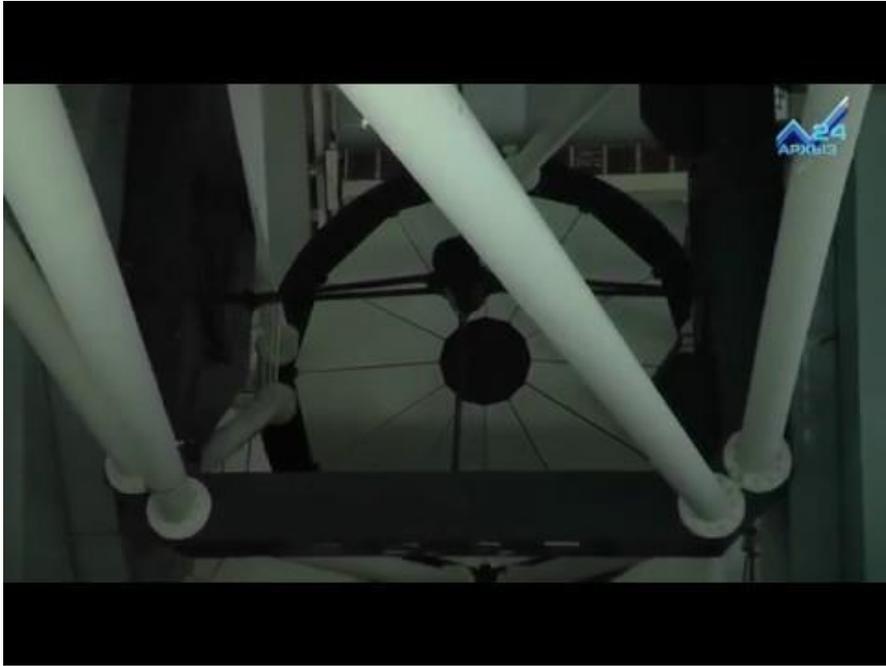
Во всем виновата атмосферная турбуленция!



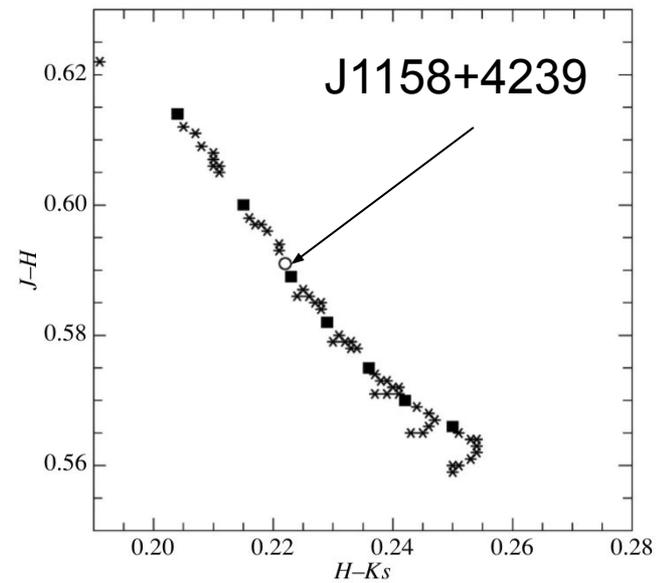
Но если снимать звезду с частотой порядка килогерца..., то...



Удалось получить время на спекл-интерферометре БТА...

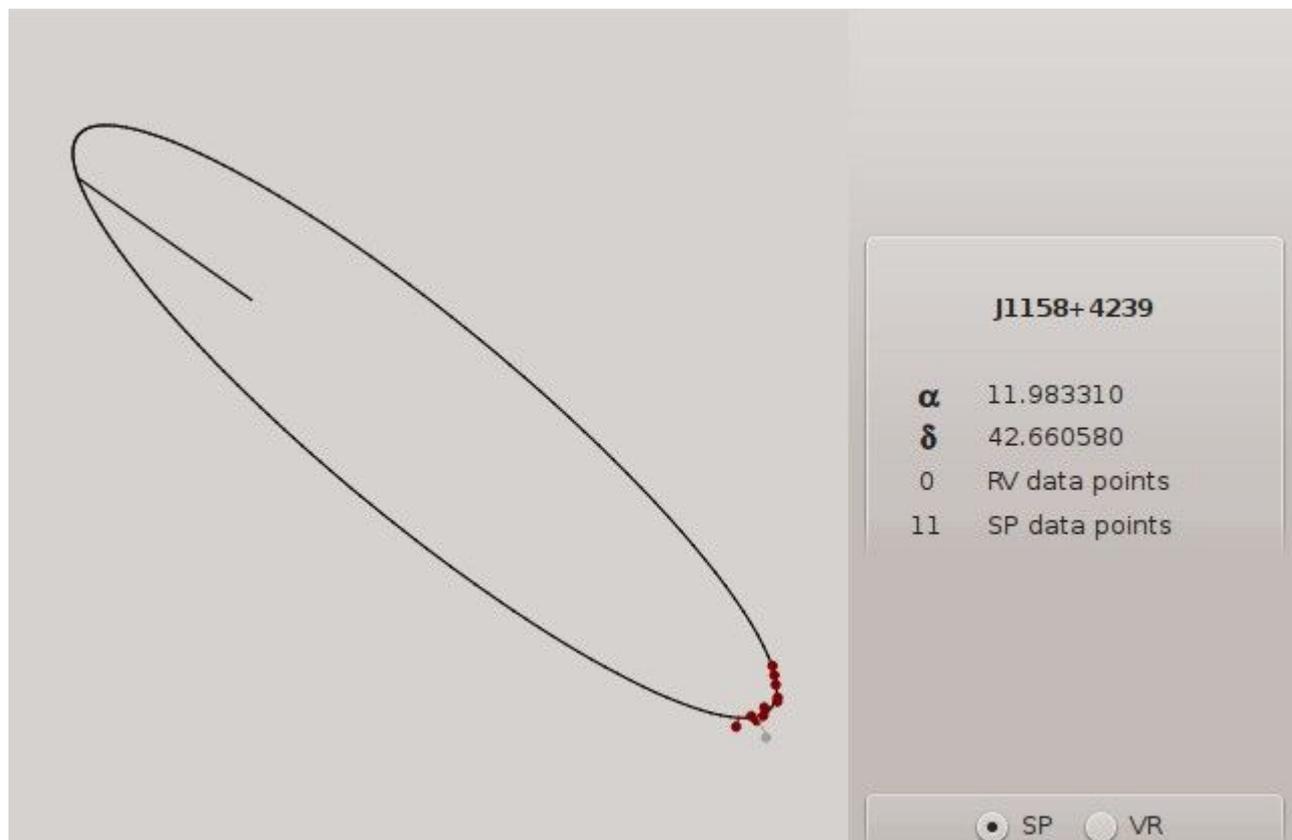


....и подтвердить наличие компаньона у звезды J1158+4239

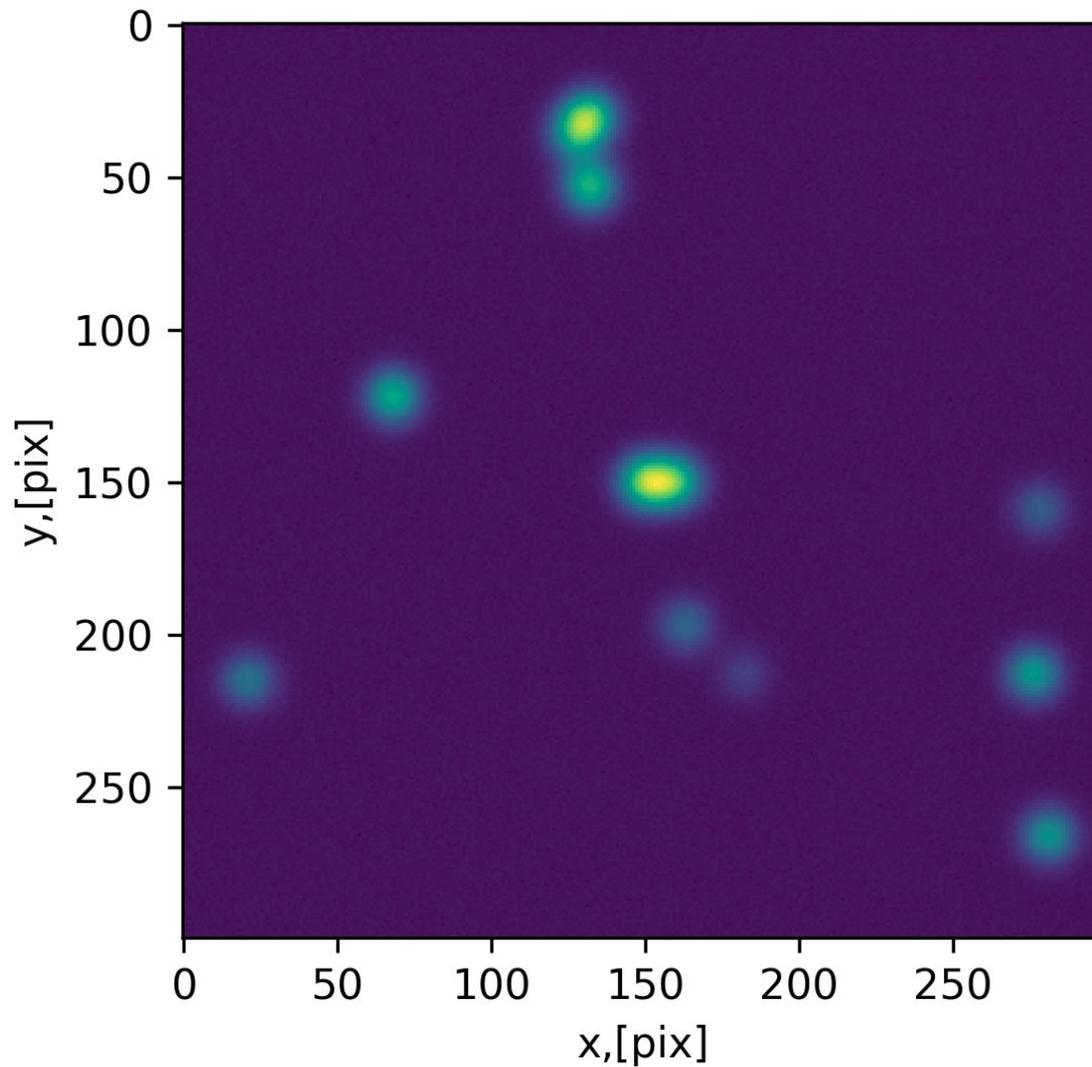


За три года работы для J1158+4239 накоплен “приличный” ряд наблюдений. Есть уже предварительная орбита

$a = 1.18$  arcsec,  $e = 0.917$ ,  $T = 2020.65$ ,  $P = 89.48$  yr,  
 $\Omega = 257.028$  deg,  $\text{Node} = 60.539$  deg,  $i = 85.87$  deg



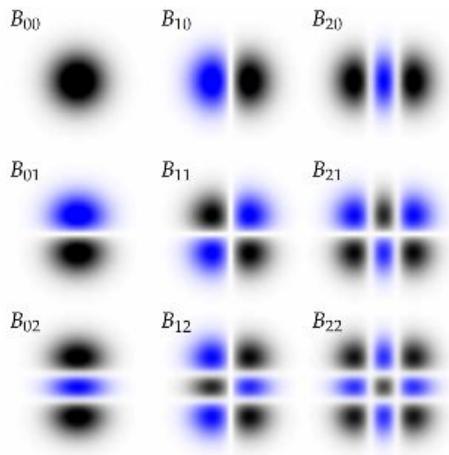
Кроме собственного движения, есть и еще один признак двойственности...



....“вытянутость” (эллиптичность изображения).

# Базовая идея

Шейплет-формализм позволяет получать оценку эллиптичности и асимметрии изображения на основе коэффициентов разложения.



$$\phi_n(\xi) = (2^n \sqrt{\pi n!})^{-\frac{1}{2}} H_n(\xi) e^{-\frac{\xi^2}{2}}.$$

Здесь  $H_n(\xi)$  - полином Эрмита порядка  $n$  ( $n$  - целое неотрицательное число),  $\xi$  - независимая вещественная переменная.

$$B_{n_1, n_2}(\beta, x, y, x_{ph}, y_{ph}) = \beta^{-1} \cdot \phi_{n_1} \left( \frac{x - x_{ph}}{\beta} \right) \cdot \phi_{n_2} \left( \frac{y - y_{ph}}{\beta} \right).$$

Здесь параметр  $\beta$  - характерный размер изображения.

# Базовая идея

$$J(x, y) = J_{bgr} + \sum_{n_1, n_2=0}^{n_1+n_2 < n_{max}} f_{n_1, n_2} \cdot B_{n_1, n_2}(\beta, x, y, x_{ph}, y_{ph}),$$

где  $f_{n_1, n_2}$  коэффициенты шейплет-разложения соответствующих порядков  $n_1, n_2$ . Ряд обрывают при условии  $n_1 + n_2 = n_{max}$ , так как при больших  $n_1, n_2$  ошибка единицы веса становится меньше стандарта шума изображения.

# Базовая идея

Квадрупольные моменты изображения вычисляются по формулам:

$$q_{xx} = F^{-1} \sqrt{\pi} \beta^3 \sum_{n_1, n_2}^{\text{even}} (1 + 2n_1) \sqrt{2^{2-n_1-n_2} C_{n_1}^{\frac{n_1}{2}} C_{n_2}^{\frac{n_2}{2}}} f_{n_1, n_2}$$

$$q_{yy} = F^{-1} \sqrt{\pi} \beta^3 \sum_{n_1, n_2}^{\text{even}} (1 + 2n_2) \sqrt{2^{2-n_1-n_2} C_{n_1}^{\frac{n_1}{2}} C_{n_2}^{\frac{n_2}{2}}} f_{n_1, n_2}$$

$$q_{xy} = F^{-1} \sqrt{\pi} \beta^3 \sum_{n_1, n_2}^{\text{odd}} \sqrt{(n_1 + 1)(n_2 + 1) 2^{2-n_1-n_2} C_{n_1+1}^{\frac{n_1+1}{2}} C_{n_2+1}^{\frac{n_2+1}{2}}} f_{n_1, n_2}$$

Здесь «odd» означает суммирование по нечетным индексам.

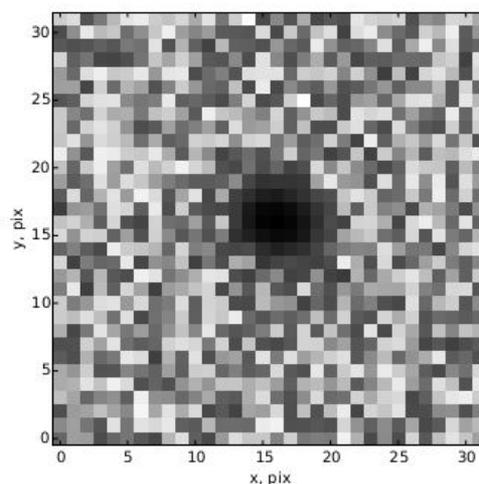
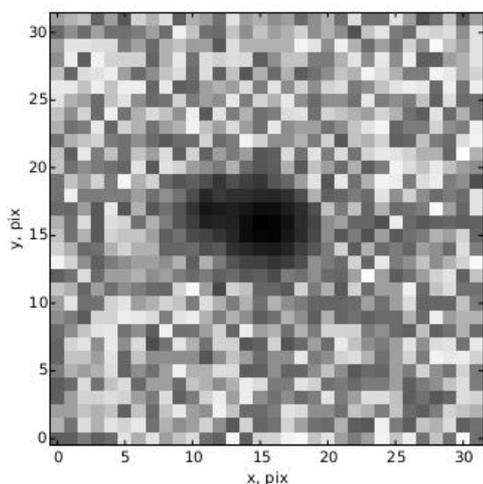
# Базовая идея

Величины  $q_{xx}$ ,  $q_{yy}$ ,  $q_{xy}$  позволяют определить эллиптичность изображения  $e$ :

$$[e_1, e_2] = \left[ \frac{q_{xx} - q_{yy}}{q_{xx} + q_{yy}}, \frac{q_{xy}}{q_{xx} + q_{yy}} \right], e = \sqrt{e_1^2 + e_2^2}.$$

# Пример реальной звезды

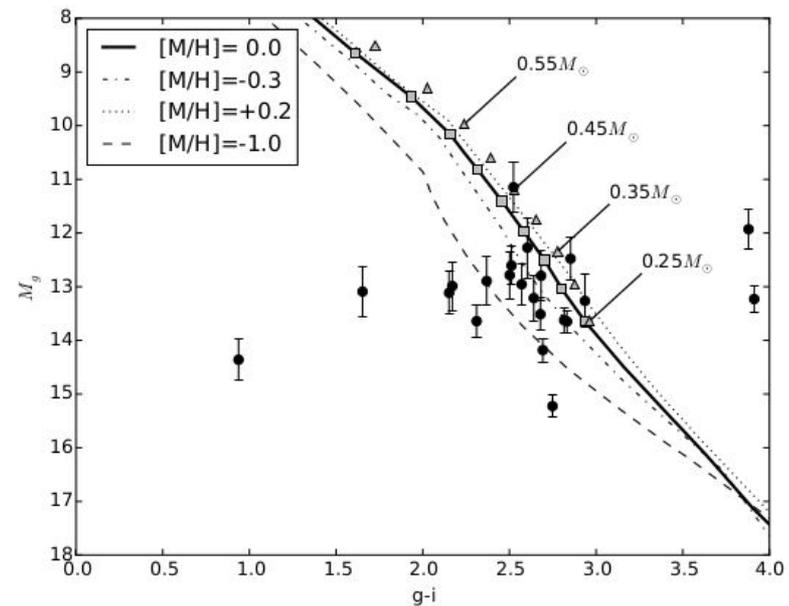
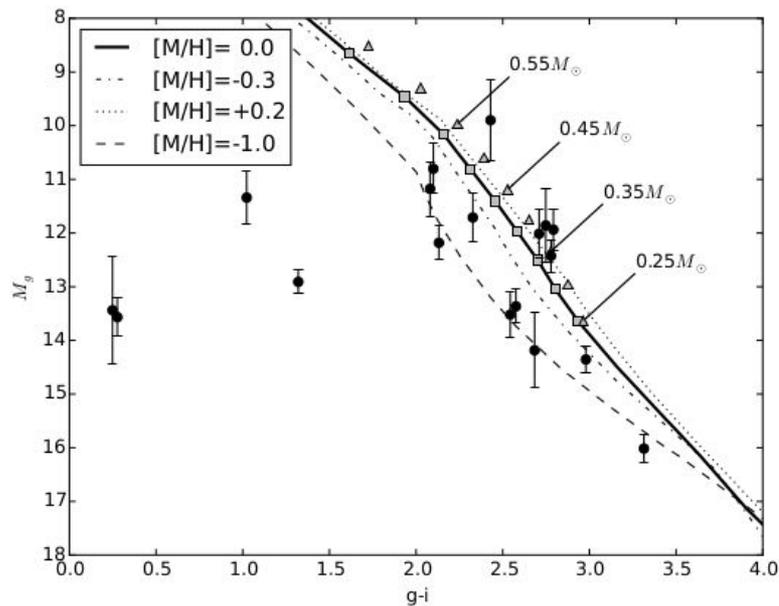
Слева - изображение звезды J0740+1706 (SDSS, фильтр u). Справа - PSF, построенная на основе медианных значений шейплет-коэффициентов звезд фона и оценки шума изображения.



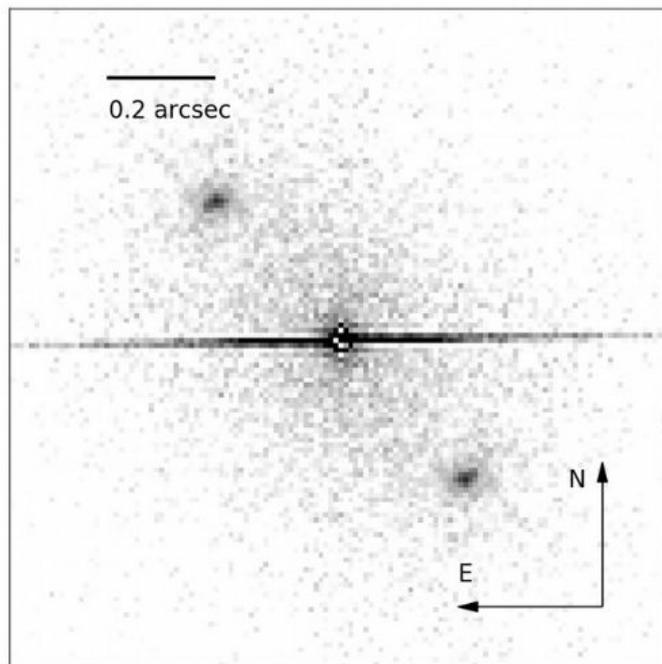
$e_t = 0.349 \pm 0.031$ , а  $A_t = 0.597 \pm 0.035$ . Те же величины для PSF –  $e_b = 0.084 \pm 0.060$ , а  $A_b = 0.122 \pm 0.032$ . Это приводит к значениям критических величин  $S_e = 3.9$  и  $S_A = 10.0$

# Положение на CMD

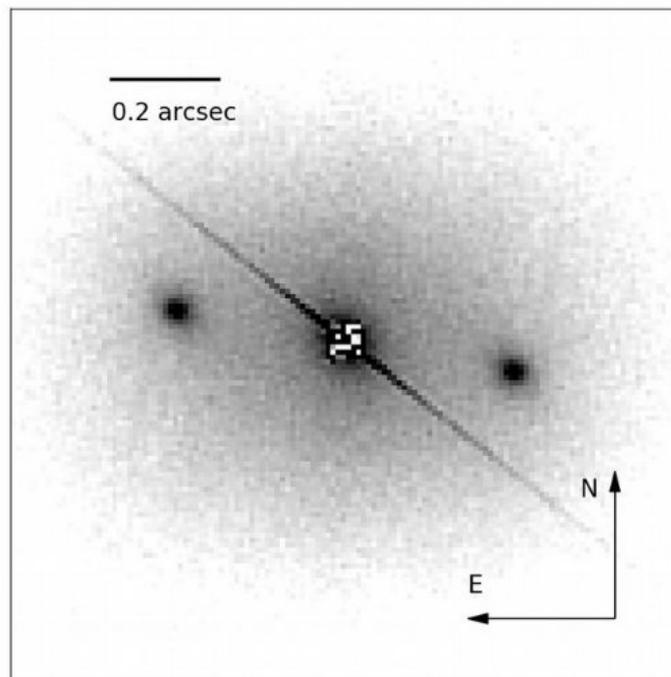
Положения ряда потенциальных двойных систем на диаграмме цвет – абсолютная звездная величина. Слева – системы, детектированные по обоим признакам. Справа – объекты со значимой асимметрией изображений.



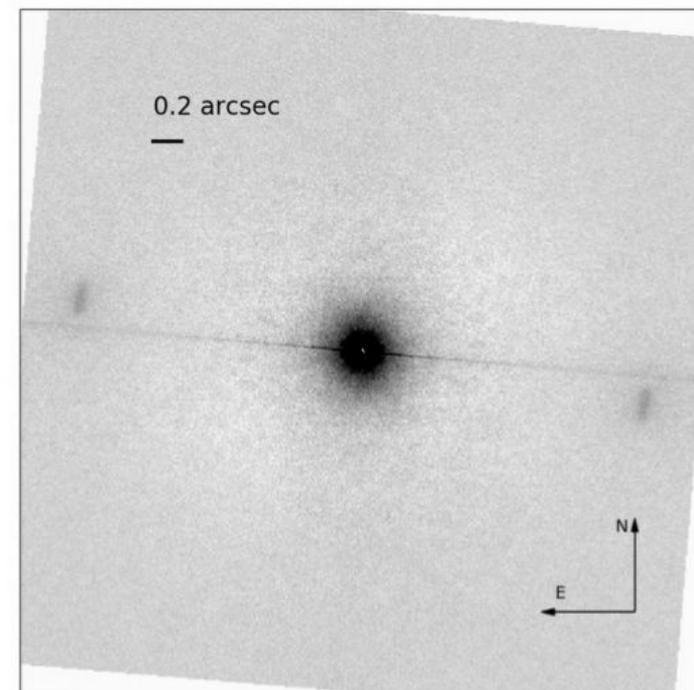
Наблюдения велись на телескопе "Сатурн". Всего получилось 138 подозрительных звезд из 700.



**J1135+0414**



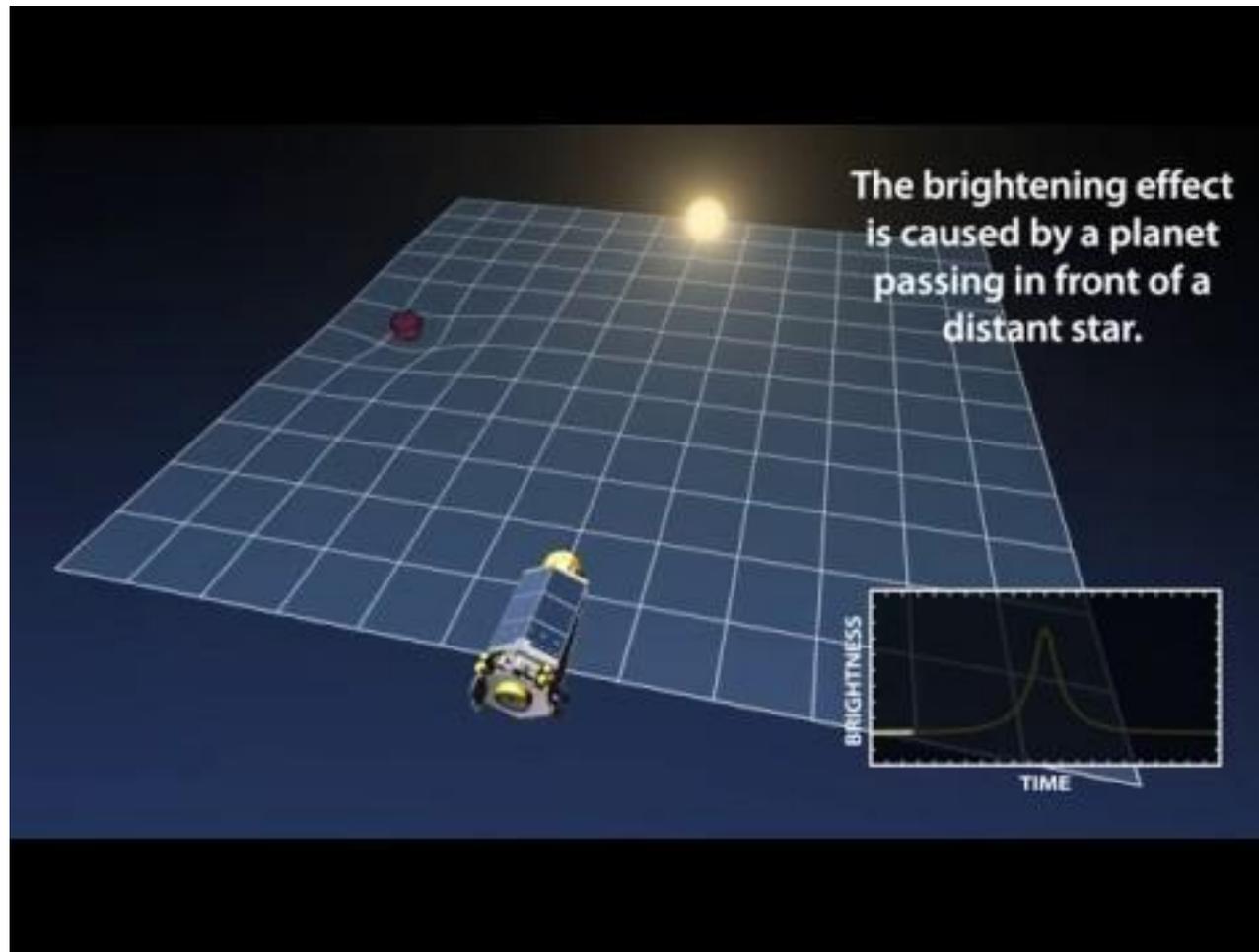
**J1147+6050**



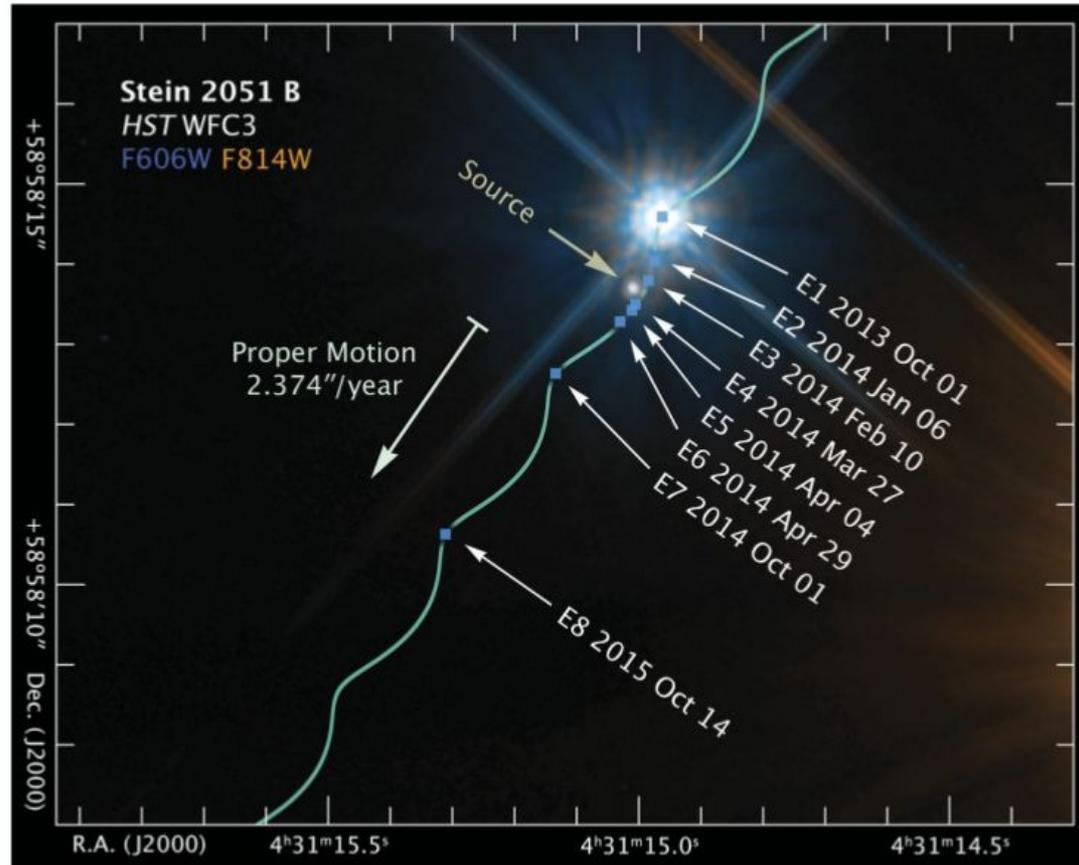
**J1601+3714**

Очень мало ярких звезд. Всего пять включено в программу БТА.  
Для трех звезд видны компаньоны...

Еще один канал информации – гравитационное линзирование



Могут ли близкие карлики линзировать фоновые звезды?  
Stein2051b,  $(\mu_\alpha, \mu_\delta) = (+1336.3 \pm 1.0, -1947.5 \pm 1.0) \text{ mas/yr}$



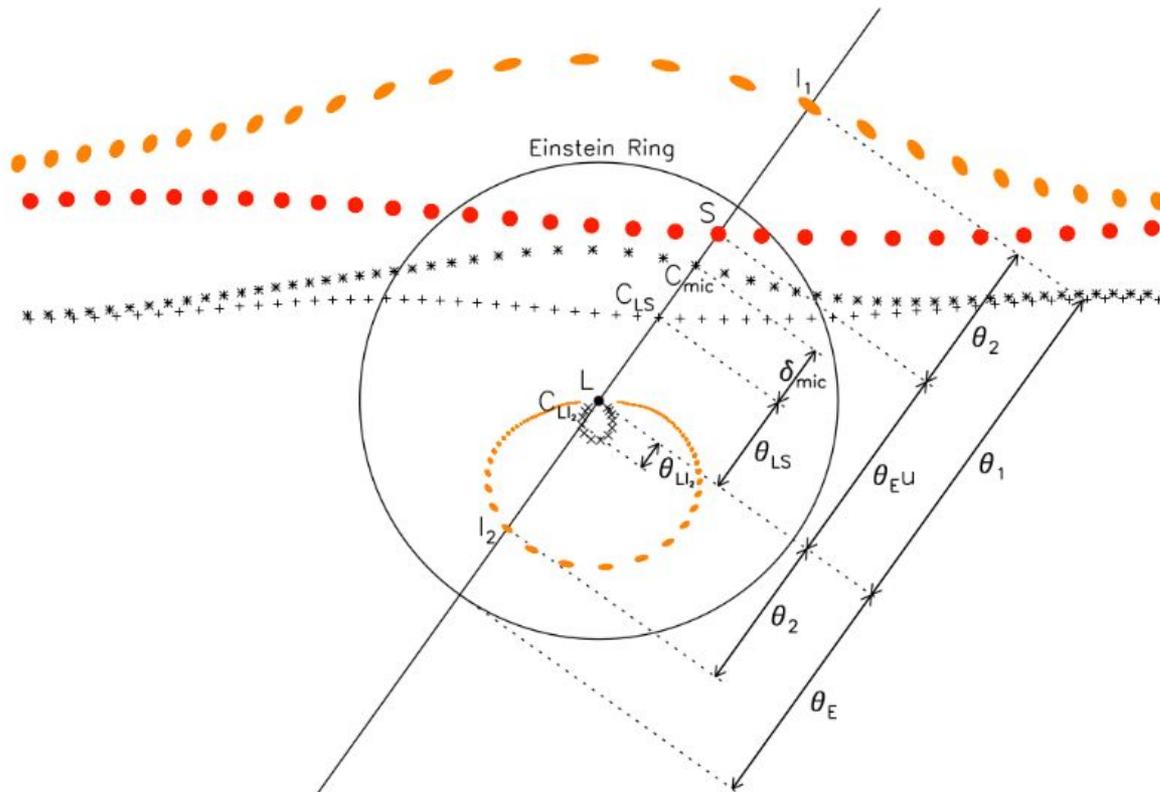
$M_{\text{Stein2051b}} = 0.675 \pm 0.051$  Sahu et al. Relativistic deflection of background starlight  
measures the mass of a nearby white dwarf star. Science, 356, 6342 (2017)

# Общая картина явления

Относительное положение источника  $S$  и линзы  $L$  описывается соотношением  $\vec{u} = \frac{\vec{\phi}_S - \vec{\phi}_L}{\theta_E}$ , где

$$\theta_E = \sqrt{\frac{4GM_L}{c^2} \frac{D_S - D_L}{D_S D_L}}$$

радиус кольца Эйнштейна.

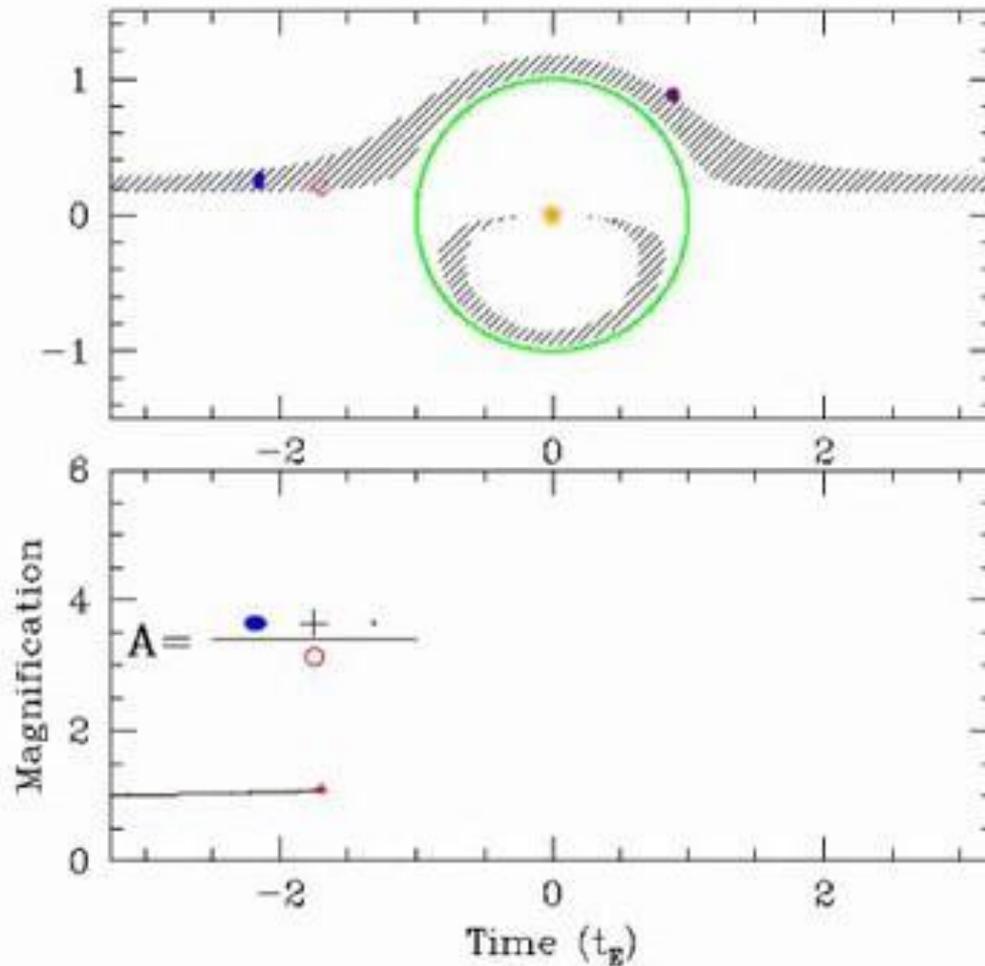


**Fig. 1.** Configuration of a microlensing event as seen by the observer, who does not resolve any of the components. The filled red circles represent the source  $S$  at equal time intervals as it moves relative to the lens  $L$  (black circle). The relative motion of the source consists of uniform proper motion in a straight line combined with annual parallax, which is why the source appears to move in a non-linear fashion. The major and minor images,  $I_1$  and  $I_2$ , respectively, of the source are plotted as orange ellipses. Although  $S$ ,  $L$ ,  $I_1$  and  $I_2$  are all plotted with a finite size for illustrative purposes, the analysis in this paper ignores finite-size effects. At any single instant,  $I_1$ ,  $S$ ,  $L$  and  $I_2$  form a straight line on the sky along with the centroids  $C_{mic}$  (asterisks),  $C_{LS}$  (plus signs) and  $C_{LL_2}$  (crosses). The centroids  $C_{mic}$ ,  $C_{LS}$  and  $C_{LL_2}$  have been plotted for  $f_L/f_S = 1$ . Angular distances defined in the text are marked in the diagram.

# Общая картина явления

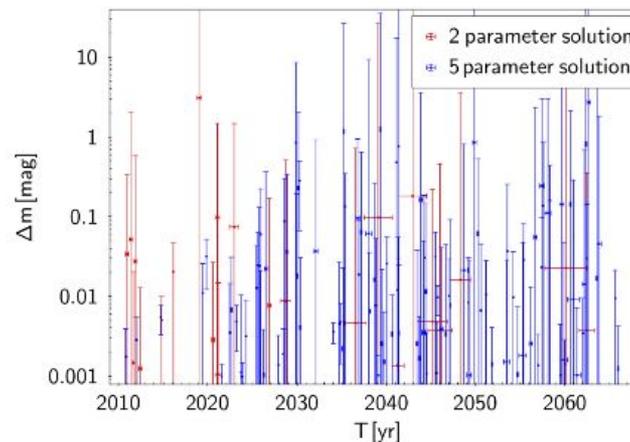
Положения изображений источника:  $\vec{\theta}_{\pm} = \frac{u \pm \sqrt{u^2 + 4}}{2} \frac{\vec{u}}{u} \theta_E$ , а увеличение блеска  $\Delta m = 2.5 \log_{10} \left( \frac{f_L S + A}{f_L S + 1} \right)$ .

Суммарное увеличение потока  $A = \frac{u^2 + 2}{u \sqrt{u^2 + 4}}$ , где  $f_L S = f_L / f_S$ , т.е. отношение потоков до линзирования.



# Эфемериды событий с помощью $\alpha, \delta, \varpi, \mu_\alpha \cos \delta, \mu_\delta$ Gaia DR2

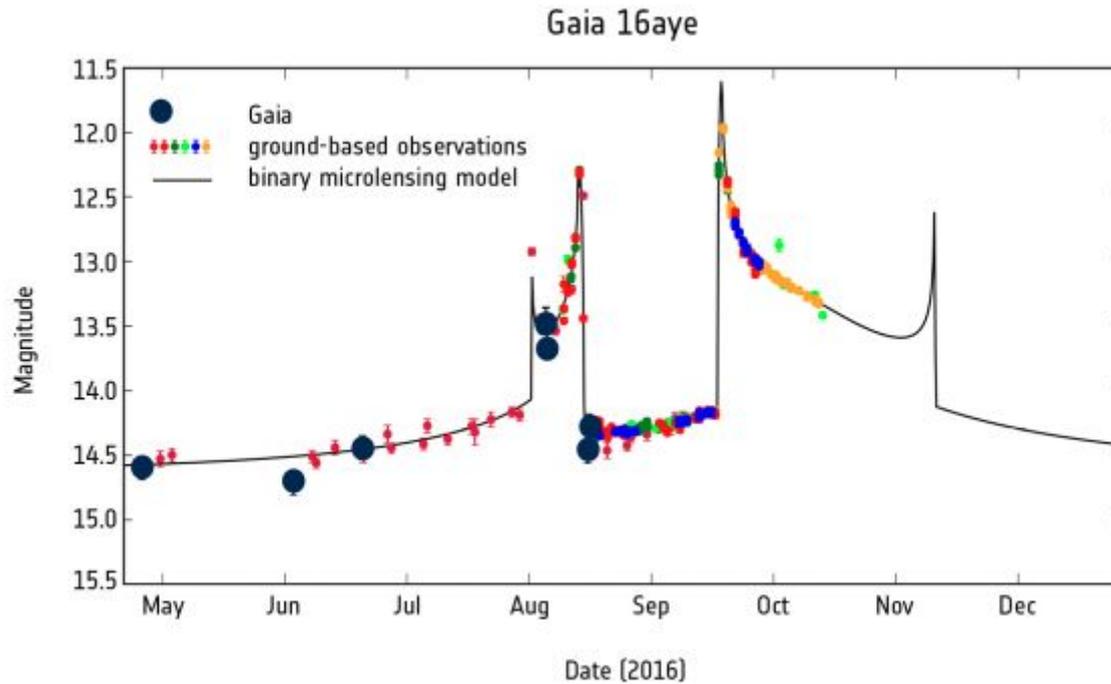
J. Klüter, U. Bastian, M. Demleitner, J. Wambsganss. [Prediction of astrometric microlensing events from Gaia DR2 proper motions](#). eprint arXiv:1807.11077. Есть [сайт](#), позволяющий предвычислять события - 3914 штук с 2010 по 2065.



Bramich, D. M. [Predicted microlensing events from analysis of Gaia Data Release 2](#). A&A, 618, id.A44 (2018). Есть [таблицы](#), содержащие прогноз (76 событий с 2014 по 2026, 2509 за XXI век).

Совпадения есть для 656 событий.... :) 

# На кривой блеска двойственность линзы проявляет себя так...



event ID	lens ID	lens RA	lens Dec	lens G	obj G	epoch	duration	rho min	shift
						yr	yr	mas	mas
4292612696181419520-17868	4292612696181419520	19:24:52.3677	+04:27:17.8075	13.931	19.479	2020.6732	2.8305	24.3	1.939
2180867574107501824-65252	2180867574107501824	20:38:27.7607	+52:42:36.2649	16.688	19.772	2019.1783	1.6907	30.1	0.526
2004503808759657600-55131	2004503808759657600	22:09:38.5945	+53:13:33.9628	15.049	19.698	2020.3176	3.1742	32.8	0.834
1978296747258230912-49484	1978296747258230912	21:29:39.1101	+47:20:30.2456	13.809	15.153	2019.9599	5.3628	34.8	1.206
2051832565958248192-18875	2051832565958248192	19:29:42.3689	+37:33:15.3750	14.304	19.536	2019.7685	2.0480	39.7	1.069
24843435164951680-4112	24843435164951680	02:36:35.1960	+10:04:41.5233	14.839	17.566	2020.3261	3.4892	56.4	0.566
2820883225220618496-19508	2820883225220618496	23:31:26.5343	+17:33:07.5480	13.894	14.589	2020.2467	3.0483	63.6	0.703
3091977643932502528-5874	3091977643932502528	08:29:32.0982	+03:48:46.4085	14.252	16.348	2020.0254	3.9911	77.4	0.509
1935209944575937024-47928	1935209944575937024	23:05:08.9877	+45:17:32.8943	12.337	14.308	2019.3139	7.8239	84.4	0.898
3996491777875340160-3427	3996491777875340160	11:03:25.7980	+25:23:56.3068	13.902	16.552	2019.3294	2.2928	85.5	0.359
1961141200470502400-24068	1961141200470502400	21:54:07.3974	+43:44:31.4553	12.129	16.112	2019.8033	5.3835	103.0	0.550
1234320381930846720-5285	1234320381930846720	14:36:41.3046	+15:50:20.0989	16.041	19.989	2020.2687	1.5646	120.8	0.191
4293315765165489536-28882	4293315765165489536	19:16:56.9897	+05:08:40.4270	14.321	20.821	2019.5124	1.2736	206.6	0.464

[https://drive.google.com/file/d/16aJ2L7u0z6\\_JvJdvdTF5aFS72v0OWJ3C/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/16aJ2L7u0z6_JvJdvdTF5aFS72v0OWJ3C/view?usp=sharing)

Это неплохое приложение для любителей астрономии, которые умеют делать фотометрию сравнительно слабых звезд...

The screenshot shows a Mozilla Firefox browser window with the URL `dc.zah.uni-heidelberg.de/amlensing/q2/q/form`. The page title is "Astrometric Microlensing Events Predicted from Gaia DR2".

**GERMAN ASTROPHYSICAL VIRTUAL OBSERVATORY (GAVO)**

**Astrometric Microlensing Events Predicted from Gaia DR2**

From the Gaia DR2 catalogue we predict astrometric microlensing events by foreground stars with high proper motion ( $\mu_{\text{tot}} > 150 \text{ mas/yr}$ ) passing a background source in the next decades. Using Gaia DR2 photometry we determine an approximate mass of the lens, which we use to calculate the expected microlensing effects. This yields 3914 microlensing events by 2875 different lenses between 2010 and 2065 with expected shifts larger than 0.1 mas between the lensed and unlensed positions of the source. 513 of those are expected to happen between 2014.5 - 2026.5 and might be measured by Gaia. For 127 events we also expect a magnification between 1 mmag and 3 mag.

**Metadata**

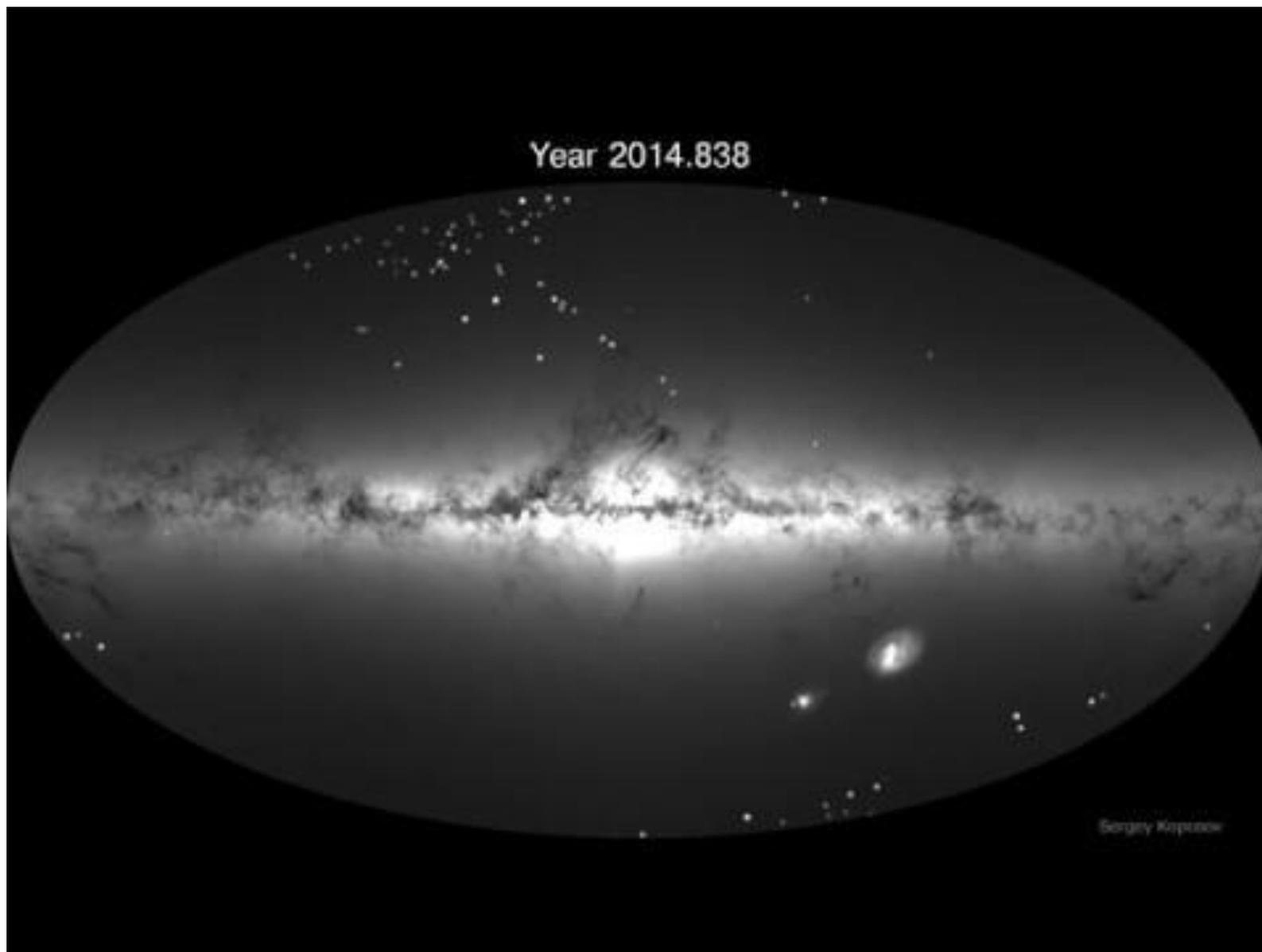
- Identifier:** `ivo://org.gavo.dc/amlensing`
- Cite this:** [Advice on citing this resource](#)
- Description:** From the Gaia DR2 catalogue
- Keywords:** Catalogs
- Creator:** Klüter, J.
- Created:** 2018-04-27T20:00:00Z
- Data updated:** 2018-12-17
- Copyright:** To the extent possible under

**Form fields:**

- Position/Name:**   
*Coordinates (as h m s, d m s or decimal degrees), or SIMBAD-resolvable object*
- Search radius:**   
*Search radius in arcminutes*
- L. Mag G [mag]:**  [\[?num. expr.\]](#)  
*Mean magnitude of the lens in the integrated G band from Gaia DR2.*
- O. Mag G [mag]:**  [\[?num. expr.\]](#)  
*Mean magnitude of the lensed object in the integrated G band from Gaia DR2.*
- T<sub>min</sub> δ [yr]:**  [\[?num. expr.\]](#)  
*Estimated time of the closest approach.*

<http://dc.zah.uni-heidelberg.de/amlensing/q2/q/form>

Алерты Gaia - еще одна возможность наблюдать линзирование  
<http://gsaweb.ast.cam.ac.uk/alerts/alertsindex>

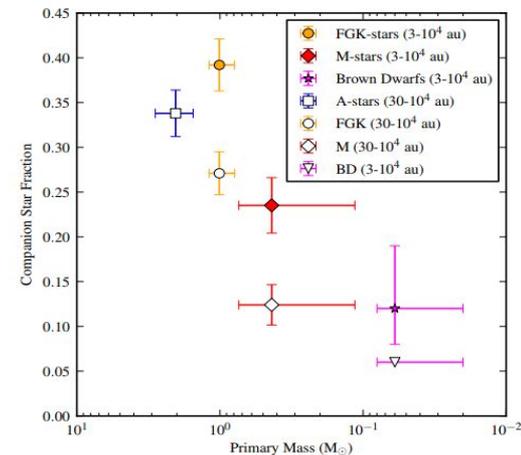


## Подведем итоги...

1. Поиск и изучение двойных и кратных систем с маломассивными компонентами – крутая астрономическая задача, имеющая много всяких приложений.

2. В Пулковской обсерватории освоили и успешно применили ряд новых методик для поиска двойных карликов, смогли оценить ряд параметров этих систем.

3. Мы отбирали объекты для поиска только по величине собственного движения (критерий близости к Солнцу)... Оказалось, что нижняя оценка доли двойных из нашего набора  $>10\%$ ! Это сильно больше ожидаемого, учитывая то, что в эту статистику не включены все остальные типы двойных систем (визуально-двойные и затменно-двойные)! **Весьма вероятно, что в окрестностях Солнца количество маломассивных двойных больше, чем получается в текущих обзорах.**



# СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!



Отдельная благодарность астрономам из клуба СПАГО за помощь в восстановлении и организации наблюдательного процесса на телескопе "Сатурн".