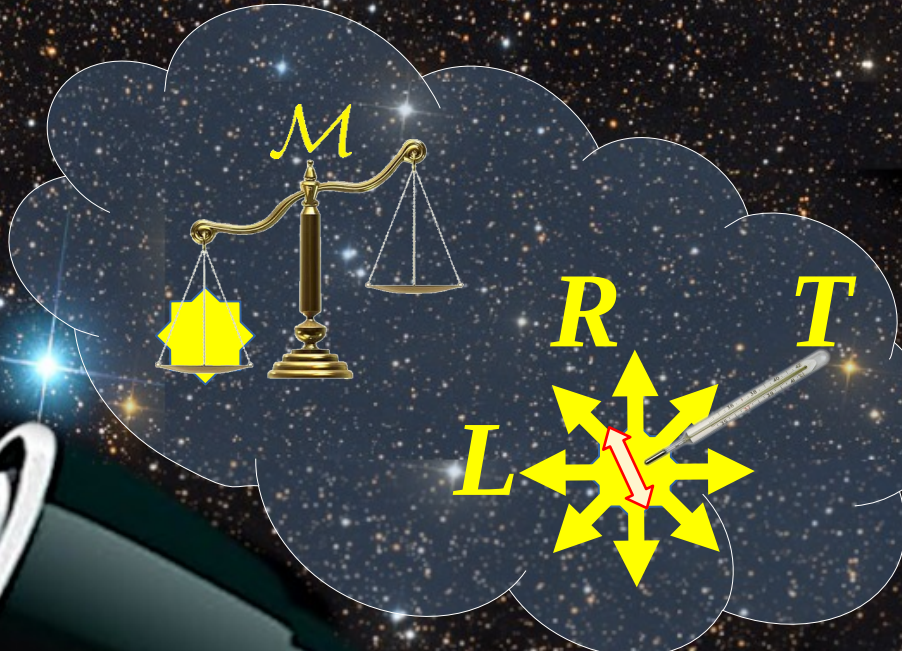
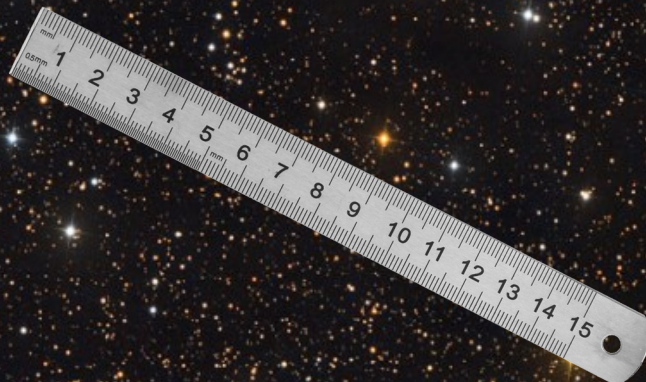




**Использование фотометрических методов
и данных Gaia для
определения фундаментальных параметров
звёзд классов K-F**

Ю.В. Пахомов
Институт астрономии РАН (ИНАСАН), Москва

индивидуальная
звезда



Физика звезд
Шкала расстояний

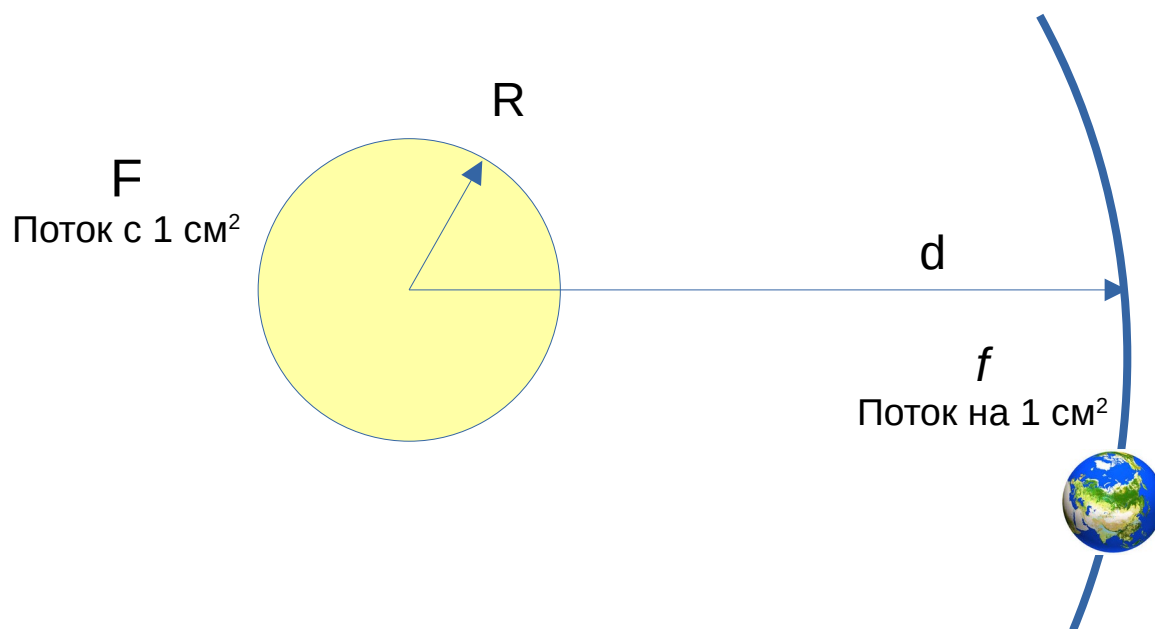
Наблюдаемый
SED
[erg/s/cm²/Å]

Угловой
диаметр
[rad]

$$f_{\lambda}^{obs} = F_{\lambda}(T_{eff}, \log g, [Fe/H]) A_{\lambda}(E(B - V)) \frac{\theta^2}{4}$$

SED звезды
[erg/s/cm²/Å]

Межзвездное
поглощение



$$F4\pi R^2 = f4\pi d^2$$

$$f = F \left(\frac{R}{d} \right)^2 = F \frac{\theta^2}{4}$$

Наблюдаемый
SED
[erg/s/cm²/Å]

Угловой
диаметр
[rad]

$$f_{\lambda}^{obs} = F_{\lambda}(T_{eff}, \log g, [Fe/H]) A_{\lambda}(E(B - V)) \frac{\theta^2}{4}$$

SED звезды
[erg/s/cm²/Å]

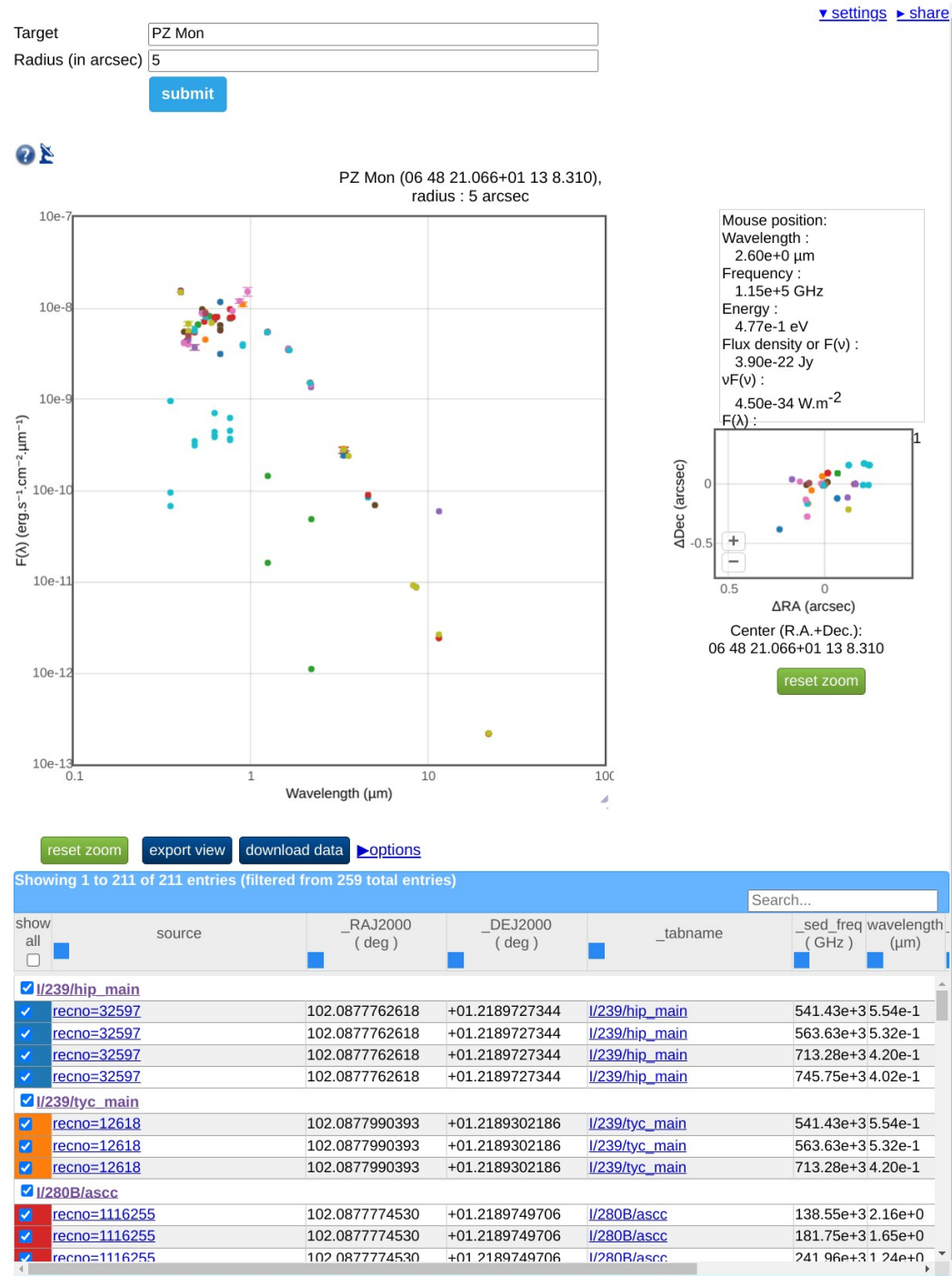
Межзвездное
поглощение



В.И. Бурнашев, Б.А. Бурнашева “Спектрофотометрические каталоги и базы данных”
Изв. Крымской Астрофиз. Обс., 110, № 1, 42–65 (2014)

VizieR Photometry viewer

[Documentation - Query VizieR photometry using API](#)



+ много фотометрических данных в одном месте

+ пересчет в потоки [erg/s/cm²/Å]

- только данные из CDS каталогов и статейных таблиц (отсутствуют внетабличные значения)

- одна величина MAG в разных каталогах представлена разными значениями потока

- нередко примешиваются данные соседних объектов

Наблюдаемый
SED
[erg/s/cm²/Å]

$$f_{\lambda}^{obs} = F_{\lambda}(T_{eff}, \log g, [Fe/H]) A_{\lambda}(E(B - V))$$

SED звезды
[erg/s/cm²/Å]

Межзвездное
поглощение

Угловой
диаметр
[rad]

$$\frac{\theta^2}{4}$$

интерферометрия

покрытие звезд Луной

кривые блеска затменно-двойных

спекл-фотометрия

Косвенно

ИК фото- и спектрофотометрия
Метод инфракрасных потоков (IRFM)
Синтетическая фотометрия

Если поглощение отсутствует и есть SED от УФ до ИК, то

$$f_{\lambda}^{\text{obs}} = F_{\lambda}(T_{\text{eff}}, \log g, [Fe/H]) A_{\lambda}(E(B - V)) \frac{\theta^2}{4}$$
$$\mathcal{F} = \int_0^{\infty} F_{\lambda} d\lambda = 4 \frac{f^{\text{obs}}}{\theta^2} = \sigma T_{\text{eff}}^4$$

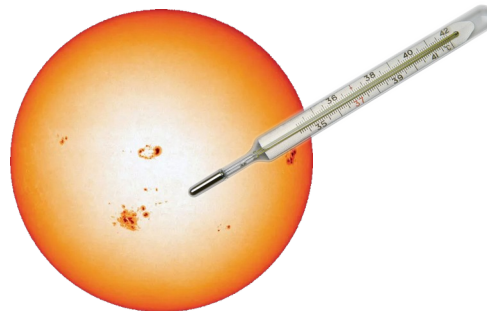
$$\frac{\sigma T_{\text{eff}}}{T_{\text{eff}}} = \sqrt{\left(\frac{1}{4} \frac{\sigma f^{\text{obs}}}{f^{\text{obs}}}\right)^2 + \left(\frac{1}{2} \frac{\sigma \theta}{\theta}\right)^2}$$

~0.005 ... 0.05 ~0.0025 ... 0.025 ~0.005 ... 0.05

~30K ... 300K

$$f_{\text{sun}} = 1367 \text{ Вт/м}^2$$

$$\theta = 31'59''$$



$$5777 \text{ К} \pm 1 \text{ К}$$

$\Delta T = 2 \text{ К}$ из-за вариации
солнечной постоянной

Наблюдаемый
SED
[erg/s/cm²/Å]

$$f_{\lambda}^{obs} = F_{\lambda}(T_{eff}, \log g, [Fe/H]) A_{\lambda}(E(B - V))$$

SED звезды
[erg/s/cm²/Å]

Межзвездное
поглощение

Угловой
диаметр
[rad]

$$\frac{\theta^2}{4}$$

интерферометрия

покрытие звезд Луной

кривые блеска затменно-двойных

спекл-фотометрия

Косвенно

Метод инфракрасных потоков (IRFM)
Синтетическая фотометрия

$$\theta(\mu as) = 2.06265 \times 10^{11} \sqrt{4 \times 10^{-0.4(m_{obs} - m_{synt})}}$$

θ, T_{eff}

The InfraRed Flux Method (Blackwell & Shallis 1977)

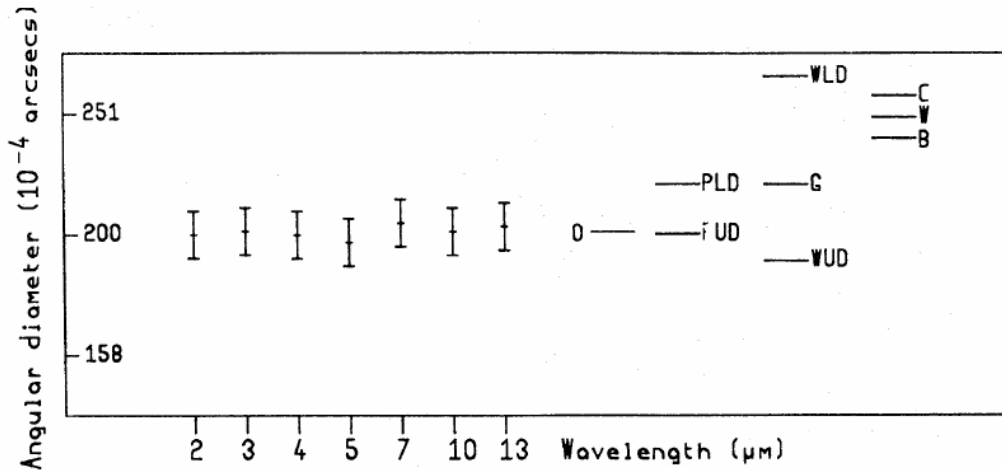
$$\begin{cases} f = \frac{\theta^2}{4} \sigma T_{eff}^4 \\ f_\lambda = \frac{\theta^2}{4} \phi_\lambda(T_{eff}, g, [Fe/H]) \end{cases} \quad \lambda \text{ в ИК}$$

$$\frac{f}{f_\lambda} = \frac{\sigma T_{eff}^4}{\phi_\lambda(T_{eff}, g, [Fe/H])} = \frac{\lambda^4 \sigma T_{eff}^3}{2ck}$$

Первое приближение –
из закона Рэлея-Джинса

$$\theta^2 = \frac{4f_\lambda}{\phi_\lambda(T_{eff})} = \frac{2f_\lambda \lambda^4}{ck T_{eff}} = \frac{4f}{\sigma T_{eff}^4}$$

$T_0 \rightarrow \theta_0 \rightarrow$
 $\rightarrow T_1 \rightarrow \phi(T_1) \rightarrow \theta_1 \rightarrow$
 $\rightarrow \dots$



$$\frac{\sigma_\theta}{\theta} \sim 5\%$$

Современная точность:
1..10%

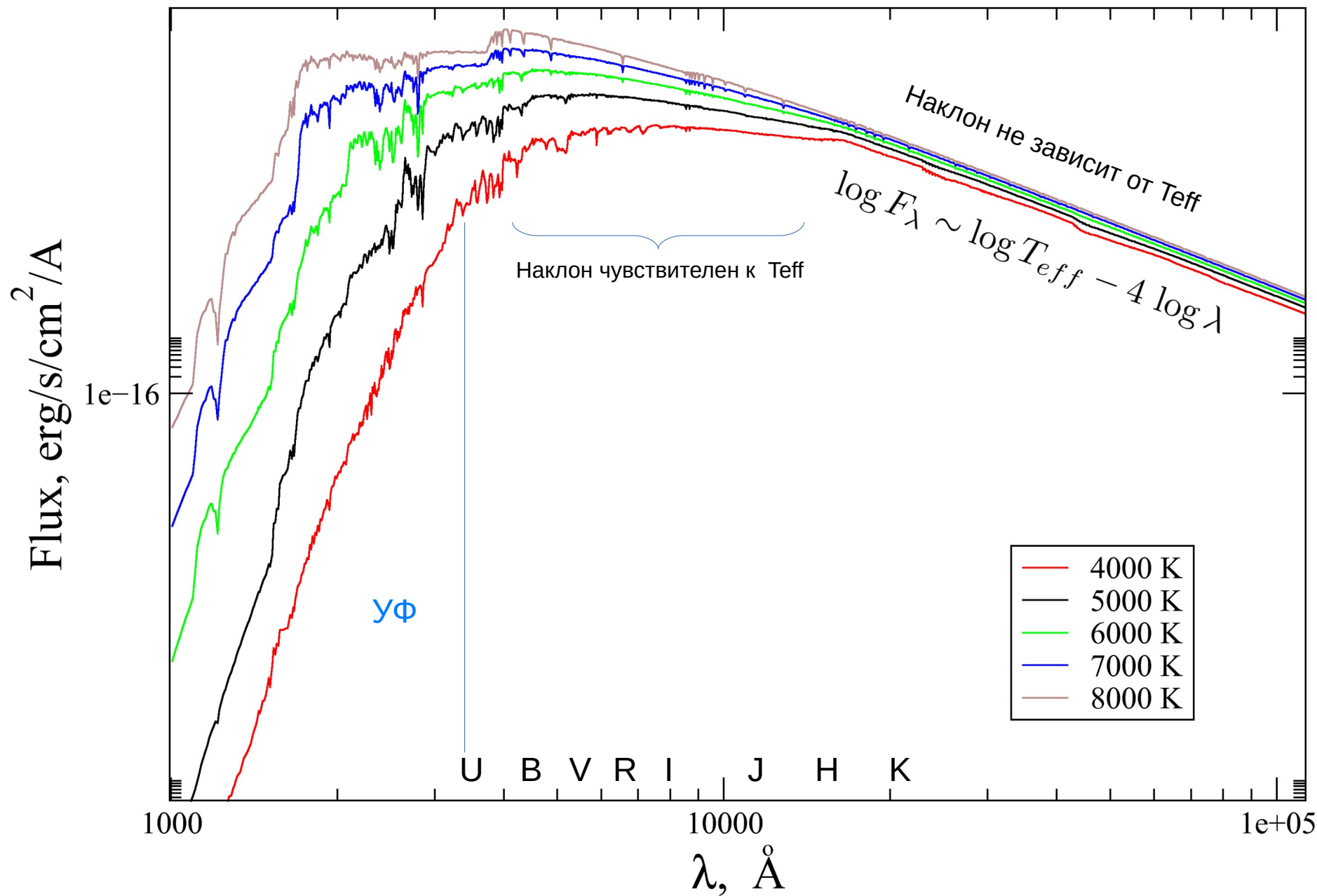
$$\frac{\sigma_{T_{eff}}}{T_{eff}} \geq 0.5\%$$

$$\sigma_{T_{eff}} \geq 20..30K$$

Де-факто IRFM
температуры являются
стандартом точности

Figure 1. Deduction of angular diameter of Arcturus at a set of infrared wavelengths from measured fluxes. Other measurements of angular diameter are marked on the diagram: PUD, PDL, Pease (1931), uncorrected and corrected for limb darkening; W. Wesselink *et al.* (1972); WUD, WLD, Worden (1976); G, Gezari, Labeyrie & Stachnik (1972); C, Currie *et al.* (1974); Beavers (1965). The angular diameter scale is logarithmic.

T_{eff}



THE EFFECTIVE TEMPERATURE SCALE OF FGK STARS. II. T_{eff} : COLOR : [Fe/H] CALIBRATIONS

IVÁN RAMÍREZ¹

Department of Astronomy, University of Texas at Austin, RLM 15.306, Austin, TX 78712-1083; ivan@astro.as.utexas.edu

AND

JORGE MELÉNDEZ¹

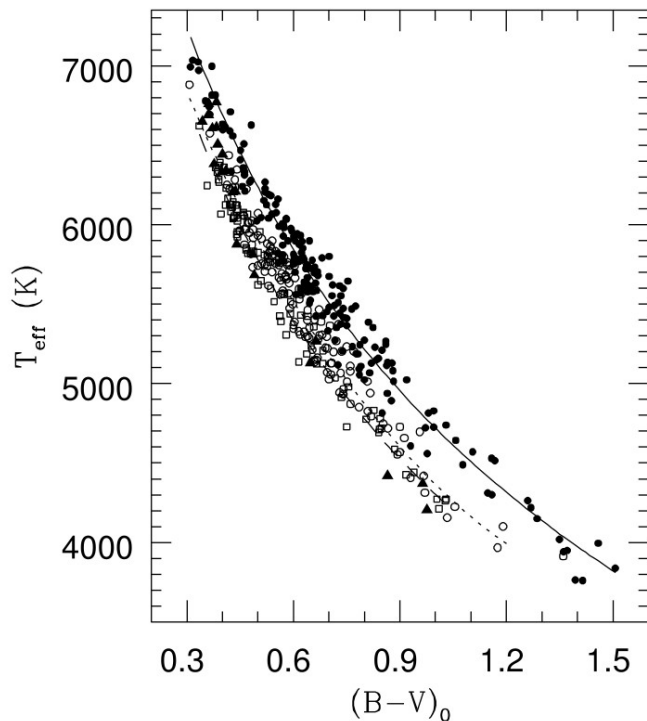
Department of Astronomy, California Institute of Technology, MS 105-24, Pasadena, CA 91125; jorge@astro.caltech.edu

Received 2004 July 19; accepted 2005 February 9

TABLE 2
 COEFFICIENTS OF THE DWARF STAR COLOR CALIBRATIONS

Color (X)	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	N	σ (T_{eff})
$(B - V)$	0.5002	0.6440	-0.0690	-0.0230	-0.0566	-0.0170	495	88
$(b - y)$	0.4129	1.2570	-0.2268	-0.0242	-0.0464	-0.0200	434	87
$(Y - V)$	0.0644	1.7517	-0.5264	-0.0044	-0.0407	-0.0132	159	121
$(V - S)$	0.2417	1.3653	-0.3823	-0.0387	-0.0105	-0.0077	142	95
$(B_2 - V_1)$	0.6019	0.7663	-0.0713	-0.0339	-0.0382	-0.0137	358	74
$(B_2 - G)$	0.8399	0.4909	-0.0666	-0.0360	-0.0468	-0.0124	368	66
t	0.7696	0.5927	0.3439	-0.0437	-0.0143	-0.0088	308	66
$(V - R_C)$	0.4333	1.4399	-0.5419	-0.0481	-0.0239	-0.0125	133	84
$(V - I_C)$	0.3295	0.9516	-0.2290	-0.0316	0.0003	-0.0081	127	68
$(R_C - I_C)$	0.2919	2.1141	-1.0723	-0.0756	0.0267	-0.0041	137	76
$C(42-45)$	0.5153	0.5963	-0.0572	-0.0573	-0.0221	-0.0018	120	70
$C(42-48)$	0.1601	0.4533	-0.0135	-0.0471	0.0305	-0.0020	133	70
$(B_T - V_T)$	0.5619	0.4462	-0.0029	0.0003	-0.0746	-0.0190	378	104
$(V - J_2)$	0.4050	0.4792	-0.0617	-0.0392	0.0401	-0.0023	361	62
$(V - H_2)$	0.4931	0.3056	-0.0241	-0.0396	0.0678	0.0020	364	57
$(V - K_2)$	0.4942	0.2809	-0.0180	-0.0294	0.0444	-0.0008	397	50
$(V_T - K_2)$	0.4886	0.2773	-0.0195	-0.0300	0.0467	-0.0008	318	59

NOTE.— N is the number of stars employed and σ the standard deviation of each fit.



$-0.5 < [\text{Fe}/\text{H}] \leq +0.5$ (filled circles),
 $-1.5 < [\text{Fe}/\text{H}] \leq -0.5$ (open circles),
 $-2.5 < [\text{Fe}/\text{H}] \leq -1.5$ (squares)
 $[\text{Fe}/\text{H}] \leq -2.5$ (triangles)

$$5040/T_{\text{eff}} = a_0 + a_1X + a_2X^2 + a_3X[\text{Fe}/\text{H}] + a_4[\text{Fe}/\text{H}] + a_5[\text{Fe}/\text{H}]^2$$

Infrared flux method and colour calibrations

L Casagrande

Tuorla Observatory, Department of Physics and Astronomy, University of Turku, Finland

E-mail: luccas@utu.fi

Received 17 September 2008

Accepted for publication 19 September 2008

Published 19 December 2008

Online at stacks.iop.org/PhysScr/T133/014020

Abstract

The Infrared Flux Method (IRFM) is one of the most accurate techniques to derive fundamental stellar parameters – namely effective temperatures, bolometric luminosities and angular diameters – in an almost model independent way. We review the method and its application to late-type dwarfs, with particular emphasis on the dependence of the resulting effective temperatures on the adopted absolute calibration. We also compare our results with a large set of recent interferometric angular diameters in order to better constrain the temperature scale: despite the excellent agreement we find, uncertainties of order 100 K cannot yet be ruled out. We conclude that although such disturbing uncertainty still plagues the determination of accurate effective temperatures, the homogeneous and internally precise fundamental stellar parameters determined via IRFM permit the study of the fine structure of the lower main sequence in greater detail than ever before.

The GALAH survey: effective temperature calibration from the InfraRed Flux Method in the *Gaia* system

Luca Casagrande ^{1,2}  ^{1,2}  [†] Jane Lin, ^{1,2} Adam D. Rains ¹  ¹ Fan Liu ³  ³ Sven Buder ^{1,2}  ^{1,2}

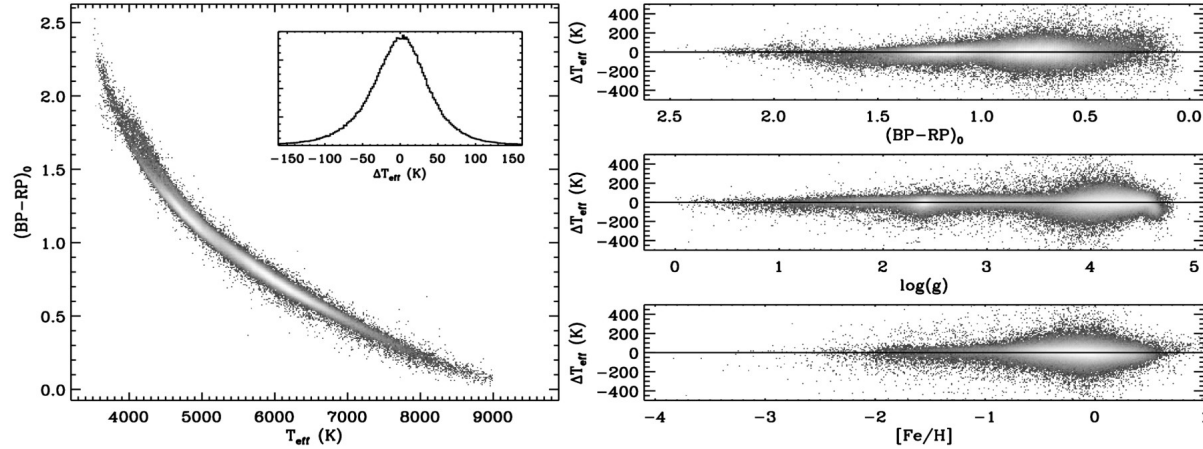


Figure 3. Left-hand panel: log-density plot of the colour– T_{eff} relation obtained using all 360 000 GALAH DR3 stars with good photometric and spectroscopic flags as described in the text. For $T_{\text{eff}} \lesssim 4500$ K the two loci defined by dwarf and giant stars can be noticed. The inset shows the distribution of the T_{eff} residuals of our calibration. Right-hand panels: T_{eff} residuals plotted as a function of colour, surface gravity, and metallicity. Plots for the other colour indices are available

Table 3. Mean difference and standard deviation between the effective temperatures derived from our calibrations, and those from the literature used for validation (ours–literature). N is the number of stars available in each colour index.

Colour	Solar twins		GBS		Interferometry [†]	
	$\langle \Delta T_{\text{eff}} \rangle$	N	$\langle \Delta T_{\text{eff}} \rangle$	N	$\langle \Delta T_{\text{eff}} \rangle$	N
$(BP - RP)_0$	-3 ± 17	8	3 ± 34	7	-8 ± 49	15
$(G - BP)_0$	-30 ± 16	8	-19 ± 42	5	-10 ± 68	7
$(G - RP)_0$	0 ± 22	8	10 ± 31	5	-12 ± 55	7
$(BP - J)_0$	-6 ± 23	8	10 ± 55	5	9 ± 48	3
$(BP - H)_0$	10 ± 13	8	49 ± 48	5	95 ± 8	2
$(BP - K_s)_0$	-14 ± 21	8	-16 ± 32	6	-30 ± 60	6
$(RP - J)_0$	-13 ± 69	8	2 ± 108	5	-42 ± 112	3
$(RP - H)_0$	-2 ± 36	8	25 ± 74	5	68 ± 14	2
$(RP - K_s)_0$	-28 ± 37	8	-52 ± 40	6	-51 ± 59	6
$(G - J)_0$	-2 ± 36	8	-4 ± 72	5	-16 ± 49	3
$(G - H)_0$	5 ± 20	8	18 ± 59	5	60 ± 50	2
$(G - K_s)_0$	-27 ± 26	8	-52 ± 40	5	-54 ± 74	5

Note.. [†]Only interferometric T_{eff} better than 1 per cent are used.

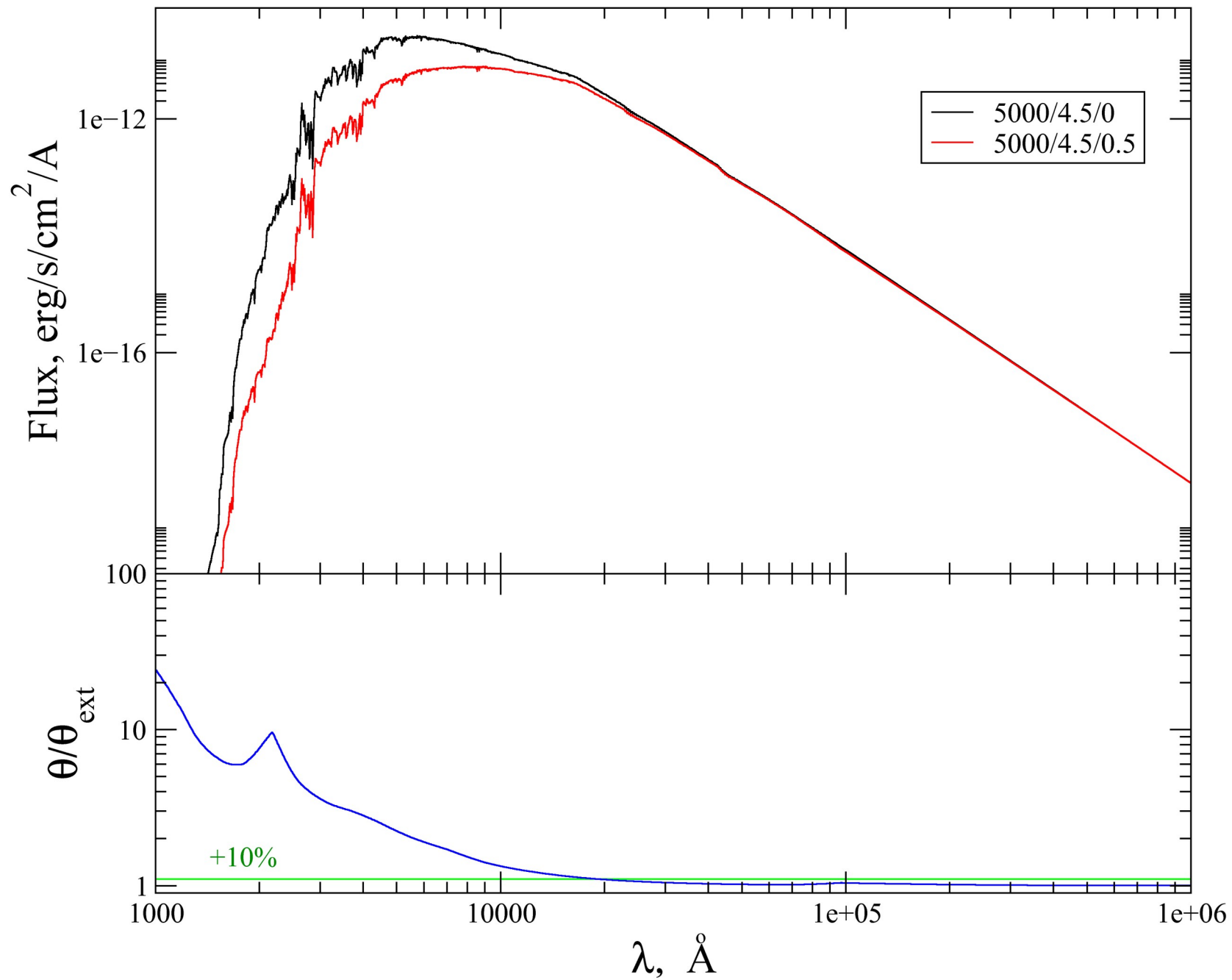
CONCLUSIONS

Robust solar colours have also been derived (Appendix C). For most colour indices, our calibrations have a typical 1σ uncertainty of **40–80 K** for the colour intervals of Table 2, which cover the region between 4000 and 8000 K. For $4000 \text{ K} \lesssim T_{\text{eff}} \lesssim 6700 \text{ K}$ our

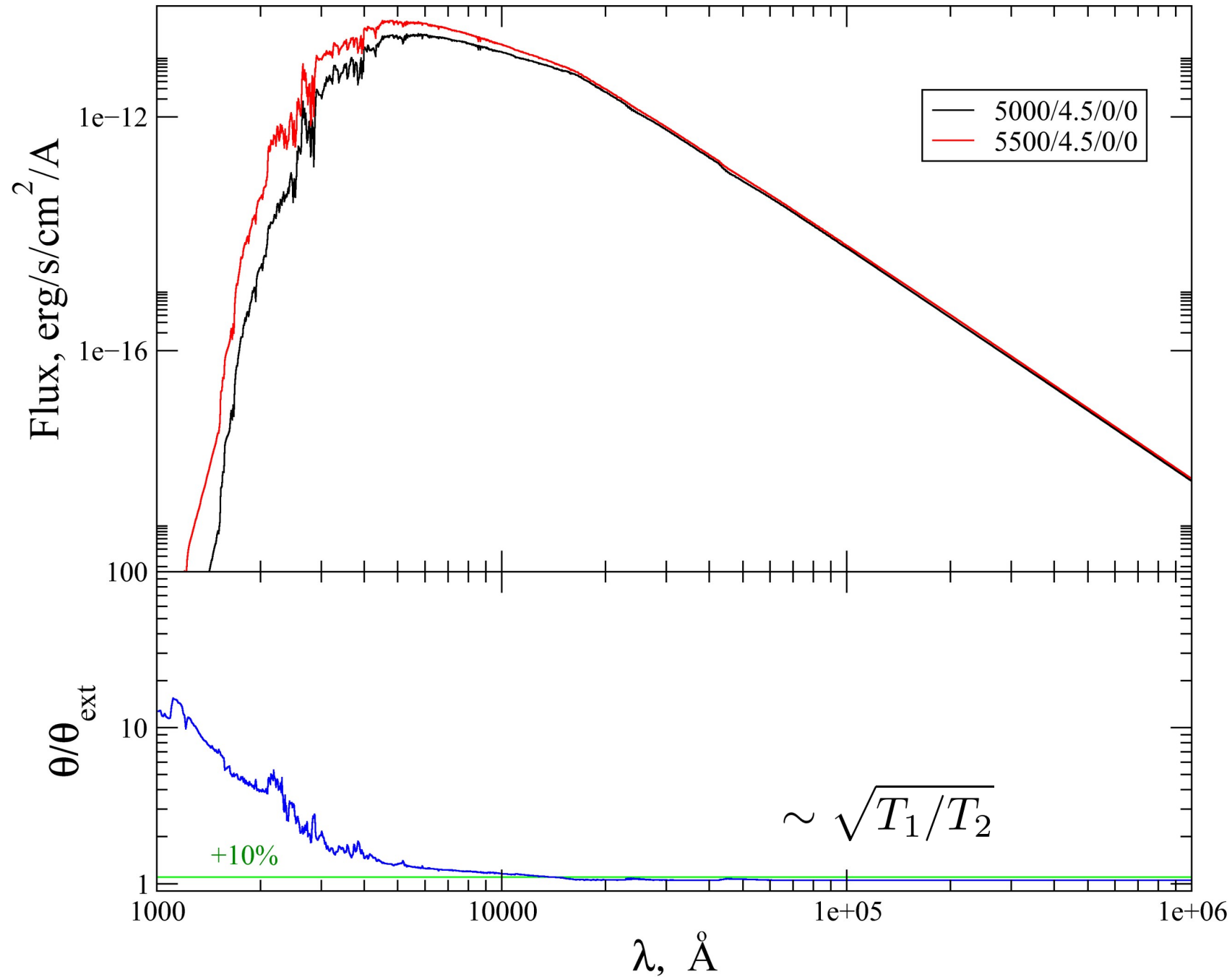
Космическая фотометрия не дала
сильного выигрыша в точности оценки
эффективных температур

Температуры, определенные по разным
показателем цвета, могут различаться больше,
чем на приводимую ошибку

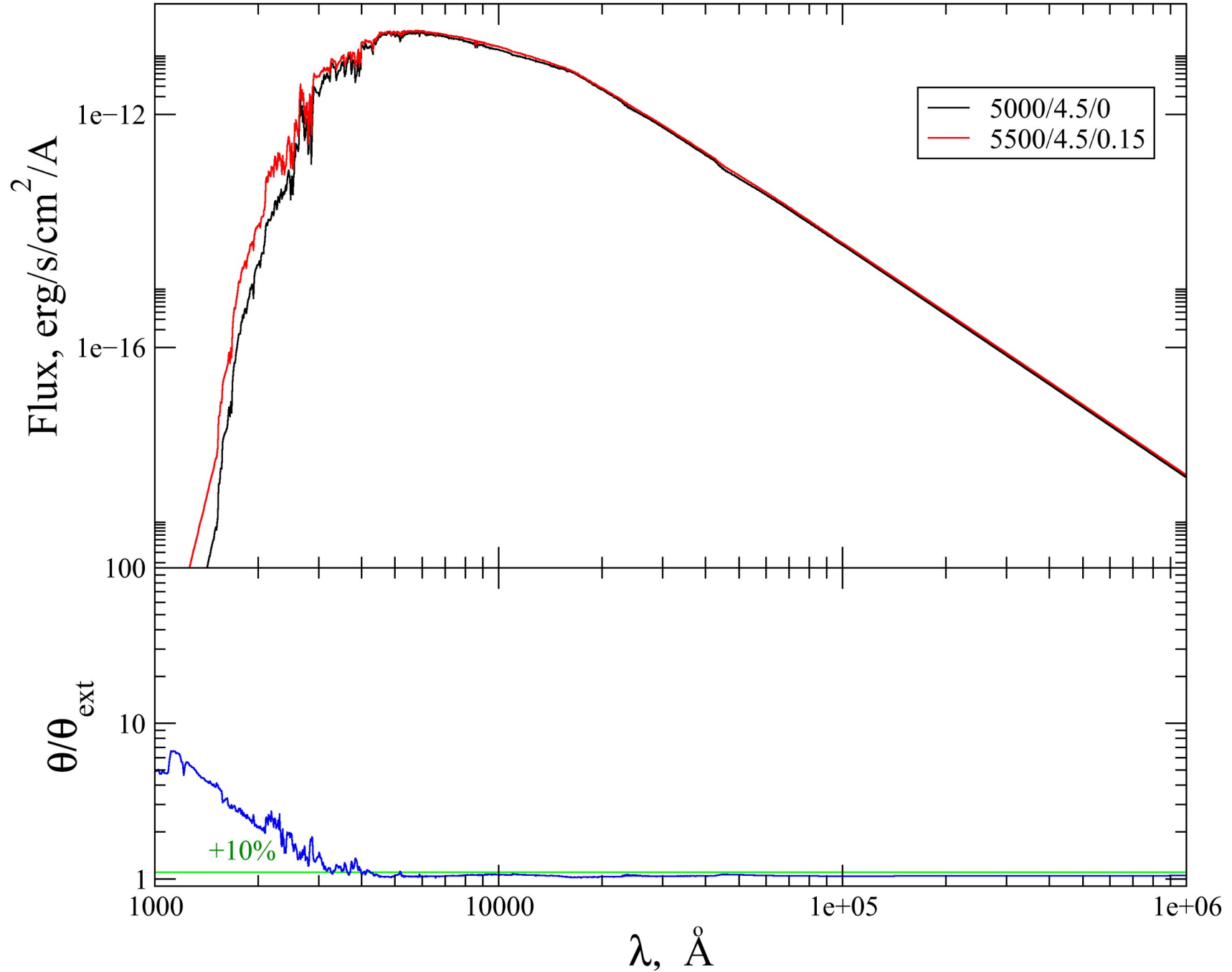
Влияние межзвездного поглощения на SED
 $E(B-V)=0.5$



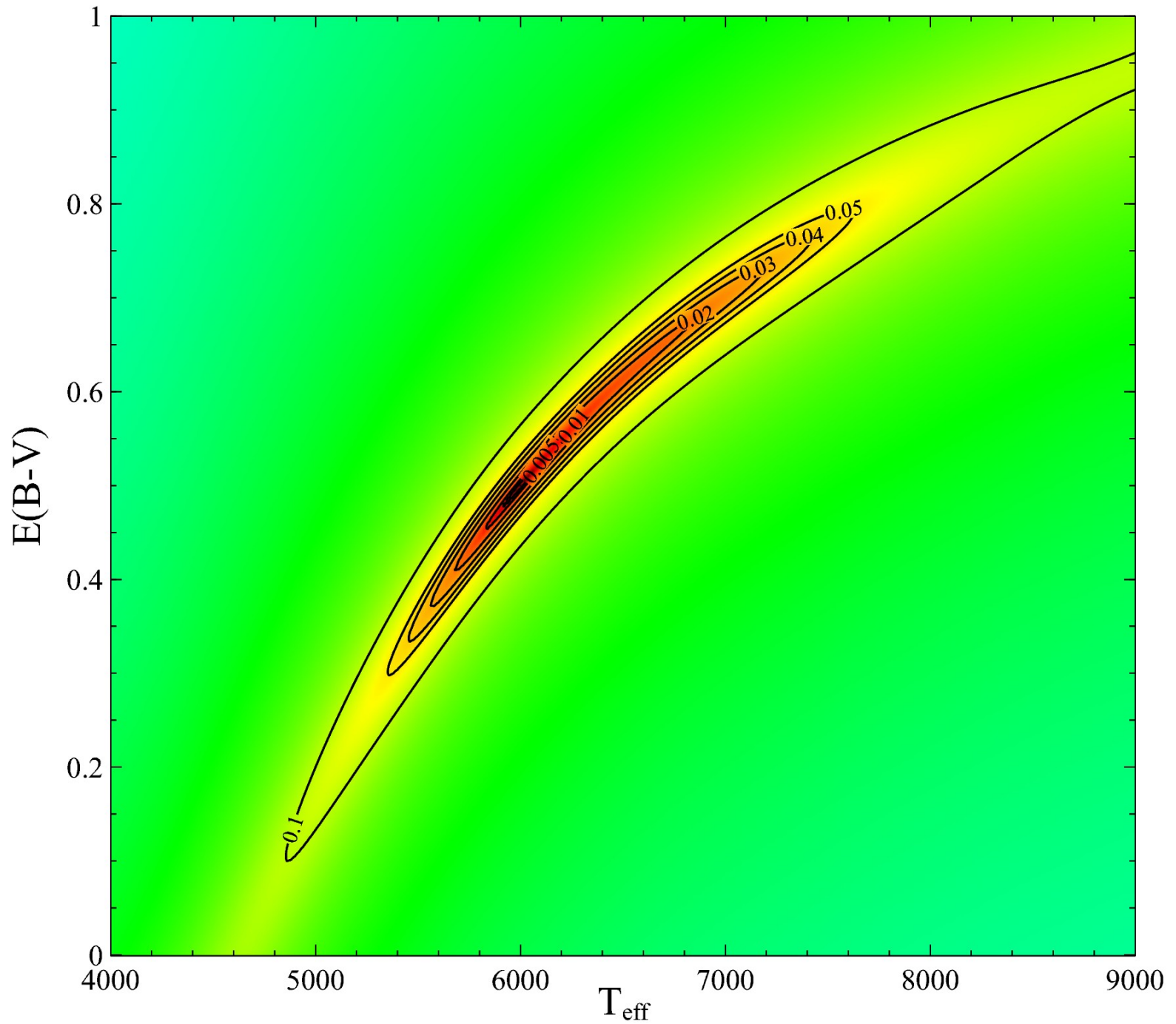
Влияние неопределенности в температуре на SED
 $\Delta T = 500$ К



Одновременное влияние изменения температуры и
межзвездного поглощения на SED
 $\Delta T=500 \text{ K} + E(B-V)=0.15$



Корреляция между изменениями T_{eff} и $E(B-V)$





Сильная корреляция между T_{eff} и $E(B-V)$ не позволяет достичь высокой точности при одновременном определении этих величин, используя фотометрию.

Необходимо независимое определение либо T (спектр), либо $E(B-V)$ (карты поглощения в Галактике)



Но это слабо влияет на точность определения углового диаметра

$$\theta(\mu as) = 2.06265 \times 10^{11} \sqrt{4 \times 10^{-0.4(m_{obs} - m_{synt})}}$$

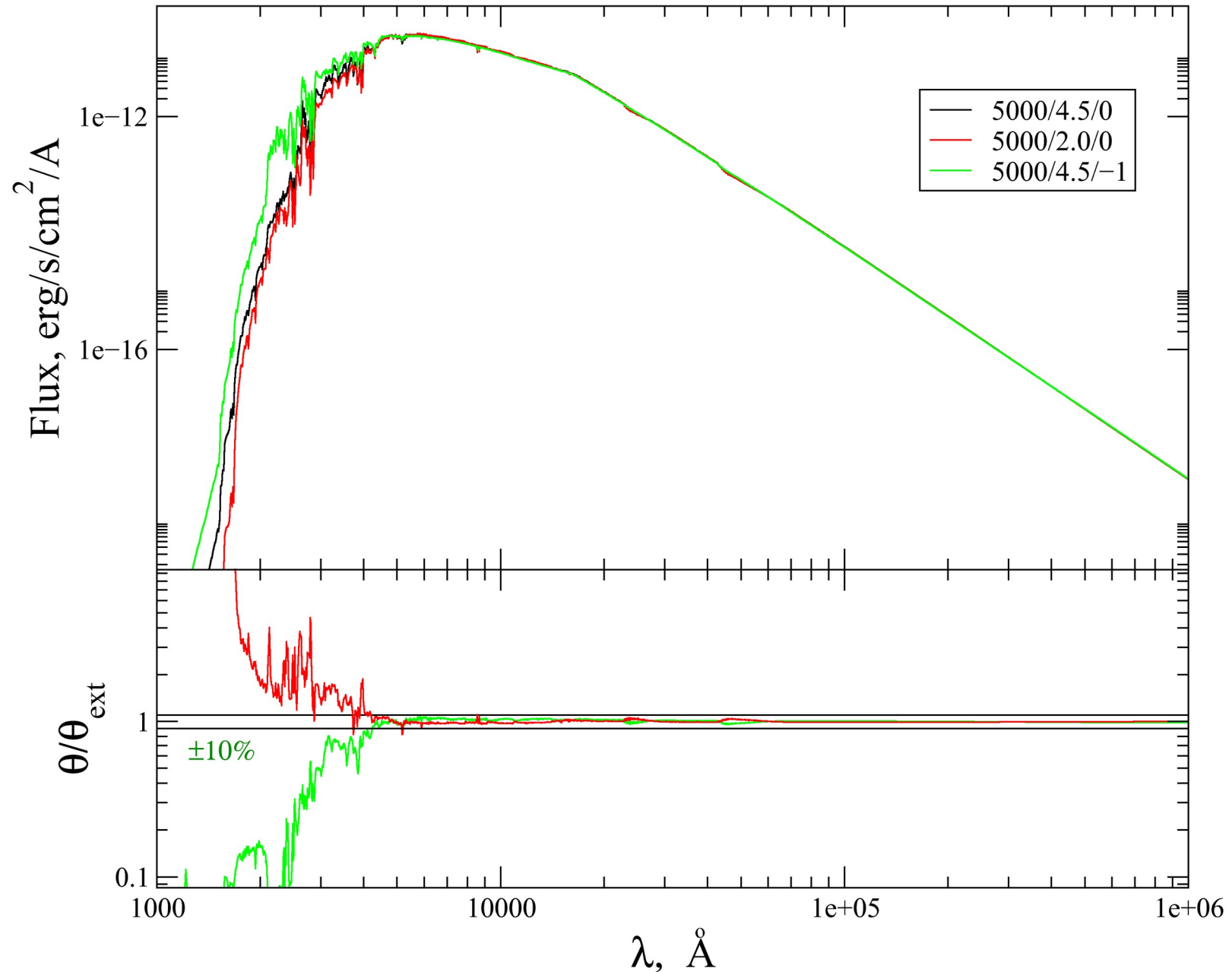
Заметка:

При точных параметрах звездной атмосферы и точном учете межзвездного поглощения соотношение справедливо для любых длин волн.

А также с небольшими ошибками в области корреляции T и $E(B-V)$

Слабое влияние изменения ускорения силы тяжести $\log g$
(карлик и гигант) и металличности $[\text{Fe}/\text{H}]$ (-1) на SED

Заметное влияние только для $\lambda < 4500 \text{ \AA}$



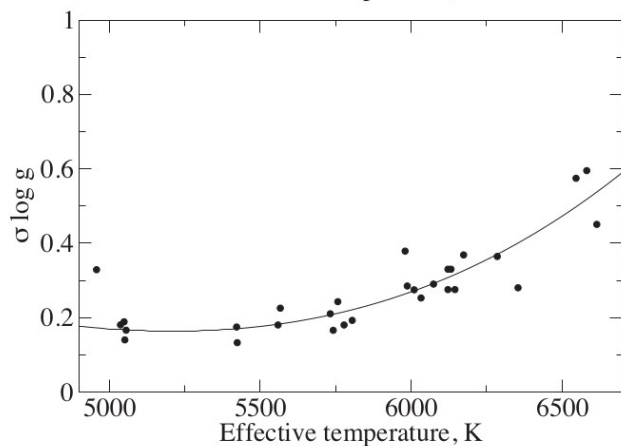
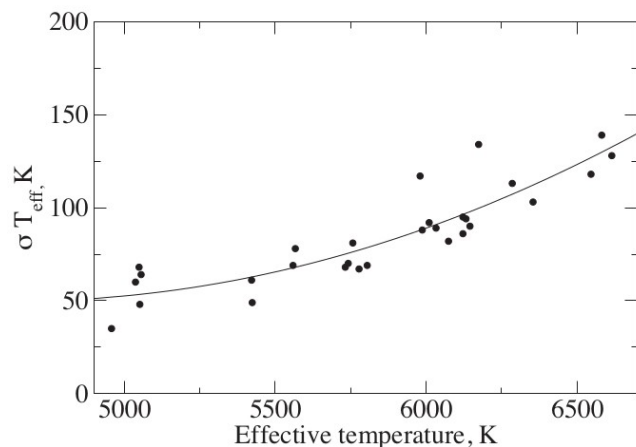


Необходимо независимое определение одной из величин:

T_{eff}

Методы спектрального анализа

- Нужны спектры высокого разрешения
 - Ограничение по звездной величине
 - Использование крупных телескопов
- Точность параметров атмосферы зависит от применяемых методов



E(B-V)

Только косвенная оценка

- карты поглощения в Галактике
 - Очень приближенные
 - Плохо работают на низких широтах
 - Многие основаны на ИК, а применяются в видимом диапазоне ($R_v=3.1?$)
 - Schlegel et al – только для далеких звезд
 - Не учитывают:
 - околозвездное поглощение
 - мелкомасштабные неоднородности
- Данные Gaia
 - Формальное решение, часто далеко от реальности, как и параметры атмосферы звезды
- синтетическая фотометрия, используя параметры, полученные из спектров
 - Точность зависит от точности параметров атмосферы
 - Точность зависит от модели атмосферы

Синтетическая фотометрия

Математический подход

$$f_{\lambda}^{obs} = f_{\lambda}^{synt} \left(\underbrace{T_{eff}, \log g, [Fe/H], E(B-V)}_{\text{Параметры модели SED}} \right) \frac{\theta^2}{4}$$

Синтетические цвета VSP на основе моделей Kurucz

Масштабный фактор

$$\min \left(\chi^2 = \sum \frac{(f_{\lambda}^{obs} - f_{\lambda}^{synt})^2}{\sigma_{f_{\lambda}^{obs}}^2} \right)$$

Методы оптимизации:

Levenberg-Marquardt

L-BFGS-B

Нужно найти:

- 4 параметра модели SED + вычисляемый масштабный фактор

Известно:

- сильная корреляция между T_{eff} и $E(B-V)$, но их влияние на SED разное в синей части спектра
- слабая чувствительность к $[Fe/H]$ и $\log g$ в видимом диапазоне и ИК, но сильная в синей области и УФ
- угловой радиус надежно определяется по ИК

Требование к наблюдениям:

- нужно минимум 5 точек на SED (звездные величины или потоки на 5 длинах волн), а лучше больше, так как для 5 точек возможно неоднозначное решение (функция хи-квадрат имеет множество локальных максимумов)
- точки распределены от УФ до ИК (**U B V R I J H K**)
- точность фотометрии лучше 0.005^m - 0.01^m

Синтетическая фотометрия

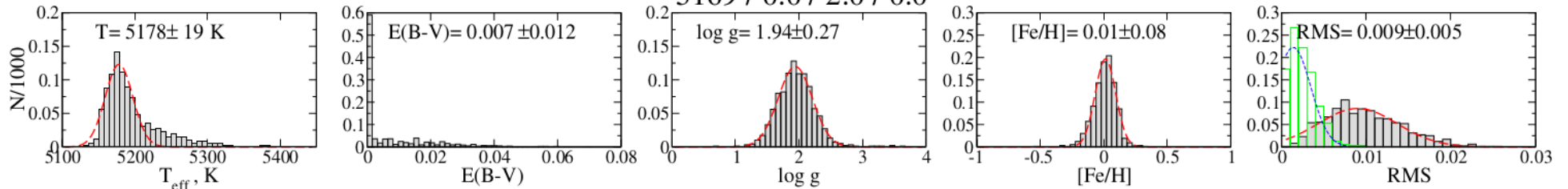
Математический подход

Решение модельных зашумленных фотометрических данных

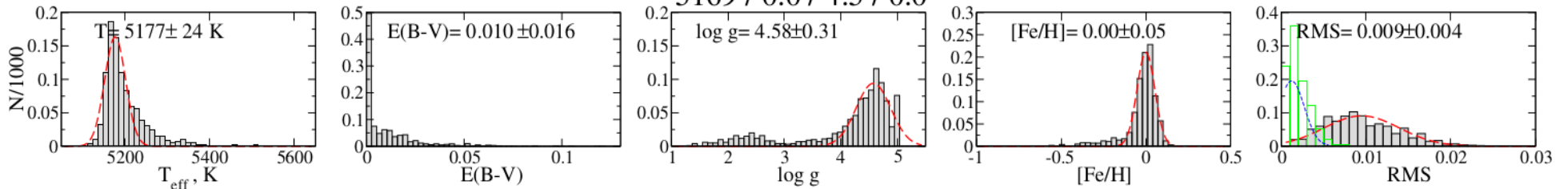
$$\sigma(\text{UBVRI})=0.005^m \quad \sigma(\text{JHK})=0.02^m$$

$$T_{\text{eff}} / E(\text{B-V}) / \log g / [\text{Fe}/\text{H}]$$

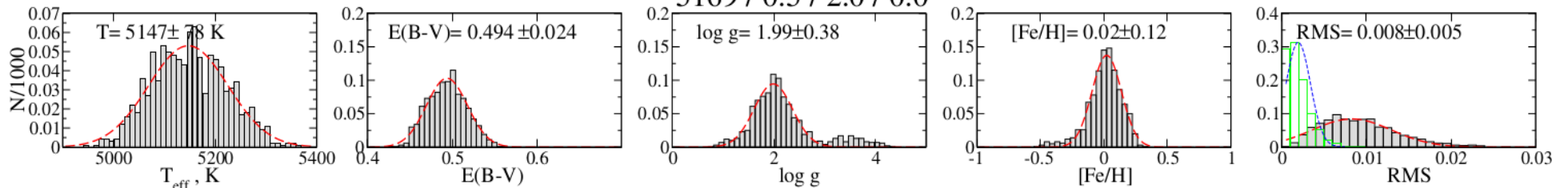
5169 / 0.0 / 2.0 / 0.0



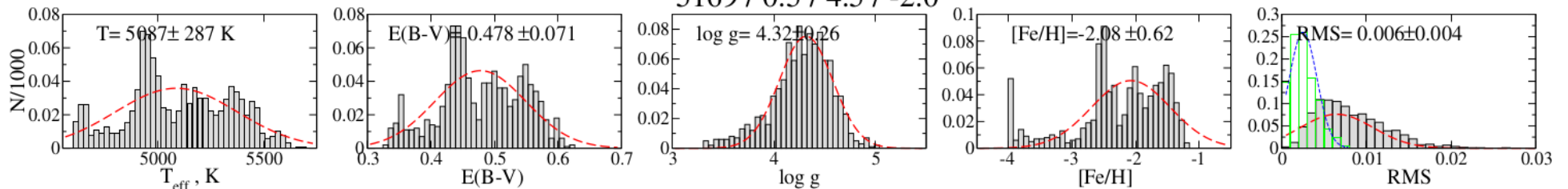
5169 / 0.0 / 4.5 / 0.0



5169 / 0.5 / 2.0 / 0.0



5169 / 0.5 / 4.5 / -2.0

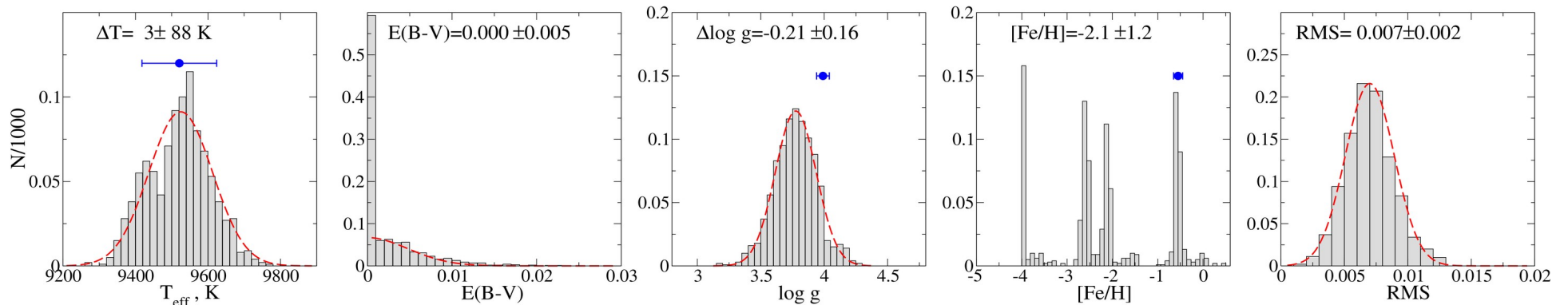


Синтетическая фотометрия

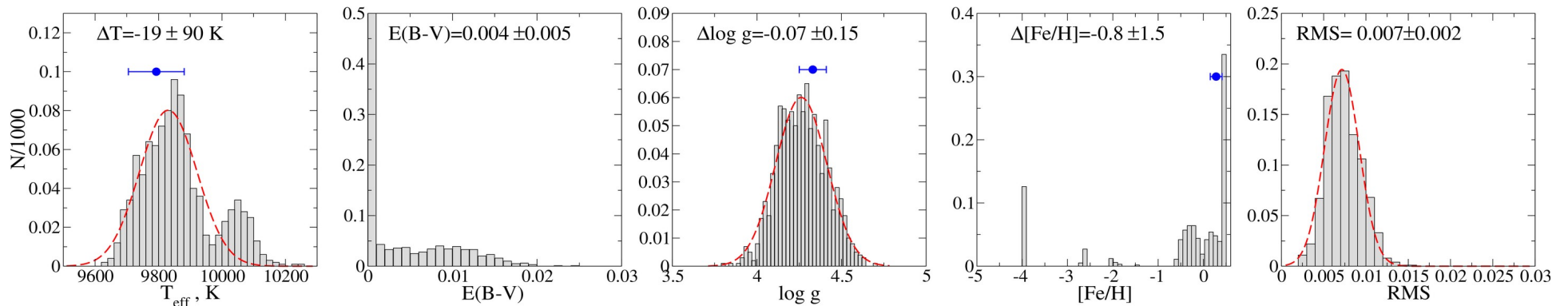
Математический подход

Решение для реальных звезд

Вега



Сириус

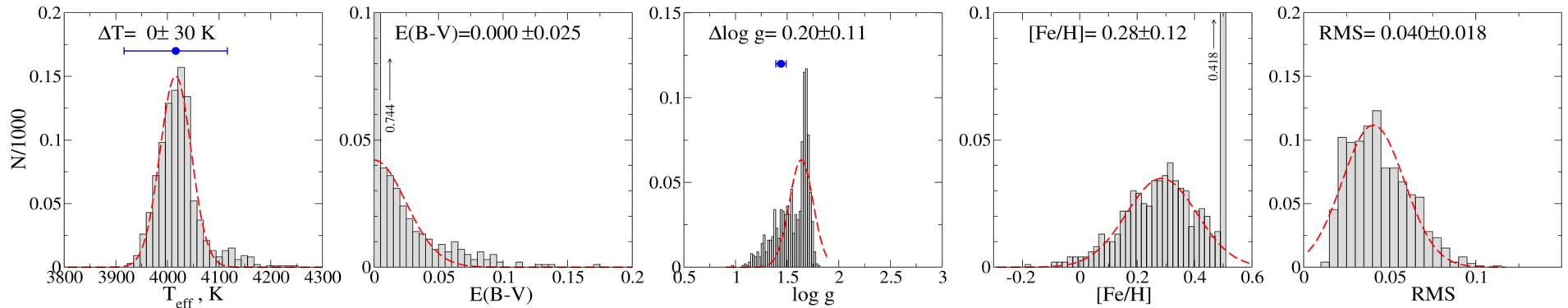


Синтетическая фотометрия

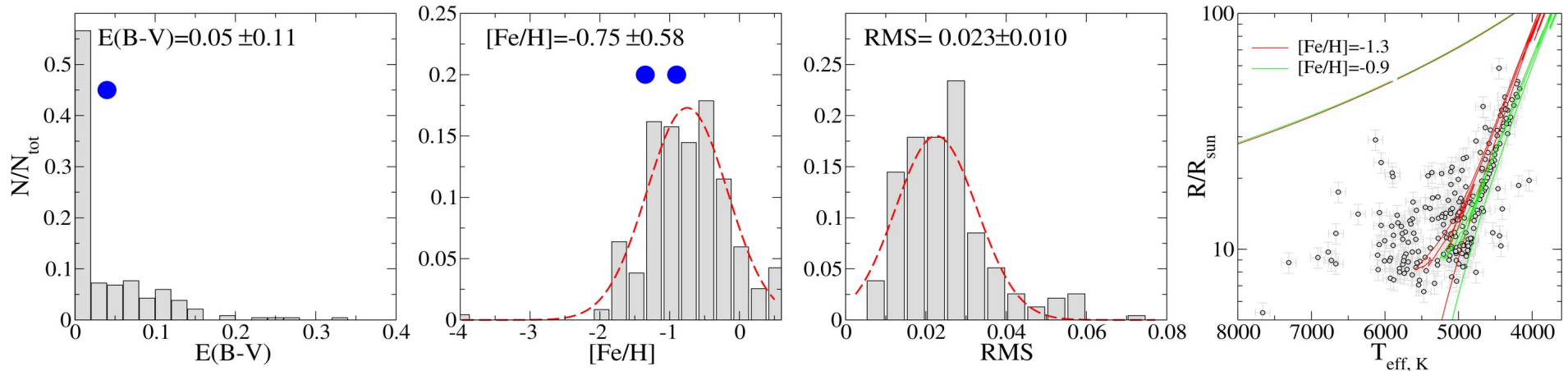
Математический подход

Решение для реальных звезд

HD 11983



NGC 5904 = M 5





Из-за корреляции T и E(B-V), а также незначительной зависимости SED от $\log g$ и [Fe/H] точность определения углового диаметра часто остается приемлемой

$$\theta(rad) = \sqrt{4 \times 10^{-0.4(m_{obs} - m_{synt})}}$$

$$\theta(rad) = \sqrt{4 \frac{f}{F}}$$

Радиус звезды $R_{\star} = d \times \theta(rad) / 2$

$$\frac{\sigma_R}{R} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\theta}}{\theta}\right)^2}$$

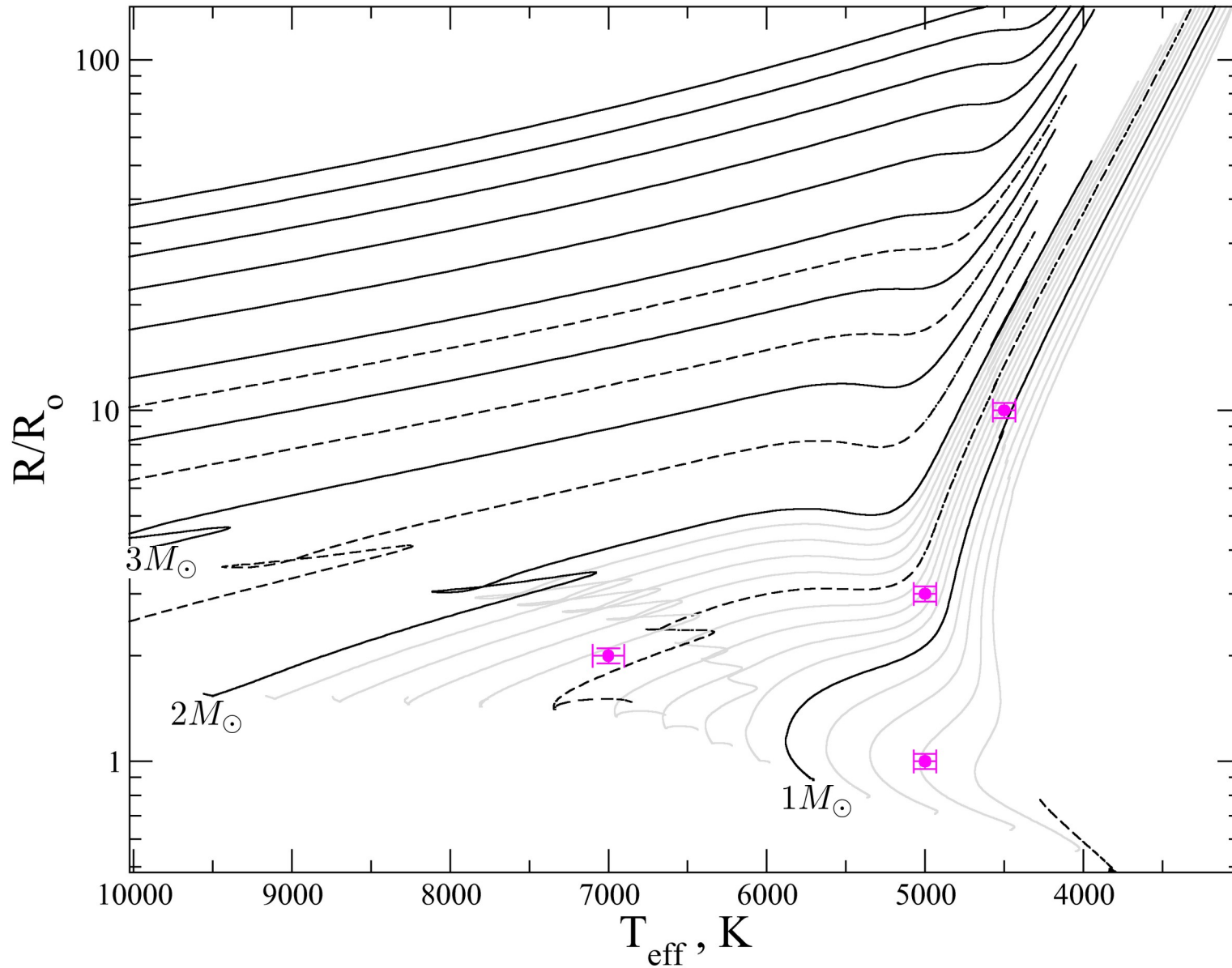
~1-10% <1-10%

T + R + эволюционные треки = масса звезды

R, M

Evolutionary tracks MESA for $[\text{Fe}/\text{H}]=0$

http://waps.cfa.harvard.edu/MIST/interp_tracks.html



R, log g



Из-за корреляции T и E(B-V), а также незначительной зависимости SED от log g и [Fe/H] точность определения углового диаметра часто остается приемлемой

$$\theta(rad) = \sqrt{4 \times 10^{-0.4(m_{obs} - m_{synt})}} \quad \theta(rad) = \sqrt{4 \frac{f}{F}}$$

Радиус звезды $R_{\star} = d \times \theta(rad) / 2$

$$\frac{\sigma_R}{R} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\theta}}{\theta}\right)^2}$$

~1-10% <1-10%

$$g = G \frac{\mathcal{M}}{R_{\star}^2} \quad g_{\odot} = G \frac{\mathcal{M}_{\odot}}{R_{\odot}^2}$$

$$\log g = \log g_{\odot} + \log \frac{\mathcal{M}}{\mathcal{M}_{\odot}} - 2 \log \frac{R_{\star}}{R_{\odot}}$$

$$\sigma_{\log g} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\mathcal{M}}}{\mathcal{M} \ln(10)}\right)^2 + \left(2 \frac{\sigma_R}{R \ln(10)}\right)^2}$$

~0.10 ... 0.20 ~ 4-20% ~1-10%

Модифицированный метод спектрального параллакса

$$\left| \begin{array}{l} L = 4\pi \cancel{R_\star^2} \sigma T_{eff}^4 \\ g = G \frac{\mathcal{M}}{\cancel{R_\star^2}} \end{array} \right.$$

$$\log g = -10.607 + \log \frac{\mathcal{M}}{\mathcal{M}_\odot} + 4\log T_{eff} - \log \frac{L}{L_\odot}$$

$$\log \frac{L}{L_\odot} = 0.4(M_{bol\odot} - M_{bol}) \quad M_{bol} = M_V + BC = m_V + 5 - 5\log d - A_V + BC$$

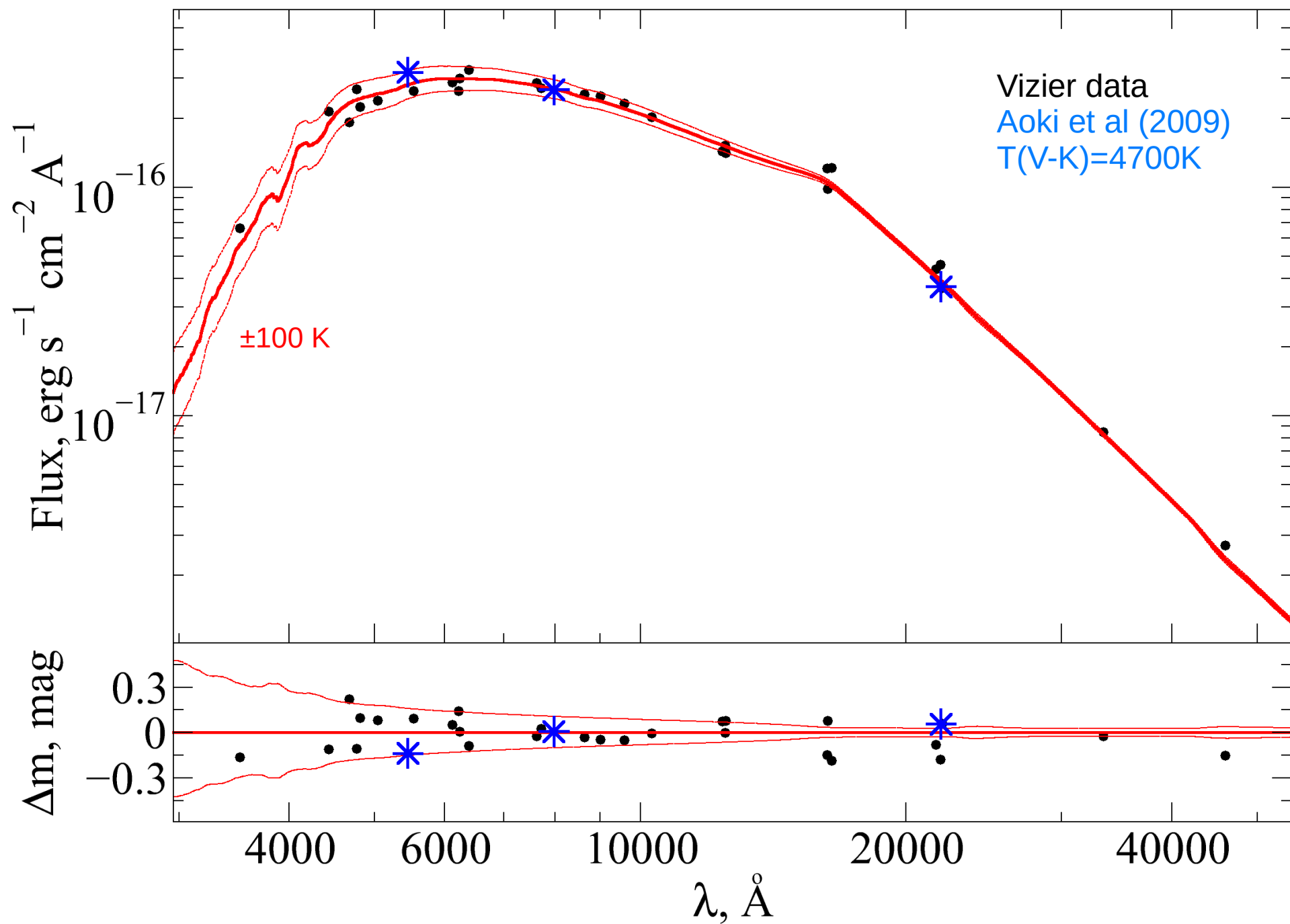
$$\begin{aligned} \log g = & -10.607 + \log \frac{\mathcal{M}}{\mathcal{M}_\odot} + 4\log T_{eff} + \\ & + 0.4(m_V + 5 - 5\log d - A_V + BC - M_{bol\odot}) \end{aligned}$$

$$\sigma_{\log g} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\mathcal{M}}}{\mathcal{M} \ln(10)}\right)^2 + \left(4 \frac{\sigma_T}{T \ln(10)}\right)^2 + \left(2 \frac{\sigma_d}{d \ln(10)}\right)^2 + (0.4\sigma_m)^2}$$

~0.10 ... 0.20

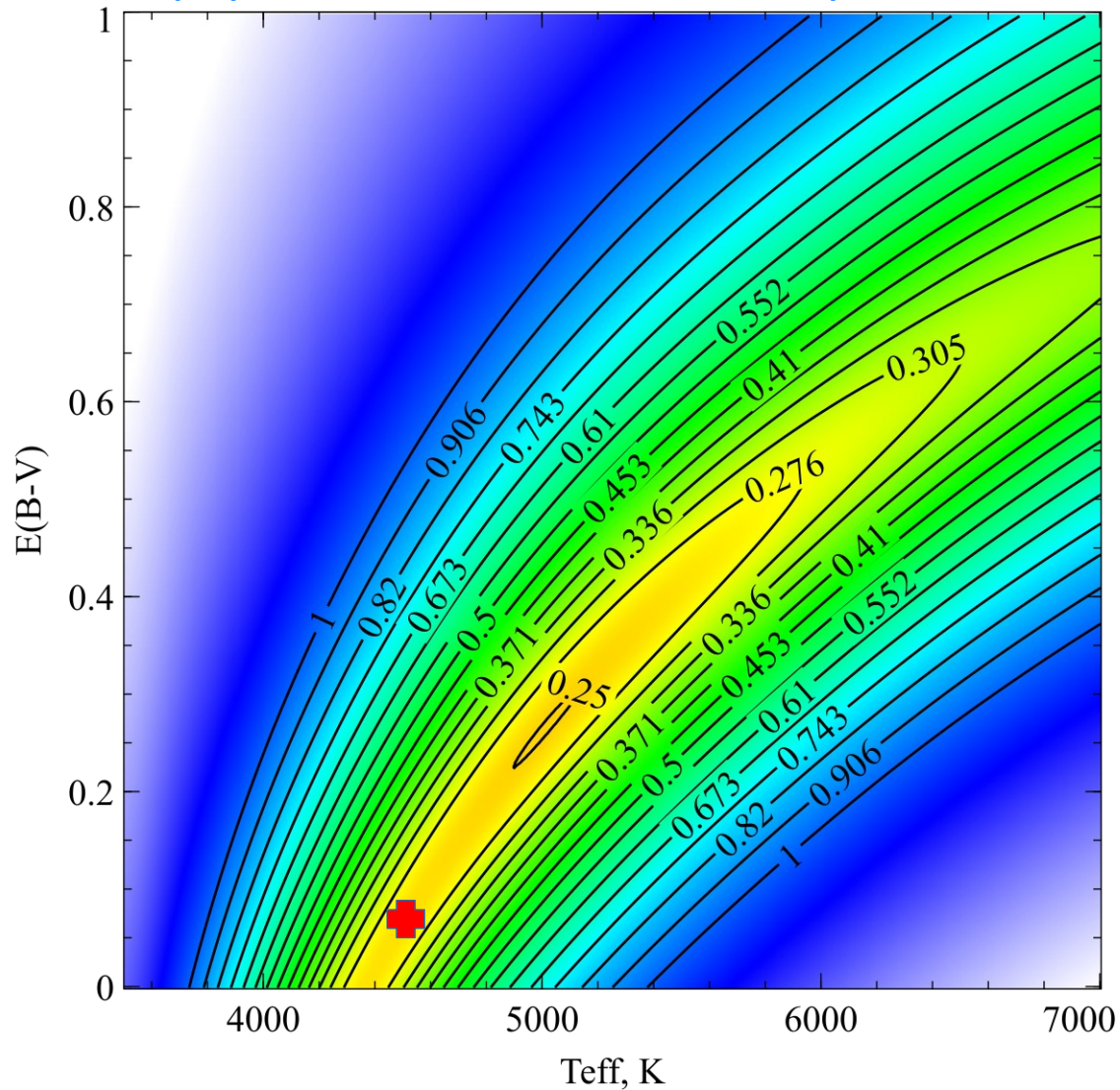
Все ~0.02-0.05

SED звезды S1014 (карликовая галактика Sextant) $V=17.64^m$
 $T_{\text{eff}}=4590\pm 25$ K $\log g=1.01\pm 0.10$ $[\text{Fe}/\text{H}]=-2.97$ $V_{\text{mic}}=2.1$ km/s $\theta=4.81\pm 0.08$ μas
 $E(B-V)=0.038$ (Schlegel et al 1998)



При большой ошибке наблюдательных данных для точной оценки T_{eff} необходимо знать $E(B-V)$ из других источников.

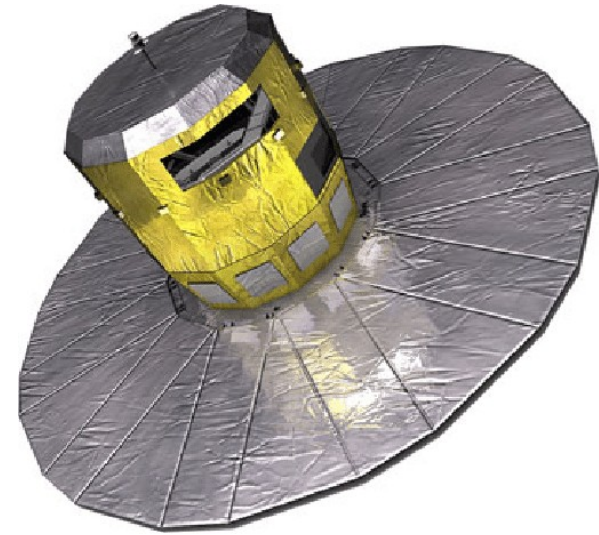
RMS (mag) ошибок для звезды S1014
(карликовая галактика Sextant) $V=17.64^{\text{m}}$



R

$$R_{\star} = d \times \theta(\text{rad})/2$$

Gaia ϖ



$$\varpi \longrightarrow d \neq \frac{1}{\varpi}$$

$$\varpi \longrightarrow d \neq \frac{1}{\varpi}$$

1. Наличие сдвига в шкале параллаксов

$$\varpi = \varpi_{DR3} + \text{offset}(\sim 0.03 \text{ mas})$$

A&A 649, A4 (2021)
<https://doi.org/10.1051/0004-6361/202039653>
 © ESO 2021

**Astronomy
&
Astrophysics**

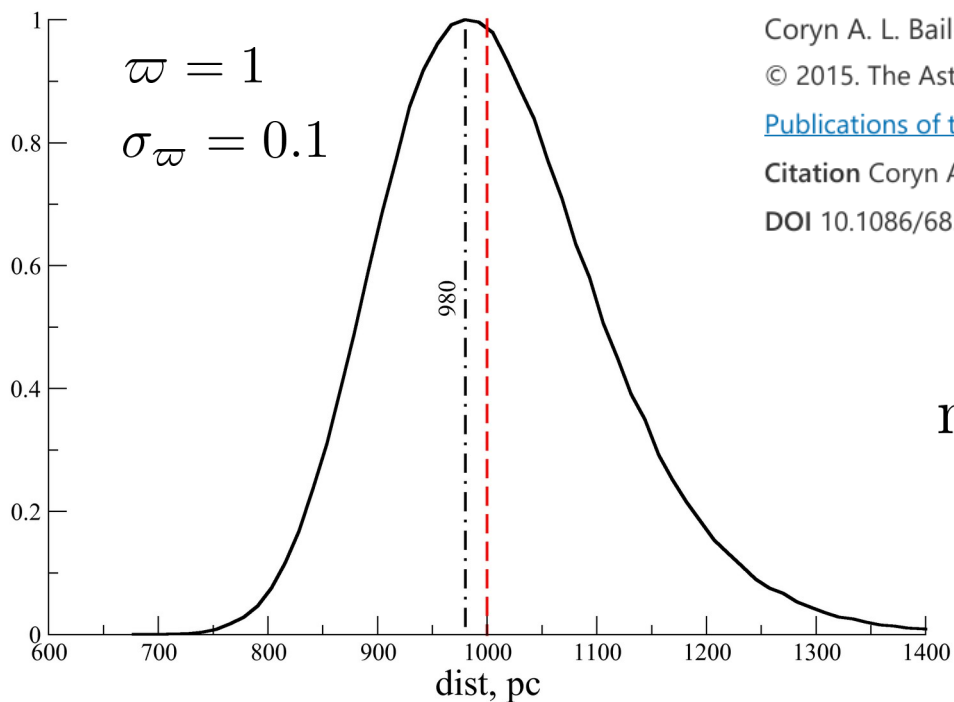
Gaia Early Data Release 3

Special issue

Parallax bias versus magnitude, colour, and position

L. Lindgren¹, U. Bastian², M. Biermann², A. Bombrun³, A. de Torres³, E. Gerlach⁴, R. Geyer⁴, J. Hernández⁵,
 T. Hilger⁴, D. Hobbs¹, S. A. Klioner⁴, U. Lammers⁵, P. J. McMillan¹, M. Ramos-Lerate⁶, H. Steidelmüller⁴,
 C. A. Stephenson⁷, and F. van Leeuwen⁸

2. Различие максимумов распределений параллаксов и расстояний



Estimating Distances from Parallaxes

Coryn A. L. Bailer-Jones^{1,1}

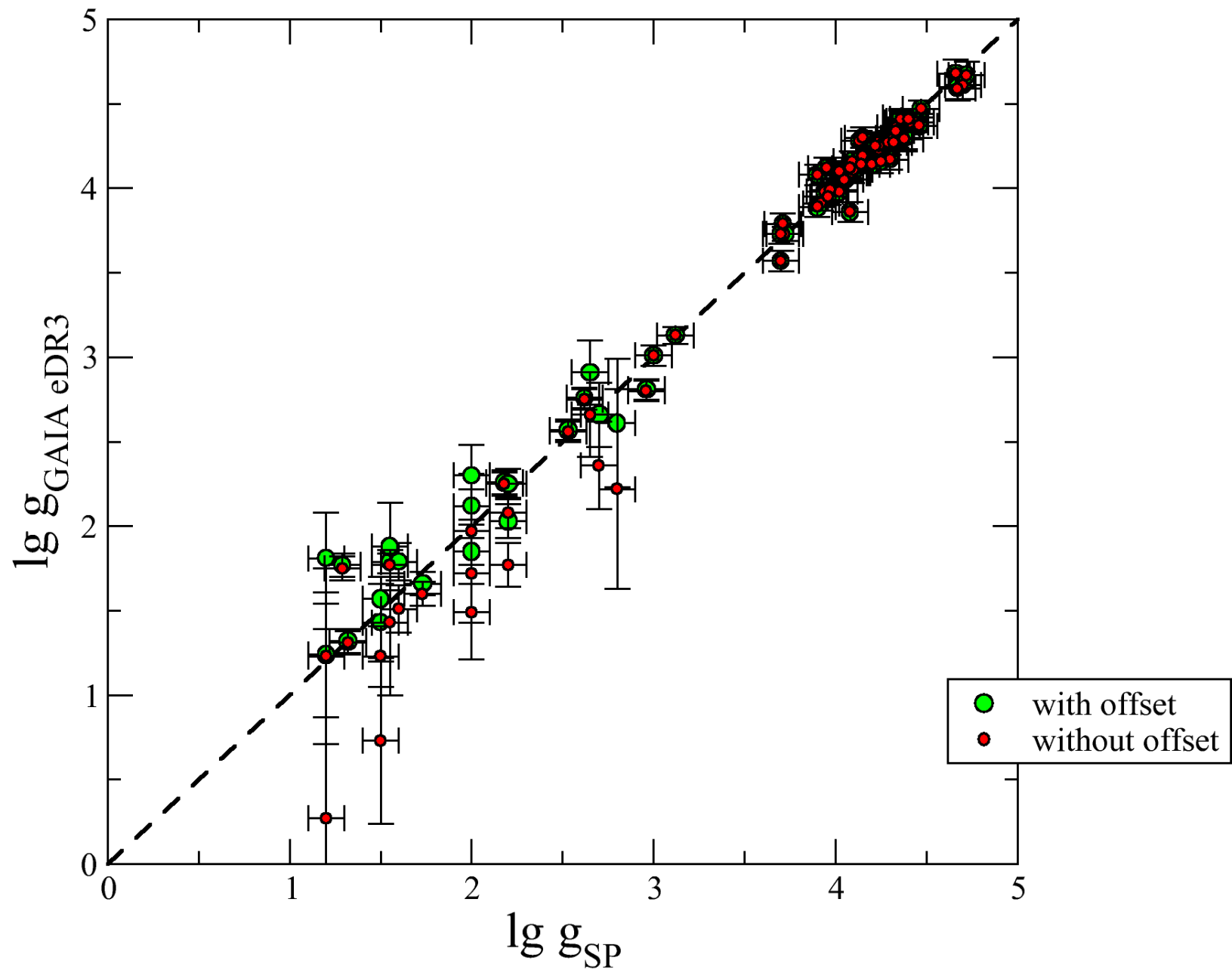
© 2015. The Astronomical Society of the Pacific. All rights reserved. Printed in U.S.A.

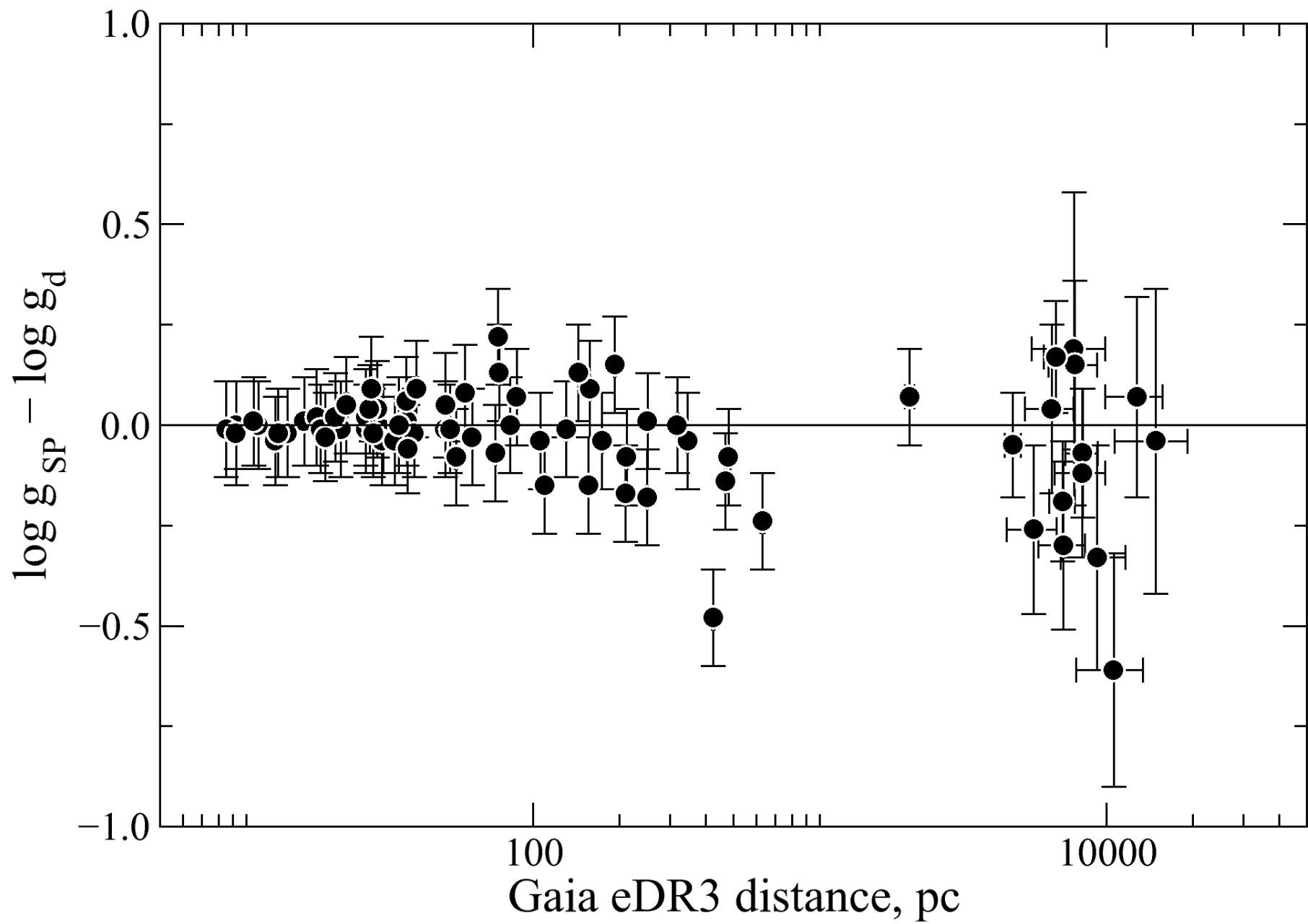
[Publications of the Astronomical Society of the Pacific, Volume 127, Number 956](#)

Citation Coryn A. L. Bailer-Jones 2015 *PASP* 127 994

DOI 10.1086/683116

$$\max P\left(\frac{1}{\varpi}, \sigma_{\varpi}\right) \neq \frac{1}{\max P(\varpi, \sigma_{\varpi})}$$





d

Модифицированный метод спектрального параллакса

$$\log g = -10.607 + \log \frac{\mathcal{M}}{\mathcal{M}_{\odot}} + 4 \log T_{eff} + \\ + 0.4(m_V + 5 - 5 \log d - A_V + BC - M_{bol\odot})$$

$$\log d = -5.303 + 0.5 \log \frac{\mathcal{M}}{\mathcal{M}_{\odot}} + 2 \log T_{eff} - 0.5 \log g + \\ + 0.2m_V + 1 - 0.2A_V + 0.2BC - 0.2M_{bol\odot}$$

$$\sigma_{\log d} = \sqrt{\left(0.5 \frac{\sigma_{\mathcal{M}}}{\mathcal{M} \ln(10)}\right)^2 + \left(2 \frac{\sigma_T}{T \ln(10)}\right)^2 + (0.5 \sigma_{\log g})^2 + (0.2 \sigma_m)^2 + (0.2 \sigma_{A_V})^2}$$

~0.10 ~0.02 ~0.02 ~0.10 ~0.01 ~0.02

$$\frac{\sigma_d}{d} = \ln(10) \sigma_{\log d}$$

~0.20

**На каком расстоянии нам доступны звездные спектры
высокого разрешения?**



На каком расстоянии нам доступны звездные спектры высокого разрешения?

Известно, что на современном спектрографе, установленном на 2-м телескопе при спектральном разрешении $R=50\,000$ можно за 1 час получить спектр звезды 9^m с $S/N=100$.

На каком расстоянии располагается звезда, спектр которой будет получен на 10-м телескопе за 5 часов экспозиции при $S/N=20$?

На каком расстоянии нам доступны звездные спектры высокого разрешения?

$$K = (10/2)^2 * (100/20)^2 * (5/1) = 25 * 25 * 5 = 3125$$

$$\Delta m = 2.5 \log(3125) = 8.7^m$$

$$m_v = 17.7^m$$

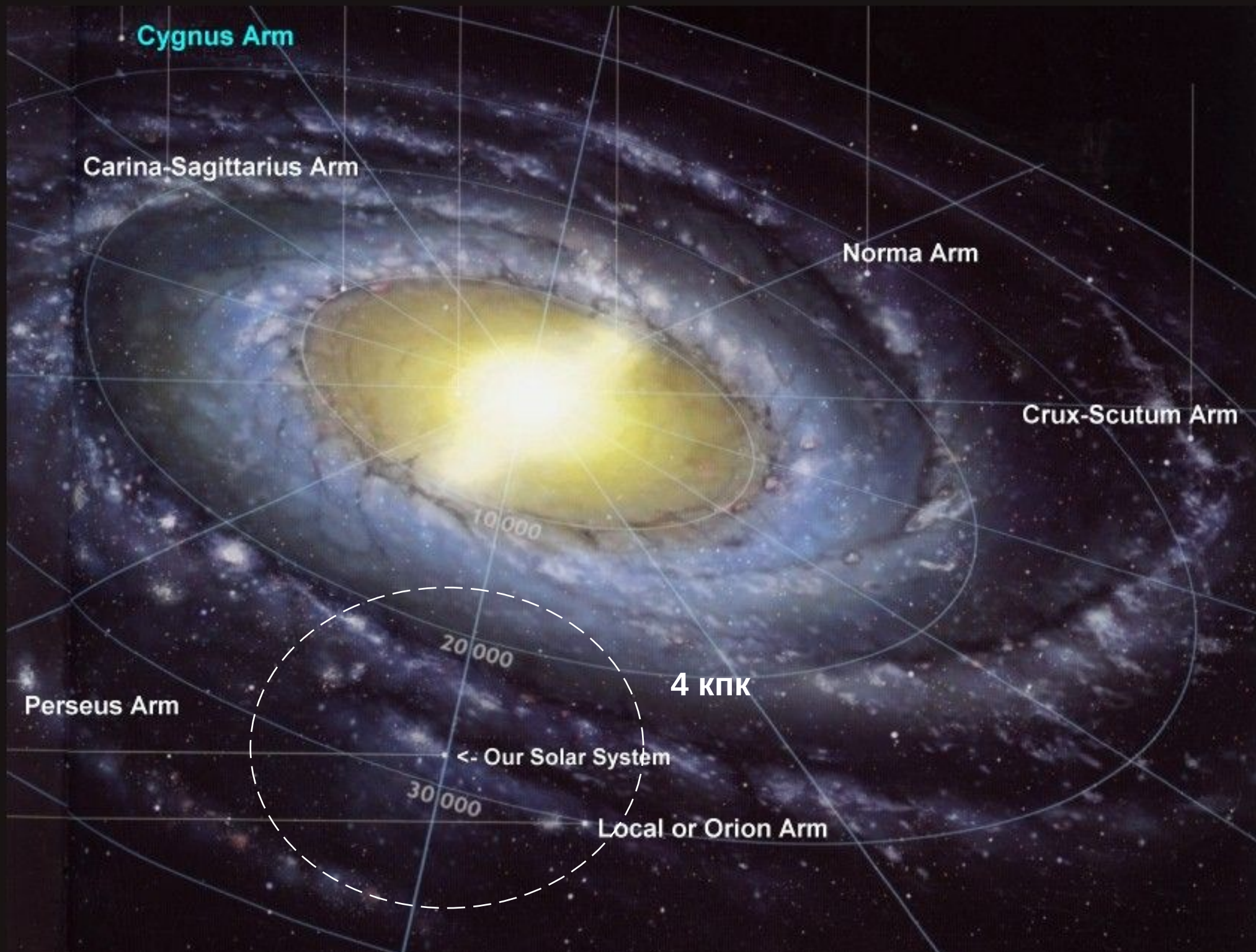
$$d = 10^{(m+5-M)/5}$$

Белый карлик: $M_v = 11^m$, $d = 220$ пк

Карлик, типа Солнца: $M_v = 4.7^m$, $d = 4$ кпк

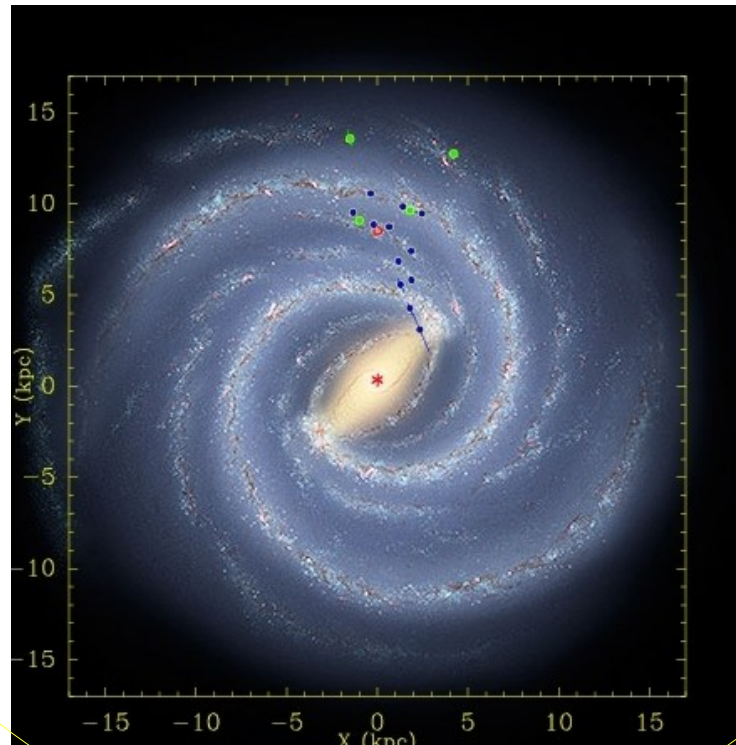
Гигант: $M_v = 0^m$, $d = 35$ кпк

Сверхгигант: $M_v = -5^m$, $d = 350$ кпк

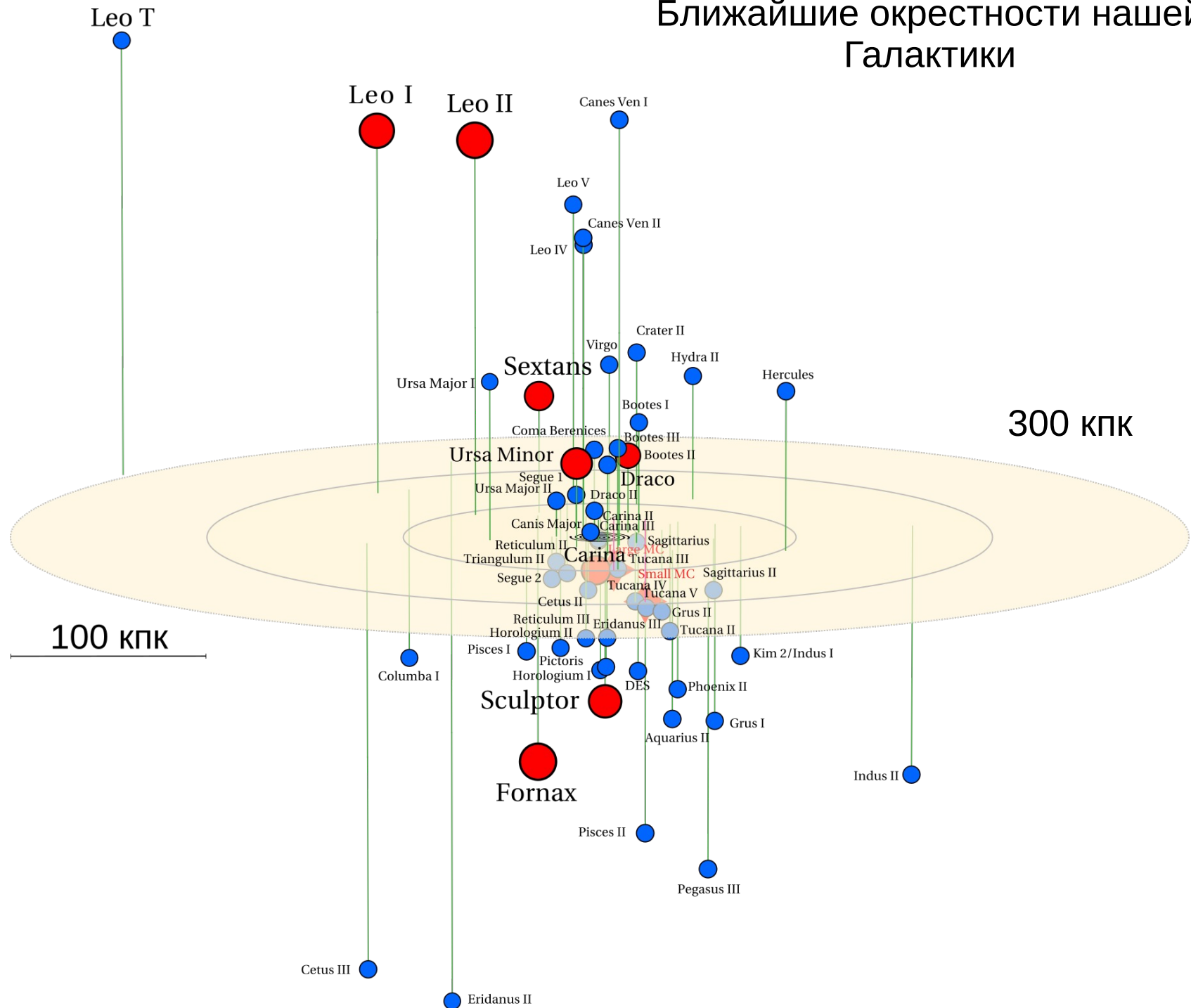


35 кпк

LMC 50 кпк



Ближайшие окрестности нашей Галактики



Эшелле-спектр звезды Boo-911

UFD галактика Bootes I

$m_v=17.5$ mag

Телескоп Subaru 8-m

Спектрограф HDS R=40000

О точности определения фундаментальных параметров индивидуальных звезд фотометрическими методами с привлечением параллаксов Gaia

$$\frac{\sigma_{T_{eff}}}{T_{eff}} \gtrsim 1.5\%$$

$$\sigma_{T_{eff}} \gtrsim 70K$$

$$\sigma_{\log g} \gtrsim 0.1$$

$$\sigma_{E(B-V)} \gtrsim 0.02^m$$

$$\frac{\sigma_R}{R} \gtrsim 1\%$$

$$\frac{\sigma_d}{d} \gtrsim 20\%$$

$$\frac{\sigma_M}{M} \gtrsim 3\%..20\%$$