

**"Реализация метода определения межзвездного поглощения по  
спектральным распределениям энергии с использованием моделей  
атмосфер"**

А.А. ДИКАНЕВА, С.Н. ФАБРИКА

- СУММАРНЫЙ ЭФФЕКТ РАССЕЯНИЯ И ИСТИННОГО ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА ПЫЛЕВЫМИ ЧАСТИЦАМИ В МЕЖЗВЕЗДНОЙ СРЕДЕ
- СЕЛЕКТИВНО
- ИЗМЕНЯЕТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ В НАБЛЮДАЕМЫХ СПЕКТРАХ ДАЛЁКИХ ЗВЁЗД И ДРУГИХ ОБЪЕКТОВ

$$E_{(B-V)} = (B-V) - (B-V)_0$$

$$A_V = R_V * E_{(B-V)}$$

$$R_V = 3.18$$

$$m - M = 5 \lg R - 5 + A_V$$

НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ  
ДААННЫЕ

КРИВЫЕ ПРОПУСКАНИЯ  
ФИЛЬТРОВ

МОДЕЛИ АТМОСФЕР  
ЗВЕЗД

МОДЕЛЬНЫЙ ЗАКОН  
ПОГЛОЩЕНИЯ

SED (SPECTRAL ENERGY DISTRIBUTION) –  
СПЕКТРАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ

НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ  
ДАННЫЕ

КРИВЫЕ ПРОПУСКАНИЯ  
ФИЛЬТРОВ

МОДЕЛИ АТМОСФЕР  
ЗВЕЗД

МОДЕЛЬНЫЙ ЗАКОН  
ПОГЛОЩЕНИЯ

МОДЕЛЬ  
СПЕКТРА

```
graph LR; A[НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ]; B[КРИВЫЕ ПРОПУСКАНИЯ ФИЛЬТРОВ]; C[МОДЕЛИ АТМОСФЕР ЗВЕЗД]; D[МОДЕЛЬНЫЙ ЗАКОН ПОГЛОЩЕНИЯ]; E[МОДЕЛЬ СПЕКТРА]; C --- E; D --- E;
```

НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ  
ДААННЫЕ

КРИВЫЕ ПРОПУСКАНИЯ  
ФИЛЬТРОВ

МОДЕЛИ АТМОСФЕР  
ЗВЕЗД

МОДЕЛЬНЫЙ ЗАКОН  
ПОГЛОЩЕНИЯ

МОДЕЛЬ  
СПЕКТРА

$$MODEL = \int S(\lambda) C(\lambda) d\lambda$$

S — МОДЕЛЬ СПЕКТРА ЗВЕЗДЫ  
C — КРИВАЯ ПРОПУСКАНИЯ ФИЛЬТРА

НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ  
ДАННЫЕ

КРИВЫЕ ПРОПУСКАНИЯ  
ФИЛЬТРОВ

МОДЕЛИ АТМОСФЕР  
ЗВЕЗД

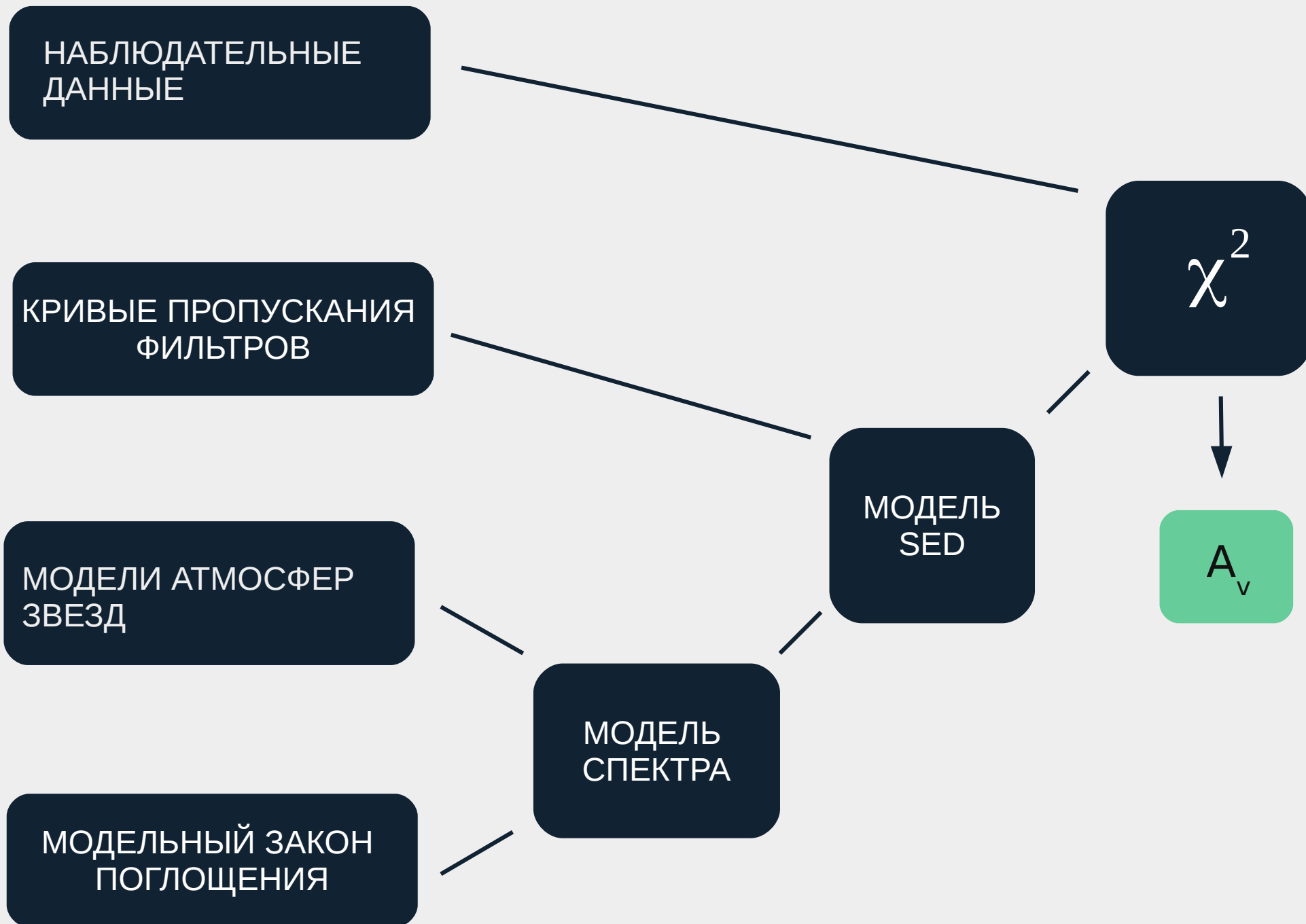
МОДЕЛЬНЫЙ ЗАКОН  
ПОГЛОЩЕНИЯ

МОДЕЛЬ  
СПЕКТРА

МОДЕЛЬ  
SED

$$\chi^2 = \sum \frac{(\alpha \times MODEL_i - OBS_i)^2}{\Delta OBS_i^2}$$

OBS — НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ



HUBBLE SPACE TELESCOPE  
WFPC2  
WFC3  
ACS

КРИВЫЕ ПРОПУСКАНИЯ  
ФИЛЬТРОВ

МОДЕЛИ АТМОСФЕР  
ЗВЕЗД

МОДЕЛЬНЫЙ ЗАКОН  
ПОГЛОЩЕНИЯ

МОДЕЛЬ  
СПЕКТРА

МОДЕЛЬ  
SED

$\chi^2$

$A_v$



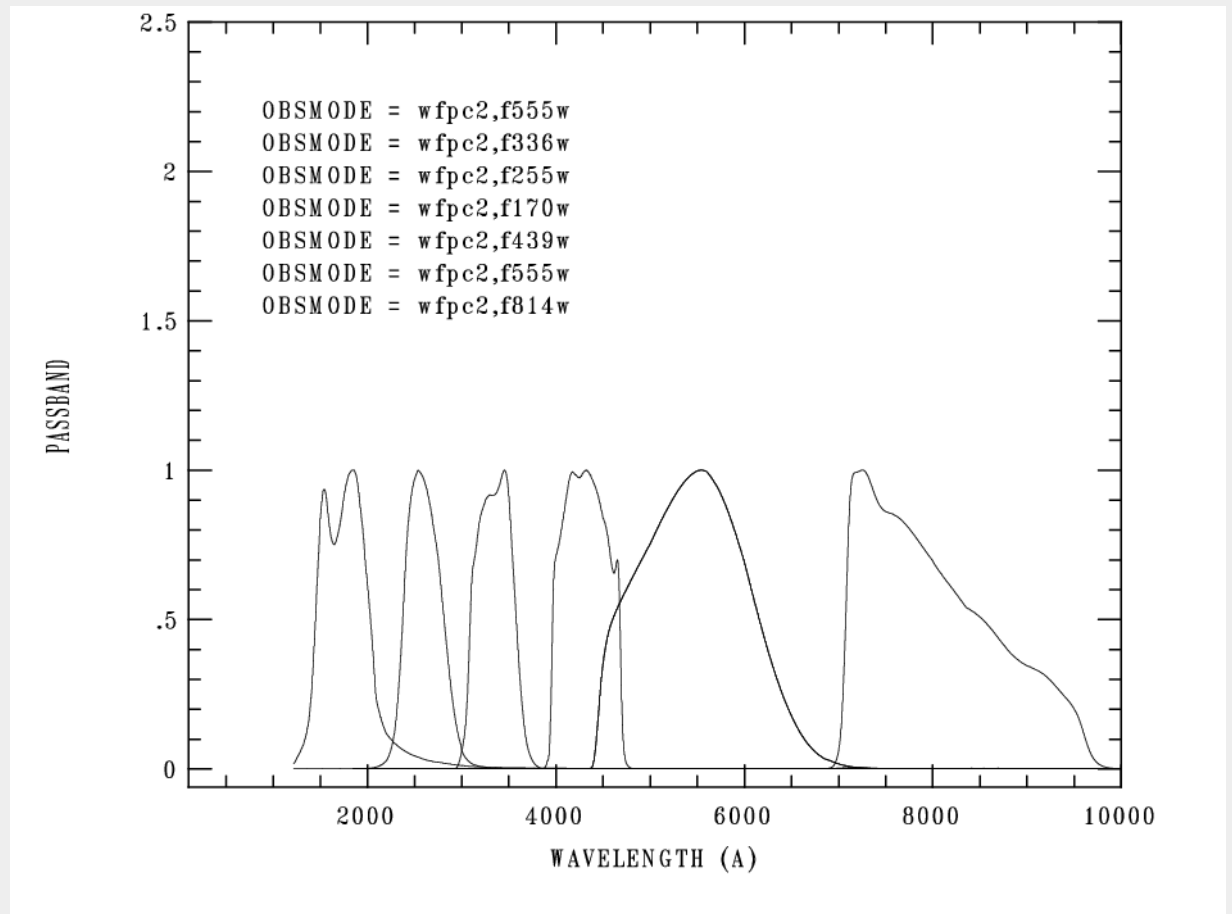


НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ  
ДАННЫЕ

HST/WFPC2  
HST/ACS  
HST/WFPC2

МОДЕЛИ АТМОСФЕР  
ЗВЕЗД

МОДЕЛЬНЫЙ ЗАКОН  
ПОГЛОЩЕНИЯ



НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ  
ДАННЫЕ

КРИВЫЕ ПРОПУСКАНИЯ  
ФИЛЬТРОВ

CASTELLI & KURUCZ (2004) STELLAR ATLAS  
KURUCZ (1993) STELLAR ATLAS  
PHOENIX STELLAR ATLAS  
ЧЕРНОТЕЛЬНОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ

МОДЕЛЬНЫЙ ЗАКОН  
ПОГЛОЩЕНИЯ

МОДЕЛЬ  
СПЕКТРА

МОДЕЛЬ  
SED

$\chi^2$

$A_v$



НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ  
ДААННЫЕ

КРИВЫЕ ПРОПУСКАНИЯ  
ФИЛЬТРОВ

МОДЕЛИ АТМОСФЕР  
ЗВЕЗД

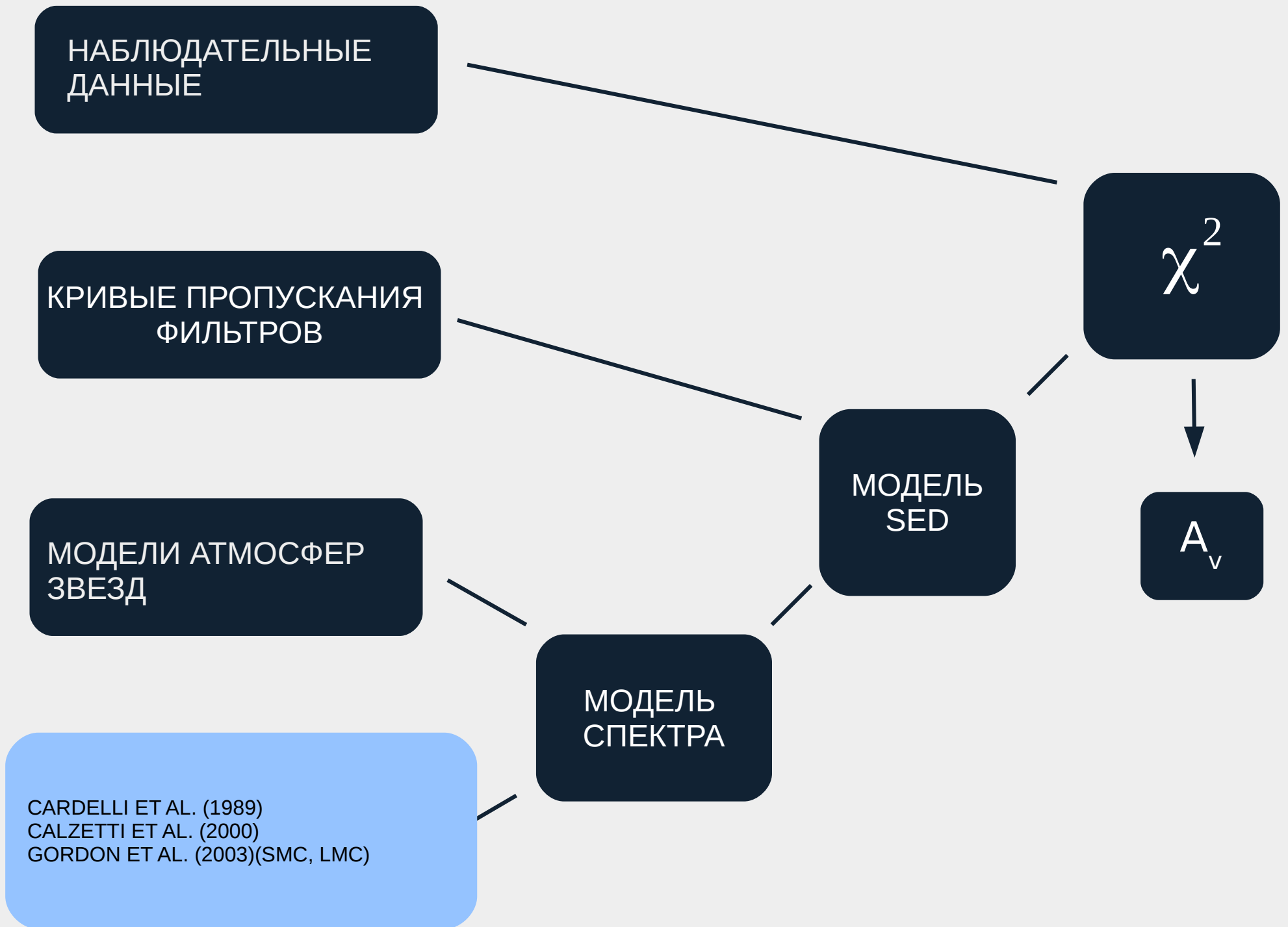
CARDELLI ET AL. (1989)  
CALZETTI ET AL. (2000)  
GORDON ET AL. (2003)(SMC, LMC)

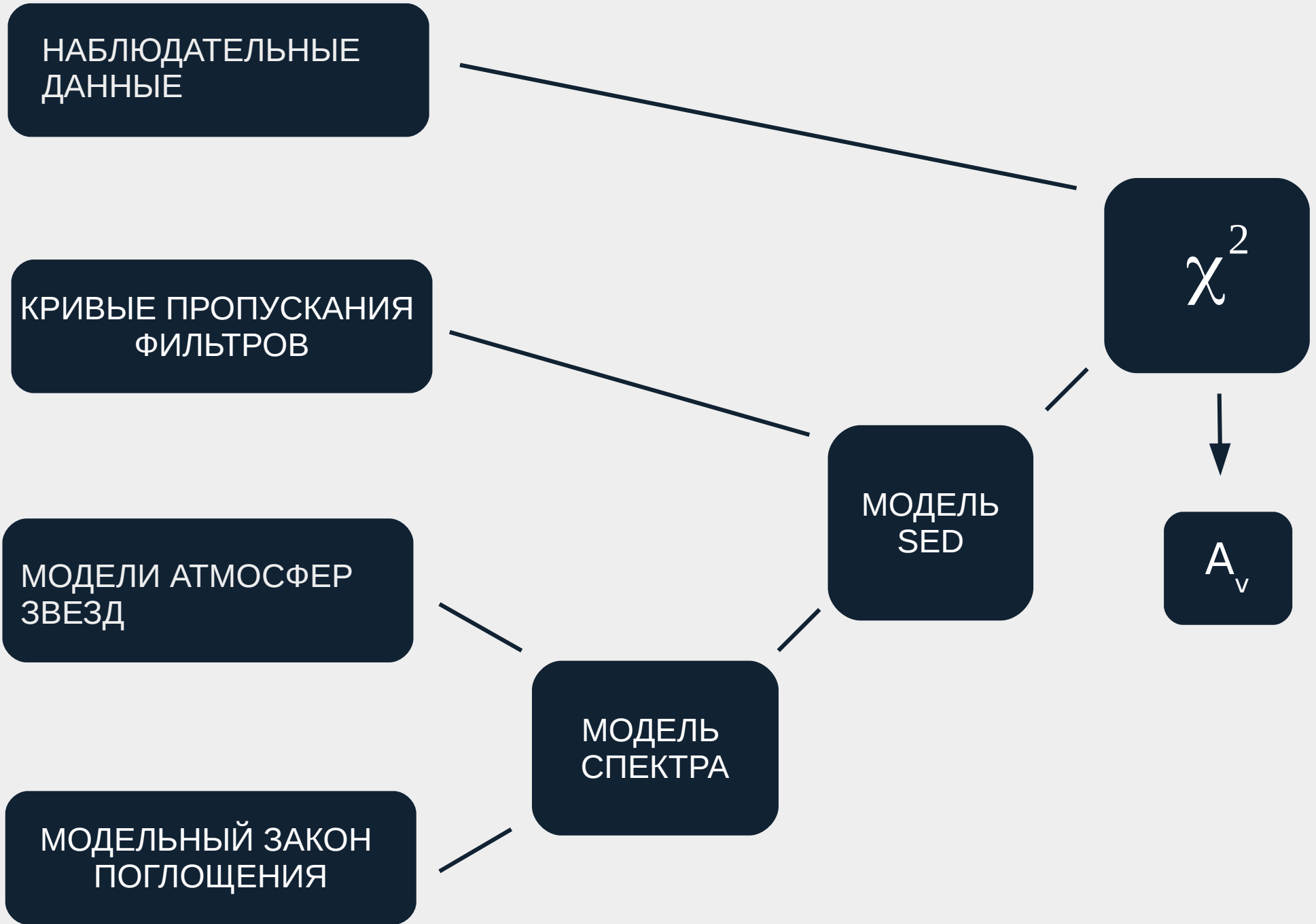
МОДЕЛЬ  
СПЕКТРА

МОДЕЛЬ  
SED

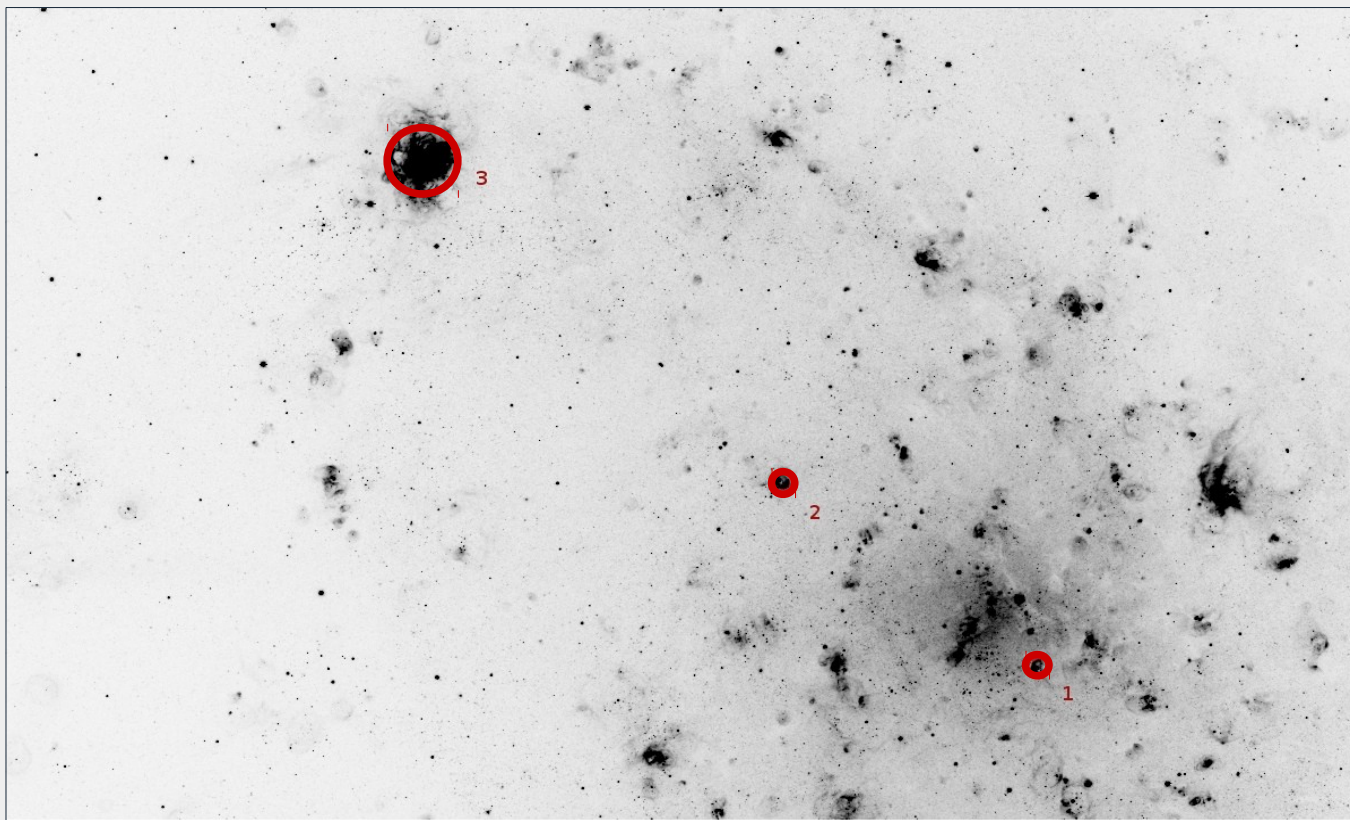
$\chi^2$

$A_v$





# ТЕСТИРОВАНИЕ МЕТОДА



Снимок M33, KPNO, фильтр H $\alpha$ , красным отмечены скопления, для которых получены спектральные данные.

№	RA,DEC	$\frac{H_\gamma}{H_\beta}$	$A_V$ spec	$A_V$ sed
1	1:33:47.421 +30:38:39.49	0.37	1.3	1.4
2	1:34:06.411 +30:41:46.80	0.43	0.4	0.34
3	1:34:33.078 +30:47:03.87	0.44	0.3	0.4

NGC 604

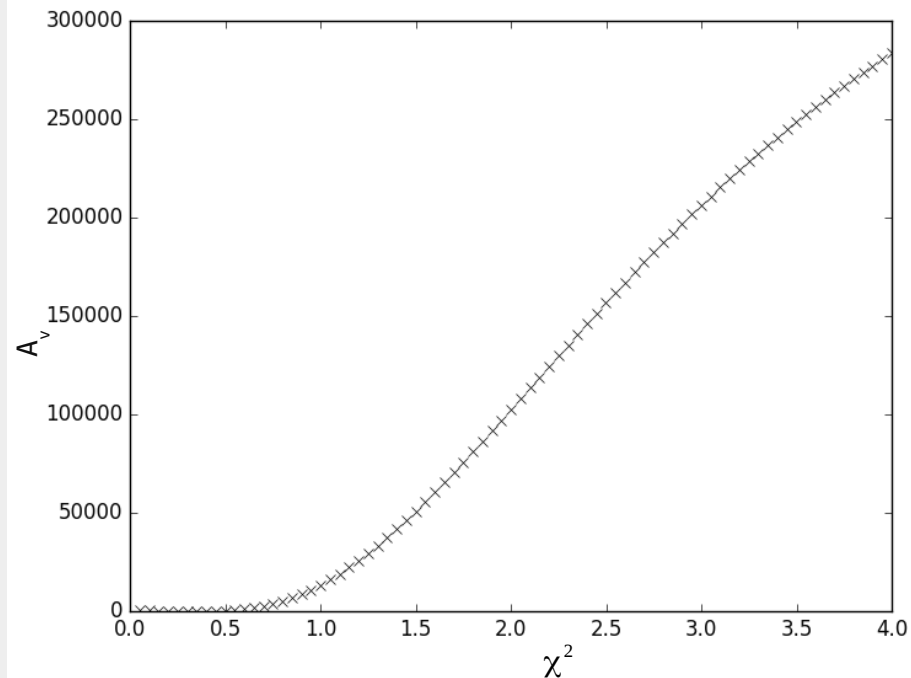
ФИЛЬТРЫ

F336W

F555W

F814W

21 ЗВЕЗДА



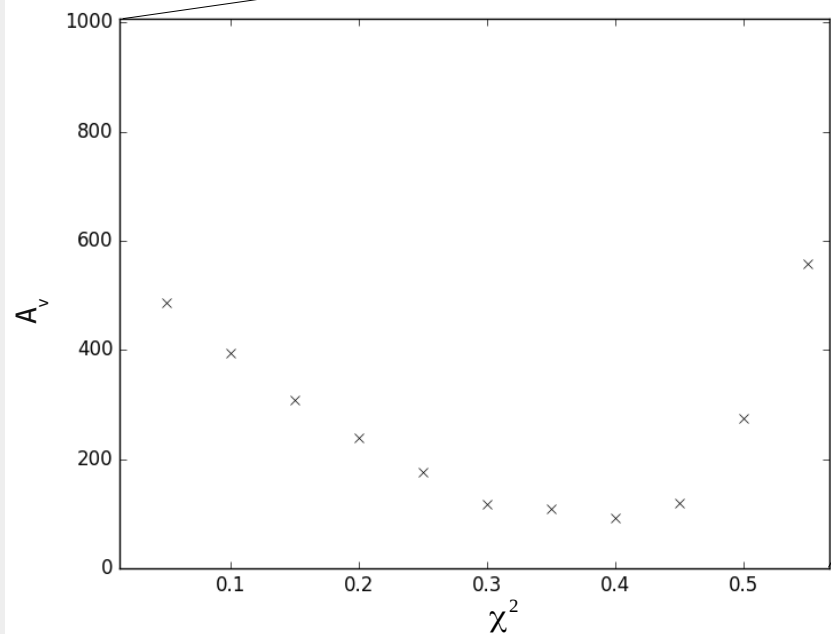
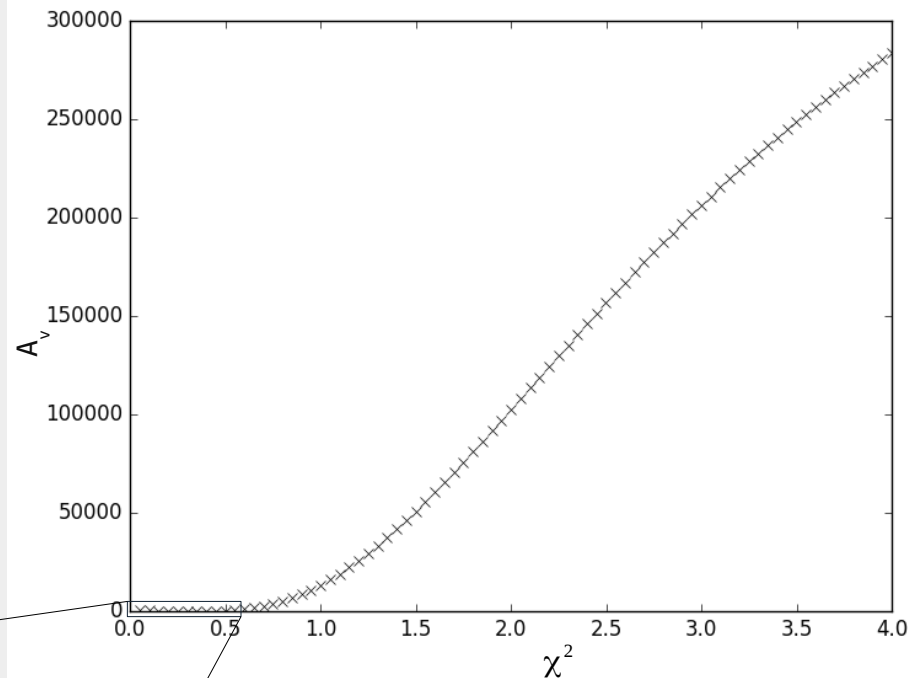
	TEMP	LOG G	METALLICITY	A <sub>v</sub>
MIN	3500 K	0	-2	0.05
MAX	50000 K	5	0.5	4.0
STEP	500 K	1	1	0.05

# ТЕСТИРОВАНИЕ МЕТОДА

NGC 604

SED:  $0.40 \pm 0.07$

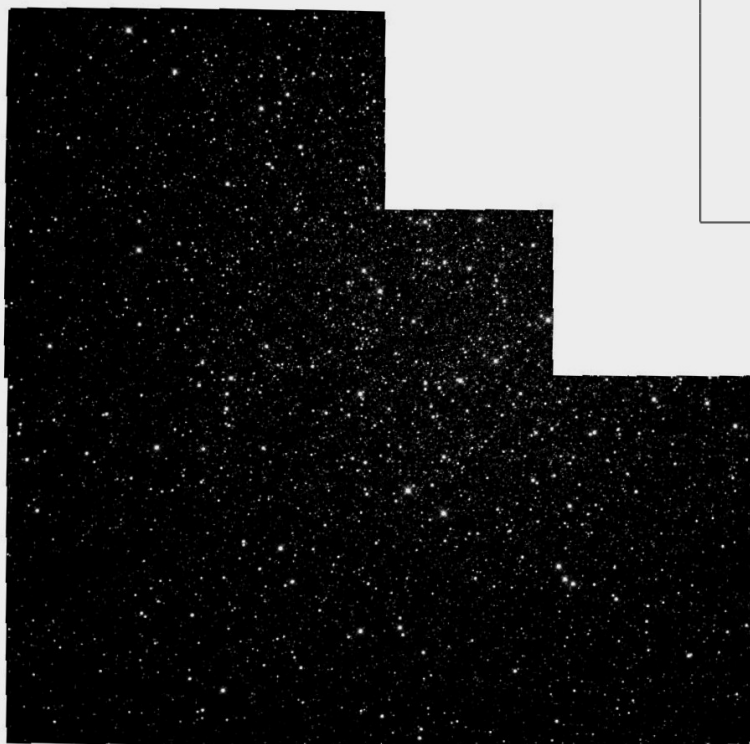
CHURCHWELL, E., GOSS, W.M., 1999 : 0.3-0.5



	TEMP	LOG G	METALLICITY	$A_v$
MIN	3500 K	0	-2	0.05
MAX	50000 K	5	0.5	4.0
STEP	500 K	1	1	0.05

## NGC 6205

ФИЛЬТРЫ  
F255W  
F336W  
F439W  
F555W



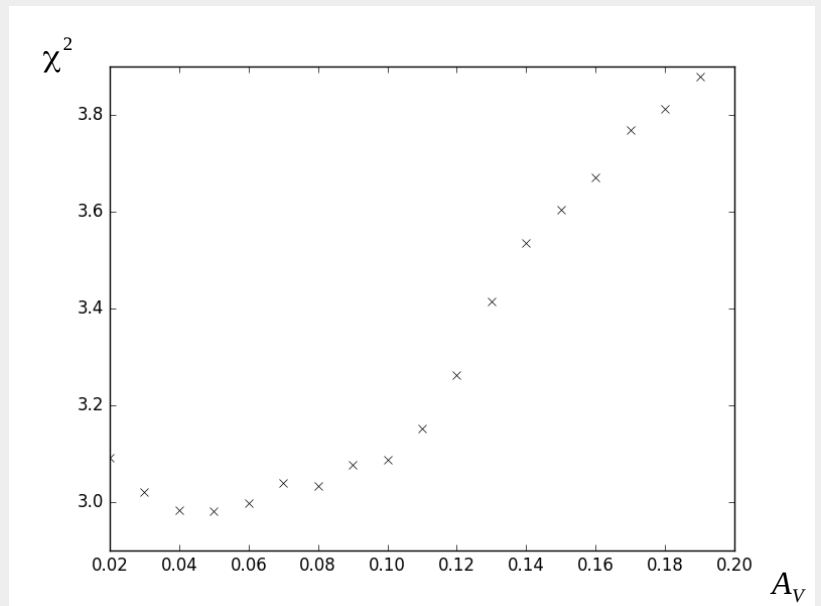
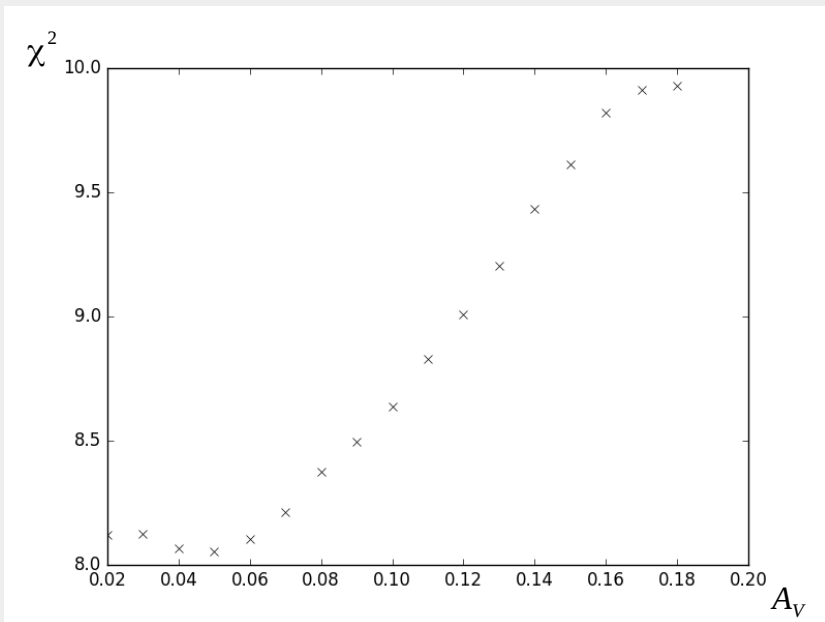
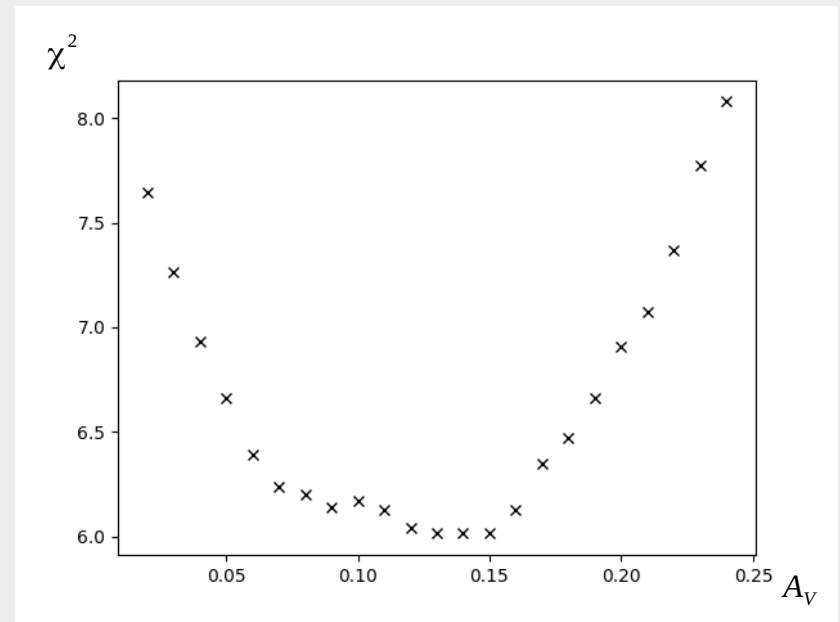
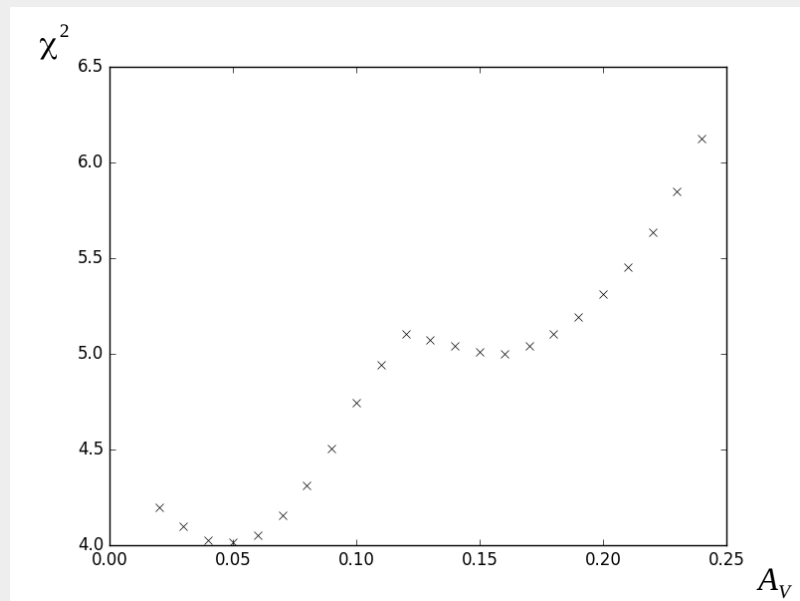
Параметр	PC чип	WFC1 чип	WFC2 чип	WFC3 чип
$T_{max}$	50000 K	50000 K	50000 K	50000 K
$T_{min}$	3500 K	3500 K	3500 K	3500 K
$T_{step}$	250 K	500 K	500 K	500 K
$\log G_{max}$	5	5	5	5
$\log G_{min}$	0	0	0	0
$\log G_{step}$	1	1	1	1
$A_{Vmax}$	0.25	0.25	0.20	0.20
$A_{Vmin}$	0.02	0.02	0.02	0.02
$A_{Vstep}$	0.01	0.01	0.01	0.01
$M_{max}$	0.5	0.5	0.5	0.5
$M_{min}$	-2	-2	-2	-2
$M_{step}$	1	1	1	1

Чип матрицы WFPC2	Число звезд
PC	47
WFC1	15
WFC2	38
WFC3	30

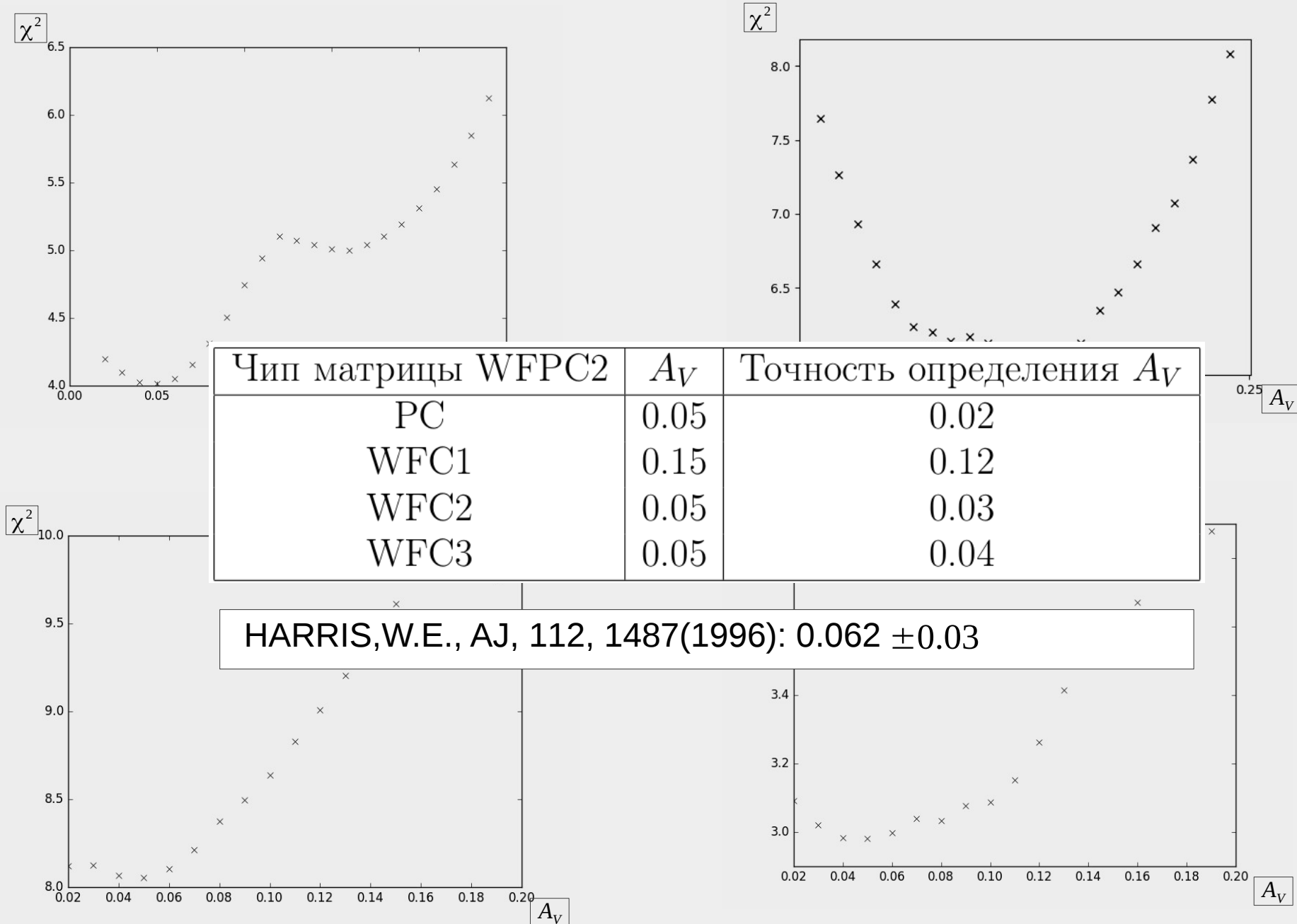
Изображение с камеры HST/WFPC2



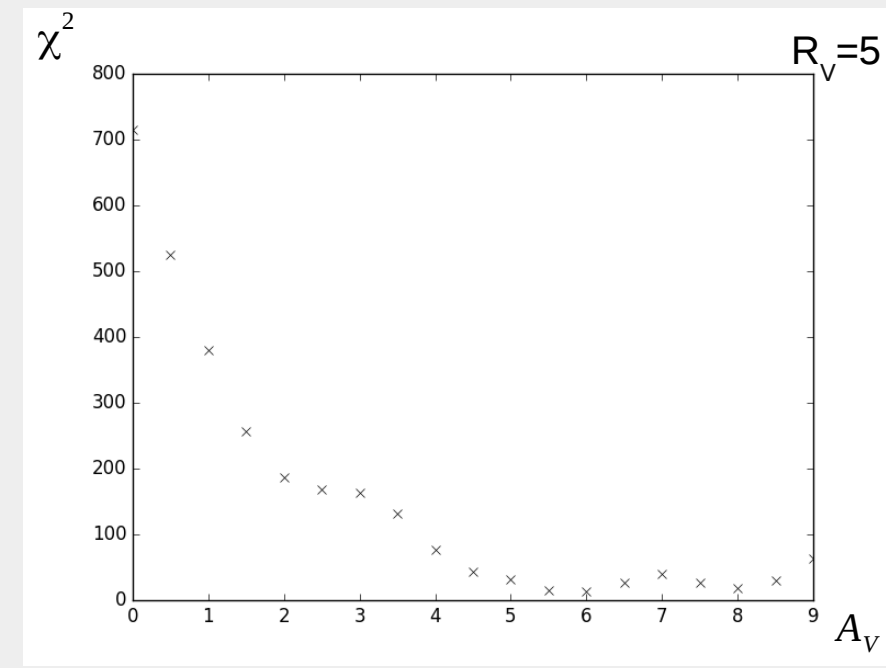
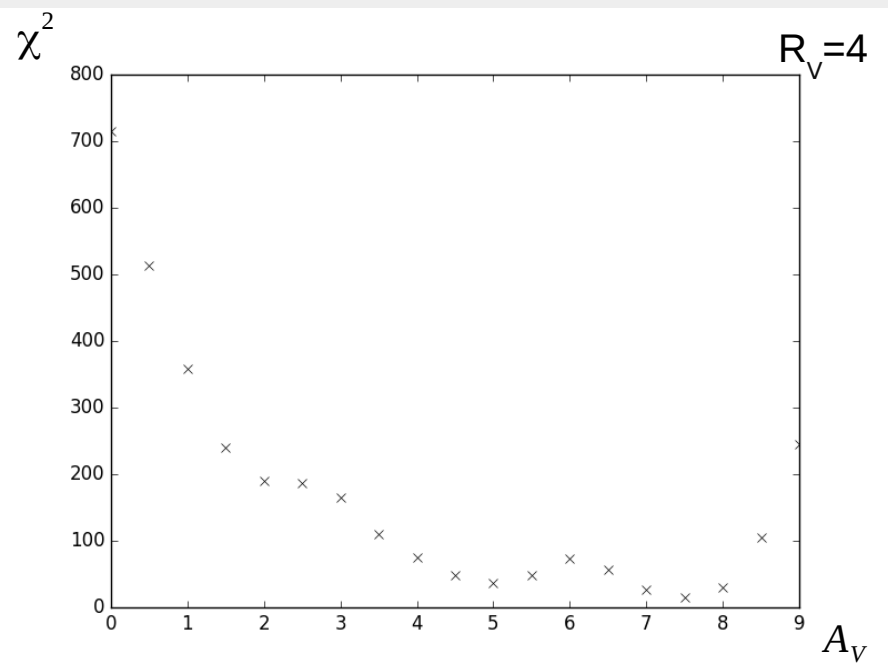
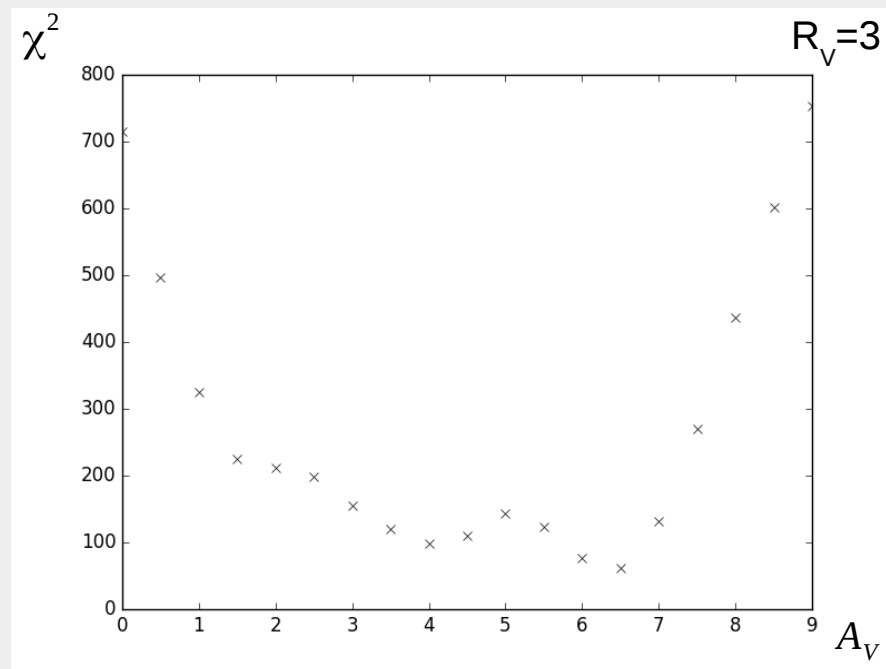
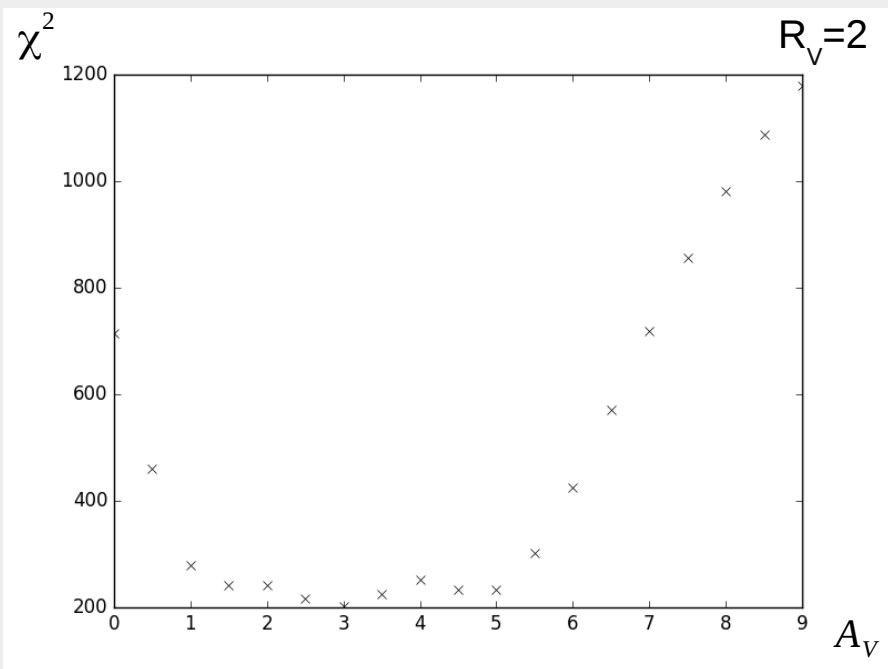
## NGC 6205



## NGC 6205



## WESTERLUND2



МОДЕЛЬНЫЕ СКОПЛЕНИЯ :

SYCLIST (C. GEORGY ET AL. (2014), S. EKSTROM ET AL. (2012))

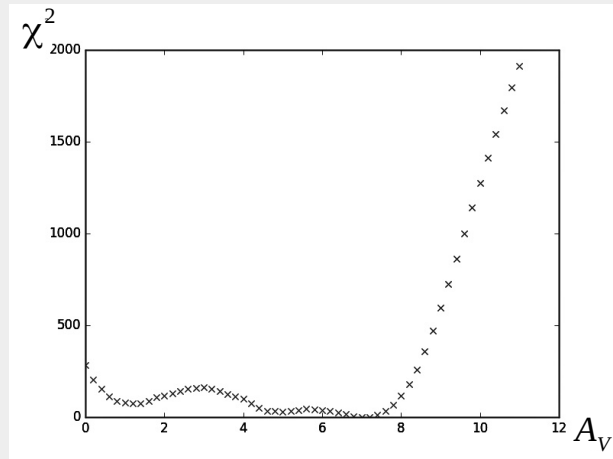
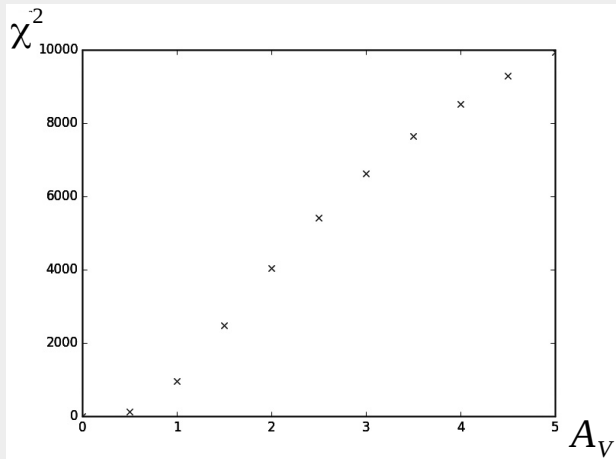
IMF: SALPETER E. E. (1955)

CASTELLI & KURUCZ (2004) STELLAR ATLAS

LOG(AGE): 6 — 10

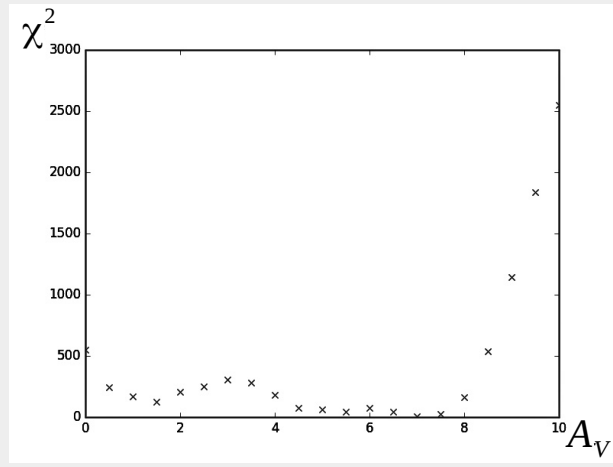
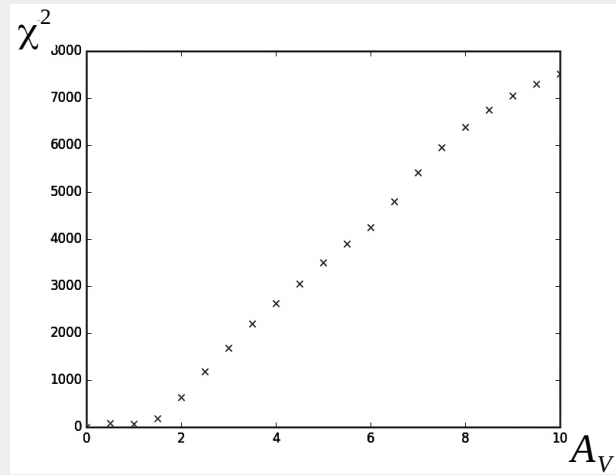
$A_V$ : 0.1; 7.1

# ТЕСТИРОВАНИЕ МЕТОДА

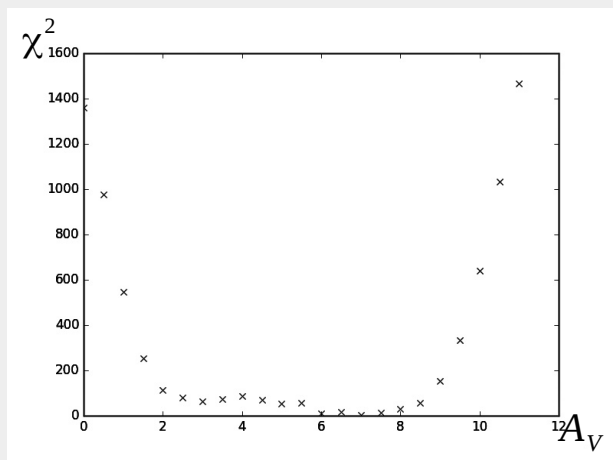
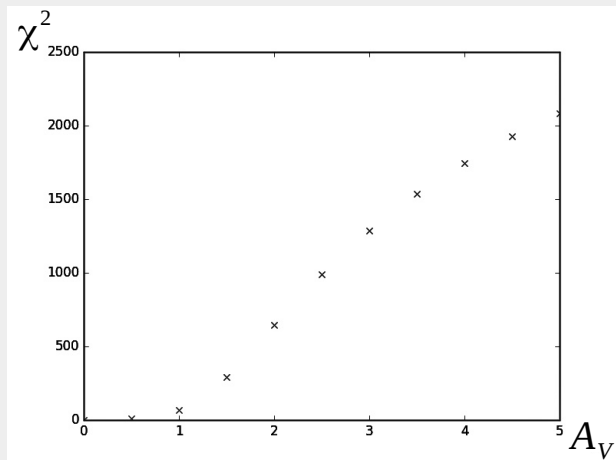


LOG(AGE)

6

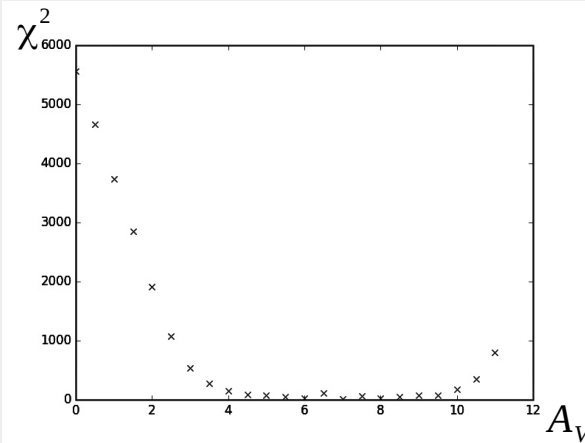
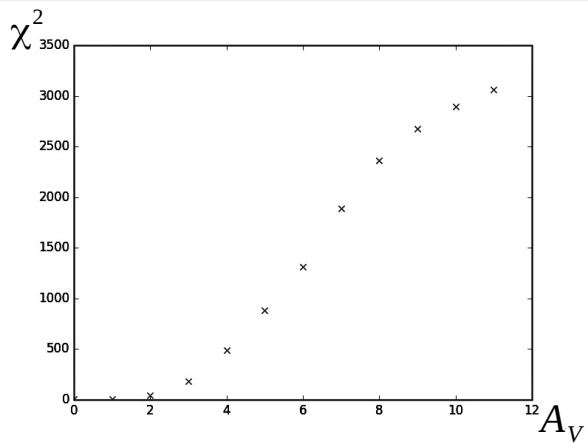


7



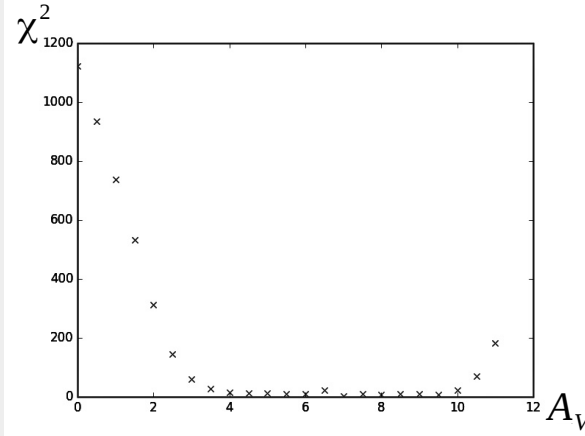
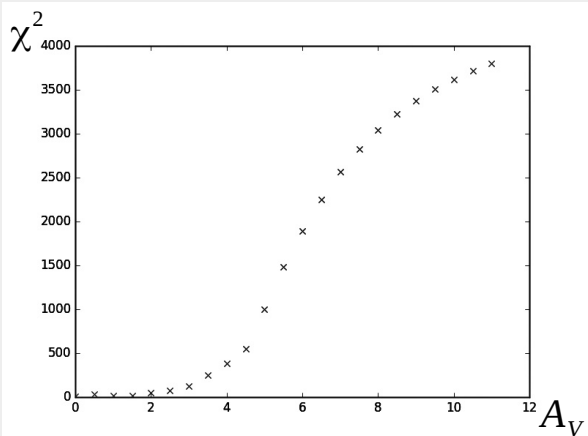
8

# ТЕСТИРОВАНИЕ МЕТОДА



LOG(AGE)

9

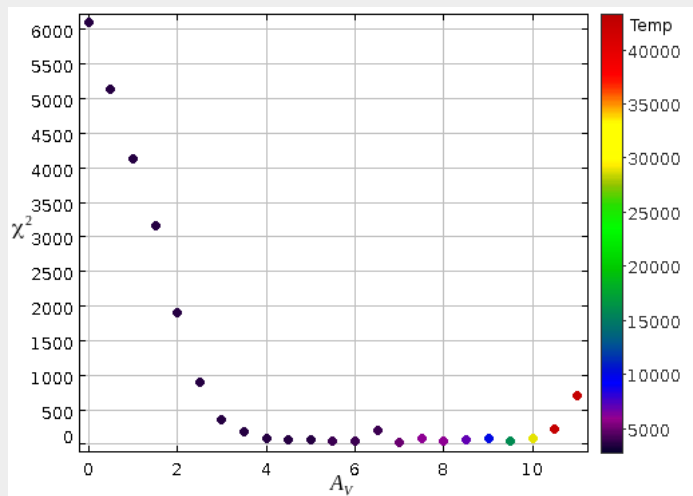


10

НЕОБХОДИМЫ:

-звезды различных спектральных классов;

-использование набора фильтров, покрывающих широкий спектральный диапазон



Зависимость  $\chi^2$  от  $A_V$  для одной из звезд модельного скопления  $\log(\text{age})=9$ ,  $A_V=7.1$ . Цветом показаны температуры подобранных моделей.

## ПО СПЕКТРАЛЬНЫМ ДАННЫМ

№	RA,DEC	$\frac{H_\gamma}{H_\beta}$	$A_V$ spec	$A_V$ sed
1	1:33:47.421 +30:38:39.49	0.37	1.3	1.4
2	1:34:06.411 +30:41:46.80	0.43	0.4	0.34
3	1:34:33.078 +30:47:03.87	0.44	0.3	0.4

## В СРАВНЕНИИ С РЕЗУЛЬТАТАМИ ДРУГИХ АВТОРОВ

NAME	$A_V$ sed	$A_V$ lit
NGC604	$0.4 \pm 0.07$	0.3-0.5
NGC1818	$0.75 \pm 0.14$	$\approx 0.3$
NGC6205	$0.05 \pm 0.03$	$0.062 \pm 0.03$
WESTERLUND2	$6 \pm 2$	5-8
ARCHES	--	

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

---







NGC 604

SED: 0.4 ± 0.07

300000

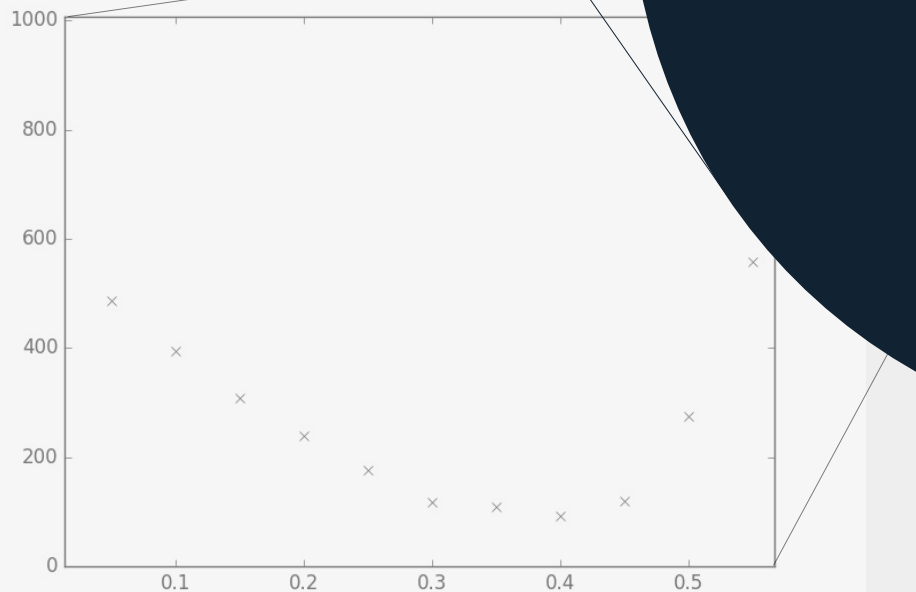
## МЕТОД МОНТЕ-КАРЛО

$$OBS = MODEL_{OPT} + \sigma$$

$$A_V^{(MC)}$$

$$N = 10$$

$$\sigma_{A_V} = \frac{\sum^n |A_V - A_V^{(MC)}|}{N}$$



STEP	A_V
1	0.05
2	4.0
0.5	0.05
1	0.05

НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ  
ДААННЫЕ

КРИВЫЕ  
ФИ

МОДЕЛИ  
ЗВЕЗД

МОДЕЛЬНЫЙ ЗАКОН  
ПОГЛОЩЕНИЯ

$$\frac{d\chi}{d\alpha} = \sum \frac{-2F_{model}F_{obs} + 2\alpha F_{model}^2}{\Delta F_{obs}^2} = 0$$

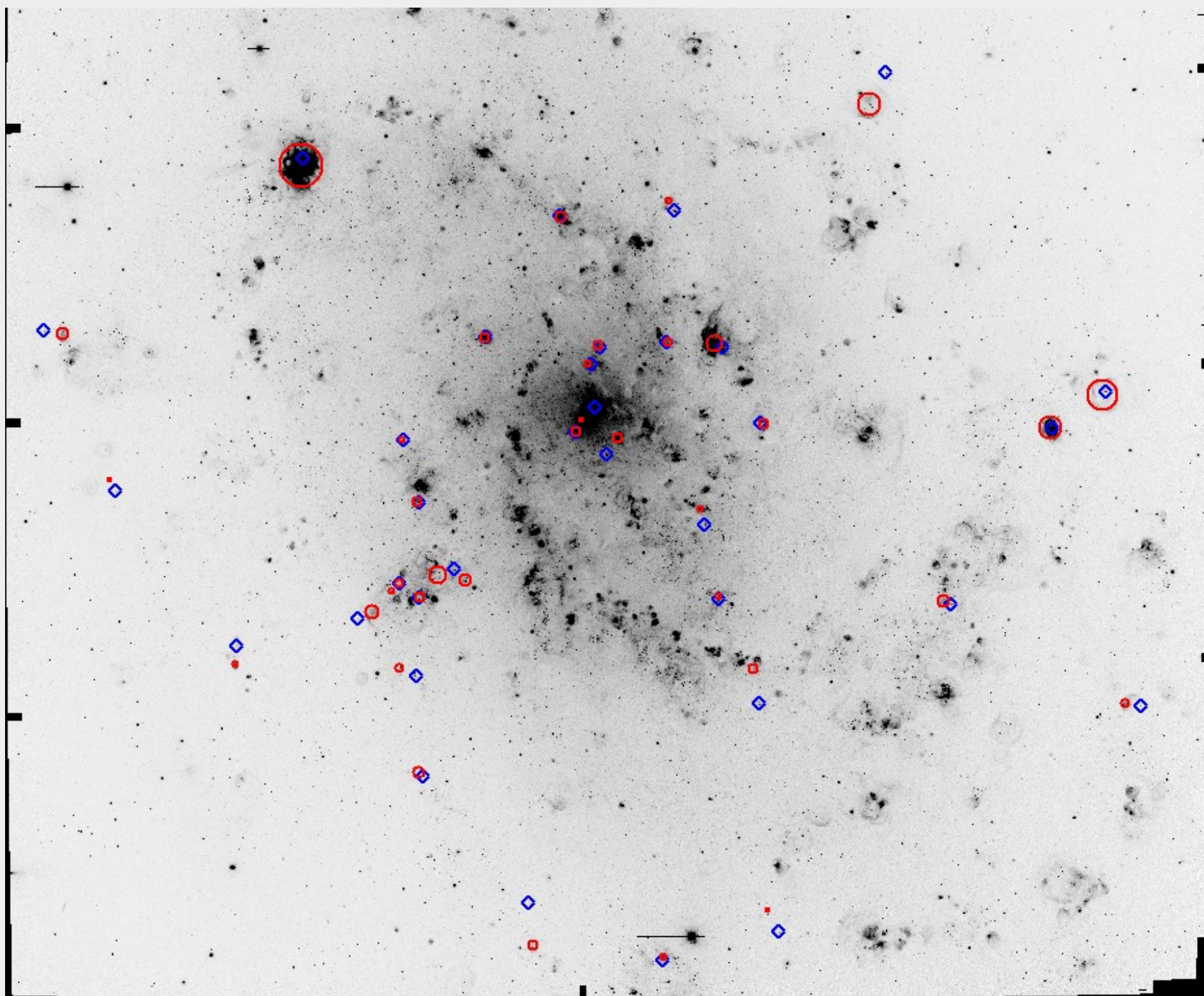
$$\alpha = \frac{\sum \frac{F_{obs} F_{model}}{\Delta F_{obs}^2}}{\sum \frac{F_{model}^2}{\Delta F_{obs}^2}}$$

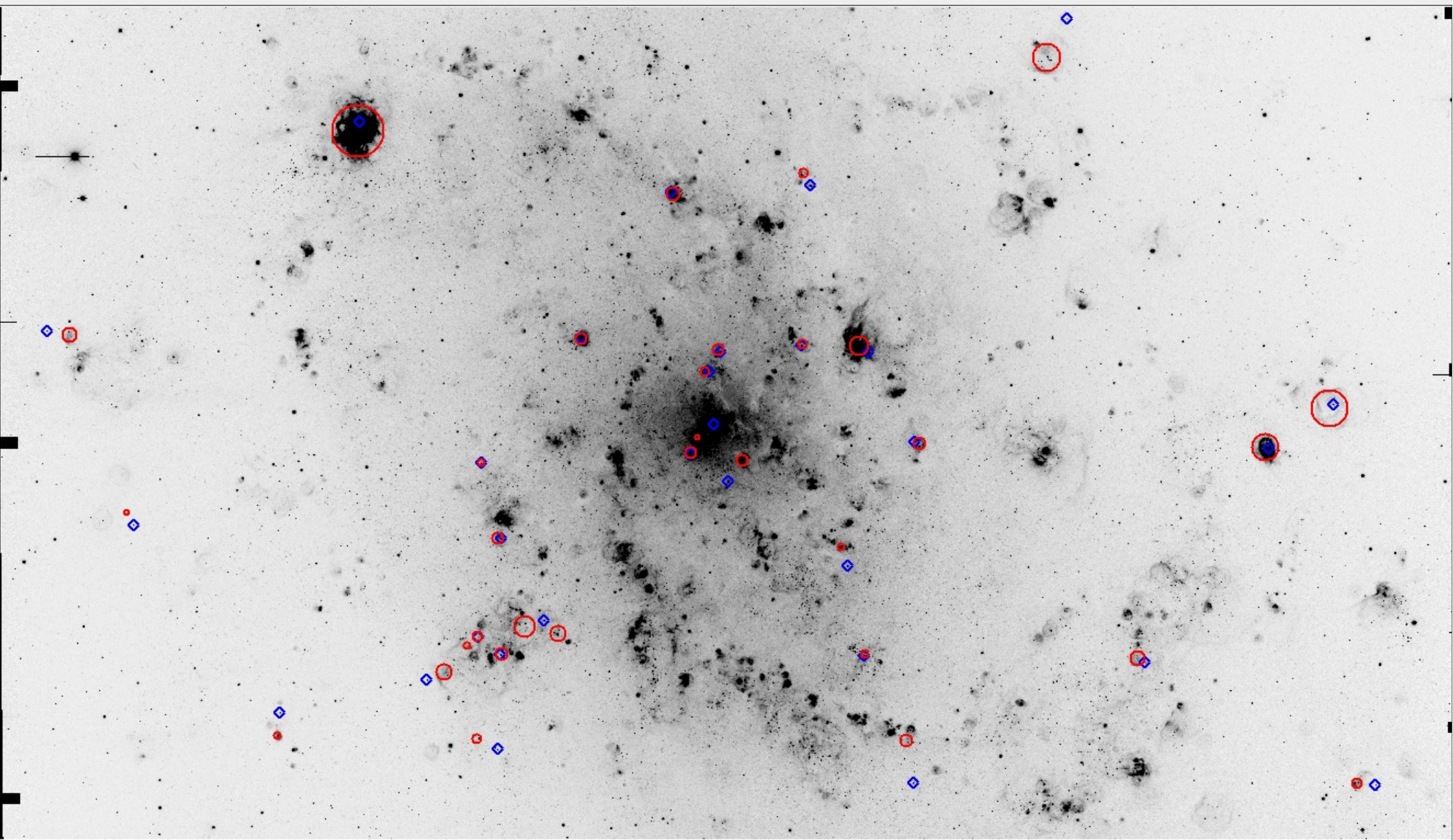
МОДЕЛЬ  
СПЕКТРА

МОДЕЛЬ  
SED

$$\chi^2 = \sum \frac{(\alpha \times MODEL_i - OBS_i)^2}{\Delta OBS_i^2}$$

OBS — НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ





Снимок M33, KPNO, фильтр H-alpha, синим отмечены LBV и кандидаты в LBV, красным — выбранные скопления.

Расстояния от LBV до скоплений во всех случаях  $< 200$  пк.