

Свойства коррекционного фактора в методе EPM для SNIIP

Пётр Бакланов

Институт Теоретической и Экспериментальной Физики (ИТЭФ)

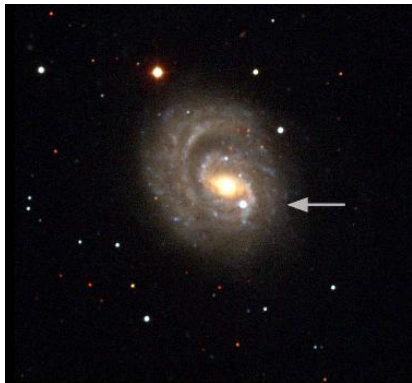
16 сентября 2015

Outline

- ▶ Extended Photospheric Method (EPM)
- ▶ Correlation T_{color} и ζ : Eastman, Schmidt, Kirshner (1995), Dessart & Hillier (2005)
- ▶ Our results

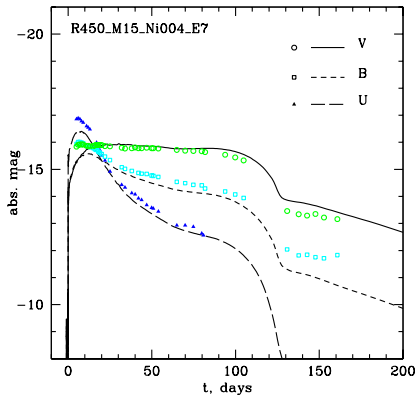
SN 1999em

BVI image of SN in NGC 1637



Credit: Nick Suntzeff

UBVRI LC & the best model



Baklanov et al. (2005)

Расстояние D до SN 199em

Источник	D [Мпк]	Метод
Tully (1988)	8.9 ± 1.6	T-F
Sohn, Davidge (1998)	7.8 ± 1.0	TRGB
Hamuy et al. (2001)	7.5 ± 0.5	EPM
Leonard et al. (2002a)	8.2 ± 0.6	EPM
Nadyozhin (2003)	11.1 ± 2.2	Plateau-tail
Leonard et al. (2003)	11.7 ± 1.0	Cepheids
Elmhamdi et al. (2003)	7.8 ± 0.3	EPM
Baron et al. (2004)	12.5 ± 1.8	SEAM
Dessart, Hillier (2006)	11.5 ± 1.0	EPM
Saha et al. (2006)	12.0 ± 0.4	
Jones et al. (2009)	9.3 ± 0.5 to 13.9 ± 1.4	EPM
Tully (2009)	9.8 ± 1.6	T-F
Springob et al. (2009)	17.1 ± 3.0	T-F
Enriquez, J. E. (2010)	11.5 ± 1.0	EPM
Takáts, Vinkó (2012)	12.5 ± 1.4	SEAM

Идея Baade – Zwicky

Фотометрическое расстояние:

$$\begin{aligned} D &= \sqrt{\frac{L_\nu}{4\pi F_\nu(D)}} \\ L_\nu &= 4\pi R_{\text{ph}}^2 F_\nu(R_{\text{ph}}) \\ D &= R_{\text{ph}} \sqrt{\frac{F_\nu(R_{\text{ph}})}{F_\nu(D)}} \\ \theta \equiv \frac{R_{\text{ph}}}{D} &= \sqrt{\frac{F_\nu(D)}{F_\nu(R_{\text{ph}})}}. \quad (1) \end{aligned}$$

$F_\nu(D)$ – наблюдаемый поток
 $F_\nu(R_{\text{ph}})$ – поток с фотосферы
 R_{ph} – радиус фотосферы
 θ – угловой размер звезды



Из известных $F_\nu(D)$ и $F_\nu(R_{\text{ph}})$
 $\Rightarrow \theta$.

Если R_{ph} можно измерить, то
из (1) можно вычислить
расстояние D .

ЕРМ: скорость фотосферы

Baade(1926) – Wesselink(1946) – Kirshner & Kwan (1974).
(Expanding Photosphere Method, EPM)

По эффекту Доплера, используя слабые линии (Fe II λ 5169, 5018, 4924, and Sc II λ 4670), можно измерить скорость вещества на уровне фотосферы u и вычислить R_{ph} :

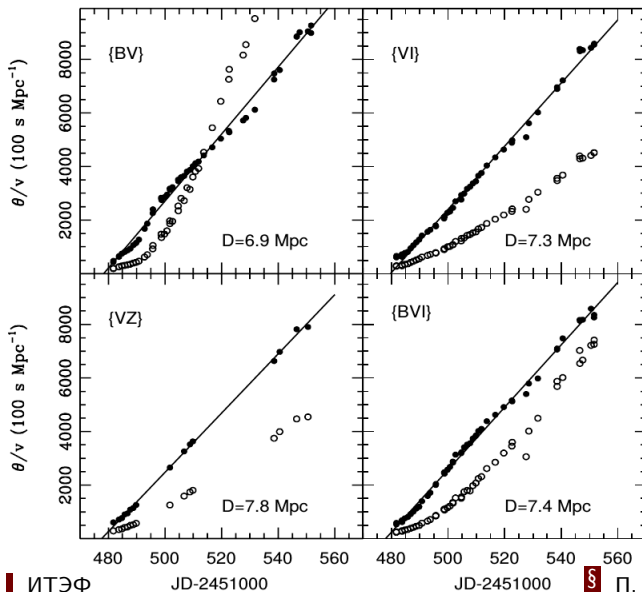
$$R_{\text{ph}} = u(t - t_0) + R_0 ,$$

где t_0 - момент взрыва, R_0 - начальный радиус предсверхновой.
Тоже самое, но через $\theta = \frac{R_{\text{ph}}}{D}$ (пренебрегая R_0):

$$t_i = D \frac{\theta_i}{u_i} + t_0$$

i – метка времени данного наблюдения

EPM: Distances to SN 1999em by Hamuy (2001)



ERM: поток с фотосферы

$$\theta \equiv \frac{R_{\text{ph}}}{D} = \sqrt{\frac{F_{\nu}(D)}{F_{\nu}(R_{\text{ph}})}}.$$

Метод ERM использует предположение о дилютированном чернотельном спектре:

$$F_{\nu}(R_{\text{ph}}) = \zeta^2 \pi B_{\nu}(T_{\text{color}}),$$

где ζ – корректирующий коэффициент (НЕ дилюция)
 T_{color} – цветовая температура (из наблюдений)

Зависимость ζ от T_{color}

Фотометрия в фильтре S (например из набора $\{B,V,I\}$):

$$m_{obs}^S = -2.5 \log \left(\int_0^\infty d\nu F_\nu(D) S(\nu) \right) + ZP_S,$$

По $\{m_{obs}^S\}$ можно найти неизвестные параметры T_{color} и $\zeta\theta$, минимизируя сумму:

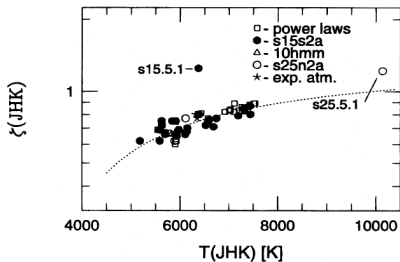
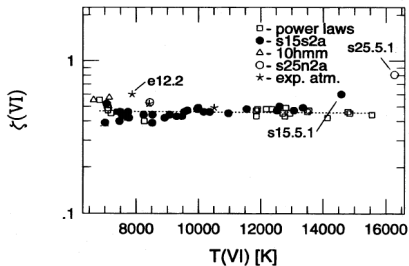
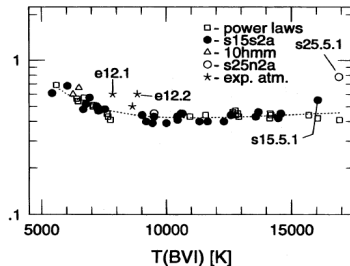
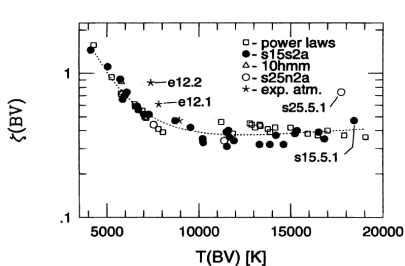
$$\epsilon = \sum_S m_{obs}^S - 2.5 \log \left(\pi \zeta^2 \theta^2 \int_0^\infty d\nu B_\nu(T_{color}) S(\nu) \right),$$

Для определения θ нужно знать ζ .

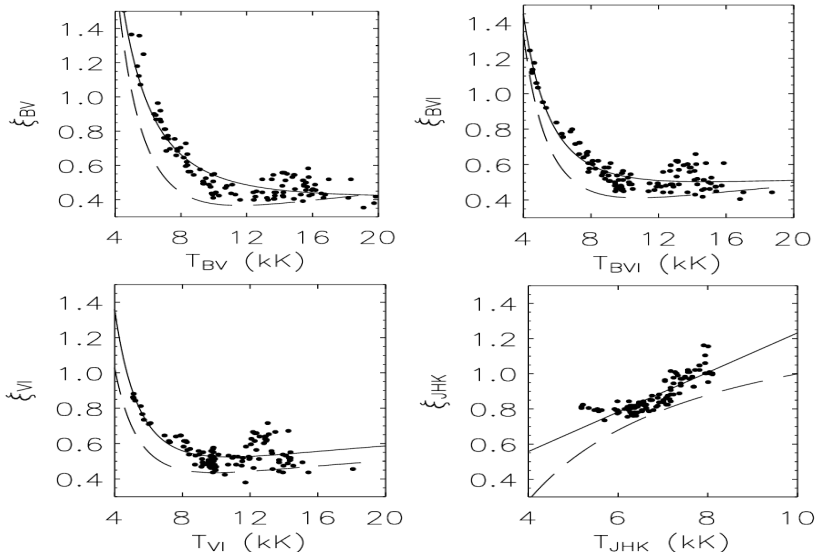
Для моделей с известными $F_\nu(D)$ и R_{ph} минимизировалась сумма:

$$\epsilon = \sum_S M^S - 2.5 \log \left(\pi \zeta^2 \left(\frac{R_{ph}}{10pc} \right)^2 \int_0^\infty d\nu B_\nu S(\nu) \right), \quad (2)$$

Correlation T_{color} и ζ : Eastman et al. (1996)



Correlation T_{color} и ζ : Dessart, Hiller (2005)

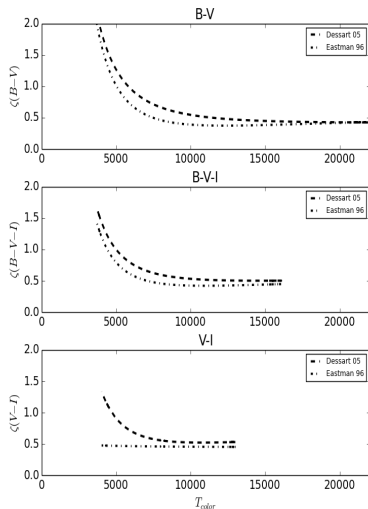


Correlation T_{color} и ζ : Eastman & Dessart fits

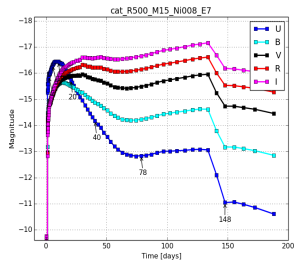
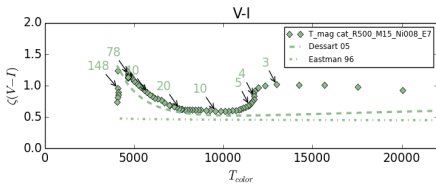
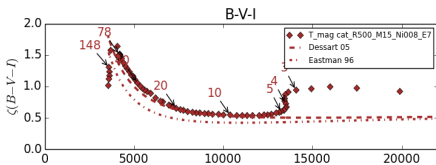
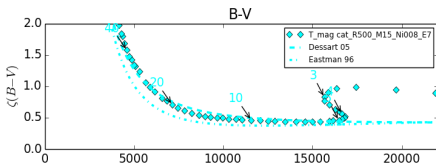
$$\zeta(T_{color}) = \sum_{i=0}^2 a_i \frac{10^4 K}{T_{color}}.$$

a_i – параметры
аппроксимации

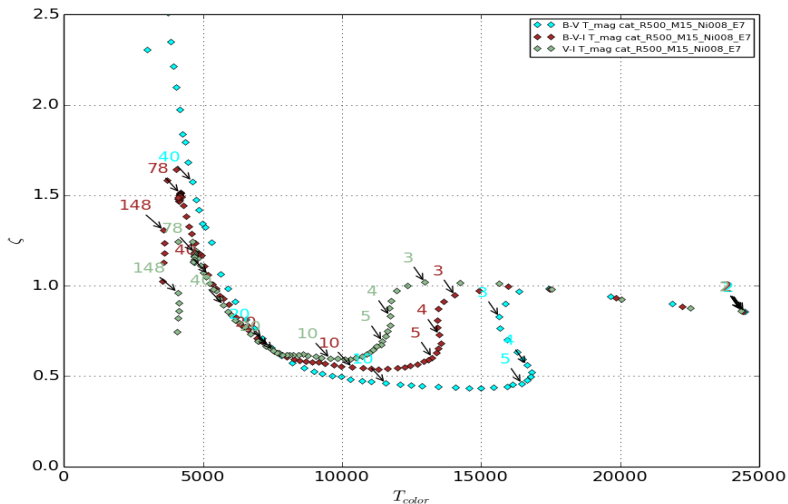
Вопрос:
какая будет
картина в нашем
моделировании
(код STELLA)?



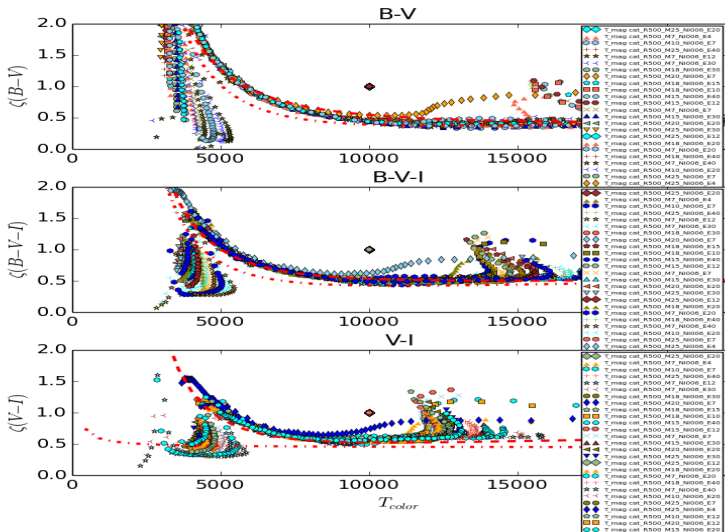
Result: the model cat_R500_M15_Ni008_E7



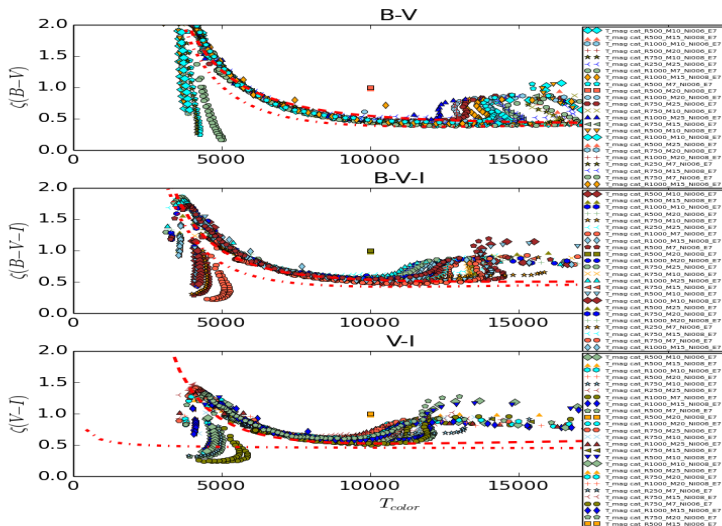
Result: the model cat_R500_M15_Ni008_E7



Result: 28 models with $R = 500R_{\odot}$



Result: 26 models with $E = 7 \times 10^{50}$ ergs



Сравнение с T_ν для приближения Люси

Параметризация потока H_ν :

$$H_\nu = W\pi B_\nu(T_\nu)$$

T_ν определяется через взвешенную по потоку частоту $\langle \nu \rangle$:

$$\langle \nu \rangle \equiv \frac{\int_0^\infty \nu H_\nu d\nu}{H}, \text{ где } H \equiv \int_0^\infty H_\nu d\nu$$

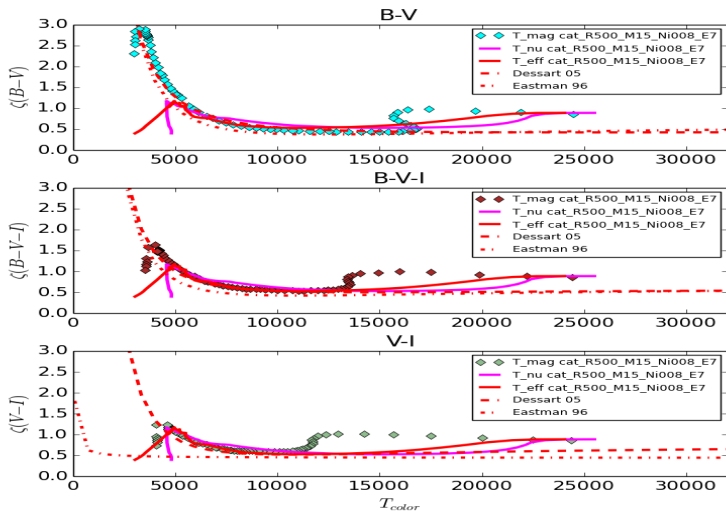
Используя отношения $\frac{h\langle \nu \rangle}{kT_\nu} \equiv x \approx 3.8324$ для $B_\nu(T_\nu)$ можно определить T_ν :

$$T_\nu \equiv \frac{h\langle \nu \rangle}{kx}$$

Эффективная температура T_{eff} и фактор дилуции W :

$$T_{eff} = \left(\frac{H}{\sigma} \right)^{1/4}; \quad W = \left(\frac{T_{eff}}{T_\nu} \right)^4 \sim \zeta^2$$

Сравнение T_{color} и T_{ν}



Заключение

- ▶ В наших моделях вычислена корреляция между T_{color} и ζ
- ▶ На удивление хорошее совпадение с фитом для $\zeta(T_{color})$
Dessart & Hiller (2005)
- ▶ Почему столь похожее поведение $\zeta(T_{color})$ для разных моделей T_{color} в интервале [5000, 10000]К ?
- ▶ Понять связь T_{color} и T_{ν} ?