

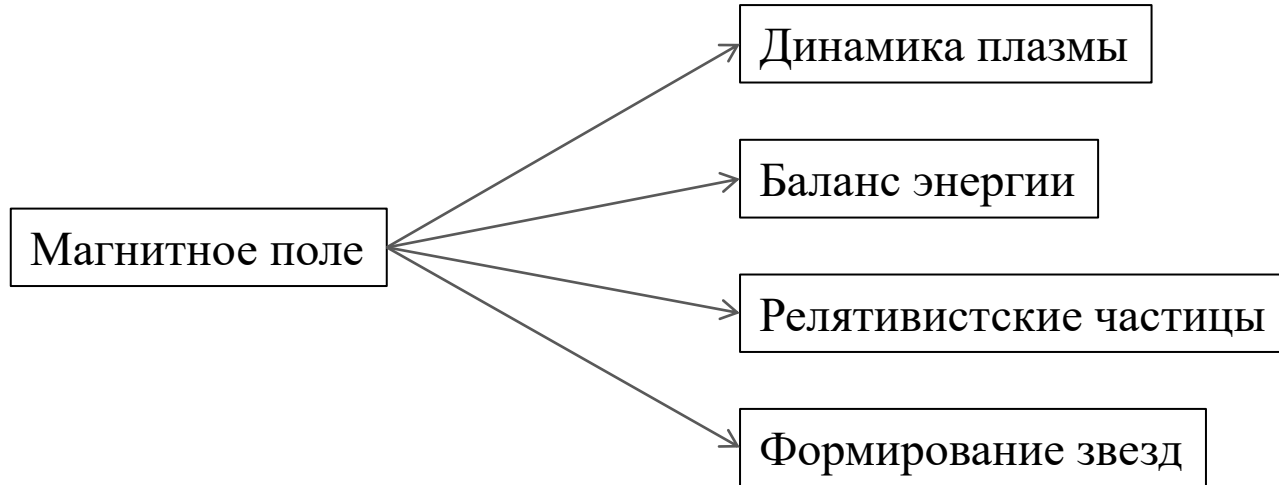
Поиск нетеплового излучения в скоплении галактик Волосы Вероники

(Выпускная квалификационная работа на степень бакалавра)

Студент: Данилов Е.С.
Научный руководитель: к.ф.-м.н. Кривонос Р.А.

Межгалактическая среда

Полностью ионизированная плазма с $T \sim 10^7 - 10^8$ К



Нетепловое излучение

Релятивистские электроны

Обратное комптоновское рассеяние

$$\hbar\omega_X \sim \frac{4}{3} \gamma^2 \hbar\omega_{CMB} \sim 75 \text{ кэВ}$$

$$\gamma_X \sim 9 \times 10^3$$

Синхротронное излучение

$$\hbar\omega_r \sim 0.29 \frac{3}{4\pi} \frac{eB \sin\theta}{m_e c} \gamma^2 \sim 1.4 \text{ ГГц}$$

$$\gamma_r \sim 10^4$$

Исследование

Мотивация



Влияние магнитного
поля на физику
скопления галактик

Метод



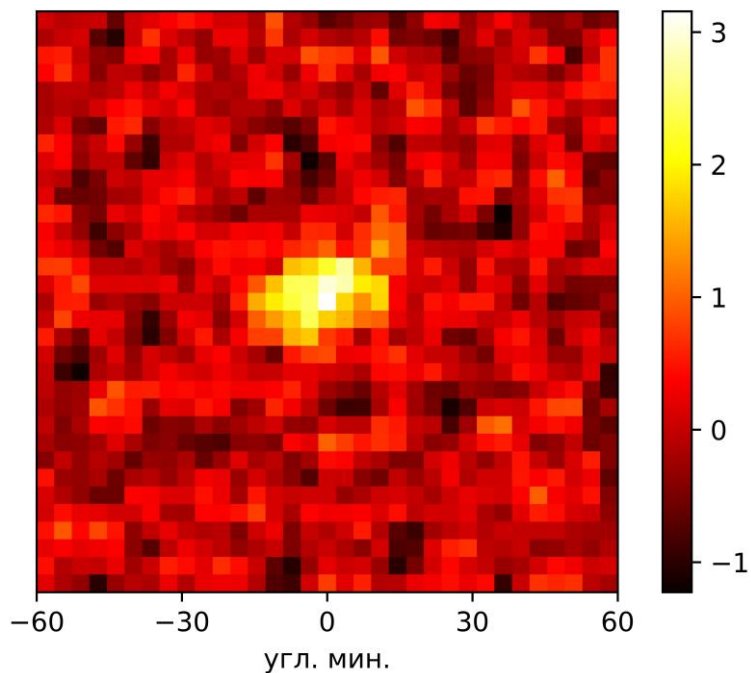
Поиск параметров
нетеплового
излучения

Объект



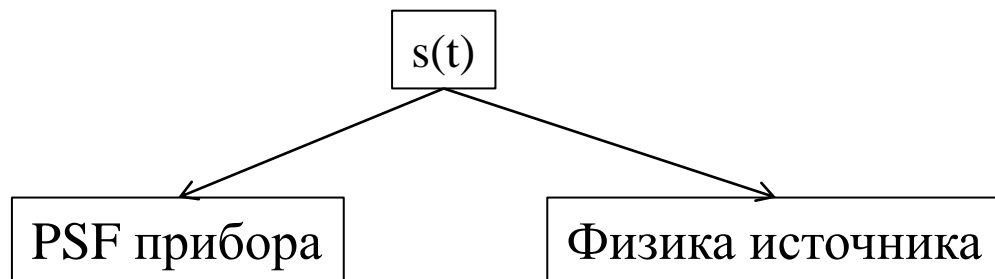
Ближайшее богатое
скопление галактик
Волосы Вероники

Фильтрация шумов

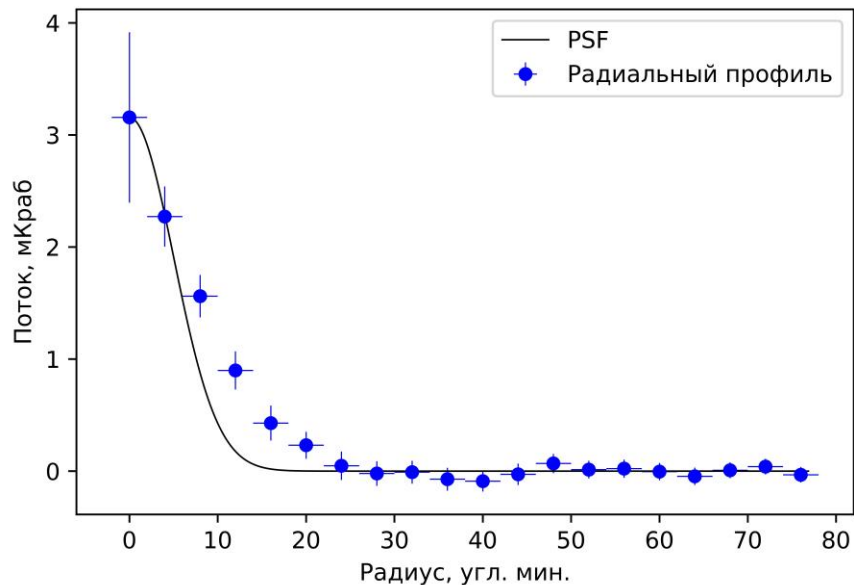


Сигнал с шумами: $x(t) = s(t) + n(t)$

Оптимальный фильтр: $h(t) = s(t_0 - t)$



Радиальный профиль



$$r_{\text{ист}} \sim 30 \text{ угл. минут}$$

$r_{\text{ист}} > \text{PSF}$ – протяженный источник

$s(t)$ определяется физикой источника

β -модель

$$\frac{\nabla P}{\rho} = -\nabla\varphi$$

$$\frac{n_{gas}(r)}{n_{gas}(0)} = \left[\frac{\rho_{DM}(r)}{\rho_{DM}(0)} \right]^\beta$$

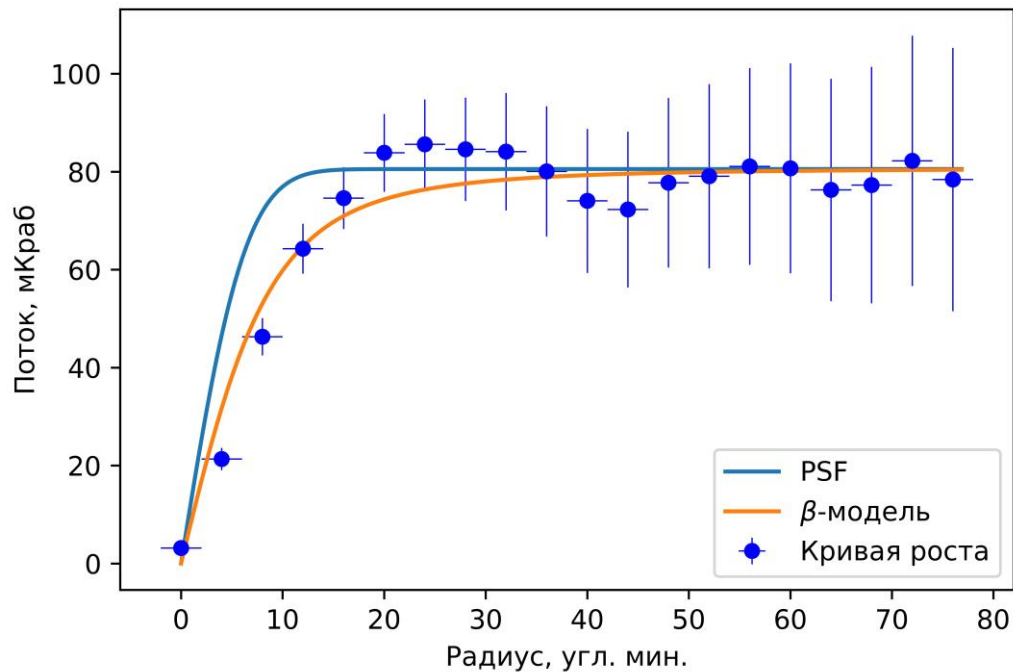
β-модель

$$\frac{\nabla P}{\rho} = -\nabla\varphi$$

$$\frac{n_{gas}(r)}{n_{gas}(0)} = \left[\frac{\rho_{DM}(r)}{\rho_{DM}(0)} \right]^\beta$$

$$\rho_{DM}(r) = \rho_{DM}(0) \left[1 + \left(\frac{r}{r_c} \right)^2 \right]^{-3/2} \quad n_{gas}(r) = n_{gas}(0) \left[1 + \left(\frac{r}{r_c} \right)^2 \right]^{-3\beta/2}$$

Кривая роста

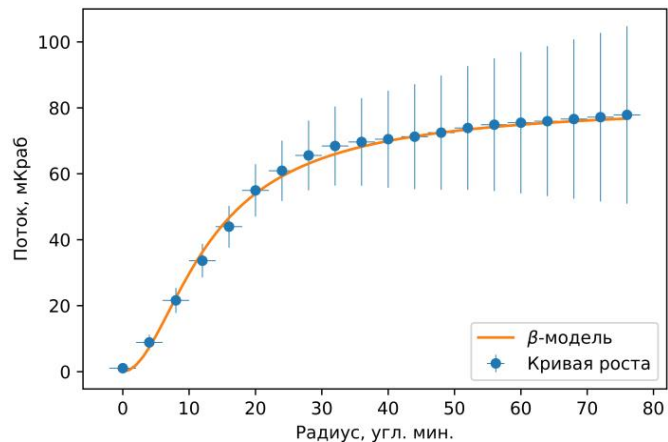


$$\text{PSF} = e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}}$$

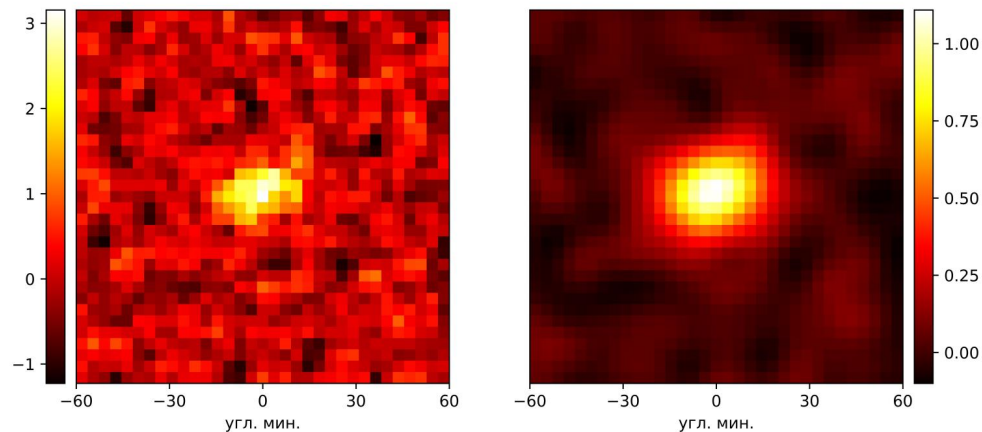
$$S_{\beta}(r) = S_{\beta}(0) \left[1 + \left(\frac{r}{r_c} \right)^2 \right]^{0.5-3\beta}$$

Результаты фильтрации

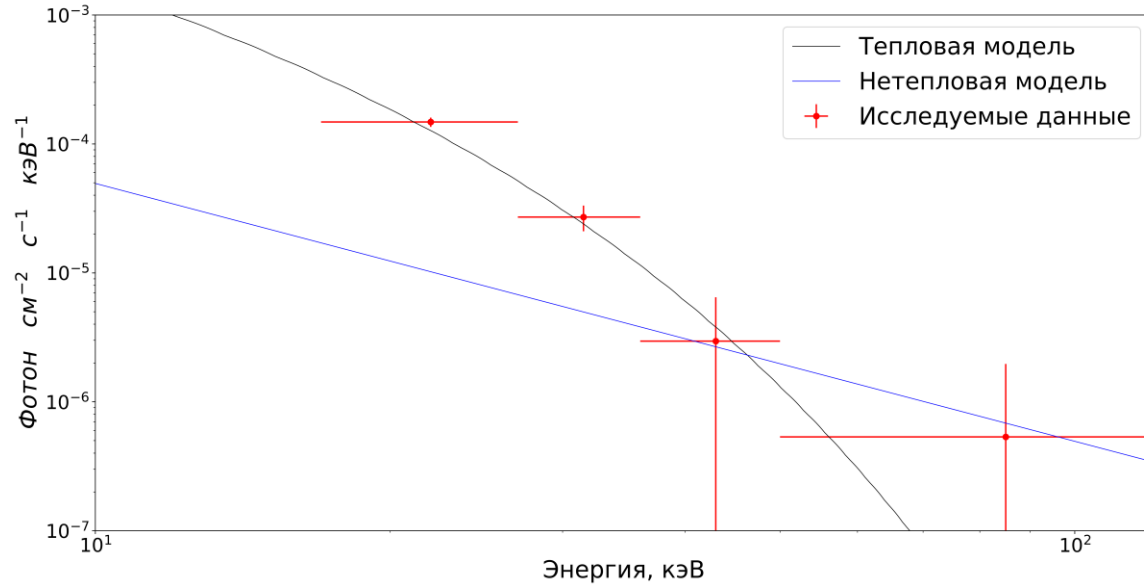
Кривая роста



Изображение источника

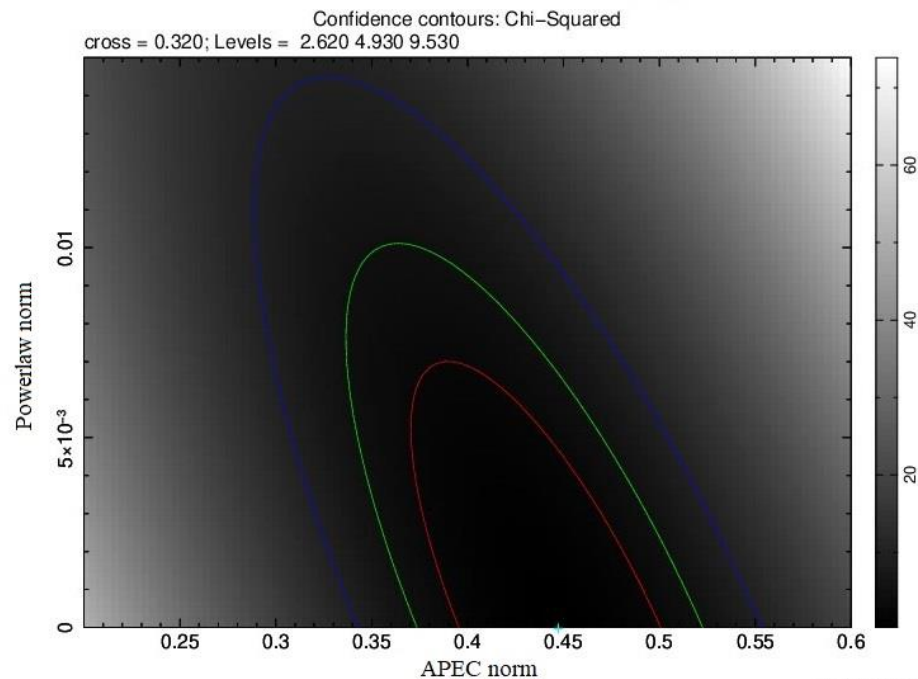


Модели излучения



Тормозное излучение				Обр. комптоновское рассеяние	
$T, \text{кэВ}$	Обилие	z	Арес norm	Γ	Powerlaw norm
8.2	0.25	0.0231	?	2	?

Результаты аппроксимации



scid19-Jun-2020 16:38

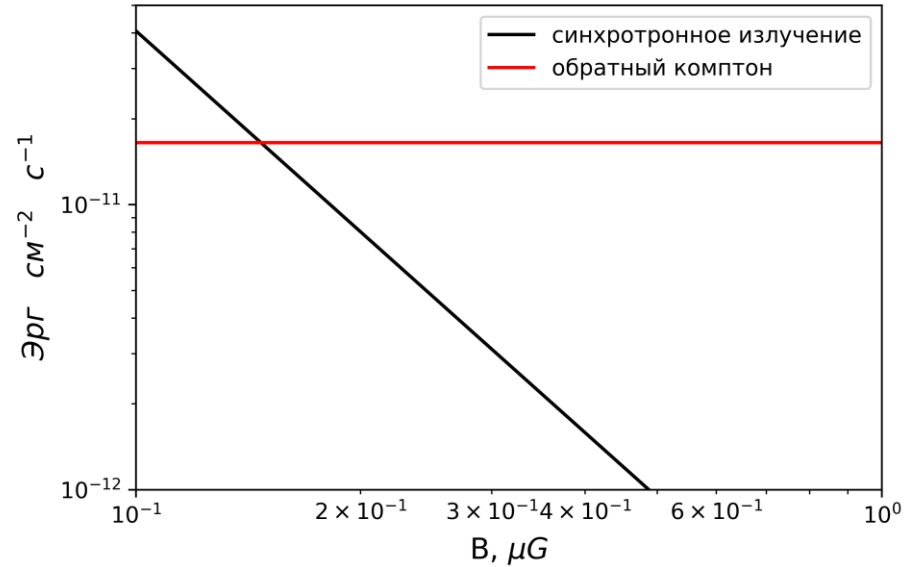
$F_{20-80}^{\text{тепл}}, 10^{-11} \frac{\text{Эрг}}{\text{см}^2 \text{с}}$	предел $F_{20-80}^{\text{нетепл}}, 10^{-11} \frac{\text{Эрг}}{\text{см}^2 \text{с}}$
4.13	1.69

Однородное магнитное поле

$$\gamma_X \sim 10^4 \sim \gamma_r$$

$$F_X = \left[F_r C(p) \left(\frac{\nu_r}{\nu_X} \right)^\alpha T_{CMB}^{\alpha+3} \right] B^{-\alpha-1}$$

$$B_{\text{одн}} \geq 0.15 \mu\text{G}$$

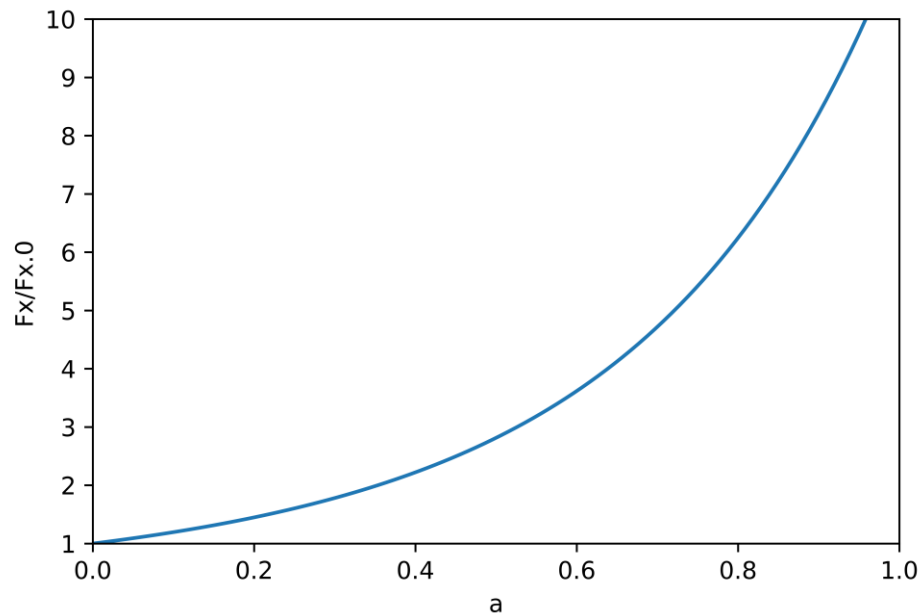


Неоднородное магнитное поле

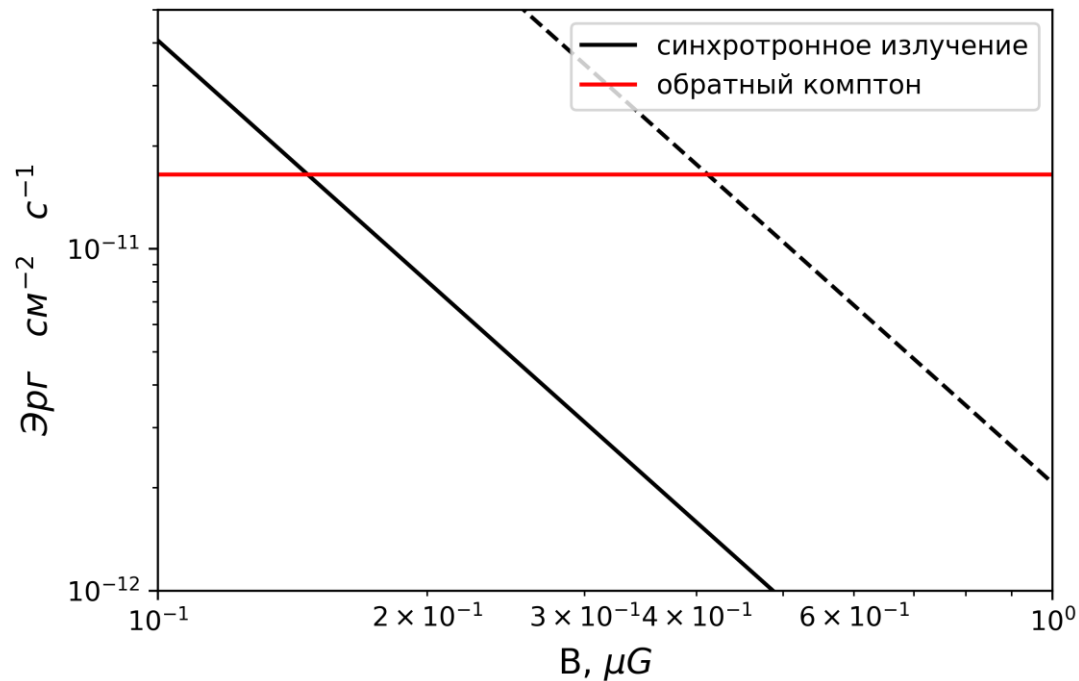
$$B^2(r) = B_0^2 [\rho(r)/\rho_0]^a$$

$$\frac{F_X}{F_{X.0}} \propto f(a) = \frac{\int Y_r(r) (B/B_0)^{-\alpha-1} r^2 dr}{\int Y_r(r) r^2 dr}$$

$$Y_r(r) \propto \left[1 + \left(\frac{r}{r_{c,r}} \right)^2 \right]^{-3\beta_r}$$



Магнитное поле



Однородное м.п.

$$B_{\text{одн}} \geq 0.15 \mu\text{G}$$

Неоднородное м.п.

$$B(r) = B_0 [1 + (r/r_c)^2]^{-3a\beta/4}$$

$$B_0 \geq \varphi(a) \times B_{\text{одн}}$$

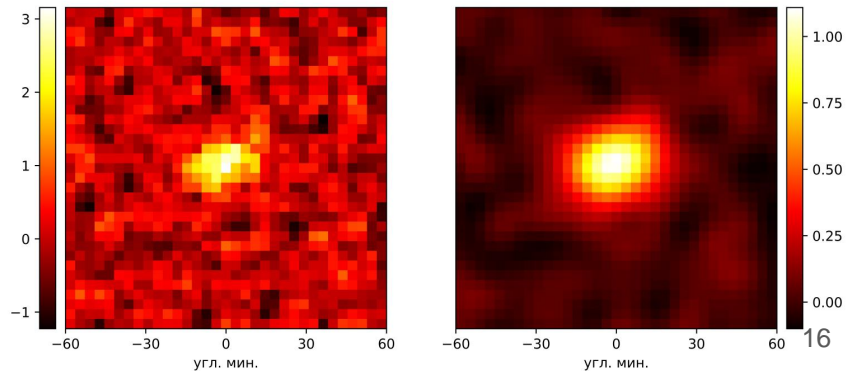
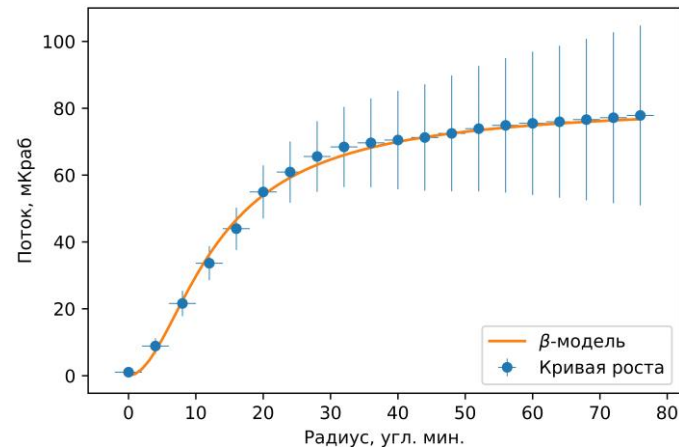
$$\varphi(a) \in [1, 2.8]$$

Модель распределения газа

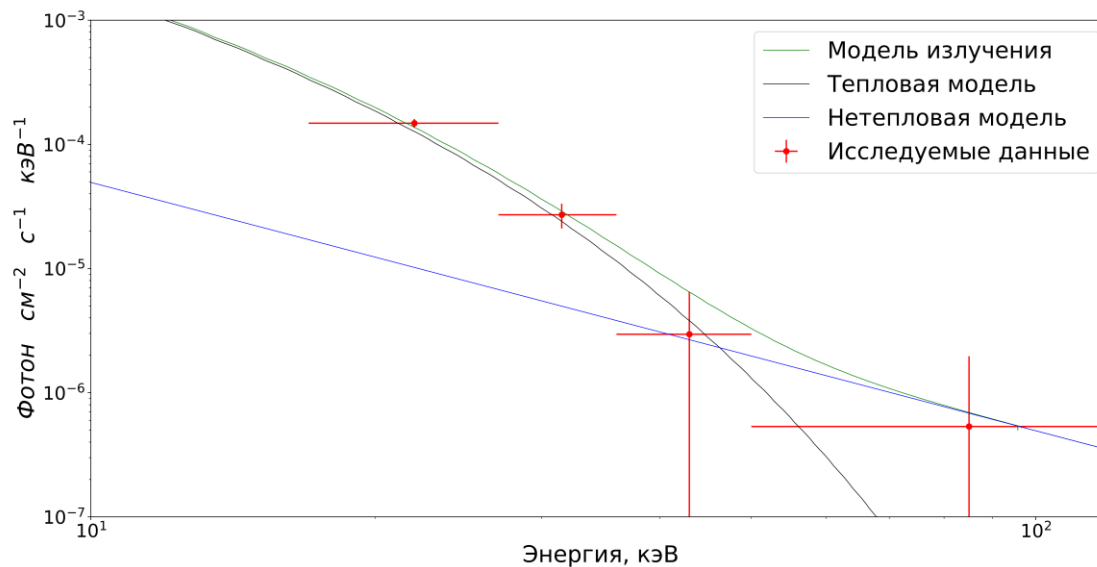
$$n_{gas}(r) = n_{gas}(0) \left[1 + \left(\frac{r}{r_c} \right)^2 \right]^{-3\beta/2}$$

$$\beta = 0.741$$

$$r_c = 10.7'$$



Результаты аппроксимации



Получены параметры рентгеновского излучения

предел $F_{20-80}^{\text{нетепл}}, 10^{-11} \frac{\text{Эрг}}{\text{см}^2 \text{с}}$	$F_{20-80}^{\text{тепл}}, 10^{-11} \frac{\text{Эрг}}{\text{см}^2 \text{с}}$	$T, \text{кэВ}$	Γ	Обилие	z
1.1	5.5 ± 0.6	8.2	2	0.25	0.0231

Магнитное поле

Однородное м.п.

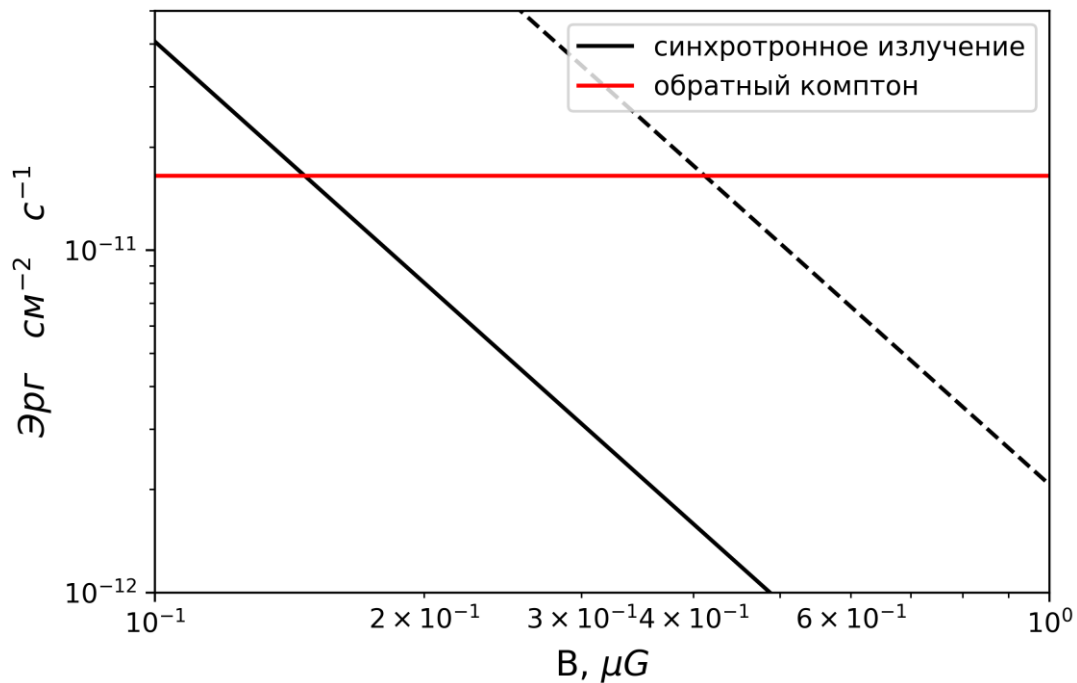
$$B_{\text{одн}} \geq 0.15 \mu G$$

Неоднородное м.п

$$B(r) = B_0 [1 + (r/r_c)^2]^{-3a\beta/4}$$

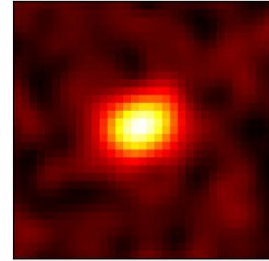
$$B_0 \geq \varphi(a) \times B_{\text{одн}}$$

$$\varphi(a) \in [1, 2.8]$$

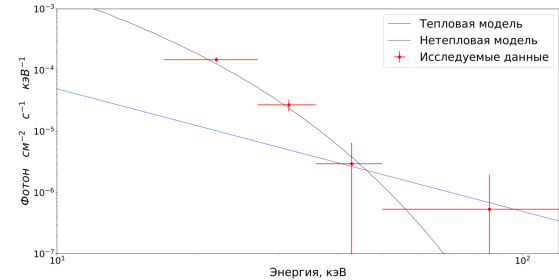


Продолжение исследования

Анализ полученных карт фотонов



Уточнение значений потоков по новым данным



Поиск модели неоднородности

$$B^2(r) = B_0^2 [\rho(r)/\rho_0]^a$$

Спасибо за внимание!

Результаты исследования

Подтверждена модель распределения газа $n_{gas}(r) = n_{gas}(0) \left[1 + \left(\frac{r}{r_c} \right)^2 \right]^{-3\beta/2}$

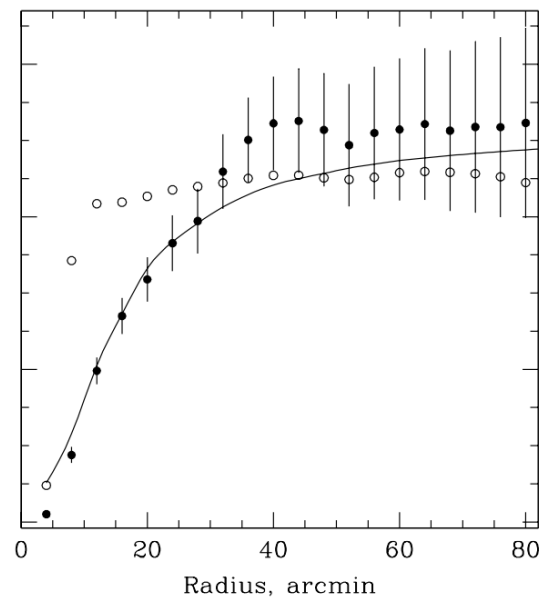
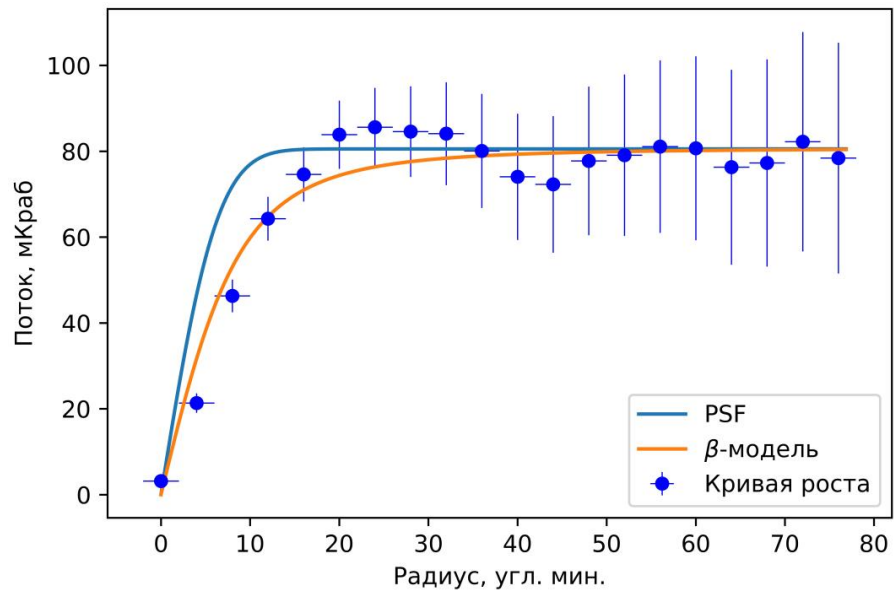
Получены параметры рентгеновского излучения

предел $F_{20-80}^{тепл}, 10^{-11} \frac{\text{Эрг}}{\text{см}^2 \text{с}}$	$F_{20-80}^{тепл}, 10^{-11} \frac{\text{Эрг}}{\text{см}^2 \text{с}}$	$T, \text{кэВ}$	Γ	Обилие	z
1.1	5.5 ± 0.6	8.2	2	0.25	0.0231

Вычислены минимальные значения магнитного поля скопления

Однородное м.п.	Неоднородное м.п
$B_{одн} \geq 0.15 \mu G$	$B_0^{мин} \in [0.15 \mu G, 0.42 \mu G]$

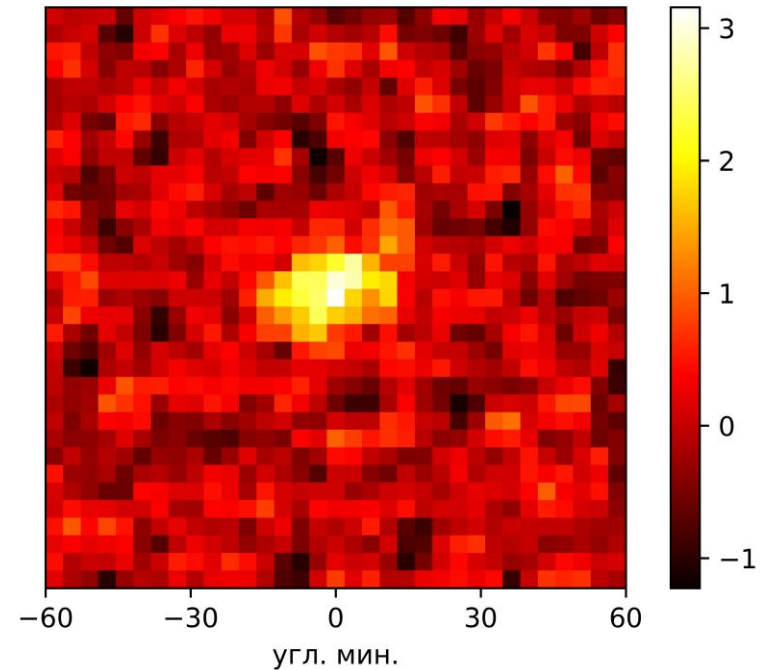
Ошибки в кривой роста



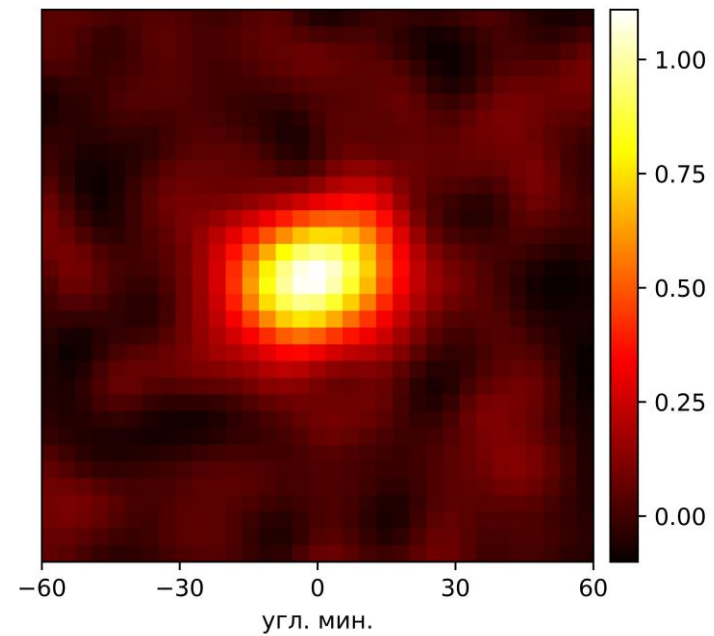
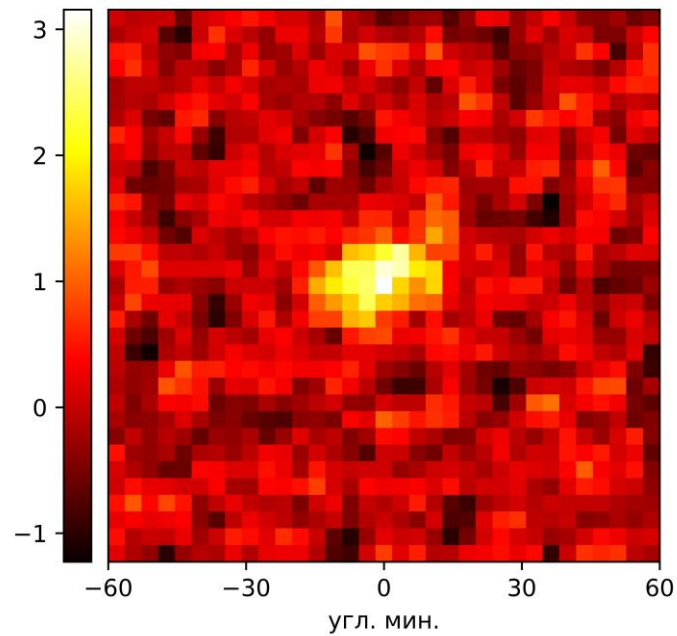
Извлечение потока

Один физ. пиксель – $12''$

Один пиксель изображения – $12''$



Отрицательные потоки



Сравнения масштабов

$r_{\text{ист}} \sim 30$ угл. минут

$r_{\text{ист}} > \sigma$ – протяженный ист.

$r_{\text{ист}} < 3R_{\text{р.с.}}$ -
изображение не искажено

