



О возможных электромагнитных проявлениях сливающихся чёрных дыр

Д. В. Бисикало

А. Г. Жилкин

Е. П. Курбатов

ИНАСАН
Москва

Гравитационно-волновое излучение

Вращение и пульсации неосесимметричного гравитирующего тела сопровождаются излучением гравитационных волн.

«Яркие» источники ГВ звёздных масс — двойные системы:

$$\text{NS} + \text{NS} \quad \text{NS} + \text{BH} \quad \text{BH} + \text{BH}$$

Источники ГВ галактических масс — сверхмассивные чёрные дыры.

ГВ уносят массу-энергию, импульс и угловой момент за время

$$\tau_{\text{GWR}} = (10^8 \text{ лет}) \left(\frac{a}{R_{\odot}} \right)^4 \frac{M_{\odot}^3}{M_1 M_2 (M_1 + M_2)}$$

Слияние двойной системы

Последствия для продукта слияния:

- ГВ уносят массу-энергию — масса покоя уменьшится
- Ч. Мизнер, К. Торн, Дж. Уилер, *Гравитация*
- ГВ уносят импульс — компактный объект получит импульс отдачи
- А. Peres // PhysRev (1962); J. D. Bekenstein // ApJ (1973)

Потери массы и импульса зависят от соотношения масс компонент исходной системы, от величины и взаимной ориентации их собственных угловых моментов (спинов).

$$\frac{\Delta M}{M} \lesssim 10\% , \quad v_{\text{recoil}} \lesssim 1000 \text{ км/с}$$

Наблюдения LIGO и Virgo

Event	$m_1/M_\odot$	$m_2/M_\odot$	$M/M_\odot$	χ_{eff}	$M_f/M_\odot$	a_f	$E_{\text{rad}}/(M_\odot c^2)$	$\ell_{\text{peak}}/(\text{erg s}^{-1})$	d_L/Mpc	z	$\Delta\Omega/\text{deg}^2$
GW150914	$35.6^{+4.8}_{-3.0}$	$30.6^{+3.0}_{-4.4}$	$28.6^{+1.6}_{-1.5}$	$-0.01^{+0.12}_{-0.13}$	$63.1^{+3.3}_{-3.0}$	$0.69^{+0.05}_{-0.04}$	$3.1^{+0.4}_{-0.4}$	$3.6^{+0.4}_{-0.4} \times 10^{56}$	430^{+150}_{-170}	$0.09^{+0.03}_{-0.03}$	180
GW151012	$23.3^{+14.0}_{-5.5}$	$13.6^{+4.1}_{-4.8}$	$15.2^{+2.0}_{-1.1}$	$0.04^{+0.28}_{-0.19}$	$35.7^{+9.9}_{-3.8}$	$0.67^{+0.13}_{-0.11}$	$1.5^{+0.5}_{-0.5}$	$3.2^{+0.8}_{-1.7} \times 10^{56}$	1060^{+540}_{-480}	$0.21^{+0.09}_{-0.09}$	1555
GW151226	$13.7^{+8.8}_{-3.2}$	$7.7^{+2.2}_{-2.6}$	$8.9^{+0.3}_{-0.3}$	$0.18^{+0.20}_{-0.12}$	$20.5^{+6.4}_{-1.5}$	$0.74^{+0.07}_{-0.05}$	$1.0^{+0.1}_{-0.2}$	$3.4^{+0.7}_{-1.7} \times 10^{56}$	440^{+180}_{-190}	$0.09^{+0.04}_{-0.04}$	1033
GW170104	$31.0^{+7.2}_{-5.6}$	$20.1^{+4.9}_{-4.5}$	$21.5^{+2.1}_{-1.7}$	$-0.04^{+0.17}_{-0.20}$	$49.1^{+5.2}_{-3.9}$	$0.66^{+0.08}_{-0.10}$	$2.2^{+0.5}_{-0.5}$	$3.3^{+0.6}_{-0.9} \times 10^{56}$	960^{+430}_{-410}	$0.19^{+0.07}_{-0.08}$	924
GW170608	$10.9^{+5.3}_{-1.7}$	$7.6^{+1.3}_{-2.1}$	$7.9^{+0.2}_{-0.2}$	$0.03^{+0.19}_{-0.07}$	$17.8^{+3.2}_{-0.7}$	$0.69^{+0.04}_{-0.04}$	$0.9^{+0.05}_{-0.1}$	$3.5^{+0.4}_{-1.3} \times 10^{56}$	320^{+120}_{-110}	$0.07^{+0.02}_{-0.02}$	396
GW170729	$50.6^{+16.6}_{-10.2}$	$34.3^{+9.1}_{-10.1}$	$35.7^{+6.5}_{-4.7}$	$0.36^{+0.21}_{-0.25}$	$80.3^{+14.6}_{-10.2}$	$0.81^{+0.07}_{-0.13}$	$4.8^{+1.7}_{-1.7}$	$4.2^{+0.9}_{-1.5} \times 10^{56}$	2750^{+1350}_{-1320}	$0.48^{+0.19}_{-0.20}$	1033
GW170809	$35.2^{+8.3}_{-6.0}$	$23.8^{+5.2}_{-5.1}$	$25.0^{+2.1}_{-1.6}$	$0.07^{+0.16}_{-0.16}$	$56.4^{+5.2}_{-3.7}$	$0.70^{+0.08}_{-0.09}$	$2.7^{+0.6}_{-0.6}$	$3.5^{+0.6}_{-0.9} \times 10^{56}$	990^{+320}_{-380}	$0.20^{+0.05}_{-0.07}$	340
GW170814	$30.7^{+5.7}_{-3.0}$	$25.3^{+2.9}_{-4.1}$	$24.2^{+1.4}_{-1.1}$	$0.07^{+0.12}_{-0.11}$	$53.4^{+3.2}_{-2.4}$	$0.72^{+0.07}_{-0.05}$	$2.7^{+0.4}_{-0.3}$	$3.7^{+0.4}_{-0.5} \times 10^{56}$	580^{+160}_{-210}	$0.12^{+0.03}_{-0.04}$	87
GW170817	$1.46^{+0.12}_{-0.10}$	$1.27^{+0.09}_{-0.09}$	$1.186^{+0.001}_{-0.001}$	$0.00^{+0.02}_{-0.01}$	≤ 2.8	≤ 0.89	≥ 0.04	$\geq 0.1 \times 10^{56}$	40^{+10}_{-10}	$0.01^{+0.00}_{-0.00}$	16
GW170818	$35.5^{+7.5}_{-4.7}$	$26.8^{+4.3}_{-5.2}$	$26.7^{+2.1}_{-1.7}$	$-0.09^{+0.18}_{-0.21}$	$59.8^{+4.8}_{-3.8}$	$0.67^{+0.07}_{-0.08}$	$2.7^{+0.5}_{-0.5}$	$3.4^{+0.5}_{-0.7} \times 10^{56}$	1020^{+430}_{-360}	$0.20^{+0.07}_{-0.07}$	39
GW170823	$39.6^{+10.0}_{-6.6}$	$29.4^{+6.3}_{-7.1}$	$29.3^{+4.2}_{-3.2}$	$0.08^{+0.20}_{-0.22}$	$65.6^{+9.4}_{-6.6}$	$0.71^{+0.08}_{-0.10}$	$3.3^{+0.9}_{-0.8}$	$3.6^{+0.6}_{-0.9} \times 10^{56}$	1850^{+840}_{-840}	$0.34^{+0.13}_{-0.14}$	1651

B. P. Abbott et al // arXiv:1811.12907

Наблюдения LIGO и Virgo

Некоторые события слияния двойных ЧД, зафиксированные с 2015 по 2017 гг.:

Object	$M_1, M_2 [M_\odot]$	$\Delta M / (M_1 + M_2) [\%]$	$D [\text{Mpc}]$
GW150914 [1]	$36^{+5}_{-4}, 29^{+4}_{-4}$	$3.3 - 5.2$	410^{+160}_{-180}
GW151226 [2]	$14.2^{+8.3}_{-3.7}, 7.5^{+2.3}_{-2.3}$	$2.9 - 5.5$	440^{+180}_{-190}
GW170104 [3]	$31.2^{+8.4}_{-6.0}, 19.4^{+8.3}_{-5.9}$	$2.3 - 5.7$	880^{+450}_{-390}
GW170608 [4]	$12^{+7}_{-2}, 7^{+2}_{-2}$	$2.8 - 5.1$	340^{+140}_{-140}
GW170814 [5]	$30.5^{+5.7}_{-3.0}, 25.3^{+2.8}_{-4.2}$	$4.0 - 5.8$	540^{+130}_{-210}

[1,4] B. P. Abbott et al // ApJL (2016, 2017)

[2,3,5] B. P. Abbott et al // PhysRevL (2016, 2017)

Эффекты слияния двойной системы

- Диск теряет равновесие гравитационной и центробежной силы
- N. Bode & S. Phinney // APS April Meeting Abstracts, S1.010 (2007)
- Смещение ЧД возмущает диск — «kick»
- Возмущение метрики
 - механические напряжения диссипируют на вязкой шкале времени
 - B. Kocsis & A. Loeb // PhysRevLett 101(4) (2008)
 - возможны ударные волны и жёсткое рентгеновское излучение
 - А. М. Черепашук // УФН, 186(9), 1001 (2016)

Циркумбинарные диски

ЧД галактических масс — сверхмассивные ($M \sim 10^6 M_{\text{sol}}$)

- Столкновение галактик с ЧД в ядрах
 - Две дисковые галактики
 - Дисковая и сфероидальная меньшей массы

ЧД звёздных масс

- Быстровращающаяся звезда [A. Loeb // ApJ, 819, L21 (2016)]
- Иерархическая система
 - Аккреция из третьего компонента
 - Разрушение третьего компонента

Предыдущие результаты

Сверхмассивные двойные ЧД в ядрах галактик

M. Megevand et al // PhysRevD (2009)

S. M. O'Neill et al // ApJ (2009)

L. R. Corrales, Z. Haiman, A. MacFayden // MNRAS (2010)

...

ЧД теряет 5% массы — э/м светимость диска возрастает на порядок, до 10^{43} эрг/с.

Двойные ЧД звёздных масс

N. Bode & S. Phinney // APS April Meeting Abstracts, S1.010 (2007)

A. M. Черепашук // УФН, 186(9), 1001 (2016)

S. E. de Mink & A. King // ApJ (2017)

Приближённые оценки дают оценку светимости $\sim 10^{43}$ эрг/с, максимум в рентгеновской области спектра.

Постановка задачи

Прототип: GW170814, 540 Мпк

- Аккректор — точечная масса, $M = 55 M_{\text{sol}}$
- Равновесный геометрически тонкий газовый диск
 - Внутренний радиус: $r_* = 10 r_g \sim 10^8 \text{ см}$
 - Тепловая структура — α -диск, зона «В»:
 - доминирует газовое давление

$$T = T_* (r/r_*)^{-k_t} \quad \rho = \rho_* (r/r_*)^{-k_d}$$

$$k_t = 0.9 \quad k_d = 1.65$$

$$T_* \sim 10^7 \text{ K} \quad \rho_* \lesssim 1 \text{ г/см}^3$$

В начальный момент времени масса аккректора уменьшается на 5%

Автомодельность

Есть автомодельное решение в дисках с близкими параметрами:

$$\rho_0 = \rho_* \left(\frac{r}{r_*} \right)^{-3/2}$$

$$L_0 = r_* c_* \left(\mu^2 - \frac{5}{2} \right)^{1/2} \left(\frac{r}{r_*} \right)^{1/2}$$

$$E_0 = \frac{c_*^2}{5/3 - 1} \left(\frac{r}{r_*} \right)^{-1}$$

$$\mu = \left(\frac{GM}{r_* c_*^2} \right)^{1/2}$$

$$\rho(t, r) = \rho_0(r) \sigma(\lambda)$$

$$v(t, r) = \frac{r}{t} u(\lambda)$$

$$E(t, r) = E_0(r) a(\lambda)$$

$$L(t, r) = L_0(r) \Lambda(\lambda)$$

$$\lambda = \frac{r/r_*}{(t/t_*)^{2/3}}$$

$$\left(u - \frac{2}{3}\right) \frac{d\ln \sigma}{d\ln \lambda} + \frac{du}{d\ln \lambda} + \frac{u}{2} = 0$$

$$\begin{aligned} &\left(u - \frac{2}{3}\right) \frac{du}{d\ln \lambda} + u(u - 1) + \\ &+ \left(\frac{d\ln(\sigma a)}{d\ln \lambda} - \frac{5}{2}\right) \frac{a}{\lambda^3} - \left(\mu^2 - \frac{5}{2}\right) \frac{\Lambda^2}{\lambda^3} + \frac{(1 - \xi) \mu^2}{\lambda^3} = 0 \end{aligned}$$

$$\left(u - \frac{2}{3}\right) \frac{d\ln \Lambda}{d\ln \lambda} + \frac{u}{2} = 0$$

$$\left(u - \frac{2}{3}\right) \frac{3}{2} \frac{d\ln a}{d\ln \lambda} + \frac{du}{d\ln \lambda} + \frac{u}{2} = 0$$

Алгебраические интегралы:

$$\left(u - \frac{2}{3}\right) \frac{\sigma}{\Lambda} = C_1$$

$$\left(u - \frac{2}{3}\right) \frac{d\ln(\sigma/a^{3/2})}{d\ln \lambda} = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{a}{\sigma^{2/3}} = C_2$$

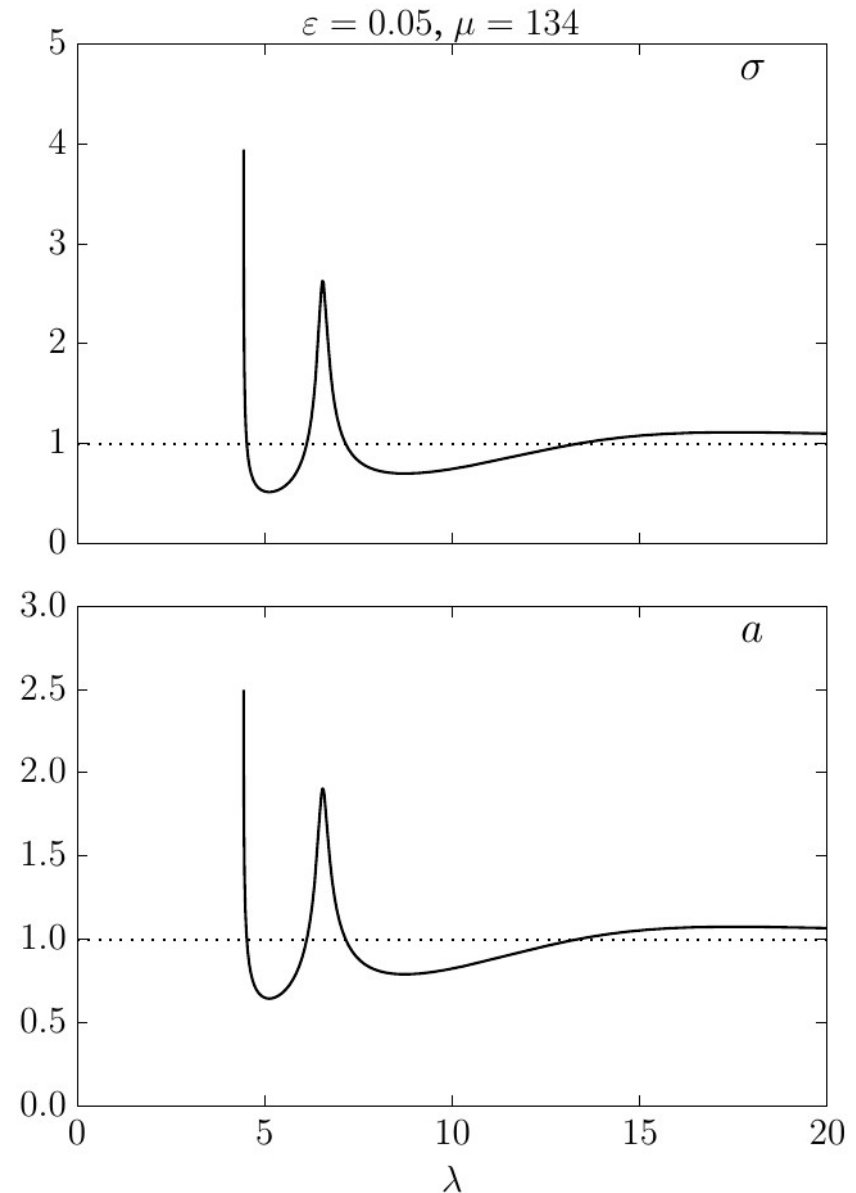
Особые точки:

$$u = \frac{2}{3}$$
$$\frac{5}{3} \frac{a}{\lambda^3} = \left(u - \frac{2}{3}\right)^2$$

Возмущение во внутренней части диска сильнее, чем во внешней.

Избыточная кинетическая энергия превышает тепловую энергию на фактор $\xi\mu^2 \gg 1$.

Нужно искать решение в виде ударных волн.



Автомодельные ударные волны

$$D[[\rho]] = [[\rho v]]$$

$$D[[\rho v]] = [[\rho v^2 + (\gamma - 1) \rho E]]$$

$$D[[\rho L]] = [[\rho v L]]$$

$$D \left[\left[\rho \left(\frac{v^2}{2} + \frac{L^2}{2r^2} + E \right) \right] \right] = \left[\left[\rho v \left(\frac{v^2}{2} + \frac{L^2}{2r^2} + \gamma E \right) \right] \right]$$

$$[[f]] = f_1 - f_2$$

$$\lambda = \lambda_D \equiv \frac{r_D/r_*}{(t/t_*)^{2/3}}$$

$$D = \frac{dr_D}{dt} = \frac{2}{3} \frac{r_D}{t}$$

$$\rho_{1,2} = \rho_0(r_D) \sigma_{1,2}$$

$$E_{1,2} = E_0(r_D) a_{1,2}$$

$$v_{1,2} = \frac{r_D}{t} u_{1,2}$$

$$L_{1,2} = L_0(r_D) \Lambda_{1,2}$$

$$\left[\left(u-\frac{2}{3}\right)\sigma\right]=0$$

$$\left[\left(u-\frac{2}{3}\right)\sigma u+\frac{\sigma a}{\lambda_{\mathrm{D}}^3}\right]=0$$

$$\left[\left(u-\frac{2}{3}\right)\sigma\Lambda\right]=0$$

$$\left[\left(u-\frac{2}{3}\right)\sigma\left[\frac{u^2}{2}+\left(\mu^2-\frac{5}{2}\right)\frac{\Lambda^2}{2\lambda_{\mathrm{D}}^3}\right]+\frac{5}{2}\frac{\sigma a}{\lambda_{\mathrm{D}}^3}\left(u-\frac{2}{5}\right)\right]=0$$

$$u_2=\frac{1}{2}+\left(u_1-\frac{2}{3}\right)^{-1}\frac{5}{4}\frac{a_1}{\lambda_{\mathrm{D}}^3}+\frac{u_1}{4}$$

$$\sigma_2=\frac{u_1-2/3}{u_2-2/3}\sigma_1$$

$$a_2=\frac{\sigma_1}{\sigma_2}\left[\left(u_1-\frac{2}{3}\right)^2\frac{3}{4}\lambda_{\mathrm{D}}^3-\frac{a_1}{4}\right]$$

$$\Lambda_2=\Lambda_1$$

Модель с газовым давлением

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial(r\rho v)}{\partial r} = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial r} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial r} - \frac{L^2}{r^3} + (1 - \xi) \frac{GM}{r^2} = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial t} + v \frac{\partial L}{\partial r} = 0$$

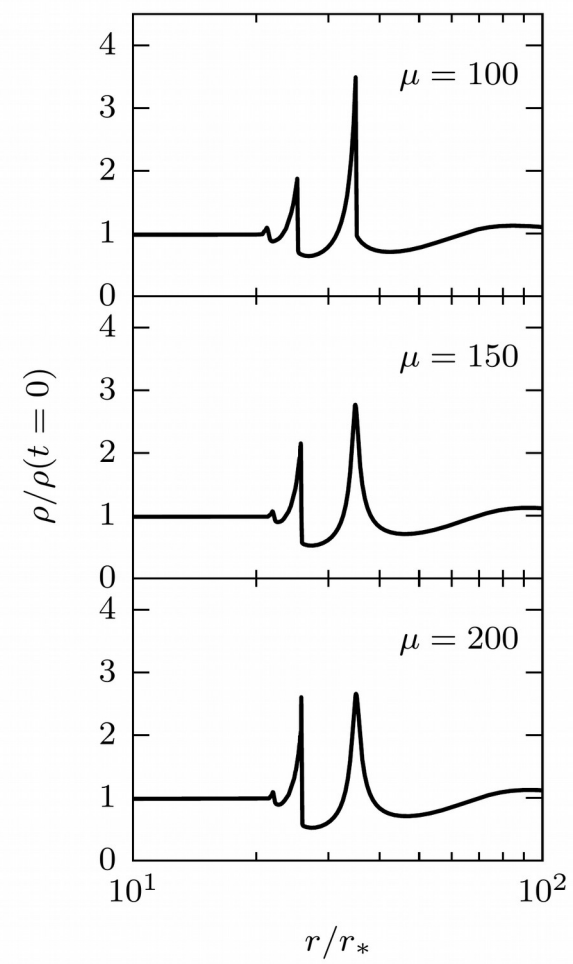
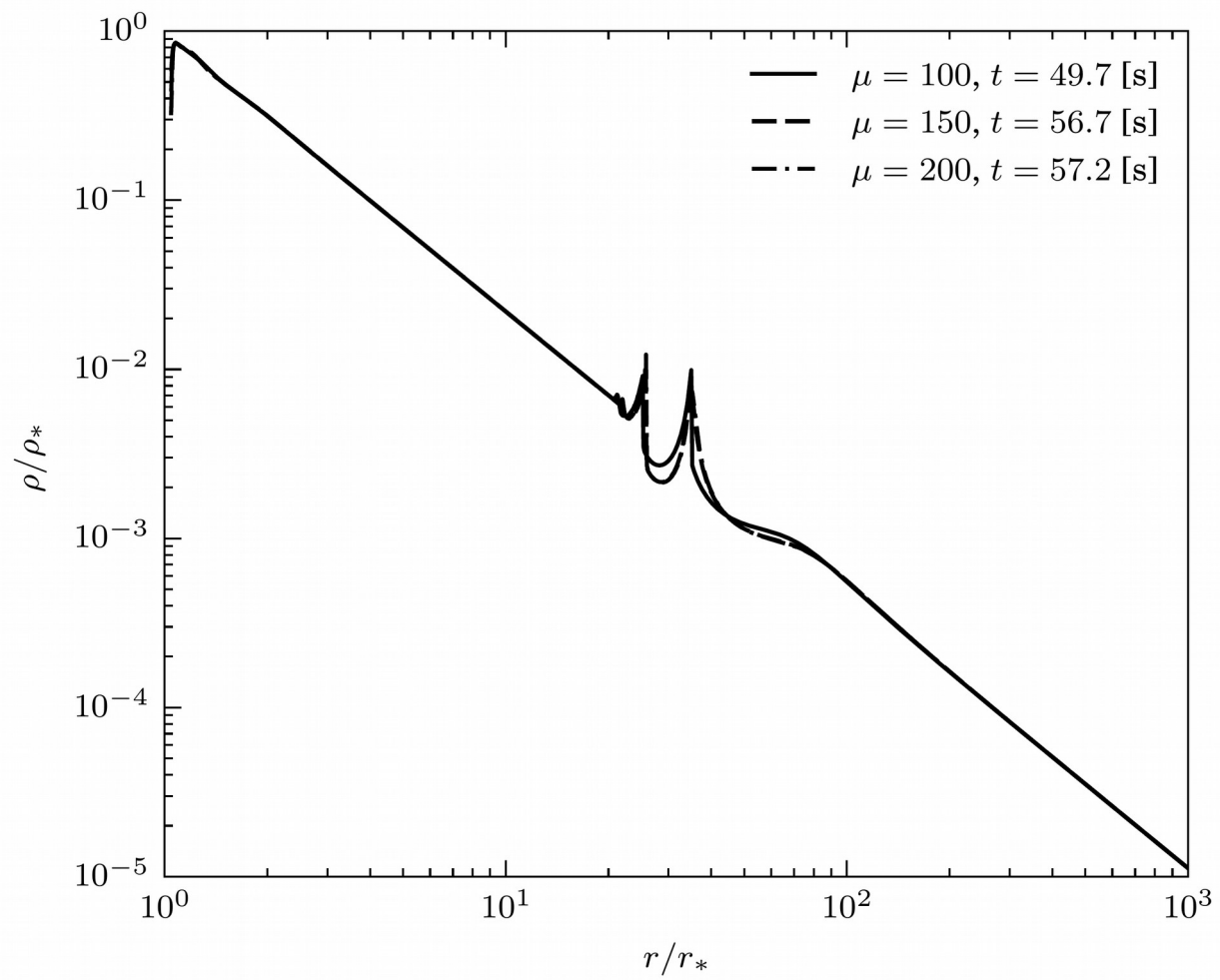
$$\frac{\partial E}{\partial t} + v \frac{\partial E}{\partial r} + \frac{P}{\rho} \frac{1}{r} \frac{\partial(rv)}{\partial r} = 0$$

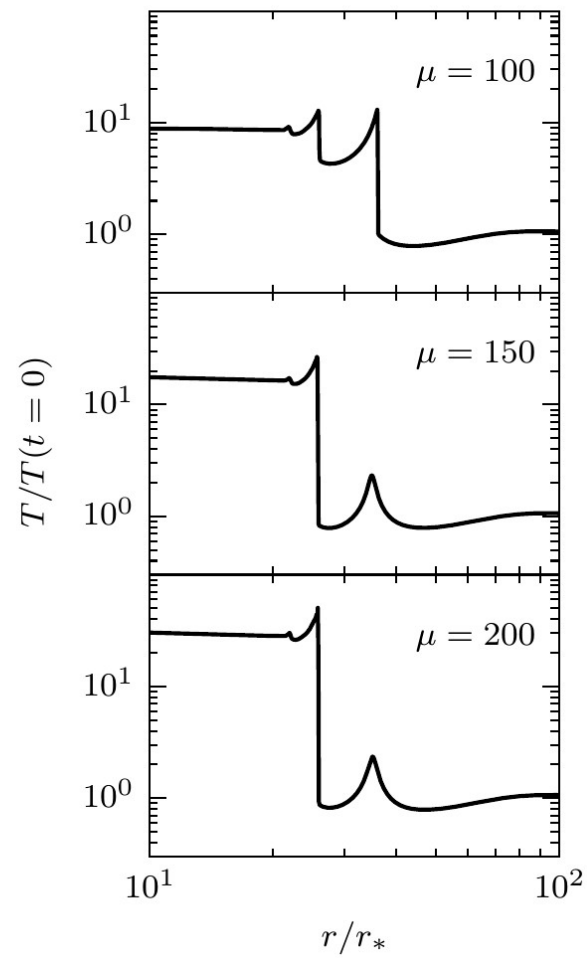
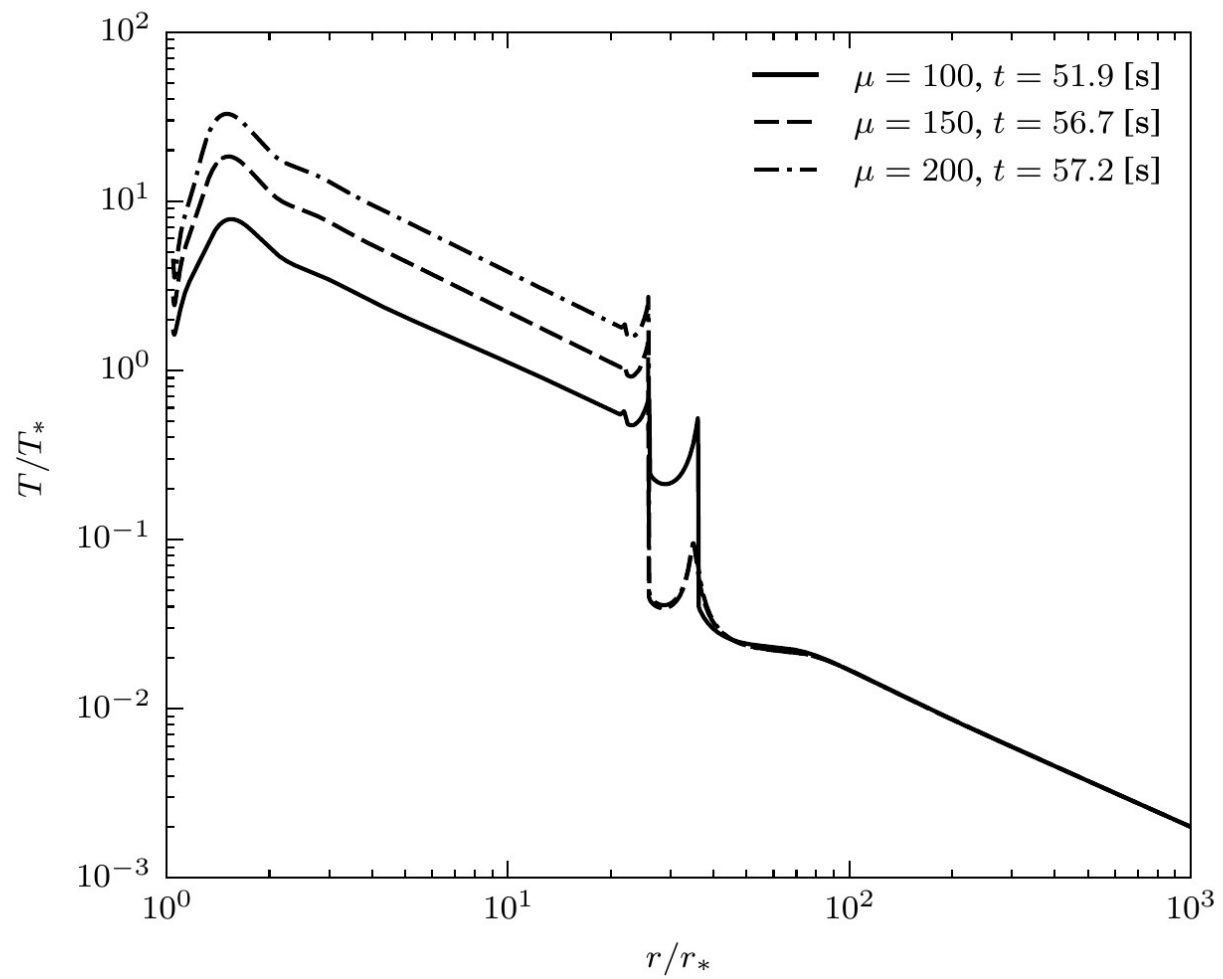
$$P = A\rho T \quad E = \frac{AT}{\gamma - 1}$$

$$\rho_0 = \rho_* (r/r_*)^{-1.65} \quad T_0 = T_* (r/r_*)^{-0.9}$$

$$L_0 = r_* c_* [\mu^2 - 2.55(r/r_*)^{0.1}]^{0.5} (r/r_*)^{0.5}$$

$$\xi = 0.05 \quad \mu = 100, 150, 200$$





μ	T_* [K]	$T/T(t=0)$
100	$2.7 \cdot 10^7$	7.5
150	$1.2 \cdot 10^7$	15.5
200	$0.43 \cdot 10^7$	27

$$\frac{T}{T|_{t=0}} \approx 27 \left(\frac{\mu}{200} \right)^2$$

Оптическая толщина диска:

$$\tau = (\sigma_{\text{ff}} + \sigma_T) \Sigma \gtrsim 10^5 \quad \sigma_T \gg \sigma_{\text{ff}}$$

Приближение лучистой теплопроводности:

$$T^4 \approx \frac{3\tau}{8} T_s^4 \quad \Rightarrow \quad \frac{T_s}{T} \lesssim 0.1$$

Условия для наступления конвекции?

Изэнтропический градиент температуры:

$$\frac{T}{T_s} = \left(\frac{\rho}{\rho_s} \right)^{5/3-1}$$

Вертикальный градиент плотности:

$$\frac{\rho}{\rho_s} \approx 2 \quad \Rightarrow \quad \frac{T_s}{T} \approx 0.625$$

Эффективность конвекции:

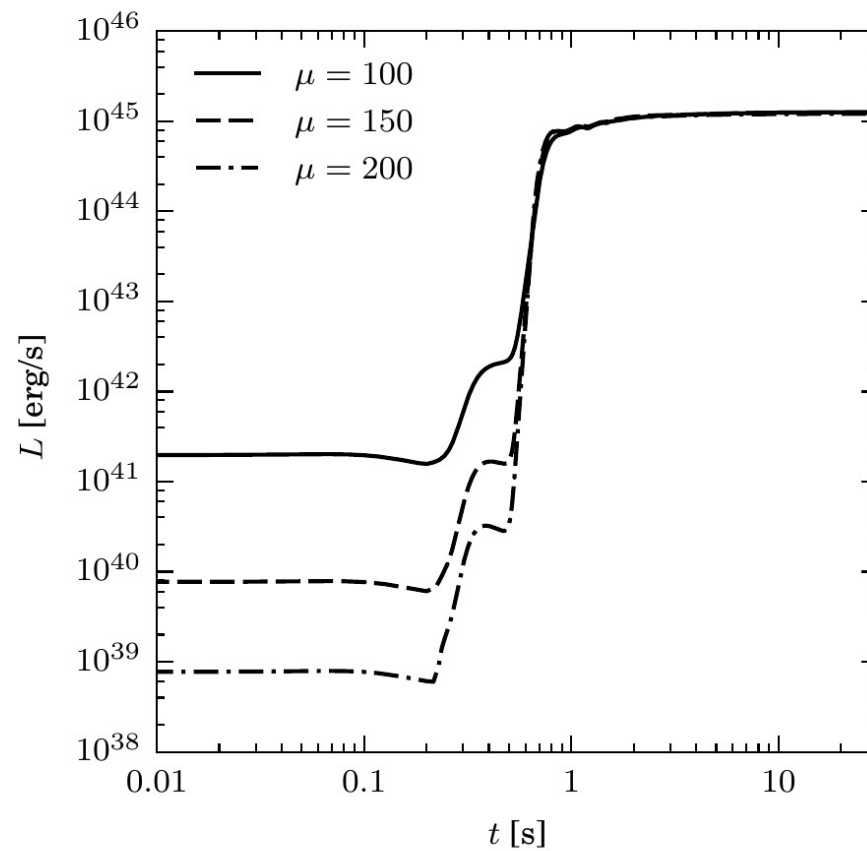
Мы берём:

$$\frac{t_{\text{rad}}}{t_{\text{conv}}} \approx 4 \left(\frac{T}{10^7 \text{ K}} \right)^{1/2}$$

$$T_s = \frac{T}{2}$$

$$L = 2\pi \int_{r_*}^{\infty} dr \, r \, \sigma_{\text{SB}} T_{\text{s}}^4(r) \qquad \frac{L}{L|_{t=0}} \approx 5 \cdot 10^5 \left(\frac{\mu}{200} \right)^8$$

$$t_{\text{cool}} \approx (14 \text{ мин}) \left(\frac{\mu}{200} \right)^2$$



Вспышка от ударной волны приводит к росту светимости на 4 — 6 порядков, до 10^{45} эрг/с (-23.8^m).

При расстоянии до источника 540 Мпк вспышка в максимуме спектра составит -13^m — -14^m . Основной поток излучения лежит в жёстком рентгеновском диапазоне и доступен для наблюдения на обсерваториях XMM-Newton (EPIC) и Спектр-РГ (eROSITA).

Что не учли

- Давление излучения
 - Особенно важно за ударной волной
 - Излучение повышает теплоёмкость среды — нужно больше энергии для роста температуры
- Расширение газа в вертикальном направлении
 - Адиабатическое охлаждение
 - Возможны неустойчивости

Модель с давлением излучения

При температуре $T > 10^7$ К и плотности $\rho < 1$ г/см³ важно давление излучения:

$$P_g = A\rho T$$

$$E_g = \frac{AT}{\gamma - 1}$$

$$P_r = \frac{aT^4}{3}$$

$$E_r = \frac{aT^4}{\rho}$$

$$\beta = \frac{P_g}{P_g + P_r}$$

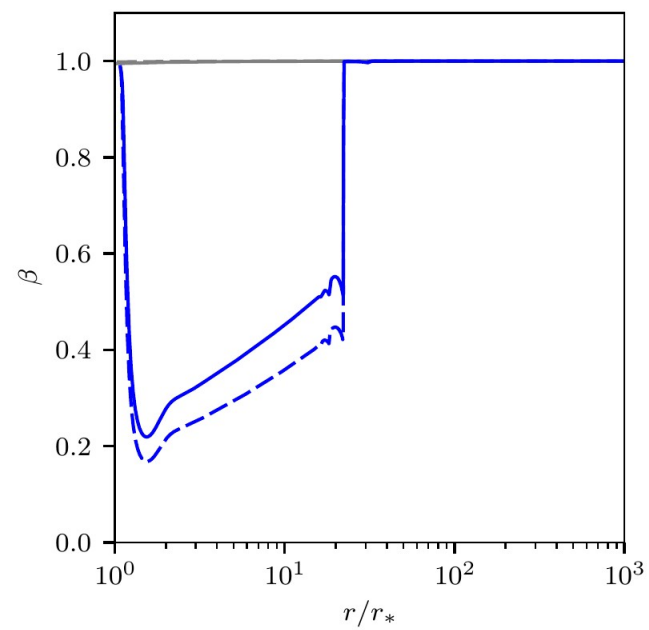
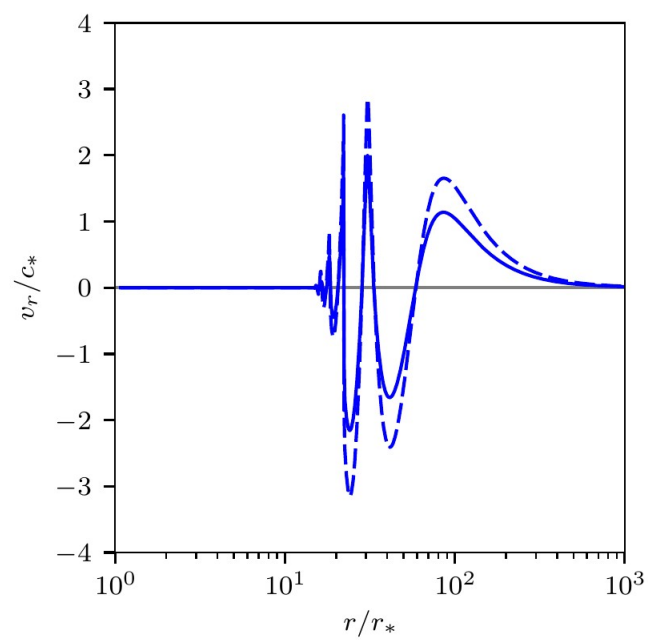
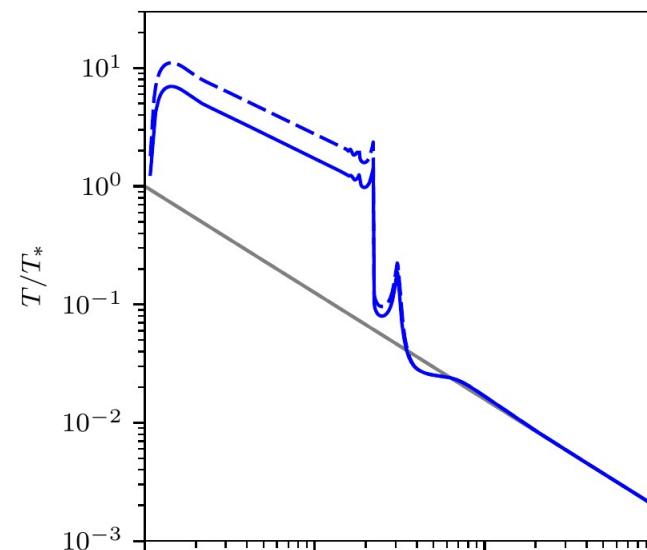
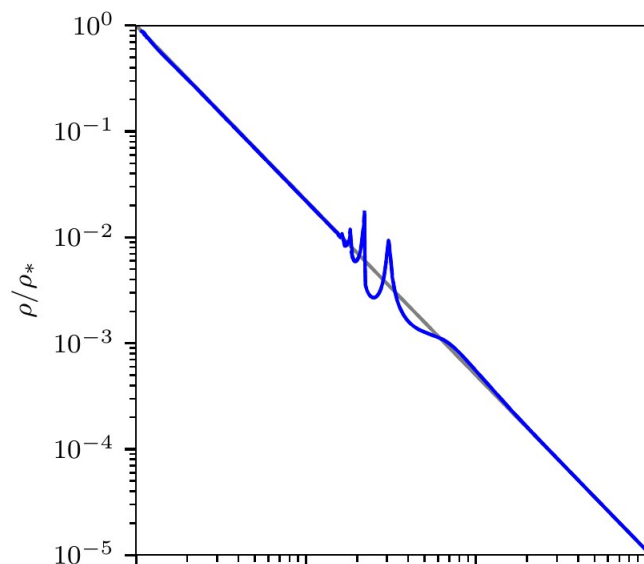
Механизм переноса тепла:

- $f_{ht} = 2$ — конвективный перенос
- $f_{ht} = 10$ — радиативный перенос

$$\frac{T}{T_s} \equiv f_{ht}$$

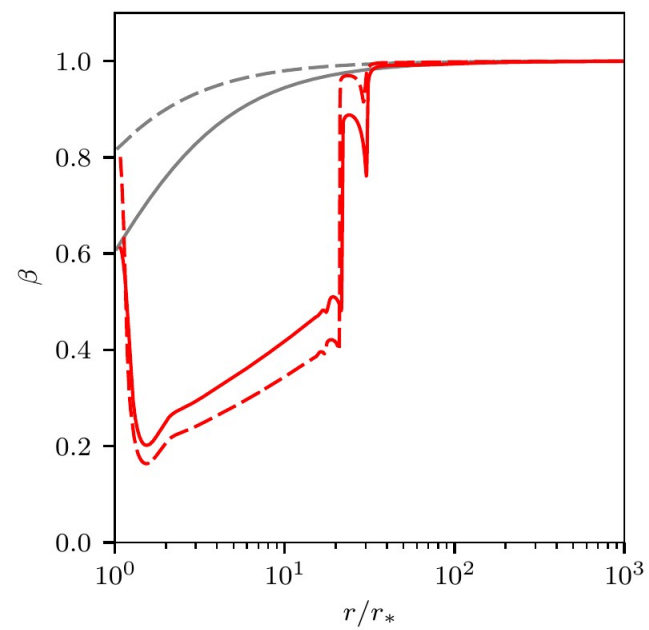
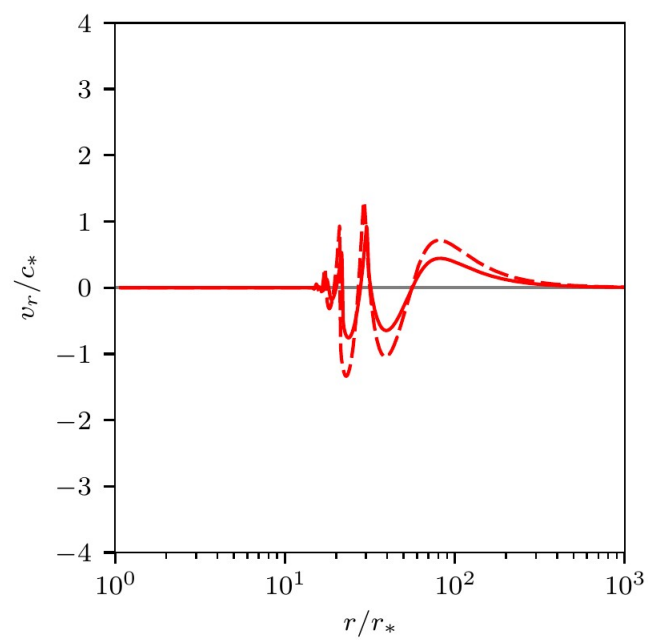
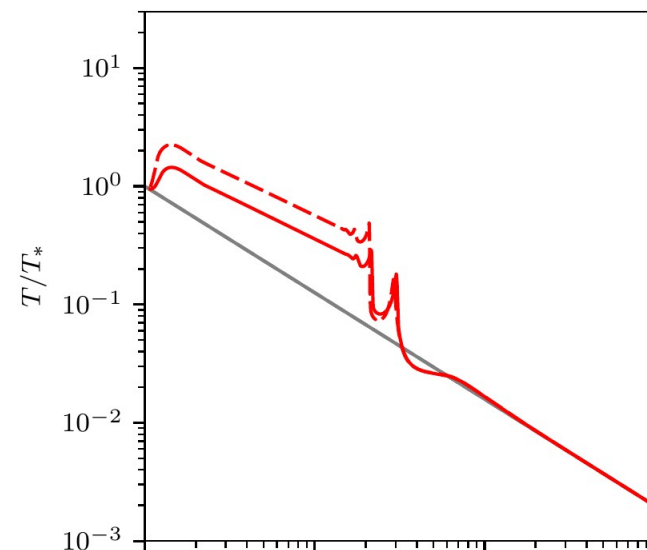
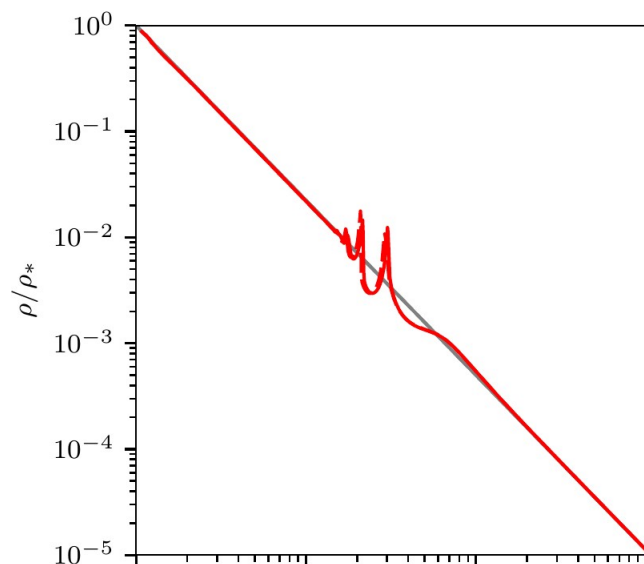
Конвективный диск

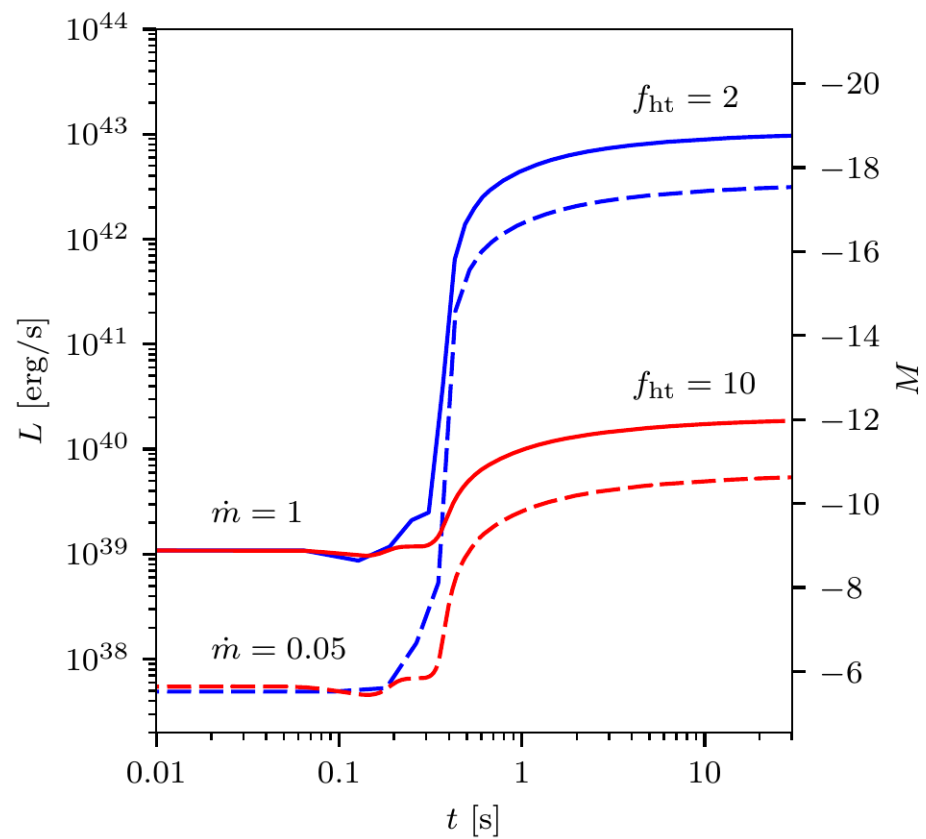
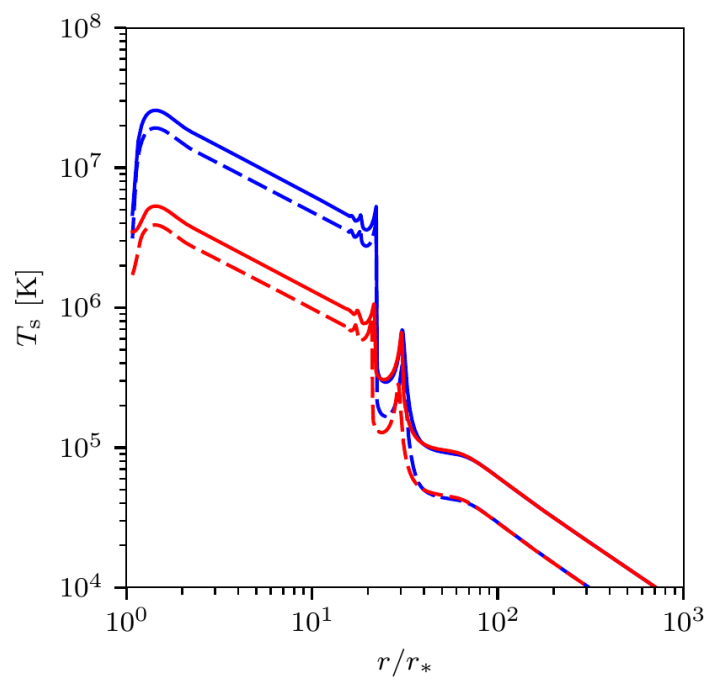
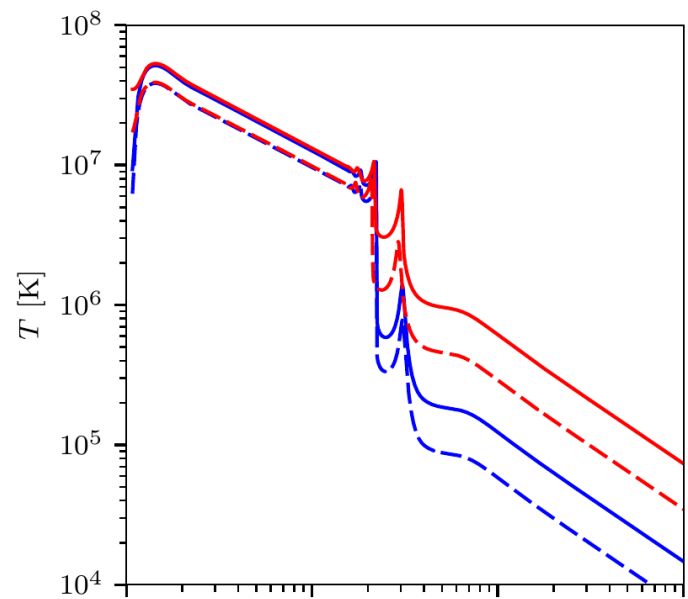
$$f_{\text{ht}} = 2$$



Радиативный диск

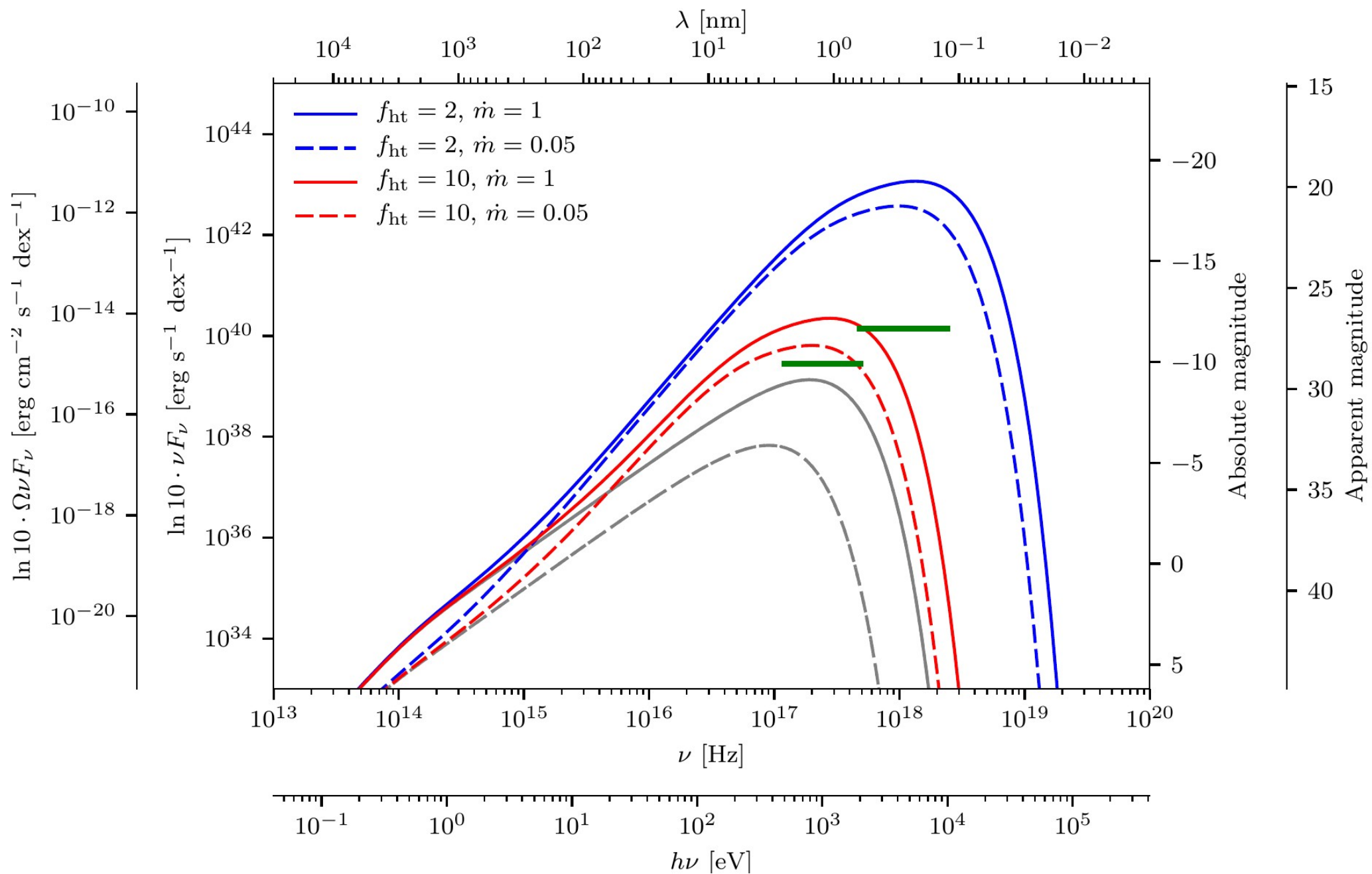
$$f_{\text{ht}} = 10$$





Характеристики численных моделей:

		$f_{\text{ht}} = 2$ (конвективный диск)		$f_{\text{ht}} = 10$ (радиативный диск)	
параметры	$\dot{m}$	0.05	1.0	0.05	1.0
	$\rho_*, \text{ г/см}^3$	0.35	1.2	0.35	1.2
	$T_*, \text{ К}$	3.5×10^6	7.4×10^6	1.7×10^7	3.7×10^7
	$c_*, \text{ см/с}$	2.4×10^7	3.5×10^7	5.9×10^7	1.0×10^8
	$t_*, \text{ с}$	6.8	4.7	2.7	1.6
	μ	278	191	112	67
	β	0.9982	0.9948	0.8128	0.6034
результаты	$\max(T), \text{ К}$	3.9×10^7	5.1×10^7	3.9×10^7	5.3×10^7
	$L, \text{ эрг/с}$	3.2×10^{42}	9.9×10^{42}	5.5×10^{39}	1.9×10^{40}
	$\min(\beta)$	0.1681	0.2190	0.1634	0.2016



Диски с радиативным механизмом теплопереноса имеют внутреннюю температуру в несколько раз выше, чем диски с конвективным переносом тепла. Ударный рост температуры в них ниже.

В конвективных дисках вспышка от УВ приводит к росту светимости на 4 — 5 порядков, до 10^{43} эрг/с (-19^m). Основной поток излучения лежит в мягком и жёстком рентгеновском диапазоне.

В радиативных дисках вспышка от УВ приводит к росту светимости на 1 — 2 порядка, до 2×10^{40} эрг/с (-12^m). Основной поток излучения лежит в мягком рентгеновском диапазоне.

Модель с расширением

$$\frac{d\rho}{dt} + \rho \left[\frac{1}{r} \frac{\partial(rv_r)}{\partial r} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right] = 0$$

$$\frac{dv_r}{dt} = \frac{v_\phi^2}{r} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial r} - (1 - \xi) \frac{GM}{r^2}$$

$$\frac{dv_\phi}{dt} = -\frac{v_r v_\phi}{r}$$

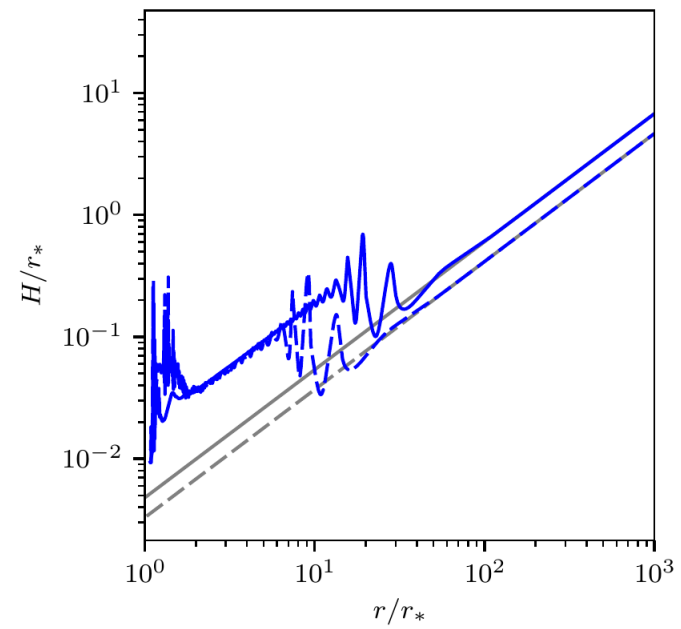
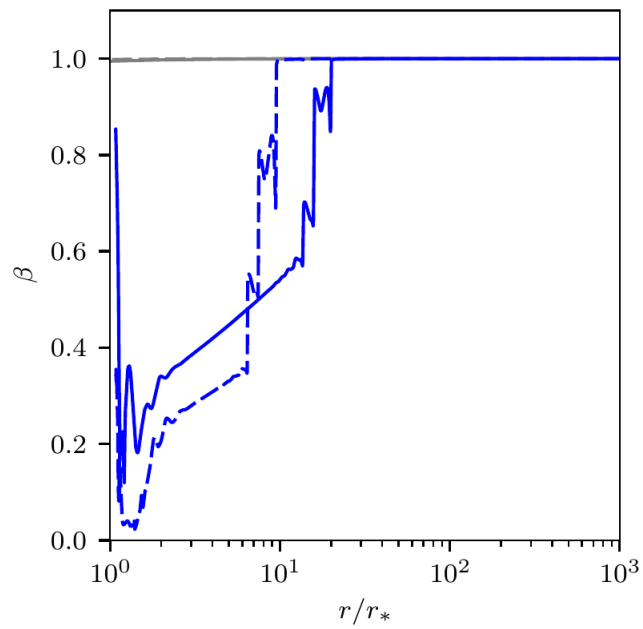
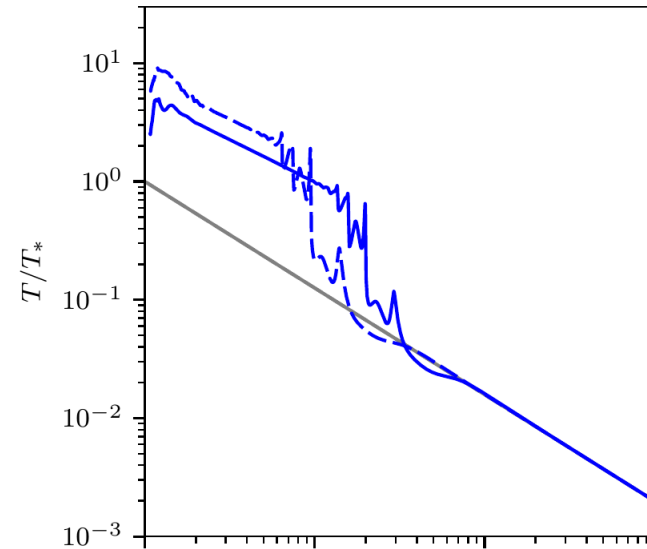
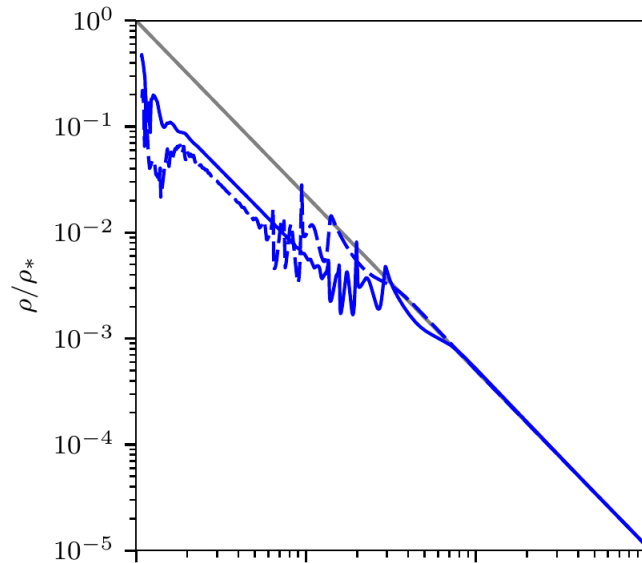
$$\frac{dE}{dt} + \frac{P}{\rho} \left[\frac{1}{r} \frac{\partial(rv_r)}{\partial r} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right] = 0$$

Однородное расширение и сжатие:

$$v_z = \psi z \quad \frac{dH}{dt} = \psi H \quad \frac{\partial v_z}{\partial z} = \psi$$
$$\frac{d\psi}{dt} = \frac{P}{\rho H^2} - (1 - \xi) \frac{GM}{r^3}$$

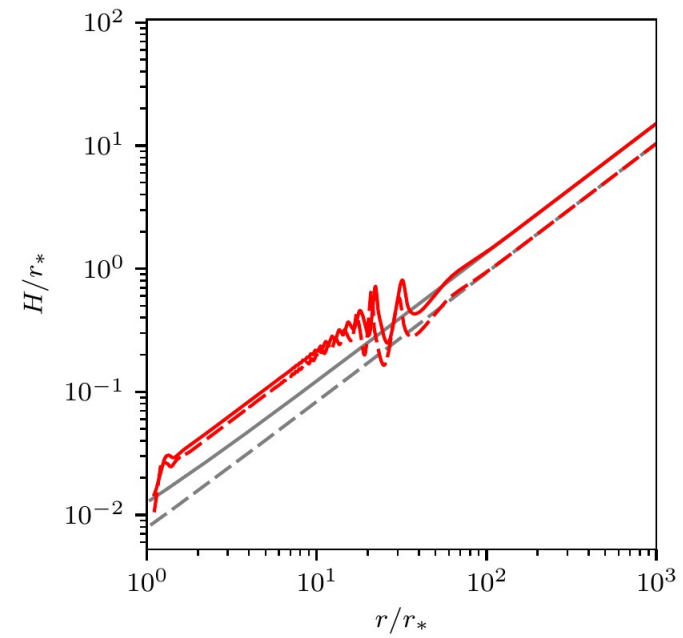
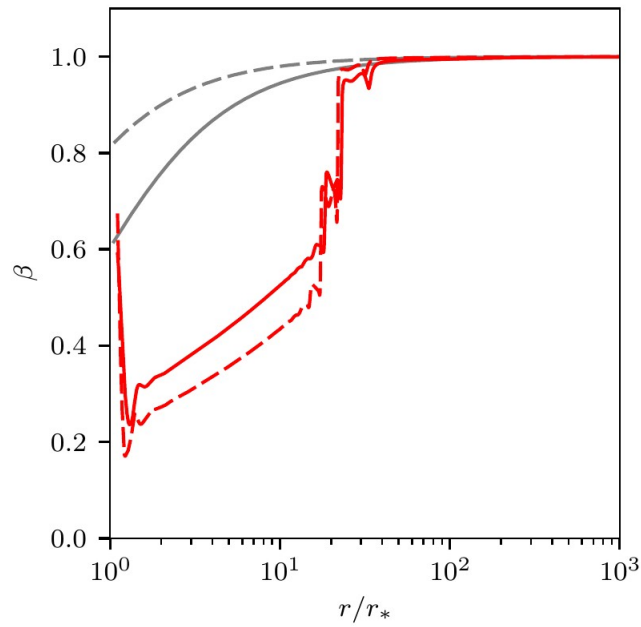
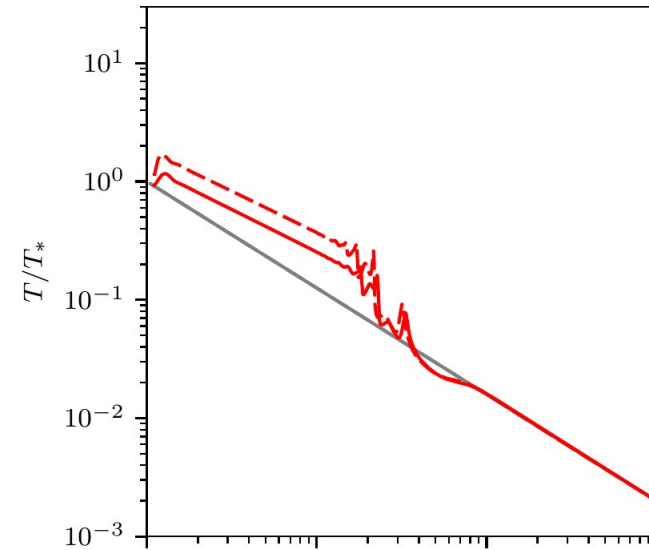
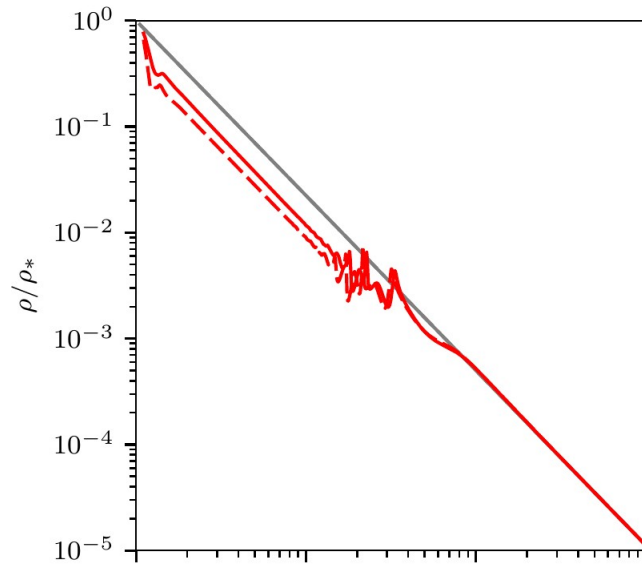
Конвективный диск

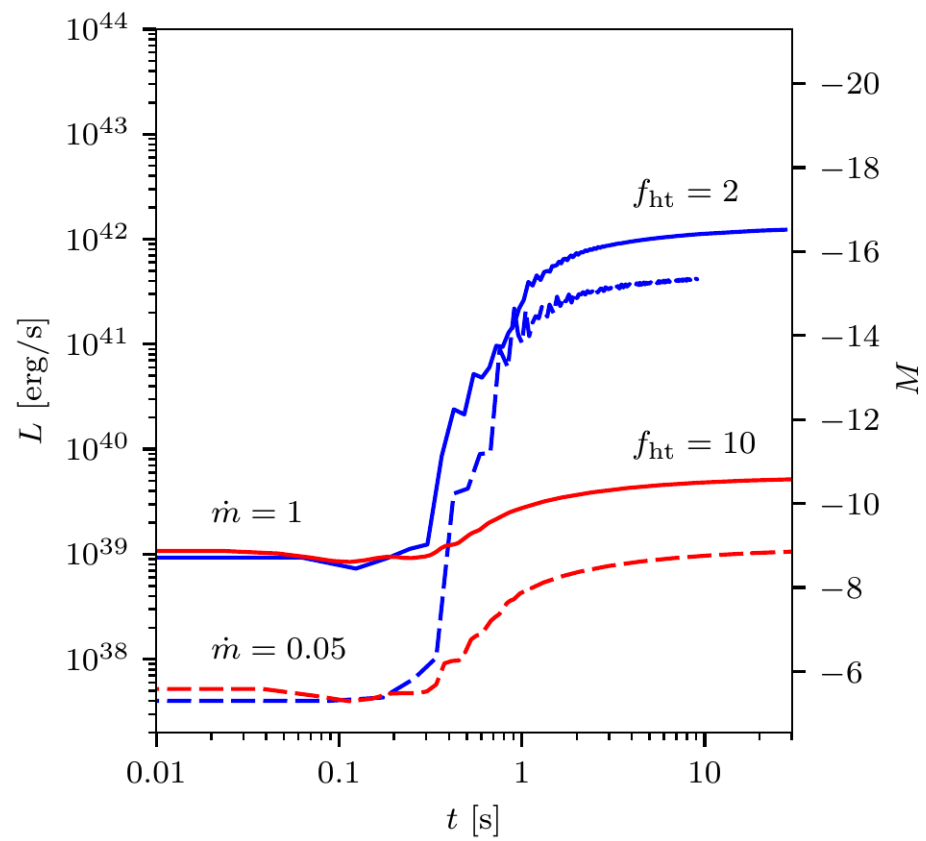
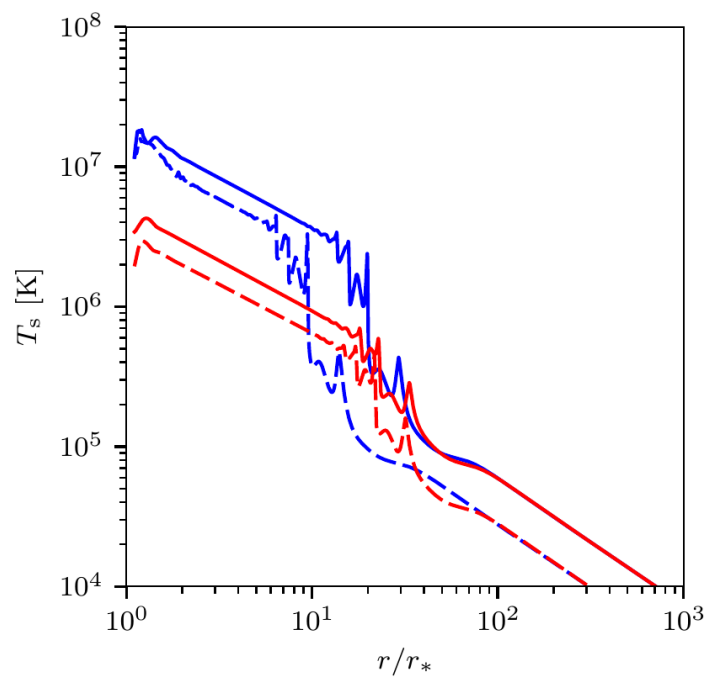
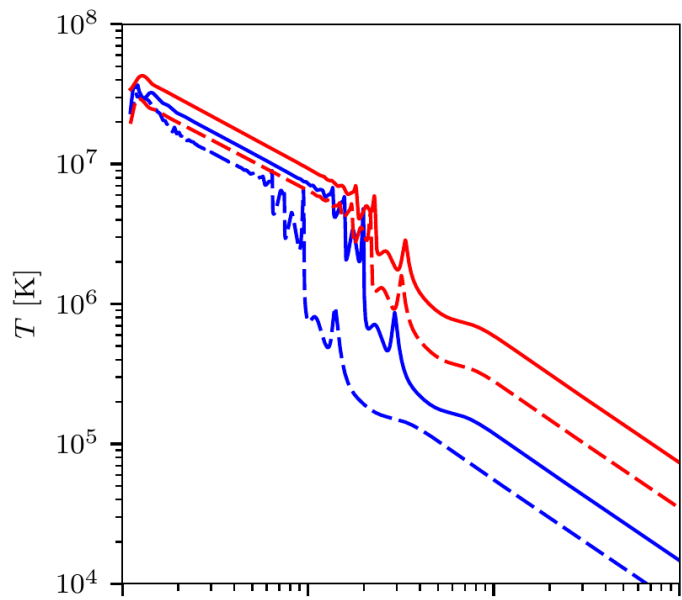
$$f_{\text{ht}} = 2$$

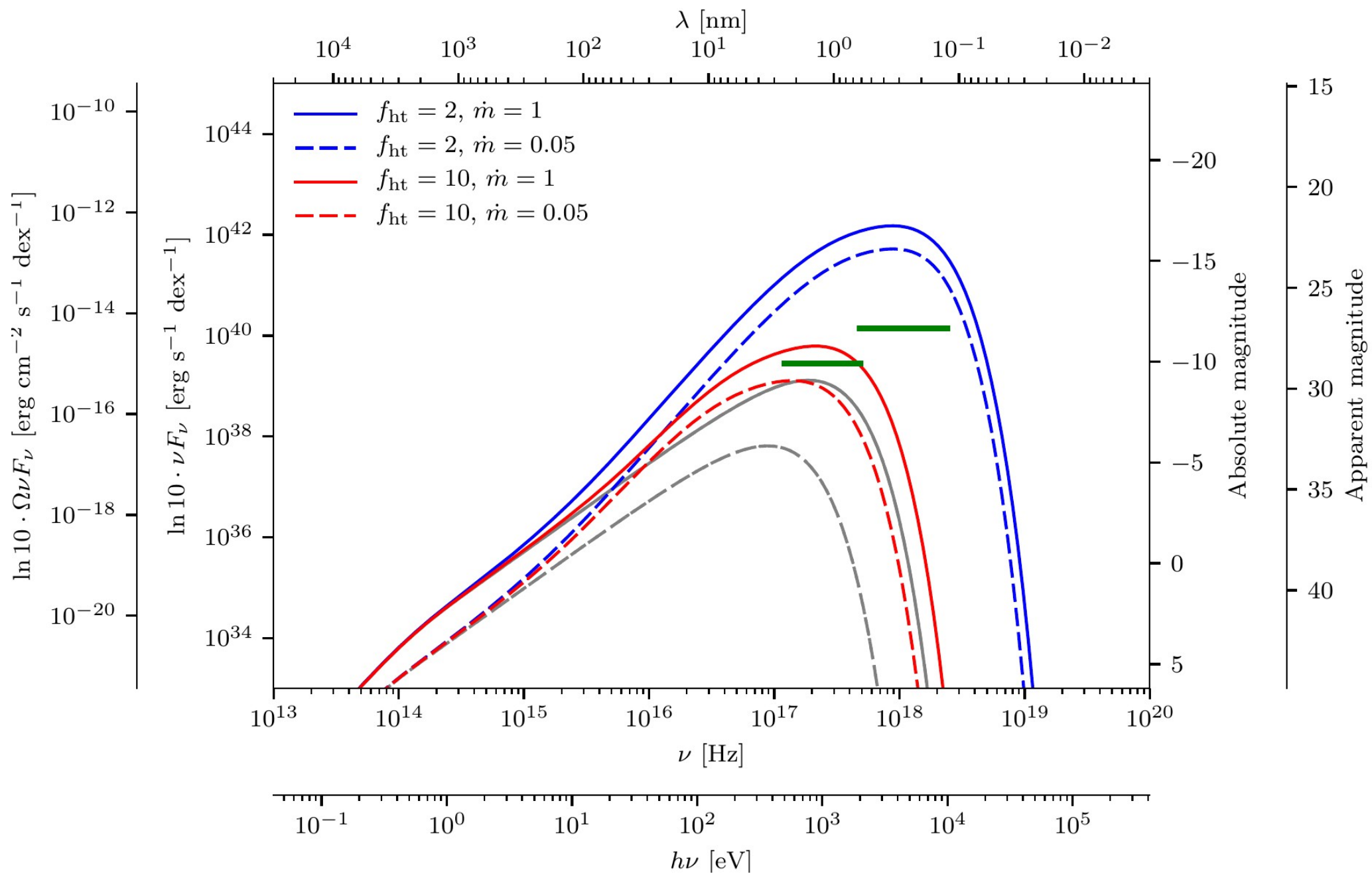


Радиативный диск

$$f_{\text{ht}} = 10$$







Учёт вертикальной степени свободы приводит к дополнительному, адиабатическому охлаждению газа.

В конвективных дисках вспышка от УВ приводит к росту светимости на 2.5 — 3 порядка, до 2×10^{42} эрг/с (-16.5^m). Основной поток излучения лежит в мягком и жёстком рентгеновском диапазоне.

В радиативных дисках вспышка от УВ приводит к росту светимости на 1 — 1.5 порядка, до 5×10^{39} эрг/с (-11^m). Основной поток излучения лежит в мягком рентгеновском диапазоне. Для наблюдения дисков с докритическим темпом аккреции потребуется более длительная экспозиция.

Заключение

- Потеря 5% массы аккректора нарушает равновесие в конвективном диске. Возникают сильные возмущения и ударные волны.
- Светимость диска возрастает на 3–5 порядков величины, до 10^{43} эрг/с.
- Максимум потока лежит в мягком рентгеновском (радиативные диски) или жёстком рентгеновском (конвективные диски) диапазоне спектра.
- Длительность вспышки — десятки секунд.
- Вспышка доступна для наблюдения на обсерваториях XMM-Newton (EPIC) и Спектр-РГ (eROSITA).