

Релаксация колебаний доменной стенки

Куракин А.А. М18-115

Цели работы

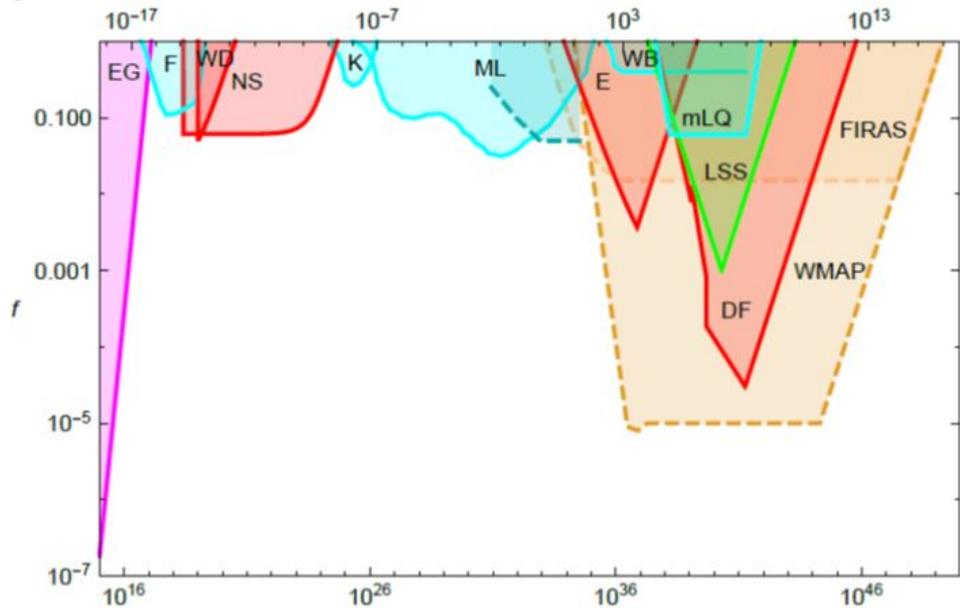
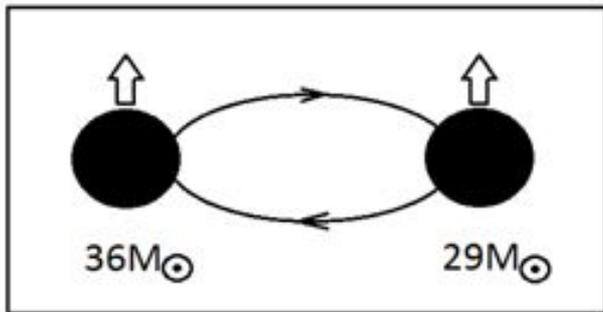
В работе рассматривается процесс диссипации кинетической энергии колеблющейся доменной стенки в результате взаимодействия стенки с плазмой

Промежуточная цель работы

- Рассчитать скорость передачи энергии от доменной стенки окружающей горячей плазме
- Провести расчет замедления доменной стенки

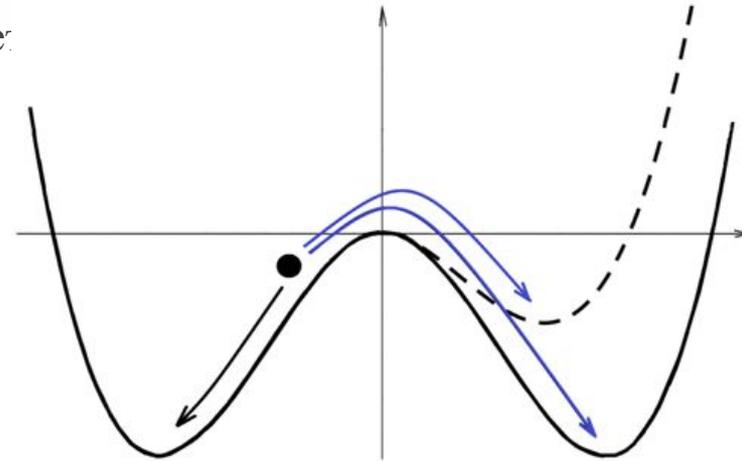
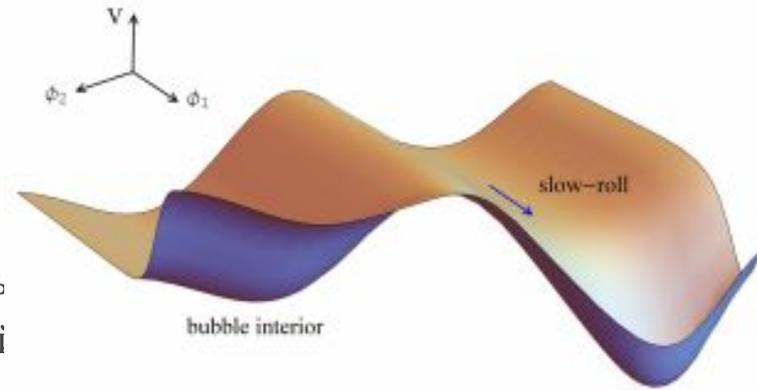
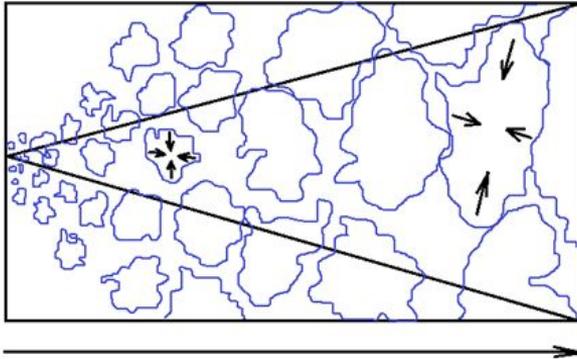
Свидетельства в пользу ПЧД

- Сверхмассивные черные дыры
- LIGO: слияние двух ЧД массами $\sim 30 M_{\odot}$ с нулевыми спинами
- Микролинзирование
-



Образование РВН

- В результате фазовых переходов (ФП) во время и после инфляционной стадии происходит образование замкнутых доменных стенок, отделяющих друг от друга дискретный набор вакуумов.
- Образовавшаяся несферизованная стенка эволюционирует: при взаимодействии с горячей плазмой происходит диссипация кинетической энергии стенки.



Взаимодействие стенки с фермионами

Взаимодействие доменной стенки с фермионами описывается следующим членом лагранжиана [Khlopov M. Y., Rubin S. G. Cosmological pattern of microphysics in the inflationary universe]

$$L_{int} = \kappa J_z \partial_z \chi(z.t)$$

где

$$J_\mu = \bar{\psi} \gamma_\mu \psi - \text{спинорный ток; } \chi(z, t) = -4f \operatorname{arctg} \left(\exp \left[\frac{\Lambda^2}{f} \gamma(z + ut) \right] \right)$$

$$M = \langle k' | \int L_{int} d^4x | k \rangle - \text{матричный элемент}$$

Скорость передачи энергии от единицы площади стенки

$$\Delta E = \int V dn(\mathbf{k}) \frac{|M|^2}{ST} \frac{V d^3k'}{(2\pi)^3} \frac{1}{4V^2 E E'} (E' - E)$$

Результаты расчета

Матричный элемент

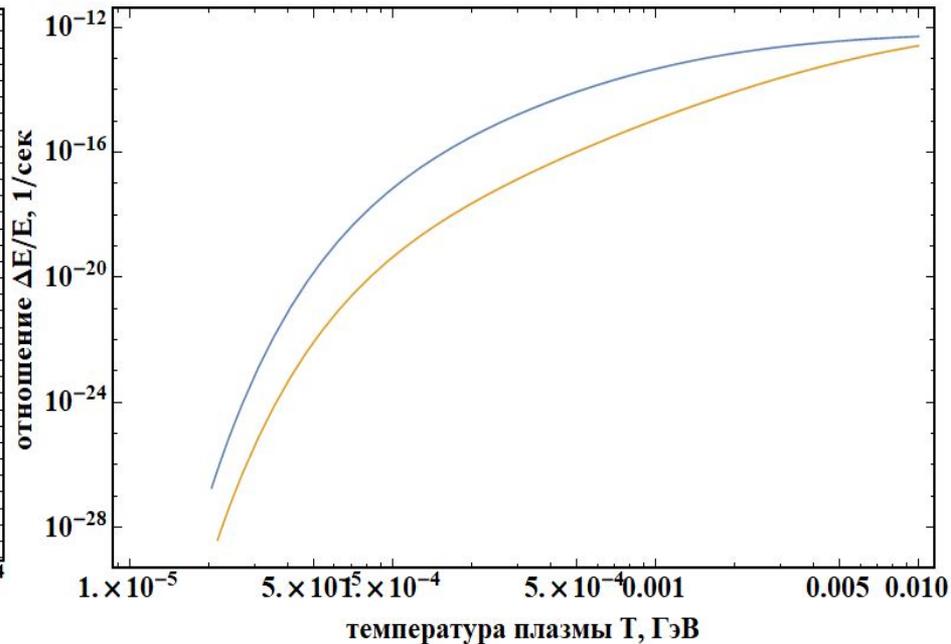
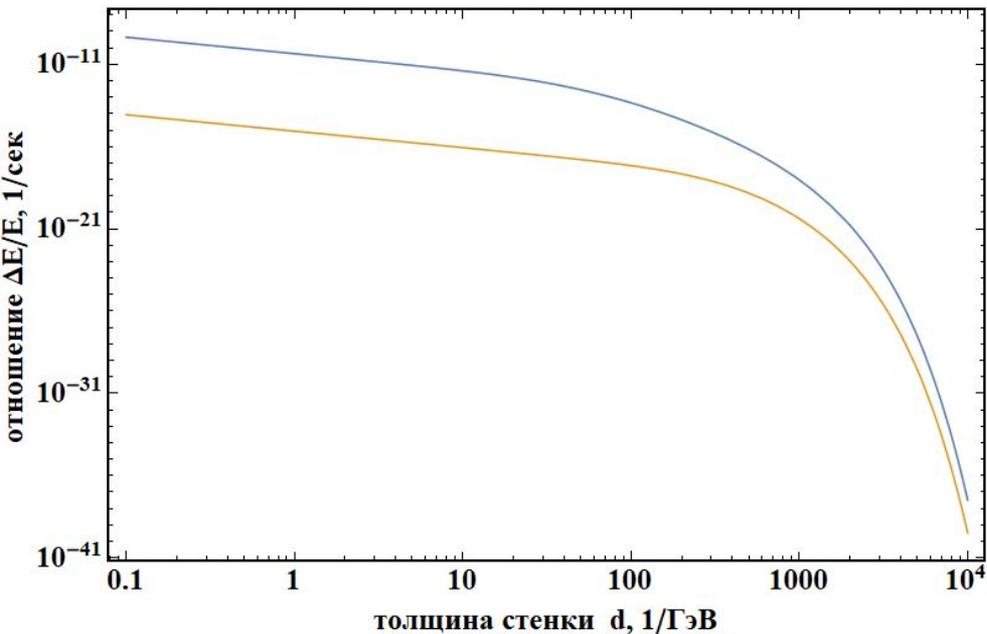
$$|M|^2 = (2\pi)^6 \overline{|\bar{u}(\mathbf{k}')\gamma_3 u(\mathbf{k})|^2} \delta^{(2)}(\mathbf{q}_{\parallel}) \delta(E' - E + uq_z) ST \frac{1}{\text{ch}^2\left(\frac{q_z \pi d}{\gamma}\right)}$$

где $\overline{|\bar{u}(\mathbf{k}')\gamma_3 u(\mathbf{k})|^2} = 2[2k_3 k'_3 + (k, k') - m^2] = 2[EE' - k_{\parallel} k'_{\parallel} + k_3 k'_3 - m^2]$

Скорость передачи энергии

$$\Delta E = C \int \frac{\pi k_{\parallel} dk_{\parallel} dk_z}{E(\mathbf{k})} \exp\left(-\frac{E}{T}\right) \cdot$$
$$\cdot \left[E(\mathbf{k}) \sqrt{k_{z(1)}'^2 + k_{\parallel}^2 + m^2} - k_{\parallel}^2 + k_z k_{z(1)} - m^2 \right] \cdot$$
$$\cdot \frac{\left(\sqrt{k_{z(1)}'^2 + k_{\parallel}^2 + m^2} - E(\mathbf{k}) \right)}{\left| k'_{z(1)} + u \sqrt{k_{z(1)}'^2 + k_{\parallel}^2 + m^2} \right|} \text{ch}^{-2} \left(\frac{(k'_{z(1)} - k_z) \pi d}{\gamma} \right)$$

Скорость передачи энергии в зависимости от толщины и скорости



Прозрачность для барионов

$$\Delta E = C \int \frac{d^3 k d^3 k'}{4EE'} \exp\left(-\frac{E(\mathbf{k})}{T}\right) 2[EE' - k_{\parallel}k'_{\parallel} + k_z k'_z - m^2] \cdot \delta^{(2)}(\mathbf{q}_{\parallel}) \delta(E' - E - uq_z) \frac{1}{\text{ch}^2\left(\frac{q_z \pi d}{\gamma}\right)} (E' - E)$$

Для барионов ($m \sim \text{ГэВ}$)

$$\left(\cosh \frac{d(k'_z - k_z)}{\gamma}\right)^{-2} \sim \exp\left(2 \frac{d(k'_z - k_z)}{\gamma}\right) \\ \sim \exp(-2.3d \cdot m) \sim \exp(-2.3 \cdot 100 \text{ ГэВ}^{-1} \cdot 1 \text{ ГэВ}) = \exp(-230)$$

Для электронов ($m \sim \text{МэВ}$)

$$\exp(-2.3 \cdot d \cdot m) \sim \exp(-230 \cdot 0.5 \cdot 10^{-3}) = \exp(-0.115)$$

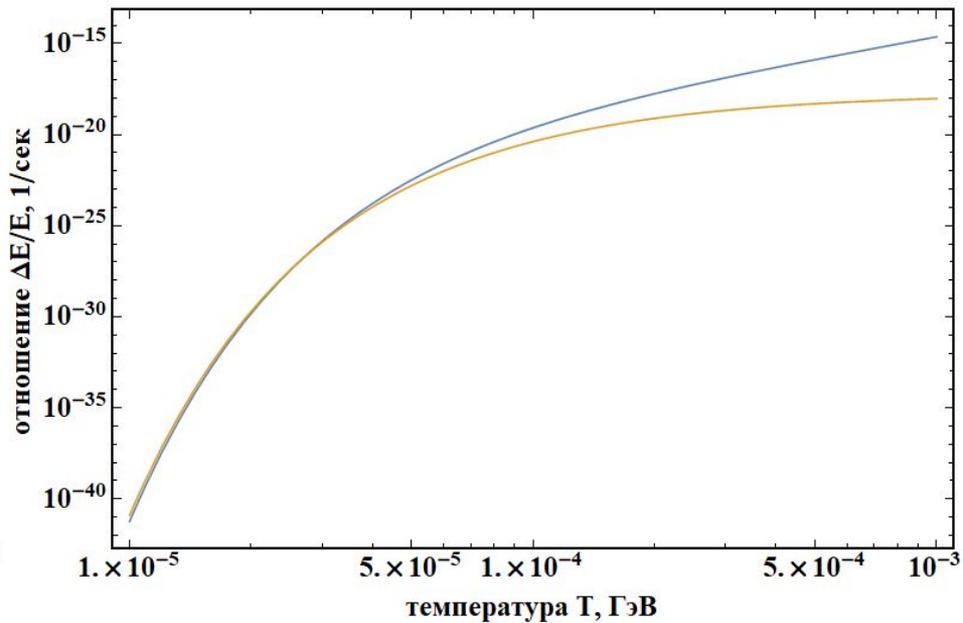
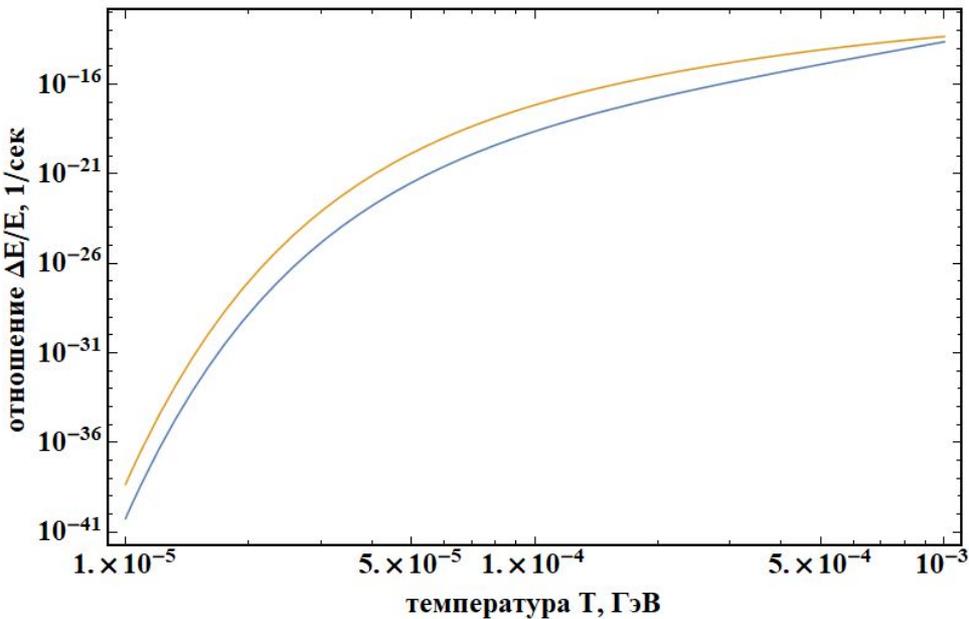
Оценка скорости передачи энергии

Проведем оценку скорости передачи энергии в предположении, что

- стенка является полностью отражающей;
- поток частиц моноэнергетичен и нормален к элементу поверхности стенки

$$dE/dt \sim [E'(T) - E(T)] \cdot n_{tot} \cdot v_{rel}$$

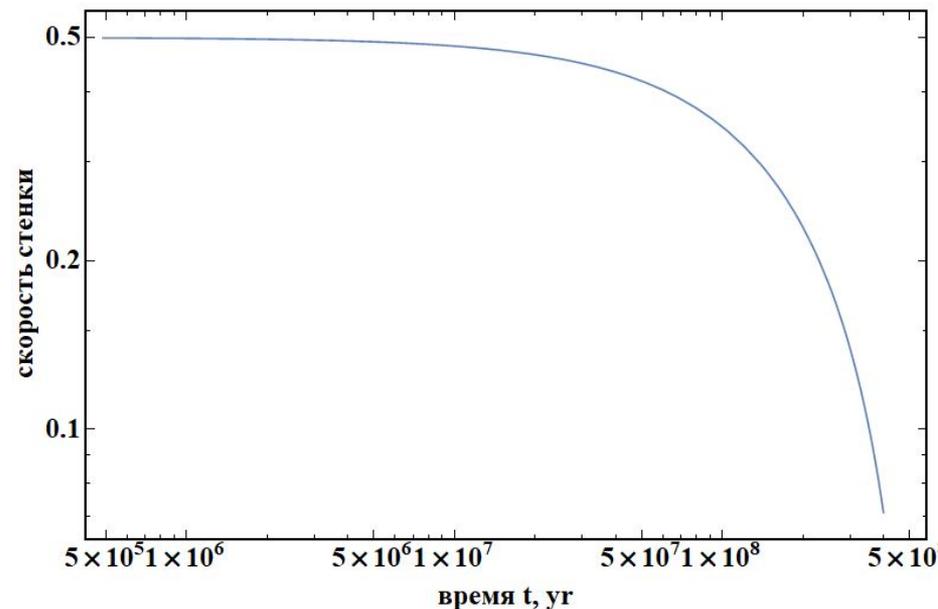
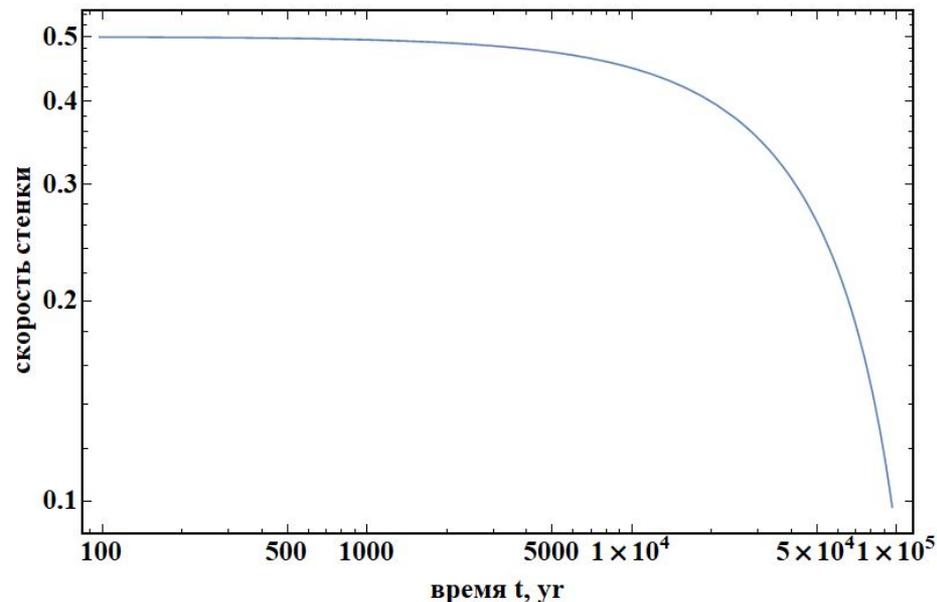
Сравнение оценок с более точным расчетом



толщина стенки $d = 100$ 1/ГэВ (слева), $d = 1000$ 1/ГэВ

Скорость доменной стенки

Замедление стенки определим из уравнения: $\frac{d}{dt} \frac{M}{\sqrt{1-u^2}} = -[E'(T) - E(T)] \cdot CT^3 \cdot v_{rel}$



T = 1 МэВ (слева), T = 100 кэВ (справа)

Заключение

Проведен расчет скорости передачи энергии от единицы площади доменной стенки плазме в зависимости от

- температуры
- толщины
- скорости стенки.

Рассчитано торможение доменной стенки при фиксированной температуре кластера (горячей области)