Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

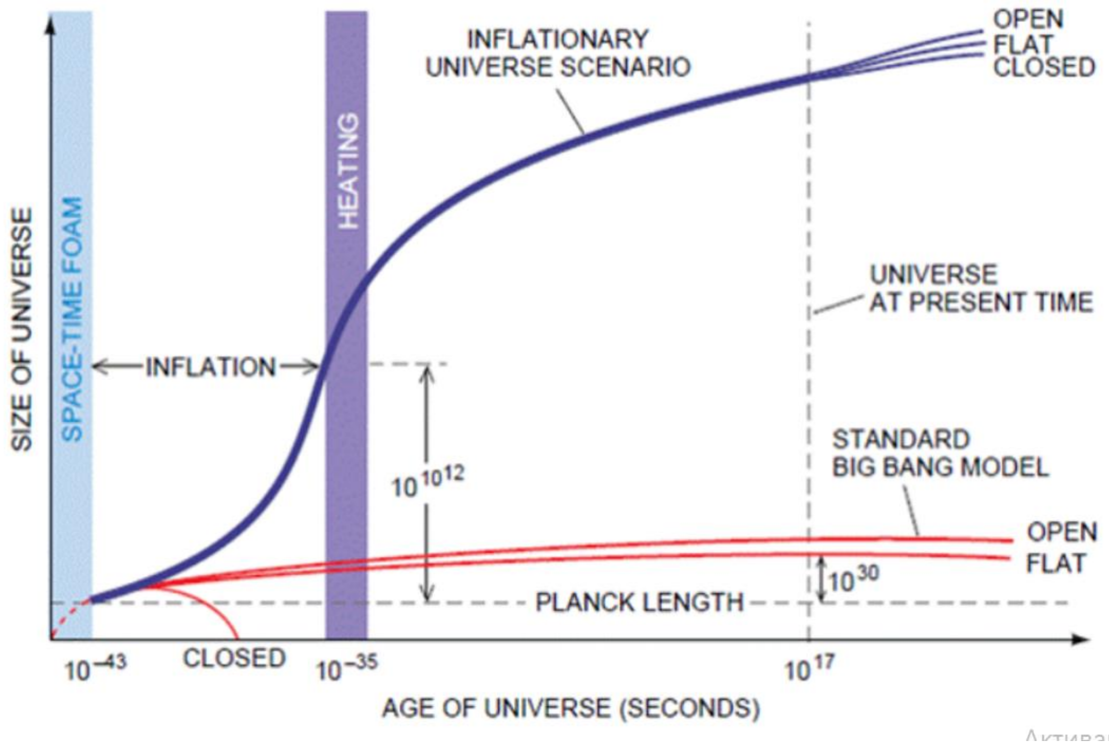
ПРОЯВЛЕНИЕ АКСИОНОПОДОБНЫХ МОДЕЛЕЙ

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ: Д. Ф. –М. Н., ПРОФЕССОР М. Ю. ХЛОПОВ

ВЫПОЛНИЛ: СТУДЕНТ ГРУППЫ Б19 -102 УЛЬМАСКУЛОВЭРИК МАРАОВИЧ

Москва 2023

ИНФЛЯЦИОННАЯ МОДЕЛЬ



Инфляционная теория —один из главных кандидатов на роль теории, описывающей эволюцию ранней Вселенной.

Инфлатон

$$S = \int d^4x \sqrt{-g} \left(\frac{1}{2} g^{\mu\nu} \partial_\mu \phi \partial_\nu \phi - V(\phi) \right)$$

$$H^2 = \frac{8\pi G\rho}{3M_{pl}^2} = \frac{8\pi G}{3M_{pl}^2} \left(\frac{1}{2} \left(\dot{\phi} \right)^2 + V(\phi) \right)$$

$$\ddot{\phi} + 3H\dot{\phi} = -\frac{\partial V}{\partial \phi}$$

$$H\dot{\phi} \sim V'$$

$$\epsilon_V = \frac{M_{pl}^2}{16\pi} \left(\frac{V'}{V} \right)^2 \ll 1$$

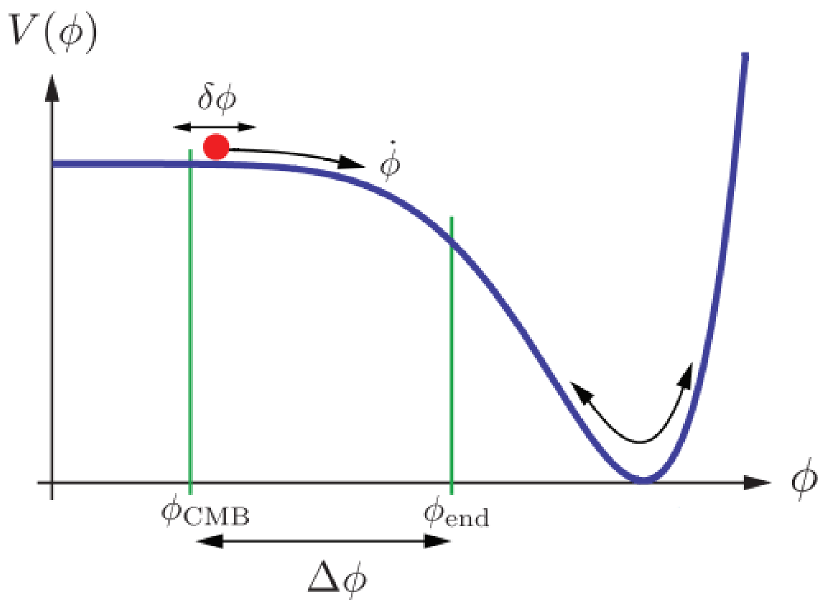
$$\rho = \frac{1}{2} \left(\dot{\phi} \right)^2 + V(\phi)$$

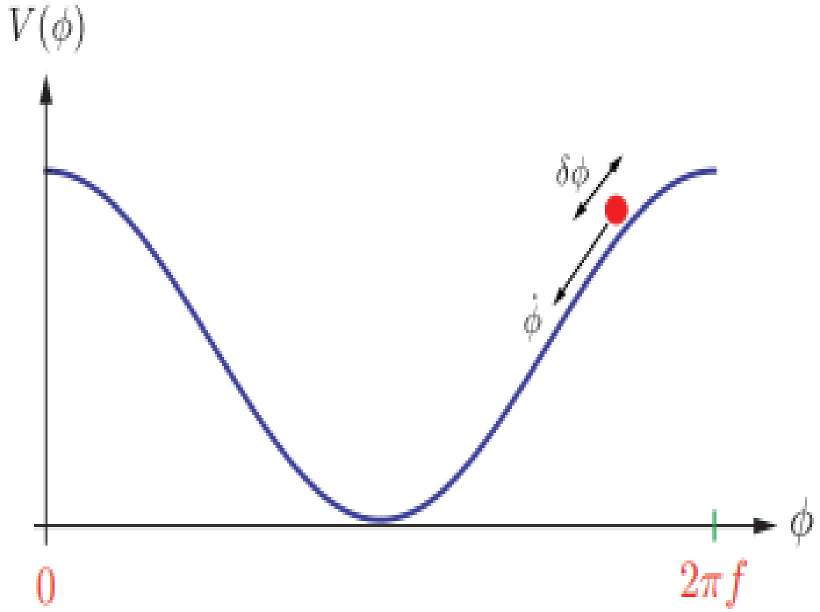
$$p = \frac{1}{2} \left(\dot{\phi} \right)^2 - V(\phi)$$

$$\left(\dot{\phi} \right)^2 \ll V(\phi)$$

$$\eta = \frac{M_{pl}^2}{8\pi} \frac{V"}{V} \ll 1$$

Примеры потенциалов инфлатона





Аксион

$$\Delta L = \frac{\alpha_s}{8\pi}\theta\, G_{\mu\nu}\tilde{G}_{\mu\nu}$$

$$d_n \sim \theta 10^{-16} \cdot e \cdot \text{см}$$

$$d_n \lesssim 3 \cdot 10^{-26} \cdot e \cdot \text{см}$$

$$|\theta| \lesssim 0.3 \cdot 10^{-9}$$

Рассматриваемая модель

$$V(a) = -m_\pi^2 f_\pi^2 \sqrt{1 - \frac{4 m_u m_d}{(m_u + m_d)^2} sin^2 \left(\frac{a}{2 f_a}\right)}$$

Рассматривается модель, где аксион относится к скрытому сектору физики элементарных частиц. В данной модели он выполняет роль инфлатона, обеспечивающего инфляцию. В скрытом секторе присутствуют аналоги u и d кварков, которые не имеют зарядов, характерных u и d кваркам стандартной модели.

Рассматриваемая модель

$$n_s = 1 - 6\epsilon + 2\eta$$

$$r = 16\epsilon$$

где:

$$\epsilon = \frac{M_p^2}{2}\left(\frac{V_a(a)}{V(a)}\right)^2 = \frac{M_p^2}{2}\left(\frac{1}{2f_a}\right)^2 \left(\frac{\widetilde{V}_{\widetilde{a}}(\widetilde{a})}{\widetilde{V}(\widetilde{a})}\right)^2 < 1$$

$$\eta = M_p^2 \frac{V_{aa}}{V} = M_p^2 \left(\frac{1}{2f_a}\right)^2 \frac{\widetilde{V}_{\widetilde{a}\widetilde{a}}}{\widetilde{V}}$$

$$\widetilde{V}_{\widetilde{a}} = \frac{2R}{(R+1)^2}\frac{sin(2\widetilde{a})}{\sqrt{1-\frac{4R}{(R+1)^2}\,sin^2\widetilde{a}}}$$

$$\widetilde{V}_{\widetilde{a}\widetilde{a}} = \frac{2R}{(R+1)^2}\frac{2cos(2\widetilde{a})\sqrt{--//--}+\frac{2R}{(R+1)^2}\frac{sin(2\widetilde{a})\,sin(2\widetilde{a})}{\sqrt{--//--}}}{1-\frac{4R}{(R+1)^2}\,sin^2\widetilde{a}} =$$

$$= \frac{2R}{(R+1)^2}\frac{2cos(2\widetilde{a})-\frac{8R}{(R+1)^2}\,cos(2\widetilde{a})sin^2\widetilde{a}+\frac{2R}{(R+1)^2}\,sin^2(2\widetilde{a})}{\left(1-\frac{4R}{(R+1)^2}\,sin^2\widetilde{a}\right)^{\frac{3}{2}}} =$$

$$= \frac{2R}{(R+1)^2}\frac{2cos(2\widetilde{a})-\frac{4R}{(R+1)^2}\left(2cos(2\widetilde{a})sin^2\widetilde{a}+\frac{1}{2}\,sin^2(2\widetilde{a})\right)}{\left(1-\frac{4R}{(R+1)^2}\,sin^2\widetilde{a}\right)^{\frac{3}{2}}} =$$

$$= \frac{2R}{(R+1)^2}\frac{2cos(2\widetilde{a})-\frac{4R}{(R+1)^2}\left(cos(2\widetilde{a})-cos^2(2\widetilde{a})+\frac{1}{2}\,sin^2(2\widetilde{a})\right)}{\left(1-\frac{4R}{(R+1)^2}\,sin^2\widetilde{a}\right)^{\frac{3}{2}}} =$$

$$= \frac{2R}{(R+1)^2}\frac{2cos(2\widetilde{a})+\frac{2R}{(R+1)^2}\left(1-cos(2\widetilde{a})\right)^2}{\left(1-\frac{4R}{(R+1)^2}\,sin^2\widetilde{a}\right)^{\frac{3}{2}}}$$

Рассматриваемая модель

$$N(a) = \int_{a_{end}}^{a} \frac{d(a')}{\sqrt{2\epsilon}}$$

$$N_{tot} = \frac{N_0}{4} ln \frac{sin^2\widetilde{a}_{cmd}}{sin^2\widetilde{a}_{end}} \frac{(1 - sin^2\widetilde{a}_{cmd})^{B_0 - 1}}{(1 - sin^2\widetilde{a}_{end})^{B_0 - 1}} \approx 60$$

$$\left|\left| \text{Определим коэффиценты как } B_0 = \frac{4R}{(R+1)^2}; N_0 = \frac{4f_a}{B_0 M_{pl}} \right|\right|$$

$$\begin{cases} n_s\big|_{cmb} = 1 - 6\epsilon_{cmb} + 2\eta_{cmb} \\ r_{cmb} = 16\epsilon_{cmb} \\ \frac{N_0}{4} ln \frac{sin^2\widetilde{a}_{cmd}}{sin^2\widetilde{a}_{end}} \frac{(1 - sin^2\widetilde{a}_{cmd})^{B_0 - 1}}{(1 - sin^2\widetilde{a}_{end})^{B_0 - 1}} \approx 60 \\ \frac{M_{pl}^2}{2f_a^2} \frac{R^2}{(R+1)^4} \frac{sin^2 2\widetilde{a}_{end}}{\left(1 - \frac{4R}{(R+1)^2} sin^2\widetilde{a}_{end}\right)^2} = 1 \end{cases}$$

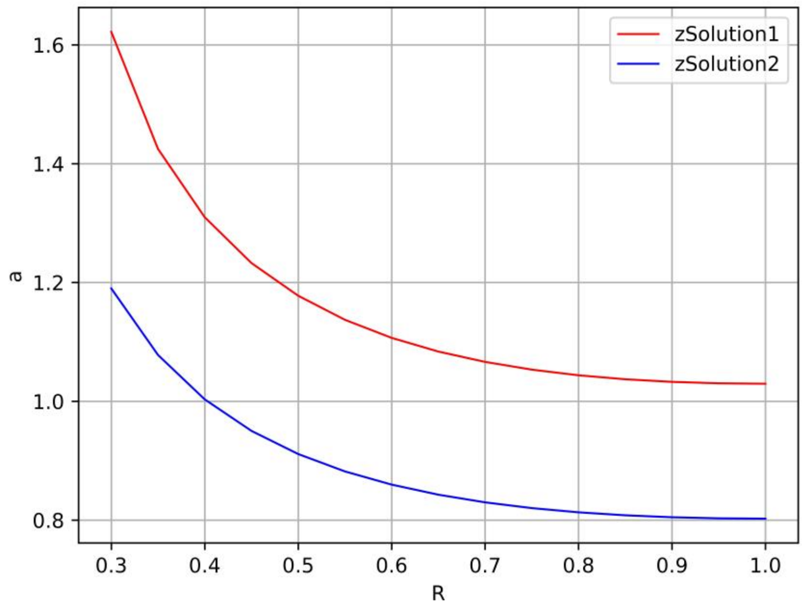
Рассматриваемая модель

Условие окончания инфляции, получаем уравнение на $\widetilde{a}_{end}$:

$$\epsilon(\widetilde{a}_{end}) = 1 = \frac{M_{pl}^2}{2f_a^2}\frac{R^2}{(R+1)^4}\frac{sin^2 2\widetilde{a}_{end}}{\left(1-\frac{4R}{(R+1)^2}sin^2\widetilde{a}_{end}\right)^2} = \frac{1}{2N_0^2}\frac{sin^2 2\widetilde{a}_{end}}{(1-B_0\, sin^2\widetilde{a}_{end})^2} =$$

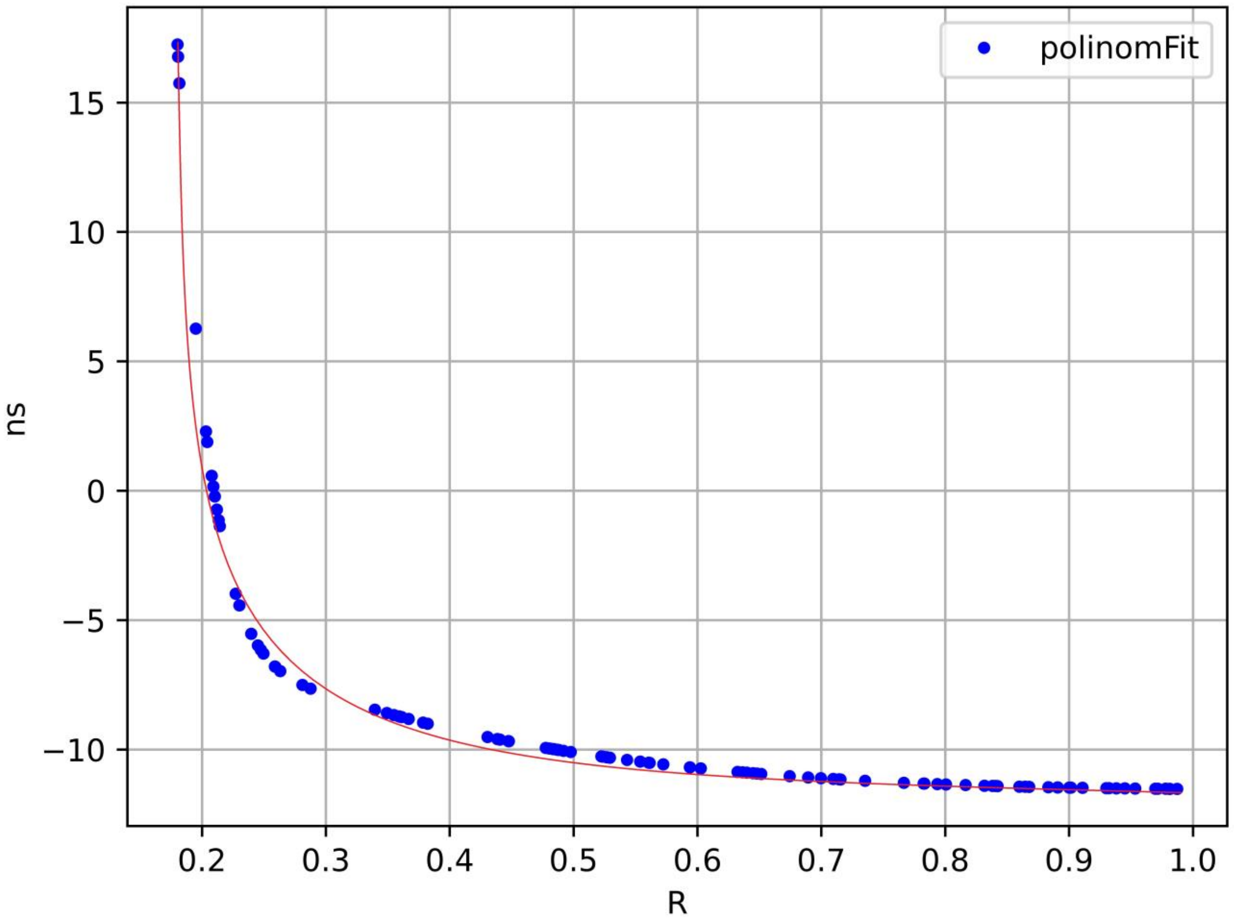
$$= \left|\left|\text{Переопределим аргумент: } sin^2\widetilde{a}_{end} = u\right|\right| =$$

$$= \frac{1}{2N_0^2}\frac{4\,u(1-u)}{(1-B_0\,u)^2}$$



Рассматриваемая модель

$n_s = 0.9647 \pm 0.0043$ - Экспериментальное ограничение



$r \approx 0.00154318$

Заключение

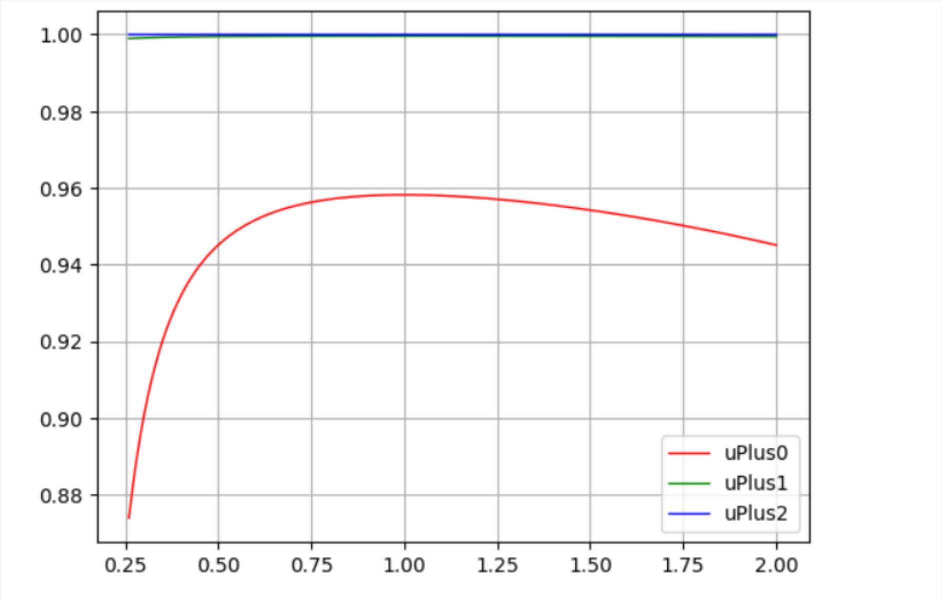
- В ходе работы проведены соответствующие расчеты и получена оценка на величину, характеризующую первичный фон гравитационных волн.

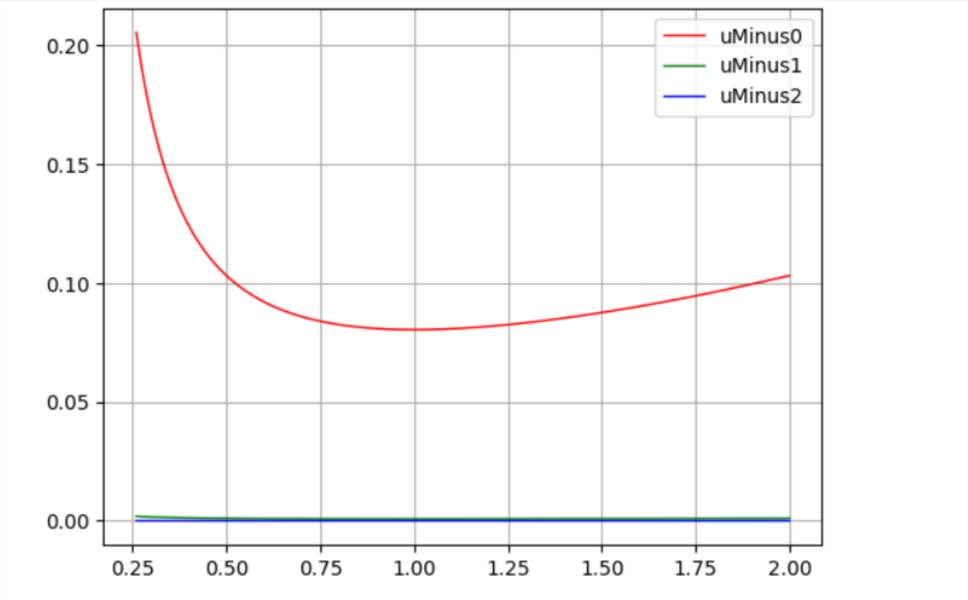
- В дальнейшем планируется уточнение полученных данных за счет лучшей аппроксимации данных

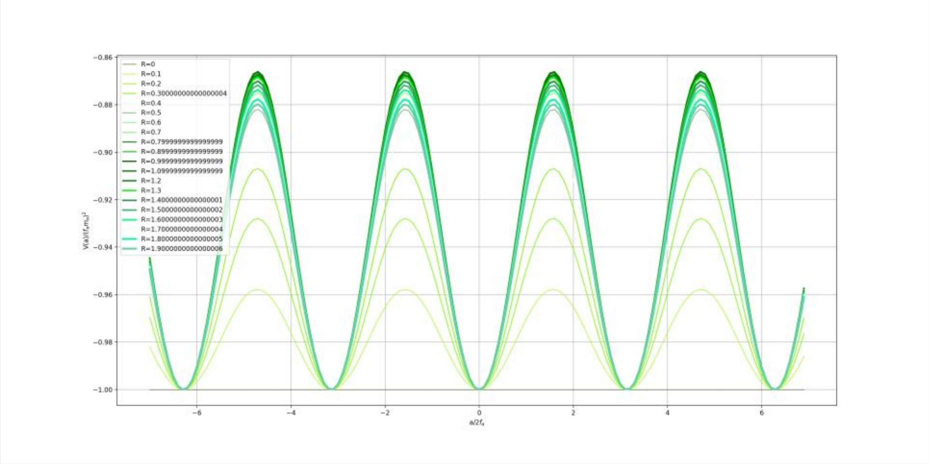
- Рассмотреть случаи с различным параметром модели fa

Спасибо за внимание!

Резервный слайд







$$B_0 = \frac{4R}{(R+1)^2} \geqslant \frac{2\sqrt{2} f_a}{M_{pl}} \left(\sqrt{\left(\left(\frac{4\sqrt{2} f_a}{M_{pl}} \right)^2 + 4 \right)} - \frac{4\sqrt{2} f_a}{M_{pl}} \right)$$