

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
(НИЯУ МИФИ)**

**«Исследование физических оснований и  
космомикрофизических проявлений моделей  
асимметричной скрытой массы»**

Аспирант

Д. О. Сопин

Научный руководитель

М. Ю. Хлопов

Москва 2024

# Задачи

## Генерация $X^{-2n}$

- Свойства фалеронных переходов
  - Влияние тяжёлых частиц на
    - Высоту барьера  $E_{Sph}$
    - Число решений
  - Как следствие – изменение
    - Температуры закалки
    - Скорости переходов
- Возможные дополнительные решения
  - Второй ветвь
  - Нетопологические решения (ложные вакуумы с  $B=1/2$ ).

Проблемы:

- **Сильная модельная зависимость**
- **Очень сложный лагранжиан => уравнения**

## Формирование XHe

- Последовательный захват лёгких ядер
  - Возможность X-катализа
  - Генерация аномальных изотопов
- Взаимодействие двух XHe
  - Формирование молекулоподобных структур

Проблемы:

- **неизвестна структура XHe:**
  - **Высота и форма барьера**
  - **Энергия связи и ядерные уровни**

# Модель WTC

$$\begin{aligned}
 v + H &\equiv \sigma \sim \bar{U}U + \bar{D}D, & \Theta &\sim i(\bar{U}\gamma^5 U + \bar{D}\gamma^5 D), \\
 A^0 &\equiv \frac{\tilde{\Pi}^3}{\sqrt{2}} \sim \bar{U}U - \bar{D}D, & \Pi^0 &\equiv \Pi^3 \sim i(\bar{U}\gamma^5 U - \bar{D}\gamma^5 D), \\
 A^+ &\equiv \frac{\tilde{\Pi}^1 - i\tilde{\Pi}^2}{\sqrt{2}} \sim \bar{D}U, & \Pi^+ &\equiv \frac{\Pi^1 - i\Pi^2}{\sqrt{2}} \sim i\bar{D}\gamma^5 U, \\
 A^- &\equiv \frac{\tilde{\Pi}^1 + i\tilde{\Pi}^2}{\sqrt{2}} \sim \bar{U}D, & \Pi^- &\equiv \frac{\Pi^1 + i\Pi^2}{\sqrt{2}} \sim i\bar{U}\gamma^5 D,
 \end{aligned}$$

$$\Pi_{UU} \equiv \frac{\Pi^4 + i\Pi^5 + \Pi^6 + i\Pi^7}{2} \sim U^T C U,$$

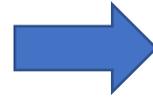
$$\Pi_{DD} \equiv \frac{\Pi^4 + i\Pi^5 - \Pi^6 - i\Pi^7}{2} \sim D^T C D,$$

$$\Pi_{UD} \equiv \frac{\Pi^8 + i\Pi^9}{\sqrt{2}} \sim U^T C D,$$

$$\tilde{\Pi}_{UU} \equiv \frac{\tilde{\Pi}^4 + i\tilde{\Pi}^5 + \tilde{\Pi}^6 + i\tilde{\Pi}^7}{2} \sim iU^T C \gamma^5 U,$$

$$\tilde{\Pi}_{DD} \equiv \frac{\tilde{\Pi}^4 + i\tilde{\Pi}^5 - \tilde{\Pi}^6 - i\tilde{\Pi}^7}{2} \sim iD^T C \gamma^5 D,$$

$$\tilde{\Pi}_{UD} \equiv \frac{\tilde{\Pi}^8 + i\tilde{\Pi}^9}{\sqrt{2}} \sim iU^T C \gamma^5 D,$$



$$M = \begin{pmatrix}
 i\Pi_{UU} + \tilde{\Pi}_{UU} & \frac{i\Pi_{UD} + \tilde{\Pi}_{UD}}{\sqrt{2}} & \frac{\sigma + i\Theta + i\Pi^0 + A^0}{2} & \frac{i\Pi^+ + A^+}{\sqrt{2}} \\
 \frac{i\Pi_{UD} + \tilde{\Pi}_{UD}}{\sqrt{2}} & i\Pi_{DD} + \tilde{\Pi}_{DD} & \frac{i\Pi^- + A^-}{\sqrt{2}} & \frac{\sigma + i\Theta - i\Pi^0 - A^0}{\sqrt{2}} \\
 \frac{\sigma + i\Theta + i\Pi^0 + A^0}{2} & \frac{i\Pi^- + A^-}{\sqrt{2}} & i\Pi_{\bar{U}\bar{U}} + \tilde{\Pi}_{\bar{U}\bar{U}} & \frac{i\Pi_{UD} + \tilde{\Pi}_{UD}}{\sqrt{2}} \\
 \frac{i\Pi^+ + A^+}{\sqrt{2}} & \frac{\sigma + i\Theta - i\Pi^0 - A^0}{2} & \frac{i\Pi_{UD} + \tilde{\Pi}_{UD}}{\sqrt{2}} & i\Pi_{\bar{D}\bar{D}} + \tilde{\Pi}_{\bar{D}\bar{D}}
 \end{pmatrix}$$



$$\begin{aligned}
 \mathcal{L}_{\text{Higgs}} &= \frac{1}{2} \text{Tr} [D_\mu M D^\mu M^\dagger] + \frac{m^2}{2} \text{Tr} [M M^\dagger] \\
 &- \frac{\lambda}{4} \text{Tr} [M M^\dagger]^2 - \lambda' \text{Tr} [M M^\dagger M M^\dagger] + 2\lambda'' [\text{Det}(M) + \text{Det}(M^\dagger)] \\
 &+ \frac{m_{\text{ETC}}^2}{4} \text{Tr} [M B M^\dagger B + M M^\dagger],
 \end{aligned}$$

# Система уравнений

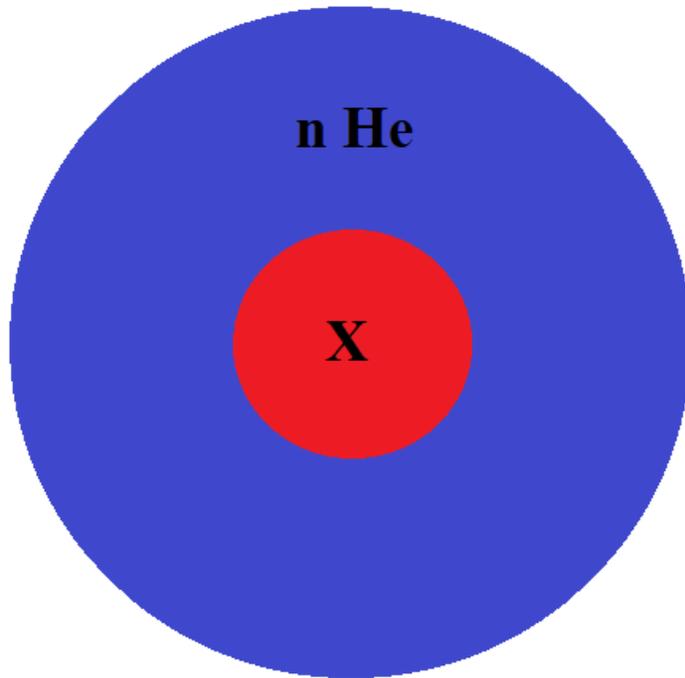
- Бозон Хиггса:

$$\partial_\mu^2 \sigma(x_\mu) + a\sigma^3(x_\mu) + b(x_\mu)\sigma(x_\mu) + f(x_\mu) = 0,$$

$$a = \lambda + \lambda' - \lambda'',$$

$$b = (\lambda + \lambda' - \lambda'')(2|\Pi_{UU}|^2 + 2|\Pi_{DD}|^2 + 2|\Pi_{UD}|^2 + (\Pi^0)^2) +$$
$$+ (\lambda + 3\lambda' + \lambda'')(2|P_{UU}|^2 + 2|P_{DD}|^2 + 2|P_{UD}|^2 + (A^0)^2) +$$
$$+ (\lambda + \lambda' + 3\lambda'')\Theta^2 +$$
$$+ (\lambda + 2\lambda')((A^-)^2 + (A^+)^2 + (\Pi^-)^2 + (\Pi^+)^2) +$$
$$+ 2(\lambda' + \lambda'')(A^+ A^- - \Pi^+ \Pi^-) +$$
$$+ g_W^2 (W_\mu^1 W^{1\mu} - W_\mu^2 W^{2\mu} + W_\mu^3 W^{3\mu}) + \frac{g_c^2}{4} B_\mu B^\mu - g_W g_c B_\mu W^{3\mu} - m^2$$

# Внутренняя структура XHe

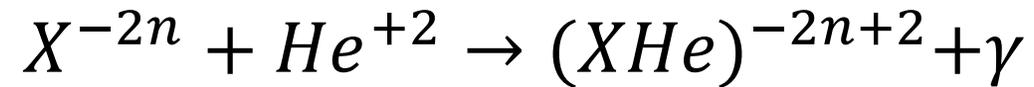


$$Q = M_{nHe} - n \cdot m_{He} = n \cdot W_{He} - W_{nHe}$$

$$W = a_1 \cdot A - a_2 \cdot A^{\frac{2}{3}} - a_3 \cdot \frac{Z^2}{A} - \frac{a_4 \cdot \left(\frac{A}{2} - Z\right)^2}{A} + a_5 \cdot A^{-\frac{3}{4}}$$

$$\rho(r) = \frac{\rho(0)}{1 + \exp\left(\frac{r - r_0}{a}\right)}$$

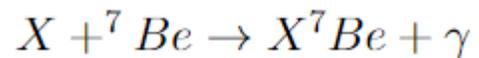
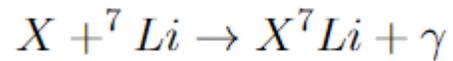
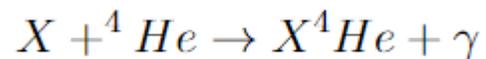
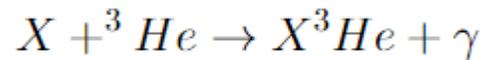
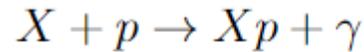
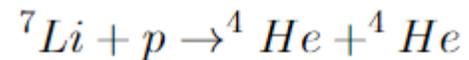
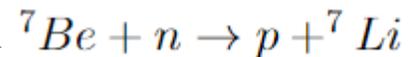
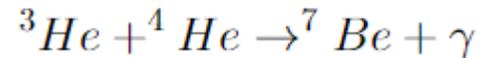
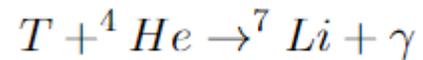
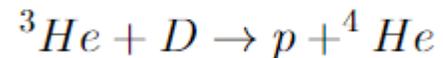
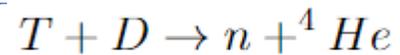
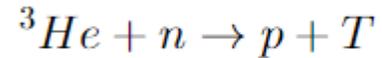
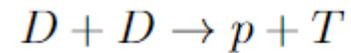
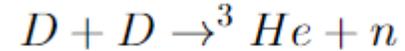
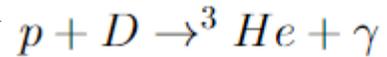
# Нуклеосинтез



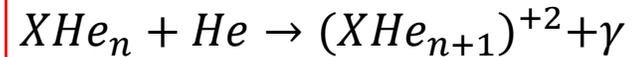
$$T \approx \frac{5}{2} \frac{Zn\alpha}{rA^{\frac{1}{3}}} \frac{1}{\ln\left(\left(\frac{m_{He}}{2\pi}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{1}{n_{He}}\right)} \approx 81n \text{ keV}$$

n	2	3	4	5
T, keV	163	244	325	406

# Нуклеосинтез



$p, {}^3\text{He}, {}^4\text{He}, {}^7\text{Li}, {}^7\text{Be} \rightarrow \dots$



# Заключение

- Для установления свойств сфалеронных переходов в WTC модели необходима решить систему нелинейных дифференциальных уравнений 2-го порядка.
- Число неизвестных функций может быть уменьшено параметризацией.
- Газ тёмных атомов является взаимодействующим.
- Захват лёгких ядер тяжелее водорода становится возможным до их формирования
- Построение «карты реакций» требует модели внутренней структуры тёмных атомов.

# Список литературы

- Spannowsky M., Tamarit C. Sphalerons in composite and nonstandard Higgs models // Phys. Rev. D., 2017, 95(1)
- Nolte G., Kunz J. Sphaleron barrier in the presence of fermions // Physical Review D, 1993, 48(12), P. 5905–5916. — ISSN 0556-2821.
- Sannino F. Conformal Dynamics for TeV Physics and Cosmology, 2009, arXiv:0911.0931v1 [hep-ph]
- Akhmedov E., Pospelov M. BBN catalysis by doubly charged particles, arXiv:2405.06019v1 [hep-ph]

# Публикации за год

- Beylin V.A., Khlopov M.Yu., Sopin D.O. Charge Asymmetry of New Stable Families in Baryon Asymmetrical Universe // *Symmetry*, 2023, Vol. 15(3), P. 657
- Beylin V., Khlopov M., Sopin D. Balancing multiple charge particle excess with baryon asymmetry // *Int. J. Mod.Phys. D.* – 2023.
- Beylin V.A., Khlopov M.Yu., Sopin D.O. Balancing baryon and asymmetric dark matter excess // *Bled Workshops in Physics*, 2023, 24(1), P. 26-35
- Beylin V., Khlopov M., Sopin D. Asymmetric Dark Matter in Baryon Asymmetrical Universe // *Symmetry*, 2024, 16(3), P. 311

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
(НИЯУ МИФИ)**

**«Исследование физических оснований и  
космомикрофизических проявлений моделей  
асимметричной скрытой массы»**

Аспирант  
Научный руководитель

Д. О. Сопин  
М. Ю. Хлопов

Москва 2024