

# Оптимизация стратегии эксперимента измерения массы аксиона с помощью информации Фишера

**Викентьев Михаил Ильич<sup>1</sup>, Пальмин Владимир Сергеевич<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт, e-mail: vikentev.mi@phystech.edu

<sup>2</sup> Московский физико-технический институт, e-mail: palminv@me.com

## Актуальность

Информация Фишера - мощный инструмент, который может использоваться для решения таких насущных проблем, как проектирование экспериментов. Поскольку стоимость экспериментов увеличивается, эта проблема становится все более важной. Эта работа предоставляет решение для оптимизации стратегии времени эксперимента, состоящего в измерении спектра. Эта оптимизация приводит к снижению ошибки целевого параметра, например, массы частицы. Это снижение может быть объяснено в терминах сокращения корреляции, которая также происходит. Поскольку сокращение корреляции с параметром представляет собой сокращение систематических ошибок, это означает, что влияние систематических ошибок также уменьшается.

## Описание эксперимента

Аксион - это гипотетическая элементарная частица и кандидат на роль компонента холодной темной материи. Выяснено, что под действием сильного магнитного поля аксионы могут превращаться в фотоны. Этот процесс называется обратным эффектом Примакова, а выражение (1) представляет вероятность превращения аксиона в фотон:

$$P_{a \rightarrow \gamma} = \left( \frac{g_{a\gamma} B}{q} \right)^2 \sin^2 \left( \frac{qL}{2} \right), \quad (1)$$

где  $L$  - длина магнита,  $B$  - магнитное поле,  $q = \frac{m_a^2}{2E_a}$  - передача импульса,  $m_a^2$  - масса аксиона,  $E_a$  - энергия аксиона,  $g_{a\gamma} = 10^{-11} GeV$  - константа связи аксион-фотон.

Существует несколько механизмов образования аксионов, из которых по причине наиболее гладкого спектра для анализа выбран процесс Примакова, выражющийся формулой (2):

$$\frac{d\Phi_P}{dE_a} = \Phi_{P10} \left( \frac{g_{a\gamma}}{10^{-10} GeV} \right)^2 \frac{E_a^{2.481}}{e^{E_a/1.205}}, \quad (2)$$

где  $E_a$  выражено в  $keV$ ,  $\Phi_{P10} = 6.02 * 10^{10} cm^2 s^1 keV^1$ .

Измерение массы аксиона происходит при помощи гелиоскопа, который при помощи магнитного поля преобразует аксионы в фотоны и после этого регистрирует их количество, определенное формулой (3):

$$N_\gamma = St \int dE_a \varepsilon_D(E_a) \varepsilon_T(E_a) \frac{d\Phi_i}{dE_a} P_{a \rightarrow \gamma}(E_a), \quad (3)$$

где  $S$  - общая площадь поперечного сечения гелиоскопа,  $t$  - время измерения,  $\varepsilon_D$  и  $\varepsilon_T$  - функции эффективности детектора и телескопа соответственно.

## Оптимизация стратегии

Стратегия времени может быть разложена на базис. Следовательно, оптимизация является оптимизацией весов базиса. Базис состоит из кубических B-сплайнов, потому что они не содержат полиномы большой степени, что позволяет использовать большие размерности без проблем вычислений и хорошо описывают произвольную гладкую функцию, которая должна быть стратегией времени. Размерность базиса была выбрана равной 10.

Задача заключается в минимизации погрешности целевого параметра, в данном случае массы. Также есть два условия:

- 1) Общее время измерения - постоянно;
- 2) Время ограничено нулем снизу.

Первый пункт есть следствие того, что увеличение времени приводит к уменьшению ошибок, но цель заключается в поиске оптимального способа, а не в получении максимальной точности независимо от времени. Второй пункт необходим, потому что отрицательное время не имеет смысла, но оно может возникать во время оптимизации. Это означает, что некоторые части спектра содержат настолько много полезной информации, что более выгодно "измерять" другие части с отрицательным временем.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Palmin, V. (2021). "Fisher Information-driven Optimal Experiment Design". A thesis submitted for the degree of Bachelor of Science, Moscow Institute of Physics and Technology
- [2] Theopisti Dafni et al. (2019). "Weighing the solar axion". Physical Review D 99, 035037
- [3] Yongsu Jung, Ikjin Lee. (2021). "Optimal design of experiments for optimization-based model calibration using Fisher information matrix". Reliability Engineering and System Safety 216, 107968