

Реконструкция направления прилета антинейтрино от ядерного реактора

Стриж Михаил Александрович
Научный руководитель — Наумов Дмитрий Вадимович

Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова
Физический Факультет, 409 группа

Дубна, 2019

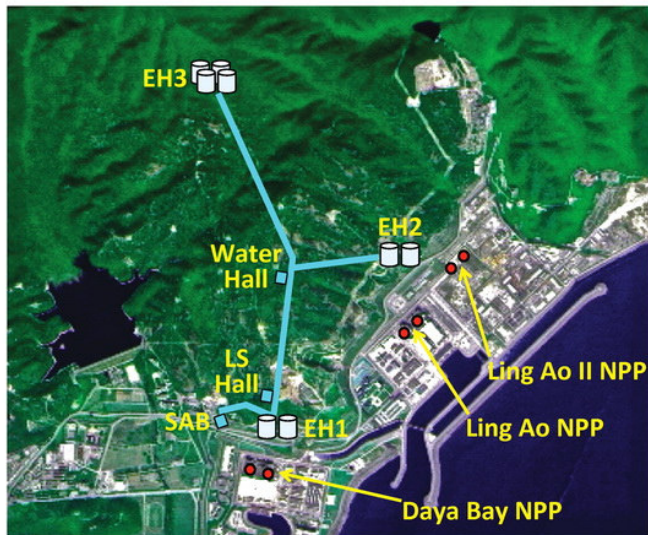


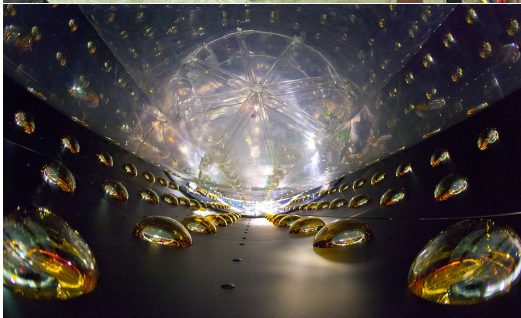
Цель работы. Актуальность. Практическая значимость.

- Цель работы — исследование чувствительности эксперимента Daya Bay к восстановлению направления прилета антинейтрино.
- Актуальность — никогда ранее направление прилета антинейтрино в реакторных экспериментах не было измерено.
- Практическая значимость — новый независимый метод выделения взаимодействий антинейтрино от заданного источника от других событий.



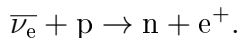
Эксперимент Daya Bay





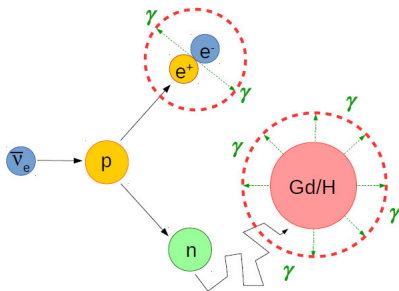
Обратный бета-распад

Электронное антинейтрино детектируется посредством реакции



Антинейтринный сигнал

- Антинейтрино регистрируется в детекторе методом задержанных совпадений.
- События представляют собой два сигнала: мгновенный и запаздывающий, разделенные интервалом в среднем 28 мкс.
- Первое событие наступает при ионизации сцинтиллятора позитроном.
- Второе событие вызывается поглощением нейтрона ядром гадолиния или водородом, с испусканием γ -квантов.



http://www.ipgp.fr/sites/default/files/ngs2015_gomez.pdf



Описание метода

- Кинематика реакции ОБР устроена таким образом, что нейтрон всегда вылетает вперед по отношению к исходному движению антинейтрино.

$$\vec{\Gamma}_{ne^+} = \vec{\Gamma}_n - \vec{\Gamma}_{e^+}.$$

- Так как захват позитрона происходит практически мгновенно, то $\vec{\Gamma}_{ne^+}$ напрямую будет коррелировать с направлением прилёта антинейтрино.

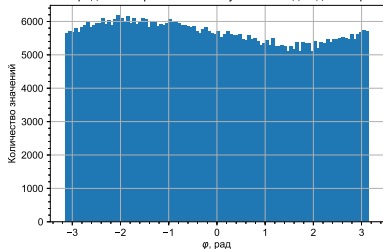
$$\varphi = \arctan \frac{r_y}{r_x} ; \quad \theta = \arctan \frac{\sqrt{r_x^2 + r_y^2}}{r_z}$$

- Ожидается, что угол φ будет вносить наибольший вклад в реконструкцию прилёта антинейтрино за счет своей неоднородности для каждого из детекторов.

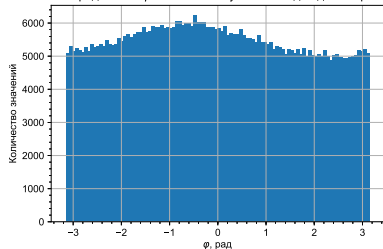


Результаты

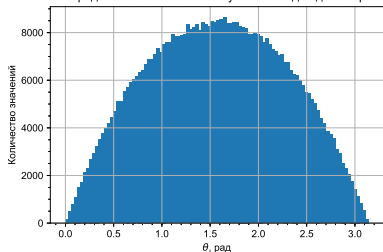
Распределение φ по количеству значений для детектора 1



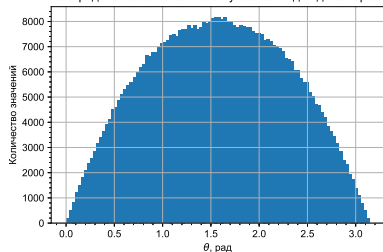
Распределение φ по количеству значений для детектора 3

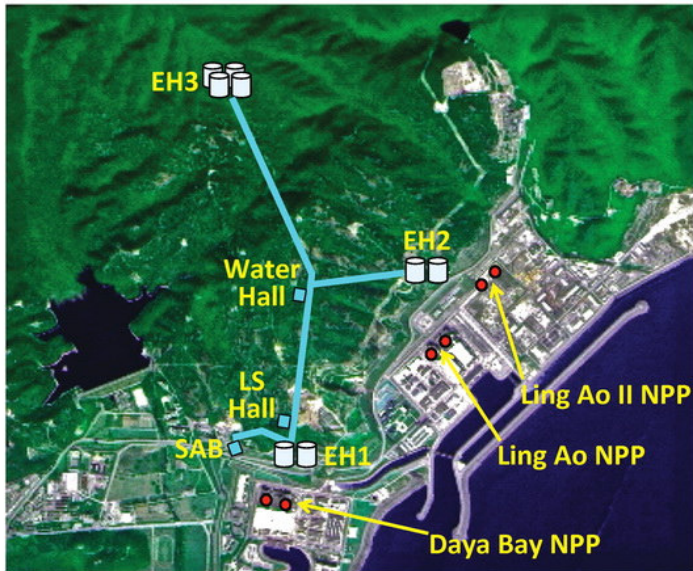


Распределение θ по количеству значений для детектора 1

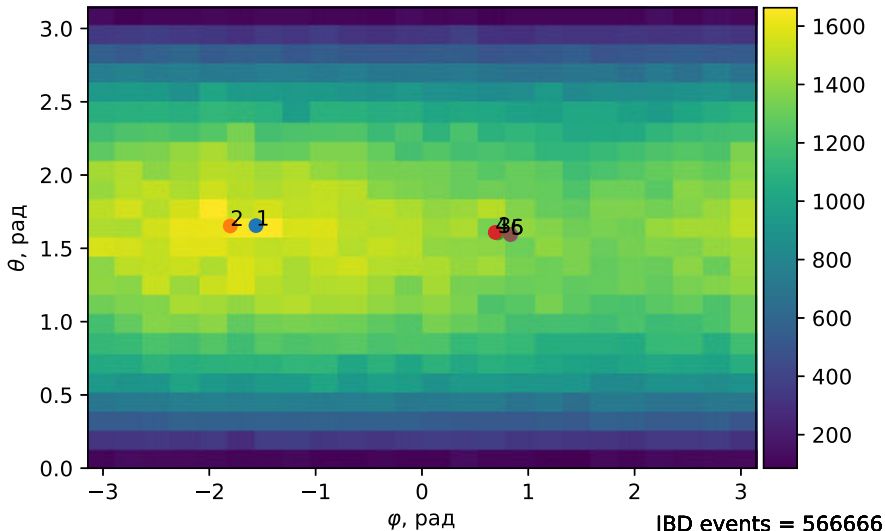


Распределение θ по количеству значений для детектора 3

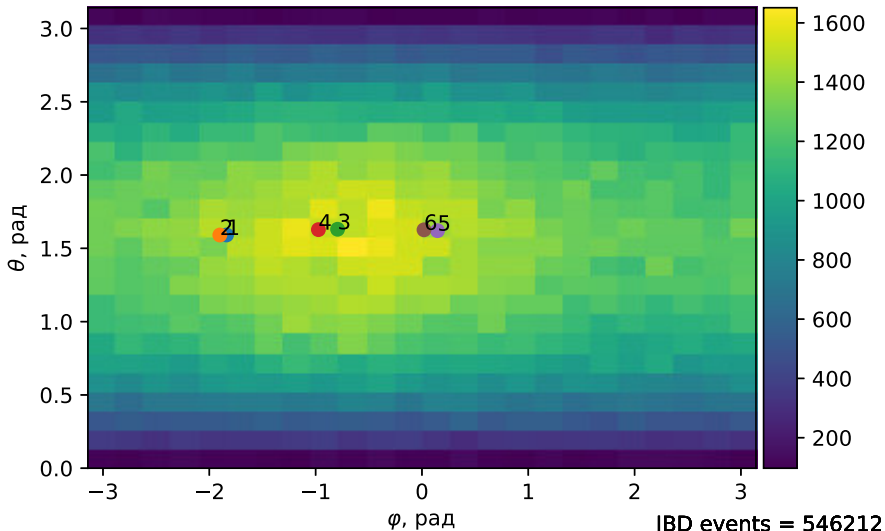




Плотность распределения ϕ и θ для детектора 1



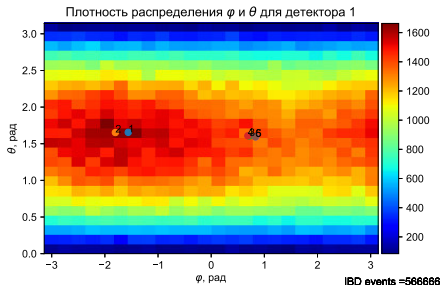
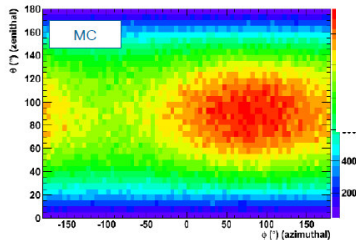
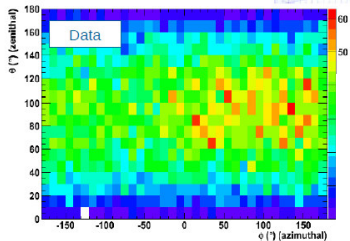
Плотность распределения ϕ и θ для детектора 3



IBD events = 546212

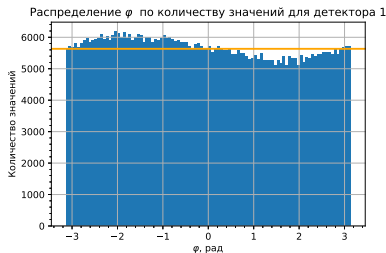


Double Chooz: *Results*

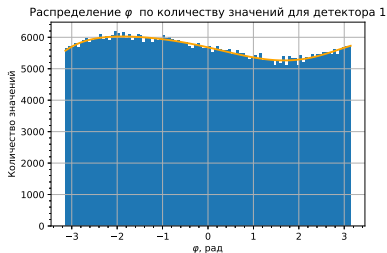


Фитирование данных

- Сделаем фитирование распределения по φ двумя моделями:



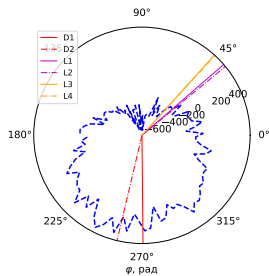
$$\chi_{\text{const}}^2 = \sum_i \left(\frac{h(\varphi_i) - a}{\sqrt{h(\varphi_i)}} \right)^2$$



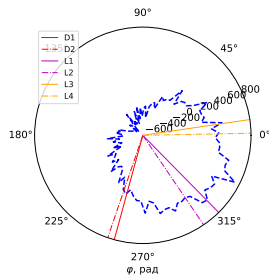
$$\chi_{\text{poly}}^2 = \sum_i \left(\frac{h(\varphi_i) - f(\varphi_i)}{\sqrt{h(\varphi_i)}} \right)^2$$

- Вычислим среднее из фита полиномом по всем бинам, и вычтем это значение из каждого бина данных.
- Полученный график представим в полярных координатах, на который нанесём направления на ректоры.

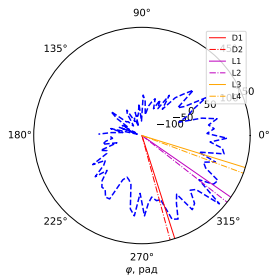




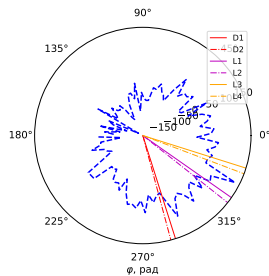
AD1



AD3



AD5



AD6



- Очевидно, что $\chi_{\text{poly}}^2 < \chi_{\text{const}}^2$. Тогда $\sqrt{\chi_{\text{const}}^2 - \chi_{\text{poly}}^2} = \sqrt{\Delta\chi^2}$ можно интерпретировать как число стандартных отклонений, с которыми мы отвергаем гипотезу независимости углового распределения от направления.

AD	χ_{poly}^2	χ_{const}^2	$\sqrt{\Delta\chi^2}$
1	106.01	1387.69	35.8
2	92.46	1614.19	39.0
3	105.55	2475.19	48.7
4	89.91	526.80	20.9
5	96.11	611.33	22.7
6	117.77	432.16	17.7
7	77.24	348.38	16.5
8	76.90	1950.05	43.3

- Если просуммировать χ^2 по детекторам для каждой модели и вычислить общий $\sqrt{\Delta\chi^2}$, получится значение 92,6.
- Таким образом, гипотеза о независимости углового распределения от направления прилета антинейтрино исключена.



Дальнейшие задачи и цели

- Построение теоретической модели.
- Анализ еще большей статистики.
- Учет систематических ошибок.
- Учет блуждания нейтрона.
- Написание коллаборационной статьи.



Заключение

Основные результаты работы заключаются в следующем.

1. Убедительно показано, что чувствительность к направлению прилёта антинейтрино действительно есть в каждом из восьми детекторов экспериментальной установки. Соответствующие распределения отвечают более высокому статистическому уровню достоверности по сравнению с ранее опубликованными результатами экспериментов KamLAND и Double Chooz.
2. Предложен метод для определения зависимости углового распределения от направления прилёта антинейтрино, с помощью которого было четко показано, что гипотеза о независимости исключена.
3. Разработано ПО для обработки и анализа данных эксперимента Daya Bay.



Спасибо за внимание!

