

Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова

Физический факультет

Кафедра общей ядерной физики

**Изучение угловой восприимчивости оптических модулей для
нейтринного телескопа NEMO**

Курсовая работа

студента 413 группы

Яковенко Я.В.

Научный руководитель:
доцент, д.ф.-м. н.
Широков Е.В.

Москва 2009

Содержание:

1. Описание конструкции и веществ.
2. Распад ^{40}K .
3. Полученные результаты.
4. Приложение.

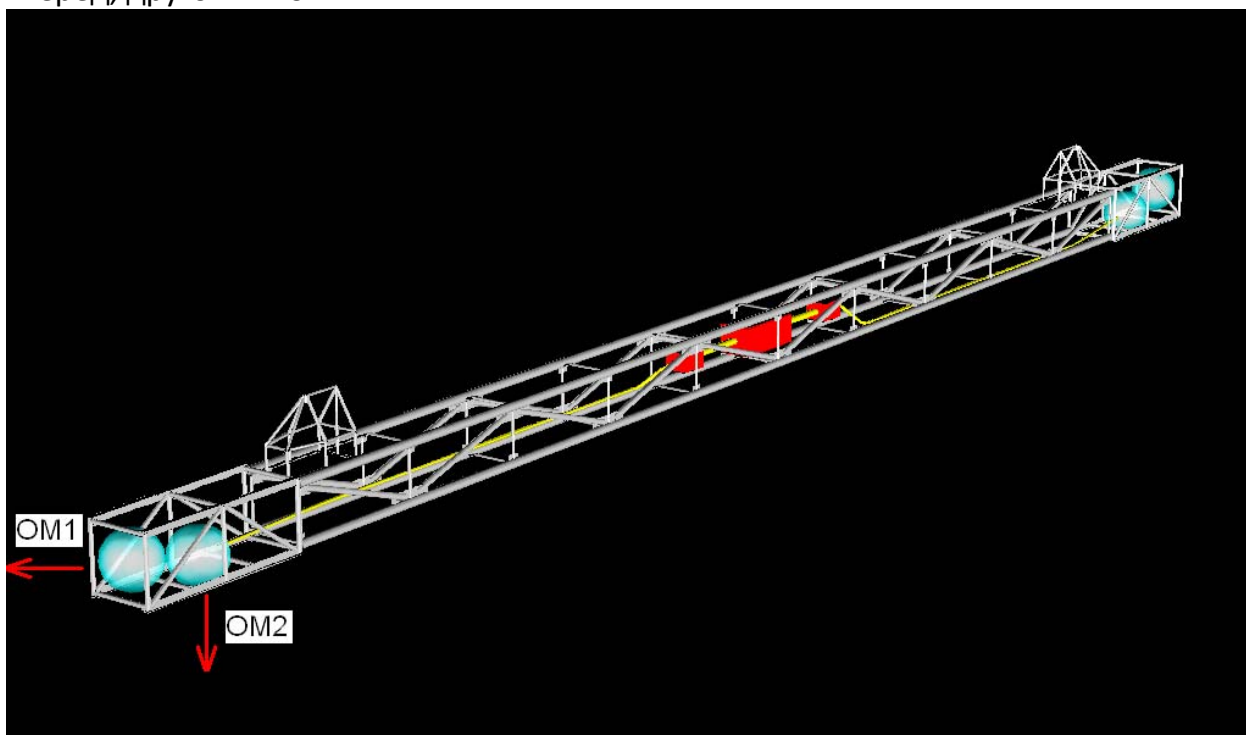
Описание конструкции и веществ.

Нейтринный телескоп NEMO расположен в Средиземном море на глубине около 3 км. Нейтрино, образовавшиеся где-то во Вселенной и достигшие Земли, проходят сквозь толщу планеты и в её недрах реагируют с веществом, образуя мюон. При этом мюон обладает большой кинетической энергией, достаточной для излучения Черенковского света при прохождении сквозь толщу воды. Данное излучение можно зарегистрировать с помощью системы оптических модулей. А после этого восстановить путь пролета мюона. Обычно прямая пути мюона совпадает с прямой следования нейтрино, таким образом, мы можем выяснить направление источника нейтрино.

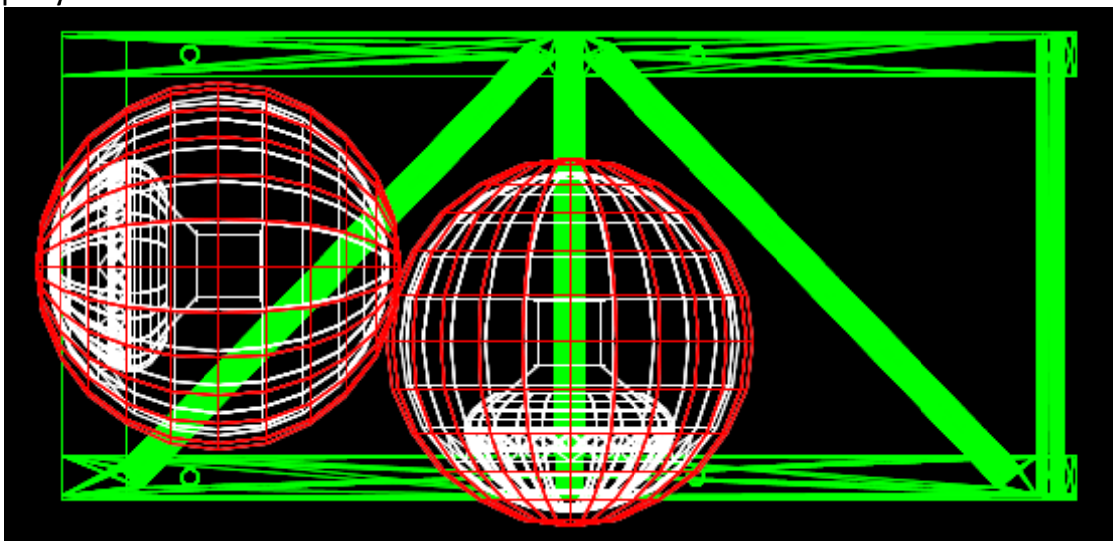
Оптические модули представляют собой ФЭУ, помещенные в защитные сферы. Провести измерения их угловой восприимчивости на такой глубине и при таких условиях на данный момент невозможно. Теоретические вычисления угловой восприимчивости, а также эксперименты в лабораторных условиях, не дают удовлетворительных результатов. Проверка существующей функции угловой восприимчивости возможна при сравнении экспериментальных данных с данными моделирования, в котором используется заранее заданная функция угловой восприимчивости.

Важную роль играют шумы. В основном это распад ^{40}K . При восстановлении пути мюона используются события одновременного срабатывания двух оптических модулей, расположенных на одном этаже или на соседних этажах. Такое же одновременное срабатывание оптических модулей может вызвать и распад ^{40}K .

В проекте NEMO главной составляющей конструкции является башня, состоящая из 16 этажей. Этаж имеет длину 20 метров, расположен горизонтально, на каждом из концов расположены два оптических модуля. Один из них направлен вперед, другой вниз.



В моделировании использовалась только крайняя часть этой башни, показанная на рисунке



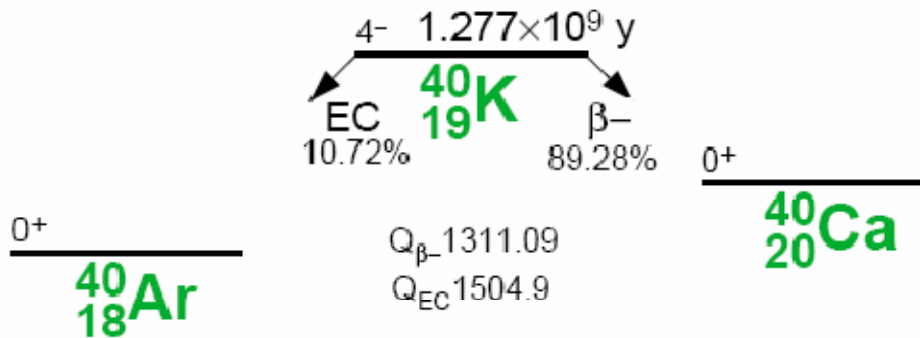
Основным веществом, окружающим детектор, является морская вода. Именно в ней происходят главные процессы: распад ^{40}K , взаимодействие гамма-квантов и электронов с веществом.

При моделировании использовался специальный состав морской воды, характерный для местоположения башни, с плотностью $1,039 \text{ г/см}^3$. Относительное содержание элементов в морской воде жидкости представлено в таблице:

	H	O	Na	Mg	Cl
Z	1	8	11	12	17
A	1.00794	15.9994	22.9898	24.3050	35.4527
w	0.1074	0.8541	0.0132	0.0015	0.0237

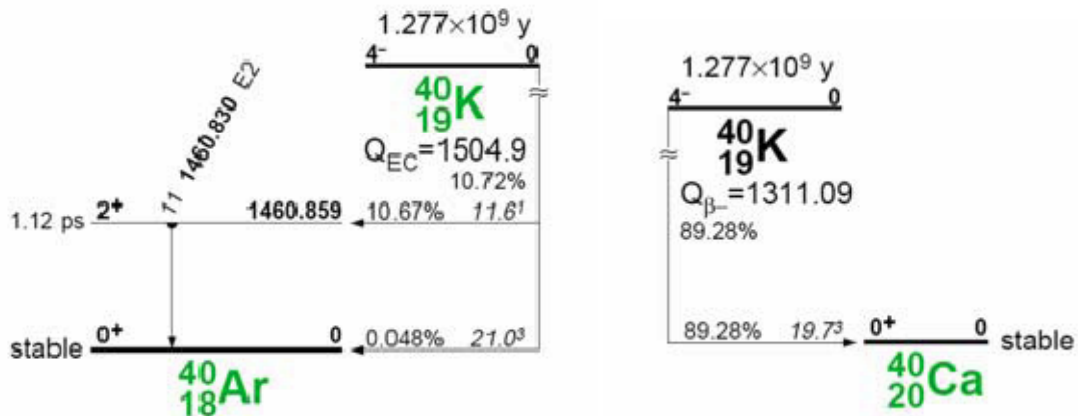
Распад ^{40}K .

Существуют два канала распада ^{40}K : бета-распад в ^{40}Ca (89,28%) и электронный захват в ^{40}Ar (10,72%) с испусканием гамма-кванта с энергией 1,460 МэВ.



Первый возбужденный уровень ^{40}Ca выше, чем энергия выхода реакции, поэтому ^{40}K после распада образует ^{40}Ca в основном состоянии.

Первый возбужденный уровень ^{40}Ar ниже, чем энергия выхода реакции, поэтому ^{40}K после распада образует ^{40}Ar в основном состоянии (в 0,048% случаев) без испускания гамма-кванта и ^{40}Ar в первом возбужденном состоянии (10,67%) с последующим испусканием гамма-кванта с энергией 1460,9 кэВ.



Полученные результаты.

Морская вода содержит в себе радиоактивный ^{40}K , после распада которого образуются гамма-кванты. В моей работе необходимо было смоделировать взаимодействие оптических модулей с гамма-квантами, образовавшимися после распада ^{40}K . Главным событием в моделировании являлось одновременное срабатывание двух оптических модулей от одного распада, потому что именно одновременное срабатывание используется для восстановления пути мюона, образовавшегося при взаимодействии нейтрино с веществом. Для моделирования выбирался радиус шара, внутри которого произвольным образом помещался один атом ^{40}K , который впоследствии распадался. Задание произвольных координат (внутри шара) атома ^{40}K с последующим распадом и взаимодействием с оптическими модулями будем называть событием. Обычно при запуске моделирования я ограничивался 100 миллионами событий, потому что при этом набиралась достаточная статистика. Но для радиусов моделирования, больше 6 метров уже не получалось больше 200 одновременных срабатываний оптических модулей, поэтому приходилось увеличивать число событий вплоть до 2,5 миллиардов (стоит отметить, что на лабораторном компьютере с частотой более 2 ГГц моделирование 100 миллионов событий проходит за 3-4 дня). После моделирования N событий получались следующие данные:

A – число фотонов, попавших в первый оптический модуль,

B – число фотонов, попавших во второй оптический модуль,

C – число распадов, при которых одновременно срабатывали два модуля.

По этим данным строились величины

$$X = \frac{X^*V}{N},$$

где вместо X подставляются A , B или C ; V – объем моделирования; N – число событий.

Далее величину A будем называть нормализованным числом событий в первом оптическом модуле; величину B – нормализованным числом событий во втором оптическом модуле; величину C – нормализованным числом совпадений.

По этим данным получены соответственно три графика (см. Приложение)

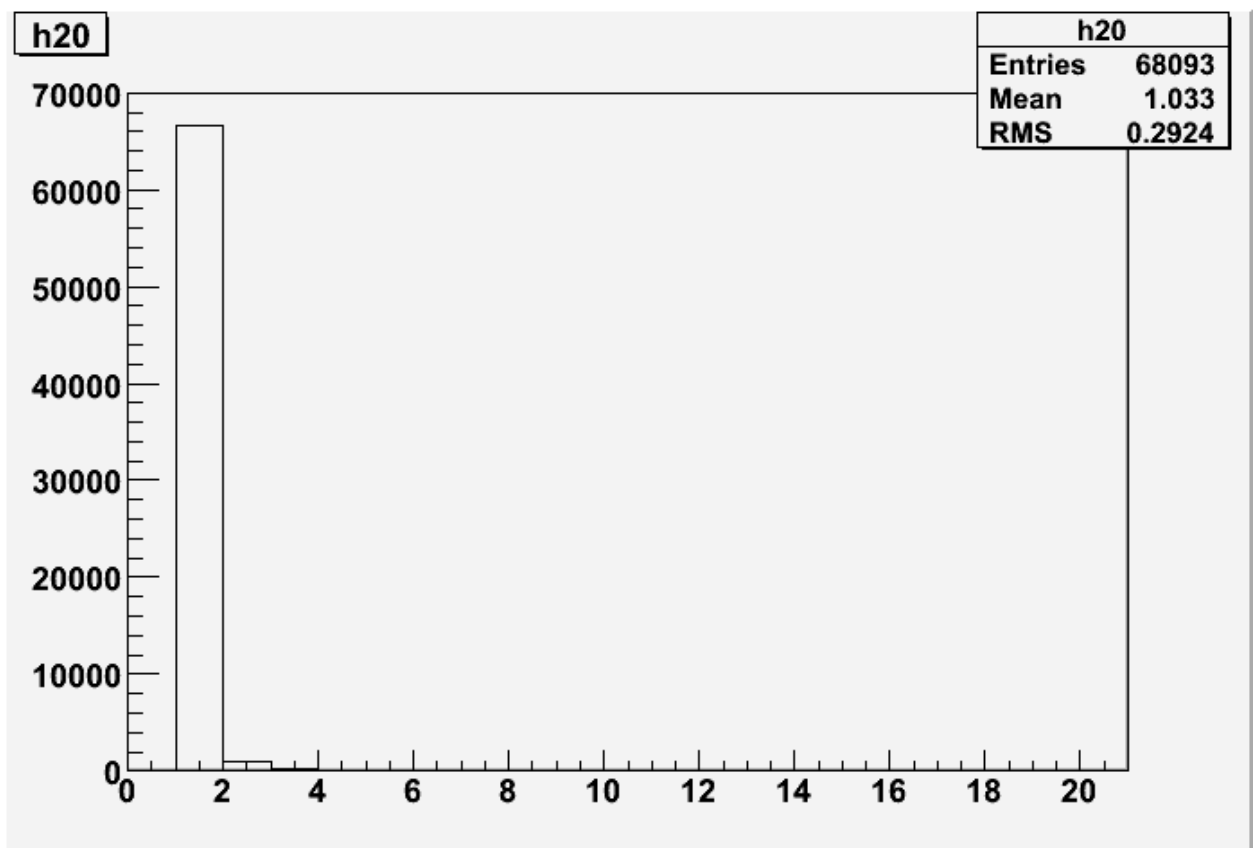
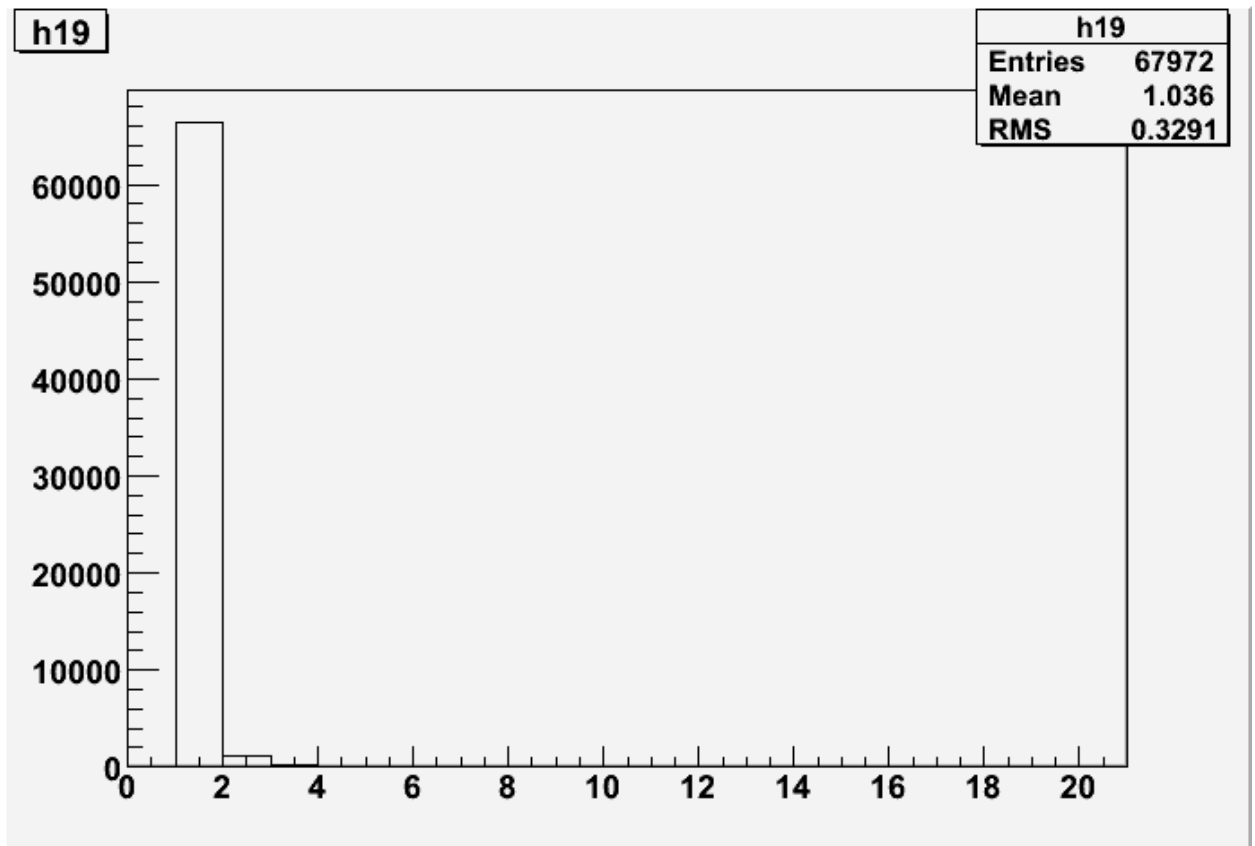
Как видно из графиков, величины A и B выходят на плато, однако, для C такого не наблюдается, и это наводит на мысль о неполноценности моделирования.

Главная часть моделирования проводилась на вычислительном кластере в Институте Ядерной Физики в городе Генуя. Ниже приведена таблица числа смоделированных событий для каждого радиуса:

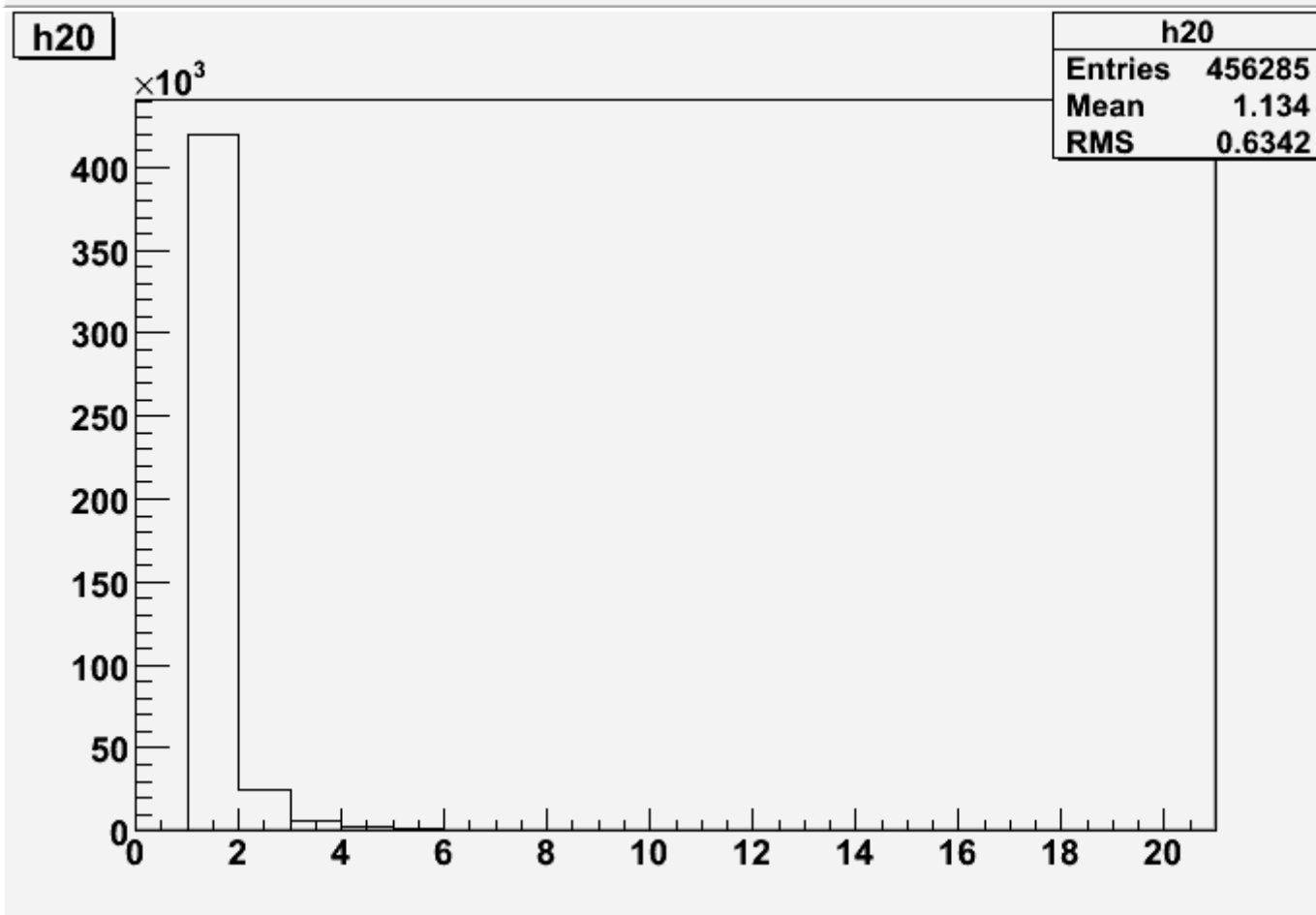
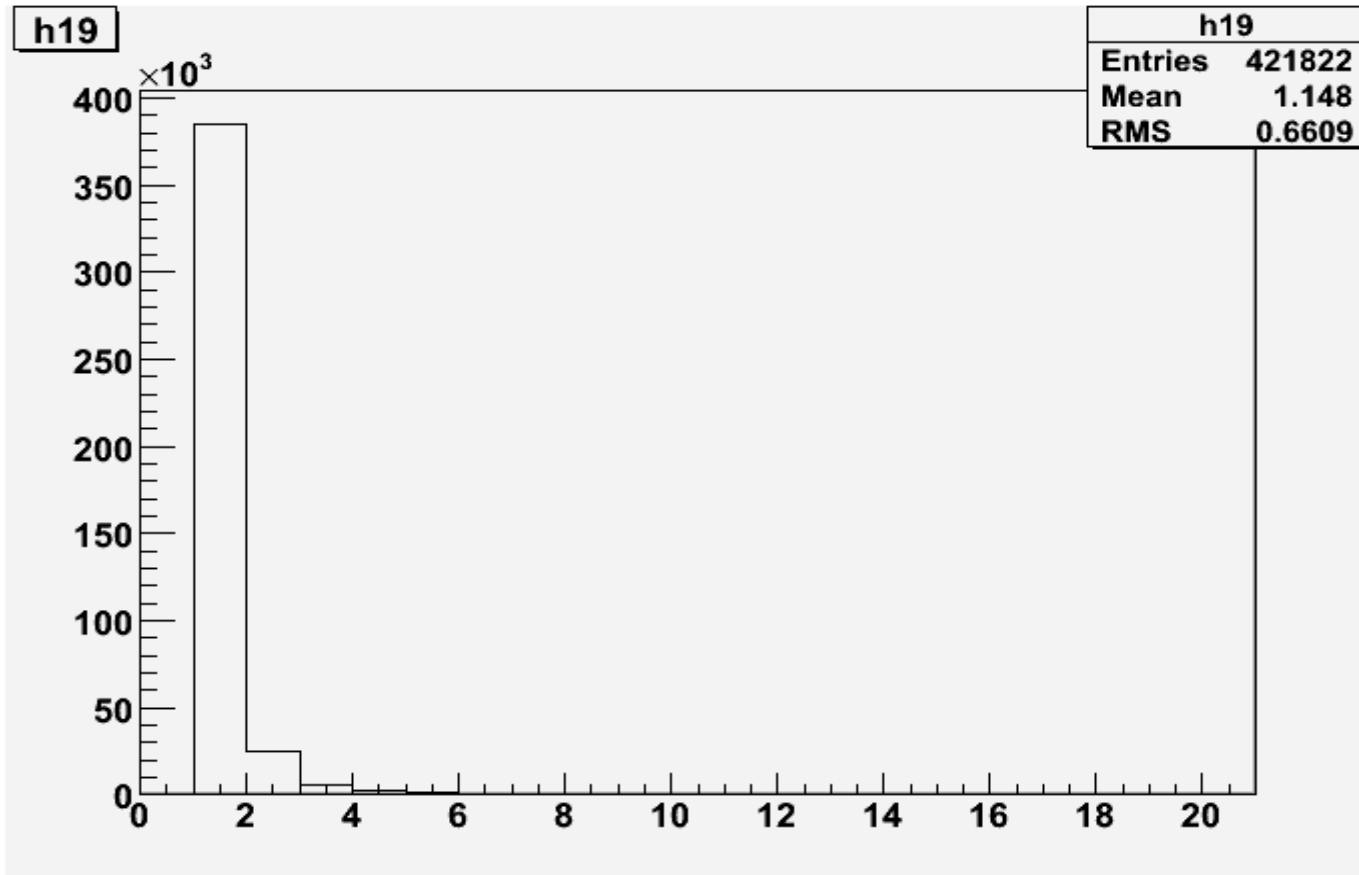
R, m	N * 10 ⁶	R, m	N * 10 ⁶	R, m	N * 10 ⁶
2	100	12	4900	35	2000
4	100	14	1100	40	3000
6	100	16	1700	45	2000
8	300	18	2000	80	6000
10	450	20	2500		

Общие данные, полученные при моделировании, приведены в таблице 1 (для радиусов меньше 14 метров моделирование проводилось еще и на компьютере в НИИЯФ МГУ).

При моделировании получены данные распределения числа попавших оптических фотонов в каждый оптический модуль в отдельности за одно событие. Ниже приведены данные для радиуса моделирования 10 метров:



И для 2 метров:



Как видно из гистограмм, в среднем число попавших фотонов близко к единице.

В настоящее время запущено моделирование для 80 метров, по результатам которого будет определен промежуток времени Δt . Если разница времени срабатывания первого и второго оптических модулей меньше Δt , то мы будем считать, что они сработали одновременно. Далее планируется сравнить данные моделирования с реальными данными.

Следующим этапом моделирования будет изучение совпадений срабатывания двух оптических модулей, смотрящих вниз, расположенных на одном этаже башни.

Литература

1. Simulations of the 40K noise in the ANTARES environment with Geant4
M.Anghinolfi, H.Costantini, K.Fratini, M.Taiuti
INFN, Sezione di Genova, Dip. di Fisica, Univ. di Genova, I-16146 Genova, Italy
March 18, 2008