

Нейтринный телескоп на дне озера

Г. И. Новиков^{1}, И. В. Парко¹*

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,
Российская Федерация

* e-mail: kremier45@gmail.com

Аннотация. В настоящее время, в связи с развитием технологий, ученые всего мира начали более подробное изучение вселенной, её происхождения и загадок, которые она таит. В этих изучениях ученые используют такие частицы как «нейтрино» и «нюоны». Эти частицы сформировались в первую секунду образования Вселенной, даже до образования атомов. Благодаря этим частицам ученые могут узнать невероятное количество информации, начиная от поиска залежей радиоактивных элементов, до расширения вселенной. Возможности этих частиц безграничны, и ученые всего мира трудятся над тем, чтобы изучить как можно больший спектр информации, которую могут предоставить эти частицы. Но не всё так просто, как могло показаться, чтобы получить информацию от этих частиц, их необходимо сначала поймать. Так как нейтрино по своей сути неуловимы для человека, они могут свободно пройти через человеческое тело, машину, здание, даже через планету, при этом не оставив за собой никаких последствий или следов. Благодаря развитию технологий и путём длительных исследований и гипотез, ученые смогли поймать эти частицы, а также считать информацию, которая в них хранится. Как и с помощью чего люди смогли поймать и обуздать эти неуловимые частицы, будет рассказано в дальнейшем.

Ключевые слова: нейтрино, мюоны, телескоп, озеро Байкал

Neutrino telescope at the bottom of the lake

G. I. Novikov^{1}, I. W. Parko¹*

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

* e-mail: kremier45@gmail.com

Abstract. At present, in connection with the development of technology, scientists around the world have begun a more detailed study of the universe, its origin and the mysteries it holds. In these studies, scientists use particles such as «Neutrinos» and «Muons». These particles were formed in the first second of the formation of the Universe, even before the formation of atoms. Thanks to these particles, scientists can learn an incredible amount of information, from the search for deposits of radioactive elements, to the expansion of the universe. The possibilities of these particles are endless, and scientists around the world are working to explore as much information as possible that these particles can provide. But not everything is as simple as it might seem, in order to obtain information from these particles, they must first be caught. Since neutrinos are inherently elusive to humans, they can freely pass through the human body, car, building, even the planet, without leaving any consequences or traces. Thanks to the development of technology and through long-term research and hypotheses, scientists have been able to capture these particles, as well as read the information that is stored in them. How and with the help of what people were able to catch and curb these elusive particles will be described later.

Keywords: neutrino, muons, telescope, lake Baikal

Введение

Из-за неуловимого характера нейтрино, об существовании этих частиц не было информации до 1959 года, хотя предсказывали их существование во вселенной ещё в 1931 году. Но из-за внимательности одного ученого, они были обнаружены, а в будущем пойманы и обузданы.

Вольфганг Паули в процессе своих исследований радиоактивного бета-распада заметил потерю энергии и импульса, в следствии чего он выдвинул гипотезу о неизвестной частице, которая уносит эту энергию, в будущем именно эту частицу назовут «нейтрино».

В 1968 был проведён эксперимент в шахтах США, целью эксперимента было обнаружение нейтрино от Солнца. Нейтрино были обнаружены с частотой два раза в одну неделю, и именно это событие стало невероятно сильным толчком науки в те времена [5].

Методы и материалы

Существуют два метода ловли нейтрино: радиохимические методы и черенковские детекторы.

Остановимся на каждом немного поподробнее.

Радиохимические методы – данные методы основаны на методе, предложенном Бруно Понтекорво, на деле были созданы детекторы хлора, которые состоят из резервуара, внутри которого находится хлорсодержащая жидкость, например тетрахлорэтилен. Нейтрино иногда превращает атом хлор-37 в один атом аргон-37 через взаимодействие с заряженным током. Пороговая энергия нейтрино для этой реакции составляет 0,814 МэВ. Аргон удаляется из жидкости путём продувания гелием. Затем гелий охлаждается, чтобы отделить аргон, и затем, количество атомов аргона подсчитывается, именно количество атомов аргона позволяет определить количество нейтрино, которые прошли через этот детектор. Интересный факт, именно этот детектор использовался для нахождения первого нейтрино в истории. Радиохимические методы обнаружения полезны только для подсчета нейтрино; они почти не дают информации об энергии нейтрино или направлении движения [1-7].

В черенковском детекторе большой объем прозрачного материала, такого как вода или лед, окружен светочувствительным фотоумножителем. При столкновении нейтрино с ядром атома, генерируется “Черенковское излучение”, это излучение регистрируется фотоэлектронными умножителями и проявляется в виде характерного кольцевого рисунка активности в массиве фотоумножителей. Данный метод используется для получения информации о нейтрино, его направлении, энергии и т.д.

Байкальский нейтринный телескоп – нейтринная обсерватория, находящаяся на дне озера Байкал. В данный момент продолжается строительство кубокилометровой версии. По окончании постройки объём детектора будет сравним с крупнейшим на сегодняшний момент детектором нейтрино IceCube. Телескоп

наряду с IceCube и ANTARES – входит в Глобальную нейтринную сеть (GNN) как важнейший элемент сети в Северном полушарии Земли [8-10].

Байкальский нейтринный эксперимент начался с 1 октября 1980 г., когда при Институте астрофизики нейтрино была создана лаборатория нейтринной астрофизики высоких энергий. Эта лаборатория станет ядром байкальской коллаборации.

Ниже приведён список изменений телескопа со временем.

NT-36 с 36 оптическими модулями (ОМ) на 3 коротких гирляндах, введен в эксплуатацию и принимал данные до марта 1995 г.

Следующая его версия - NT-72 работала в 1995–1996 гг., затем была заменена на четырехструнную версию NT-96.

За 700 дней работы было засечено 320.000.000 событий, которые были собраны с NT-36, NT-72 и NT-96.

С апреля 1997 г. Версия NT-144, массив из шести строк начал свою работу и продолжил собирать данные.

В 2004–2005 годах он был обновлен до NT-200+ с тремя дополнительными струнами вокруг NT-200 на расстоянии 100 метров, каждая по 12 модулей.

В апреле 2015 года был размещён первый кластер обновленного телескопа.

В апреле 2019 были запущены ещё два кластера, всего в рабочем состоянии их стало 5.

В апреле 2020 года были смонтированы еще два кластера, шестой и седьмой из двенадцати.

В будущем планируется завершение модернизации до 12-ти гирлянд.

Преимущества создания детекторов для исследования нейтрино в таком водоеме, как озеро Байкал перечислены ниже [3]:

- наличие мест в озере Байкал с глубиной более 1 км, расположенных недалеко от берега;

- поглощение и рассеяние света в Байкальской воде мало. Длина поглощения света в месте дислокации детектора составляет 20 м. Длина рассеяния около 15 м;

- наличие ледового покрова в течение приблизительно 8 недель существенно облегчает развертывание детектора, по сравнению с реализацией аналогичных проектов в океане.

Рассмотрим работу оптического модуля более подробно. Нейтрино, сталкиваясь с ядрами атомов, создают новые частицы - мюоны, которые некоторое время движутся в воде быстрее света, создавая излучение Вавилова – Черенкова. При хорошей прозрачности среды, эти вспышки можно увидеть человеческим глазом без особых проблем, а также зарегистрировать точными фотодатчиками. Именно эти вспышки регистрирует квазар (оптический модуль телескопа) (рис. 1).

Оптический модуль передает сигнал по кабелям, которые проложены на дне озера до самого берега, именно на берегу расположен Центр управления, приема и обработки данных телескопа. Примерно 10 вспышек в секунду регистрируется оптическим модулем, почти 900 тысяч в сутки – и это при условии, что большая часть ненужных частиц, которые идут сверху, не доходит до фотоумножителя

из-за толщи воды над ним. Поэтому, отбираются только те частицы, которые двигались снизу вверх, исходя из их траектории (они рождаются в воде или в толще Земли при прохождении нейтрино сквозь земной шар). Всего один раз в двое суток попадает такая частица. Как происходит регистрирование (рис. 2).



Рис. 1. Оптический модуль

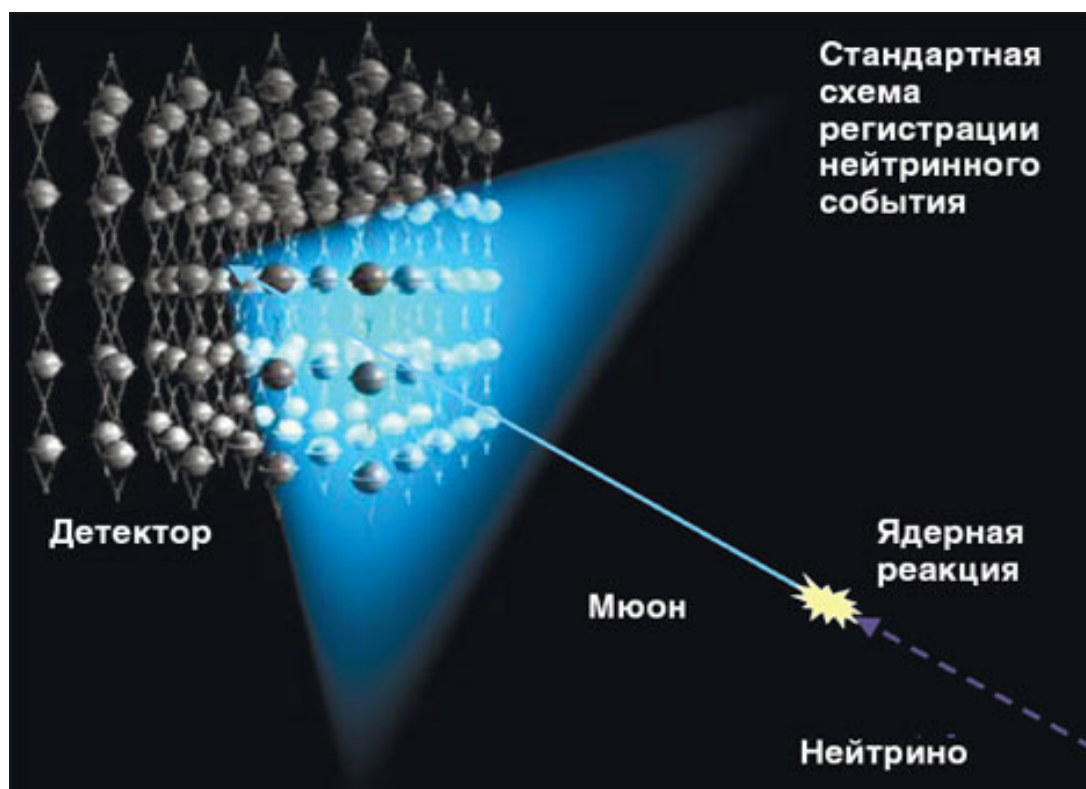


Рис. 2. Работа оптического модуля

Две сотни светочувствительных фотоумножителей, которые закреплены на восьми тросах и спущены в воду южного Байкала на глубине больше километра, и образуют Байкальский нейтринный телескоп.

Помимо своей основной задачи – ловли нейтрино, телескоп также имеет и другие функции, а точнее:

- геофизические наблюдения. Если поймать корреляцию между сейсмической активностью и нейтрино, то можно просматривать недра земли на активность;

- лимнологические наблюдения. Качество получаемых данных во многом зависит от свойств воды, а они меняются соответственно экологической обстановке, что и может отслеживать телескоп;

- станция биосферного мониторинга. Опять же, благодаря погружению квазаров на большую глубину, можно отслеживать состояние биосферы, в течении всего года.

Преимущества телескопа Байкал по сравнению с телескопом IceCube:

- нахождение в Антарктике. Хоть лед и обладает замечательной прозрачностью, но вплоть до 1400м он заполнен мелкими пузырьками воздуха. Свет очень быстро рассеивается из-за них, и вся детальная информация пропадает. А вот Baikal-GVD способен различать сигналы в объеме, далеко превосходящем его размеры, так как байкальская вода является прозрачной и чистой, поэтому рассеивание происходит не так быстро;

- цена постройки. На постройку телескопа Baikal – GVD было затрачено 3 млрд рублей, а на постройку телескопа IceCube было затрачено 300 млн долларов, что на настоящее время более 18 млрд рублей.

Преимущества телескопа Байкал по сравнению с телескопом ANTARES:

- глубина погружения. Телескоп расположен на глубине 2,4 км, Baikal - GVD же в свою очередь находится в два раза выше, на высоте 1,2 км. Благодаря этому сэкономлены средства, которые пойдут на его дальнейшее развитие;

- масштабы. Телескоп ANTARES имеет 12 тросов, с 75-ю оптическими модулями на каждом (900 всего), телескоп Baikal – GVD в свою очередь имеет 64 троса, с 36-ю оптическими модулями на каждом (2 304 всего). Соответственно телескоп Baikal – GVD имеет куда большую мощность, чем телескоп ANTARES.

Заключение

В настоящее время данная область ещё продолжает развиваться, но уже приносит значительные результаты в ходе исследований. Телескоп используется не только учеными России, но также и зарубежными специалистами, что значительно помогает в его развитии.

Хоть телескоп еще не достроен на данный момент, но является весьма перспективным сооружением, которое поможет пролить свет на историю вселенной, решить многие загадки, а также предоставит информацию о новых открытиях, которые до данного момента, могли считаться лишь научной фантастикой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. https://wiki2.wiki/wiki/Neutrino_detector [Электронный ресурс] (10.11.2021)
2. <https://www.inr.ru/rus/baikal/release.html> [Электронный ресурс] (29.10.2021)
3. https://ru.wikipedia.org/wiki/Байкальский_подводный_нейтринный_телескоп [Электронный ресурс] (21.10.2021)
4. http://nuclphys.sinp.msu.ru/neutrino/newtrino_s/baik.htm [Электронный ресурс] (02.11.2021)
5. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Супер-Камиоканде> [Электронный ресурс] (10.11.2021)
6. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Нейтрино> [Электронный ресурс] (10.11.2021)
7. Лернд, Дж., Эйхлер, Д. Глубоководный нейтринный телескоп (перевод из *Scientific American*) [Текст] / УФН, 1982
8. Березинский, В.С., Зацепин, Г.Т. Возможности экспериментов с космическими нейтрино очень высоких энергий: проект / В. С. Березинский, Г. Т. Зацепин. ДЮМАНД [Текст] / УФН, 1977
9. Бакал Дж. Нейтринная астрофизика. [Текст] / М.: Мир, 1993.
10. Кошиба, М. Рождение нейтринной астрофизики (Нобелевская лекция по физике — 2002) / М. Кошиба [Текст] / УФН, 2004.

© Г. И. Новиков, И. В. Парко, 2022