



# Глобальная сеть телескопов-роботов МАСТЕР

Локализация источника космических нейтрино высоких энергий

## Optical Observations Reveal Strong Evidence for High Energy Neutrino Progenitor

*Accepted to Astrophysics Journal Letters 24-May-2020*

*Принято к публикации 24-May-2020*

*lipunov2007@gmail.com*

V.M. Lipunov<sup>1,2</sup>

V.G. Kornilov<sup>1,2</sup>, K.Zhirkov<sup>1</sup>, E. Gorbovskey<sup>2</sup>, N.M. Budnev<sup>4</sup>, D.A.H.Buckley<sup>3</sup>, R.Rebolo<sup>5</sup>,  
M. Serra-Ricart<sup>5</sup>, R. Podesta<sup>9,10</sup>, N. Tyurina<sup>2</sup>, O. Gress<sup>4,2</sup>, [Yu.Sergienko](#)<sup>8</sup>, V. Yurkov<sup>8</sup>, A.  
Gabovich<sup>8</sup>, P.Balanutsa<sup>2</sup>, I.Gorbunov<sup>2</sup>, D.Vlasenko<sup>1,2</sup>, F.Balakin<sup>1,2</sup>, V.Topolev<sup>1</sup>, A.Pozdnyakov<sup>1</sup>,  
A.Kuznetsov<sup>2</sup>, V.Vladimirov<sup>2</sup>, A. Chasovnikov<sup>1</sup>, D. Kuvshinov<sup>1,2</sup>, V.Grinspun<sup>1,2</sup>, E.Minkina<sup>1,2</sup>,  
V.B.Petkov<sup>7</sup>, S.I.Svertilov<sup>2,6</sup>, C. Lopez<sup>9</sup>, F. Podesta<sup>9</sup>, H.Levato<sup>10</sup>, A. Tlatov<sup>11</sup>  
B. Van Soelen<sup>12</sup>, S.Razzaque<sup>13</sup>, M. Böttcher<sup>14</sup>,

- 1 M.V.Lomonosov Moscow State University, Physics Department, Leninskie gory, GSP-1, Moscow, 119991, Russia;  
M.V.Lomonosov Moscow State University, SAI, Universitetsky pr., 13, Moscow, 119234, Russia;  
3 South African Astrophysical Observatory, PO Box 9, 7935 Observatory, Cape Town, South Africa;  
4 Irkutsk State University, Applied Physics Institute, 20, Gagarin blvd,664003, Irkutsk, Russia;  
5 Instituto de Astrofísica de Canarias Via Lactea, s/n E38205 - La Laguna (Tenerife), Spain;  
6 Lomonosov Moscow State University, Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Moscow 119234, Russia;  
7 Institute for Nuclear Research of RAS, Moscow 117312, Russia;  
8 Blagoveschensk State Pedagogical University, Lenin str., 104, Blagoveschensk 675000, Russia;  
9 Observatorio Astronomico Felix Aguilar(OAFA), Avda Benavides s/n, Rivadavia, El Leonsito, Argentina;  
10 San Juan National University, Casilla de Correo 49, 5400 San Juan, Argentina;  
11 Kislovodsk Solar Station of the Pulkovo Observatory RAS, P.O.Box 45, ul. Gagarina 100, Kislovodsk 357700, Russia  
12 Physics Dept., Department of Physics, University of the Free State, PO Box 339, Bloemfontein 9300, South Africa  
13 Department of Physics, University of Johannesburg, PO Box 559, Auckland Park, South Africa  
14Centre for Space Research, North-West University, Potchefstroom 2520, South Africa

## Официальный пресс-релиз *Official Realize MASTER Global Robotic Net*

[Памяти нашего соавтора Юрия Павловича Сергиенко](#)

12 июля 2018 года состоялась [пресс-конференция](#) Американского Научного Фонда, посвященная открытию источника космических нейтрино сверхвысоких энергий. Презентация сопровождалась публикацией в журнале *Science* оригинальной статьи большого коллектива авторов, в которой были высказаны аргументы в поддержку того, что нейтрино зафиксированное 22 сентября 2017 года установкой IceCube возникло в блазаре TXS 0506+056, который был найден в квадрате ошибок нейтринного детектора. К сожалению представленные аргументы представляли собой совокупность правдоподобных, но статистически не обоснованных, экспериментальных фактов, решающий из которых был получен телескопом-роботом MASTER -Таврида и представлен в настоящем пресс-релизе.

MASTER-Tavrida - так называется на Западе один из телескопов Глобальной роботизированной сети [MASTER](#) расположенный на Крымской станции МГУ.

22 сентября 2017 года один из телескопов-роботов Глобальной сети MASTER, расположенный в Крыму автоматически произвёл съёмку квадрата ошибок нейтрино сверхвысокой энергии IceCube-170922A. Наблюдения были проведены через 27 секунд после получения алерта и через 73 секунды после детектирования нейтрино установкой IceCube на Южном Полюсе. Однако неожиданные подробности этих наблюдений публикуются только сейчас. Эти наблюдения оказались самыми ранними астрономическими наблюдениями после регистрации нейтрино. Буквально через минуту после детектирования нейтрино, мы застали сверхмассивную чёрную дыру TXS 0506+056 в необычном притушенном состоянии из которого он вышел через 2 часа.

Являясь [лидером](#) ранних наблюдений гамма-всплесков сеть MASTER имеет почти 20-летний опыт реал тайм наблюдений минутных (first minute pointing on GRB alerts) событий на небе. Начиная с 2015 года глобальная сеть MASTER активно участвует в программе быстрой оптической поддержки крупных физических и астрофизических экспериментов таких как регистрация нейтрино сверхвысоких энергий (ATNTARES, IceCube, Vaksan), гравитационных волн (LIGO/VIRGO collaboration), а так же Fast Radio Bursts (FRB). Благодаря удачному распределению сайтов MASTERа ему удалось инспектировать все гравитационно-волновые поля ошибок. При этом MASTER внёс

решающий вклад в оптическую инспекцию первого гравитационно-волнового события GW 150914, осмотрев большую часть вероятной области ошибок. А 17 августа 2017 года МАСТЕР в числе 6-ти телескопов осуществил первую в истории локализацию гравитационных волн получив ранние снимки килоновой события GW 170817.

Именно успех в обнаружении килоновой на месте столкновения нейтронных звезд 17 августа 2017 года заставил сосредоточиться команду МАСТЕРА на анализе этого важнейшего события вплоть до конца 2017 года. Поэтому мы пропустили событие IceCube-170922. Но наши телескопы-роботы сделали всё сами. Ведь уже с июня 2015 года мы начали быструю инспекцию нейтринных квадраты ошибок в автоматическом режиме.

Только что мы получили подтверждение о приёме к публикации в одном из лучших мировых



**Рисунок 1. Телескоп-робот МАСТЕР-Таврида. Изготовлен для МГУ им.М.В.Ломоносова Московским Объединением "Оптика".**

астрофизических журналов Astrophysical Journal Letters нового, как мы надеемся, важнейшего результата.

В XXI веке физики пытаются исследовать свойства материи при сверхвысоких энергиях в сотни и тысячи раз превышающие возможности Большого Адронного Коллайдера. "Бесплатные" ускорители находятся во Вселенной. Однако из всех частиц серхвысоких энергий по Вселенной могут путешествовать только нейтрино, а ловить их по той же причине оказалось очень не просто. . <P>Поэтому передовые страны и их объединения построили монструозные, по своим размерам,

нейтринные "телескопы" в антарктическом льду (проект <A  
HREF="https://ru.wikipedia.org/wiki/IceCube">IceCube</A> - кубокилометр льда на Южном Полюсе  
Земли, США), в горных туннелях - <A

HREF="https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B0%D0%BA%D1%81%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F\_%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F\_%D0%BE%D0%B1%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F">Баксанская Нейтринная Обсерватория</A> (Россия), глубоко под водой (французская установка <A

HREF="https://ru.wikipedia.org/wiki/ANTARES\_(%D1%82%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%BF)">ANTARES</A> у дна Средиземного моря, <A

HREF="https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B0%D0%B9%D0%BA%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9\_%D0%BF%D0%BE%D0%B4%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D1%8B%D0%B9\_%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9\_%D1%82%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%BF">Байкальская Нейтринная Обсерватория</A> в самом чистом и глубоком озере мира). И такие нейтрино были найдены, а вот где и как они рождаются - до сих пор оставалось загадкой.

<P> В 2015 г. наконец нейтринные детекторы научились давать информацию в течении первой минуты после обнаружения, автоматически. Вот тогда на помощь физикам пришла Глобальная сеть телескопов-роботов МАСТЕР, которая в течении минуты способна наводиться в любую точку неба по сигналу нейтринных детекторов и буквально через 2 года среди мириад объектов на небе уличила одного из виновников этой огромной научной проблемы. <P>

<P> Крымский телескоп МАСТЕР, установленный по программе развития МГУ в 2016 г., получил прямые указания, что источником частиц сверхвысоких энергий является сверхмассивная черная дыра - <A

HREF="https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%BB%D0%B0%D0%B7%D0%B0%D1%80">Блазар</A> - гигантский космический ускоритель который нацелен точно на нас.

<P>

Источник нейтрино сверхвысоких энергий до сих пор остаётся одной самых волнующих загадок Вселенной. Именно с целью обнаружения источников VHE-neutrino были построены уникальные установки на Южном Полюсе мира (IceCube)<sup>5</sup>, в Средиземном Море (ANTARES)<sup>6</sup>, на самом глубоководном озере Байкал<sup>7</sup> и под горным хребтом Кавказа (БНО)<sup>8</sup>. В отличие от космических лучей сверхвысоких энергий, электрически-нейтральное нейтрино свободно распространяется по Вселенной не отклоняясь в межгалактическом магнитом поле и не ослабевая при взаимодействии реликтовым космическим излучением (background emission)<sup>5</sup>. Таким образом траектории нейтрино указывает направление на его источник. К сожалению рассеяние света во льду или в воде, которые являются рабочим телом детекторов нейтрино, приводит к размытию квадрата-ошибок. Так что сейчас он обычно составляет величину сравнимую с квадратным градусом. Таких квадратных градусов во всем небе ~40 000. Каждый астрофизик знает, что во Вселенной ~10 млрд крупных галактик. Таким образом квадратном градусе Вселенной расположены пару миллионов галактик. 1% галактик - это активные ядра - квазары. Большинство из них излучают половину энергии в узком релятивистском джете

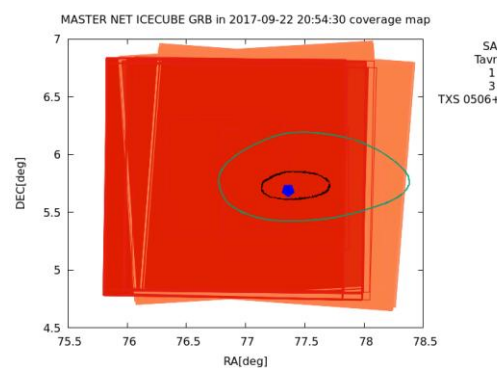
покрывающем 0.1% их неба. И даже если считать только сверхмощные активные галактические ядра, стреляющие точно в Землю - блазары - то и их в каждом таком эррор боксе будет в среднем пару штук. Поэтому просто обнаружение Блазара в эррор боксе VHE-neutrino не является доказательством того, что именно блазары являются источником их происхождения. Доказательством явилось бы какое-то нестандартное явление на предполагаемом источнике **близкое по времени** с нейтринным событием.



**Рисунок 2. Взаимодействие глобальной сети MASTER<sup>0</sup> с нейтринной Установкой IceCube 22 (США) сентября 2017 года. Первым попытался навестись телескоп-робот MASTER-Благовещенск (Россия) но не было погоды, вторым телескоп MASTER-Kislovodsk (Russia), MASTER-Таврида (Россия), позже подключились к инспекции телескопы в MASTER-OAFA (Южная Африка), MASTER-IAC (Tenerife, Spain) и MASTER-OAFA (Argentina).**

Вот, например, если бы блазар показал резкое изменение блеска вблизи момента регистрации нейтрино и при этом являлся источником гамма-излучения, а еще и космических лучей, это было бы уже реальным свидетельством правильности отождествления с известным астрофизическим объектом.

Первым кандидатом в такие объекты оказался блазар TXS 0506+056 который попал в квадрат ошибок нейтринного события IceCube-170922A . Блазар оказался удалён от нас на расстояние ~3.7 млрд световых лет (красное смещение  $z = 0.3365 \pm 0.0010$ )

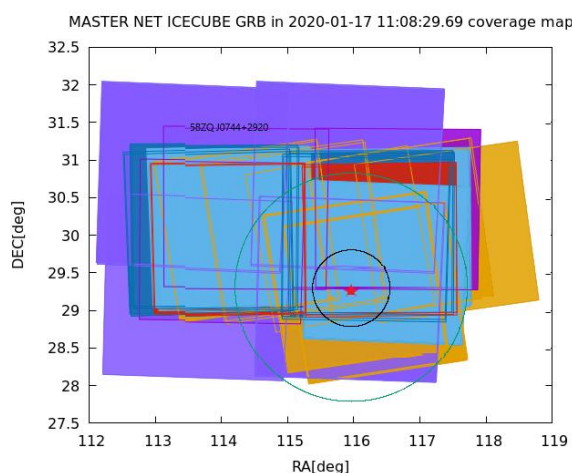


**Первое успешное наведение - МАСТЕР-Таврида**

Хотя блазар находился в активном состоянии в гамма-диапазоне, однако это состояние началось за несколько месяцев до нейтринного события. Регистрация частиц высоких энергий (175Gev) началась через неделю после, а поток излучения в оптическом,

рентгеновском и радиодиапазоне наблюдался с плохим временным разрешением не показал существенных изменений вокруг момента регистрации.

Поэтому, хотя "по совокупности" данные говорили об объекте TXS 0506+056 как о весьма перспективном кандидате в источники нейтрино сверхвысоких энергий, но временное разрешение multimessenger data не позволяли сделать надежного вывода и оставляли этот объект вероятным и дискуссионным. В настоящем письме мы сообщаем, о статистически достоверном изменении блеска блазара TXS 0506+056 в нескольких минутах от нейтринного события, которое закончилось не позднее чем через 2 часа. Например, оптические наблюдения ASAS-SN<sup>5</sup> начались через 18 часов после МАСТЕРа,



**Рисунок 3. Карта покрытия телескопами Глобальной сети МАСТЕР "квадрата"**

**ошибка нейтринного алерта IceCube. 22 сентября 2017 г. Блазар отмечен красной звездочкой. Разным цветом показаны поля зрения телескопов сети МАСТЕР. После Крымского, навелись соответственно - телескопы МАСТЕР в Южной Африке, затем Кисловодский телескоп, потом аргентинский и уже когда ночь пришла на Дальний Восток к наблюдениям подключился телескоп на Байкале - МАСТЕР-Тунка.**

то есть почти в 800 раз позже.

Между тем 22 сентября 2020 года наш телескоп МАСТЕР-Таврида, получив алерт с IceCube через 40 секунд после события сделал первых три снимка начиная с 2017-09-22 20:55:43 UT. Поле зрения телескопа МАСТЕР составляет 4 квадратных градуса и полностью полностью перекрывает окончательное поле зрения IceCube. (Рис.2) Несмотря на большое зенитное расстояние (84 градуса) предел наших кадров при экспозиции 180 секунд составил 19 звездную величину. То есть блазар **TXS 0506+056** имел в этот момент звездную величину  $m = 15.00 \pm 0.02$  на всех трех кадрах снятых в течении 10 минут (кривой блеска (Рис. NN)). Как показал анализ это был самый слабый блеск за весь период алертных наблюдений блазара! Так через 2 часа в 2017-09-22 23:11:36 UT блеск квазара возрос в ~2 раза и составил 14.3 звездной величины. Таким образом, наши наблюдения с огромной достоверностью 50 сигма показывают, что в минутах от регистрации нейтрино блазар находился в аномальном притушенном состоянии.

Как показал анализ, это был самый слабый блеск за весь период алертных наблюдений блазара! Так, через 2 часа в 2017-09-22 23:11:36 UT блеск квазара возрос в ~2 раза и составил ~14.3 звездной величины. Таким образом, наши наблюдения с огромной достоверностью 50 сигма показывают, что в минутах от регистрации нейтрино блазар находился в аномальном притушенном состоянии.

Это полностью подтвердилось в течении двух ночей после алерта, когда к наблюдениям подключился телескоп-робот МАСТЕР, расположенный в Южной Африке.

Явилось ли это явление уникальным для квазара **TXS 0506+056** ?

### MASTER optical history of TXS 0506+056.

В базе данных Глобальной сети МАСТЕР мы обнаружили около **300** снимков области неба 2x2 квадратных градуса с этим блазаром начиная с 2004 года, когда мы

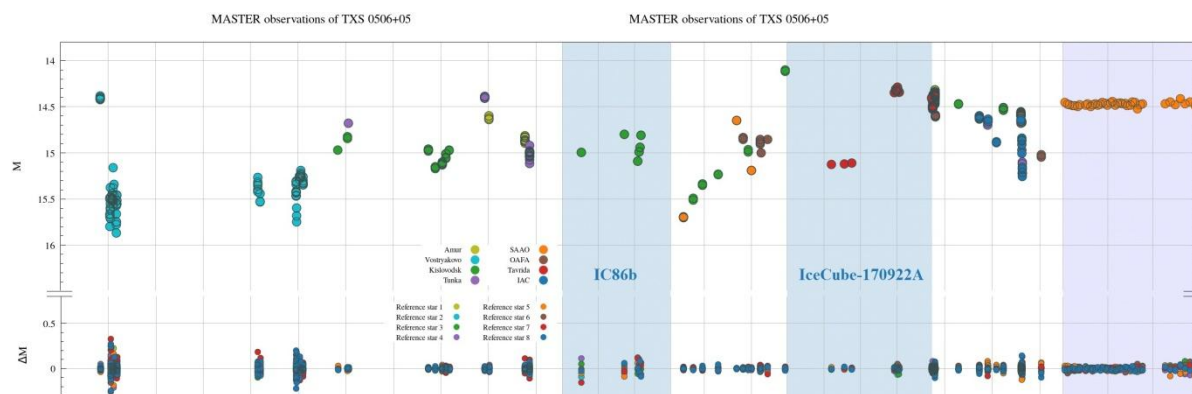


Рисунок 4 Архивная кривая блеска блазара TXS 0506+056, полученная на телескопах-роботах Глобальной сети МАСТЕР с 2006 г по текущий момент.

имели единственный телескоп МАСТЕР I под Москвой<sup>1</sup>.

Рис.4 вы можете видеть нашу фотометрию блазара за последние 16 лет. В качестве звезд сравнения нами были выбраны 8 звезд из каталога Gaia, близких по положению, по яркости и по цвету к блазару. Ошибка индивидуальной фотометрии оценивалась по колебаниям опорных звёзд. Эти звезды были проверены на быструю и долгую переменность и показали хорошую стабильность. Нами найдено три момента, когда яркость блазара менялась от максимальной  $14^m$  до  $14.5-15m$  с достоверностью 10-20 сигма. Первый момент из них наблюдался 2006 году, когда нейтринная установка IceCube еще не работала. Второй момент наблюдался в апреле 2014 года (существенное превышение нейтринного сигнала IC86b). И третий в сентябре 2017года, когда было зарегистрировано событие IceCube-170922 (IC86C).

Общепринятая картина (Schlegel et al. 1998) заключается в том, что блазарное излучение возникает из-за направленной на нас релятивистской струи (джета). При этом гамма-фактор вполне емеренный  $\Gamma \sim 1-10$ . В ударной волне на фронте струи происходит ускорение протонов до сверхвысоких энергий, которые, в свою очередь, сталкиваются с фотонами-мишенями и генерируют пионы. Распад пионов, в свою очередь, приводит к образованию мюонного нейтрино, которое регистрирует детектирование в IceCube и детектирует гамма-фотоны с высокой гамма-энергией в гамма-обсерватории Ферми.

В течение периода  $\sim 2$  недель вокруг времени обнаружения нейтринного события яркость гамма-излучения от 0,1 до 100 ГэВ составляла  $1,3-1047$  эрг / с (IceCube et al 2017). Отметим, что нейтринная светимость квазара была равна примерно  $L_\nu \approx 4 \hat{A} 1047$  эрг / с, что заметно выше и, по-видимому, ближе к гамма-светимости. Однако это неудивительно,

поскольку нейтрино и гамма-излучение имеют один и тот же источник энергии - источник высокоэнергетических протонов, ускоренных центральной сверхмассивной черной дырой.

Однако каким образом выброс нейтрино может сопровождаться понижением оптического блеска? В работе мы предлагаем следующую гипотезу.

Процесс идет примерно с одинаковой вероятностью в двумя ветвями:

$$p + \gamma_t \rightarrow \begin{cases} p + \pi^0 \rightarrow p + 2\gamma_{Fermi} \\ n + \pi^+ \rightarrow n + \mu^+ + \nu_\mu \end{cases}$$

нейтральные и заряженные пионы, почти мгновенно распадаются на гамма-фотоны ( $\gamma_{Fermi}$ ) и мюонные нейтрино ( $\nu_\mu$ ). Обе реакции на рождение пионов имеют пороговый тип (Hayakawa, Yamamoto 1963). Предположим, что  $\pi$ -мезоны рождаются в результате столкновения протонов релятивистской струи с целевыми фотонами  $\gamma_t$ . Обратите внимание, что нейтрино и гамма-фотоны уносят несколько процентов энергии протона. Следовательно, нейтринная светимость блазаров определяется только скоростью рождения заряженных  $\pi$  мезонов. Оптическая светимость как-то связана с потоком нейтрино. Предположим, что эти самые протоны, ускоренные на фронте ударной волны релятивистского усилителя, являются источником синхротронного оптического излучения (сравните с работой, где эта гипотеза отвергается: Paliya et al. 2020). Тогда следует ожидать, что с увеличением потока нейтрино из-за исчезновения протонов в протон-фотонных реакциях оптические синхротронные фотоны протонов будут падать. Амплитуда уменьшения оптической светимости может быть примерно в 2 раза, так как ответвления протекают примерно с одинаковой вероятностью. Это то, что мы наблюдаем.

Как возникает такая быстрая изменчивость на больших расстояниях? Где нас ожидает процесс ускорения протонов и ядер до высоких энергий? В недавней работе (O'Riordan et al. 2017) показано, что гамма-фактор усилителя может значительно варьироваться в течение нескольких минут из-за турбулентности в замагниченном потоке плазмы вблизи горизонта черной дыры.

Нам еще предстоит выяснить, откуда исходят фотоны-мишени (Paliya et al. 2020).

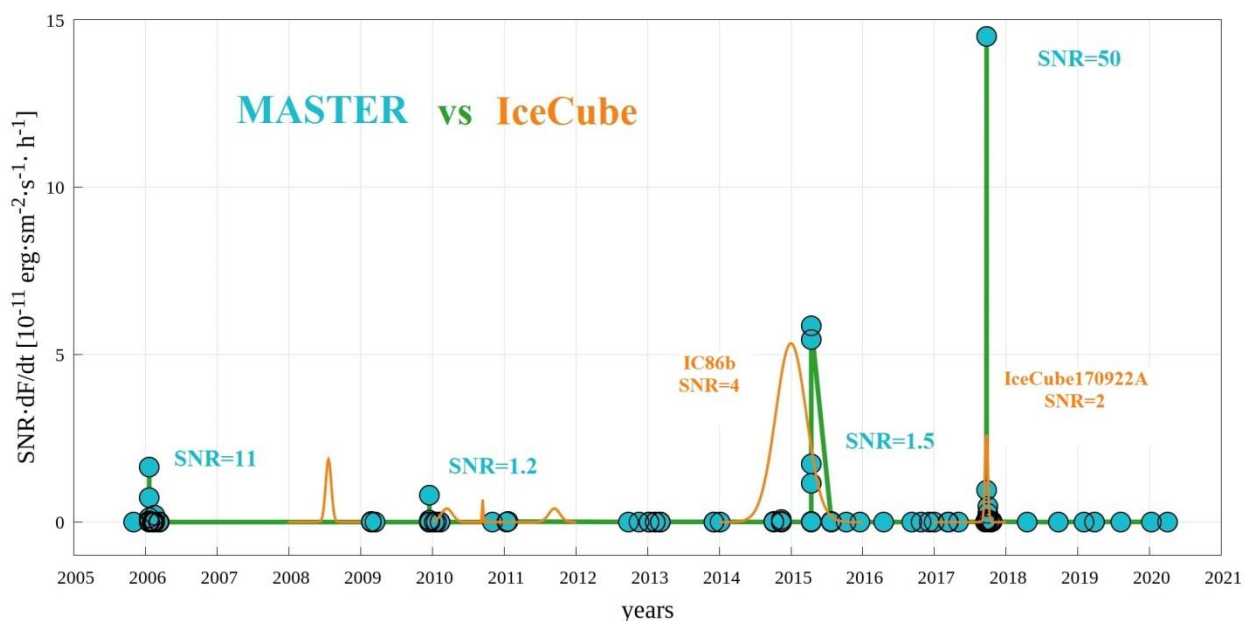
Обнаруженное нами событие, а именно уменьшение яркости блазара TXS 0506 + 056 вблизи времени обнаружения нейтрино, дает дополнительное и очень убедительное доказательство связи между блазаром и нейтринным событием IceCube-170922. Мы проанализировали архивные данные (уникальные данные фотометрии MASTER 518 за 16 лет), которые, как мы обнаружили, согласуются с этим фактом. Мы также предлагаем гипотезу, объясняющую антикорреляцию оптического и нейтринного потоков. Увеличение потока нейтрино означает, что исчезает до половины протонов. Если предположить, что эти протоны производят синхротронное оптическое излучение, то любое увеличение светимости нейтрино приведет к уменьшению оптической яркости блазара.

Мы выражаем признательность за поддержку Программе развития МГУ им. М.В. Ломоносова (оборудование MASTER) и генеральному директору ОАО МО Оптика



Сергею Михайловичу Болрову без маатриальной поддержки которого зарубежные телескопы сети МАСТЕР не погявились бы никогда.

Наблюдения за 2017/19 и VG, SS, VP, OG поддерживаются грантом БРИКС РФФИ 17-52-80133. Наблюдения 2020 года и VL, EG, NT, FB поддерживаются грантом РФФИ 19-29-11011. NB поддерживается Министерством науки и образования Российской Федерации (соглашение № 075-15-2019-1631). D.A.H.V. признает исследовательскую поддержку со стороны Южноафриканского национального исследовательского фонда. Мы благодарны доктору Н.Н.Калмыкову и доктору Ю.Ю.Ковалеву за обсуждение протонно-фотонных процессов и ориентации струй Блазара.



**Рисунок 4.** История изменчивости оптического излучения блазара TXS 0506 + 056, полученная на телескопах Глобальной сети MASTER. Вывод потока, умноженный на отношение сигнал/шум (бирюзовые точки). Оранжевая кривая соответствует анализу потока нейтрино командой IceCube. Чтобы убрать шум, мы усреднили точки следующие подряд. Отклонение потока, умноженное на отношение сигнал/шум (SNR). Событие 22 сентября 2017 года имеет выдающиеся характеристики с точки зрения получения потока и отношения сигнал / шум.

**MASTER TXS 0506 + 056 optical blazar variability rate history. Flux derivation the multiplied by the signal-to-noise ratio (blue points). The orange curve corresponds to the neutrino flux analysis by IceCube team. To remove the noise we averaged the close points. Flux deviation the multiplied by the signal-to-noise ratio. The event of September 22, 2017 has outstanding characteristics in terms of flux derivation and signal-to-noise ratio.**

## **ORCID iDs**

**V.M. Lipunov** <https://orcid.org/0000-0003-3668-1314>

**D. A. H. Buckley** <https://orcid.org/0000-0002-7004-9956>

**R. Rebolo** <https://orcid.org/0000-0003-3767-7085>

**N. M. Budnev** <https://orcid.org/0000-0002-2104-6687>

## **References**

- Aartsen M. et al. 2017, *A&A*, 607, A115
- Abbott B.P. et al. 2016, *ApJL*, 826, 13A
- Abbot B. P. et al. 2017, *ApJL*, 848 (2), L12
- Ade P. A. R. et al. 2016, *A&A*, 594, A13
- Ageron M. et al. 2011, *NIMPh*, 656, 11
- Balkanov V. et al. 2002, *NuPhS*, 110, 504B
- Boliev M.M. et al. 2018, *PPN*, 49 (4), 585
- Brown A.G.A. et al. 2018, *A&A*, 616, A1
- Dornic D. et al. 2015, *ATel*, 7987, 1
- Ershova O. et al. 2020, *ARep*, 64 (2), 126
- Gress O. et al. 2019, *RMxAA*, 51, 89
- Hayakava S., Yamamoto Y. 1963, *PThPh*, 30, 71
- IceCube Collaboration et al. 2018, *Sci*, 361, eaat1378
- IceCube Collaboration. 2018, *Sci*, 361, 147
- Kopper C. et al. 2017, *GCN Circ*, 21916, 1
- Lipunov V. et al. 2010, *AdAst*, 2010, 30L
- Lipunov V. et al. 2017, *MNRAS*, 465 (3), 3656
- Lipunov V. et al. 2017, *ApJL*, 850, 1L
- Lipunov V.M. et al. 2018a, *GCN Circ*, 22942, 1
- Lipunov V. et al. 2018b, *ATel*, 11902, 1

Lipunov V. et al. 2019a, GCN Circ, 26539, 1

Lipunov V. et al. 2019b, ARep, 63,293

O' Riordan M., Pe'er A., McKinney J. C. 2017, ApJ, 843, 2, id. 81

Paiano S. et al. 2018, ApJ, 854, L32

Paliya V.S.et al. 2020, a-ph: 20034.060112v2 , <https://arxiv.org/abs/2003.06012>

Schlegel D., Finkbeiner D., Davis M. 1998, ApJ, 843, 525

Troja E. et al. 2017, Natur, 547, 425

## **Optical Observations Reveal Strong Evidence for High Energy Neutrino progenitor**

**Physicists are investigating the properties of matter at ultrahigh energies, thousands of times greater than the capabilities of the Large Hadron Collider. “Free” accelerators are located in the Universe and astronomers can’t do without them. Different countries that built monster-like machines in ice (IceCube), under water (ANTARES, Baykal Neutrino Observatory), and in deep tunnels (Baksan Neutrino Observatory) have been detecting ultrahigh-energy neutrinos for the past 10 years. It is still not possible to understand where cosmic neutrinos of superhigh energies come from and astronomical robots have joined in solving this problem. Here we show that the source of ultrahigh-energy neutrinos is supermassive black holes - blazars - in at least one case. A few years ago, the MASTER Global Network of Robot Telescopes came to the rescue, which within a minute is capable of pointing to anywhere in the sky according to the signal of neutrino detectors. After 2 years among the myriad objects in the sky, she caught one of the culprits of this huge scientific problem. In this work, the earliest astronomical observation of a high energy neutrino error box in which its variability was discovered after ultrahigh-energy neutrinos detection. The Crimean robotic telescope of the MASTER<sup>1</sup> global international network**

automatically imaged the error box of the very high-energy neutrino event IceCube-170922A<sup>2</sup>. Observations were carried out 27 seconds after receiving the alert, i.e., 73 seconds after the IceCube-170922A neutrino event was detected by the IceCube installation at the South Pole<sup>3</sup>. Robot found the blazar TXS 0506+056<sup>5</sup> to be in the off-state after one minute and then switched to the on-state no later than two hours after the event. The effect is observed at a 50-sigma significance level.