



# Наблюдение космических лучей широкоугольным черенковским телескопом, работающим на совпадение с сцинтилляционными детекторами ЯКУШАЛ

Тимофеев Л.В.<sup>1</sup>, Иванов А.А.<sup>1</sup>.

(1) Институт космофизических исследований и астрономии им. Ю.Г. Шафера СО РАН, Якутск, Россия  
Докладчик: Тимофеев Л.В. (timofeevlev@ikfia.sbras.ru), Id: 46-poster

По программе модернизации Якутской установки ШАЛ нами разрабатывается широкоугольный черенковский телескоп, работающий на совпадение сигналов с сцинтилляционными детекторами установки. В настоящее время подготовлен прототип телескопа с многоанодным фотозлектронным умножителем в фокусе сферического зеркала, чтобы проверить работоспособность концепции. Описаны параметры и конструкция прототипа телескопа.

## Введение

Цель программы модернизации Якутской установки ШАЛ – создание астрофизического инструмента, способного детально измерять параметры галактических космических лучей (КЛ) высоких энергий – их источники, энергетический спектр и массовый состав. Другая цель – изучение переход ной области между галактической и внегалактической компонентами КЛ, в которой могут быть выявлены некоторые нерегулярности в спектре и составе [1].

Решающую роль в этой программе должна сыграть сеть из телескопов с широкими углами обзора – дифференциальных детекторов черенковского света, излучаемого широкими атмосферными ливнями (ШАЛ), предназначенных для измерения угловой и временной структуры сигнала, связанной с каскадной кривой в ливнях с энергией выше  $E = 10^{15}$  эВ [2].

Рис.1 Фотомультипликатор Hamamatsu R2486 с координатно-чувствительным анодом 16x16, был выбран в качестве наблюдающей камеры для ЧДД

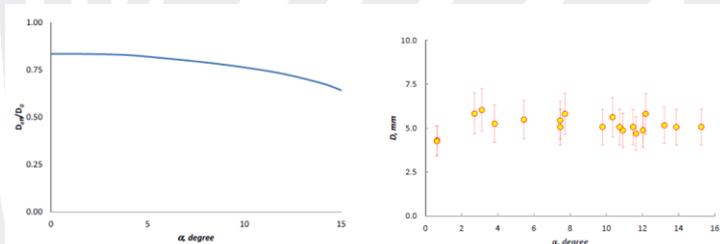
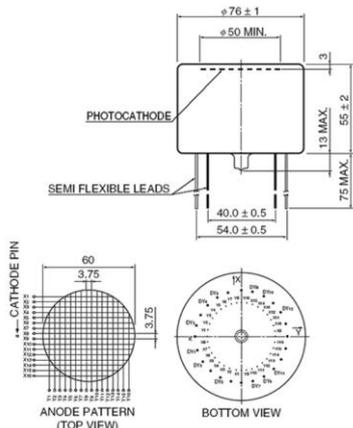


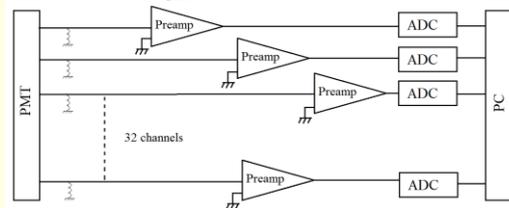
Рис.2 Справа: Затенение Зеркала системой крепежа, кабелями и ФЭУ. Коэффициент не затененного диаметра к реальному задан как функция угла падения,  $\alpha$ . Слева: Угловая зависимость апертуры телескопа как функция угла падения,  $\alpha$ .

По приходу мастерского сигнала, вырабатываемого установкой ШАЛ, промышленный компьютер сохраняет буфер с накопленной предьсторией в отдельный файл с пометкой времени и присвоением порядкового номера. Описание Якутской установки подробно изложено в [5][6]. Блок-схема изображена на (рис. 3).

Коэффициент передачи предусилителей совместно с длинной линией установлен равным 2,9. Произведен замер зависимости КП от напряжения питания предусилителей (5, 10 В) на примере 1 предусилителя, зависимости не наблюдается. Произведен замер наводок между каналами предусилителей, наводки лежат в пределах  $\pm 6$  мВ.

Произведена проверка чувствительности ФЭУ от сцинтилляционного пластика в диапазоне напряжений от 900В до 1300В. Получена координатно-зависимая чувствительность ФЭУ, из которой видна радиальная неоднородность чувствительности (рис.4). Снята угловая зависимость телескопа, энергетический спектр каналов черенковского телескопа, также установлено, что амплитуда темнового тока ФЭУ при напряжении менее 1100В лежит в пределах помех  $\pm 6$  мВ.

Рис.3 Блок-схема системы данных



## Аналоги телескопа и преимущества перед ними

В основе проекта лежит идея создания уменьшенной копии гигантских телескопов, используемых в гамма астрономии. Уменьшенные площади зеркала компенсируются работой в области более низких энергий  $E \sim 10^{15}$  эВ. Измерений черенковского света ШАЛ, чувствительных к угловому распределению, до сих пор не было, за одним исключением. Новейшие разработки фотомультипликаторов дают возможность многократного уменьшения размеров Черенковского телескопа при том же самом угловом разрешении. Уменьшение площади зеркала компенсируется работой в области более низких энергий  $E \sim 10^{15}$  эВ. Для прототипа Черенковского телескопа был выбран фотомультипликатор Hamamatsu R2486[3] имеющий координатно-чувствительный анод, состоящий из 16x16 перекрещенных проводов (рис.1).

## Принцип работы

Для моделирования фокусировки света сферическим зеркалом, покрытым пленкой алюминия, в интервале длин волн (300- 600) нм, мы использовали бесконечно удаленный точечный источник света. Изображение точечного источника формируется на плоскости фотокатода вблизи фокуса зеркала.

Так как радиус фотокатода R2486 равен 3 см, диаметр зеркала был выбран равным 26 см с радиусом кривизны 22.5 см. Параметры зеркала выбирались из соображения обеспечения настолько широкого угла обзора насколько возможно, но так чтобы возможные искажения не превышали размера пикселей  $d=3.8$  мм. В итоге ширина поля зрения составила  $-14^\circ \leq \alpha \leq 14^\circ$ . Схема конструкции такого телескопа приведена на Рис.3. ФЭУ используется в качестве наблюдающей камеры и помещен на фокусном расстоянии перед сферическим зеркалом.

Такая конструкция телескопа обеспечивает эффективный диаметр  $D_{eff}(00) = 10.9$  см с учетом затенения зеркала, производимого корпусом ФЭУ и системой крепежа. Угловая зависимость апертуры телескопа показана на Рис.2. Мы рассчитали ее, используя отношение интенсивности света на поверхности фотокатода к начальной интенсивности света, попадающего в поле обзора телескопа, с учетом коэффициента отражения алюминия 92,4% в интервале чувствительности ФЭУ  $\lambda \in (300, 600)$  нм. Качество оптической системы характеризуется размером «пятна», где пятно - это изображение удаленного точечного источника на плоскости фотокатода. Мы измерили размер пятна на фотокатоде, образованного «точкой» от лазерной указки на расстоянии 3 м от телескопа. Угловая зависимость размера пятна показана на Рис.2. Результаты измерений приблизительно согласуются с результатами нашего моделирования. Соответствующее угловое разрешение телескопа  $\delta\alpha \sim 1.40$  в пределах поля зрения телескопа.

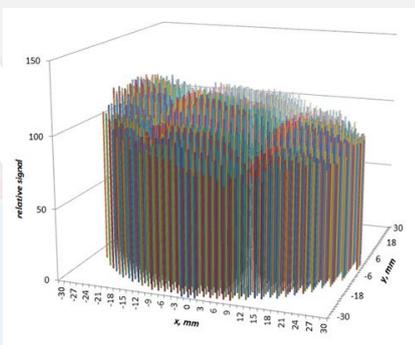
## Система сбора данных

Сигналы с каждого канала многоанодного ФЭУ непрерывно попадают на предусилители и далее на АЦП и хранятся в буферной памяти (16 мкс) 32-канального промышленного компьютера ОЦС-32-250USB (Подробное описание промышленного компьютера можно посмотреть здесь [4]).

## Предварительные результаты наблюдений

Для телескопа был сконструирован внешний короб. В настоящее время телескоп установлен, на полигоне ШАЛ, на станции обскура-3 (500 м от центра установки), где телескоп проходит полевые испытания. Уже получены первые экспериментальные данные. Также нам удалось засечь сигнал Лидара, находящегося на удалении 490м от ЧДД, луч Лидара попадает в область обзора телескопа на высоте около 2км. Как показывает усреднение 95 событий от Лидара, пиковое значение в пересчете на расстояние как раз превосходит около 2км. Что косвенно подтверждает работоспособность телескопа.

Рис.4 Нормированная координатно-зависимая чувствительность ФЭУ



## Заключение

В настоящее время телескоп находится на полигоне ШАЛ, на станции обскура-3, где телескоп проходит полевые испытания. Уже получены экспериментальные данные за период с 19.10.2012 по 29.01.2014, 81 ночь, около 1000 часов наблюдений, за время наблюдения мастер сработал 21000 раз, из них черенковский телескоп сработал около 700 раз.

## Литература

- [1] A.A. Ivanov et al., J. Phys.: Conf. Ser., 409 (2013) 012084 doi:10.1088/1742-6596/409/1/012084.
- [2] A.A. Ivanov et al., Astrophys.Space Sci.Trans. 6 (2010) 53 doi:10.5194/astra-6-53-2010.
- [3] <http://www.hamamatsu.com/>
- [4] <http://www.rudshel.ru/>
- [5] A.A. Ivanov, S.P.Knurenko and I.Ye.Sleptsov, J. Exp. Theor. Phys. 104 (2007) 870 doi:10.1134/S1063776107060052.
- [6] A.A. Ivanov, S.P. Knurenko and I.Ye. Sleptsov, New J. Phys. 11 (2009) 065008 doi:10.1088/1367-2630/11/6/065008.