



# МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**им. М.В.ЛОМОНОСОВА**

ГАИШ МГУ, НИИЯФ МГУ,

Лаборатория Экстремальной Вселенной, Лаборатория Космического Мониторинга, Уральский Государственный Университет, Иркутский Государственный Университет, Благовещенский Государственный Педагогический Университет, Instituto de Ciencias Astronomicas, de la Tierra y del Espacio (ICATE), San Juan University (Argentina), Oafa, IAC (Spain), South African Astronomical Observatory (SAAO), South Africa

## Глобальная Роботизированная Сеть МАСТЕР

*Павел Балануца*

*от имени международной команды*

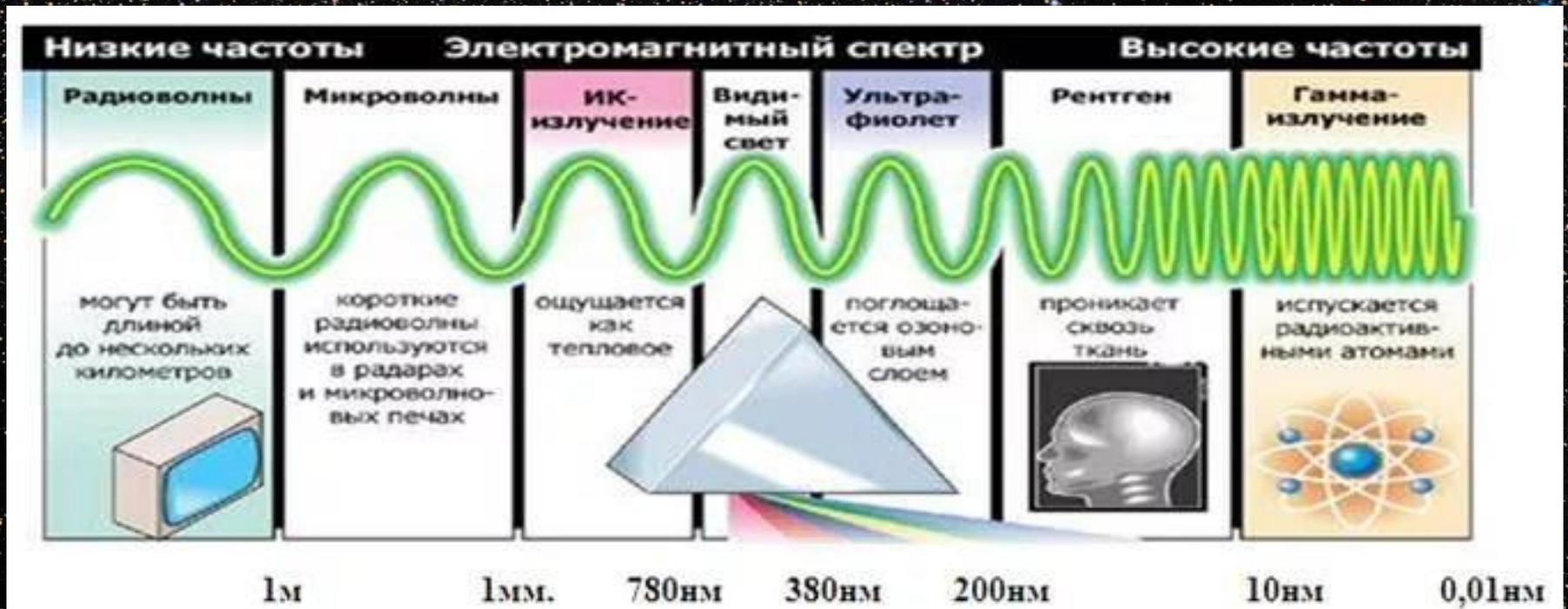
**МАСТЕР**

АСТРОНОМИЧЕСКАЯ  
ОБСЕРВАТОРИЯ  
1839 - 1934

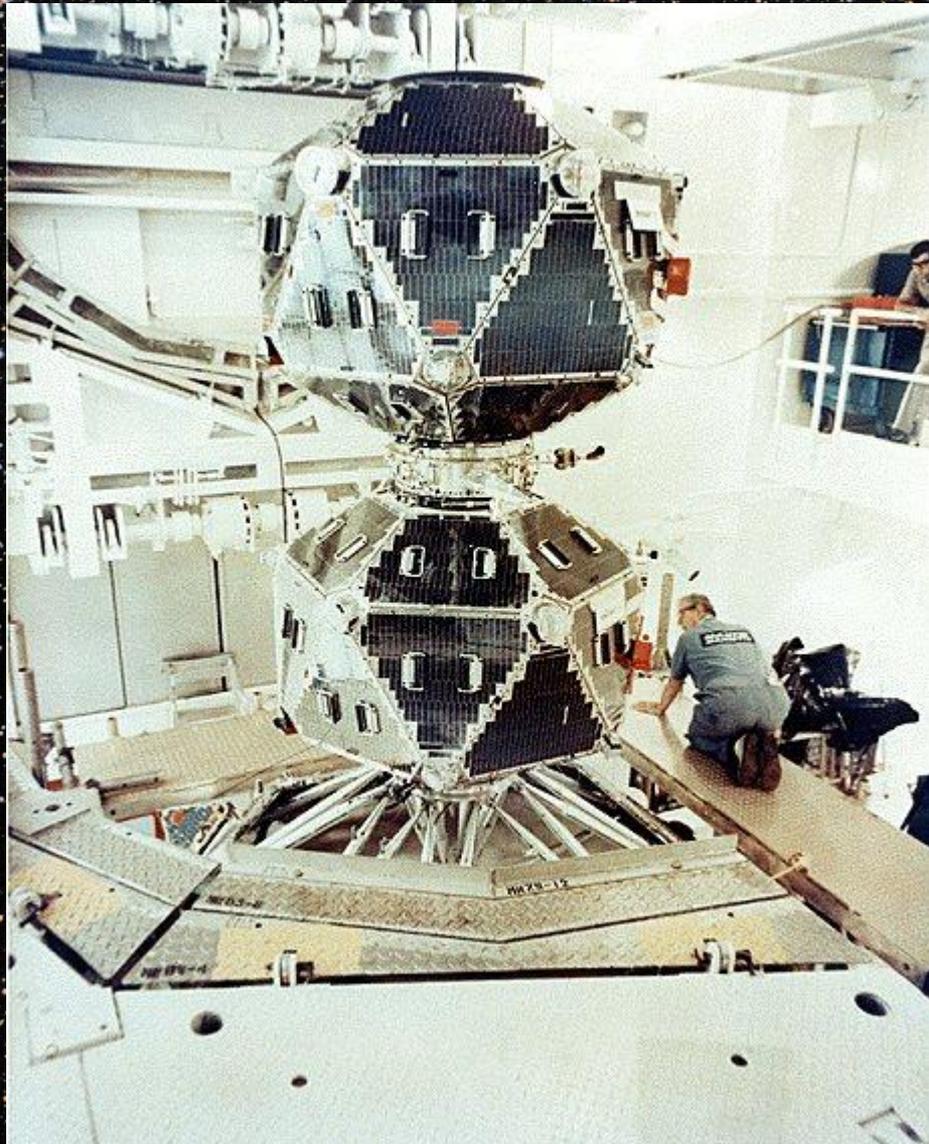
И. В. ДОМОГОСОВА  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АСТРОНОМИЧЕСКИЙ  
ИНСТИТУТ  
ИМ. П. К. ШЕНБЕРГА



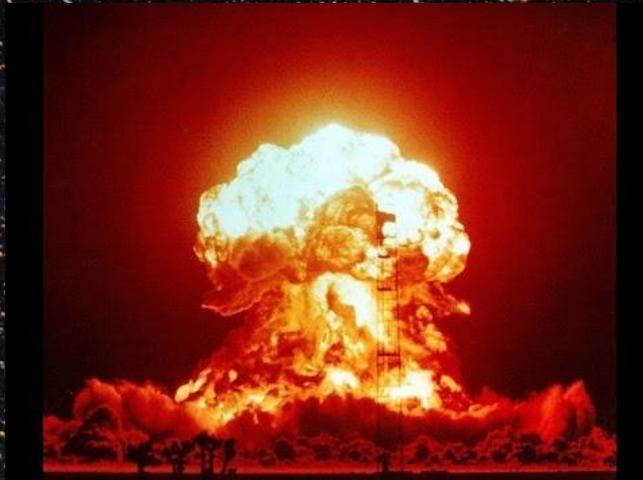
# Что такое гамма-лучи?

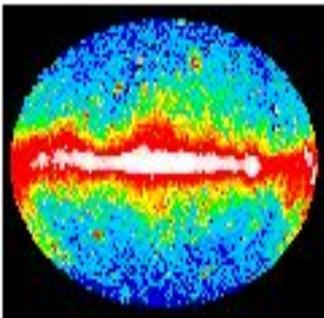


# Военная тайна астрофизики

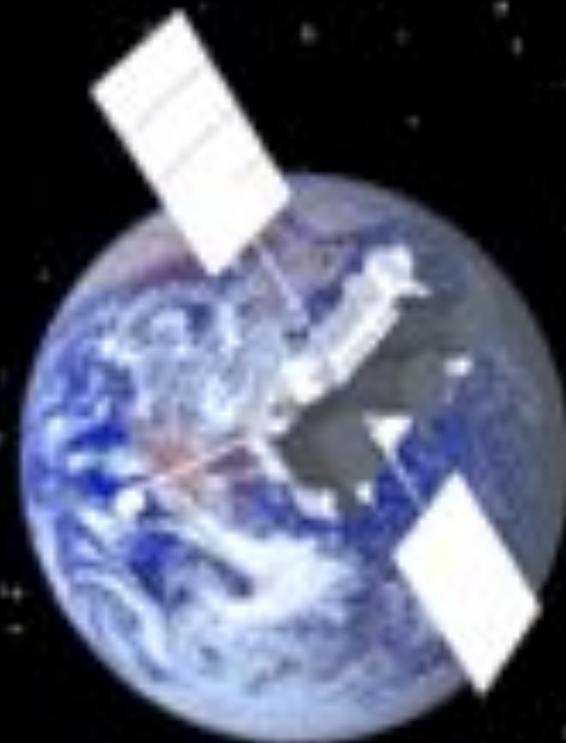
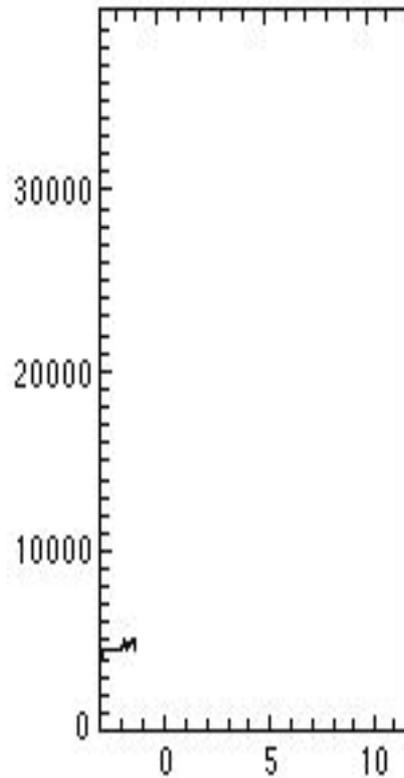


1964  
год





Counts per Second



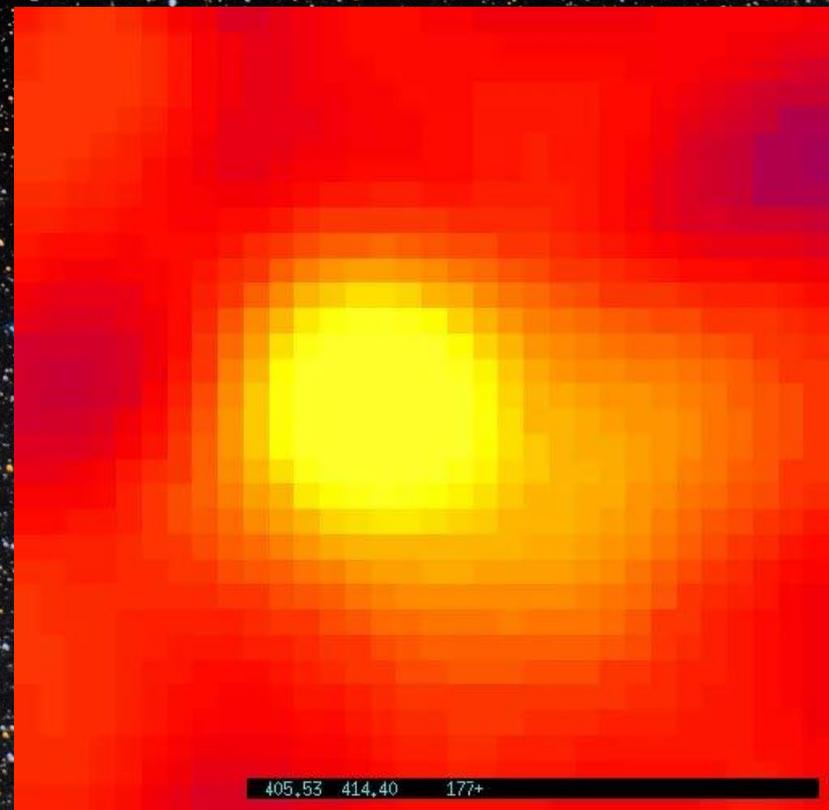
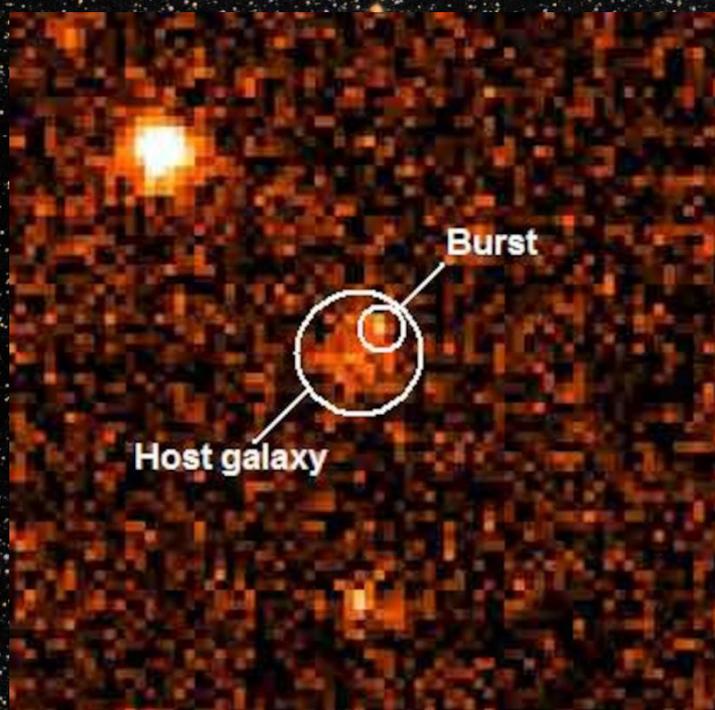
Вселенная - как новогодняя ёлка!

# Эксперимент ВерроSAX

аббревиатура итальянского спутника Satelito di Astronomia X

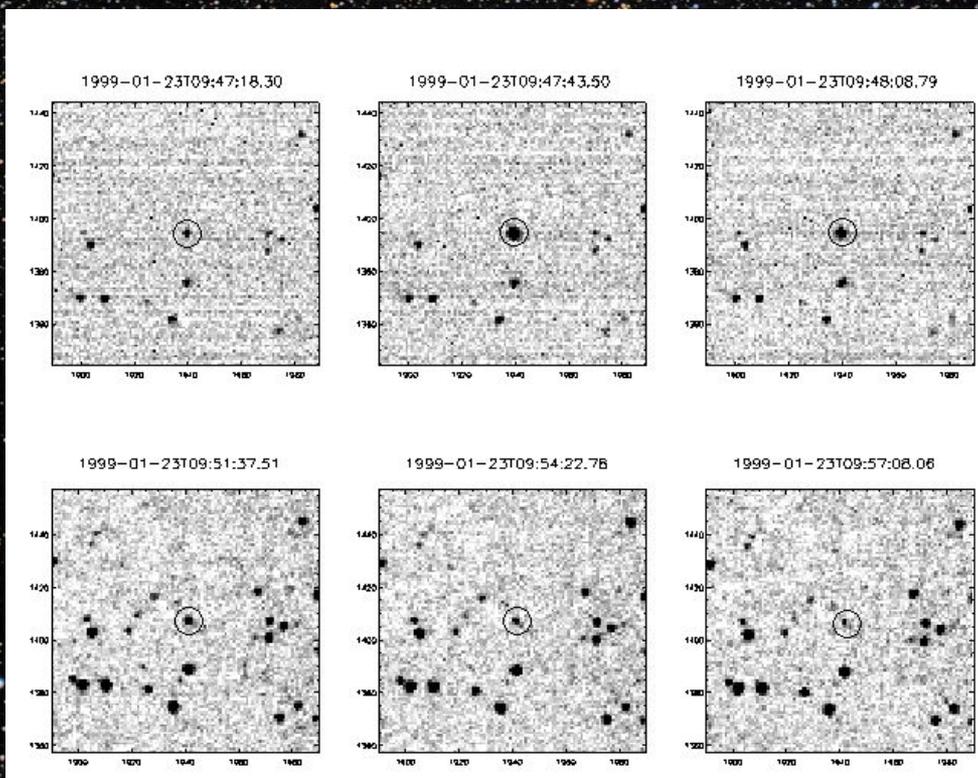
## ПОСЛЕСВЕЧЕНИЕ

Afterglow  
GRB970228



Следующим важным шагом стало открытие синхронного и близкого к моменту вспышки излучения (для простоты, мы будем называть такое свечение «собственным»).

Собственное излучение действительно вскоре было открыто, группой американских астрофизиков под руководством Акерлофа на миниатюрном (четыре трубки по 10 см диаметром), ROTSE-I.



# ОСНОВНЫЕ МОДЕЛИ ГАММА- ВСПЛЕСКОВ

## Гиперновая

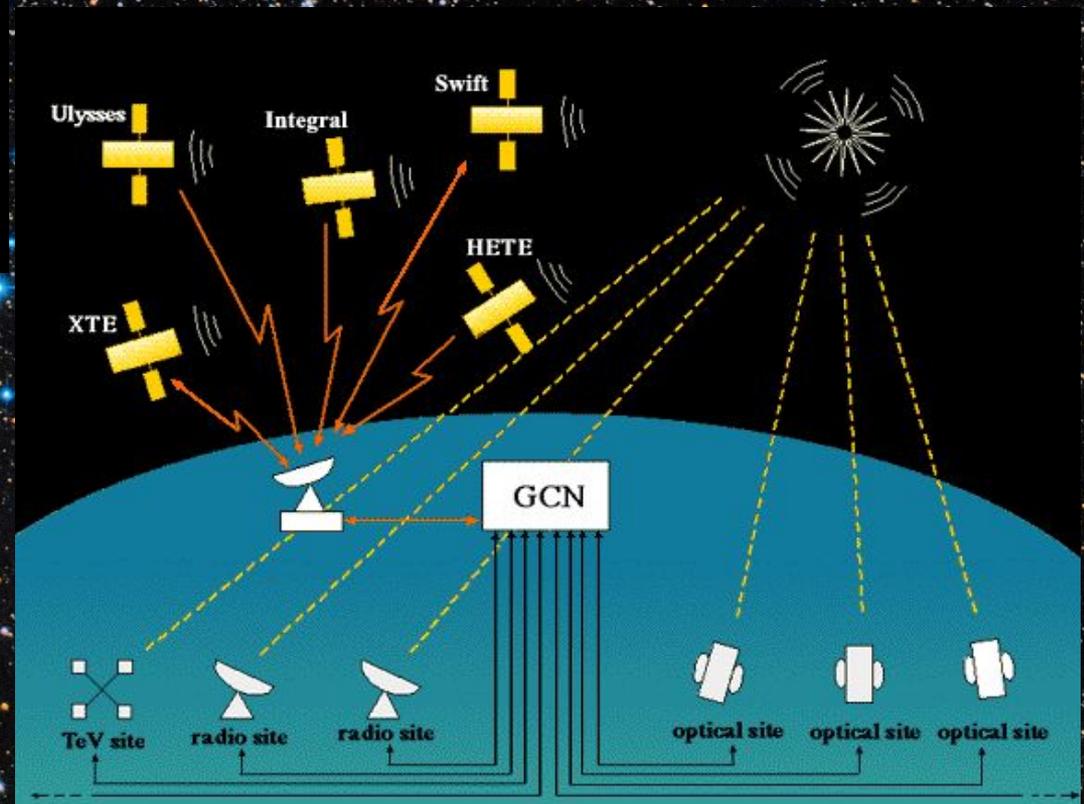
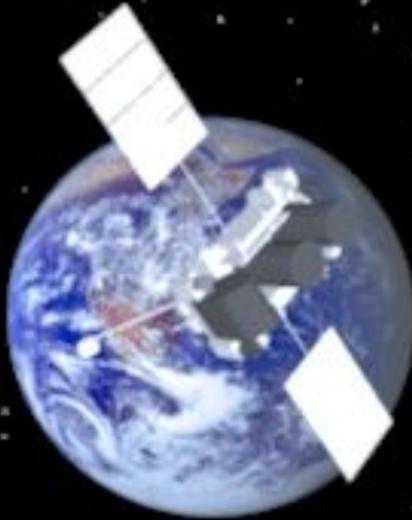
Коллапс в черную дыру быстро вращающегося замагниченного ядра массивной гелиевой звезды

## Столкновения релятивистских звезд

Двойные нейтронные звезды и ли нейтронная звезда с черной дырой

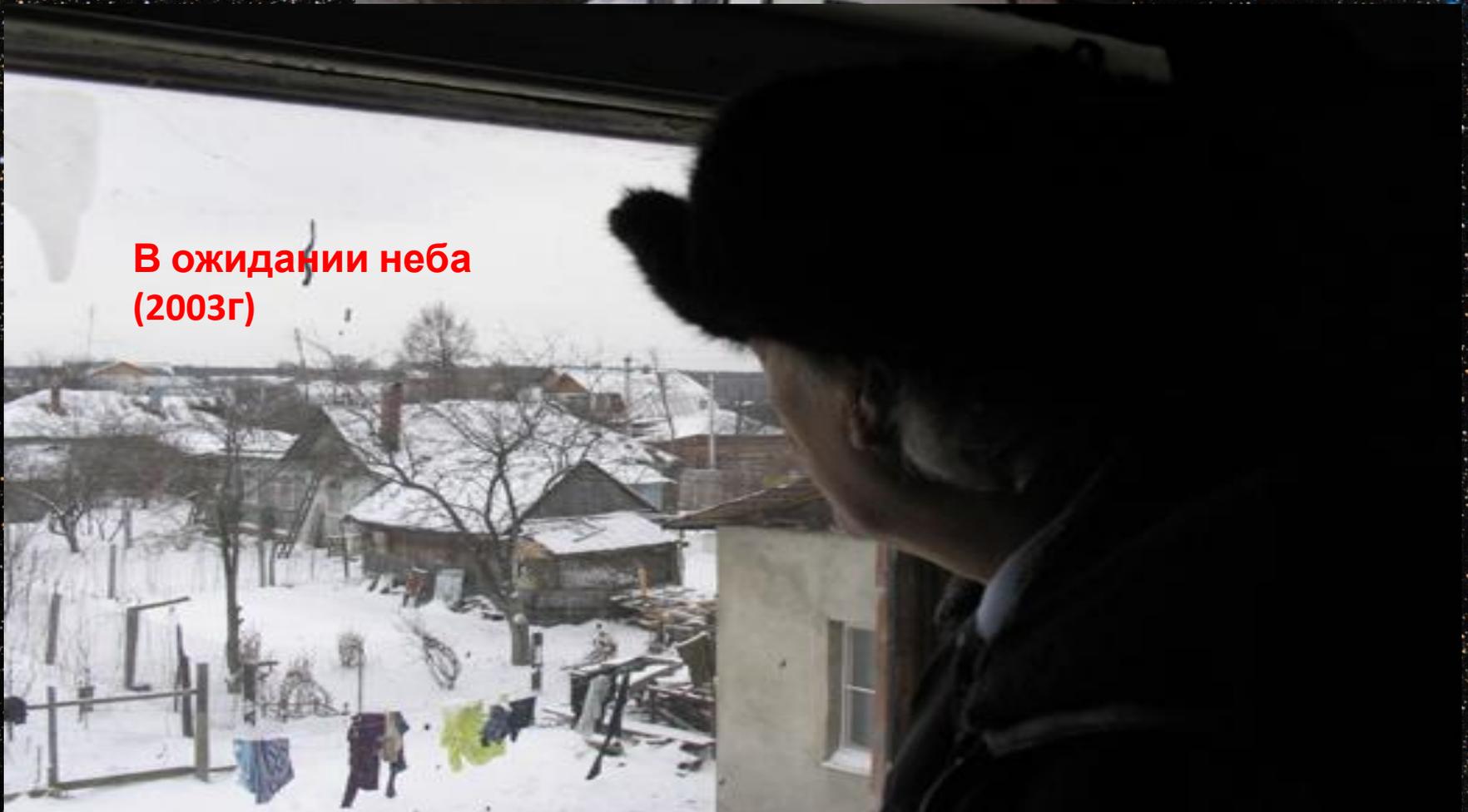
# GCN

Глобальный астрофизический эксперимент



# MASTER-1

## Первый робот-телескоп в Востряково



**В ожидании неба  
(2003г)**

# РОБОТИЗИРОВАННАЯ МАСТЕР-СЕТЬ

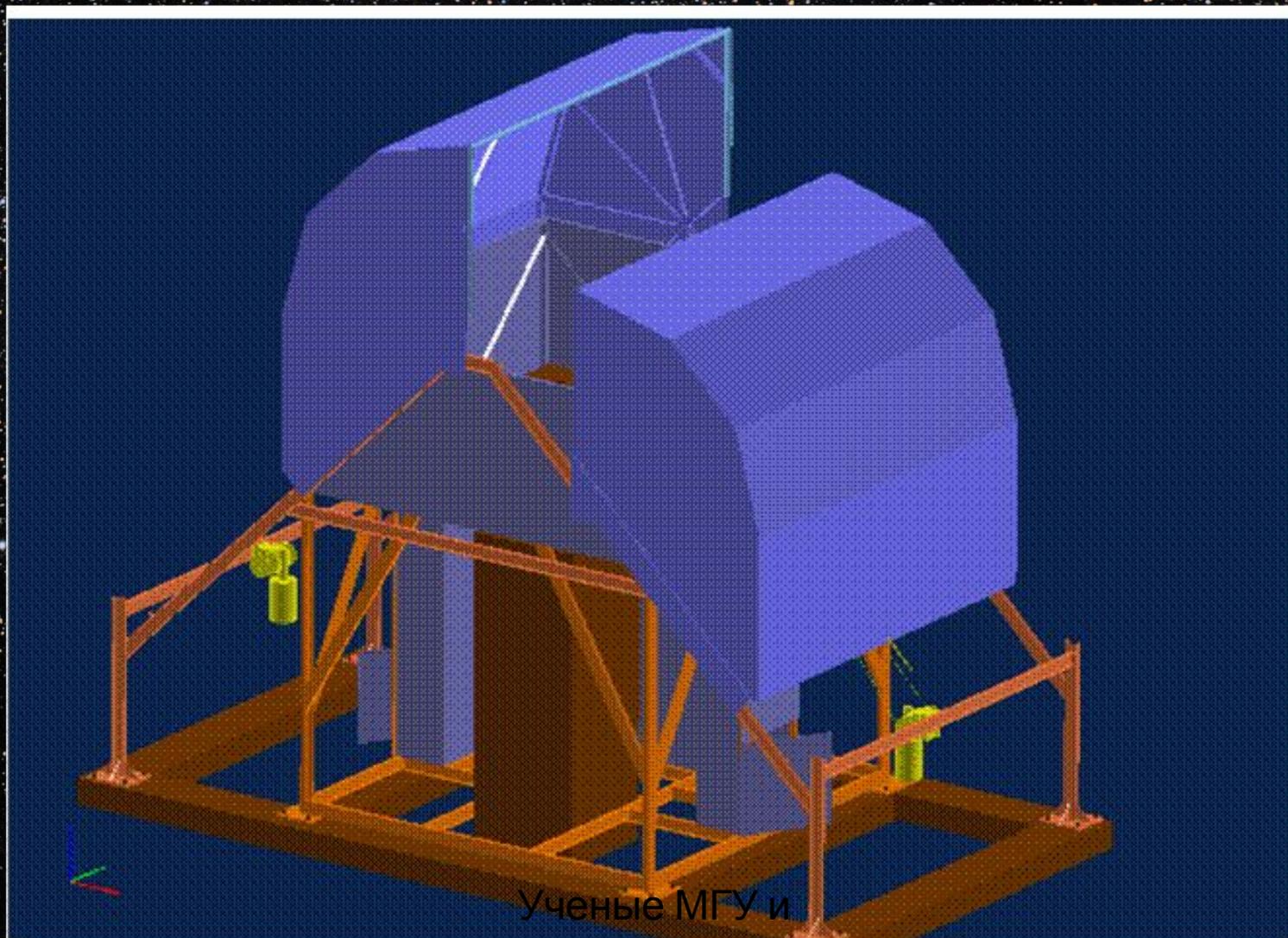
*одна ночь - одно небо (до 20m)*







# Вариант павильона для Сибири

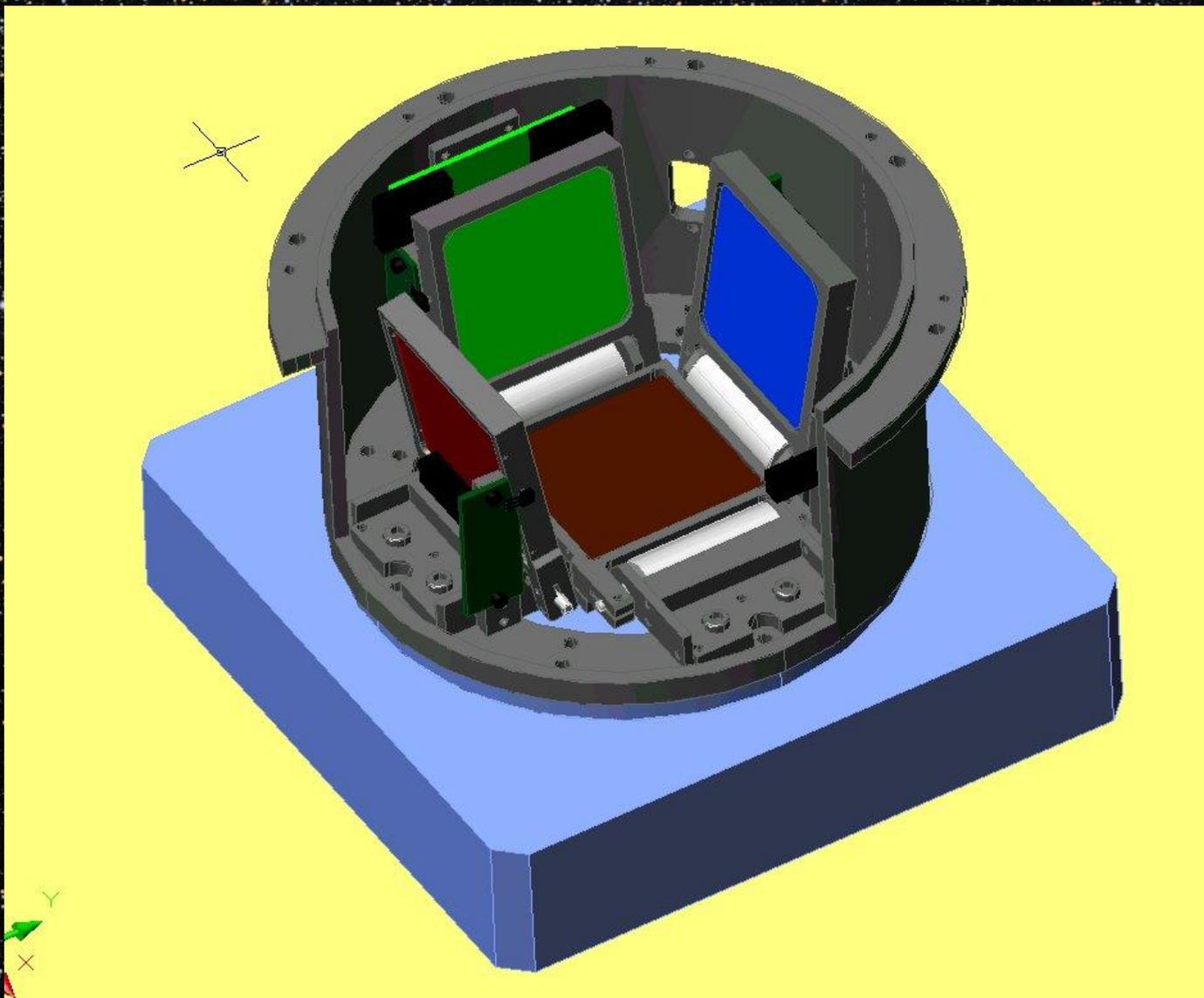


Ученые МГУ и

КОСМИЧЕСКИЕ

Рис.5: Трехмерный масштабный чертеж павильона

# Фотометр МАСТЕР



# МАСТЕР – МГУ-Кисловодск 2000 м



4 камеры сверх-  
широкого поля  
4000 кв.гр.  
до 12 зв.вел. за 1 с

Июль 2008 г.



МАСТЕР II  
1200 кв.гр. в час до 17 зв.вел.

Ноябрь 2008 г.



**МАСТЕР ГАИШ МГУ Декабрь, 2008**



Workshop on Robotic  
Autonomous Observatories

# МАСТЕР II - Урал ноябрь 2008 г.



•-29 C



МАСТЕР, Благовещенск, 9 июля 2009 года

Фото Владимира Юркова



А

# МАСТЕР-Благовещенск

- Здесь открыты сотни
- Оптических вспышек
- Здесь была открыта
- Первая российская
- Сверхновая
- на Дальнем
- Востоке

SN 2009NR



MASTER-Net



# МАСТЕР-ТУНКА



150 км от Иркутска, 50 км от  
Байкала

# GRB 100906A

(gcn11214)

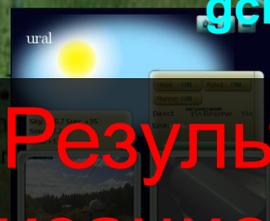
23 s after notice time  
38 s after trigger time  
gcn 11228



Результат:

Первые поляризационные наблюдения  
собственного оптического излучения в  
мире

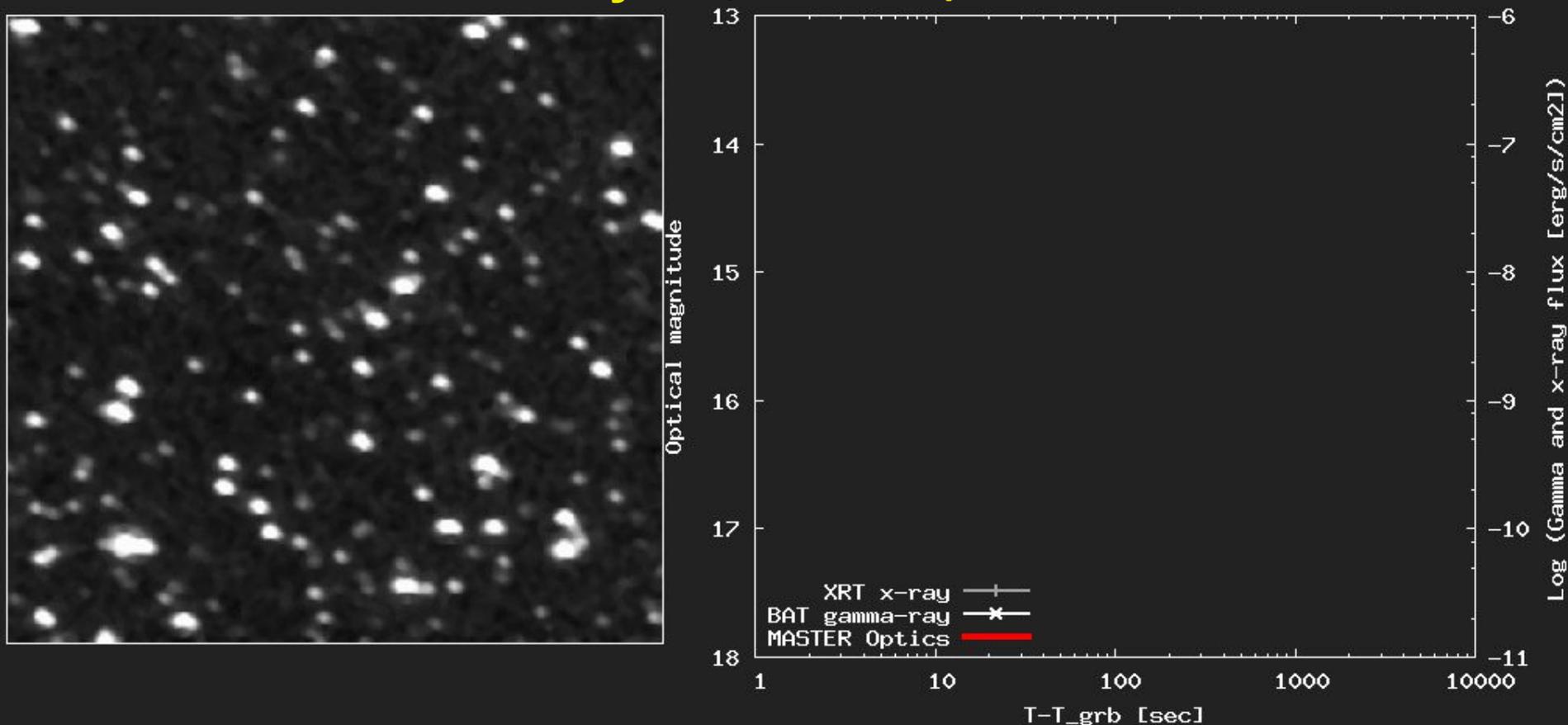
Head ON Robot ON  
Planner ON  
Direct taskParked  
Sky: -4.3 Snc: +51  
Snc: +17.4  
Amb: +12.5



Head ON Robot ON  
Planner ON  
Direct taskParked  
Sky: -41.6 Snc: +19  
Snc: +13.2  
Amb: +29.8

Head ON Robot ON  
Planner ON  
Direct taskParked  
Sky: +12.4  
Snc: +21.4

# ПЕРВЫЕ СИНХРОННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ( 6 сентября 2010, Тунка, Байкал)



The left is the optical flare / The distance is about  $10^9$  light years

The right one: white is gamma-ray emission, the gray is the xray emission, the red is the optical emission

– оптическое излучение

# МАСТЕР на карте мира в 2017

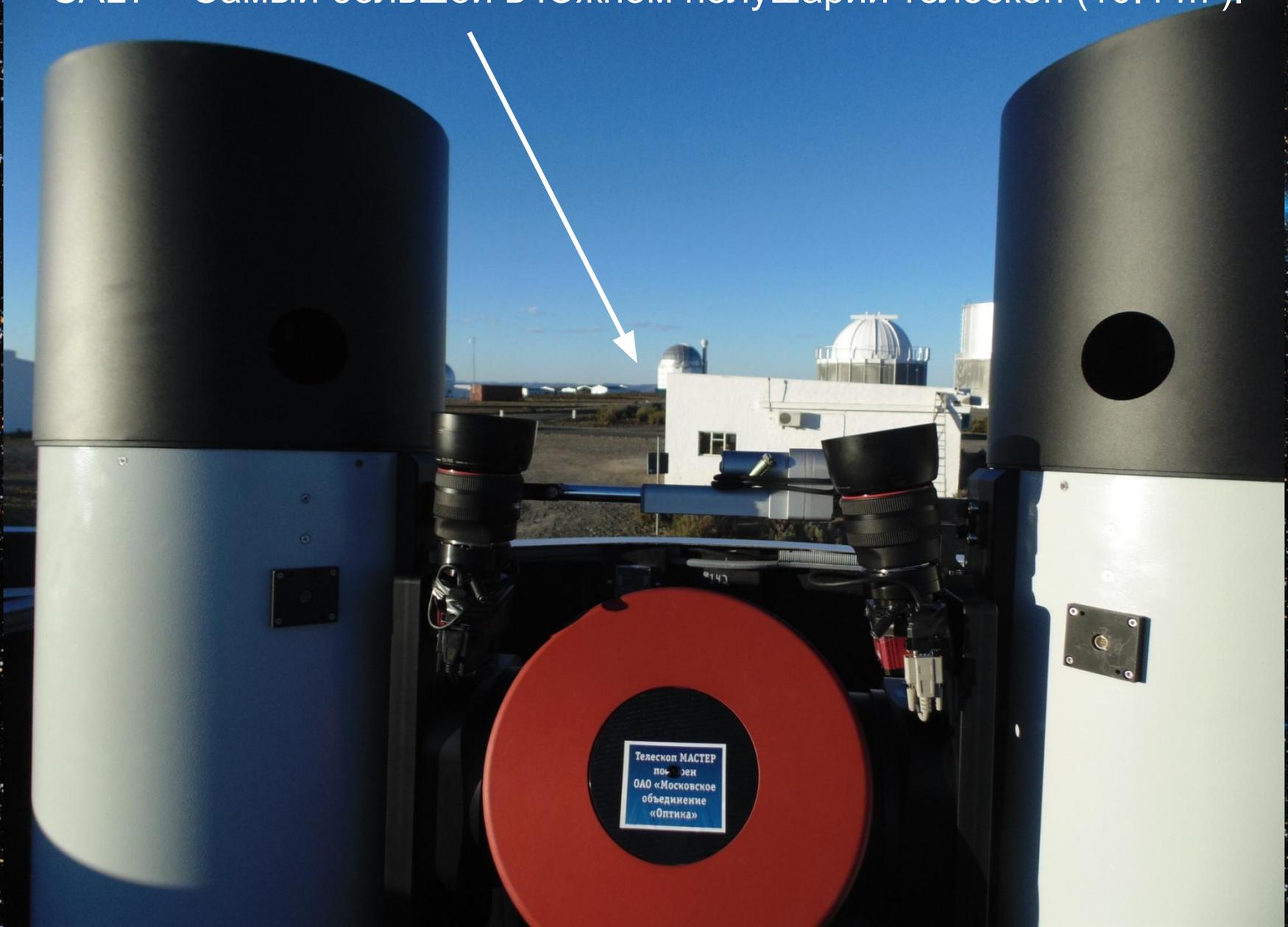


*Дальше - только Антарктида!*



Декабрь 2014  
г.

# SALT – Самый большой в Южном полушарии телескоп (10.4 m).

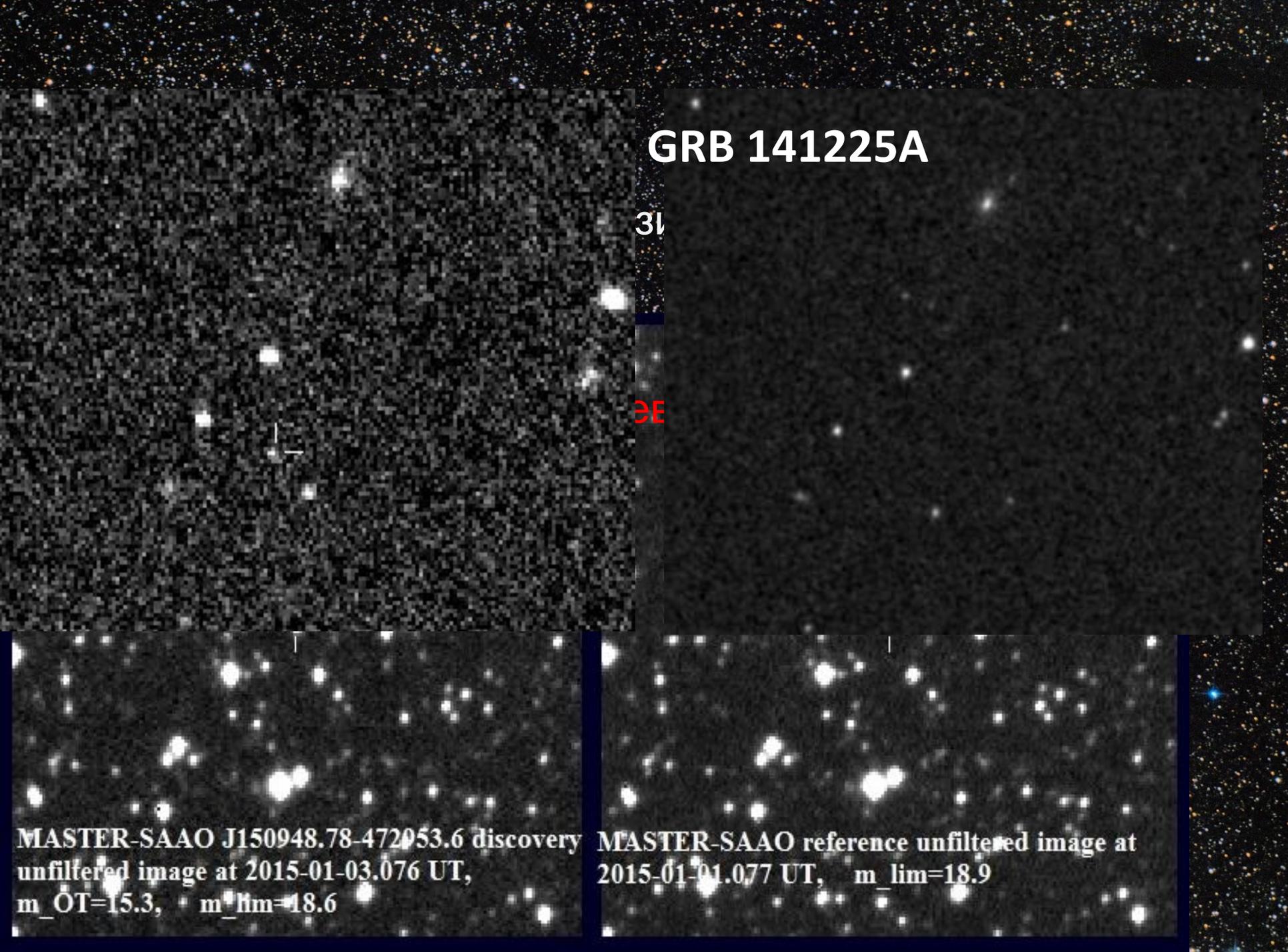


Робот МАСТЕР в Южной  
Африке  
MASTER-SAAO  
Обсерватория Сазерленда.  
350 км от Кейптауна

Долгота 01 23 14.66  
Широта -32 22 49.66  
Высота 1760 m;







# GRB 141225A

31

3E

MASTER-SAAO J150948.78-472053.6 discovery  
unfiltered image at 2015-01-03.076 UT,  
m\_OT=15.3, m\_lim=18.6

MASTER-SAAO reference unfiltered image at  
2015-01-01.077 UT, m\_lim=18.9

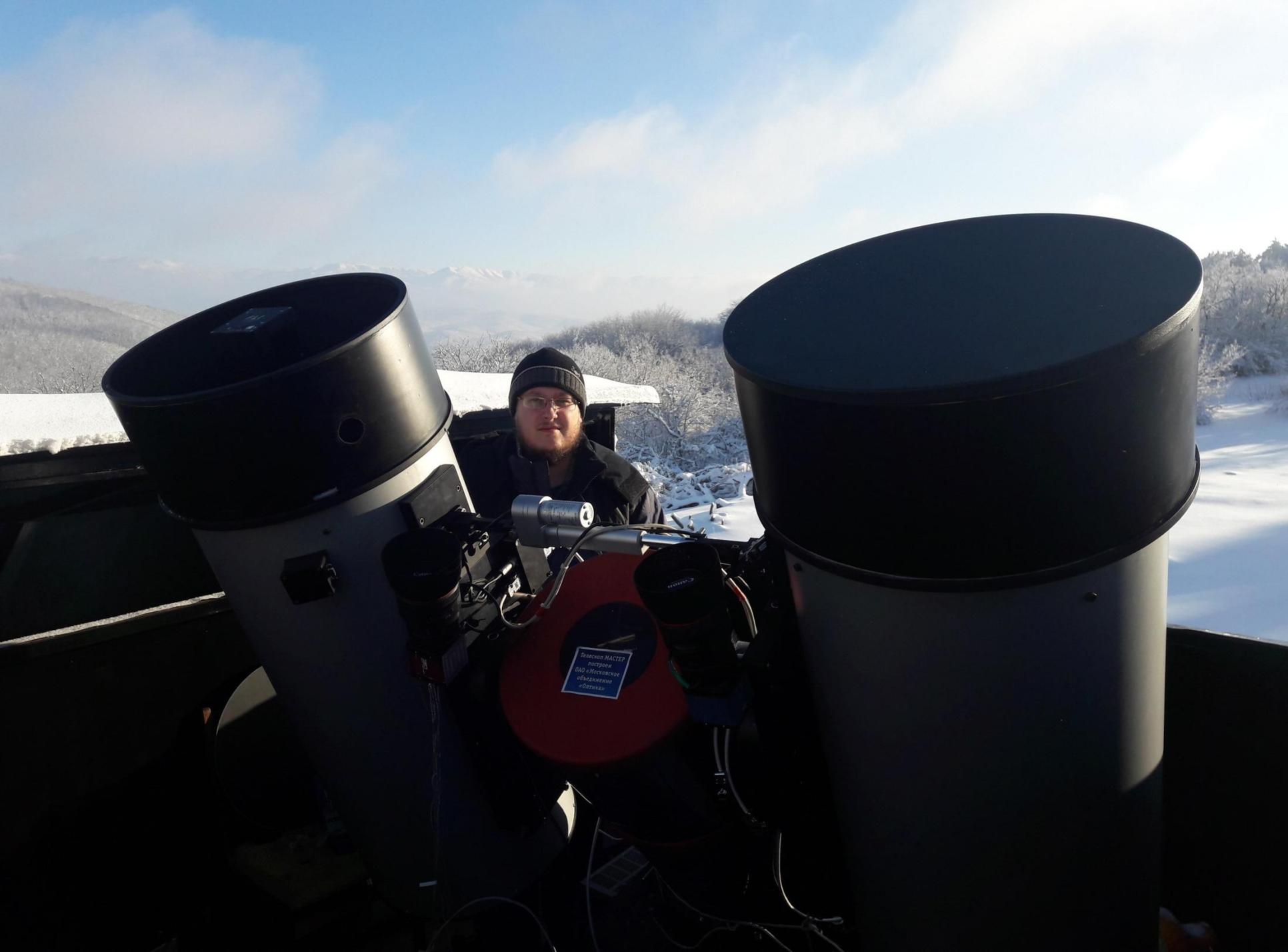


Июнь 2015  
года



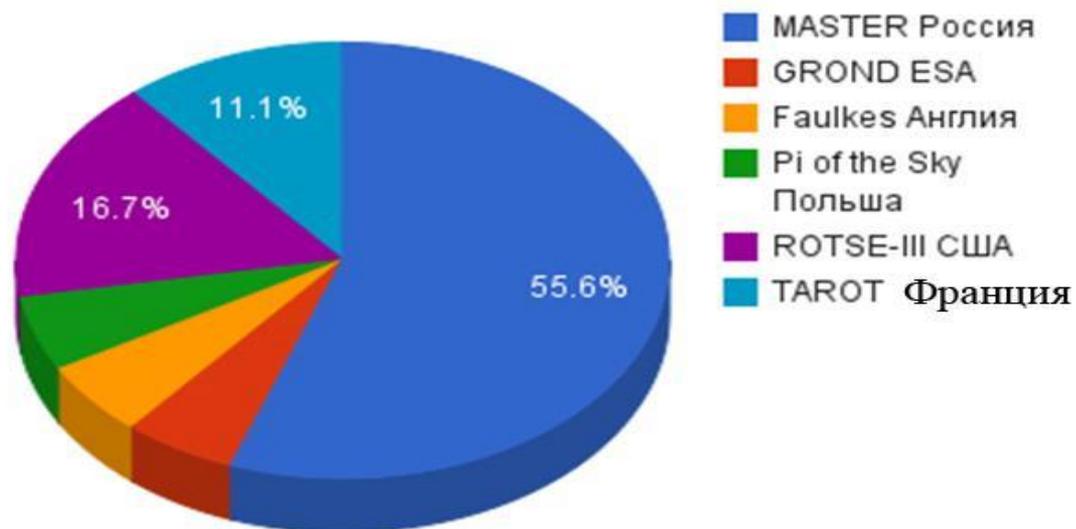
Официальное открытие МАСТЕР-Канары 27 июня 2015 года





Лазерный МАСТЕР  
разработчик  
ИИД «Нисловское»  
ИИД «Нисловское»  
ИИД «Нисловское»

# Вклад сети МАСТЕР в первые наведения на гамма-всплески.



MASTER зарекомендовал себя как очень эффективная система поиска ОТ

# Transient Universe

Гамма Новых сверхновых  
Новые карликовые  
Астероиды и потенциально-опасные астероиды

Первые долгие гамма-всплески  
Сверхновые  
Короткие гамма-всплески

Килонов всплески  
Предвестники  
Гамма сверхновых

Big Bang  
Radiation era

~300,000 years: "Dark ages" begin

~400 million years: Stars and nascent galaxies form

~1 billion years: Dark ages end

Galaxies evolve

~9.2 billion years: Sun, Earth, and solar system have formed

~13.7 billion years: Present



1

*MASTER-NET transients sky*

14h 24m 07.44s  
+26d 17m 50.3s  
Mag=16.5  
CBET #146

2005 Apr. 20.939  
Discovered by  
N. Tiurina



*Moscow (Vostriakovo)*

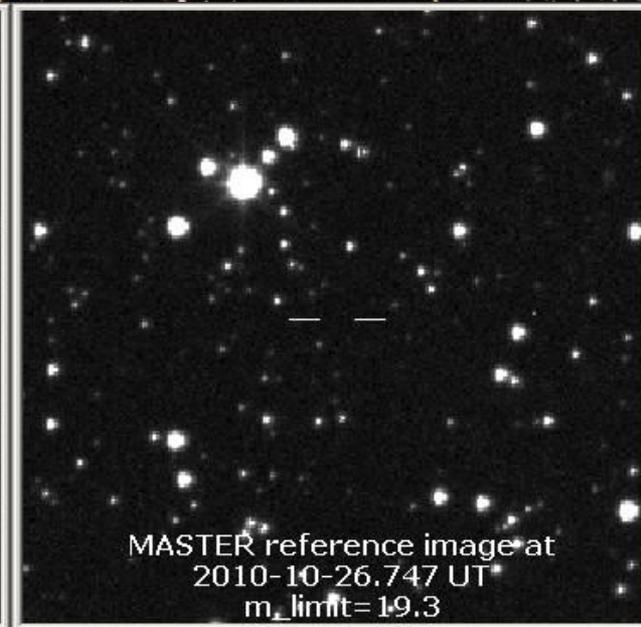
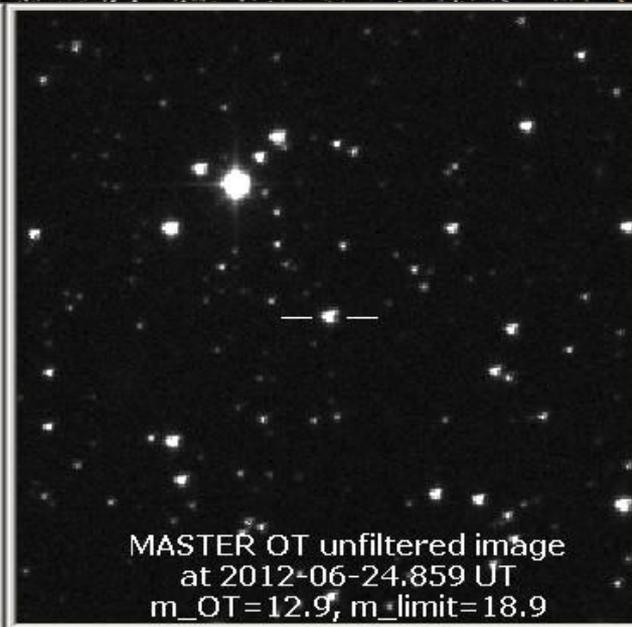
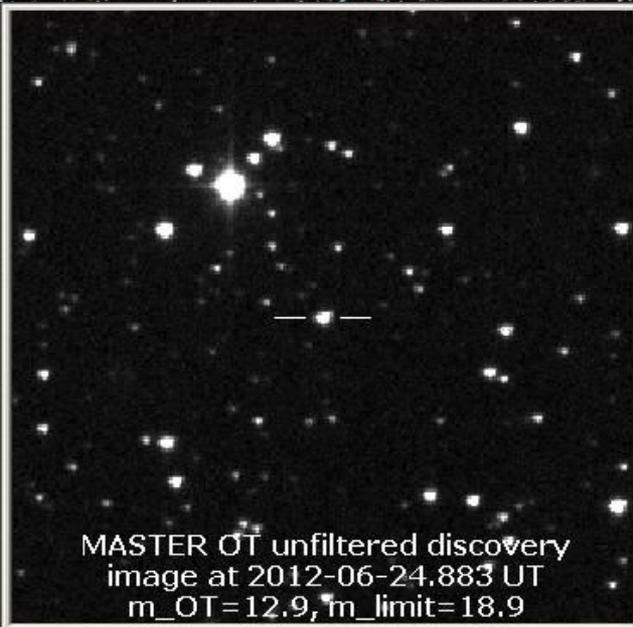
*Supernova*

# Лучшие транзиенты

## МАСТЕРА

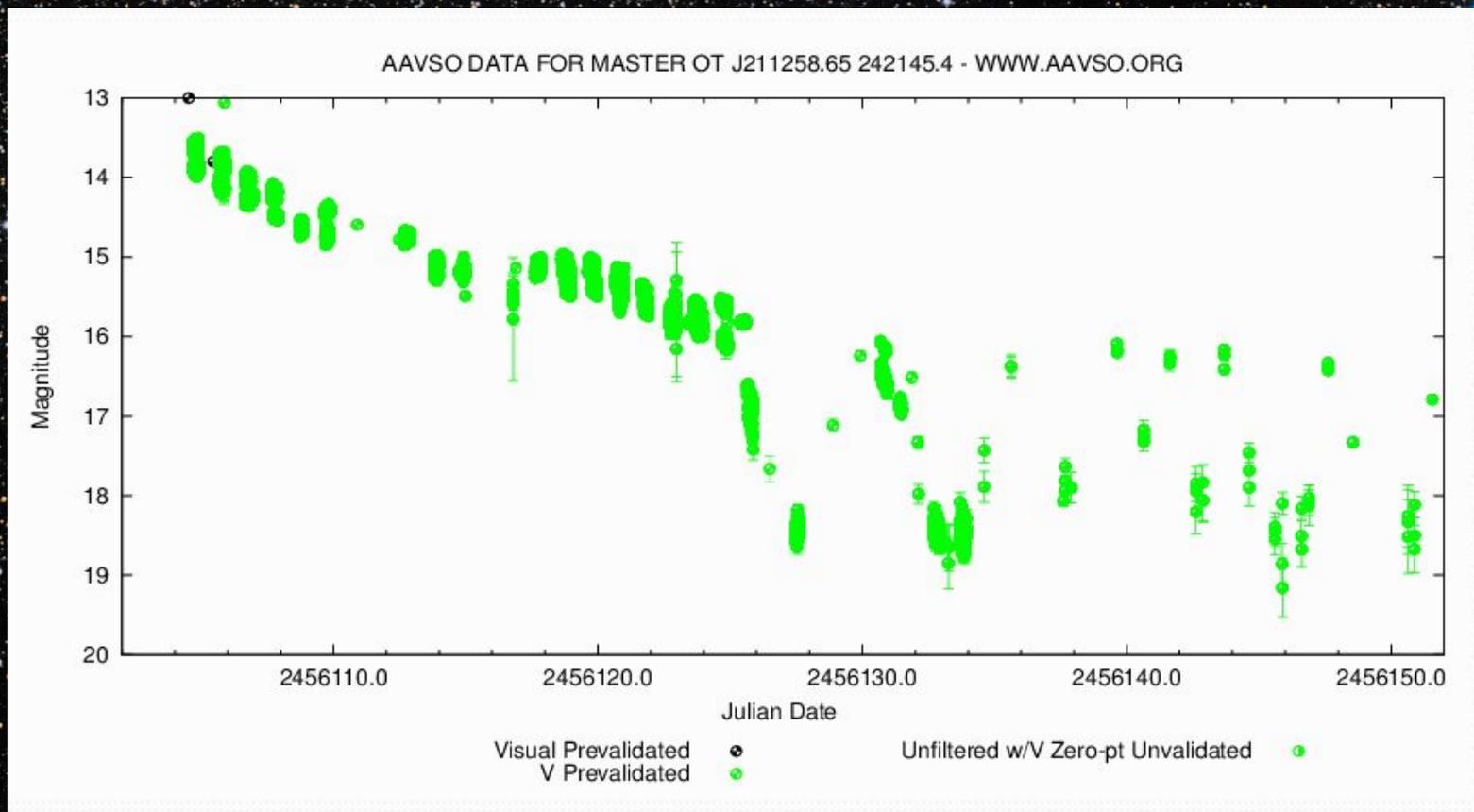
- **J211258.65+242145.4** (12.9-20.8m) – карликовая новая типа WZ Sge с кривой блески из учебника
- **J042609.34+354144.8** (12.6-16.7m) – первая карликовая новая в тройной системе
- **J092437.95+492132.0** (14.5m) – СН IIp в галактике NGC 2857 (Arp 1)
- **J202857.00+211533.2** (17.3m) – вспышка мазера OH 63.3 -10.2
- **J104031.63+061721.8** (15.7m) – рекордная вспышка блазара 1FGL J1040.5+0616 at z=0.735
- **J063748.27+442910.9** – вспышка карликовой новой VY Aur, которая 75 лет считалась переменной типа Миры Кита
- **J095310.04+335352.8** – падение блеска на 4m звезды TYC 2505-672-1 (10.7-14.5m)
- **GRB100906** Оптические поляризационные наблюдения (около 2%).

# MASTER OT J211258.65+242145.4 – карликовая новая типа WZ Sge



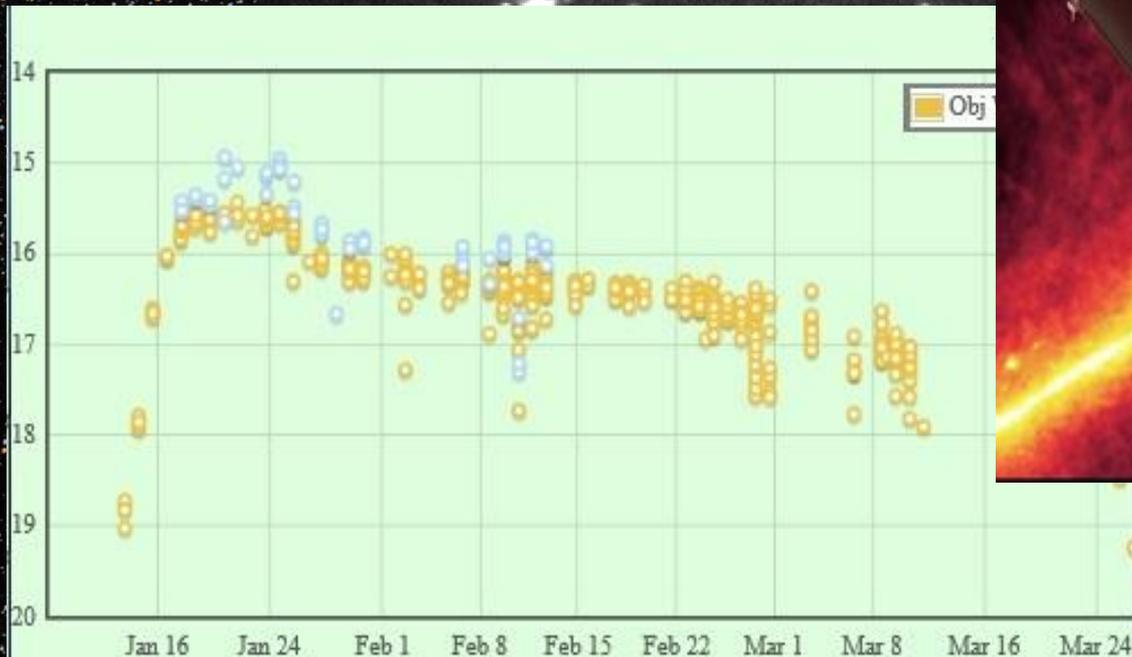
Созвездие: Ящерица    Вспышка: 12.9C-20.8B    Type: UGWZ  
Period: 0.0598 d (86.1 min)    ATel 4208, 25 June 2012

# 11000+ observations in 50 days after the discovery by MASTER, 7 rebrightenings



MASTER OT J004207.99+405501.1 = M31N 2015-01 a

Atel-6911



Show:  Obj W  Obj R  C.S R  C.S V  C.S W  C.S FAULT  C.S BLANK

Mouse hovers at (1427451438803.57, -18.16).

Enable tooltip   Zoom to selection.

Object coord: 10.533625 40.917055555556 Radius (deg): 0.00083



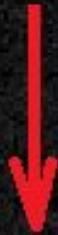
2014-09-15

13 апреля 2014 г. сеть роботов МАСТЕР Московского государственного университета в Благовещенске, обнаружила мощную вспышку далекого квазара на расстоянии 10.7 миллиардов световых лет. Через шесть дней его наблюдал такой же телескоп МАСТЕР-Тунка под Иркутском, недалеко от озера Байкал. Объект поярчал еще в полтора раза!

Таким образом, сверхмассивная чёрная дыра CGRaBS J0809+5341 сейчас является самым ярким объектом во Вселенной и светит ярче ста триллионов (10 в 14-й степени) Солнц. Она поедает за 3 дня одну массу

Солнца!

Вспышка квазара CGRaBSJ0809+5341  
19 апреля 2014г. на телескопе  
МАСТЕР-Тунка (Байкал, Иркутск)



MASTER-Tunka image on 2014-04-19.588 (15.7m)

Опорный кадр год назад

MASTER-Tunka image on 2013-03-25.625 (<19.4m)

# MASTER OT J095310.04+335352.8 (TYS 2505-672-1) – первый “анти транзиент”



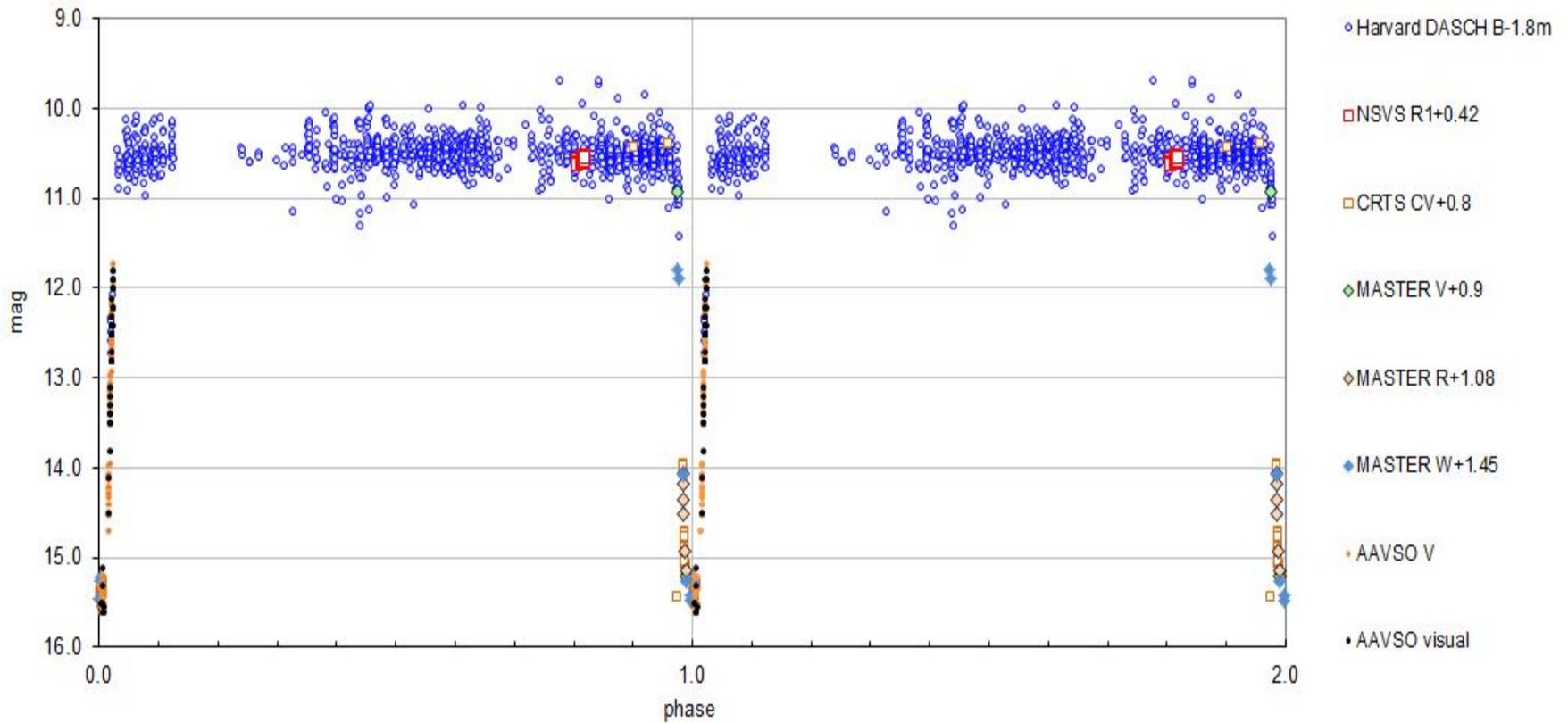
ATel 4784, 4 Feb. 2013

# Кривая блеска затменной переменной с самым большим измеренным орбитальным периодом.

MASTER OT J095310.04+335352.8

Min = JD 2456264 + 25245 E

Период переменности равен 25245 суткам (примерно 69 годам)





# MASTER J120451.50+265946.6

Atel 6634

28 октября 2014г. , МАСТЕР-Тунка, в результате анализа автоматической обработки изображений обзора, проводимого на телескопах сети МАСТЕР, была обнаружена одна из самых ярких в 2014г. сверхновая MASTER J120451.50+265946.6 в галактике NGC4080. Звездная величина в момент открытия была 13.9(=0.2R+0.8R)



MASTER OT discovery  
unfiltered image at 2014-10-28.87454  
m\_OT = 13.9, m\_limit = 18.1



MASTER OT  
unfiltered image at 2014-10-28.86958  
m\_OT = 14.0, m\_limit = 18.0



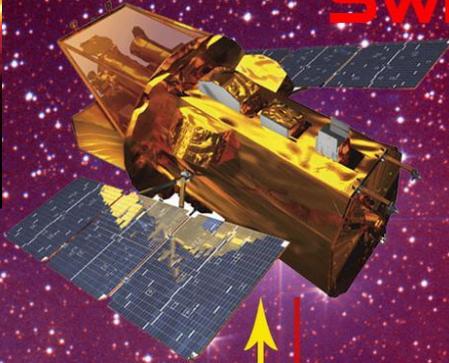
MASTER OT reference  
unfiltered image at 2011-04-21.67477  
m\_limit = 20.2



**Integral**



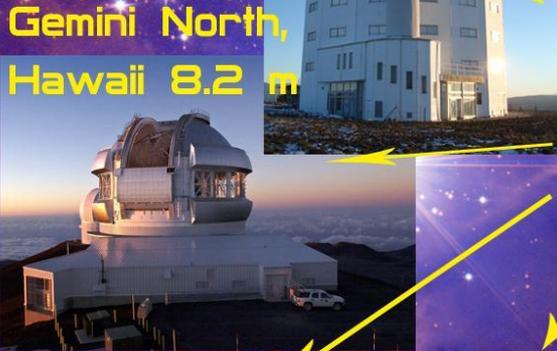
**Swift**



**Fermi**



**SALT,**  
South Africa 10 m



**Gemini North,**  
Hawaii 8.2 m



**GTC, Canaries,**  
Spain, 10.4 m



**VLT,**  
Chile 8.2 m



**WHT,**  
Canaries,  
Spain 4.2 m



**BTA, Russia**  
6 m



**GMRT,**  
Pune, India  
45 m



**MMT Observatory,**  
USA 6.5 m



**HET, USA**  
9.2 m

# РНА = Потенциально опасные астероиды (2013-2014)

- МАСТЕР
- 3 – астероида открыто + один  
переоткрыт при ошибке в эфемеридах  
80 градусов!

# КОМЕТЫ МАСТЕРА:



7211091015 C/2015 11 G (MASTER)  
(MASTER)

Possible New Comet M504DRx by MASTER

et by MASTER-SAAO



60-sec exposure with [K95] MASTER-SAAO (0.40-m f/2.5 reflector + CCD)  
on 2015-05-17 at 03:21:10 UT

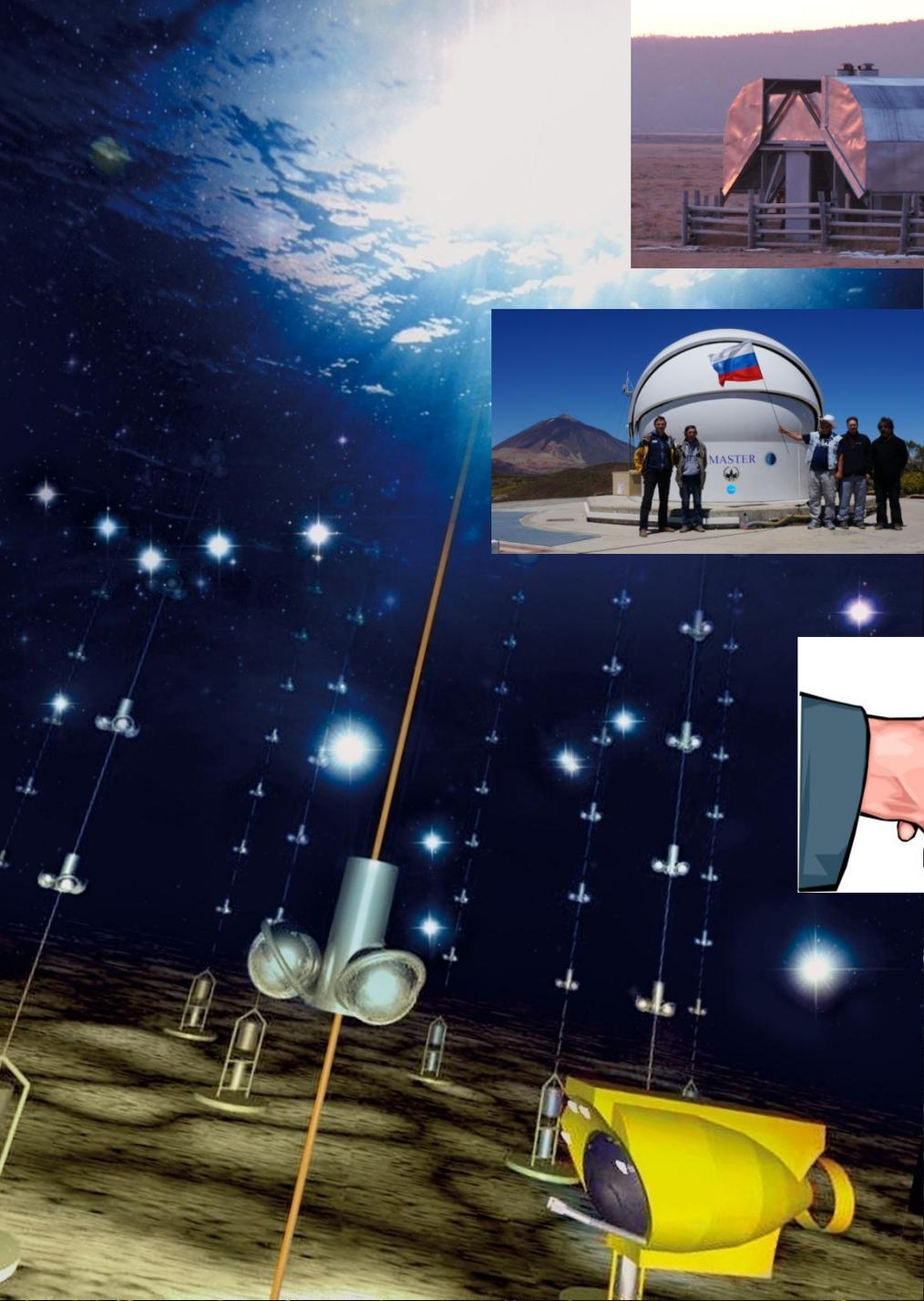
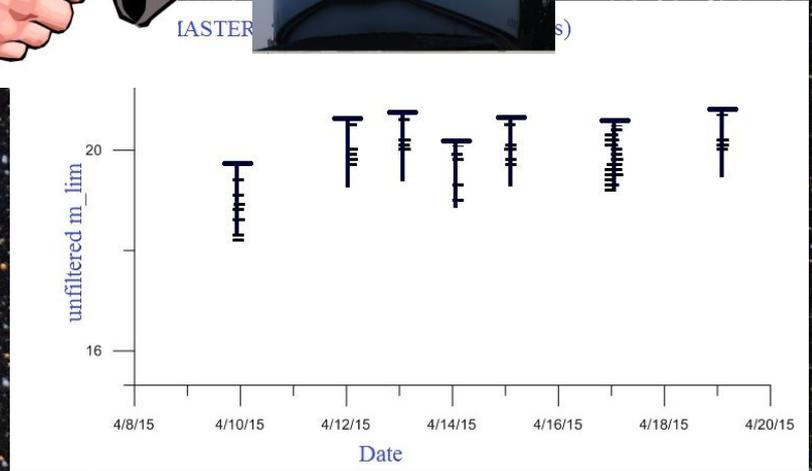
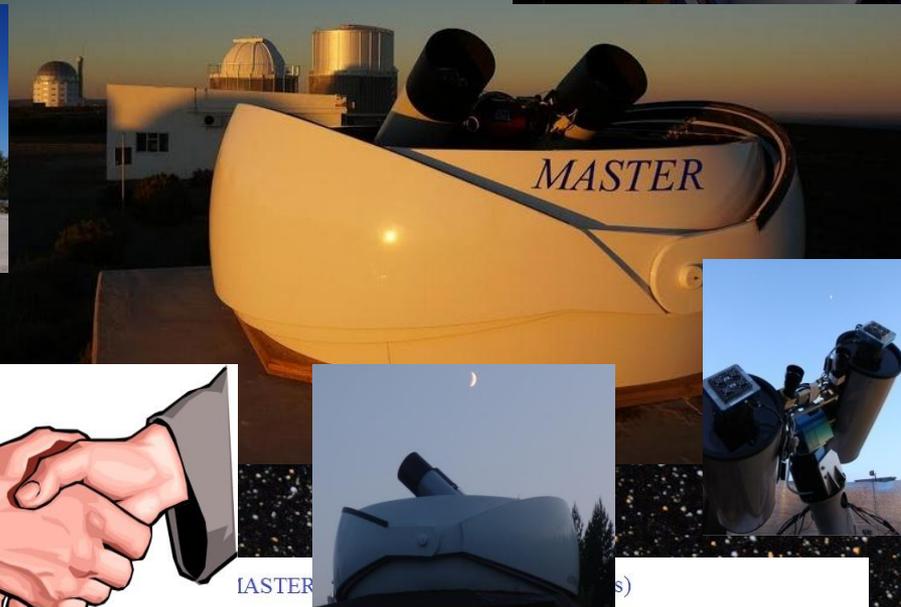
MASTER-SAAO (0.40-m f/2.5  
2015-04-07 at 03:13:23 UT

Лаборатория космического мониторинга МГУ



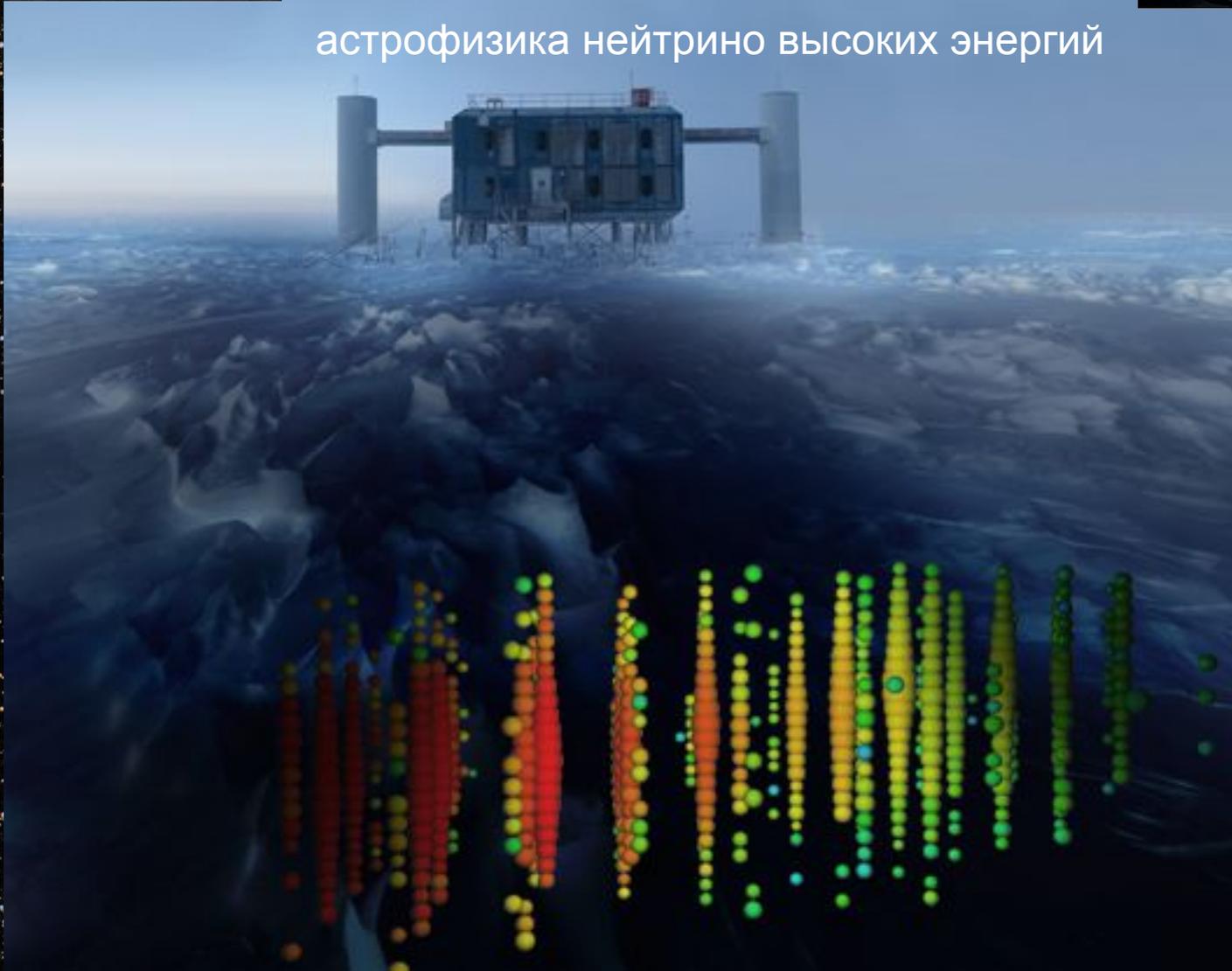
Глобальная сеть МАСТЕР

# MASTER-ANTARES collaboration



# MASTER + IceCube

астрофизика нейтрино высоких энергий



# "ЛОМОНОСОВ", ШОК, 2015



ЛОМОНОСОВ

Российский университетский спутник



Липунов В.М., МАСТЕР на конференции « ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ НАЗЕМНОГО И КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ », Лыткарино,

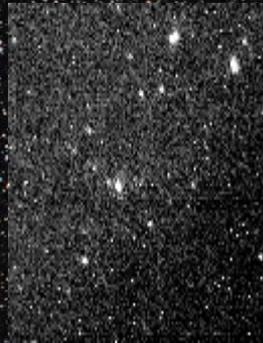
**Сверхширокие  
камеры космического  
базирования**

**FOV = 2000 кв.градусов**

28 апреля 2016 г.  
Космодром ВОСТОЧНЫЙ. Старт  
«Ломоносова»



Первые кадры с орбитальной обсерватории  
ЛОМОНОСОВ  
Эксперимент ШОК (космический вариант  
МАСТЕРа)



# МАСТЕР и гравитационные волны

GraceDB | - Mozilla Firefox

https://gracedb.ligo.org/events/view/G184098

## GraceDB — Gravitational Wave Candidate Event Database

HOME SEARCH LATEST OPTIONS DOCUMENTATION AUTHENTICATED AS: 114437456779464770941@GOOGLE.COM

### Basic Info

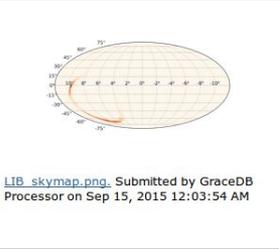
UID	Labels	Group	Pipeline	Search	Instruments	GPS Time Event Time	FAR (Hz)	Links	UTC Submitted
G184098	H1OK L1OK	Burst	CWB	AllSky	H1,L1	1126259462.3910	1.178e-08	<a href="#">Data</a>	2015-09-14 09:53:51 UTC

### Neighbors [-5,+5]

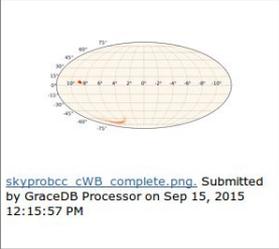
No neighbors in range.

### - Event Log Messages [\(add\)](#)

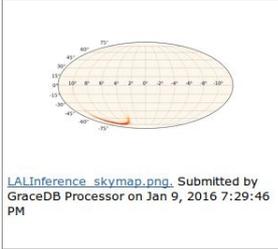
#### ▼ Sky Localization



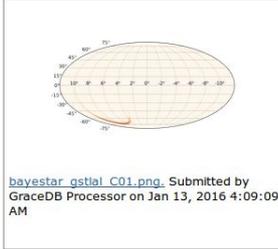
[LIB\\_skymap.png](#), Submitted by GraceDB Processor on Sep 15, 2015 12:03:54 AM



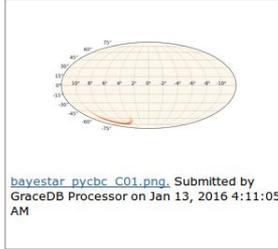
[skyprobcc\\_cWB\\_complete.png](#), Submitted by GraceDB Processor on Sep 15, 2015 12:15:57 PM



[LALInference\\_skymap.png](#), Submitted by GraceDB Processor on Jan 9, 2016 7:29:48 PM



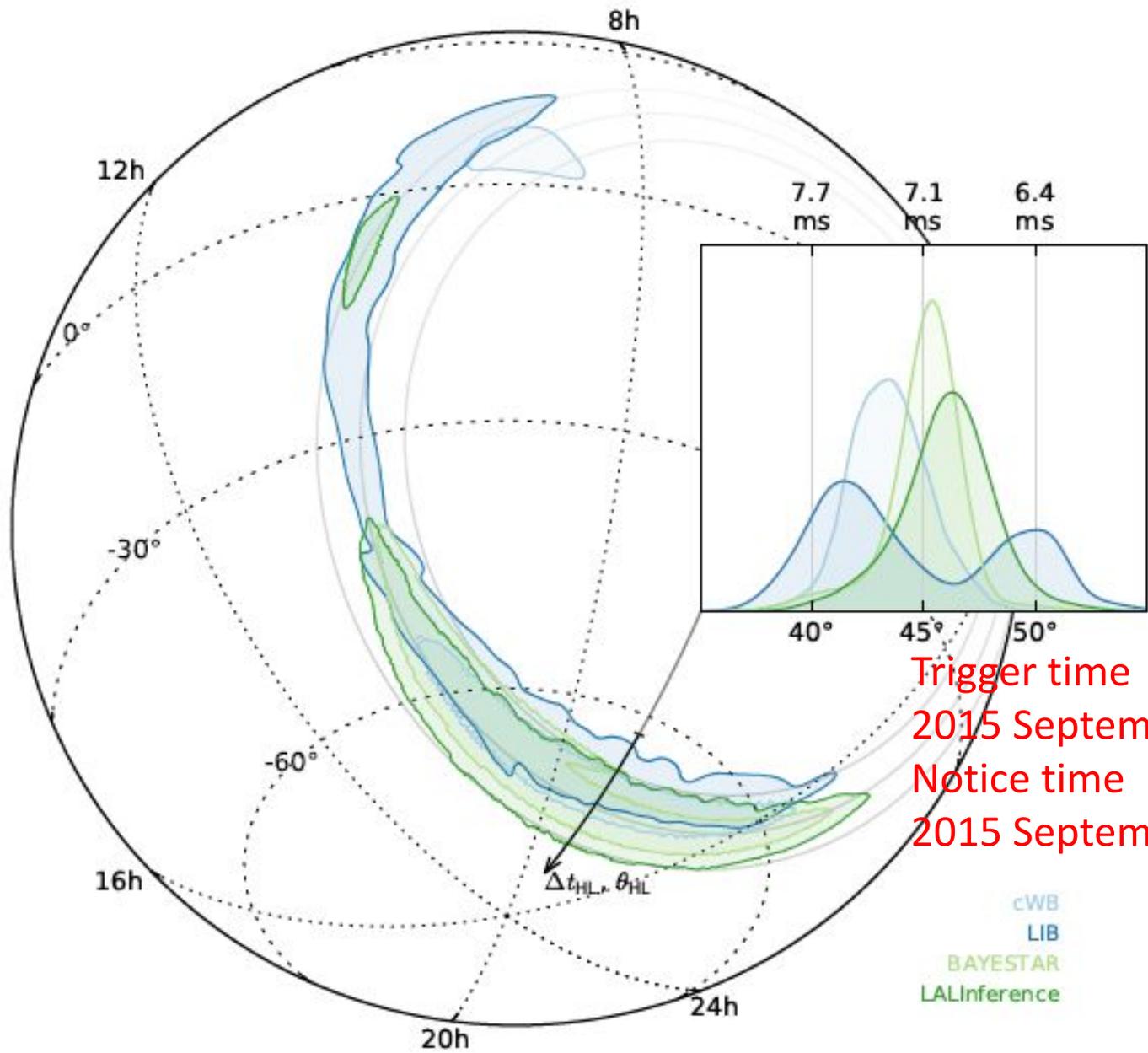
[bayestar\\_gstlal\\_C01.png](#), Submitted by GraceDB Processor on Jan 13, 2016 4:09:09 AM



[bayestar\\_pycbc\\_C01.png](#), Submitted by GraceDB Processor on Jan 13, 2016 4:11:05 AM

#### LLO Local

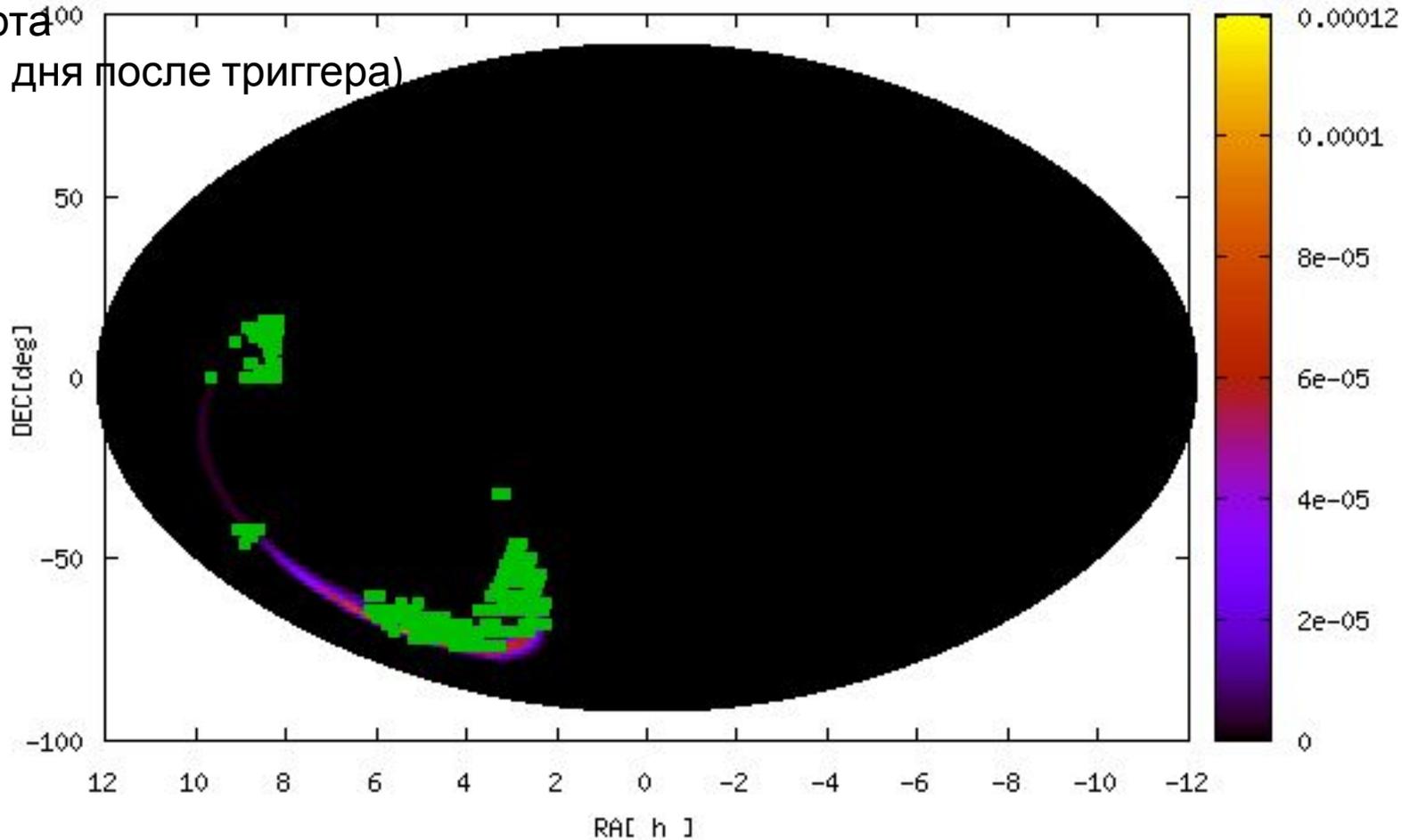
Log Entry Created	Submitter	Comment
Jan 15, 2016 9:26:55 AM	GraceDB Processor	
Jan 12, 2016 10:10:43 PM	GraceDB Processor	lvem-only skymap comparison for LIB_skymap.fits.gz, bayestar_gstlal_C01.fits.gz, bayestar_pycbc_C01.fits.gz, and skyprobcc_cWB_complete.fits <a href="#">lvem_summary.pdf</a>
Jan 12, 2016 10:10:31 PM	Leo Singer	BAYESTAR localization based on offline PyCBC recovery of signal (calibration version C01) <a href="#">bayestar_pycbc_C01.fits.gz</a>
Jan 12, 2016 10:08:49 PM	GraceDB Processor	lvem-only skymap comparison for LIB_skymap.fits.gz and skyprobcc_cWB_complete.fits <a href="#">lvem_summary.pdf</a>
Jan 12, 2016 10:08:38 PM	Leo Singer	BAYESTAR localization based on offline GSTLAL recovery of signal (calibration version C01) <a href="#">bayestar_gstlal_C01.fits.gz</a>
Jan 9, 2016 1:29:59 PM	GraceDB Processor	lvem-only skymap comparison for LIB_skymap.fits.gz and skyprobcc_cWB_complete.fits <a href="#">lvem_summary.pdf</a>
Jan 9, 2016 1:29:48 PM	Christopher Berry	Intermediate sky localization from LALInference production runs (o1_lalinference_20151210 tag, C01, 2048 Hz sampling, 8 s segment length, 10%/10 deg calibration with spline model). Created using posterior samples from both SEOBNRv2 and IMRPhenomPv2 runs. <a href="#">LALInference_skymap.fits.gz</a>



Trigger time  
 2015 September 14 at  
 Notice time  
 2015 September 16 at 05:39:58

МАСТЕР первым в мире отреагировал на данный всплеск через 0.6 дня.

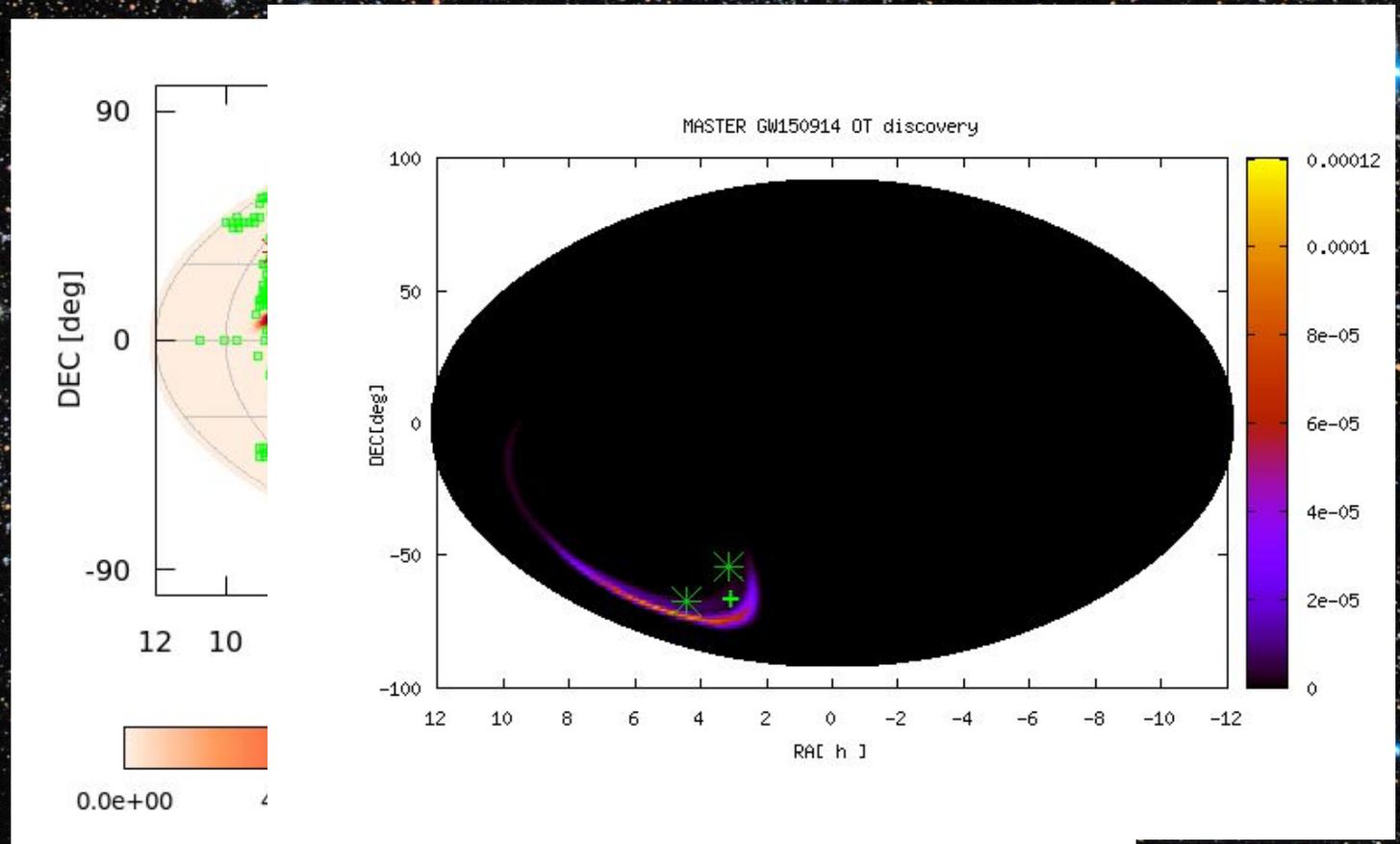
Кроме того в архиве МАСТЕР SMO есть снимки за 1 сутки до алерта<sup>100</sup> (0.73 дня после триггера)



Вс

прим: 684 квадратных градуса внутри 95% локализации события.  
Таким образом закрывается 49% полной вероятности.

# Мастер-обсерватория



С 15 августа по 21 сентября 2015 сеть MASTER было покрыто 100% радиусу внутри 95% локализации события. Сеть MASTER покрывается 49% полной вероятности.

# B. P. Abbott et al.

Facility/ Instrument	Band <sup>a</sup>	Depth <sup>b</sup>	Time <sup>c</sup>	Area (deg <sup>2</sup> )	Contained Probability (%)				GCN
					cWB	LIB	BSTR <sup>d</sup>	LALInf	
Gamma-ray									
<i>Fermi</i> LAT	20 MeV– 300 GeV	$1.7 \times 10^{-9}$	(every 3 hr)	—	100	100	100	100	18709
<i>Fermi</i> GBM	8 keV–40 MeV	$0.7\text{--}5 \times 10^{-7}$ (0.1–1 MeV)	(archival)	—	100	100	100	100	18339
INTEGRAL	75 keV–1 MeV	$1.3 \times 10^{-7}$	(archival)	—	100	100	100	100	18354
IPN	15 keV–10 MeV	$1 \times 10^{-7}$	(archival)	—	100	100	100	100	—
X-ray									
MAXI/GSC	2–20 keV	$1 \times 10^{-9}$	(archival)	17900	95	89	92	84	19013
<i>Swift</i> XRT	0.3–10 keV	$5 \times 10^{-13}$ (gal.) $2\text{--}4 \times 10^{-12}$ (LMC)	2.3, 1, 1 3.4, 1, 1	0.6 4.1	0.03 1.2	0.18 1.9	0.04 0.16	0.05 0.26	18331 18346
Optical <sup>e</sup>									
DECam	$i, z$	$i < 22.5, z < 21.5$	3.9, 5, 22	100	38	14	14	11	18344, 18350
iPTF	$R$	$R < 20.4$	3.1, 3, 1	130	2.8	2.5	0.0	0.2	18337
KWFC	$i$	$i < 18.8$	3.4, 1, 1	24	0.0	1.2	0.0	0.1	18361
MASTER	$C$	$< 19.9$	-1.1, 7, 7	710	50	36	55	50	18333, 18390, 18903, 19021
Pan-STARRS1	$i$	$i < 19.2\text{--}20.8$	3.2, 21, 42	430	28	29	2.0	4.2	18335, 18343, 18362, 18394
La Silla– QUEST	$g, r$	$r < 21$	3.8, 5, 0.1	80	23	16	6.2	5.7	18347
SkyMapper	$i, v$	$i < 19.1, v < 17.1$	2.4, 2, 3	30	9.1	7.9	1.5	1.9	18349
<i>Swift</i> UVOT	$u$	$u < 19.8$ (gal.) $u < 18.8$ (LMC)	2.3, 1, 1 3.4, 1, 1	3	0.7	1.0	0.1	0.1	18331 18346
TAROT	$C$	$R < 18$	2.8, 5, 14	30	15	3.5	1.6	1.9	18332, 18348
TOROS	$C$	$r < 21$	2.5, 7, 90	0.6	0.03	0.0	0.0	0.0	18338
VST@ESO	$r$	$r < 22.4$	2.9, 6, 50	90	29	10	14	10	18336, 18397
Near Infrared									
VISTA@ESO	$Y, J, K_S$	$J < 20.7$	4.8, 1, 7	70	15	6.4	10	8.0	18353
Radio									

## 2. Российская глобальная роботизированная сеть МАСТЕР внесла самый крупный вклад в оптический обзор первого гравитационно-волнового события.

IN PREPARATION. TARGET JOURNAL: APJL  
Preprint typeset using L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X style AASTeX6 v. 1.0

### LOCALIZATION AND BROADBAND FOLLOW-UP OF THE GRAVITATIONAL-WAVE TRANSIENT GW150914

B. P. ABBOTT<sup>1</sup>, R. ABBOTT<sup>1</sup>, T. D. ABBOTT<sup>2</sup>, M. R. ABERNATHY<sup>1</sup>, F. ACERNESE<sup>3,4</sup>, K. ACKLEY<sup>5</sup>, C. ADAMS<sup>6</sup>, T. ADAMS<sup>7</sup>, P. ADDESSO<sup>3</sup>, R. X. ADHIKARI<sup>1</sup>, V. B. ADYA<sup>8</sup>, C. AFFELDT<sup>8</sup>, M. AGATHOS<sup>9</sup>, K. AGATSUMA<sup>9</sup>, N. AGGARWAL<sup>10</sup>, O. D. AGUIAR<sup>11</sup>, L. AIELLO<sup>12,13</sup>, A. AIN<sup>14</sup>, P. AJITH<sup>15</sup>, B. ALLEN<sup>8,16,17</sup>, A. ALLOCCA<sup>18,19</sup>, P. A. ALTIN<sup>20</sup>, S. B. ANDERSON<sup>1</sup>, W. G. ANDERSON<sup>16</sup>, K. ARAB<sup>1</sup>, M. C. ARAYA<sup>1</sup>, C. C. ARGENEAU<sup>21</sup>, J. S. AREEDA<sup>22</sup>, N. ARNAUD<sup>23</sup>, K. C. ARUN<sup>24</sup>, S. ASCENZI<sup>25,13</sup>, C. ASHTON<sup>26</sup>

V. LIPUNOV<sup>336</sup>, E. GORBOVSKOY<sup>336</sup>, N. TYURINA<sup>336</sup>, V. KORNILOV<sup>336</sup>, P. BALANUTSA<sup>336</sup>, A. KUZNETSOV<sup>336</sup>, D. BUCKLEY<sup>337</sup>, R. REBOLO<sup>338</sup>, M. SERRA-RICART<sup>338</sup>, G. ISRAELIAN<sup>338</sup>, N. M. BUDNEV<sup>339</sup>, O. GRESS<sup>339</sup>, K. IVANOV<sup>339</sup>, V. POLESHUK<sup>339</sup>, A. TLATOV<sup>340</sup>, AND V. YURKOV<sup>341</sup>

The MASTER Collaboration

ties. The covered area is dominated by MASTER (unfiltered magnitude  $< 19.9$  mag; GCNs [18333](#), [18390](#), and



[www.mercator.ru](http://www.mercator.ru)

