

# **ГАММА-АСТРОНОМИЯ И ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ**

**А.М. Гальпер**  
**(Отделение ядерной физики и  
астрофизики)**

**Ученый совет ФИАН**  
**27 февраля 2012 года**

# Материя во Вселенной

(энергетический баланс)



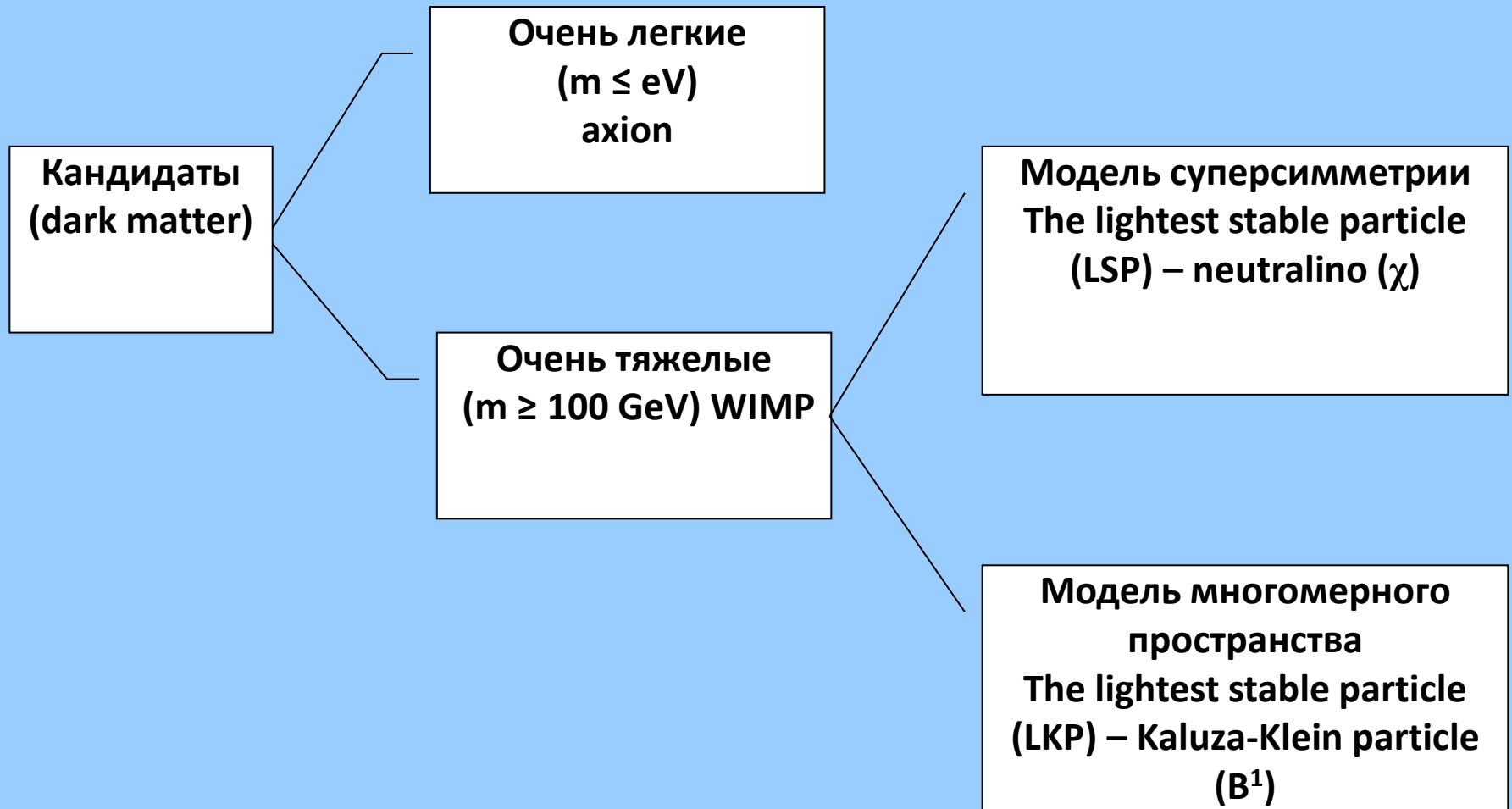
# Модели темной материи

- **WIMP models**
- **Dark Stars**
- **Inelastic Dark Matter**
- **Dynamical Dark Matter**
- **Leptophilic Dark Matter**
- **Supersymmetric Models Beyond the MSSM**
- **Asymmetric Dark Matter**
- **Kaluza-Klein Models**
- **Inert Higgs Doublet**
- **Non-WIMP Models**
- **The Axion**

# Кандидаты в темную материю

- **Kaluza-Klein Boson**
- Axion
- Axino
- Gravitino
- Photino
- SM Neutrino
- Sterile Neutrino
- Sneutrino
- Light DM
- Little Higgs DM
- Wimpzillas
- Q-balls
- Mirror Matter
- Champs (charged DM)
- D-matter
- Cryptons
- Self-interacting
- Superweakly interacting
- Braneworld DM
- Heavy neutrino
- **Neutralino**
- Messenger States in GMSB
- Branons
- Chaplygin Gas
- Split SUSY
- Primordial Black Holes

# Кандидаты в темную материю



# Регистрация частиц темной материи

## Прямые методы

Регистрация взаимодействия слабовзаимодействующих массивных частиц с обычным веществом.

Регистрация рождения на ускорителе.

## Косвенные методы

Регистрация продуктов аннигиляции WIMP в космосе

$$B^l + B^l \rightarrow e^+ + e^-, \gamma + \gamma, \dots$$

$$\chi + \chi \rightarrow b\bar{b}, t\bar{t}, \tau \tau^-, Z^0 Z^0, Z^0 \gamma, W^+ W^-, \text{HH} \rightarrow \\ \rightarrow \gamma + \dots, \nu + \dots, e^\pm + \dots, p\bar{p} + \dots, d\bar{d} + \dots$$

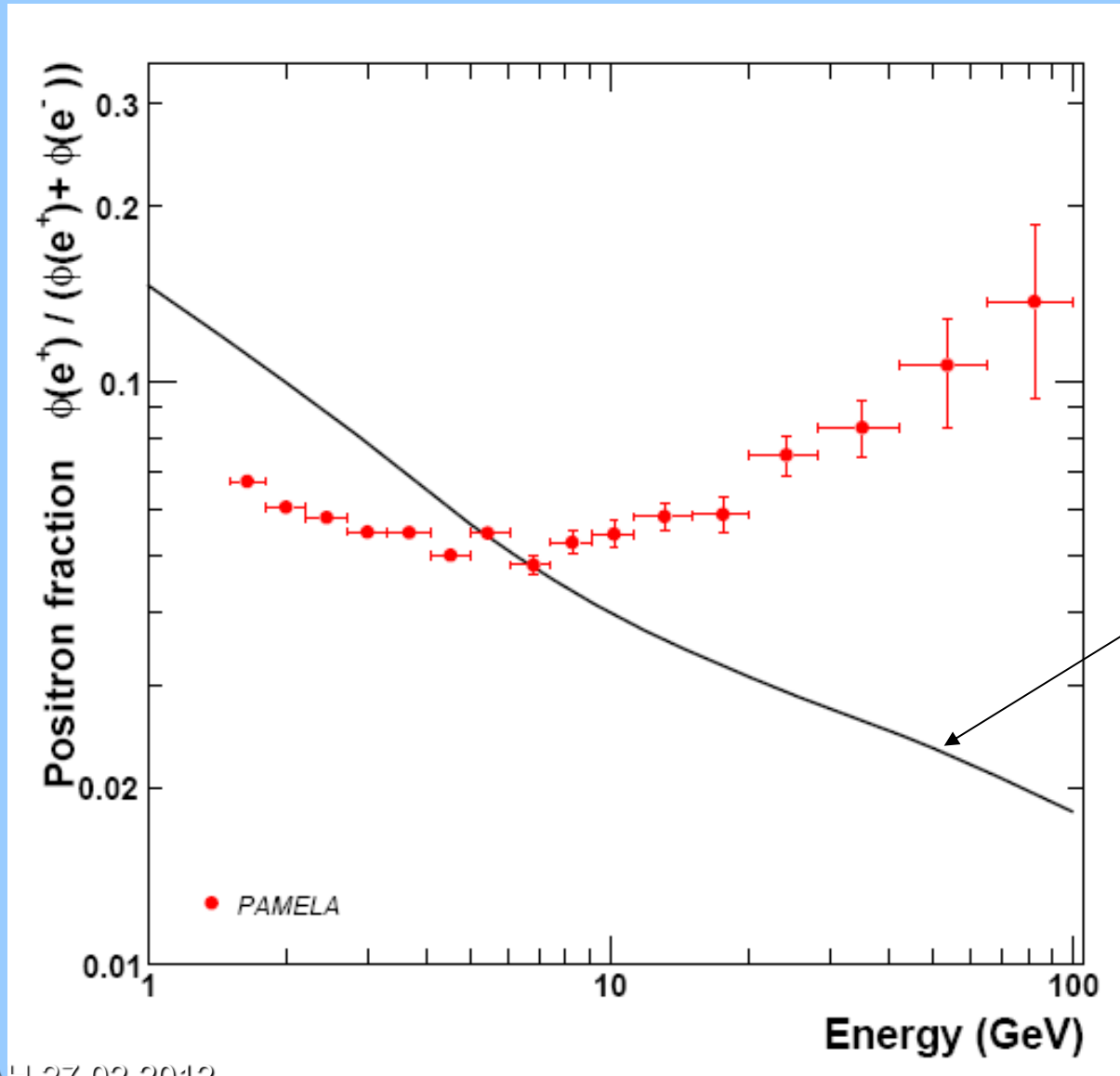
Регистрация продуктов распада WIMP в космосе

$$B_{kk} \rightarrow l^+ l^-; Z^0 Z^0; W^+ W^-$$

$$\chi \rightarrow l^+ l^- \nu; Z^0 \nu; W^\pm l^\pm$$

# Изучение природы темной материи

Отношение потока позитронов к полному потоку электронов и позитронов



Вторичные  
Moskalenko-Strong  
(1998)

O.Adriani et al. //  
Nature 2009, V.458, P.607

# TOP TEN PHYSICS STORIES OF THE YEAR 2008

INSIDE SCIENCE RESEARCH --- **PHYSICS NEWS UPDATE** The American Institute of Physics  
**Bulleting of Research News Number 879 #1, December 22, 2008** [www.aip.org/pnu](http://www.aip.org/pnu) by Phil Schewe

- *SUPERCONDUCTORS*
- *LARGE HADRON COLLIDER*
- *PLANETS*
- *QUARKS*
- *FARTHEST SEEABLE THING*
- *ULTRACOLD MOLECULES*
- *DIAMOND DETECTORS*

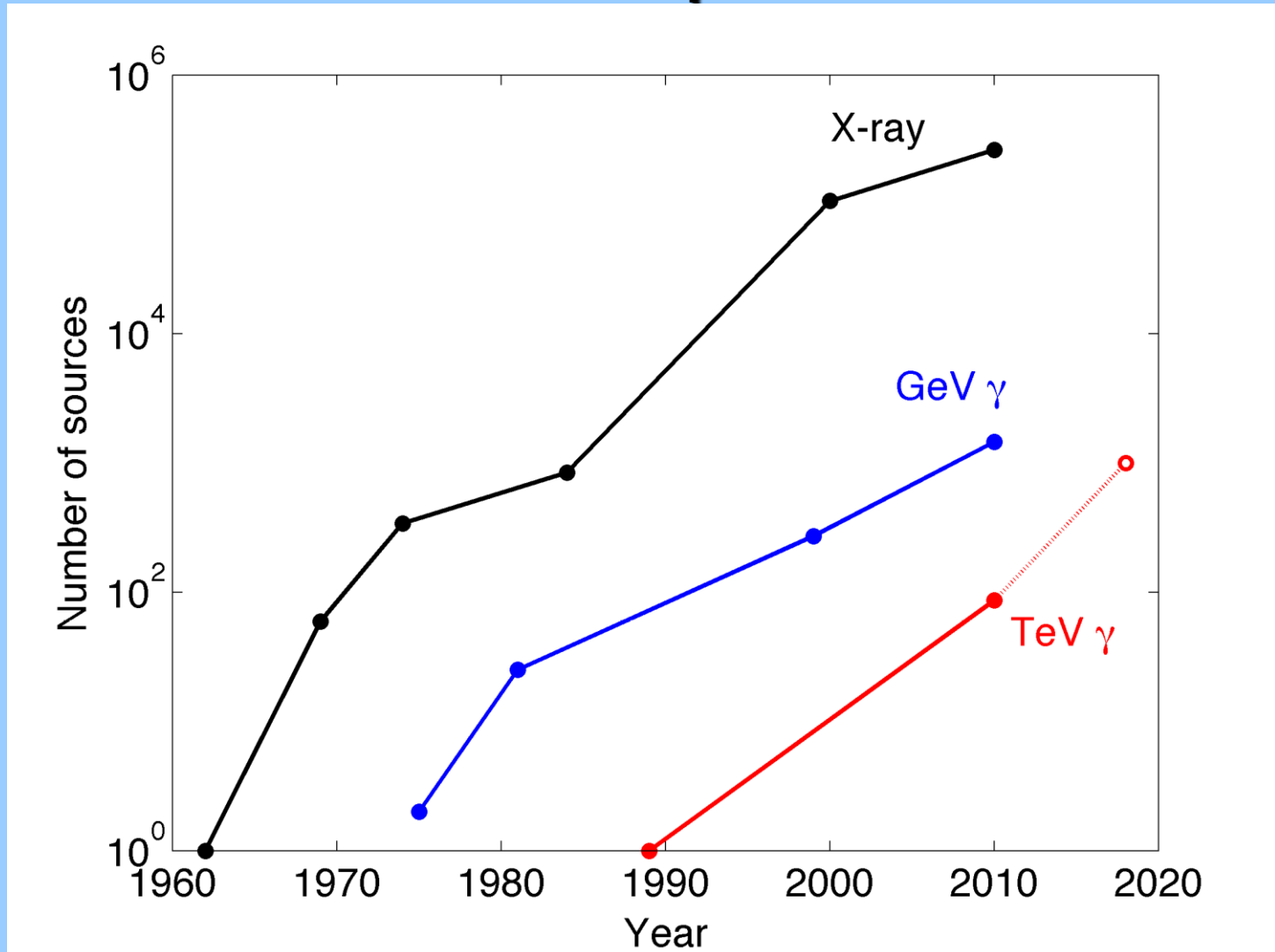
- **COSMIC RAYS**

Another mystery pertains to the findings of two detectors held aloft-one by a balloon and one on a satellite-looking for oddities in the number of antiparticles arriving with regular particles among cosmic rays reaching Earth. They see an excess of such particles which some interpret as evidence for "dark matter," a class of very-weakly-interacting particles not seen before. Scientists associated with the balloon-borne ATIC detector (Nature, 20 Nov) and the satellite **PAMELA** (<http://arxiv.org/abs/0810.4995>)

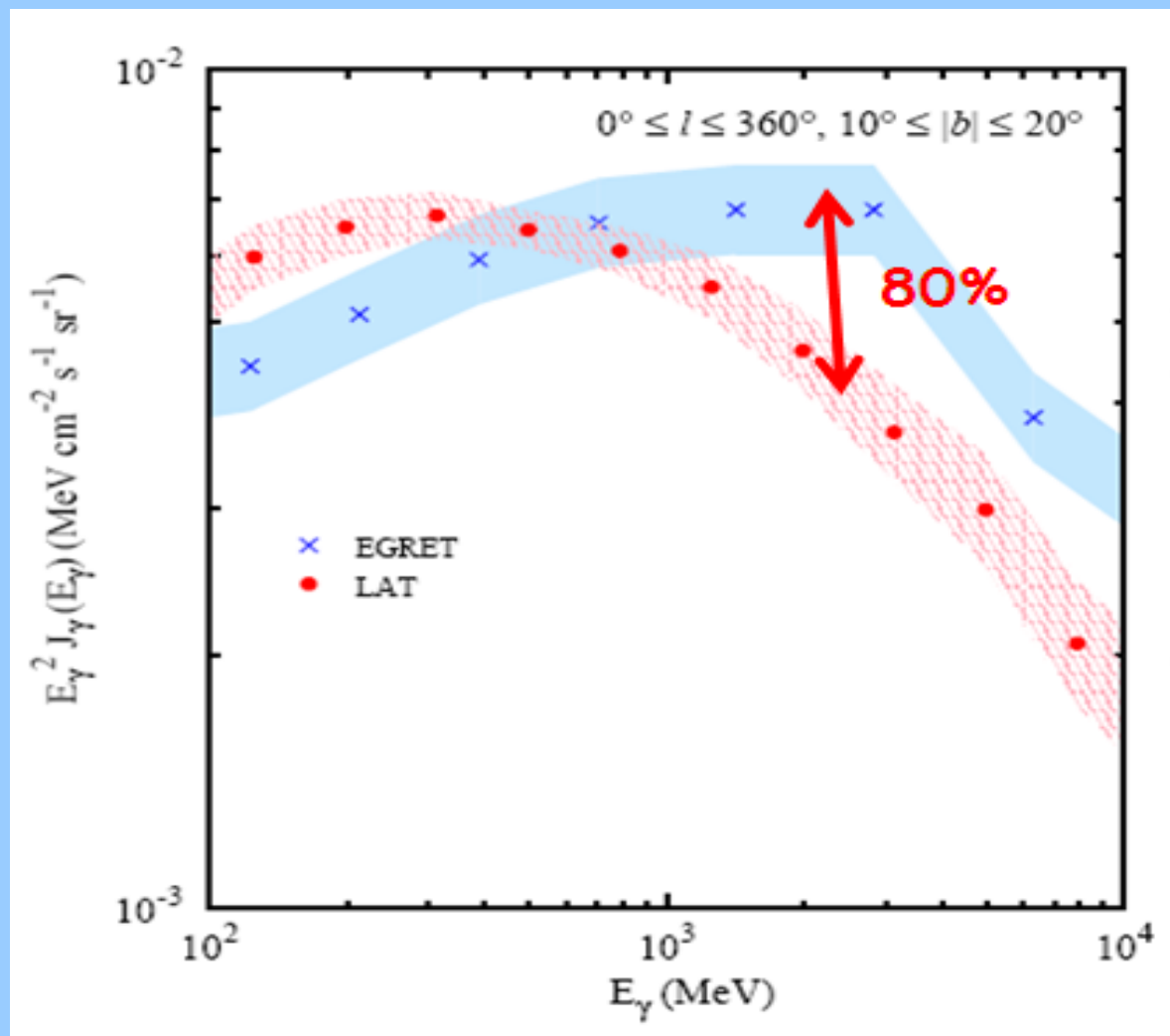
- *LIGHT PASSES THROUGH OPAQUE MATTER*
- *MACROSCOPIC FEEDBACK COOLING*



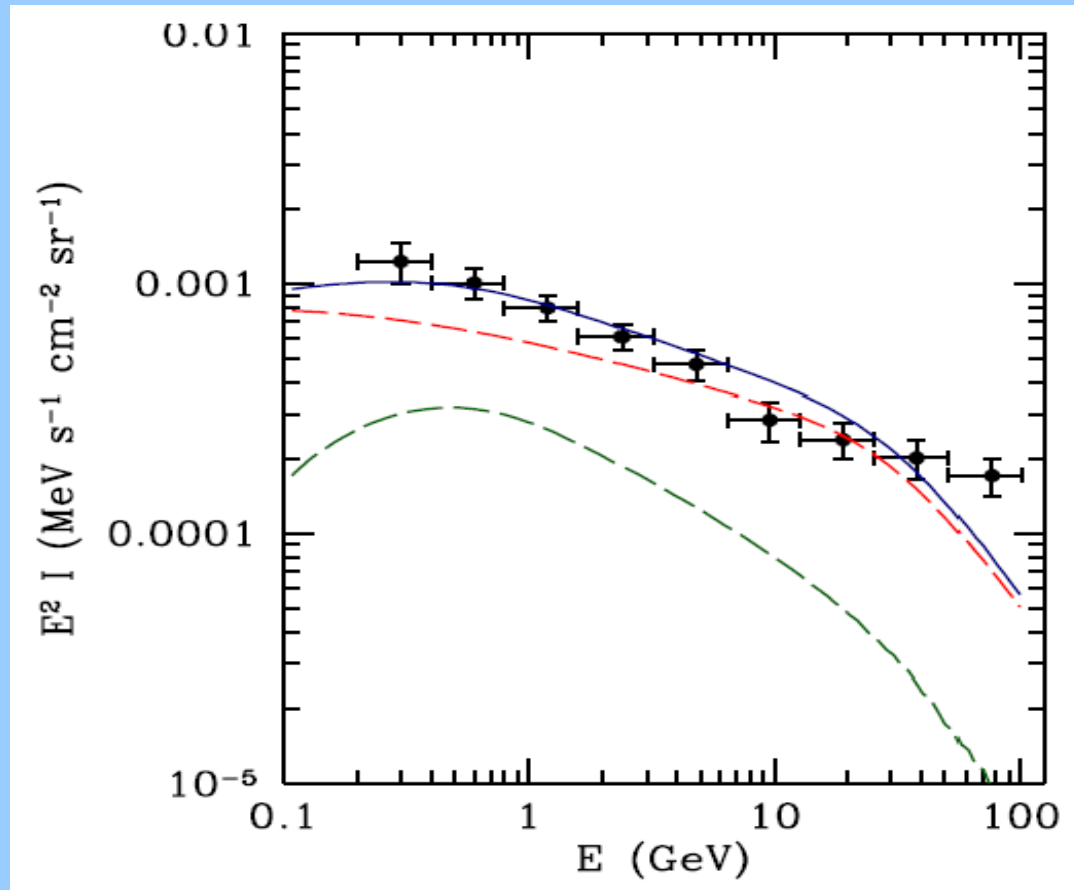
# Развитие рентгеновской и гамма-астрономии



# Спектр диффузного гамма-излучения по данным EGRET и FERMI/LAT

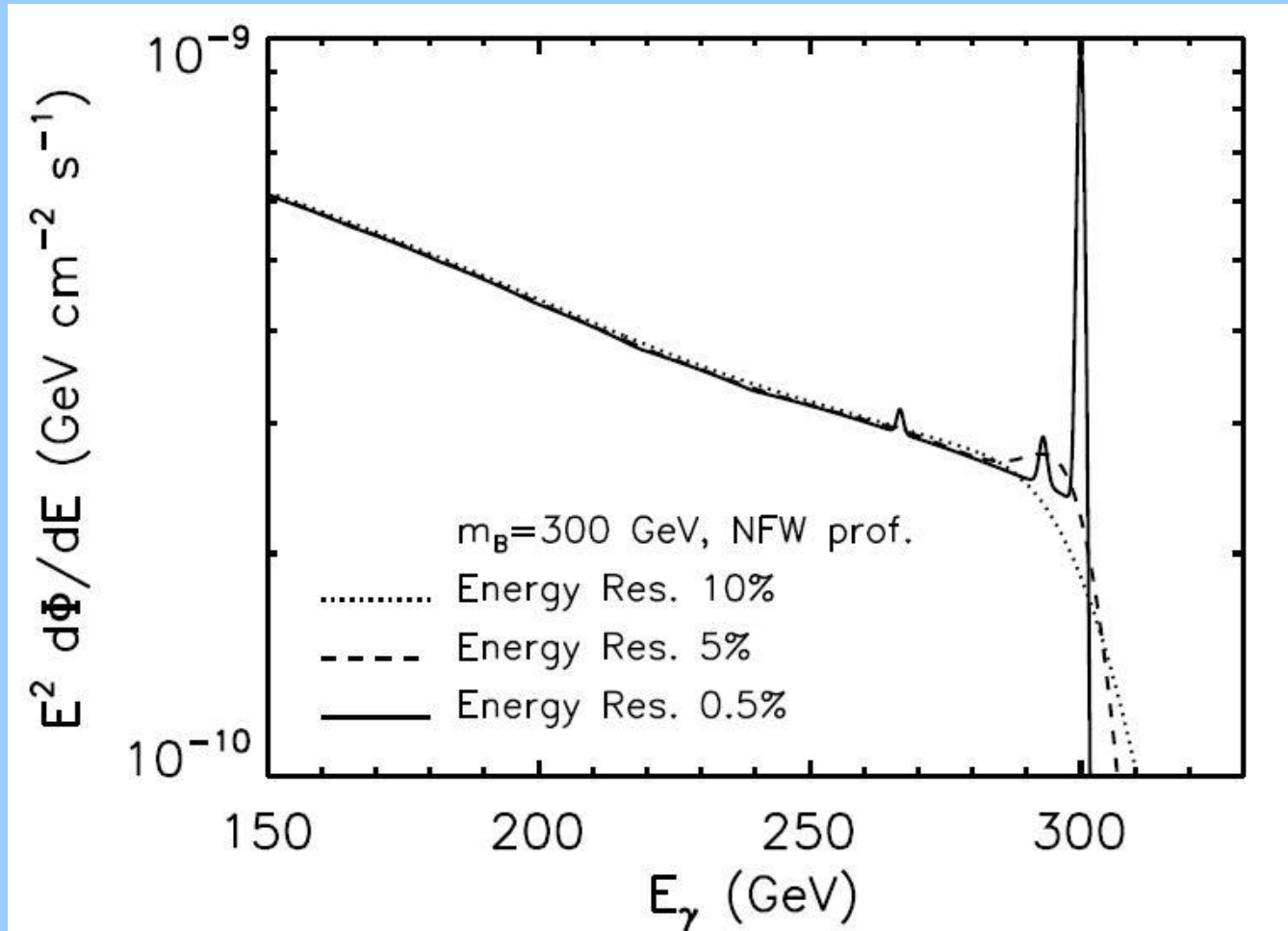


# Внегалактическое гамма-излучение



Вклад звездообразующих галактик (зеленый), блазаров (красный) и их сумма (синий) во внегалактическое гамма-излучение.

# Спектр гамма от $V_{kk}$ массой 300 ГэВ



# Эксперименты по поиску темной материи

Эксперимент	Комментарий
DAMA/LIBRA годовая модуляция	Нет объяснения; нет подтверждения другими экспериментами
CoGeNT избыток событий и годовая модуляция	Противоречит другим данным
EGRET избыток гамма-квантов с энергией $\sim$ ГэВ	Приборная ошибка (?) – не подтверждено FERMI
INTEGRAL линия 511 кэВ от области центра Галактики	Не обладает сферической симметрией – асимметрия, характерная для диска (?)
PAMELA: аномальное отношение космических позитронов/электронов	Эффект может быть вызван темной материей или пульсарами – не указывает однозначно на темную материю
FERMI позитроны+электроны	
FERMI избыток гамма-излучения в направлении центра Галактики	Нет объяснения; возможно это астрофизический эффект. Нет комментария от коллаборации FERMI
WMAP радио "haze"	Соответствует "FERMI bubbles" – возможно вызван потоками, исходящими из центра Галактики

УТВЕРЖДАЮ

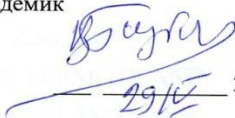
Директор  
Учреждения Российской академии наук  
Физического института  
им. П.Н. Лебедева РАН

академик  
  
Месяц Г.А.  
2009 г.

**ПРОЕКТ ГАММА-400**  
**ИССЛЕДОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ**  
**И ПОТОКОВ ЭЛЕКТРОНОВ И ПОЗИТРОНОВ В**  
**ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИЙ 1-3000 ГэВ**


От ФИАН

Руководитель научного направления  
академик

  
Гинзбург В.И.  
2009 г.

Научный руководитель проекта  
ГАММА-400

профессор, г.н.с.

  
Гальпер А.М.  
2009 г.

Москва, 2009 г.

# **Требования к гамма-телескопам нового поколения для поиска темной материи косвенным методом**

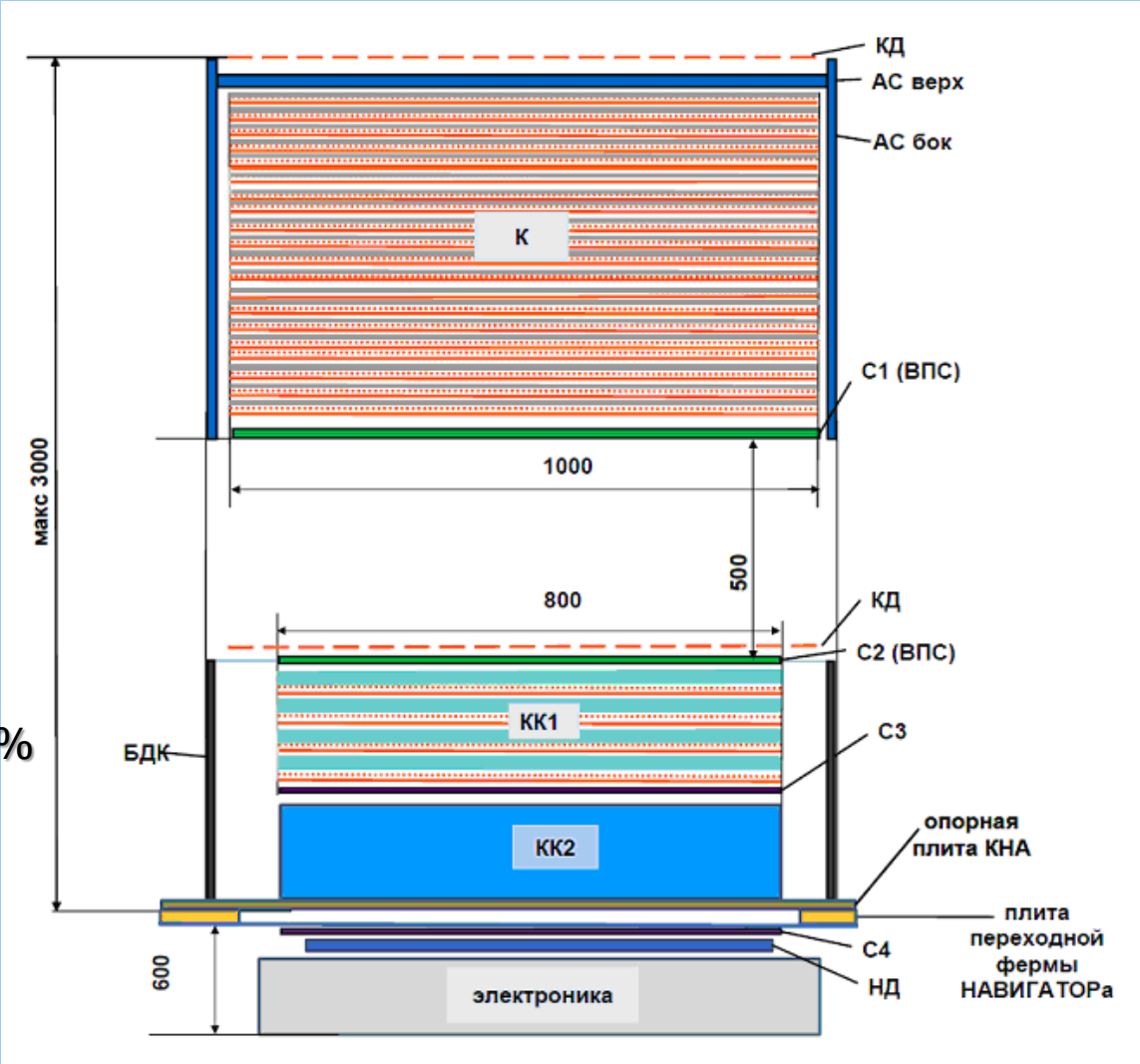
- большая чувствительная площадь (1-2 м<sup>2</sup>);**
- широкий энергетический диапазон от 0,1 ГэВ в области малых энергий и до нескольких ТэВ в области высоких энергий гамма-излучения;**
- высокое энергетическое разрешение  $\sim 1\%$  при энергии гамма-квантов 100 ГэВ;**
- высокое угловое разрешение - лучше  $\sim 0,01$  градуса при энергии гамма-квантов 100 ГэВ;**
- возможность одновременно с измерением гамма-излучения регистрировать электроны и позитроны космического излучения.**

# Схема гамма-телескопа ГАММА-400

Угловое разрешение  $\sim 0.01$  град

$E_{\gamma} = 100$  ГэВ

Энергетическое разрешение  $\sim 1\%$

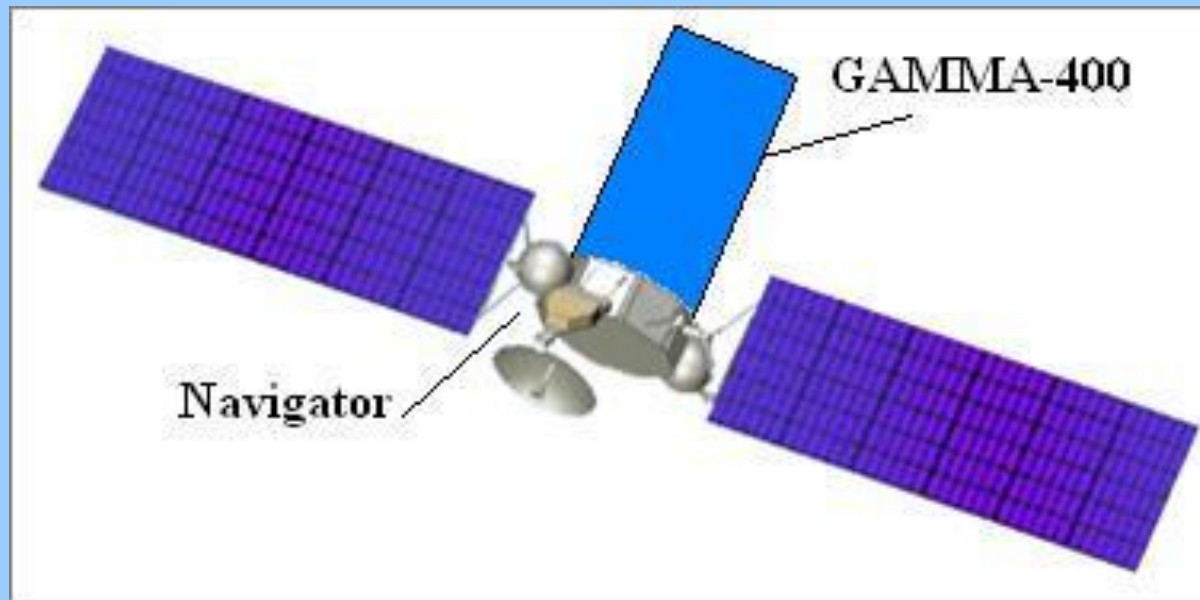




# Физические характеристики ГАММА-400

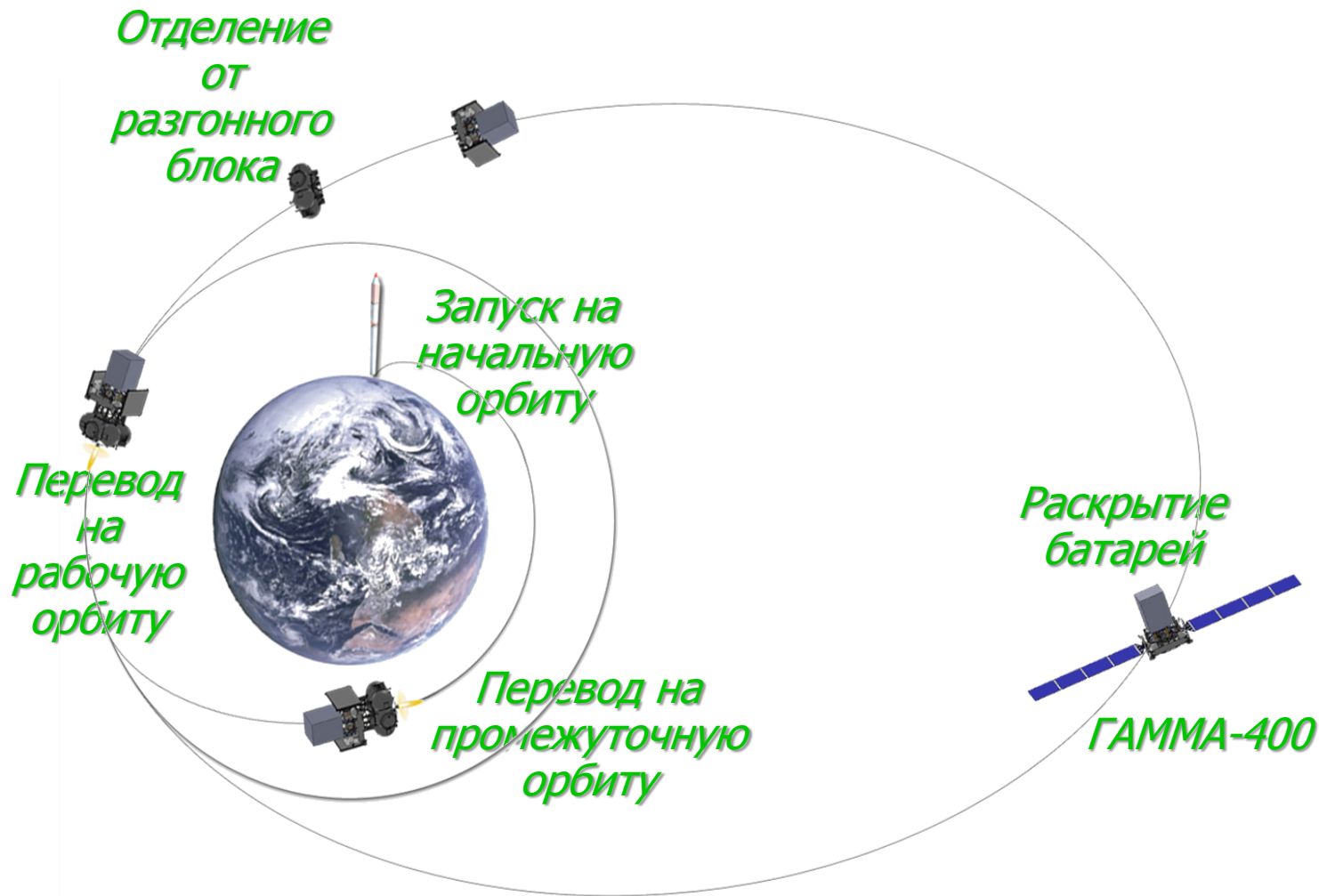
<b>Энергетический диапазон</b>	<b>0,1-3000 ГэВ</b>
<b>Угловое разрешение (<math>E_\gamma &gt; 100</math> ГэВ)</b>	<b><math>\sim 0,01^\circ</math></b>
<b>Полная толщина калориметра</b>	<b><math>\sim 25</math> р.е.д.</b>
<b>Энергетическое разрешение (<math>E_\gamma &gt; 100</math> ГэВ)</b>	<b><math>\sim 1\%</math></b>
<b>Коэффициент выделения электронов и позитронов на фоне протонов</b>	<b><math>\sim 10^6</math></b>
<b>Объем передаваемой информации</b>	<b>100 Гбайт/день</b>

# ГАММА-400 на платформе НАВИГАТОР



Масса ГАММА-400	2600 кг
Энергопотребление	2000 Вт
Научная телеметрия	100 ГБ/сутки
Дата запуска	2018 г
Время работы	> 7 лет

# Схема запуска ГАММА-400



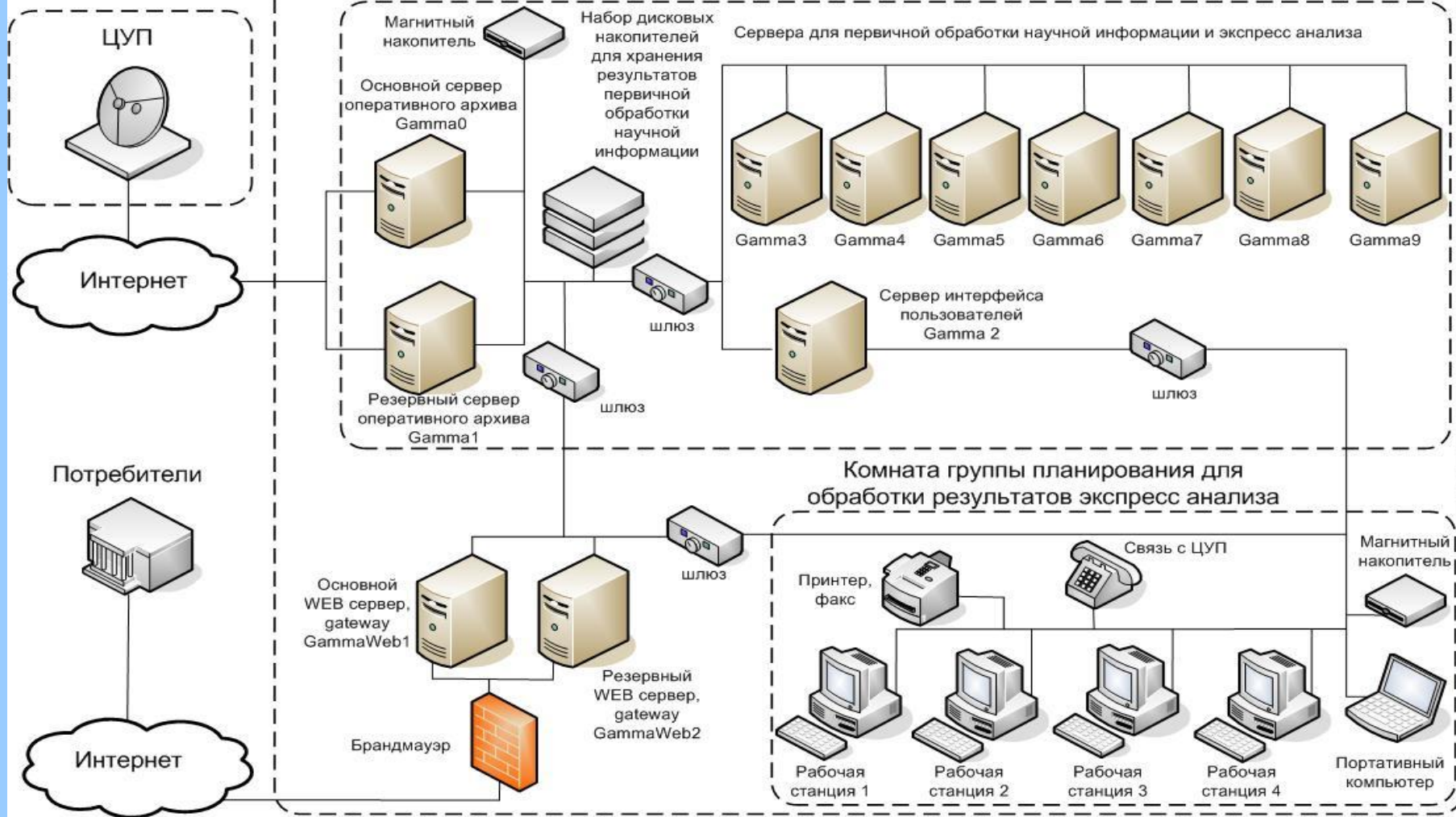
# Эволюция орбиты



# Наземный научный комплекс ГАММА-400

## Центр обработки научной информации (ЦОНИ) ГАММА-400

Серверная для приёма и первичной обработки данных КНА ГАММА-400



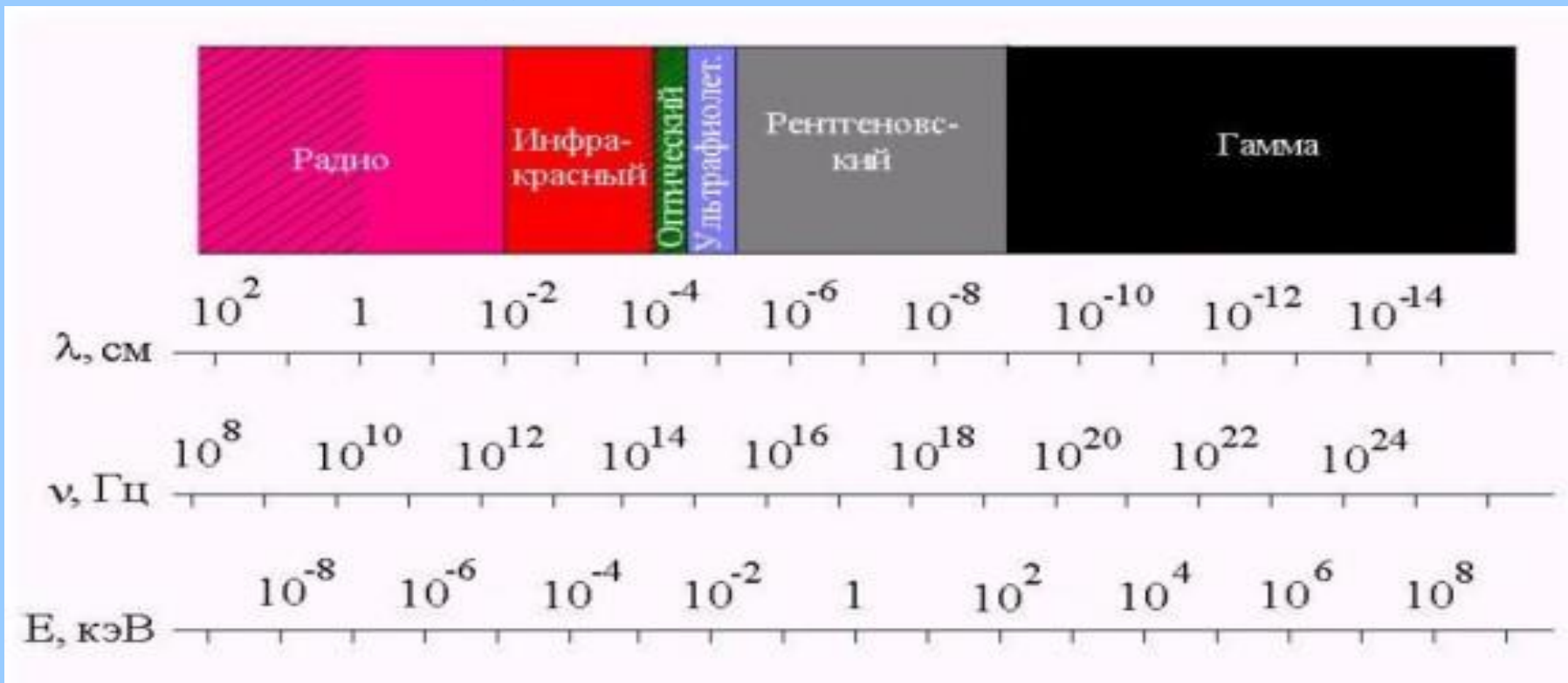
Радиоастрон  
Спектр-Р  
2011 г.

Миллиметровый  
Спектр-М  
2016 г.

Спектр-УФ  
2015 г.

Спектр-РГ  
2013 г.

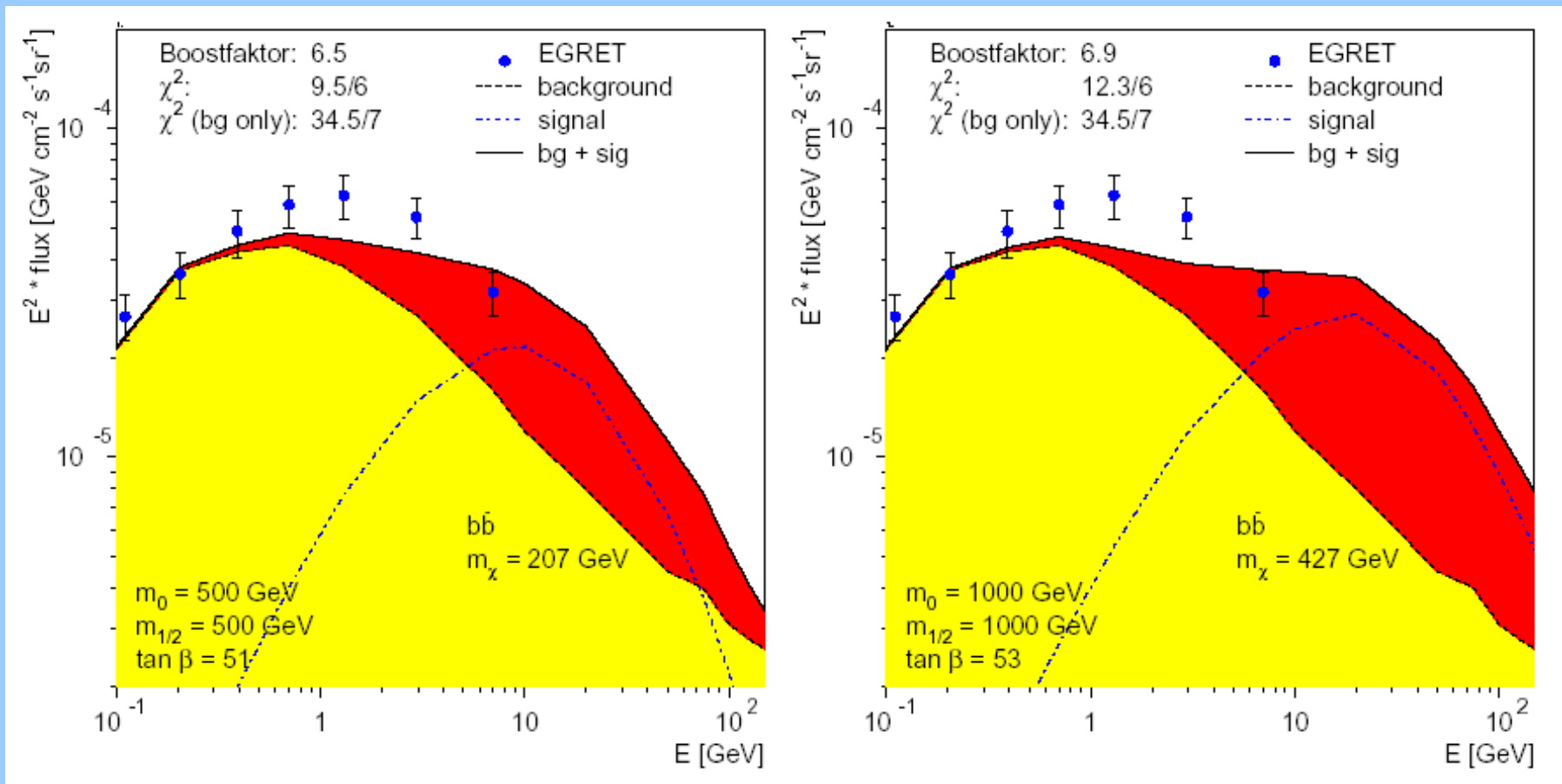
ГАММА-400  
2018 г.



**Российские космические программы для исследования в различных диапазонах электромагнитного спектра**

**Благодарю за внимание**

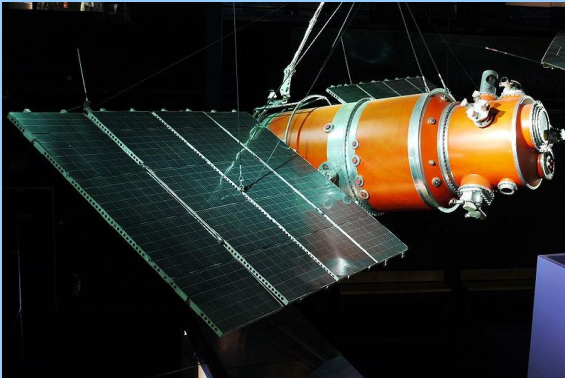
# Диффузное гамма излучение (W. de Boer et al)



Желтым цветом показан поток гамма-излучения, рассчитанный по общепринятой модели КЛ. Красным цветом отмечен возможный вклад от аннигиляции скрытой массы в виде нейтралино.

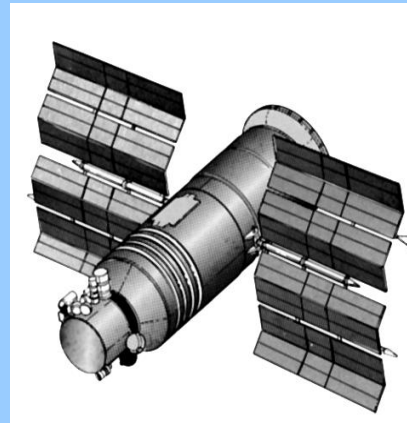


# Российские космические гамма-телескопы



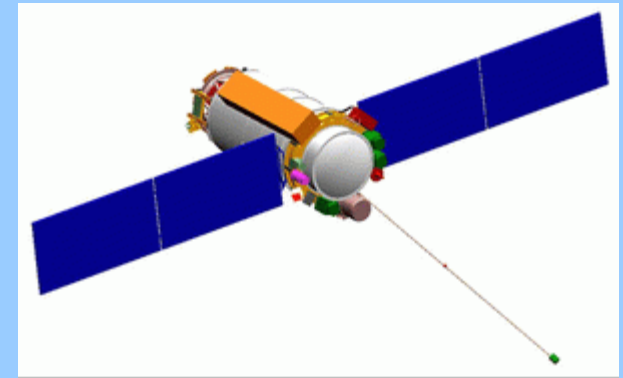
**Анна-3**  
(СССР)  
(Космос - 251, 264)

1968, 1969  
200 МэВ – 1 ГэВ



**ГАММА-1**  
(СССР)

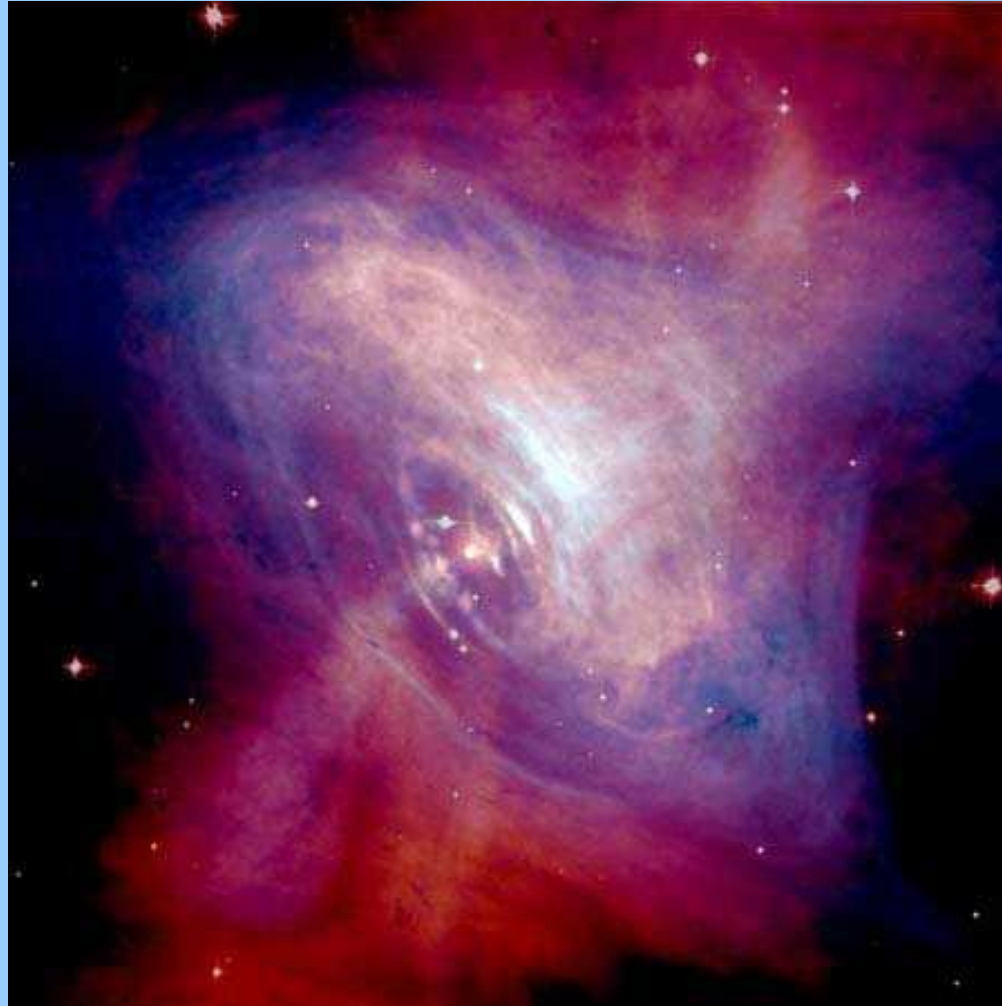
1990 – 1992  
30 МэВ – 5 ГэВ



**КОРОНАС-  
ФОТОН**  
(Россия)

2009  
300 МэВ – 2 ГэВ

# Остаток сверхновой КРАБ



# Двойные системы



# Микроквазар



# Список дискретных источников гамма-излучения высокой энергии по данным FERMI

	2FGL	$l$	$b$	$N_{ph}$	$P$	type	Name
1	1837.3-0700c	25.09	-0.08	4	1.e-4		HESS J1837-069
2	J2001.1+4352	79.06	-7.12	2	1.e-3	BLZ	MAGIC J2001+435
3	J2323.4+5849	111.74	-2.11	2	1.e-3	SNR	Cas A
4	J2347.0+5142	112.88	-9.90	4	6.e-8	BLZ	1ES 2344+514
5	J0035.8+5951	120.97	-2.96	5	4.e-8	BLZ	1ES 0033+595
6	J0110.3+6805	124.70	5.29	2	6.e-4		VCS J0110+6805
7	J0240.5+6113	135.67	1.08	4	2.e-6	GRLB	LS I+61 303
8	J0521.7+2113	183.6	-8.70	4	2.e-5	AGU	VCS J0521+2112
9	J0534.5+2201	184.55	-5.78	28	0	PWN	Crab
10	J0617.2+2234e	189.05	3.03	4	7.e-5	SNR+CCO	IC443
11	J0648.9+1516	198.99	6.35	4	4.e-7	AGU	VER J0648+152
12	J1030.4-6015	286.28	-2.03	2	1.e-3		
13	J1124.6-5913	292.2	-2.03	2	1.e-3	PWN	PSR J1124-5916
14	J1603.8-4904	332.15	2.56	5	5.e-7		AT20G J160350-49

# Список дискретных источников гамма-излучения высокой энергии

Название	Показатель спектра	Интегральный поток (>100 ГэВ)	Число событий (>100 ГэВ)	Эксперимент
<b>1ES 1011+496</b>	<b>4±0.5</b>	67671.49	204.64	MAGIC
<b>1ES 1218+304</b>	<b>3±0.4</b>	4090.44	12.37	MAGIC
<b>1ES 1959+650</b>	<b>2.78±0.13</b>	5805.37	17.56	Whipple
<b>1ES 2344+514</b>	<b>3.3±0.7</b>	1667.27	5.04	Whipple
<b>3C 279</b>	<b>4.11±0.68</b>	218765.02	661.55	MAGIC
<b>BL Lac</b>	<b>3.64±0.54</b>	3183.23	9.63	MAGIC
<b>Center Ridge</b>	<b>2.29±0.07</b>	26.28 10 <sup>4</sup>	800	HESS
<b>Crab</b>	<b>2.48±0.03</b>	11710.09	35.41	MAGIC
<b>H 1426+428</b>	<b>3.55±0.46</b>	26211.75	79.26	Whipple
<b>MAGIC J0616+225</b>	<b>3.1±0.3</b>	605.79	1.83	MAGIC
<b>Mkn 180</b>	<b>3.25±0.66</b>	3596.67	10.88	MAGIC
<b>Mkn 421</b>	<b>3.2±0.2</b>	6045.27	18.28	HEGRA
<b>Mkn 501</b>	<b>2.28±0.05</b>	10664.52	32.25	MAGIC
<b>PG 1553+113</b>	<b>4.01±0.6</b>	204302.55	617.81	HESS
<b>PKS 2155-304</b>	<b>3.53±0.05</b>	69036.63	208.77	HESS
<b>RX J0852.0-4622</b>	<b>2.2±0.3</b>	331.36	1.00	CANGAROO-III
<b>RX J1713.7-3946</b>	<b>2.84±0.15</b>	618.47	1.87	CANGAROO-II
<b>W Com</b>	<b>3.8±0.35</b>	4570.22	13.82	VERITAS

# Коллаборация ПАМЕЛА

Italy:



Bari



Florence



Frascati



Naples



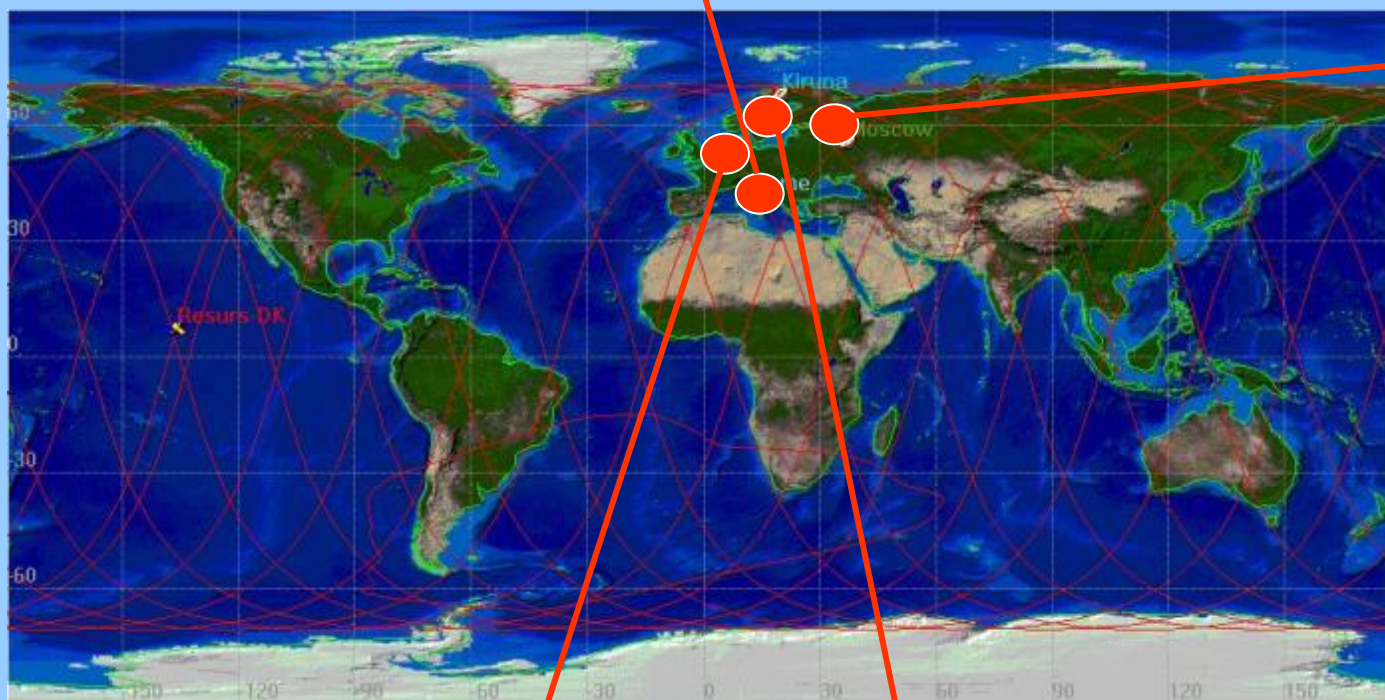
Rome



Trieste



CNR, Florence



Germany:



Siegen

Sweden:



KTH, Stockholm

Россия:



Москва

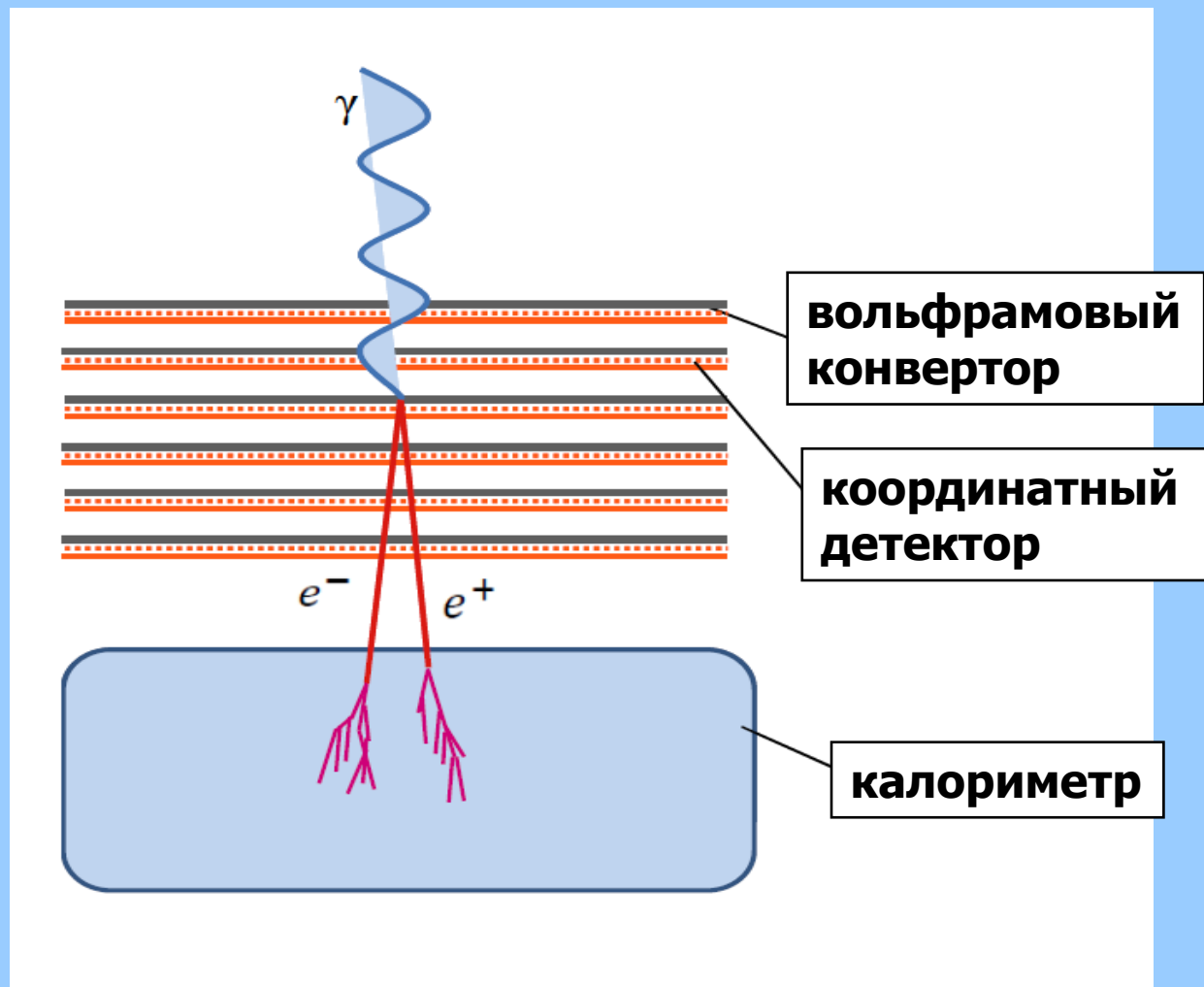


Москва



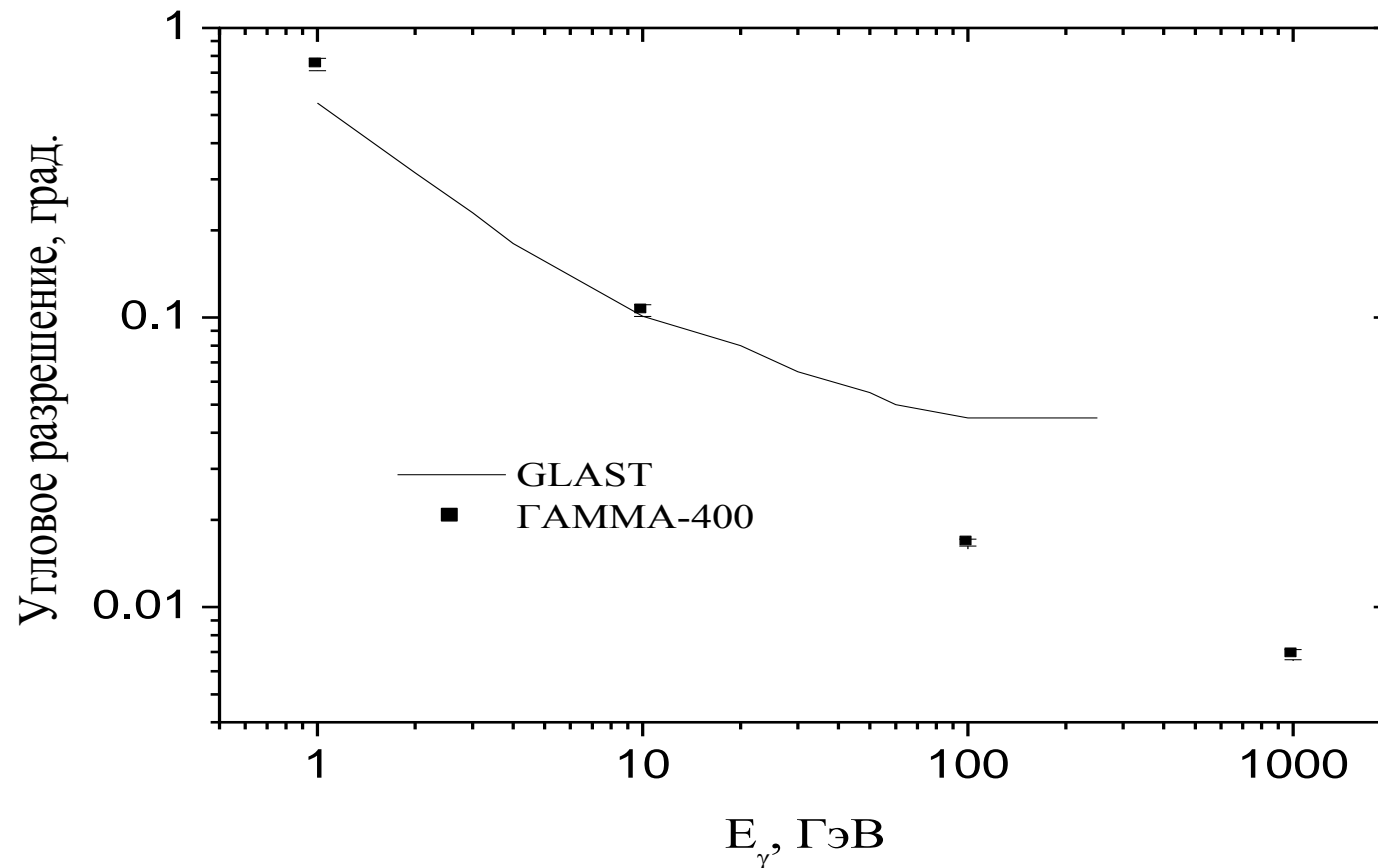
С. Петербург

# Принцип построения гамма-телескопа

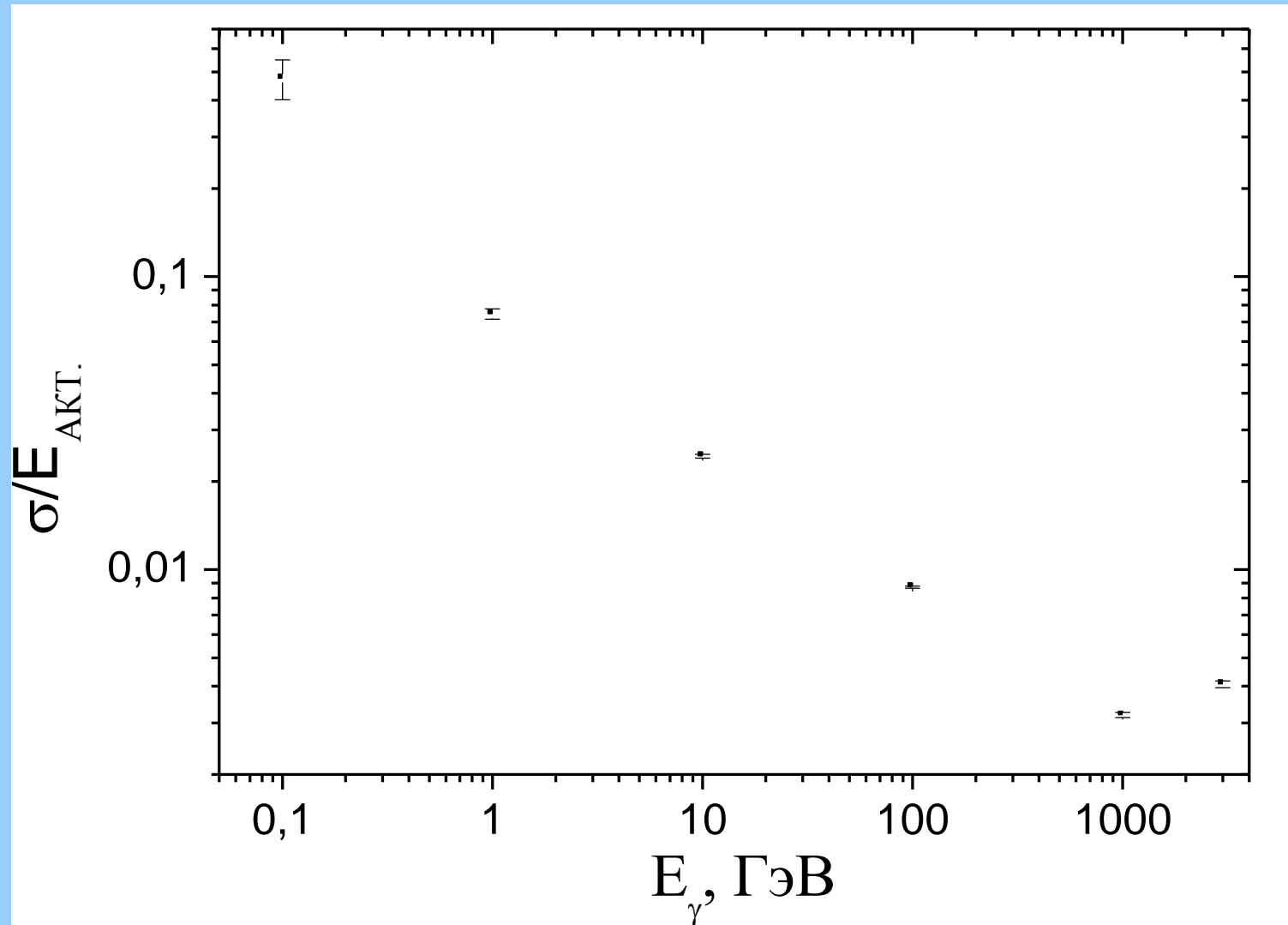




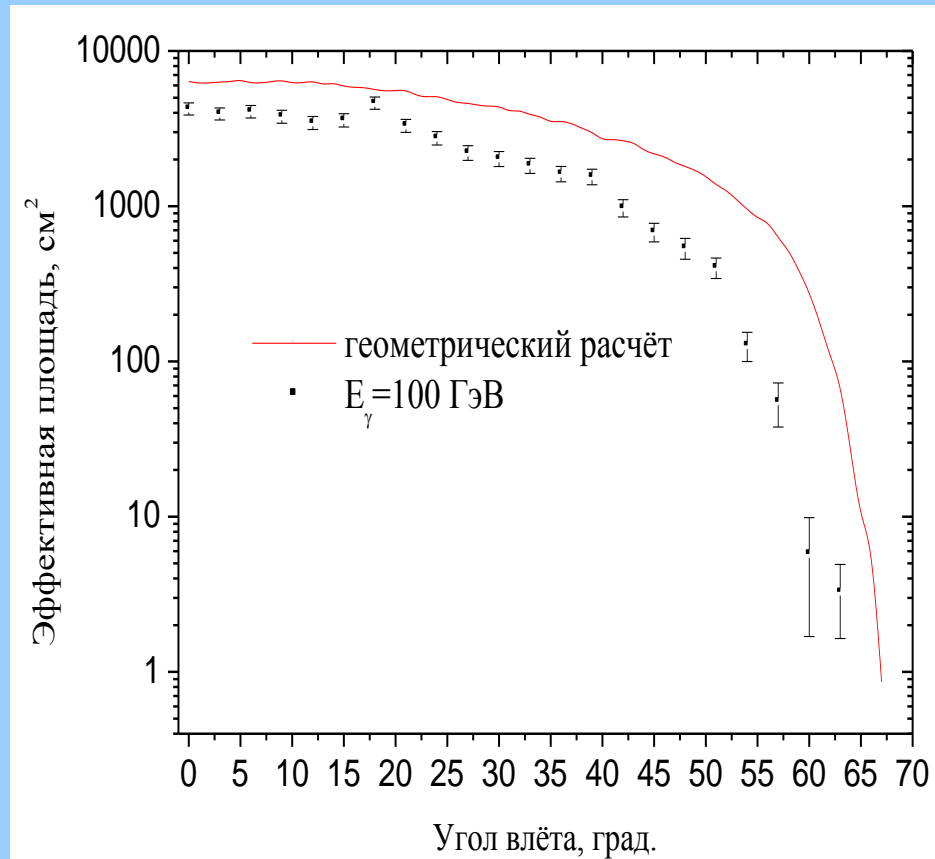
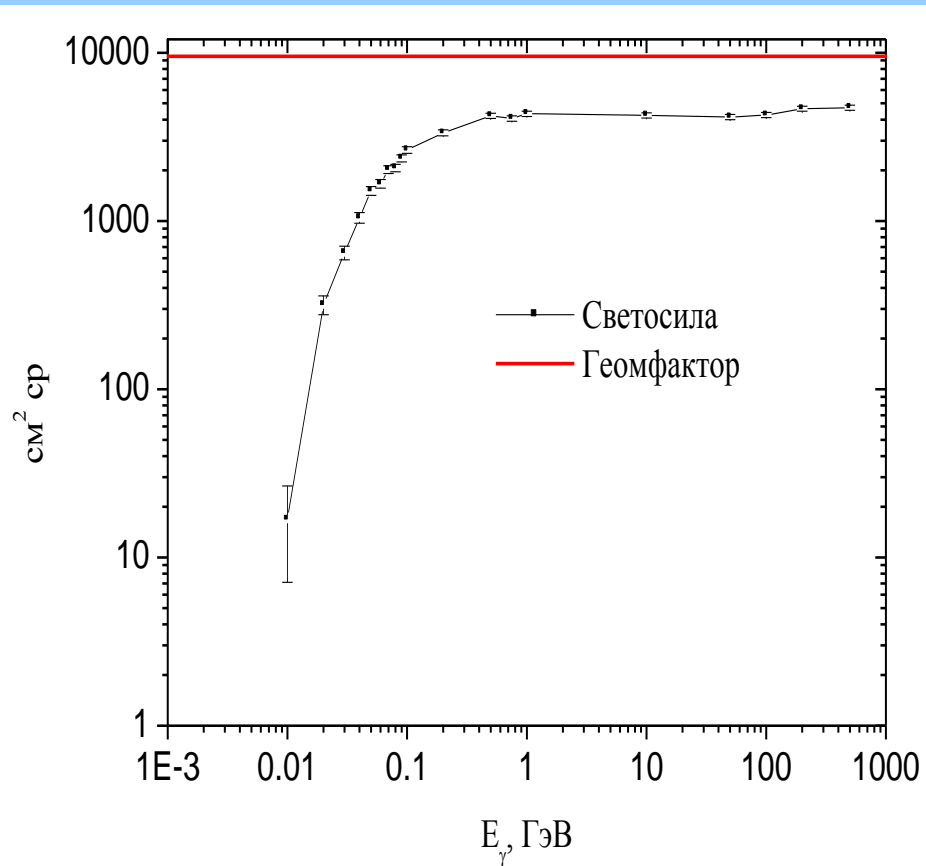
# Угловое разрешение гамма-телескопа ГАММА-400



# Энергетическое разрешение гамма-телескопа ГАММА-400



# Светосила и эффективная площадь гамма-телескопа ГАММА-400



# Карта интенсивности неба в гамма-диапазоне от 300 МэВ до 100 ГэВ по данным FERMI

Лебедь X-3

