

# 用ARGO实验的Shower数据

## 寻找 $E > 10\text{GeV}$ 的 $\gamma$ 射线暴

---

周勋秀 张宇 高兰兰

西南交通大学物理科学与技术学院



# 内容提要

---

1.  $\gamma$ 射线暴的研究现状
2. ARGO-YBJ实验
3. 与卫星 $\gamma$ 射线暴符合寻找伴随暴的方法
4. 用ARGO实验数据寻找 $\gamma$ 射线暴的结果
5. 流强上限的设置

# 第一部分 $\gamma$ 射线暴(GRB)的研究现状

## 1. 探测GRB的主要卫星实验：

Vela, CGRO-BATSE, BeppoSAX, HETE-2, **Swift**, **Fermi-GBM**,.....

## 2. 卫星实验探测到6000多个GRB, 主要观测特征：

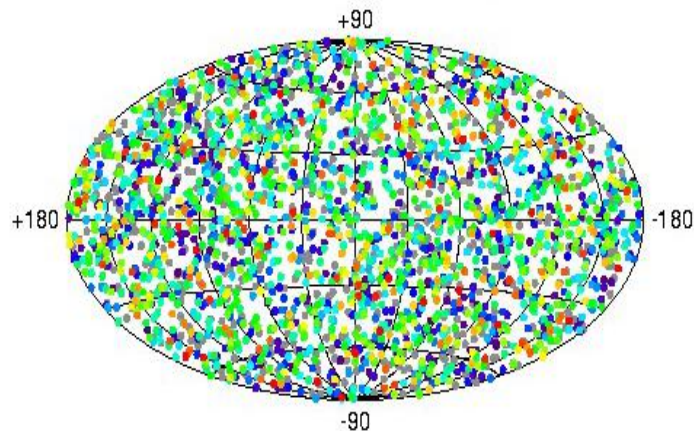
(1) 空间分布：各向同性

(2) 时间分布：  $T_{90}$  ( $\sim$  ms – 1000s )

(3) 能谱：非热辐射谱,  $\frac{dN}{dE} = KE^{-\alpha}$

(4) 红移： > 450GRBs的红移被观测到

$z= 0.0085(\text{GRB980425}); z=8.1(\text{GRB090423})$



# 寻找高能 $\gamma$ 射线暴的意义

## 1. GRB的一些基本问题仍存在激烈争论:

- $\gamma$ 射线暴（未观测到红移）的起源是什么？
- 是否存在起源于银河系内的 $\gamma$ 射线暴？
- $\gamma$ 射线暴的辐射机制是什么？



## 2. 要解决GRB的基本问题，需要得到GRB不同能段的完整图像：

- 空间条件的限制，卫星实验探测到的 $\gamma$ 暴大多在keV—MeV能段。
- 探测GRB在GeV-TeV能段的辐射，可为GRB的源距离下限、辐射机制给出重要的信息。

# GRB高能辐射的探测现状

◆ GRB在MeV-GeV能段的辐射( **卫星实验**: CGRO-EGRET ; Fermi-LAT )

GRB	$E_{\max}$ (GeV)	GRB	$E_{\max}$ (GeV)	GRB	$E_{\max}$ (GeV)	GRB	$E_{\max}$ (GeV)
940217	18	080916C	27.4	090510A	>10	090902B	33.4
090926A	19.6	120916A	55	<b>130427A</b>	<b>95</b>	130502B	30
130907A	55	131018B	13	140619B	24	140810A	16
140928A	35	141222A	20	150902A	11	160310A	30
160422A	12	160509A	52	160521B	12	160625B	15

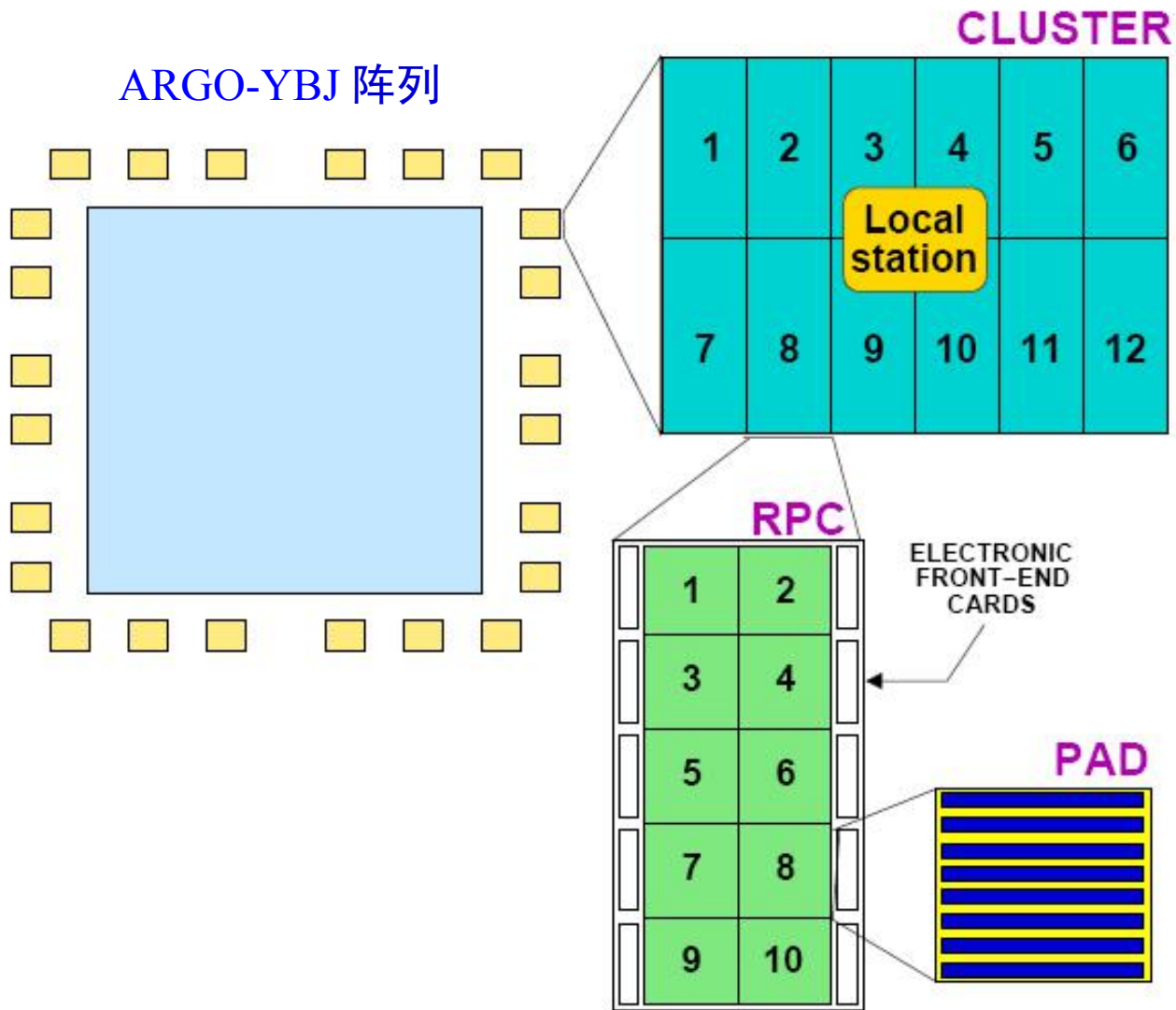
◆ **地面实验** (契伦科夫望远镜和广延大气簇射阵列) :

Milagro; HEGRA; CANGAROO; VERITAS ; MAGIC;

Tibet AS $\gamma$ ; **ARGO-YBJ**; CAT; HAWAC; **LHAASO (建设中.....)**

◆ 目前地面实验还未找到具有足够显著性的高能GRB;  
但利用地面实验寻找GRB的脚步从未停止过.....

# 第二部分 ARGO-YBJ 实验



# 利用ARGO实验寻找GRB的现状

---

◆ Scaler模式——寻找GRB的工作已完成！

10-100 GeV，负结果；流强上限（99% C.l.）可低达 $10^{-5}\text{erg.cm}^{-2}$

◆ Shower模式——已完成2009年1月之前的数据分析；

2009年2月—2013年2月之间的数据还待分析处理？

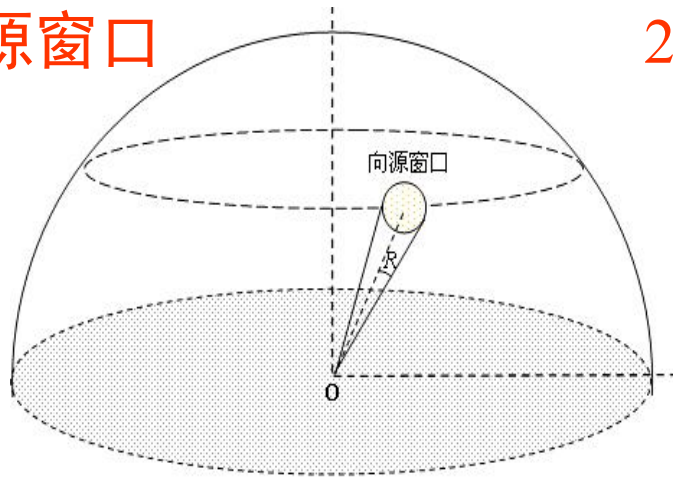
◆ 本工作分析了ARGO阵列153个Cluster运行后所采集的Shower模式数据（2007.11—2013.02）



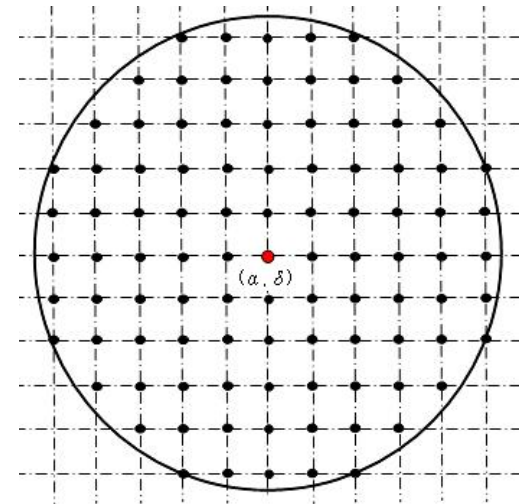
# 第三部分 与卫星 $\gamma$ 射线暴符合寻找伴随暴的方法

## “固定窗口法” 统计事例团多重数 ( $N_{on}$ )

### 1. 向源窗口

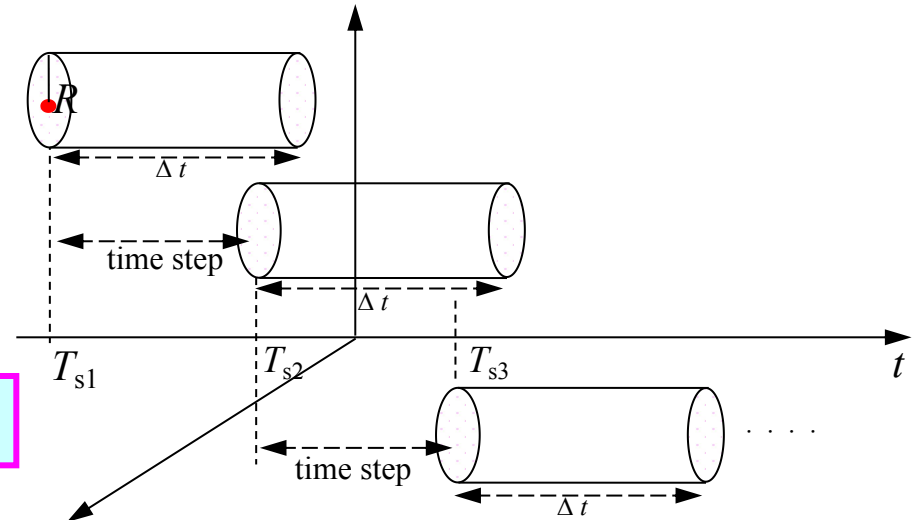


### 2. 爆发方向



### 3. 爆发时间

在卫星所报道的GRB触发时间前后一小时内去寻找高显著性的事例团。

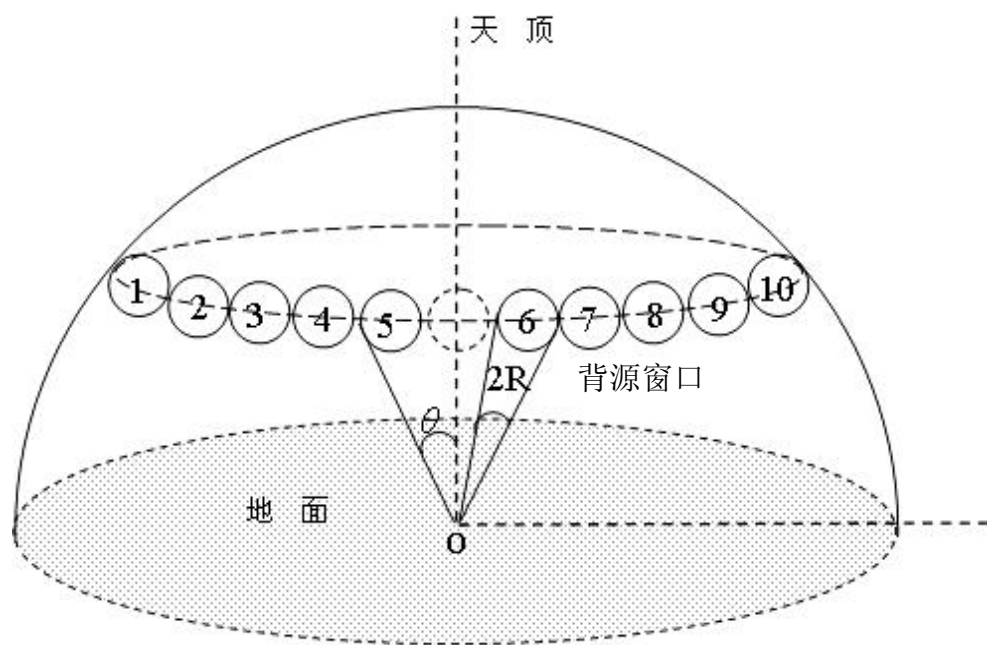


$$\Delta t = T_{90}; 0.5s, 1s, 6s, 12s, 24s, 48s, 96s$$



# 事例团的显著性估计

“等天顶角法”估计本底  $\langle N_b \rangle$



显著性估计

$$P(N_{\text{on}}) = \frac{\langle N_b \rangle^{N_{\text{on}}} e^{-\langle N_b \rangle}}{N_{\text{on}}!}$$

$$P_b = \sum_{i=N_{\text{on}}+1}^{\infty} P(i) + \frac{1}{2} P(N_{\text{on}})$$

$$P_b = \int_s^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}x^2} dx$$

一般说来， $P_b$  越小（显著性越高），就越象是一个候选暴。

★ 显著性需要考虑试验次数

## 第四部分 用ARGO实验数据寻找伴随暴的结果

- ◆ 时间：2007.11-2013.02（153个Cluster运行期间）
- ◆ 共有187个卫星观测到的GRBs 进入ARGO视场( $\theta < 45^\circ$ )  
Fermi: 99个; Swift: 88个
- ◆ 本工作分析155个GRBs（其中23个GRBs的红移被观测到）
- ◆ 两种能量截断 $E_{\text{cut}}$ 的选取（考虑到EBL的吸收效应）：

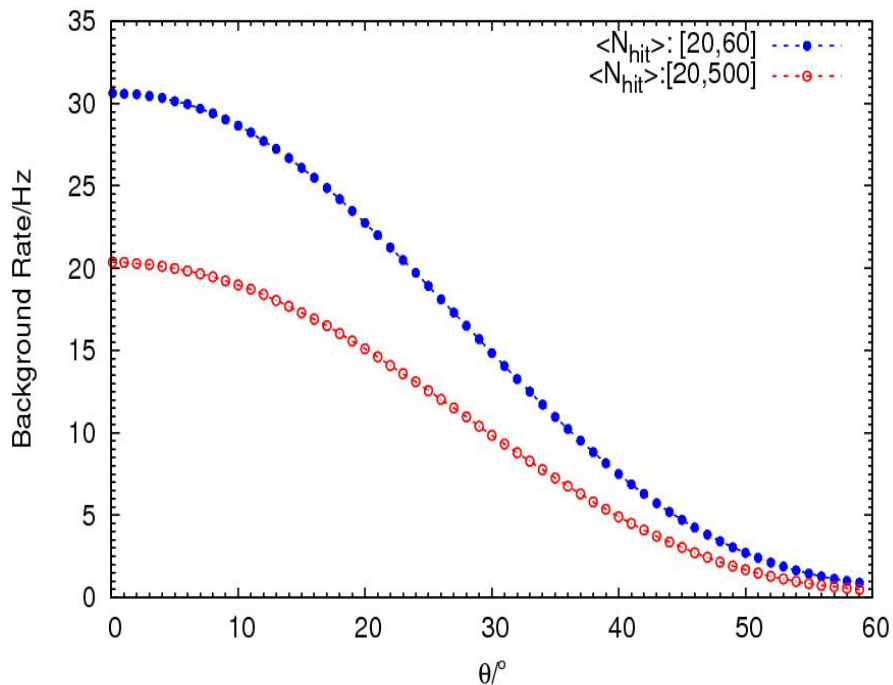
$E_{\text{cut}}$ (GeV)	$N_{\text{hit}}$	$\Psi_{70}$ ( $^\circ$ )
100	20-60	3.8
1000	20-500	2.6

参考文献：G. Aielli et al., *Astroparticle Physics*, 32(2009)47

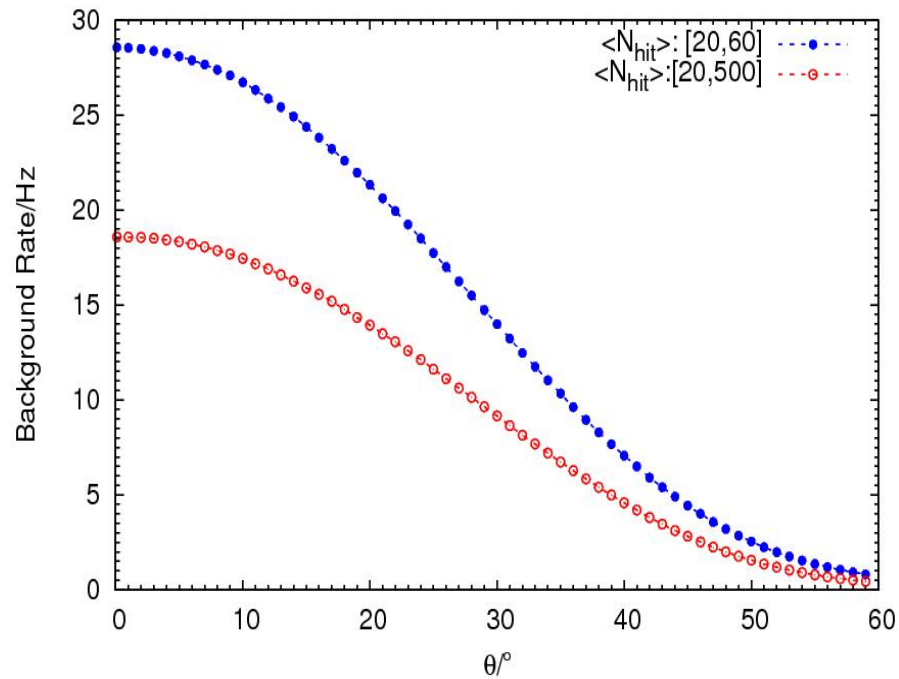
# 本底 $\langle N_b \rangle$ 估计

对每一个需要分析的**GRB**，去独立进行本底分析！

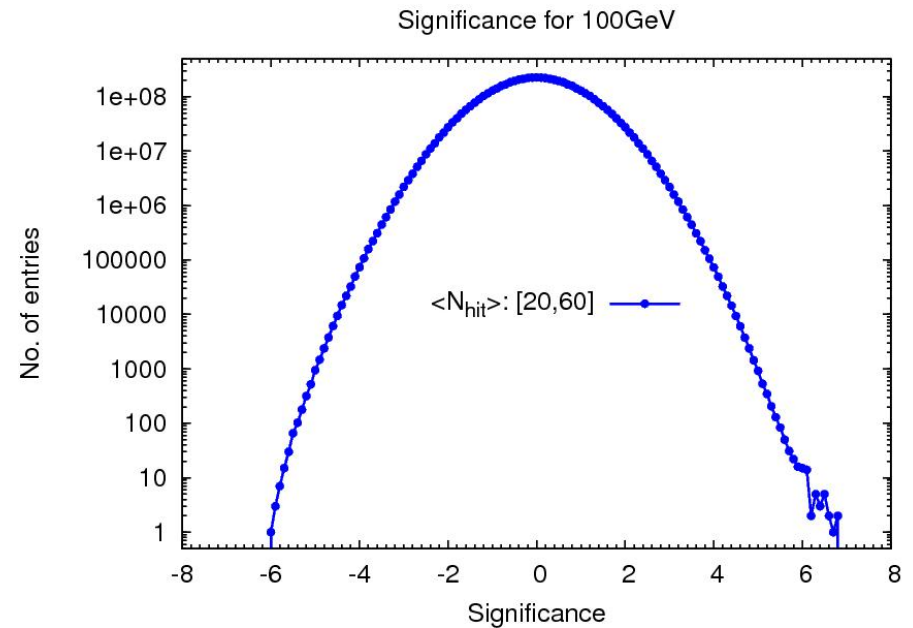
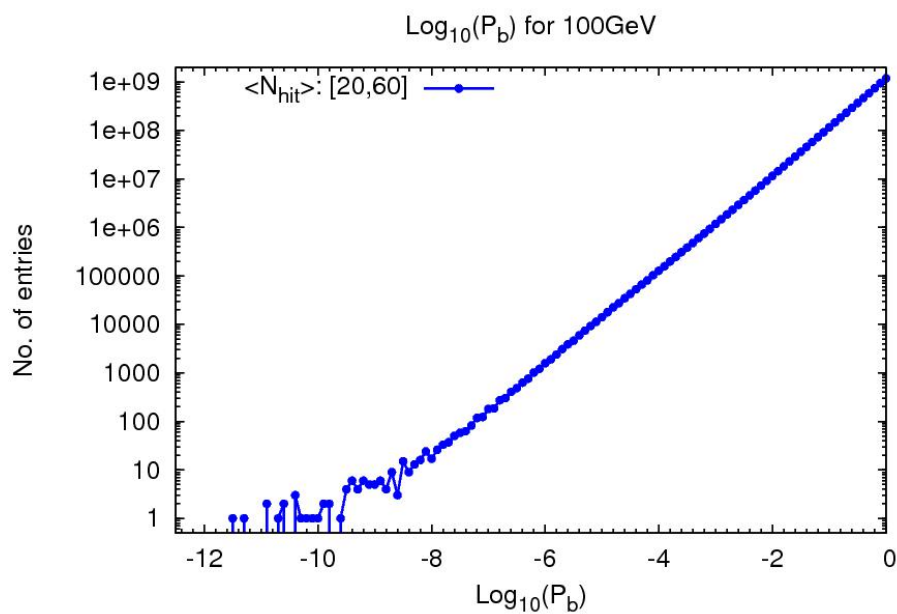
background of GRB20110705



background of GRB20121202



$$E_{\text{cut}}=100\text{GeV}$$



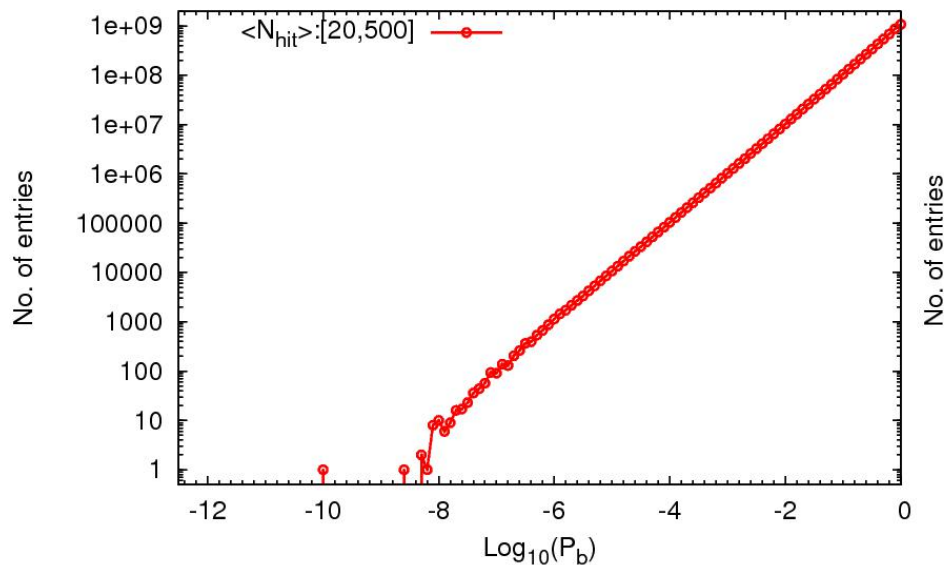
显著性最高的是与GRB081122520符合寻找中的一个事例团：

$\Delta t = 24\text{s}$ ,  $N_{\text{on}}=898$ ,  $\langle N_b \rangle=707.56$ ; 则  $P_b=3.05 \times 10^{-12}$  ( $\sim 6.87 \sigma$ ),

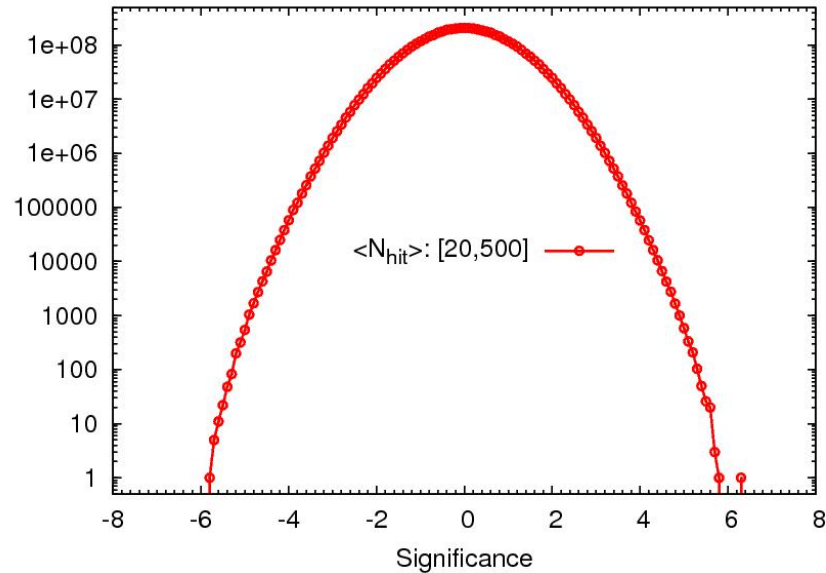
考虑试验次数( $\sim 5.2 \times 10^9$ )后,  $P_b=1.58 \times 10^{-2}$  ( $\sim 2.15 \sigma$ )。

$$E_{\text{cut}} = 1000 \text{ GeV}$$

Log<sub>10</sub>(P<sub>b</sub>) for 1000GeV



Significance for 1000GeV



显著性最高的是与GRB090802235符合寻找中的一个事例团：

$\Delta t = 0.5\text{s}$ ,  $N_{\text{on}}=21$ ,  $\langle N_{\text{b}} \rangle=3.46$ ; 则  $P_{\text{b}}=8.81 \times 10^{-11}$  ( $\sim 6.38 \sigma$ ) ,

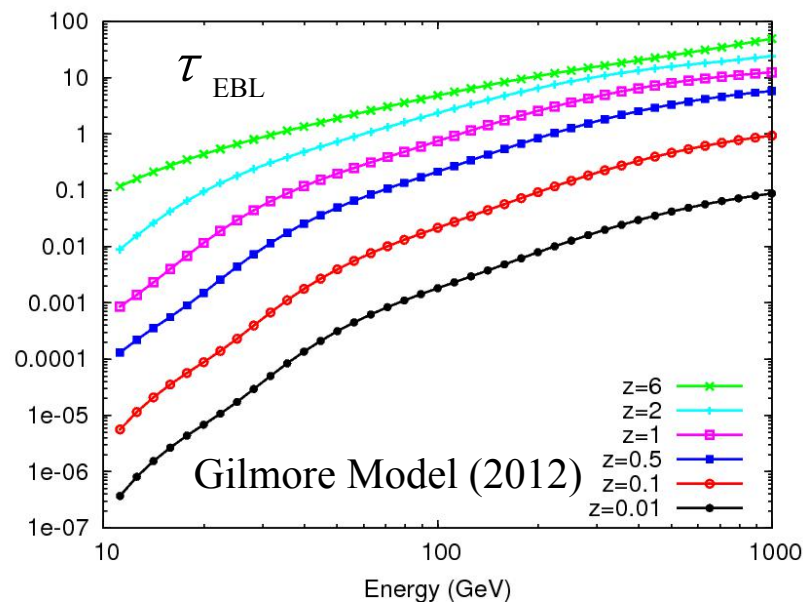
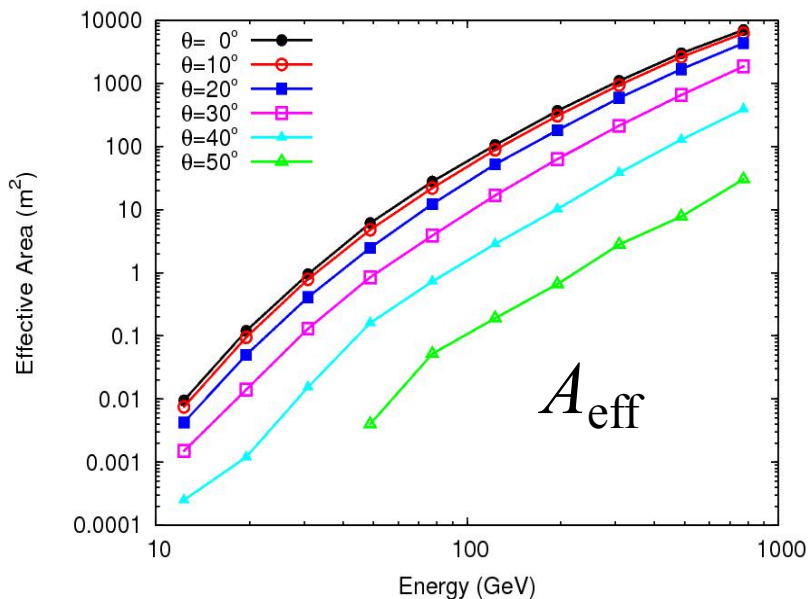
考虑试验次数后,  $P_{\text{b}}=4.58 \times 10^{-2}$  ( $\sim 1.69 \sigma$ ) 。

# 第五部分 99% C. L. 流强上限的设置

1.  $N_{UL}$  的计算: ( $N_{on}$ 、 $\langle N_b \rangle$ )——99% C.L. 的最低信号数  $N_{UL}$ )

2. 微分能谱系数  $K$  的计算: 
$$N_{UL} = K \int_{10\text{GeV}}^{E_{cut}} A_{\text{eff}} E^{-\alpha} e^{-\tau_{EBL}} dE$$

$E_{cut} = 100 / 1000\text{GeV}$ ;  $\alpha = 2.0$ ;



3. 流强上限  $F_{UL}$  的计算: 
$$F_{UL} = K \int_{10\text{GeV}}^{E_{cut}} E \cdot E^{-\alpha} \cdot dE$$

# 流强上限( $F_{UL}$ )结果—132个GRBs（红移未被观测到）

- $z = 0., 0.5, 1.0$

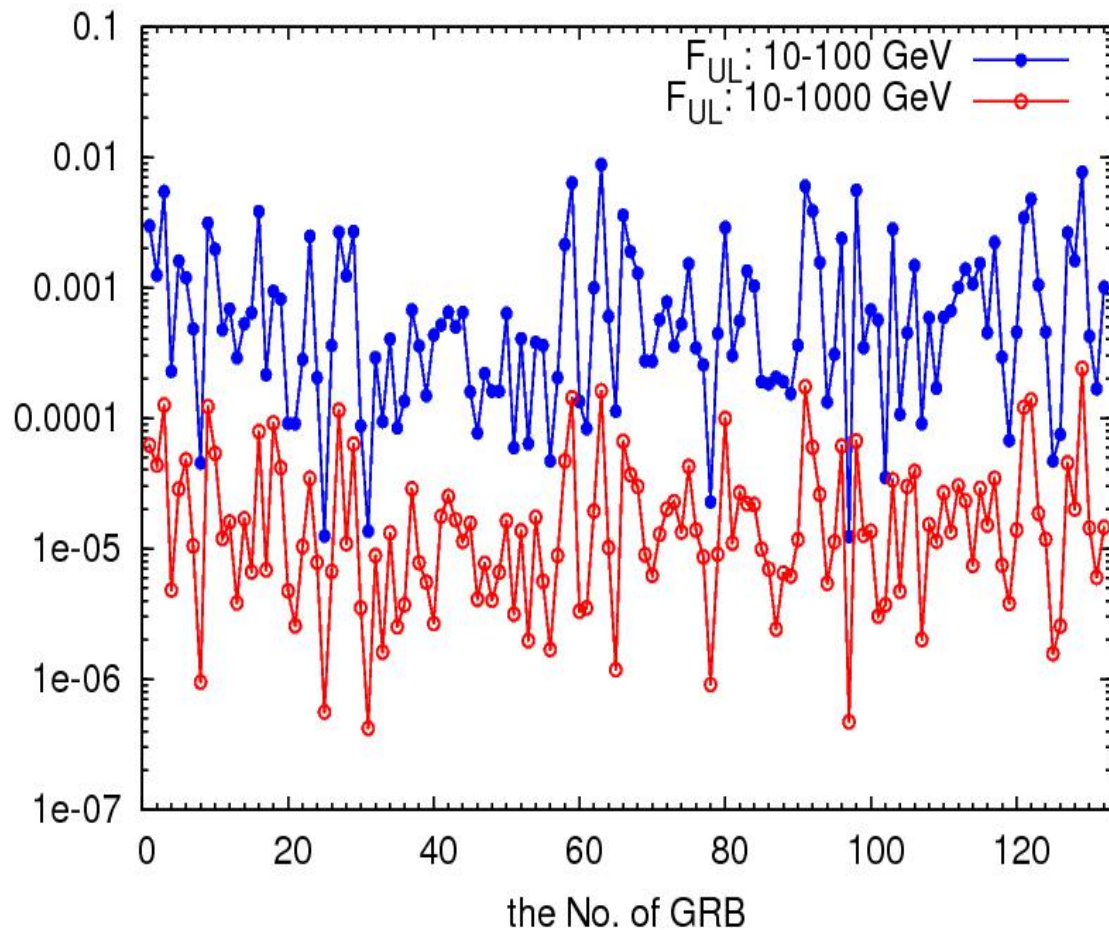
GRB (1)	Satellite (2)	$T_{90}$ (s) (3)	$\theta$ ( $^{\circ}$ ) (4)	keV fluence ( $10^{-7}$ erg.cm $^{-2}$ ) (keV range) (5)	$F_{UL1}$ (erg.cm $^{-2}$ ) (10-100GeV) (6)	$F_{UL2}$ (erg.cm $^{-2}$ ) (10-1000GeV) (7)
080328	Swift	90.6	37.2	94 (10-150)	2.97E-3; 3.30E-3; 4.30E-3	6.21E-5; 7.89E-4; 3.83E-3
080515	Swift	21	43.2	20 (10-150)	1.25E-3; 1.43E-3; 2.02E-3	4.38E-5; 5.06E-4; 2.18E-3
080613B	Swift	105	39.2	58 (10-150)	5.46E-3; 6.10E-3; 8.04E-3	1.26E-4; 1.62E-3; 7.78E-3
080714086	Fermi	5.4	24.3	6.8 (10-1000)	2.29E-4; 2.57E-4; 3.45E-4	4.80E-6; 5.02E-5; 2.22E-4
080726	AGILE	12	36.7	...	1.60E-3; 1.77E-3; 2.31E-3	2.87E-5; 3.63E-4; 1.76E-3
080727C	Swift	79.7	34.5	52 (10-150)	1.19E-3; 1.33E-3; 1.74E-3	4.79E-5; 5.82E-4; 2.78E-3
080730520	Fermi	17.4	31.2	48.7 (10-1000)	4.84E-4; 5.42E-4; 7.19E-4	1.05E-5; 1.21E-4; 5.59E-4
080802386	Fermi	0.6	23.8	3.98 (10-1000)	4.54E-5; 5.10E-5; 6.85E-5	9.54E-7; 9.82E-6; 4.34E-5
080822B	Swift	64	40.4	1.7 (10-150)	3.13E-3; 3.53E-3; 4.73E-3	1.23E-4; 1.56E-3; 7.32E-3
080830368	Fermi	40.9	35.9	70 (10-1000)	1.97E-3; 2.19E-3; 2.85E-3	5.37E-5; 6.70E-4; 3.24E-3
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

- $F_{UL}$ 与GRB持续时间 $T_{90}$ 、天顶角 $\theta$ 、红移 $z$ 和能量截断 $E_{cut}$ 有关



# 流强上限( $F_{UL}$ )结果—132个GRBs (红移未被观测到)

99% C. L. Fluence Upper Limits

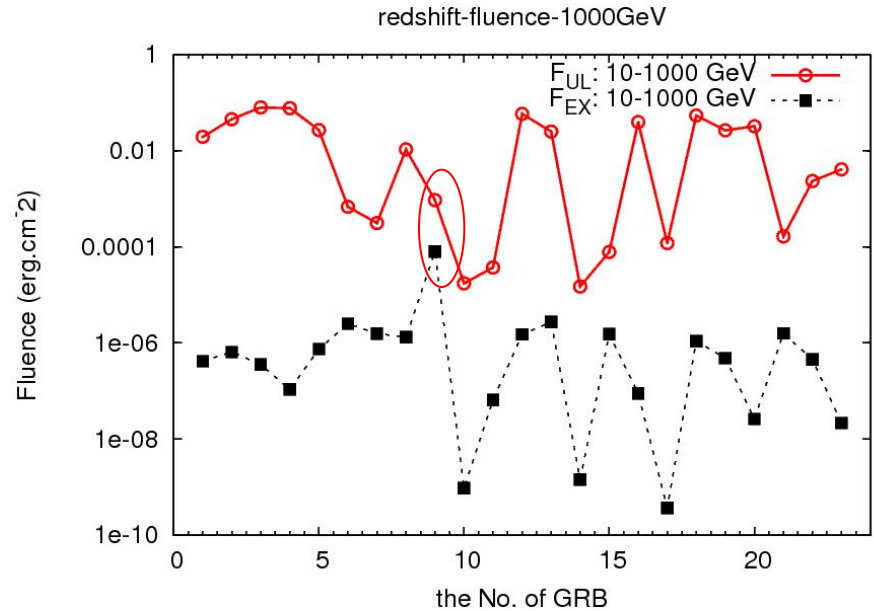
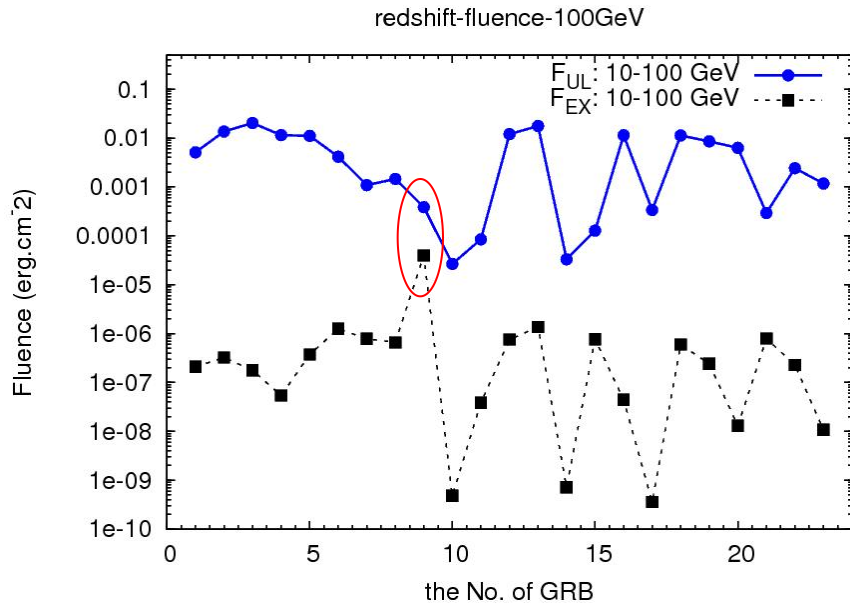


- 10-100GeV( $z=0$ ):  
 $10^{-3}$ — $10^{-5}$ erg.cm<sup>-2</sup>
- 10-1000GeV( $z=0$ ):  
 $10^{-4}$ — $10^{-7}$ erg.cm<sup>-2</sup>

# 流强上限( $F_{UL}$ )结果—已知红移的23个GRBs

No.	GRB (1)	Satellite (2)	$\alpha_{\text{sat}}$ (3)	$z_{\text{sat}}$ (4)	$T_{90}$ (s) (5)	$\theta$ ( $^{\circ}$ ) (6)	keV fluence ( $10^{-7}\text{erg.cm}^{-2}$ ) (keV range) (7)	$F_{\text{EX1}}$ ( $\text{erg.cm}^{-2}$ ) (10-100 GeV) (8)	$F_{\text{EX2}}$ ( $\text{erg.cm}^{-2}$ ) (10-1000GeV) (9)	$F_{\text{UL1}}$ ( $\text{erg.cm}^{-2}$ ) (10-100GeV) (10)	$F_{\text{UL2}}$ ( $\text{erg.cm}^{-2}$ ) (10-1000GeV) (11)
1	080207	Swift	CPL	2.09	340	27.7	61 (15-150)	2.10E-07	4.20E-07	5.10E-03	1.95E-02
2	080602	Swift	1.43	1.82	74	41.9	32 (15-150)	3.24E-07	6.48E-07	1.36E-02	4.54E-02
3	081028A	Swift	1.25	3.04	260	29.9	37 (15-150)	1.78E-07	3.56E-07	2.03E-02	8.00E-02
4	081128	Swift	CPL	<4	100	31.8	23 (15-150)	5.42E-08	1.08E-07	1.15E-02	7.71E-02
5	090407	Swift	1.73	1.45	310	45	11 (15-150)	3.73E-07	7.45E-07	1.11E-02	2.70E-02
6	090417B	Swift	1.85	0.35	260	37.2	23 (15-150)	1.25E-06	2.50E-06	4.14E-03	6.80E-04
7	090424	Swift	1.19	0.54	48	33.1	210 (15-150)	7.87E-07	1.57E-06	1.09E-03	3.13E-04
8	090529A	Swift	2	2.63	100	19.9	6.8 (15-150)	6.61E-07	1.32E-06	1.46E-03	1.07E-02
9	090902B	Fermi	1.94	1.82	19.3	23.3	4860 (8keV-30GeV)	3.98E-05	7.97E-05	3.87E-04	9.38E-04
10	100206A	Swift	0.63	0.41	0.12	26.8	1.4 (15-150)	4.75E-10	9.50E-10	2.66E-05	1.74E-05
11	100418A	Swift	2.16	0.62	7	18.7	3.4 (15-150)	3.85E-08	6.51E-08	8.49E-05	3.71E-05
12	100424A	Swift	1.83	2.47	104	33.4	15 (15-150)	7.54E-07	1.51E-06	1.20E-02	5.88E-02
13	100728A	Swift	1.18	1.57	198.5	44.9	380 (15-150)	1.37E-06	2.73E-06	1.76E-02	2.51E-02
14	101224A	Swift	CPL	0.72	0.2	22.6	0.58 (15-150)	7.22E-10	1.44E-09	3.31E-05	1.50E-05
15	110106B	Swift	1.76	0.62	24.8	25.1	20 (15-150)	7.63E-07	1.53E-06	1.28E-04	7.81E-05
16	110128A	Swift	1.31	2.34	30.7	43.2	7.2 (15-150)	4.45E-08	8.89E-08	1.14E-02	3.96E-02
17	111211A	AGILE	2.77	0.48	15	20.3	92 (20-1200)	3.61E-10	3.69E-10	3.38E-04	1.20E-04
18	120118B	Swift	2.08	2.94	23.2	42.7	18 (15-150)	5.97E-07	1.09E-06	1.13E-02	5.43E-02
19	120326A	Swift	CPL	1.8	69.6	41.0	26 (15-150)	2.42E-07	4.85E-07	8.58E-03	2.66E-02
20	120716A	IPN	CPL	2.49	230	35.7	147 (10-1000)	1.30E-08	2.61E-08	6.31E-03	3.23E-02
21	120722A	Swift	1.9	0.96	42.4	17.7	12 (15-150)	7.92E-07	1.58E-06	2.93E-04	1.65E-04
22	120907A	Swift	1.73	0.97	16.9	40.2	6.7 (15-150)	2.27E-07	4.54E-07	2.42E-03	2.35E-03
23	130131B	Swift	1.15	2.54	4.3	27.3	3.4 (15-150)	1.08E-08	2.15E-08	1.17E-03	4.11E-03

# 流强上限( $F_{UL}$ )结果—已知红移的23个GRBs



GRB090902B:

$$z = 1.82, E_{\max} = 33.4 \text{ GeV}$$

$$F_{EX1} = 3.98E-05, F_{UL1} = 3.87E-04$$

$$F_{EX2} = 7.95E-05, F_{UL2} = 9.38E-04$$

# 总结

---

1. 利用2007.11—2013.02期间、ARGO-YBJ中Shower模式的实验数据，与卫星GRB进行了伴随暴的符合寻找，所得显著性还不足以认定为GRB。

2. 对每一个GRB，设置了99%C.L.的流强上限：

$E_{\text{cut}}=100\text{GeV}$ :  $F_{\text{UL}}$  低达  $10^{-5}\text{erg.cm}^{-2}$ ;       $E_{\text{cut}}=1000\text{GeV}$ :  $F_{\text{UL}}$  低达  $10^{-7}\text{erg.cm}^{-2}$

3. 把观测到红移的GRB能谱延伸到ARGO-YBJ能区，发现其能流都不在ARGO的灵敏度内。

4. 期待灵敏度更高的LHAASO（建设中）在GRB（GeV-TeV）的探测中有新的突破！

谢谢！！

