

第三课题:宇宙线起源的唯象研究

围绕宇宙线的起源问题，负责研究LHAASO的宇宙线能谱和各向异性结果，以及来自扩展源和弥散伽马射线的观测结果，主要研究目标有：

(1) 发展相关的粒子加速理论，完善宇宙线的超新星遗迹起源学说。

(2) 分析脉冲星中高能粒子的加速和传播特征，确定其对宇宙线正负电子和膝区宇宙线的贡献。

(3) 发展Hillas宇宙线模型，确定该模型中各分量的起源天体。

(4) 研究加速和传播过程对宇宙线能谱的影响，分析膝区宇宙线的起源。

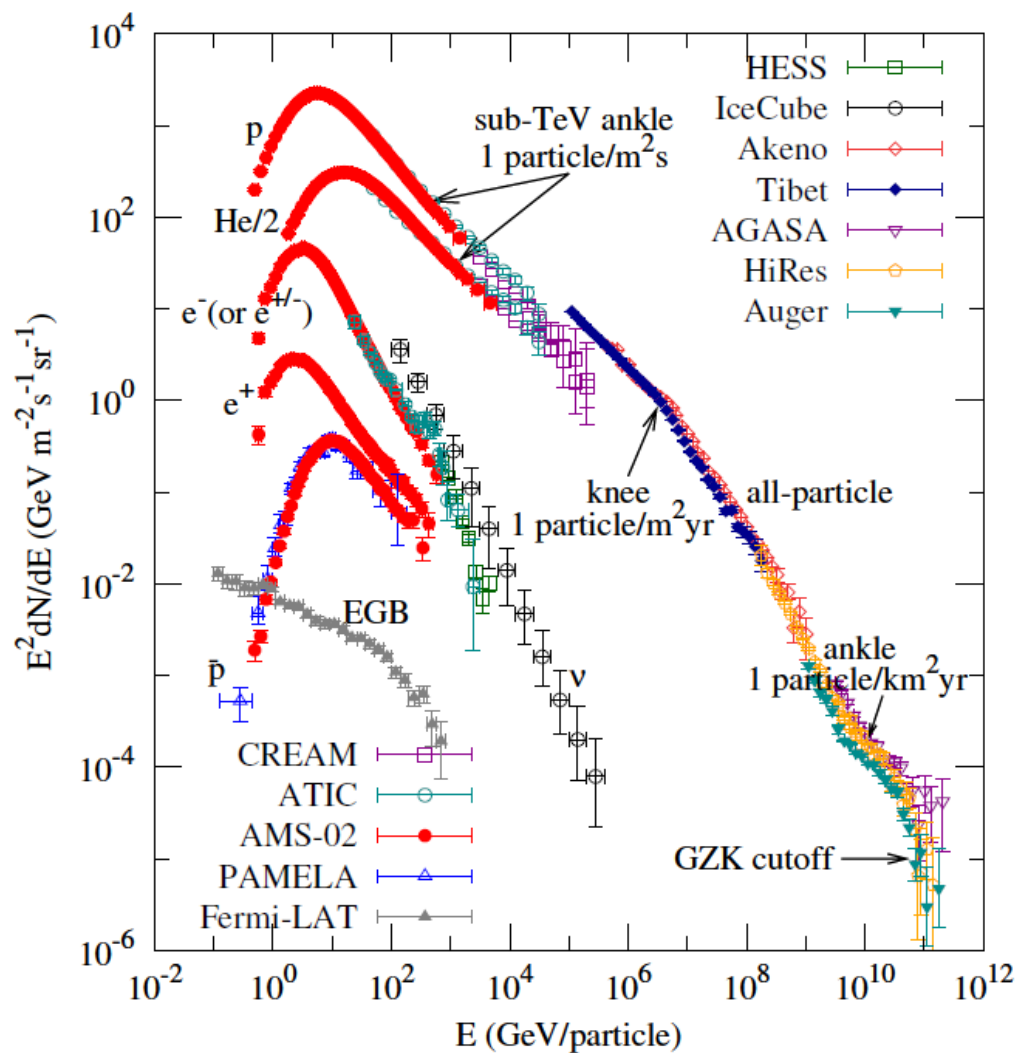
(5) 利用数值模拟的方法，分析宇宙线的传播特征。

(6) 研究极高能宇宙线的起源并分析星爆星系中宇宙线的特点。

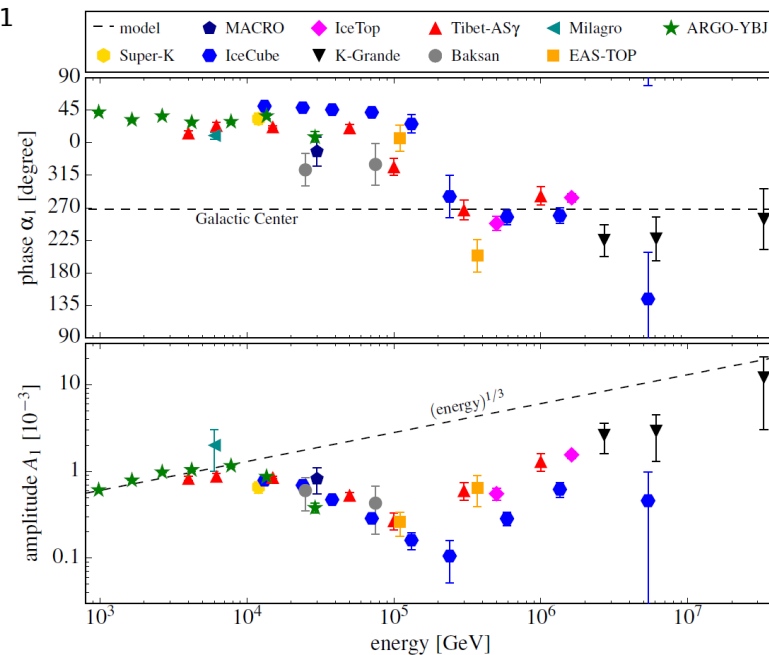
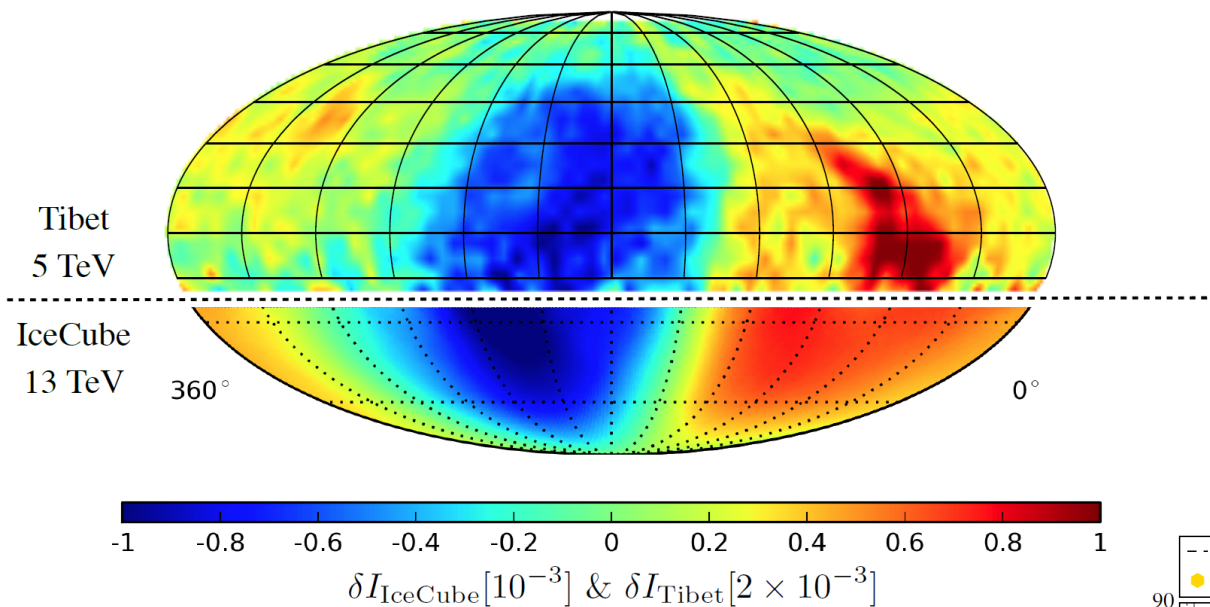
(7) 分析膝区以上宇宙线的起源，并用SKA观测测量散射宇宙线的湍流的特点

银河系宇宙线唯象研究的最新进展

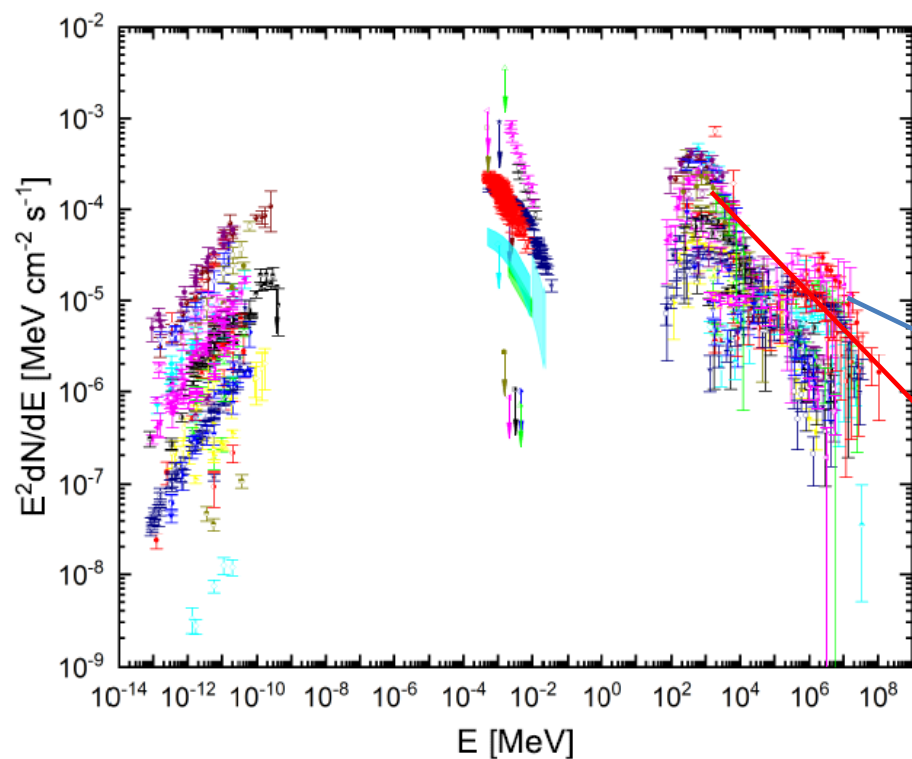
宇宙线能谱



宇宙线各向异性

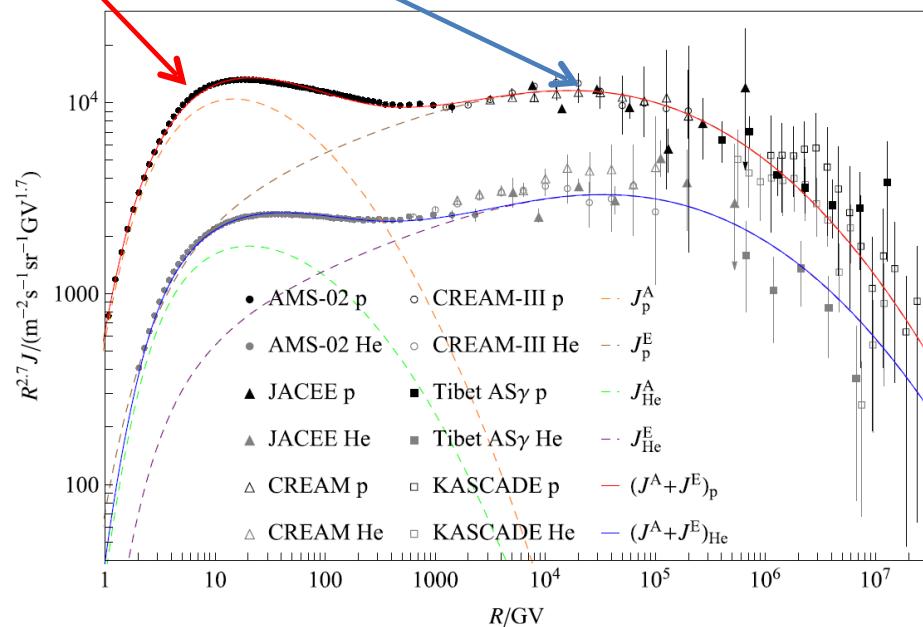


宇宙线和伽马射线源



34个超新星遗迹的能谱

宇宙线质子和氦核谱



实施方案

3个任务组：

- A 宇宙线能谱和各向异性研究由紫台刘四明，袁强和高能所胡红波负责；
- B 河外宇宙射线源的研究由南京大学王祥玉负责；
- C 宇宙线的多波段观测研究由国家天文台朱辉和田文武负责。

实施方案

A 宇宙线能谱和各向异性研究：

负责人：刘四明、袁强、胡红波

核心成员：刘伟、辛玉良、郭义庆、曾厚敦、张轶然（博士）、石召东（博士）、包逸炜（博士）、张潇

具体研究任务：

- A1: 发展Hillas模型，开展超新星遗迹的多波段研究。

A1a对于已经探测到的30多个伽玛射线超新星遗迹，结合射电和X射线观测，通过多波段辐射能谱拟合分析超新星遗迹中高能粒子分布函数演化的规律（刘四明、曾厚敦）

A1b利用一个TeV辐射由轻子过程主导的年轻超新星遗样本（总共约10个源），分析年轻遗迹中高能电子分布函数的演化规律（刘四明、张潇、曾厚敦）

A1c发展两分量的Hillas模型，将宇宙线总能谱和平均原子数谱与观测做比较（刘四明、张轶然）

- A2: 把宇宙线的能谱观测特征和各向异性观测相结合发展统一的宇宙线传播模型。

A2a结合空间直接探测实验和地面间接探测实验结果，构建统一的物理模型理解宇宙线能谱结构和各向异性特征（袁强、郭义庆、刘伟）

A2b考虑到有大尺度磁场时，宇宙线扩散系数表现出高度的各向异性，利用一个1维扩散模型分析宇宙线正负电子的能谱和各向异性特征（刘四明、石召东）

- A3: 分析超新星遗迹对宇宙线的贡献，完善银河系宇宙线的超新星遗迹起源学说。
- A4: 结合膝区宇宙线的测量，分析脉冲星风云对膝区和正负电子的贡献。

实施方案

B 河外宇宙线源的研究

负责人：王祥玉

核心成员：席绍强、薛瑞、黄稚秋、孙晓娜

具体研究任务：

- B1：利用高能中微子研究河外源对宇宙线源的贡献，包括分析跟河外源关联的高能中微子的产生过程、以及分析它们对于宇宙线的贡献。
- B2：利用河外天体的伽玛射线辐射研究河外源对宇宙线的贡献，包括分析河外源的高能伽玛数据，分析高能伽玛辐射的起源机制以及对宇宙线的贡献。
- 献。

实施方案

C 宇宙线的多波段观测研究

负责人：朱辉、田文武

核心成员：张海燕、崔晓红、周新霖、吴丹、苏洪全、杨媛媛、张孟飞、单素素、雷贤欢、张少博

具体研究任务：

- C1：利用非线性激波加速理论构建超新星遗迹同步辐射的射电能谱，使用多波段射电观测检验伽马射线观测给出的结果。
- C2：寻找与超新星遗迹成协的中性氢气体云（FAST），尝试利用HI的塞曼分裂测量超新星遗迹激波处的磁场强度，检验磁场放大理论。
- C3a：宇宙线与星际介质相互作用。
- C3b：宇宙线的扩散系数与介质湍动的关系。
- C4：搜寻已知和LHAASO新发现伽马射线源在射电波段的对应体。
- C5：利用SKA和LHAASO在宇宙线 10^{16} eV - 10^{18} eV能段的重叠，相互检验结果的准确性。。

实施方案

具体研究任务的完成时间

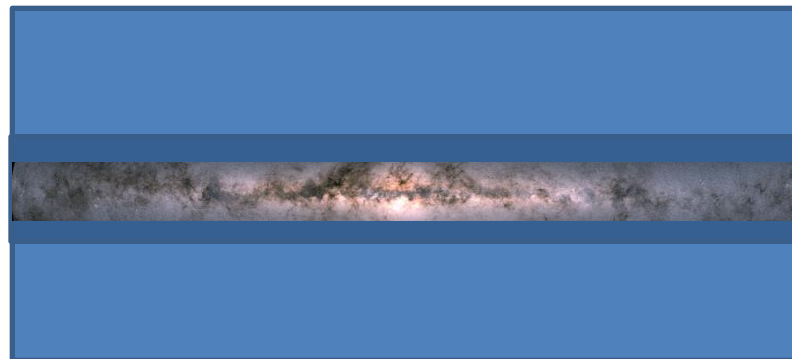
年\月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2018											A1a	
2019	A1b			A1c		A2a				A2b		C1
2020				A2c, A2d						A3a		C2
2021				A3b		B1	A4a					A4b
2022				A4c			C3a					C3b
2023				B2,A2e,C4, C5								

A2a：结合空间直接探测实验和地面间接探测实验结果，构建统一的物理模型理解宇宙线能谱结构和各向异性特征（袁强、郭义庆、刘伟）



传统图像

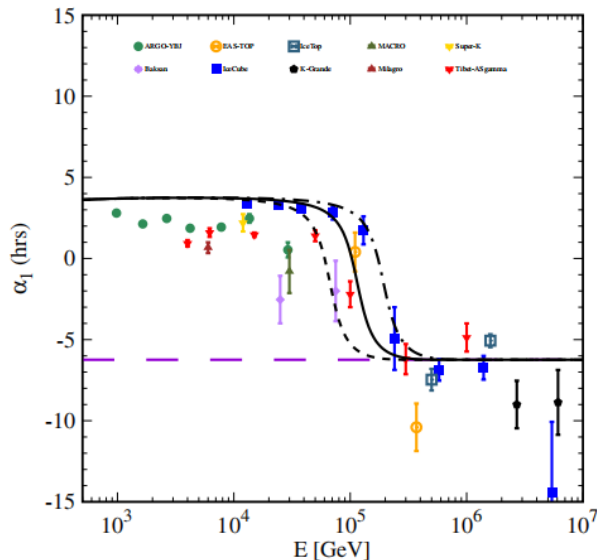
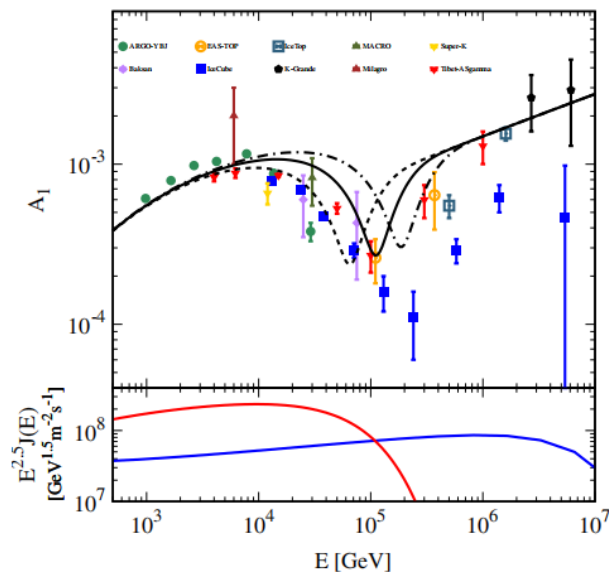
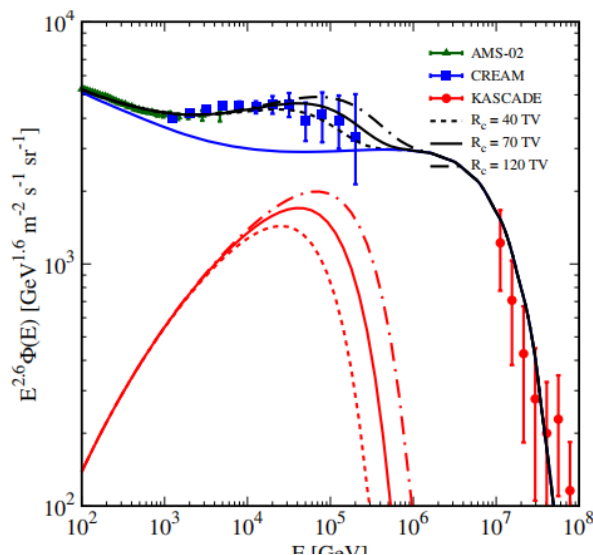
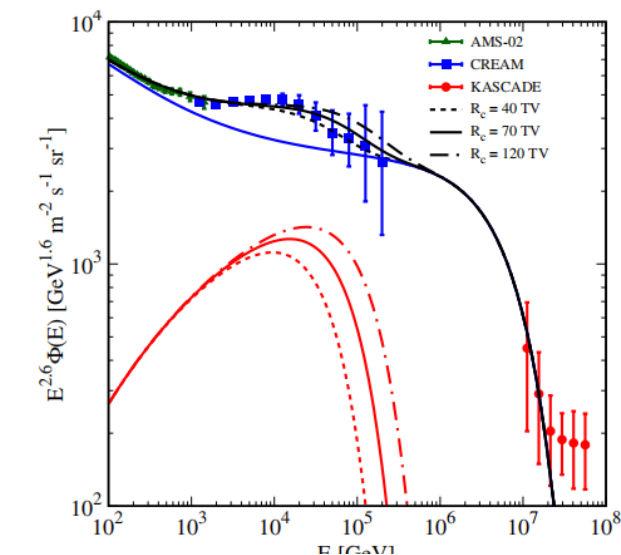
- 连续分布的宇宙线源
- 均匀、各向同性扩散
- 可以大致解释宇宙线能谱、次级粒子谱、弥散伽马射线等数据



新图像

- 连续分布的宇宙线源 + 个别邻近分立源
- 空间依赖扩散、各向异性扩散
- 宇宙线和伽马射线的精确测量结果、各向异性观测等

宇宙线各向异性：新图像



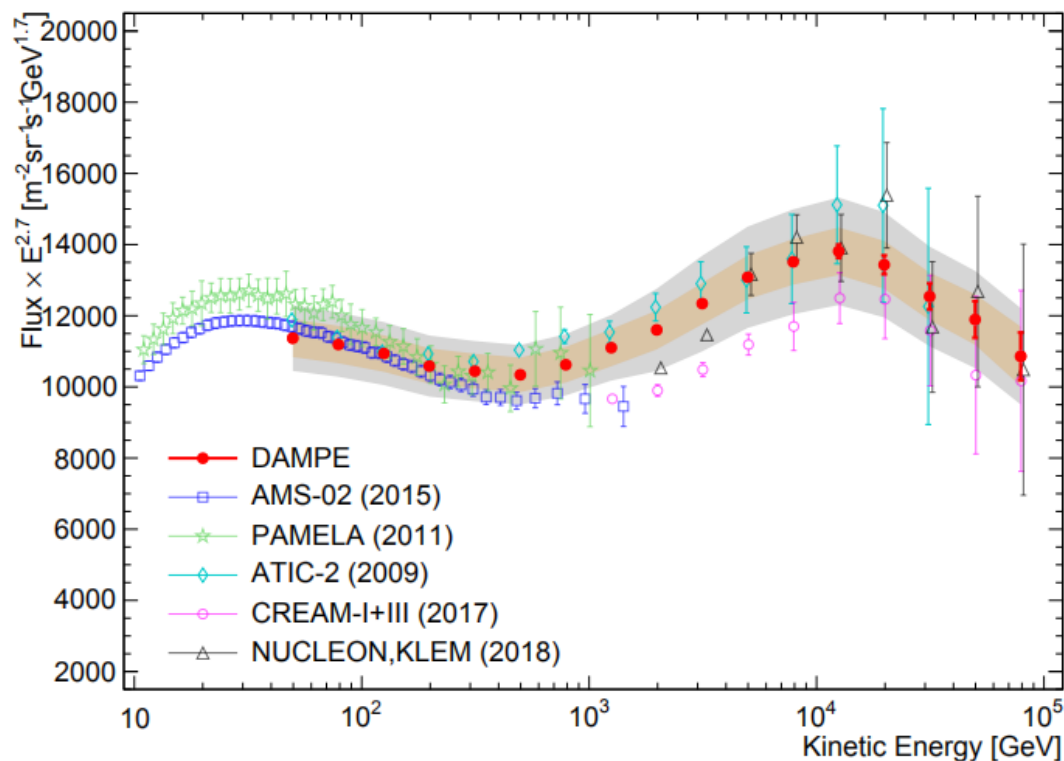
➤ 连续分布的宇宙线源贡献能谱低能-高能的主要部分，并且主导100 TeV以上的各向异性（其幅度由空间依赖传播过程压低）

➤ 邻近源（位置恰好和Geminga接近）贡献能谱细致结构以及低能各向异性

➤ Geminga脉冲星同时贡献正电子超

宇宙线各向异性：新图像

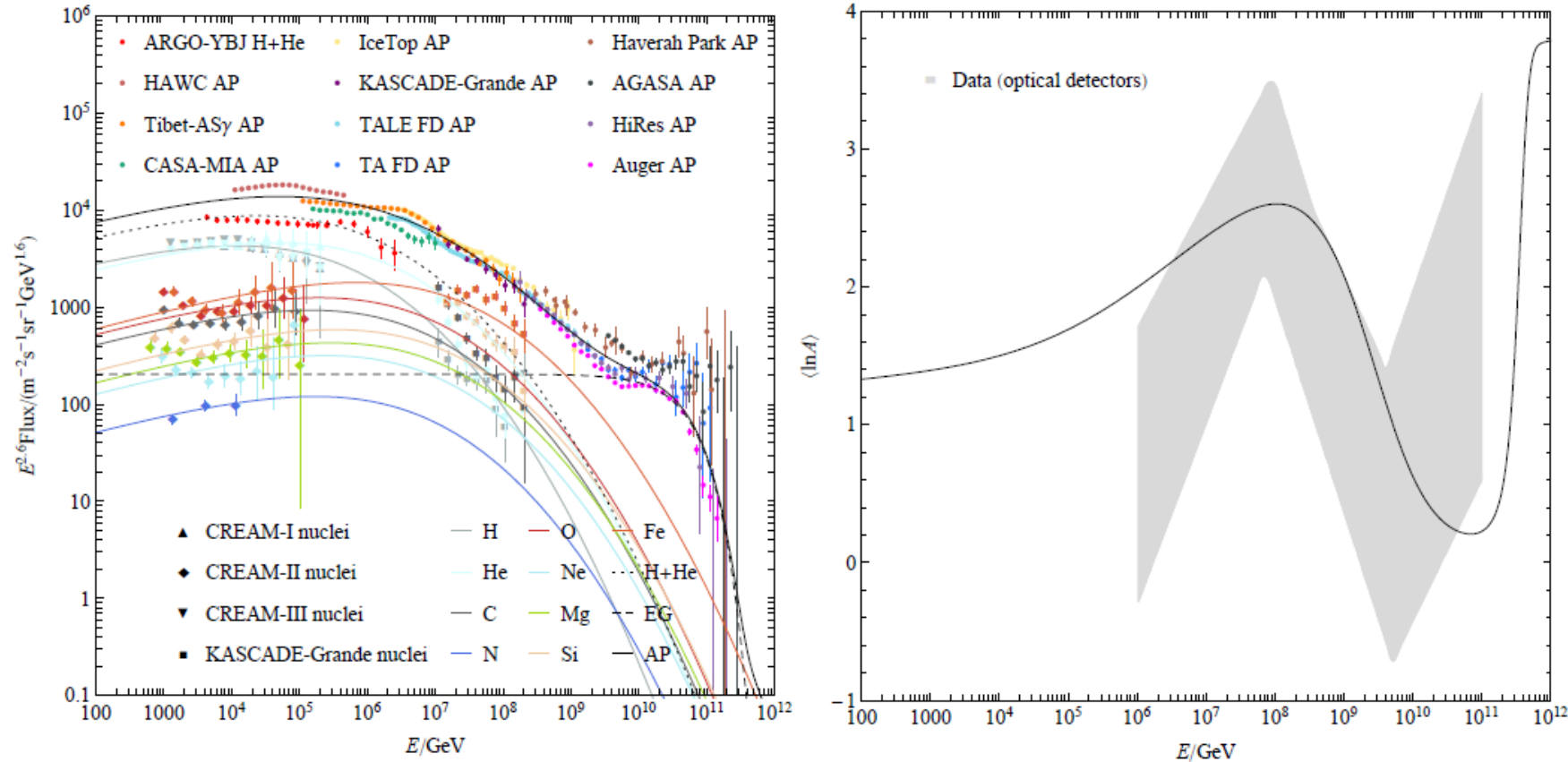
DAMPE的质子谱



A1c: 发展两分量的Hillas模型，将宇宙线总能谱和平均原子数谱与观测做比较（刘四明、张轶然）

宇宙线的超新星遗迹起源*

张轶然^{1,2†} 刘四明^{1,2‡}



脉冲星风云加速PeV原子核的证据?

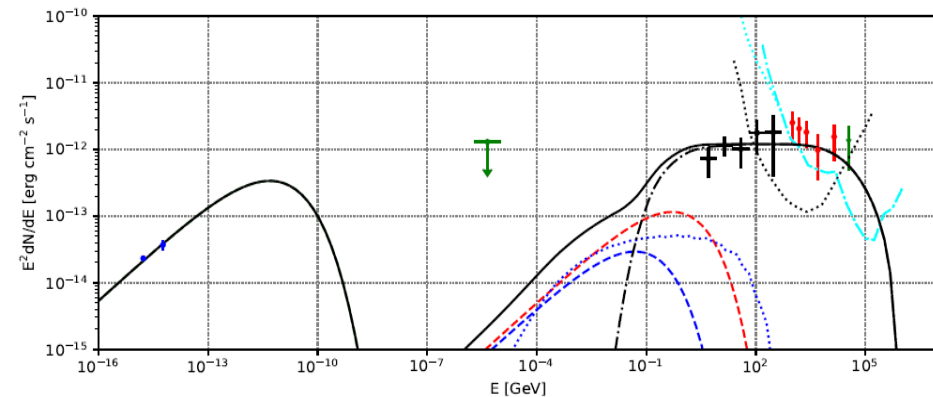
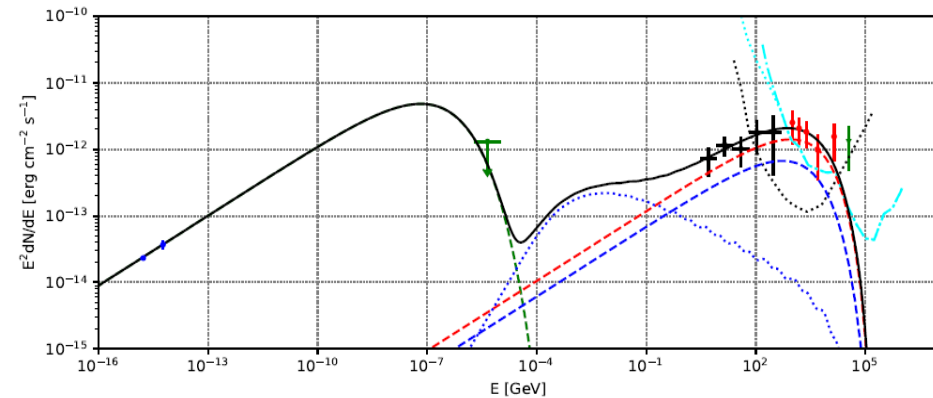
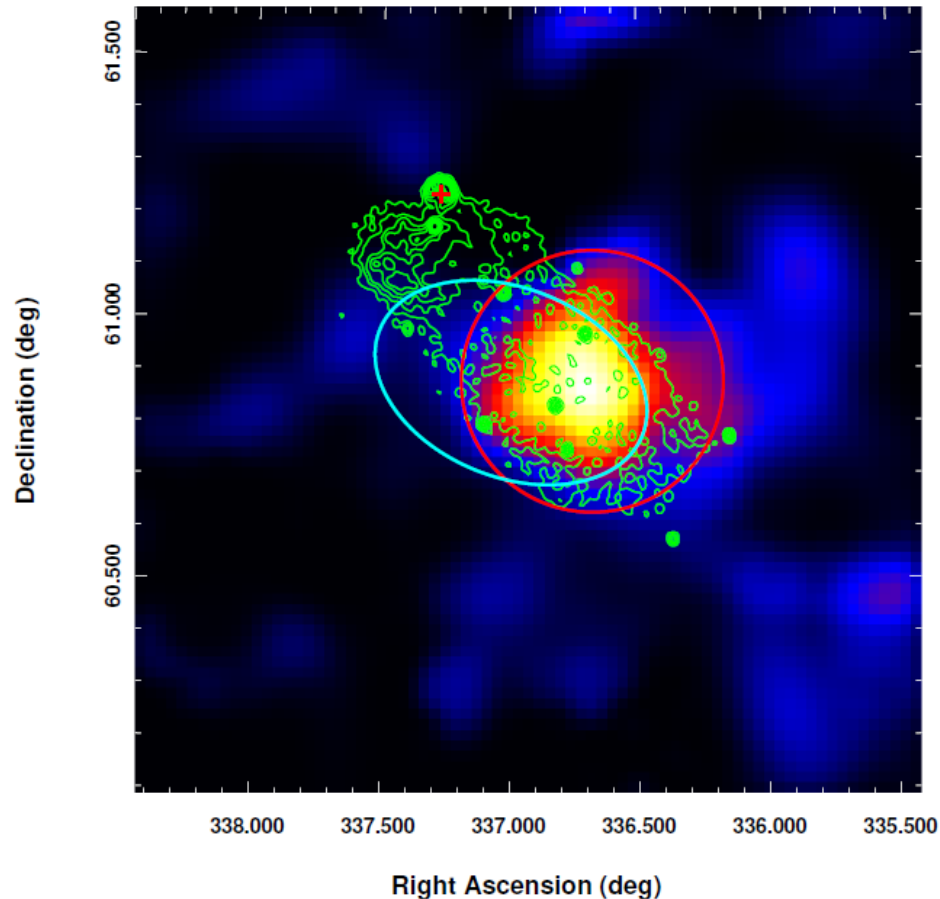
2  2019arXiv190704972X

2019/07



VER J2227+608: A Hadronic PeVatron Pulsar Wind Nebula?

Xin, Yuliang; Zeng, Houdun; Liu, Siming and 2 more



脉冲星风云中粒子的输运

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 877:54 (5pp), 2019 May 20

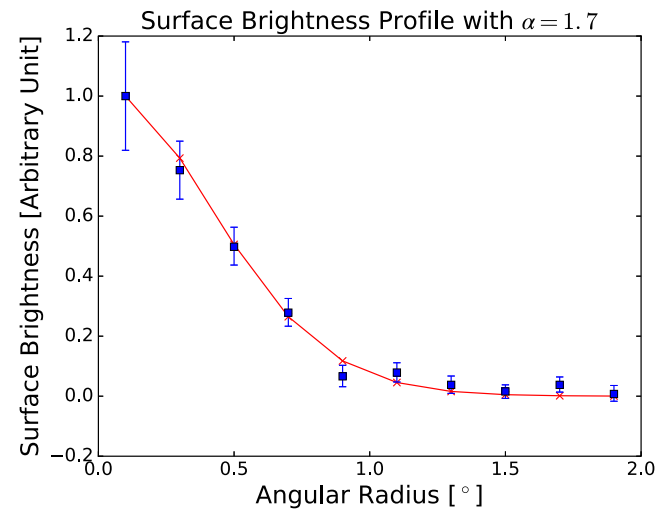
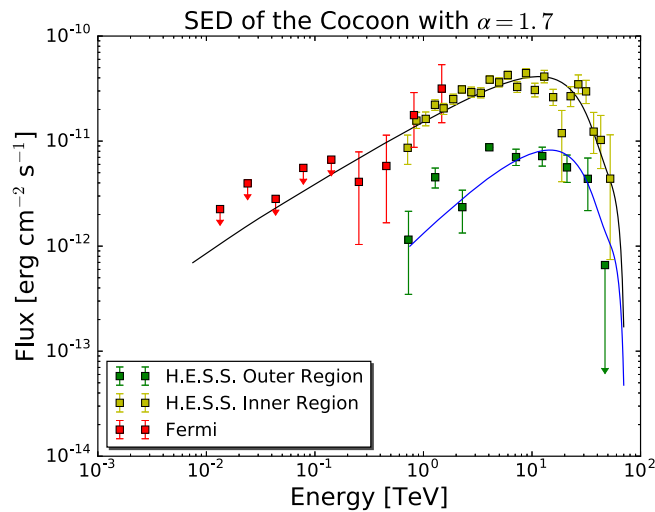
© 2019. The American Astronomical Society. All rights reserved.

<https://doi.org/10.3847/1538-4357/ab1908>



On the Gamma-Ray Nebula of Vela Pulsar. I. Very Slow Diffusion of Energetic Electrons within the TeV Nebula

Yiwei Bao¹ , Siming Liu^{2,3} , and Yang Chen^{1,4}



A2b: 考虑到有大尺度磁场时，宇宙线扩散系数表现出高度的各向异性，利用一个1维扩散模型分析宇宙线正负电子的能谱和各向异性特征（刘四明、石召东）

Monthly Notices

of the

ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY



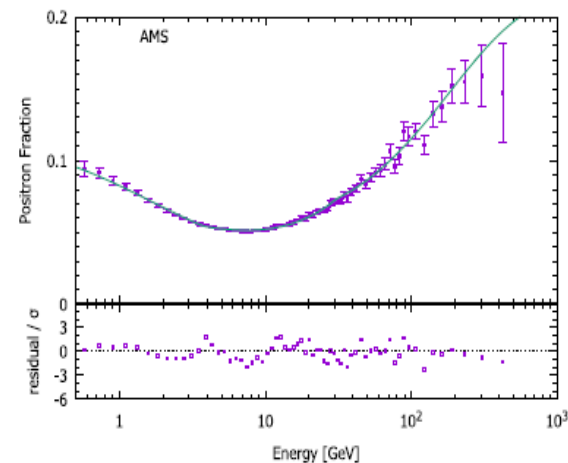
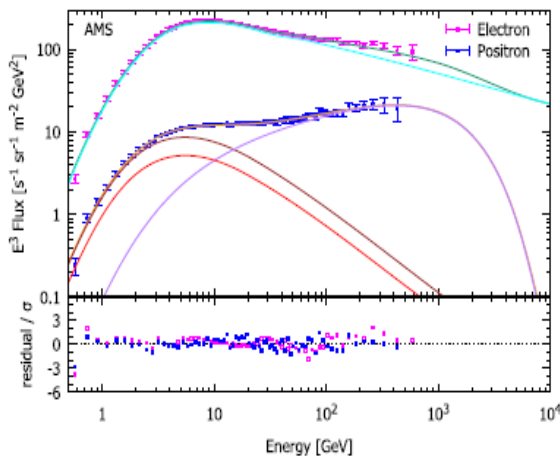
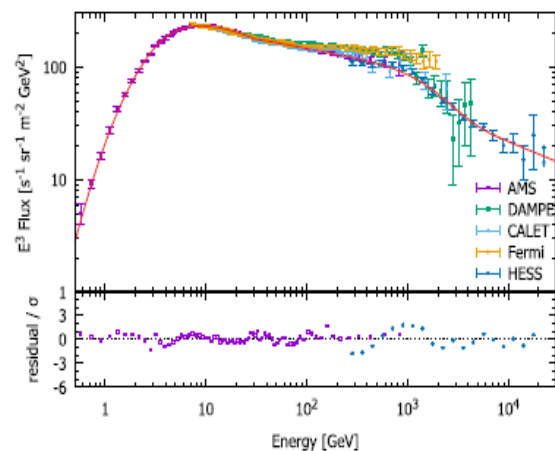
MNRAS **485**, 3869–3875 (2019)

Advance Access publication 2019 March 11

doi:10.1093/mnras/stz684

Origin of cosmic ray electrons and positrons

Zhao-Dong Shi^{1,2}★ and Siming Liu^{1,2}★

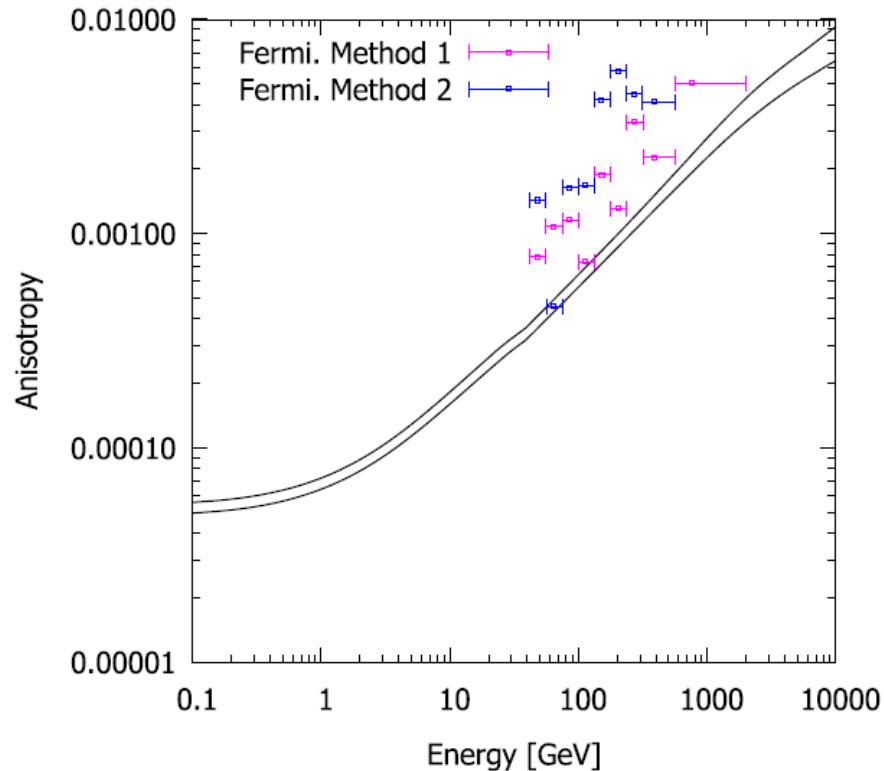
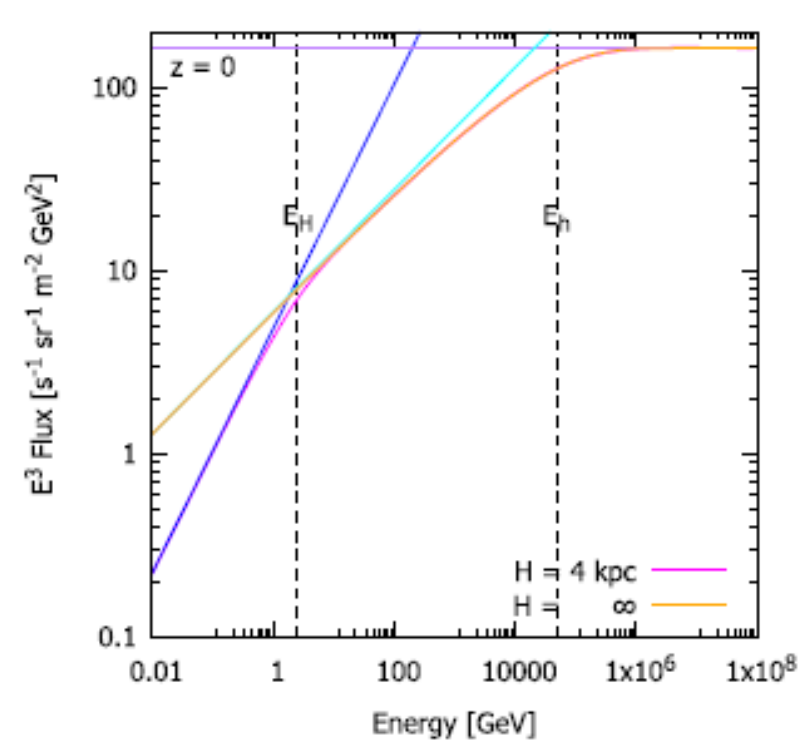


A2b: 考虑到有大尺度磁场时，宇宙线扩散系数表现出高度的各向异性，利用一个1维扩散模型分析宇宙线正负电子的能谱和各向异性特征（刘四明、石召东）

Model	$C_{e^-}^{\text{a}}$	$\gamma_{e^-}^1$	$E_{\text{br}1}$	$\gamma_{e^-}^2$	$E_{\text{br}2}$	$\gamma_{e^-}^3$	$C_{e^+}^{\text{a}}$	γ_{e^+}	C_s^{a}	γ_s	E_{cut}					ϕ^f
M	1.06×10^3	3.35	4.96	3.64	32.4	3.37	163	4.05	3.14	2.62	1.10×10^3					1.14

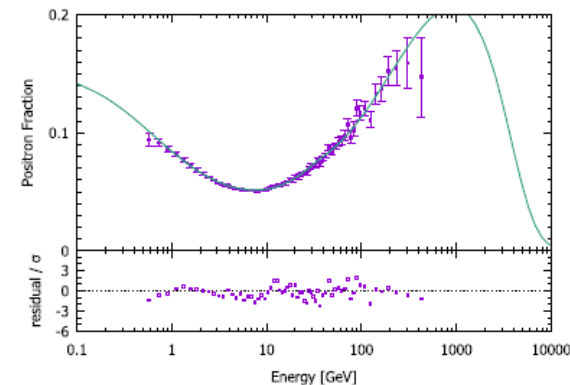
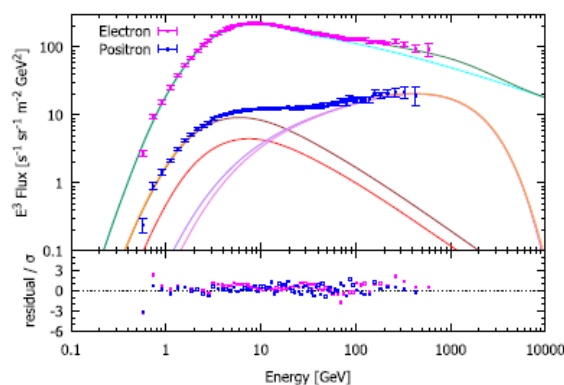
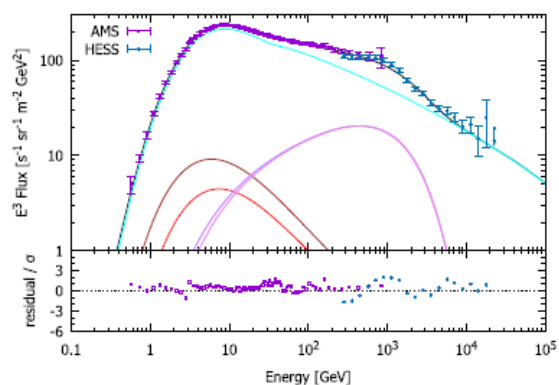
Model	$C_{e^-}^{\text{inj b}}$	$\gamma_{e^-}^{1,\text{inj}}$			$E_{\text{br}}^{\text{inj}}$	$\gamma_{e^-}^{2,\text{inj}}$	$C_{e^+}^{\text{inj b}}$	$\gamma_{e^+}^{\text{inj}}$	$C_s^{\text{inj b}}$	γ_s^{inj}	$E_{\text{cut}}^{\text{inj}}$	D_0^c	b_0^d	h^e	H^e	ϕ^f
P1	6.04×10^{41}	3.05			41.4	2.63	1.03×10^{41}	3.72	1.15×10^{39}	2.08	2.80×10^3	153	8.67	0.242	3.25	1.28

Model	$C_{e^-}^{\text{inj b}}$	$\gamma_{e^-}^{1,\text{inj}}$			$E_{\text{br}}^{\text{inj}}$	$\gamma_{e^-}^{2,\text{inj}}$	$C_{e^+}^{\text{inj b}}$	$\gamma_{e^+}^{\text{inj}}$	$C_s^{\text{inj b}}$	γ_s^{inj}	$E_{\text{cut}}^{\text{inj}}$	D_0^c	b_0^d	h^e	H^e	$\phi_{e^-}^f$	$\phi_{e^+}^f$
P2	7.25×10^{41}	3.08			39.3	2.66	3.61×10^{40}	3.22	3.54×10^{38}	1.84	1.68×10^3	166	7.04	0.205	3.60	1.30	1.02



A2b: 考虑到有大尺度磁场时，宇宙线扩散系数表现出高度的各向异性，利用一个1维扩散模型分析宇宙线正负电子的能谱和各向异性特征（刘四明、石召东）

Model	$C_{e^-}^a$	$\gamma_{e^-}^1$	E_{br1}	$\gamma_{e^-}^2$	E_{br2}	$\gamma_{e^-}^3$	$C_{e^+}^a$	γ_{e^+}	C_s^a	γ_s	E_{cut}						ϕ^f
M	1.06×10^3	3.35	4.96	3.64	32.4	3.37	163	4.05	3.14	2.62	1.10×10^3						1.14
Model	$C_{e^-}^{inj,b}$	$\gamma_{e^-}^{1,inj}$			E_{br}^{inj}	$\gamma_{e^-}^{2,inj}$	$C_{e^+}^{inj,b}$	$\gamma_{e^+}^{inj}$	$C_s^{inj,b}$	γ_s^{inj}	E_{cut}^{inj}	D_0^c	b_0^d	h^e	H^e	ϕ^f	
P1	6.04×10^{41}	3.05			41.4	2.63	1.03×10^{41}	3.72	1.15×10^{39}	2.08	2.80×10^3	153	8.67	0.242	3.25	1.28	
Model	$C_{e^-}^{inj,b}$	$\gamma_{e^-}^{1,inj}$			E_{br}^{inj}	$\gamma_{e^-}^{2,inj}$	$C_{e^+}^{inj,b}$	$\gamma_{e^+}^{inj}$	$C_s^{inj,b}$	γ_s^{inj}	E_{cut}^{inj}	D_0^c	b_0^d	h^e	H^e	$\phi_{e^-}^f$	$\phi_{e^+}^f$
P2	7.25×10^{41}	3.08			39.3	2.66	3.61×10^{40}	3.22	3.54×10^{38}	1.84	1.68×10^3	166	7.04	0.205	3.60	1.30	1.02



A1a: 对于已经探测到的30多个伽玛射线超新星遗迹，结合射电和X射线观测，通过多波段辐射能谱拟合分析超新星遗迹中高能粒子分布函数演化的规律（刘四明、曾厚敦）

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 874:50 (12pp), 2019 March 20
© 2019. The American Astronomical Society. All rights reserved.

<https://doi.org/10.3847/1538-4357/aaf392>



Evolution of High-energy Particle Distribution in Supernova Remnants

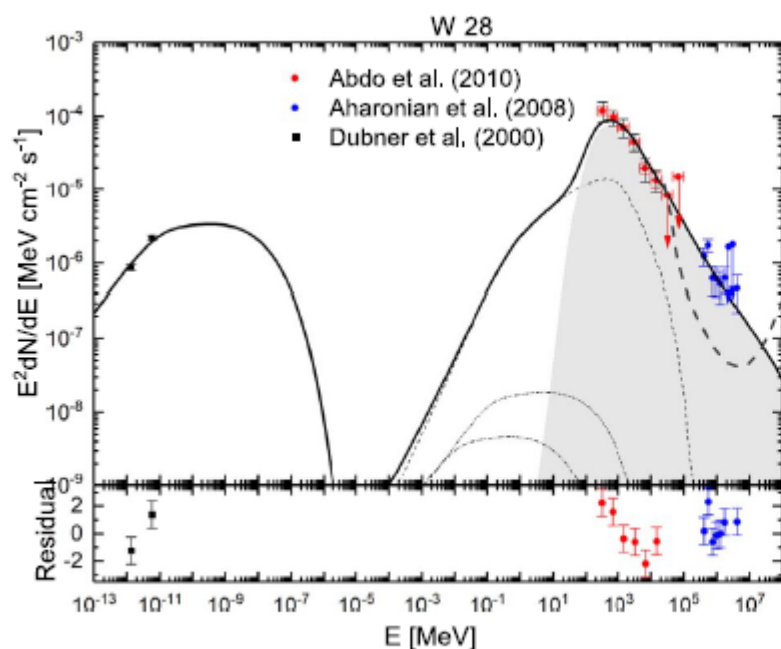
Houdun Zeng , Yuliang Xin, and Siming Liu

Key Laboratory of Dark Matter and Space Astronomy Purple Mountain Observatory, Chinese Academy of Sciences Nanjing 210034, People's Republic of China
zhd@pmo.ac.cn, liusm@pmo.ac.cn

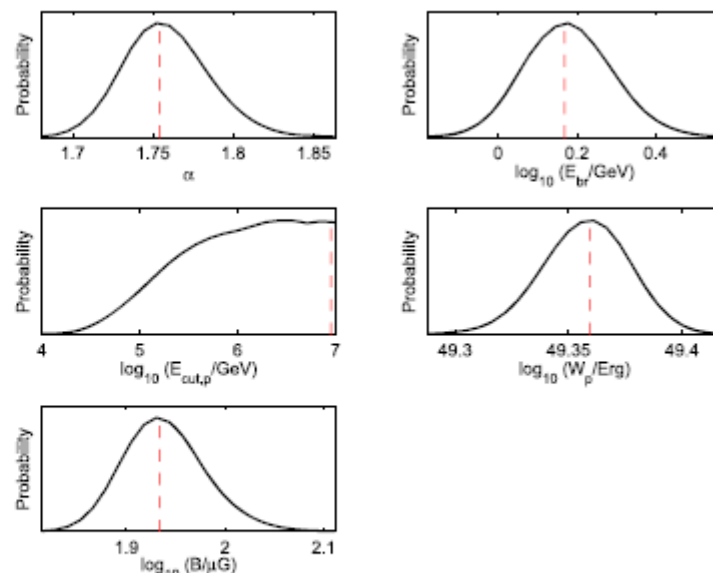
Table 1
The Sample of SNRs and Related Physical Information

SNR Name	Other Name	Radius (pc)	Distance (Kpc)	Age (kyr)	Density (cm ⁻³)	Shock Speed (km s ⁻¹)	Radio	X-Ray	GeV	TeV	References for Related Physical Information
G006.4-00.1	W28	~13	~2.0	40(33-150)	~100	60-80	✓		✓	✓	1-4
G008.7-00.1	W30	~26	~4.0	25(15-28)	~100	530-750	✓		✓		5, 6
G031.9+00.0	3C 391	~7	~7.2	~4	~300	620-730	✓		✓		7-10
G033.6+00.1	Kes 79	~9.6	~7.0	~4.4-6.7	~3(1-5)	400 ± 5	✓		✓		11-13
G034.7-00.4	W44	~12.5	~3.0	~20	~200	100-150	✓		✓		14-16
G043.3-00.2	W49B	~5	~10	~5.7(5-6)	~700	~400	✓		✓	✓	17, 18
G049.2-00.7	W51C	~18	~4.3	~30	~10	~100	✓	T	✓	✓	19-22
G073.9+00.9		~16/5.2	~4.0/1.3	~11-12	~10	~200-300	✓	T	✓		23, 24
G074.0-08.5	Cygnus loop	~16	~0.54	~14	~5.0	240-330	✓		✓		25-28
G078.2+02.1	γ Cygni	~17	~2.0	~8.25(6.8-10)	~2.5(0.1-20)	700-1100	✓	T	✓	✓	29, 30
G089.0+04.7	HB21	~26	~1.7	~40(36 or 45)	~15	~125	✓	T	✓		31-35
G109.1-1.00	CTB109	~16	~3.1	~9.0(9.0-9.2)	~1.1	~230 ± 5	✓	T	✓		36, 37
G120.1+01.4	Tycho	~3.3	~3.0	~0.44	~10/0.3	4600-4800	✓	✓	✓	✓	38, 39
G132.7+01.3	HB3	~26.4	~2.2	~30.0	~2.0	303-377	✓		✓		40-42
G150.3+04.5		~9.4	~0.40	~1.5(0.5-5)	~1.0	<2500	✓	T	✓		43
G160.9+02.6	HB9	~15	~0.8	5.3(4-7)	~0.1	~740	✓	T	✓		44, 45
G166.0+04.3		~26	~4.5	24.0	~0.01	~680	✓		✓		46, 47
G180.0-01.7	S147	~38	~1.3	30(20-100)	~250(100-500)	~500	✓		✓		48, 49
G189.1+03.0	IC 443	~11	~1.5	~30	~140	60-100	✓		✓	✓	50-52
G205.5+05.0	Monoceros	~63.36	~1.98	~30	~3.6	~50	✓		✓		53-55
G260.4-03.4	Puppis A	~15	~2.2	4.45(3.75-5.20)	~4.0	700-2500	✓		✓	T	56-59
G266.2-01.2	RX J0852-4622	~13	~0.75	2.7(1.7-4.3)	~3.8	~3000	✓		✓	✓	60, 61
G296.5+10.0		~26	~2.1	~10.0	~13.0	<1000	✓		✓		62, 63
G304.6+00.1	Kes 17	~10	~10	4.2(2-5.2)	~10	150-200	✓	T	✓		64, 65
G315.4-02.3	RCW 86	~15	~2.5	~1.8	~0.1-2.0	700-2000	✓	✓	✓	✓	66-68
G326.3-01.8	MSH 15-56	~22.2	~4.1	~10.0(10-16.5)	~0.1/1.0	500-860	✓		✓		67, 69, 70
G327.6+14.6	SN 1006	~9.0	~2.2	~1.0	~0.085	3200-5800	✓	✓	✓	✓	71, 72
G332.4-00.4	RCW 103	~5	~3.3	~2.0	~10	~1100	✓		✓		73-75
G337.0-00.1	CTB 33	~2.55	~11.0	~5.0	~60	<200	✓		✓		76-78
G347.3-00.5	RX J1713.7-3946	~10	~1.0	~1.6	~0.01	~5000	✓	✓	✓	✓	78-81
G348.5+00.1	CTB 37A	~10	~7.9	~30	~100	75-100	✓	T	✓	✓	82-86
G348.7+00.3	CTB 37B	~20	~13.2	~5	~10/0.5	~800	✓	T	✓	✓	85-88
G349.7+00.2		~3.3	~11.5	~2.8	~35.0	700-900	✓	T	✓	✓	89-92
G353.6-00.7	Hess J1731-347	~14.0	~3.2	~2-6	~0.01	~2100	✓	✓	✓	✓	93, 94
G359.1-00.5	Hess J1745-303	~16.0	~4.6	~70	~100	~300	✓	T	✓	✓	95-98

A1a: 对于已经探测到的30多个伽玛射线超新星遗迹，结合射电和X射线观测，通过多波段辐射能谱拟合分析超新星遗迹中高能粒子分布函数演化的规律（刘四明、曾厚敦）



W28 (a)



W28 (b)

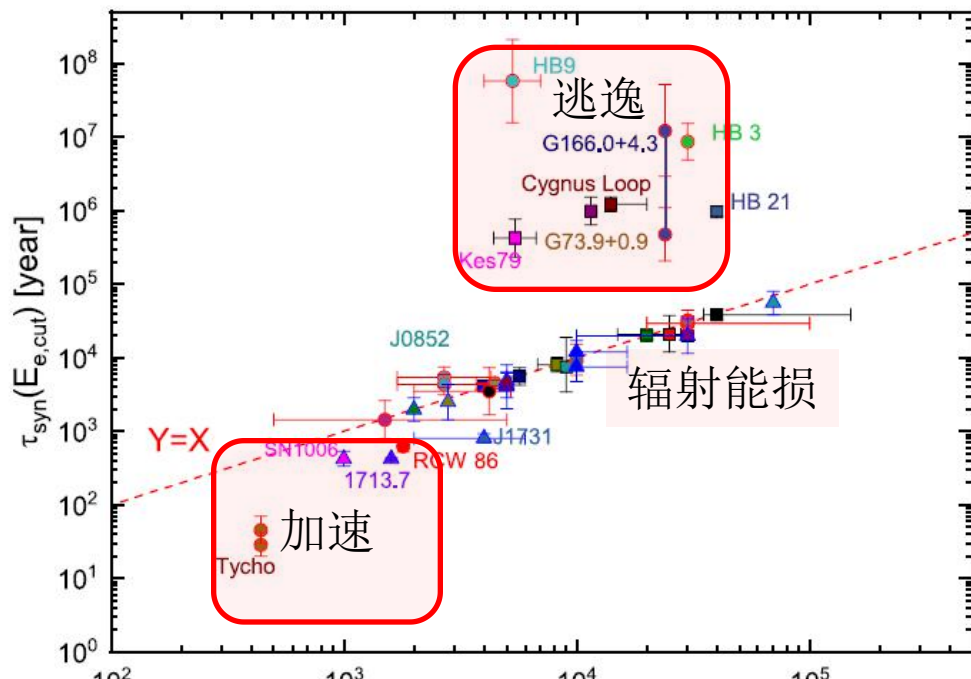
A1a: 对于已经探测到的30多个伽玛射线超新星遗迹，结合射电和X射线观测，通过多波段辐射能谱拟合分析超新星遗迹中高能粒子分布函数演化的规律（刘四明、曾厚敦）

Table 2
Spectral Fitting Parameters

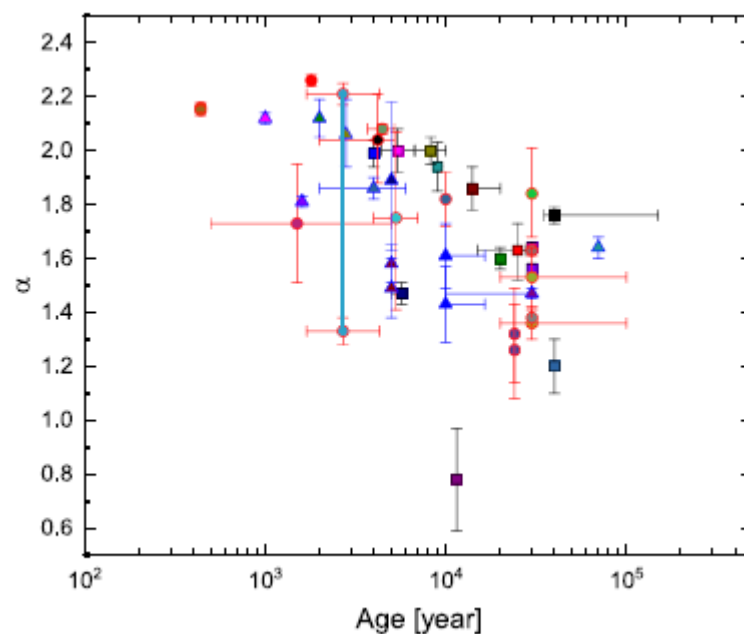
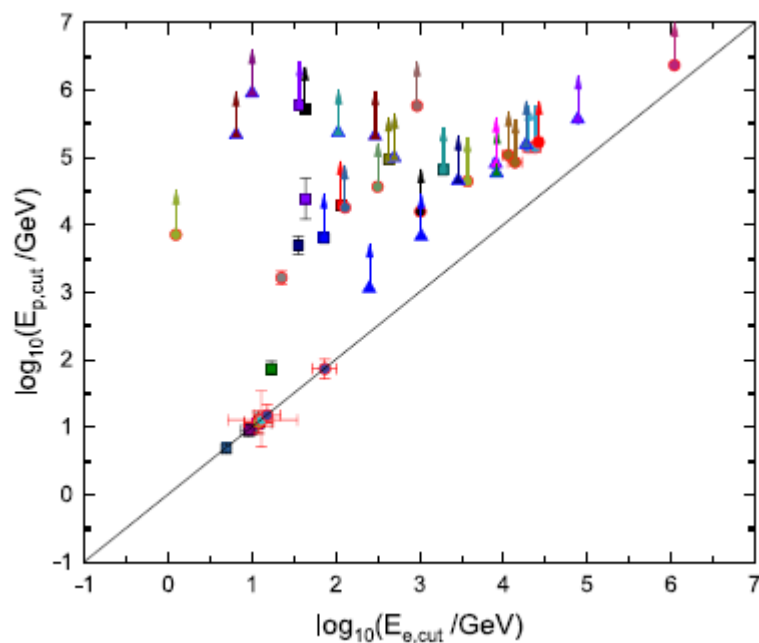
Source Name	α	$\log_{10} \frac{E_{90}}{\text{GeV}}$	$\log_{10} \frac{E_{0,\text{cut}}}{\text{GeV}}$	$\log_{10} \frac{E_{p,\text{cut}}}{\text{GeV}}$	$\log_{10} \frac{B}{\mu\text{G}}$	$\log_{10} \frac{W_p}{\text{erg}}$	$\frac{W_B}{W_p}$	$\frac{n}{\text{cm}^{-3}}$	$\frac{\chi^2}{\text{NDF}}$
W28	$1.76^{+0.03}_{-0.03}$	$0.18^{+0.11}_{-0.11}$	1.63	>5.72	$1.94^{+0.04}_{-0.04}$	$49.36^{+0.02}_{-0.02}$	3000	100	$\frac{24.3}{10} = 2.43$
W30	$1.63^{+0.10}_{-0.11}$	$0.24^{+0.13}_{-0.13}$	2.06	>4.29	$1.86^{+0.12}_{-0.12}$	$49.69^{+0.07}_{-0.07}$	736	100	$\frac{6.9}{7} = 0.86$
3C391	$1.99^{+0.05}_{-0.05}$	$1.15^{+0.14}_{-0.14}$	1.86	>3.81	$2.31^{+0.04}_{-0.04}$	$49.03^{+0.03}_{-0.03}$	619	300	$\frac{37.1}{19} = 1.95$
Kes79 ^a	$2.00^{+0.08}_{-0.08}$	NA	$E_{p,\text{cut}}$	$1.07^{+0.16}_{-0.16}$	$1.70^{+0.05}_{-0.05}$	$49.47^{+0.04}_{-0.04}$	21.3	100.0	$\frac{64.2}{24} = 2.68$
W44	$1.60^{+0.04}_{-0.04}$	$0.73^{+0.09}_{-0.09}$	1.23	$1.87^{+0.11}_{-0.11}$	$2.28^{+0.03}_{-0.03}$	$49.43^{+0.01}_{-0.01}$	1480	200	$\frac{44.4}{48} = 0.93$
W49B	$1.47^{+0.04}_{-0.04}$	$-0.21^{+0.23}_{-0.23}$	1.55	$3.70^{+0.13}_{-0.13}$	$2.40^{+0.06}_{-0.06}$	$49.43^{+0.02}_{-0.02}$	235	700	$\frac{18.9}{20} = 1.00$
W51C	$1.56^{+0.02}_{-0.02}$	$0.31^{+0.08}_{-0.08}$	1.64	$4.39^{+0.30}_{-0.29}$	$2.08^{+0.03}_{-0.03}$	$49.83^{+0.01}_{-0.01}$	708	100	$\frac{50.7}{29} = 2.06$
W51C ^b	$1.64^{+0.02}_{-0.02}$	$0.32^{+0.05}_{-0.05}$	1.57	>5.78	$2.02^{+0.03}_{-0.03}$	$49.79^{+0.01}_{-0.01}$	201	100	$\frac{34.9}{29} = 1.20$
G73.9+0.9 ^c	$0.78^{+0.19}_{-0.19}$	NA	$E_{p,\text{cut}}$	$0.96^{+0.09}_{-0.09}$	$1.57^{+0.05}_{-0.05}$	$49.34^{+0.04}_{-0.04}$	393	10	$\frac{22.4}{13} = 1.72$
Cygnus Loop ^d	$1.86^{+0.08}_{-0.08}$	NA	$E_{p,\text{cut}}$	$1.09^{+0.10}_{-0.10}$	$1.46^{+0.03}_{-0.03}$	$48.72^{+0.02}_{-0.02}$	197	5.0	$\frac{20.5}{20} = 1.03$
γ Cygni	$2.00^{+0.05}_{-0.05}$	$3.17^{+0.17}_{-0.17}$	2.63	>4.97	$1.78^{+0.05}_{-0.05}$	$50.25^{+0.02}_{-0.02}$	61.5	2.5	$\frac{23.6}{18} = 1.31$
HB21 ^e	$1.20^{+0.12}_{-0.12}$	NA	$E_{p,\text{cut}}$	$0.69^{+0.04}_{-0.04}$	$1.71^{+0.01}_{-0.01}$	$49.42^{+0.01}_{-0.01}$	564	15	$\frac{36.2}{23} = 1.57$
CTB109	$1.94^{+0.09}_{-0.09}$	$2.66^{+0.38}_{-0.38}$	3.28	>4.82	$1.47^{+0.17}_{-0.17}$	$49.84^{+0.12}_{-0.12}$	19.6	1.1	$\frac{20.9}{8} = 2.61$
Tycho	$2.15^{+0.02}_{-0.02}$	$3.37^{+0.12}_{-0.12}$	$4.14^{+0.08}_{-0.08}$	>5.04	$2.15^{+0.04}_{-0.04}$	$49.01^{+0.08}_{-0.08}$	23.5	0.3	$\frac{55}{35} = 1.57$
Tycho	$2.16^{+0.02}_{-0.02}$	$3.36^{+0.11}_{-0.11}$	$4.06^{+0.07}_{-0.07}$	>4.93	$2.29^{+0.04}_{-0.04}$	$48.78^{+0.07}_{-0.07}$	92.2	10.0	$\frac{44}{35} = 1.26$
HB3 ^f	$1.84^{+0.17}_{-0.17}$	NA	$E_{p,\text{cut}}$	$1.08^{+0.17}_{-0.17}$	$1.04^{+0.04}_{-0.04}$	$50.04^{+0.03}_{-0.03}$	6.4	2.0	$\frac{16.4}{19} = 0.86$
G150.3+4.5	$1.73^{+0.23}_{-0.23}$	$2.65^{+0.36}_{-0.36}$	6.04	>6.37	$0.45^{+0.13}_{-0.13}$	$48.33^{+0.08}_{-0.08}$	1.42	1.0	$\frac{11.5}{12} = 0.96$
HB9 ^g	$1.75^{+0.32}_{-0.32}$	NA	$E_{p,\text{cut}}$	$1.11^{+0.43}_{-0.40}$	$0.61^{+0.07}_{-0.08}$	$50.25^{+0.08}_{-0.08}$	0.07	0.1	$\frac{7.3}{12} = 0.61$
G166.0+4.3 ^h	$1.32^{+0.17}_{-0.17}$	NA	$E_{p,\text{cut}}$	$1.87^{+0.14}_{-0.14}$	$0.57^{+0.24}_{-0.24}$	$50.92^{+0.26}_{-0.26}$	0.12	0.01	$\frac{6.92}{5} = 1.38$
G166.0+4.3 ⁱ	$1.26^{+0.17}_{-0.17}$	NA	$E_{p,\text{cut}}$	$1.18^{+0.16}_{-0.16}$	$1.62^{+0.10}_{-0.10}$	$49.18^{+0.07}_{-0.07}$	717	10.0	$\frac{7.70}{5} = 1.54$
S147	$1.36^{+0.06}_{-0.06}$	$-0.14^{+0.13}_{-0.13}$	0.09	>3.86	$2.77^{+0.09}_{-0.09}$	$47.71^{+0.08}_{-0.08}$	2.7×10^8	250	$\frac{17.3}{17} = 1.02$
S147	$1.53^{+0.11}_{-0.11}$	$0.51^{+0.12}_{-0.12}$	3.57	>4.65	$1.03^{+0.05}_{-0.05}$	$49.94^{+0.04}_{-0.04}$	31.6	1.0	$\frac{19.8}{17} = 1.16$
IC 443	$1.38^{+0.03}_{-0.03}$	$0.12^{+0.07}_{-0.07}$	1.35	$3.22^{+0.10}_{-0.10}$	$2.14^{+0.02}_{-0.02}$	$48.96^{+0.01}_{-0.01}$	2280	140	$\frac{92.0}{64} = 1.44$
Monoceros Loop	$1.63^{+0.03}_{-0.03}$	$0.74^{+0.11}_{-0.11}$	2.97	>5.77	$1.31^{+0.03}_{-0.03}$	$50.29^{+0.03}_{-0.03}$	224	3.6	$\frac{42.5}{16} = 1.63$
Puppis A	$2.08^{+0.02}_{-0.02}$	$3.23^{+0.48}_{-0.48}$	2.50	>4.57	$1.97^{+0.02}_{-0.02}$	$49.53^{+0.04}_{-0.04}$	500	4.0	$\frac{48.8}{30} = 1.46$
RX J0852-4622 ^d	$2.21^{+0.04}_{-0.04}$	NA	$4.30^{+0.06}_{-0.06}$	>5.15	$1.03^{+0.04}_{-0.04}$	$49.61^{+0.08}_{-0.08}$	2.79	0.01	$\frac{26.0}{15} = 1.73$
RX J0852-4622	$1.33^{+0.03}_{-0.03}$	$1.13^{+0.18}_{-0.18}$	$4.38^{+0.06}_{-0.06}$	>5.15	$1.04^{+0.04}_{-0.04}$	$49.70^{+0.04}_{-0.04}$	2.6	0.01	$\frac{16.6}{14} = 1.19$
G296.5+10.0 ^f	$1.82^{+0.10}_{-0.10}$	NA	2.11	>4.26	$2.01^{+0.10}_{-0.11}$	$49.74^{+0.23}_{-0.23}$	6770	1.0	$\frac{3.48}{6} = 0.58$
Kes 17 ^g	$2.04^{+0.12}_{-0.12}$	NA	3.01	>4.20	$1.77^{+0.16}_{-0.16}$	$50.39^{+0.11}_{-0.11}$	7.6	10.0	$\frac{1.06}{3} = 0.35$
RCW 86	$2.26^{+0.02}_{-0.02}$	$3.92^{+0.08}_{-0.09}$	$4.42^{+0.04}_{-0.04}$	>5.23	$1.44^{+0.02}_{-0.02}$	$49.82^{+0.03}_{-0.03}$	15.3	0.01	$\frac{31.5}{22} = 1.43$
MSH 15-56	$1.43^{+0.14}_{-0.14}$	$2.13^{+0.20}_{-0.20}$	2.40	>3.06	$1.81^{+0.08}_{-0.08}$	$51.05^{+0.13}_{-0.13}$	34.3	0.1	$\frac{10.1}{7} = 1.44$
MSH 15-56	$1.61^{+0.12}_{-0.12}$	$1.17^{+0.08}_{-0.11}$	3.02	>3.83	$1.60^{+0.10}_{-0.10}$	$50.75^{+0.08}_{-0.08}$	9.7	1.0	$\frac{8.0}{7} = 1.14$
SN 1006 ^h	$2.12^{+0.02}_{-0.02}$	NA	$3.91^{+0.04}_{-0.04}$	>4.91	$1.78^{+0.03}_{-0.03}$	$48.94^{+0.08}_{-0.05}$	150	0.085	$\frac{66.9}{39} = 1.69$

Table 2
(Continued)

Source Name	α	$\log_{10} \frac{E_{90}}{\text{GeV}}$	$\log_{10} \frac{E_{0,\text{cut}}}{\text{GeV}}$	$\log_{10} \frac{E_{p,\text{cut}}}{\text{GeV}}$	$\log_{10} \frac{B}{\mu\text{G}}$	$\log_{10} \frac{W_p}{\text{erg}}$	$\frac{W_B}{W_p}$	$\frac{n}{\text{cm}^{-3}}$	$\frac{\chi^2}{\text{NDF}}$
RCW 103 ^h	$2.12^{+0.07}_{-0.07}$	NA	3.92	>4.77	$1.44^{+0.08}_{-0.08}$	$50.04^{+0.06}_{-0.06}$	0.41	10	$\frac{1.1}{7} = 0.16$
CTB 33	$1.89^{+0.29}_{-0.28}$	$1.02^{+0.44}_{-0.45}$	3.46	>4.66	$1.50^{+0.09}_{-0.08}$	$49.50^{+0.07}_{-0.07}$	0.17	600	$\frac{6.92}{5} = 1.38$
RX J1713.7-3946 ^g	$1.81^{+0.02}_{-0.02}$	$3.10^{+0.05}_{-0.05}$	$4.89^{+0.004}_{-0.004}$	>5.57	$1.29^{+0.004}_{-0.004}$	$49.46^{+0.03}_{-0.03}$	6.0	0.01	$\frac{445}{240} = 1.85$
CTB 37A	$1.47^{+0.02}_{-0.02}$	$0.36^{+0.19}_{-0.17}$	1.0	>5.96	$2.40^{+0.12}_{-0.10}$	$49.82^{+0.02}_{-0.02}$	607	100	$\frac{23.4}{16} = 1.46$
CTB 37B	$1.49^{+0.11}_{-0.11}$	$2.40^{+0.33}_{-0.33}$	0.81	>5.34	$2.84^{+0.13}_{-0.13}$	$50.51^{+0.04}_{-0.04}$	1.04×10^5	10	$\frac{15.6}{14} = 1.11$
CTB 37B	$1.58^{+0.07}_{-0.07}$	$3.06^{+0.10}_{-0.10}$	2.47	>5.32	$1.97^{+0.06}_{-0.06}$	$51.60^{+0.04}_{-0.04}$	28.3	0.5	$\frac{14.1}{14} = 1.00$
G349.7+0.2	$2.06^{+0.13}_{-0.12}$	$2.82^{+0.30}_{-0.38}$	2.70	>5.00	$2.00^{+0.12}_{-0.12}$	$50.09^{+0.04}_{-0.04}$	1.30	35	$\frac{5.2}{10} = 0.52$
Hess J1731-347	$1.86^{+0.04}_{-0.04}$	$3.65^{+0.10}_{-0.10}$	$4.27^{+0.02}_{-0.02}$	>5.19	$1.46^{+0.02}_{-0.02}$	$49.42^{+0.04}_{-0.04}$	45.1	0.01	$\frac{283.9}{322} = 0.88$
Hess J1745-303	$1.64^{+0.04}_{-0.04}$	$0.52^{+0.20}_{-0.18}$	2.03	>5.37	$1.66^{+0.08}_{-0.08}$	$49.53^{+0.08}_{-0.08}$	167	100	$\frac{3.62}{8} = 0.45$



A1a: 对于已经探测到的30多个伽玛射线超新星遗迹，结合射电和X射线观测，通过多波段辐射能谱拟合分析超新星遗迹中高能粒子分布函数演化的规律（刘四明、曾厚敦）



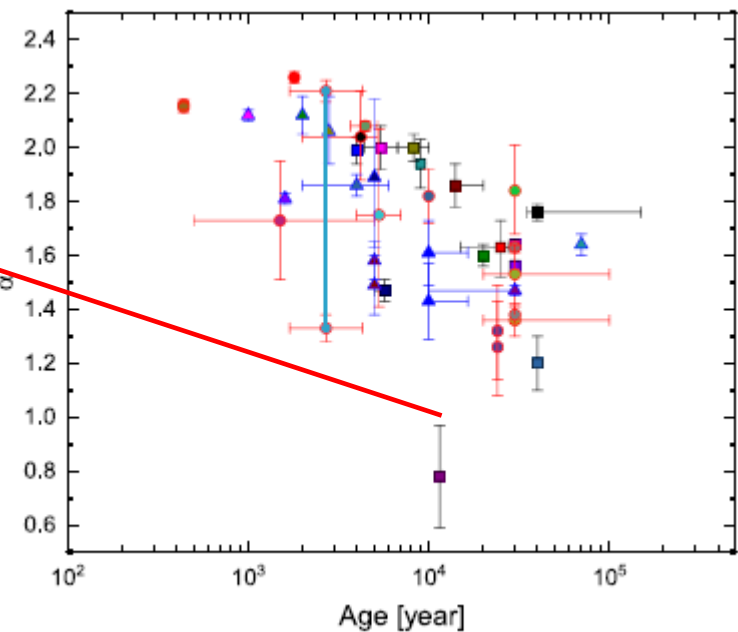
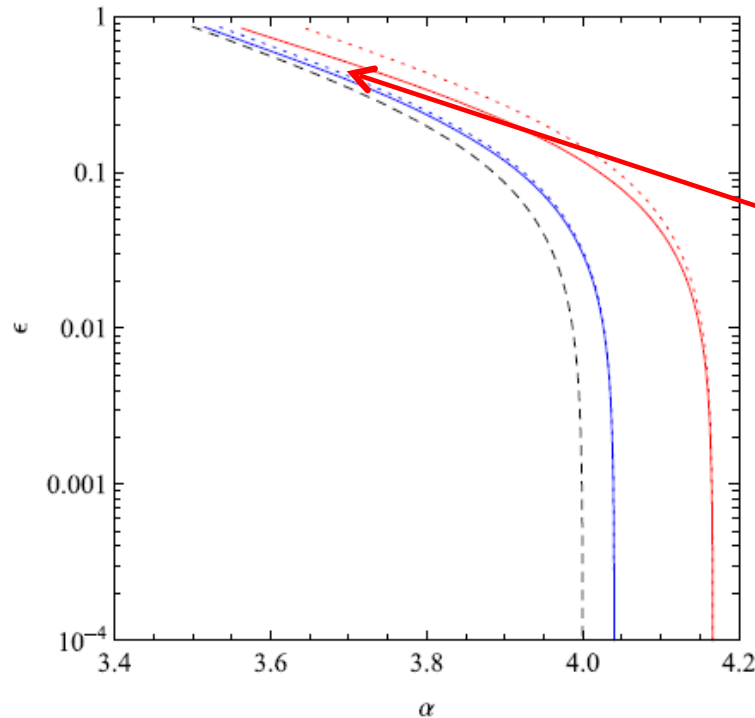
A1a: 对于已经探测到的30多个伽玛射线超新星遗迹，结合射电和X射线观测，通过多波段辐射能谱拟合分析超新星遗迹中高能粒子分布函数演化的规律（刘四明、曾厚敦）

MNRAS **482**, 5268–5274 (2019)
Advance Access publication 2018 November 19

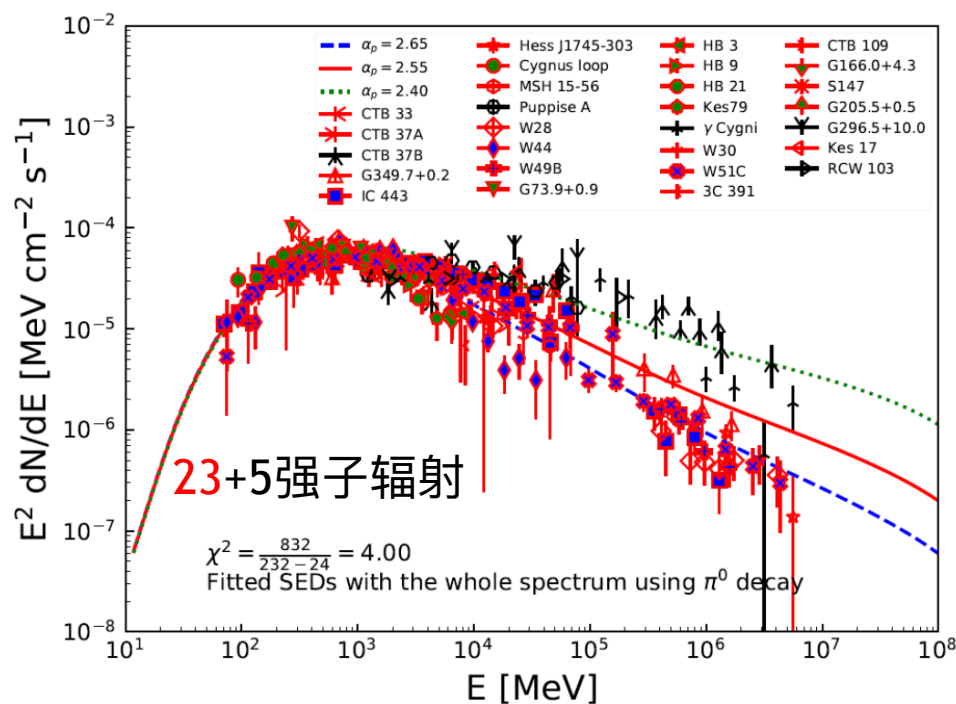
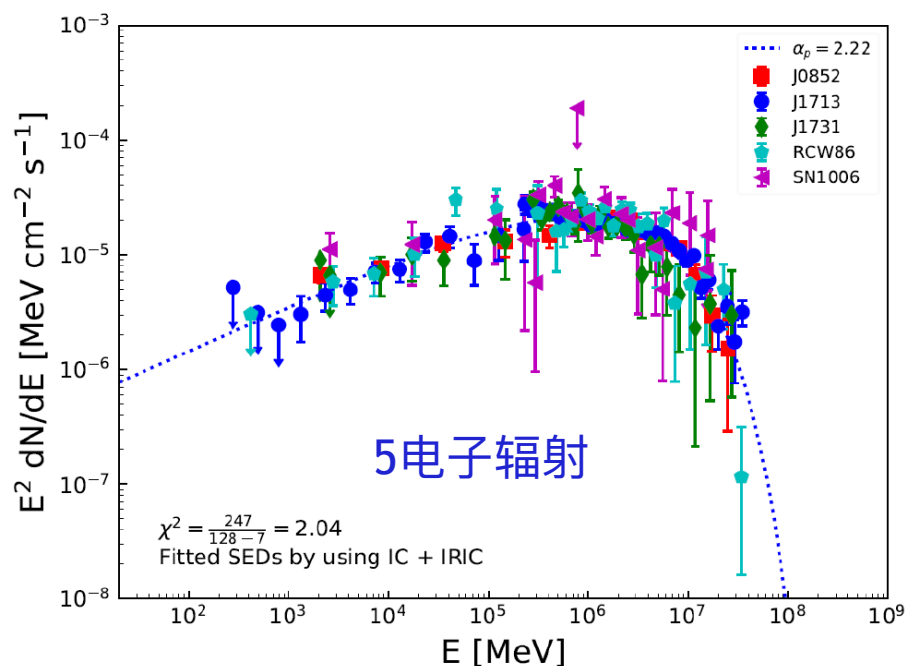
doi:10.1093/mnras/sty3136

Global constraints on diffusive particle acceleration by strong non-relativistic shocks

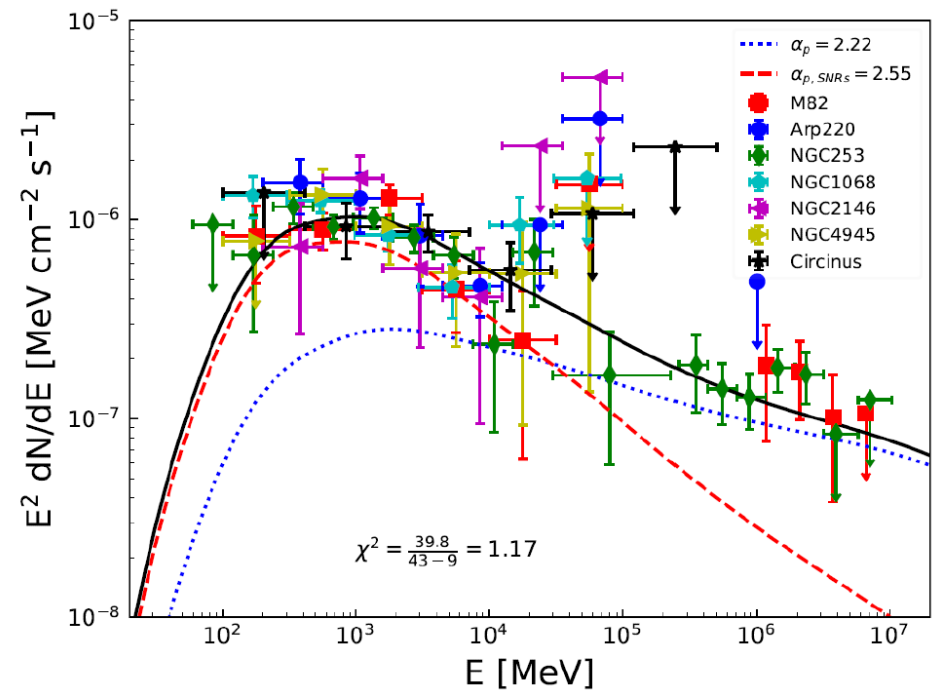
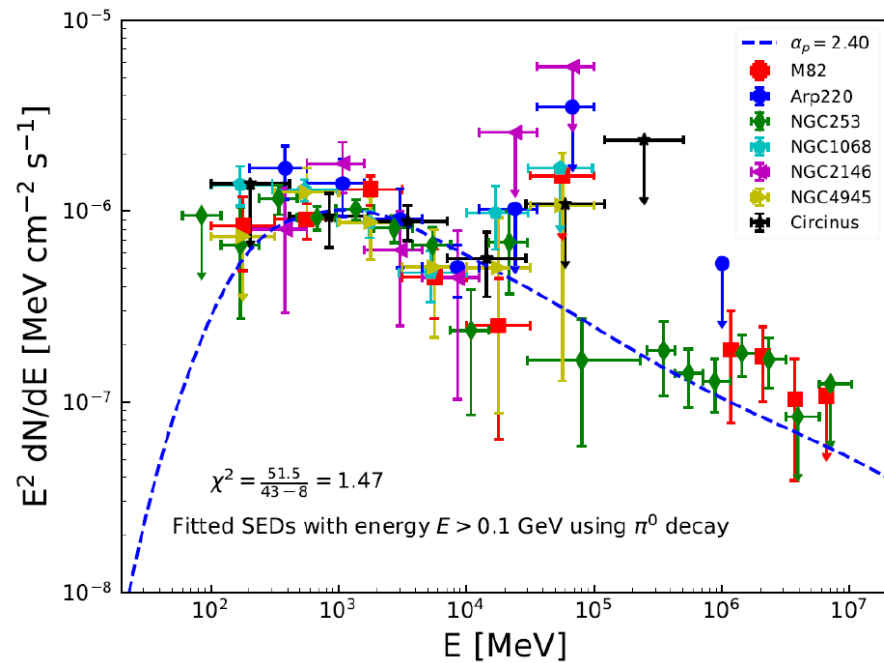
Yiran Zhang^{1,2★} and Siming Liu^{1,2★}



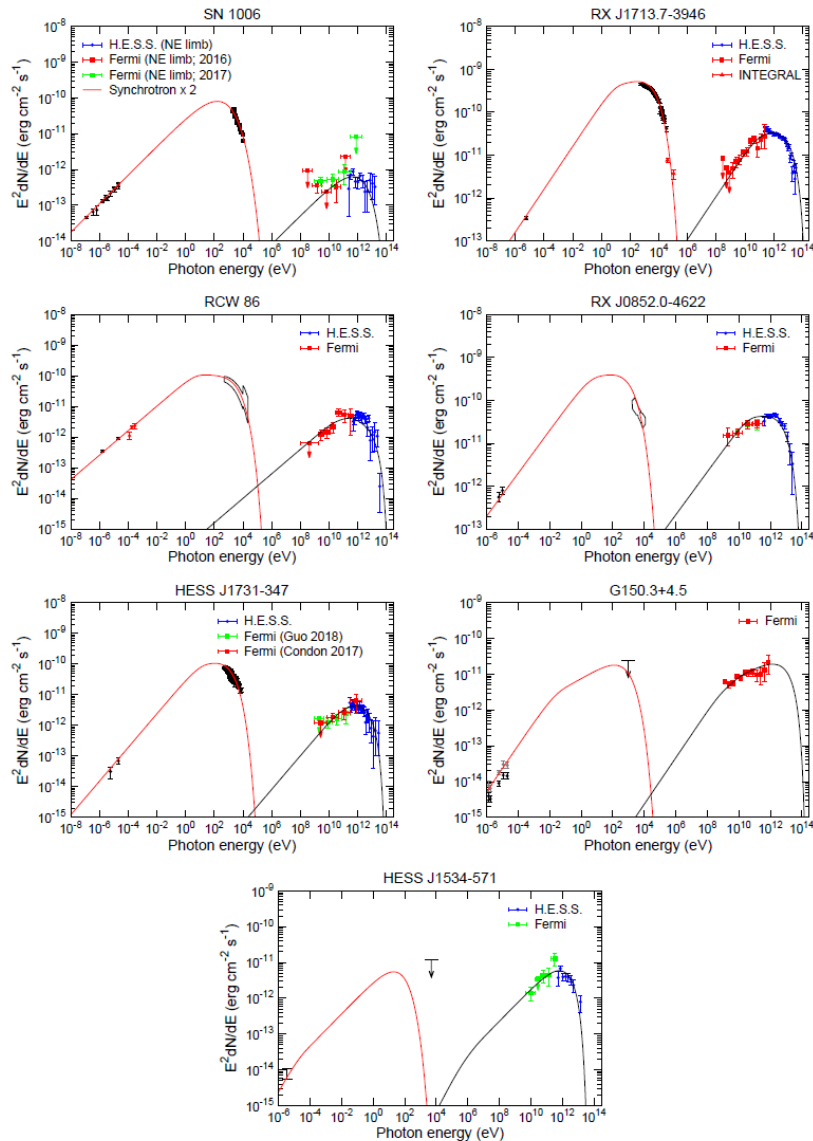
A1a: 年龄在几千年的遗迹伽玛射线辐射可以用谱指数为2.2的电子辐射拟合,年龄在1万年以上的遗迹伽玛谱可以用谱指数为2.65的质子辐射拟合



A1a: 星暴星系的伽玛射线能谱可以用谱指数为2.4的质子辐射拟合，
也可以用谱指数为2.55和2.22的双质子分量拟合。



A1b: 利用一个TeV辐射由轻子过程主导的年轻超新星遗样本（总共约10个源），分析年轻遗迹中高能电子分布函数的演化规律（刘四明、张潇）

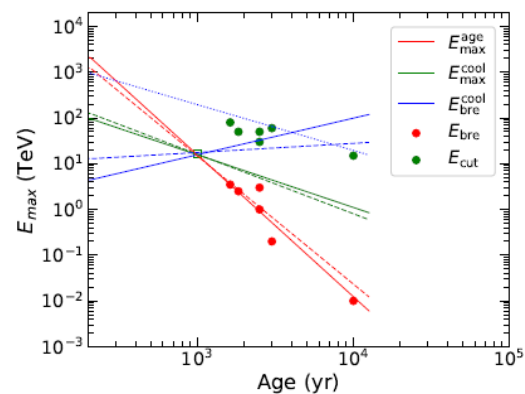
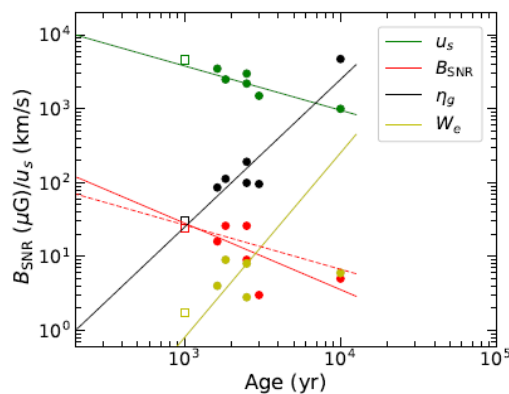


Electron acceleration in middle age shell-type γ -ray supernova remnants

XIAO ZHANG¹ AND SIMING LIU²

¹School of Astronomy & Space Science, Nanjing University, 163 Xinlin Avenue, Nanjing 210023, China

²Key Laboratory of Dark Matter and Space Astronomy, Purple Mountain Observatory, Chinese Academy of Sciences, 8 Yuanhua Road, Nanjing 210034, China



A1b: 利用一个TeV辐射由轻子过程主导的年轻超新星遗样本（总共约10个源），分析年轻遗迹中高能电子分布函数的演化规律（刘四明、张潇、曾厚敦）

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 874:98 (6pp), 2019 March 20

© 2019. The American Astronomical Society. All rights reserved.

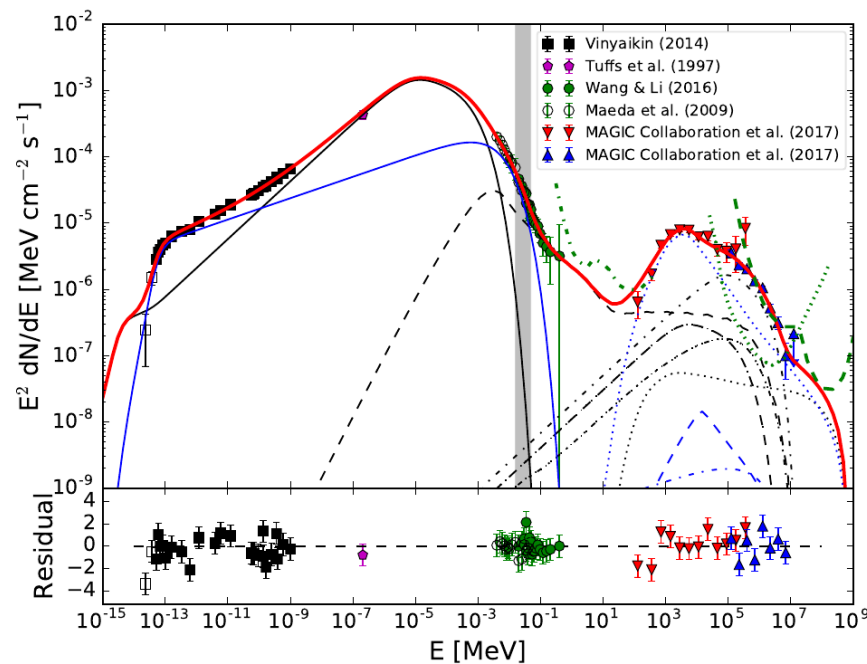
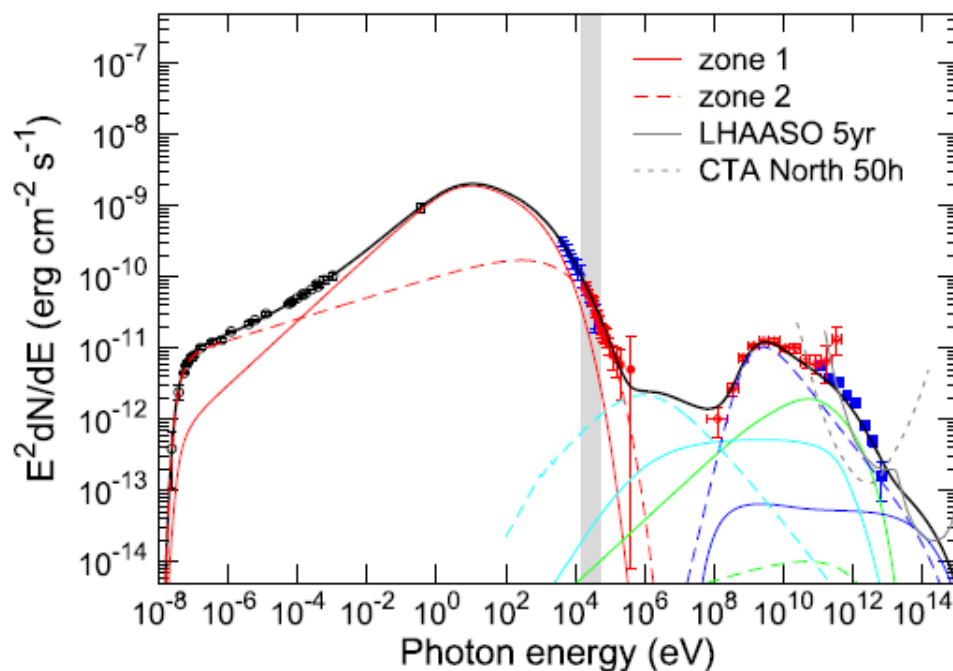
<https://doi.org/10.3847/1538-4357/ab09fe>



CrossMark

Is Supernova Remnant Cassiopeia A a PeVatron?

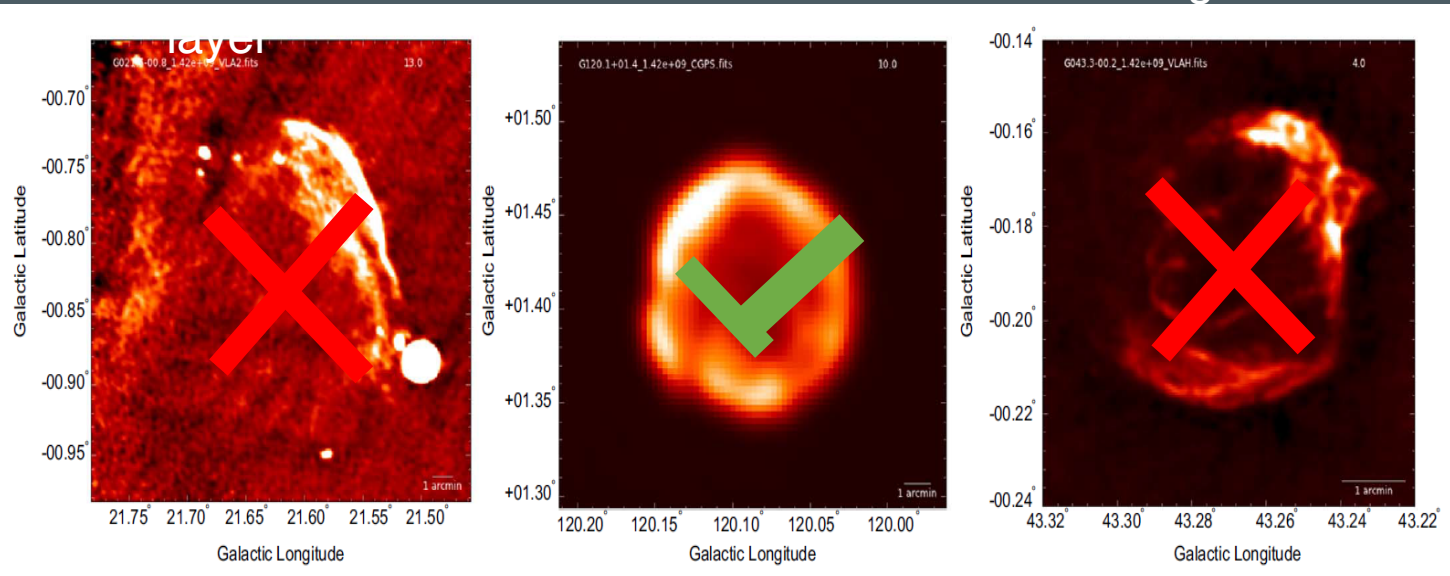
Xiao Zhang^{1,2}  and Siming Liu³ 



Multi-

Circular

Irregular

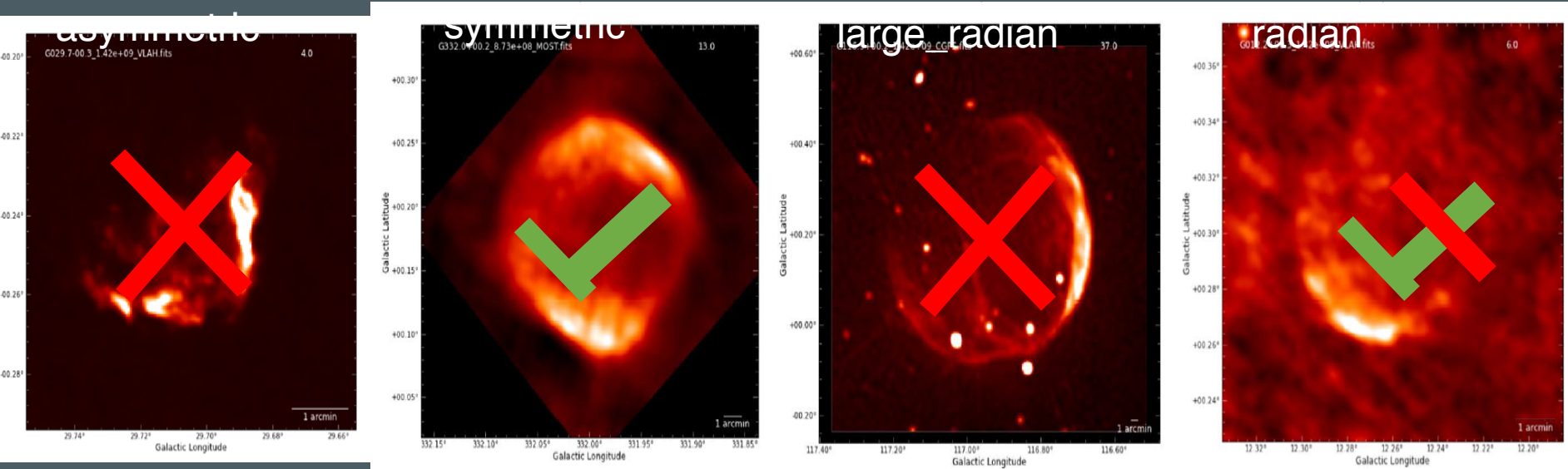


Bilateral

Bilateral

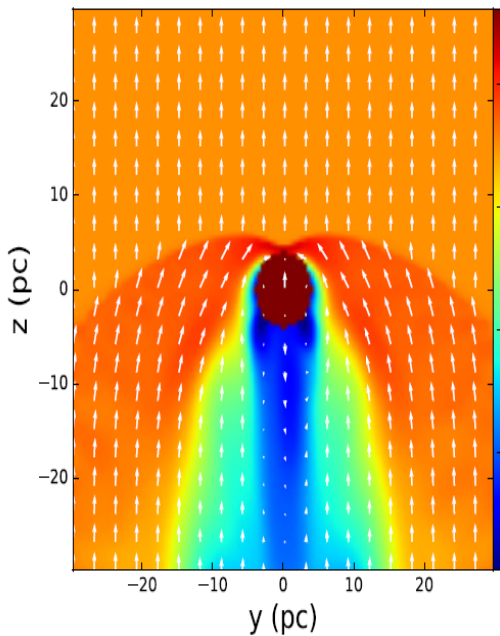
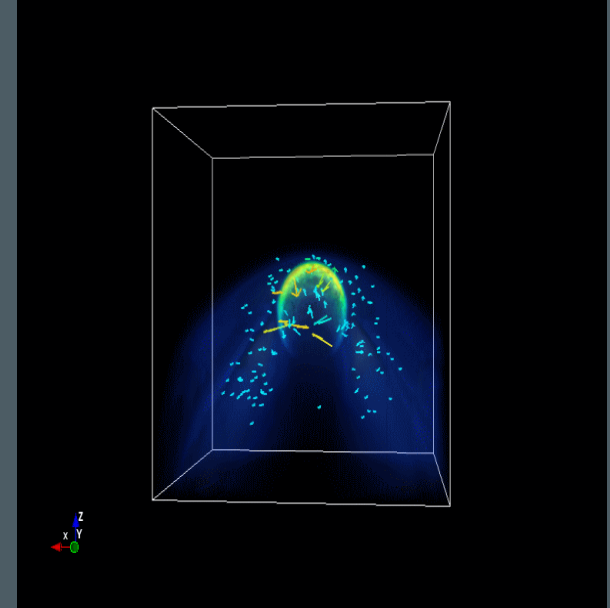
Unilateral

Unilateral small-

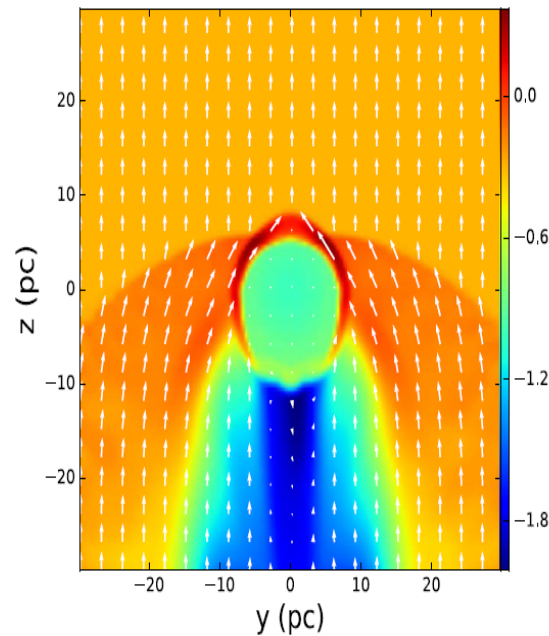


Consider different:

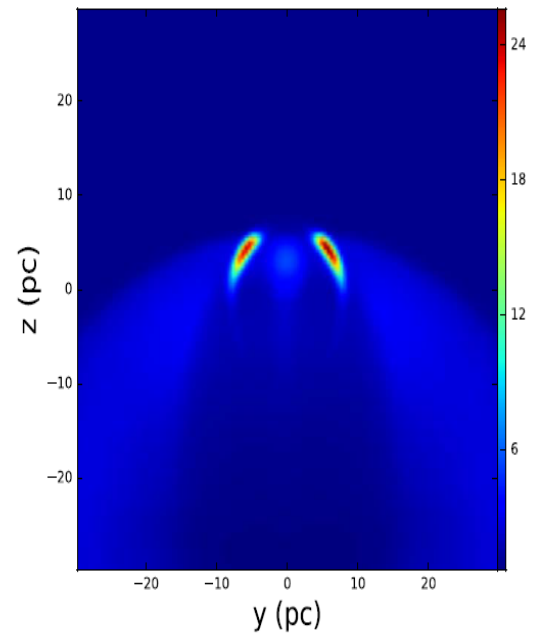
- 1) Progenitor mass
- 2) Stellar wind and proper motion
- 3) Magnetic field (direction and strength)



Stellar wind
density and magnetic
field



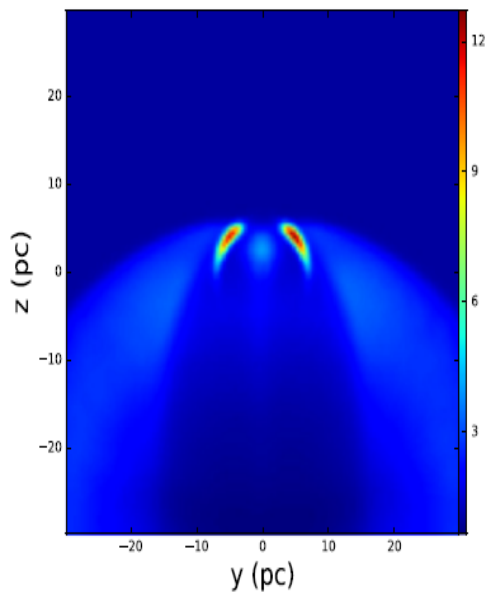
Supernova
remnant
density and
magnetic field



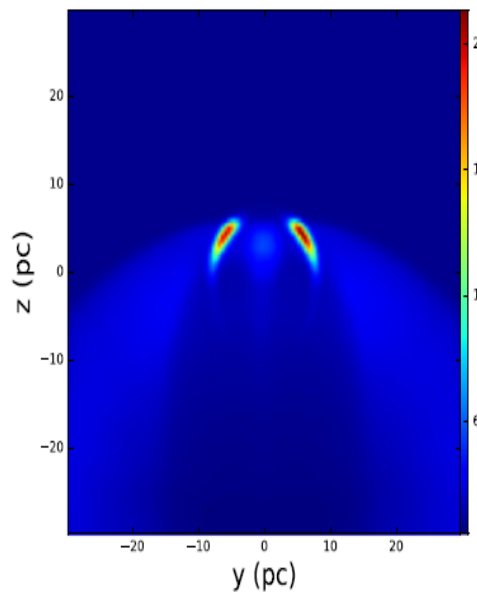
Supernova
remnant
radius

Radio
morphology
from simulation

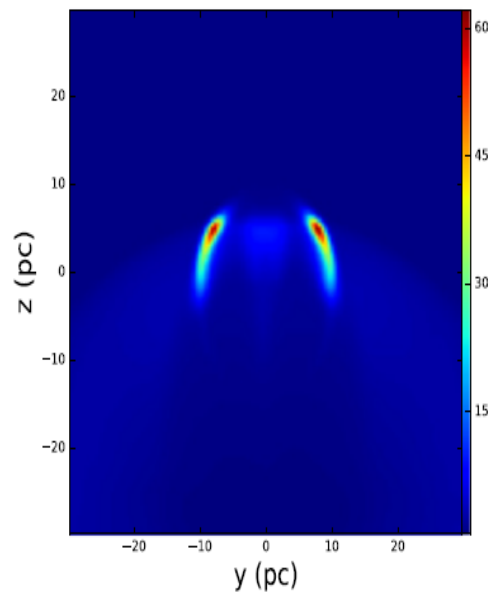
1450yr



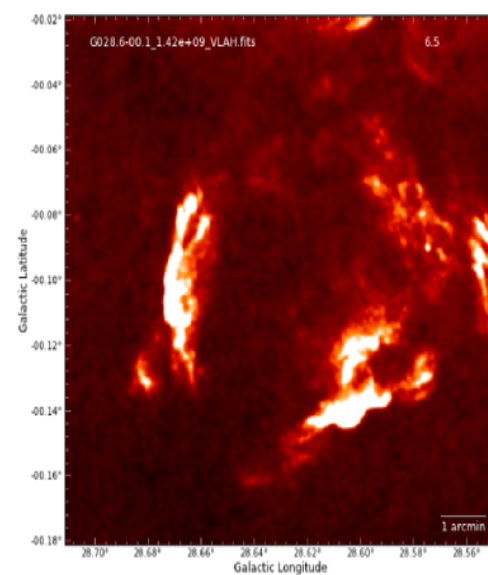
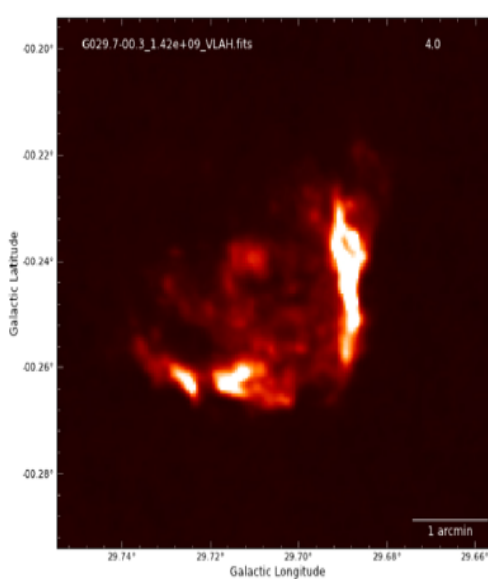
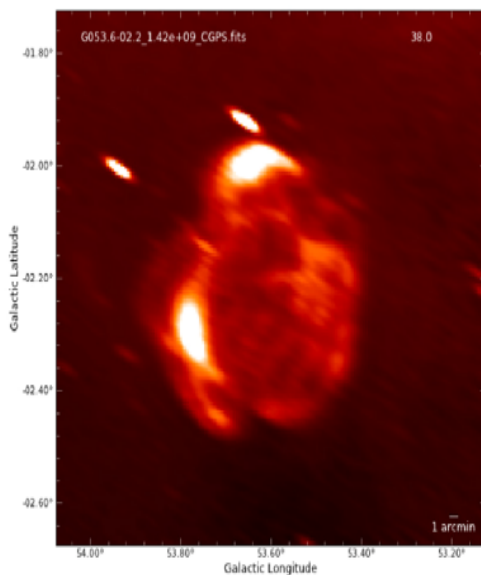
1850yr



3050yr



Radio
morphology
from
observation

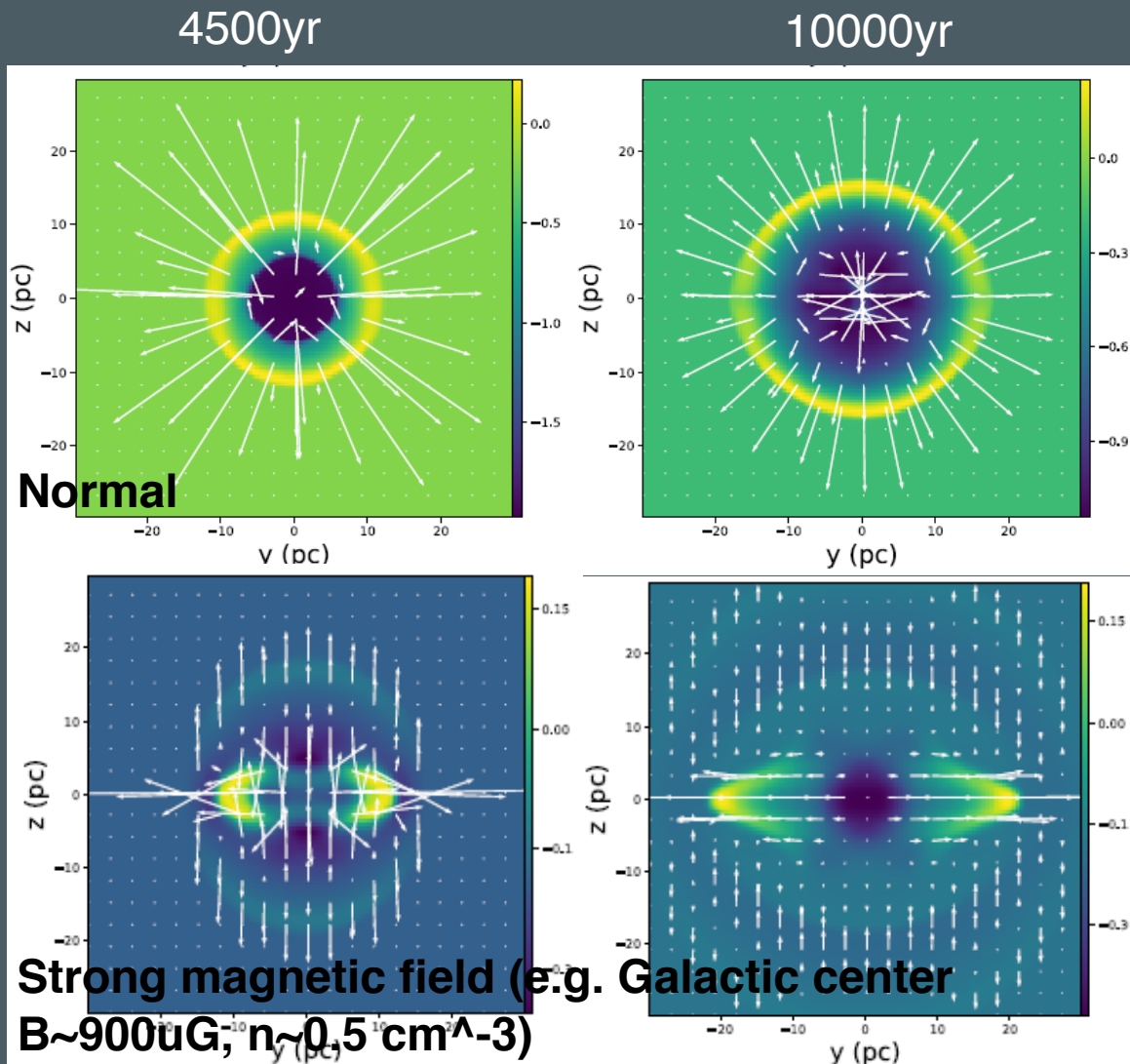


SNR evolves in normal and strong magnetic fields

1) The strong magnetic field of 1 mG will align the motion of ejecta in a way similar to a jet.

2) Most of ejecta will propagate parallel to the magnetic field. And the ejecta propagating perpendicular to the magnetic field will be reflected and generate strong reverse shock.

3) When the reverse shock converge in the explosion center, it will more or less flow along the central magnetic field.



实施方案

具体研究任务的完成时间

年\月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2018											A1a	
2019	A1b			A1c		A2a				A2b		C1
2020				A2c, A2d						A3a		C2
2021				A3b		B1	A4a					A4b
2022				A4c			C3a					C3b
2023				B2,A2e,C4, C5								

第三课题组年度考核指标

论文指标

研究方向	宇宙线的加速和传播	超新星遗迹和脉冲星的多波段研究	河外宇宙射线源的相关研究	宇宙线的多波段观测研究
2019	2	2+6	1+1	1
2020	2	2	2	0
2021	2	2	1	1
2022	2	2	2	0
2023	2	2	1	1
汇总	10	10	7	3

会议交流

每年做一次国际会议报告，组织一次会议，其中国内会议4次，国际会议1次；

2019年发表的文章

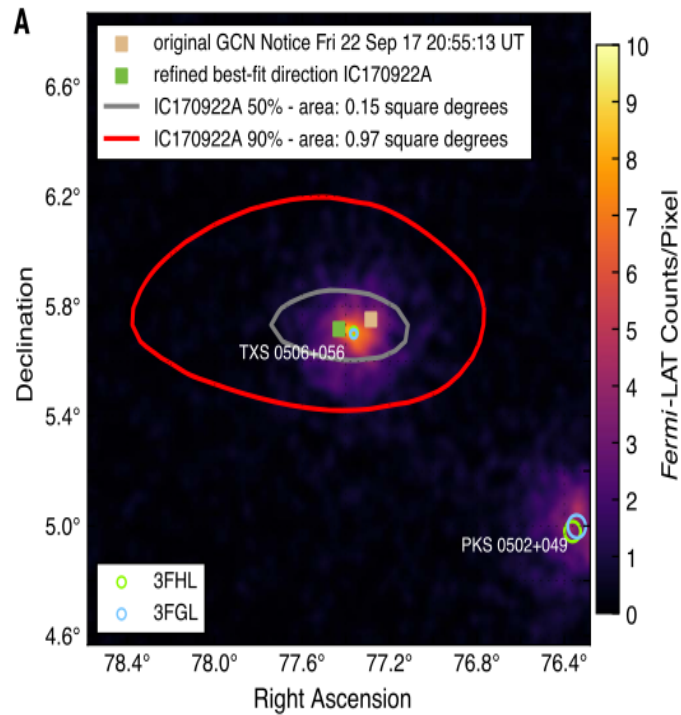
1. **Zeng, Houdun; Xin, Yuliang; Liu, Siming**; Evolution of high-energy particle distribution in supernova remnants. *ApJ*, 874, 50 (2019)
2. **Zhang, Xiao; Liu, Siming**; Is Supernova Remnant Cassiopeia A a PeVtron? *ApJ*, 874, 98 (2019)
3. **Shi, Zhaogong; Liu, Siming**; Origin of cosmic ray electrons and positrons. *MNRAS*, 485, 3869 (2019)
4. **Bao, Yiwei; Liu, Siming**; Chen, Yang; On the gamma-ray nebula of Vela pulsar-I. constraining diffusion coefficient within the TeV nebula. *ApJ*, 877, 54 (2019)
5. **Zhang, Xiao; Liu, Siming**; Electron acceleration in middle age shell-type gamma-ray supernova remnants. *ApJ*, 876, 24 (2019)
6. **Zhang, Yiran; Liu, Siming**; Global constraints on diffusive particle acceleration by strong non-relativistic shocks. *MNRAS*, 482, 5268 (2019)
7. 张轶然, 刘四明; 宇宙线的超新星遗迹起源, 天文学报
8. **Zhu, Hui**; Slane, Patrick; Raymond, John; **Tian Wenwu**; Dust destruction in non-radiative shocks. *ApJ*, accepted
9. **Tian, Wenwu, Zhu, Hui** et al. The kinematic distance of SNR G16.7+0.1 and G15.9+0.2 by analyzing HI absorption spectra. *PASP*, accepted
10. **Wu Dan; Zhang Mengfei**; How does the strong surrounding magnetic field influence the evolution of a supernova remnant? *RAA*, accepted
11. **Shan, Susu; Zhu, Hui; Tian, Wenwu** et al. The distance measurements of supernova remnants in the fourth Galactic quadrant. *RAA*, 19, 92 (2019)

总结

围绕宇宙线的起源和加速问题，本课题负责研究LHAASO的宇宙线能谱和各向异性结果，以及来自扩展源和弥散伽马射线观测结果，项目组按照实施方案顺利开展了第一年的研究工作。

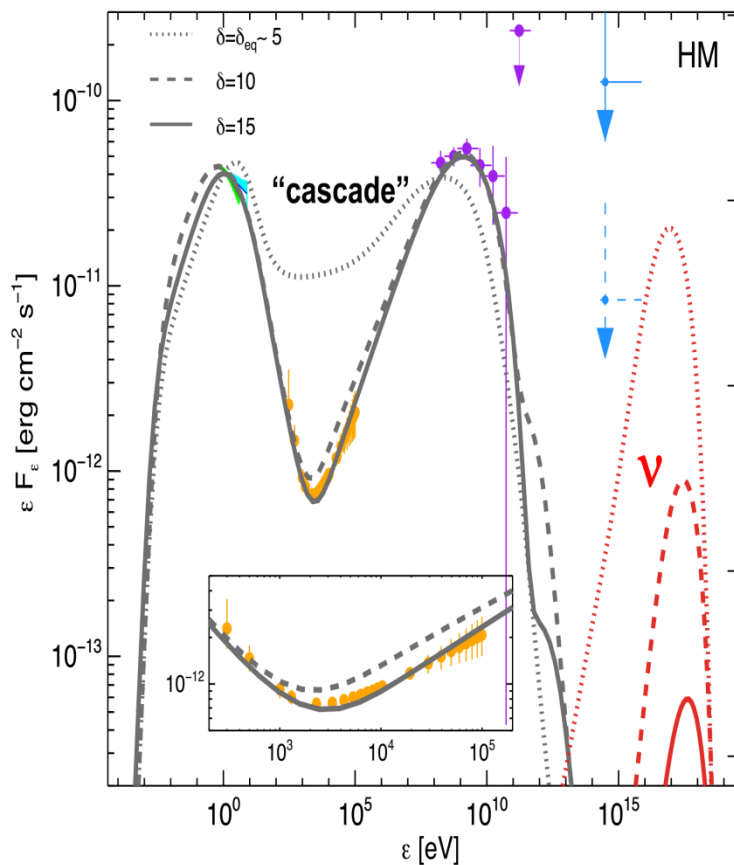
Neutrinos from blazar TXS

0506+56



IceCube观测到一个300TeV的中微子事件与
Blazar TXS 0506+056的多波段flare在 3σ 的
置信度上成协

传统的Photomeson (p γ) 模型



Keivani et al. 2018

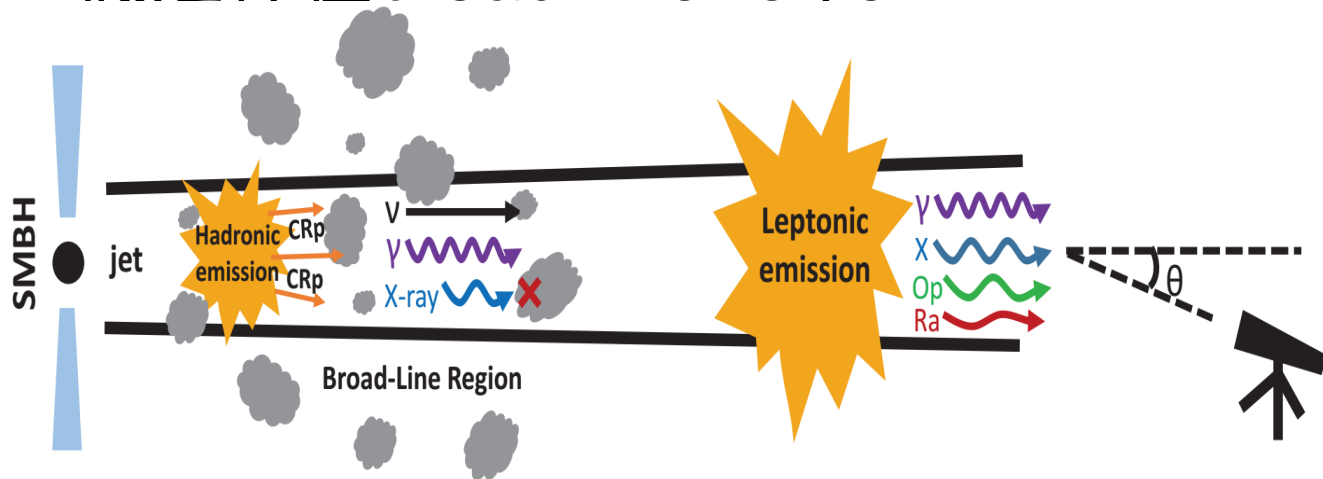
- 拟合存在问题:
 - 1) cascade 辐射超过X-ray观测
 - 2) inefficient: 要求jet光度超过中心黑洞的
- Ed 度:

Lucky
Detection

pp interaction model

Liu et al. 2019

- 假定存在broad-line region

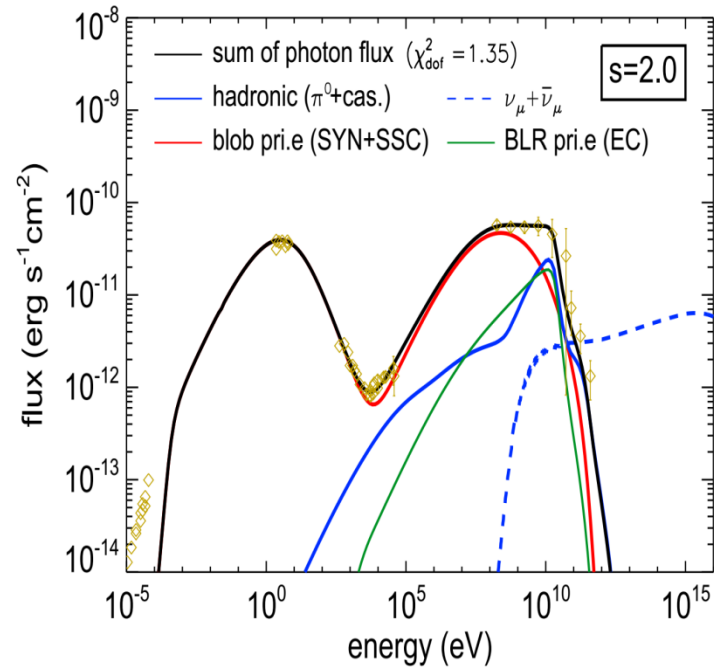
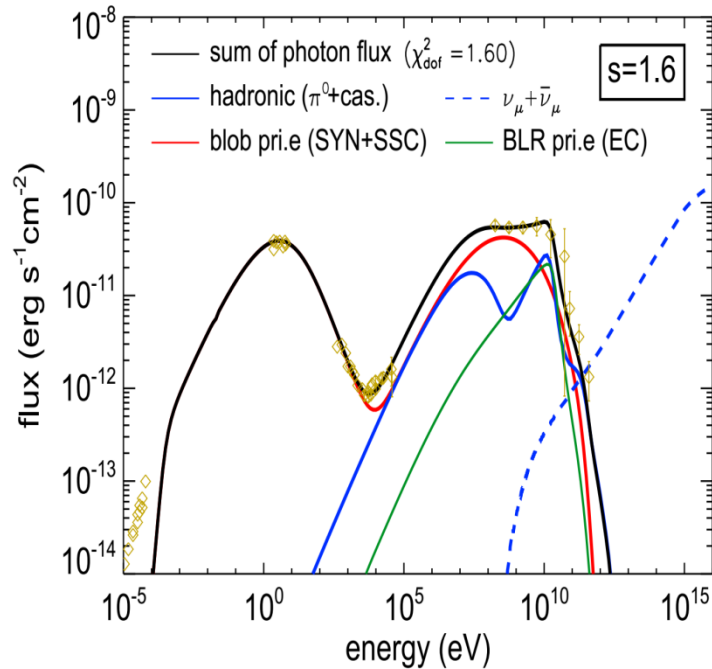


相比于传统模型：

1. 较高的中微子产生率 → 宇宙线质子光度降至爱丁顿光度之下
2. 宽线区云团中被电离的电子提供康普顿光深，减少X射线流量，提高中微子流量

Modelling the SED

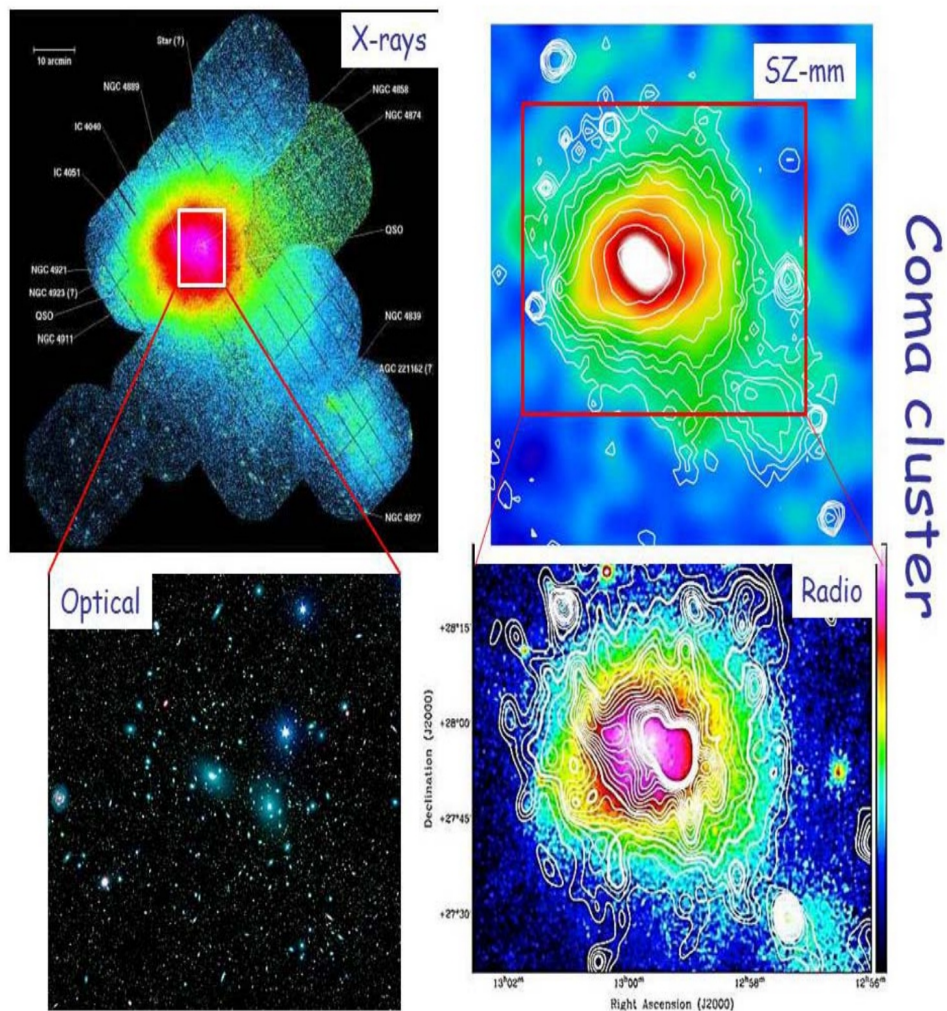
Liu et al. 2019, PRD



$s=1.6$: 1 (anti-)muon event / 80 days

$s=2.0$: 1 (anti-)muon event / 3.2 yrs

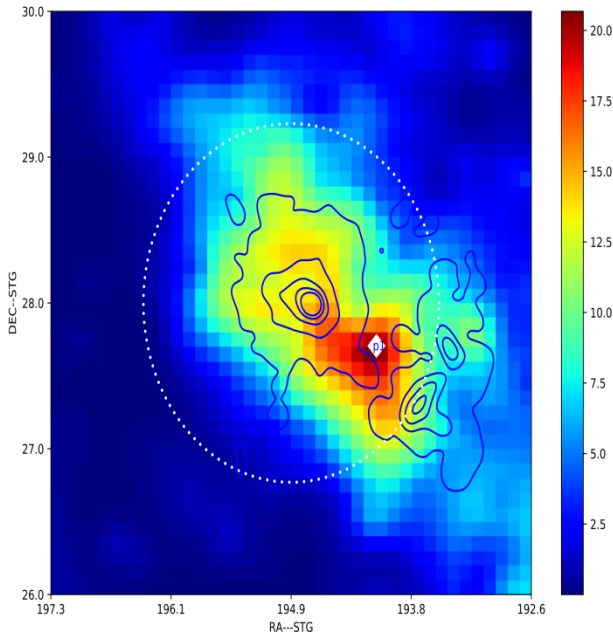
星系团中的宇宙线



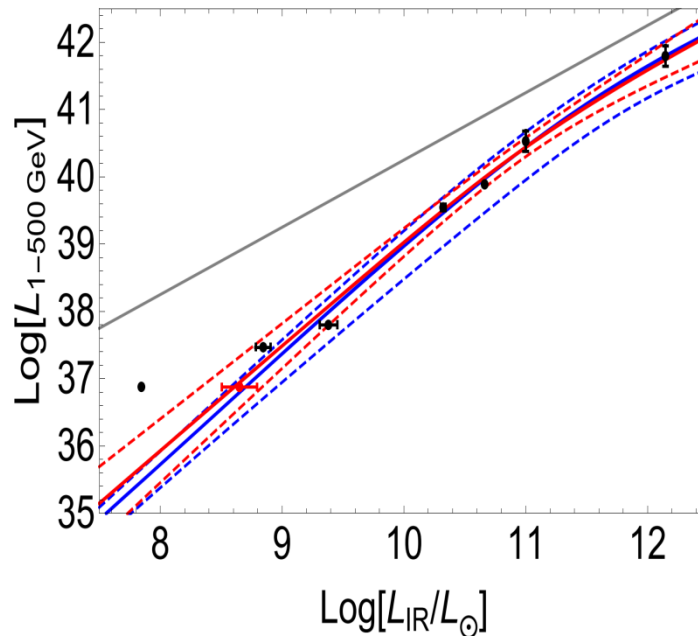
Fermi 9 years of data –unbinned likelihood analysis (0.2-100 GeV)

TABLE I. Unbinned likelihood analysis results for energy band 200 MeV–300 GeV.

Spatial model	Photon flux ($\times 10^{-9}$ ph cm $^{-2}$ s $^{-1}$)	Energy flux ($\times 10^{-12}$ erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$)	Power-law index	TS
Disk	3.14 ± 0.54	2.52 ± 0.59	2.65 ± 0.25	38.9
Core	3.08 ± 0.52	2.50 ± 0.59	2.64 ± 0.25	40.1
Radio	2.74 ± 0.48	2.11 ± 0.43	2.70 ± 0.24	42.9
X-ray	2.39 ± 0.44	1.70 ± 0.35	2.81 ± 0.28	37.2
Point Source A (p _{center})	1.94 ± 0.42	1.12 ± 0.43	3.24 ± 0.94	23.4
Point Source B (p1)	1.92 ± 0.43	1.45 ± 0.26	2.73 ± 0.19	41.3
Disk + p1	2.45 ± 0.65 0.67 ± 0.35	1.78 ± 0.81 0.82 ± 0.31	2.78 ± 0.53 2.30 ± 0.26	53.4
Core + p1	2.43 ± 0.63 0.65 ± 0.35	1.82 ± 0.76 0.80 ± 0.30	2.73 ± 0.46 2.30 ± 0.27	54.3
Radio + p1	2.25 ± 0.55 0.53 ± 0.30	1.66 ± 0.49 0.75 ± 0.30	2.76 ± 0.36 2.22 ± 0.27	56.5
X-ray + p1	1.79 ± 0.53 0.72 ± 0.37	1.23 ± 0.44 0.85 ± 0.29	2.81 ± 0.28 2.33 ± 0.27	52.9
p _{center} + p1	1.13 ± 0.51 1.14 ± 0.42	0.65 ± 1.08 1.08 ± 0.38	3.23 ± 4.00 2.49 ± 0.27	45.7



Interpreting the correlation



- ◆ Changing slope, $\alpha \rightarrow 1.5$
- ◆ gamma-ray data is well consistent with such a steepening
- ◆ The steepening suggests that CR escape is important in low-SFR galaxies

Zhang, Peng & Wang 2019

会议安排

- 通过每年两次的合作组会议，汇报课题进展。
- 课题每月召开一次学术会议，邀请项目组所有成员和专家参加，可以视频参加。
- 3个任务组每个礼拜安排组会，根据需要邀请相关人员参加。

会议纪要及研究进展

List of Topics

[\[DocDB Home \]](#) [\[New \]](#) [\[Search \]](#) [\[Last 20 Days \]](#) [\[List Authors \]](#) [\[List Topics \]](#) [\[List Events \]](#) [\[Help \]](#)

Cherenkov detecting [切伦科夫探测分总体]

- [Telescope Optical Testing \[望远镜光学检测\]](#)
- [Telescope Optics \[望远镜光学\]](#)
- [Telescope PMT Array \[望远镜光电倍增管阵列\]](#)
- [WCDA Electronics \[水切伦科夫探测器电子学\]](#)
- [WCDA \[水切伦科夫探测器\]](#)
- [WCDA动态范围扩展系统](#)
- [WFCTA Electronics \[望远镜电子学\]](#)
- [WFCTA \[大气切伦科夫望远镜\]](#)
- [大气监测与望远镜标定](#)

Collaboration Meeting [合作组会]

Construction & Installation [建安工程分总体]

- [Assistance & Supporting \[辅助支撑\]](#)
- [Civil Construction \[土建\]](#)

Gamma Astronomy [伽马天文分总体]

- [KM2A Electronics \[地面粒子探测器电子学\]](#)
- [KM2A-ED \[电磁粒子探测器\]](#)
- [KM2A-MD \[缪子探测器\]](#)
- [Large PMT Application \[大尺寸光电倍增管应用\]](#)
- [Power supply Testing \[电源检测\]](#)
- [Scintillator Testing \[闪烁探测器检测\]](#)
- [Small PMT Application \[小尺寸光电倍增管应用\]](#)

Mechanical Engineering [机械工程]

- [About ED \[与ED相关\]](#)
- [About MD \[与MD相关\]](#)
- [About WCDA \[与WCDA相关\]](#)
- [About WFCTA \[与WFCTA相关\]](#)

Meeting Minutes [会议纪要]

- [Other Minutes \[其它纪要\]](#)
- [Regular Meeting Minutes \[工程例会纪要\]](#)
- [Technical Meeting Minutes \[技术会议纪要\]](#)

On-site Construction [现场建设]

- [测控基地工程进展](#)
 - [2016年度](#)
 - [2017年度](#)
 - [2018年度](#)
 - [2019年度](#)
 - [2020年度](#)
 - [2021年度](#)
- [观测基地工程进展](#)
 - [2016年度](#)
 - [2017年度](#)
 - [2018年度](#)
 - [2019年度](#)
 - [2020年度](#)
 - [2021年度](#)
- [观测基地航拍视频](#)

Physics Analysis [物理分析工作组]

- [Key R&D program \[重点研发计划\]](#)
 - [1. First topic \[数据的标定、模拟、重建\]](#)
 - [KM2A](#)
 - [Single particle](#)
 - [WCDA](#)
 - [WCDA++](#)
 - [WFCTA calibration](#)
 - [WFCTA data](#)
 - [2. Second topic \[数据的物理分析\]](#)
 - [Analysis software](#)
 - [IG \(KM2A\)](#)
 - [OG \(WCDA\)](#)
 - [Solar Physics](#)
 - [Spectrum and Anisotropy](#)
 - [3. Third topic \[宇宙线起源的唯象研究\]](#)
 - [3D CR propagation \[3D宇宙线传播\]](#)
 - [多波段研究 \(国台\)](#)
 - [河外宇宙射线 \(南大\)](#)
 - [银河系宇宙线 \(紫台\)](#)
 - [4. Forth topic \[伽马天文的唯象研究\]](#)
- [Reconstruction \[重建\]](#)
- [Simulation \[模拟\]](#)

Project Manager [工程经理部]

- [代建经理部档案](#)
- [公文档案](#)

Project Office [工程办公室]

- [图文进展报告](#)
- [工程办周报](#)
- [工程进展月报](#)
- [总体](#)

Publications [已发表文章]

Sicence Popularizing [科普]

Summer School [暑期学校]

Technical Documents [技术文档]

Technical Support [技术部·分总体]

- [Clock Distributing \[时钟分配\]](#)
- [Data Acquisition \[数据获取\]](#)
- [Data Processing Platform \[数据平台\]](#)
- [General Technology \[通用技术\]](#)
- [Offline Software framework \[软件框架\]](#)
- [Slow Control \[慢控制\]](#)

会议与来访

会议文集 [proceedings]

附录文件

[\[DocDB Home \]](#) [\[New \]](#) [\[Search \]](#) [\[Last 20 Days \]](#) [\[List Authors \]](#) [\[List Topics \]](#) [\[List Events \]](#) [\[Help \]](#)

会议纪要及研究进展

Document List by Topic

[\[DocDB Home \]](#) [\[New \]](#) [\[Search \]](#) [\[Last 20 Days \]](#) [\[List Authors \]](#) [\[List Topics \]](#) [\[List Events \]](#) [\[Help \]](#)

These documents on **third topic** [\[第三课题\]](#) (subtopic of [Key R&D program](#) [\[重点研发计划\]](#)) and sub-topics are available:

lhaaso-doc-#	Title	Author(s)	Topic(s)	Last Updated
590-v1	Global constraints on diffusive particle acceleration by strong non-relativistic shocks	Siming Liu	Publications [已发表文章] 银河系宇宙线（紫台）	29 Dec 2018
589-v1	12月20组会	Siming Liu	银河系宇宙线（紫台）	29 Dec 2018
576-v1	多波段研究组会---2018-11-15	Hui Zhu	多波段研究（国台）	10 Dec 2018
575-v1	多波段研究组会---2018-12-07	Hui Zhu	多波段研究（国台）	10 Dec 2018
546-v2	宇宙线三维各向异性扩散讨论---10月22日	Hongbo Hu	3D CR propagation [3D宇宙线传播]	30 Nov 2018
545-v1	宇宙线三维各向异性扩散讨论---11月15日	Hongbo Hu	3D CR propagation [3D宇宙线传播]	30 Nov 2018
544-v1	宇宙线三维各向异性扩散讨论---11月01日	Hongbo Hu	3D CR propagation [3D宇宙线传播]	30 Nov 2018
542-v1	Plasma Waves	Hongbo Hu	3. Third topic [宇宙线起源的唯象研究]	29 Nov 2018
518-v3	宇宙线三维各向异性扩散讨论---10月25日	Hongbo Hu	3D CR propagation [3D宇宙线传播]	29 Oct 2018

第三课题组年度考核指标

研究生和博士后培养指标
每年参与项目的研究生和博士后人数

培养单位	紫金山天文台	国家天文台	高能物理研究所	南京大学
2019	4+1	4	1	1+1
2020	4+1	4+1	2	1+1
2021	3+2	3+2	2	1
2022	2+2	3+2	2	1
2023	2+2	2+2	1	1
毕业或出站总人数	3+2	4+2	2	3+1

宇宙线能谱

