doi: 10.15940/j.cnki.0001-5245.2017.06.006

Fermi耀变体能谱分布曲率特性研究*

罗双玲 $1,2^{\dagger}$ 丁楠³ 罗丹1,2 王雪品1,2 张 $dt^{1,2^{\ddagger}}$

(1 云南师范大学物理与电子信息学院 昆明 650500)
 (2 云南省高校高能天体物理重点实验室 昆明 650500)
 (3 南京大学天文与空间科学学院 南京 210093)

摘要 收集了172个Fermi耀变体多波段准同时性观测数据,同步辐射成分和逆康普顿(IC)散射成分的多波段能谱通过对数抛物线拟合.研究了Fermi耀变体能谱分布的曲率特性,主要结果如下:平谱射电类星体(FSRQ)和蝎虎座BL型天体(BL Lac)的同步峰值频率和曲率有显著的负相关,但它们的相关关系是不同的.比较观测结果和不同理论模型预测,FSRQ加速机制与分数变换加速增益模型(The model of fluctuation of fractional acceleration gain)一致,而BL Lac则与能量依赖加速概率模型(The model of energy-dependent acceleration probability)一致;FSRQ同步曲率的平均值大于BL Lac的平均值,暗示了BL Lac的粒子加速效率高于FSRQ的粒子加速效率.这归因于FSRQ在宽线区(BLR)的喷流较强.此外FSRQ和低能峰蝎虎座BL型天体(LBL)具有相似的能谱分布特性.这与先前的研究结果一致;对于FSRQ和BL Lac,没有发现IC峰值频率与其曲率之间存在相关性.

关键词 星系:活动星系,辐射机制:非热,方法:统计 中图分类号: P157; 文献标识码: A

1 引言

耀变体是射电噪活动星系核(AGN)中最重要的一个子类,它们显示出一些极端的 观测特性,如高光度、高偏振、快速大幅光变、视超光速运动特征以及GeV-TeV的射 线发射等^[1-3].一般来说,耀变体分为平谱射电类星体(FSRQ)和BL型蝎虎座天体(BL Lac)两个子类.FSRQ和BL Lac之间的经典划分主要基于发射线的等值宽度(EW).具体 来说,如果EW大于5Å,属于FSRQ,其他则为BL Lac^[2].然而,有作者提出EW并不能作 为区别它们的唯一指标^[4-10].Ghisellini等人提出以爱丁顿光度*L*_{Edd}为单位来测量宽线 区域(BLR)的光度*L*_{BLR}以区别这两类天体,并且分割线为*L*_{BLR}/*L*_{Edd} ~5×10^{-4[5]},该结 果也由Sbarrato等^[6]、Giommi等^[8]和Xiong等^[10]证实.文献[8]深入研究EW分类的不确 定性并提出了一个分类方式,即将耀变体分为两种主要类型:低电离(聚束Fanaroff-Riley

²⁰¹⁷⁻⁰⁴⁻¹⁷收到原稿, 2017-05-22收到修改稿

^{*}国家自然科学基金项目(11663009)、云南省高校高能天体物理重点实验室资助

[†]935679325@qq.com

 $^{^{\}ddagger}ynzx@yeah.net$

(FR) I型源)和高电离(聚束FR II型源). 耀变体的多波段能谱分布(SED)呈双峰结构, 低能峰主要来源于极端相对论电子的同步辐射, 高能峰通过相对论电子的逆康普顿(IC)散射或强子相互作用产生^[11-12]. 对于所谓的低能峰蝎虎座天体(LBL), 峰值频率通常在红外至光学范围内; 而高能峰蝎虎座天体(HBL)的峰值频率位于UV-X射线波段中^[13].

SED的两个参数广泛应用于耀变体序列的研究, 耀变体的SED有着显著的曲率特性^[14-16].采用对数抛物线拟合, 即lg $\nu f_{\nu} = -b(\lg \nu - \lg \nu_p)^2 + \lg \nu_p f_{\nu_p}$, 其中, ν 为频 率, f_{ν} 为流量密度, ν_p 为峰值频率, b代表曲率, 这也是表征峰值分量的重要参数. 文献[16-17]讨论了2个HBL源Mrk 421和Mrk 501在宽带X射线谱中的曲率, 并提出一个基本思想: 曲率不仅仅是高能电子辐射冷却的结果, 也是同步辐射和IC散射的结果, 本质 上也与加速机制有关. 文献[18–19]分析了Mrk 421的X射线谱, 发现在同步辐射过程中峰 值能量和曲率之间存在负相关. Massaro等人将以前的研究扩展到其他几个HBL中, 并 指出所有源具有类似的结果: 同步辐射峰值能量和其曲率之间存在负相关^[20]. 除了高能研究, 从射电到光学的低能量观测也显示了类似的特征. Landau等人选取18个从射电 到光学的耀变体SED样本, 运用对数抛物线拟合, 除了3个不合适的样本外, 剩余15个样本的同步辐射峰值频率和曲率之间存在负相关^[21]. Rani等人拟合了10个BL Lac在高能和低能态从射电到光学的SED样本, 也发现同步辐射峰值频率和再率之间的负相关性可以在 发射电子的加速过程中得到解释^[23–26]. 因此, 要了解耀变体粒子加速和能量耗散机制, 对其曲率的研究是有必要的.

在过去几年中,虽然许多工作使用了大样本数据研究了耀变体的峰值频率、光度和 喷流辐射参数等性质^[27-30],却很少有人使用具有多波段SED的大型样本来研究耀变体 的曲率特性.直到最近,Chen^[26](以下简称C14)研究了耀变体能量分布的曲率特性,他 们的研究与先前的结果一致^[31],对不同时期的单个源或者小样本,同步辐射频率和其 曲率之间的相关性与随机加速模型是一致的^[26,31].然而,由于样本不够大,FSRQ和BL Lac没有分开调查.Xue等人也通过大型样本研究峰值频率和曲率之间相关性^[32].而许 多作者提出FSRQ和BL Lac的物理性质存在一些差异^[33-34].因此,必须研究不同子类的 光谱能量分布的曲率性质.

自从发射费米卫星以来, BL Lac的研究进入了一个新时代^[35-36],由于大天区望远镜(LAT)在0.1–100 GeV能量范围内比EGRET (Energetic Gamma-Ray Experiment Telescope)的灵敏度高20倍,LAT经过几年的运行,探测并发现了上千个具有伽马射线辐射的耀变体.仅仅3 yr就发布了3个重要的AGN星表(分别是: The LAT Bright AGN Sample,简称LBAS^[35]; The First LAT AGN Catalog,简称1LAC^[37]; The Second LAT AGN Catalog,简称2LAC^[38]).在本文中,我们收集Fermi耀变体多波段准同时性观测数据,同步辐射成分和IC散射的SED分别通过对数抛物线拟合,得到同步辐射和IC散射的曲率.并且分别研究了FSRQ和BL Lac的光谱能量分布的曲率性质.本文取哈勃常数 $H_0 = 75 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$,物质能量密度 $\Omega_m = 0.3$,无量纲字宙学常数 $\Omega_{\Lambda} = 0.7$.

2 样本

首先, 基于Fermi/LAT的数据我们收集了48个LBAS耀变体从射电到伽马射线

的多波段准同时性光谱数据^[31].这48个LBAS耀变体是C14的样本,在这个样本中, 有5个样本(0FGL J0050.5-0928、0FGL J0516.2-6200、0FGL J0712.9+5034、0FGL J1248.7+5811、0FGL J1543.1+6130)未测量红移.因此,我们使用已知红移的43个源 作为我们样本的一部分.其次,2LAC包括886个清洁样本,其中包括395个BL Lac、 310个FSRQ、157个未知类型的候选耀变体、8个非耀变体AGN、4个窄线Seyfert1 (NLS1)和10个其他类型的AGN和2个星爆星系^[37-39].利用ASDC SED Builder (一个 由ASI Science Data Center开发的在线SED拟合工具)拟合了所有样本的全波段同 时性的SED^[40].部分源的SED如图1所示,红点代表由Planck、Wise、Swift和Fermi (2009年8月至2010年6月)等望远镜观测到的耀变体多波段准同时性观测数据,灰色代表 其他观察结果.



图 1 ASDC SED Builder收集的Fermi耀变体的SED. 红点是准同时性观测数据, 灰色表示其他观测值. 拟合参数如 表1所示.

Fig. 1 The SEDs of Fermi blazars collected by using ASDC SED Builder. The red points are the quasi-simultaneous data, while the grey ones represent other observations. All the fitting parameters are presented in Table 1.

Name (2FGL)	Class	N	b_{sy}	$\lg \left[\left(u_{ m p}^{ m sy} ight)^{ m obs} / m Hz ight]$	$\frac{\log\left[\left(\nu f_{\nu}\right)_{\rm p}^{\rm sy}\right]}{\left({\rm erg\cdot cm^{-2}\cdot \rm s^{-1}}\right)}$	$(\chi_r^2/\mathrm{dof})_{\mathrm{sy}}$	p_{IC}	$_{ m lg} \left[\left(u_{ m p}^{ m IC} ight)^{ m obs} / { m Hz} ight]$	$\log \left[\left(u f_{ u} ight)_{ m p}^{ m IC} / (m erg \cdot m cm^{-2} \cdot m s^{-1}) ight]$	$(\chi^2_r/{\rm dof})_{\rm IC}$	$\log\left[\left(u_{ m p}^{\prime m sy} ight)^{ m or}/{ m Hz} ight]$
$10841.6 + 7052^{*}$	FSRQ	2.172	0.241 ± 0.025	12.118 ± 0.035	-11.328 ± 0.054	0.180	0.064 ± 0.003	19.589 ± 0.079	-10.588 ± 0.053	0.327	12.44
$11146.8 - 3812^{*}$	FSRQ	1.048	0.134 ± 0.032	12.822 ± 0.123	-11.499 ± 0.054	0.196	$0.058 {\pm} 0.003$	21.850 ± 0.053	-11.296 ± 0.024	0.101	12.83
J1635.2 + 3810	FSRQ	1.813091	0.172 ± 0.023	12.298 ± 0.048	-11.261 ± 0.052	0.312	0.096 ± 0.012	21.947 ± 0.194	-10.294 ± 0.071	0.345	12.76
J1911.1 - 2005	FSRQ	1.119	0.195 ± 0.037	$12.801 {\pm} 0.110$	-10.988 ± 0.096	0.341	0.111 ± 0.006	21.637 ± 0.042	-10.489 ± 0.078	0.419	12.865
$11924.8 - 2912^{*}$	FSRQ	0.352627	0.181 ± 0.008	12.494 ± 0.024	-10.568 ± 0.016	0.197	0.069 ± 0.008	21.260 ± 0.133	-10.782 ± 0.049	0.240	12.52
J2056.2 - 4715	FSRQ	1.489	0.206 ± 0.021	12.495 ± 0.040	-11.184 ± 0.044	0.201	0.082 ± 0.009	21.901 ± 0.157	-10.478 ± 0.052	0.211	12.795
$10957.7 + 5522^{*}$	FSRQ	0.89961	0.068 ± 0.003	14.031 ± 0.099	-11.674 ± 0.015	0.233	0.093 ± 0.014	24.023 ± 0.079	-10.727 ± 0.011	0.100	13.95
$11246.7 - 2546^{*}$	FSRQ	0.633	0.100 ± 0.012	$13.708{\pm}0.187$	-11.381 ± 0.034	0.471	0.092 ± 0.009	22.209 ± 0.143	-10.585 ± 0.038	0.391	13.24
$10948.8 \pm 4040^{*}$	FSRQ	1.249	$0.201 {\pm} 0.018$	12.236 ± 0.058	-11.779 ± 0.054	0.305	0.051 ± 0.009	21.858 ± 0.144	-11.722 ± 0.128	0.747	12.512
$11033.2 \pm 4117^{*}$	FSRQ	1.117	0.200 ± 0.016	12.600 ± 0.035	-11.356 ± 0.032	0.150	0.063 ± 0.005	21.963 ± 0.069	-11.357 ± 0.071	0.447	12.795
J1106.1 + 2814	FSRQ	0.843	0.250 ± 0.069	12.829 ± 0.155	-11.530 ± 0.095	0.309	0.053 ± 0.007	22.511 ± 0.160	-11.635 ± 0.077	0.503	13.04
$11112.4 \pm 3450^{*}$	FSRQ	1.949	0.191 ± 0.051	12.644 ± 0.173	-11.836 ± 0.073	0.184	0.075 ± 0.002	22.127 ± 0.040	-11.245 ± 0.031	0.193	12.9
$11124.2 \pm 2338^{*}$	FSRQ	1.549	0.184 ± 0.011	12.580 ± 0.067	-11.960 ± 0.047	0.183	0.057 ± 0.008	22.394 ± 0.179	-11.687 ± 0.098	0.619	12.62
J1224.9 + 2122	FSRQ	0.432	0.120 ± 0.020	14.198 ± 0.070	-10.722 ± 0.203	0.567	0.067 ± 0.009	22.814 ± 0.308	-10.070 ± 0.028	0.348	13.72
J1326.8 + 2210	FSRQ	1.4	$0.176 {\pm} 0.035$	12.545 ± 0.060	-11.834 ± 0.049	0.500	0.083 ± 0.006	21.778 ± 0.037	-11.063 ± 0.077	0.920	12.515
$J1358.1 {+}7644$	FSRQ	1.585	0.179 ± 0.010	12.432 ± 0.056	-12.183 ± 0.046	0.682	0.085 ± 0.001	21.901 ± 0.026	-11.437 ± 0.003	0.212	12.305
$11419.4 \pm 3820^{*}$	FSRQ	1.831	0.189 ± 0.021	12.500 ± 0.055	-11.858 ± 0.045	0.174	0.045 ± 0.001	21.951 ± 0.674	-11.802 ± 0.179	0.352	12.55
$11436.9 \pm 2319^{*}$	FSRQ	1.548	0.205 ± 0.037	12.325 ± 0.077	-11.892 ± 0.086	0.321	0.049 ± 0.003	22.155 ± 0.322	-11.611 ± 0.763	1.358	13.145
$J1549.5 \pm 0237$	FSRQ	0.414	0.198 ± 0.017	12.559 ± 0.044	-11.396 ± 0.023	0.099	0.074 ± 0.008	21.371 ± 0.045	-11.054 ± 0.112	0.348	13.151
$10921.9 + 6216^{*}$	FSRQ	1.119	0.278 ± 0.078	12.271 ± 0.111	-11.522 ± 0.168	1.147	0.061 ± 0.011	22.337 ± 0.223	-11.504 ± 0.113	0.703	12.865
$11043.1 + 2404^{*}$	FSRQ	0.559	0.282 ± 0.029	12.324 ± 0.033	-11.666 ± 0.045	0.189	0.036 ± 0.005	23.085 ± 0.120	-11.461 ± 0.005	0.739	12.576
$11208.8 + 5441^{*}$	FSRQ	1.344	0.184 ± 0.012	12.648 ± 0.091	-11.908 ± 0.043	0.195	$0.154 {\pm} 0.086$	22.400 ± 0.939	-11.118 ± 0.155	0.937	13.32
J1550.7 + 0526	FSRQ	1.422	0.183 ± 0.005	12.394 ± 0.025	-11.496 ± 0.018	0.126	0.070 ± 0.001	21.791 ± 0.038	-11.225 ± 0.003	0.375	12.837
$J1608.5 \pm 1029$	FSRQ	1.226	0.132 ± 0.042	12.993 ± 0.260	-11.547 ± 0.067	0.362	0.054 ± 0.003	21.850 ± 0.142	-11.511 ± 0.020	1.541	13.06
$11637.7 {+}4714^{*}$	FSRQ	0.735	$0.203 {\pm} 0.020$	12.739 ± 0.055	$-11.380{\pm}0.036$	0.159	0.080 ± 0.008	22.033 ± 0.120	-11.171 ± 0.066	0.356	13.175
J1709.7 + 4319	FSRQ	1.027	0.199 ± 0.026	13.106 ± 0.170	-11.769 ± 0.047	0.251	0.075 ± 0.006	21.790 ± 0.109	-11.098 ± 0.043	0.199	13.215
J1727.1 + 4531	FSRQ	0.717	0.195 ± 0.005	12.476 ± 0.008	-11.613 ± 0.011	0.053	0.110 ± 0.004	21.632 ± 0.026	-10.980 ± 0.053	0.314	13.005

58 卷

					Table 1	Continue	Ч				
Name (2FGL)	Class	ĸ	b_{sy}	$\log \left[\left(u_{\rm p}^{\rm sy} \right)^{\rm obs} / { m Hz} \right]$	$\frac{\log\left[\left(\nu f_{\nu}\right)_{\rm P}^{\rm sy}\right]}{/({\rm erg\cdot cm^{-2}\cdot {\rm s}^{-1}})}$	$(\chi^2_r/\operatorname{dof})_{\rm sy}$	b_{IC}	$\lim_{\mathbf{N}} \left[\left(\nu_{\mathbf{P}}^{\mathrm{IC}} \right)^{\mathrm{obs}} \right] / \mathbf{Hz}$	$\frac{\log\left[\left(\nu f_{\nu}\right)_{\rm P}^{\rm IC}\right]}{/({\rm erg\cdot cm^{-2}\cdot {\rm s}^{-1}})}$	$(\chi_{\rm r}^2/{ m dof})_{ m IC}$	$_{ m lg} \left[\left(u^{ m /sy}_{ m p} ight)^{ m obs} ight. / m Hz ight]$
$J1728.2 \pm 0429^{*}$	FSRQ	0.293	0.116 ± 0.035	13.271 ± 0.261	-11.445 ± 0.038	0.250	0.073 ± 0.013	21.347 ± 0.183	-11.090 ± 0.132	0.685	13.145
$J1734.3 + 3858^{*}$	FSRQ	0.976	$0.189 {\pm} 0.017$	$12.471 {\pm} 0.031$	-11.588 ± 0.034	0.128	$0.103 {\pm} 0.005$	21.959 ± 0.064	-10.893 ± 0.045	0.245	12.76
$J1740.2 + 5212^{*}$	FSRQ	1.381	$0.150 {\pm} 0.015$	13.114 ± 0.087	-11.376 ± 0.021	0.148	0.096 ± 0.018	21.710 ± 0.209	-10.909 ± 0.166	0.663	13.145
$J2211.9 + 2355^{*}$	FSRQ	1.125	$0.205 {\pm} 0.012$	$12.286 {\pm} 0.062$	-12.013 ± 0.068	0.230	0.039 ± 0.012	22.914 ± 0.625	-11.686 ± 0.111	0.582	11.92
J0057.9 + 3311	FSRQ	1.369	0.169 ± 0.027	12.832 ± 0.208	$-12.358{\pm}0.095$	0.303	0.076 ± 0.003	22.52 ± 0.050	-11.424 ± 0.001	0.538	12.935
$J0108.6 \pm 0135$	FSRQ	2.107	0.189 ± 0.017	12.320 ± 0.031	-11.356 ± 0.041	0.199	0.105 ± 0.003	21.973 ± 0.022	-10.542 ± 0.032	0.284	12.69
$J0113.7 + 4948^{*}$	FSRQ	0.389	0.154 ± 0.025	13.156 ± 0.109	$-11.503{\pm}0.026$	0.168	0.053 ± 0.008	21.417 ± 0.098	-11.428 ± 0.082	0.400	13.11
$J0532.7 \pm 0733$	FSRQ	1.254	0.160 ± 0.011	12.492 ± 0.057	-11.609 ± 0.031	0.190	0.093 ± 0.010	21.740 ± 0.120	-10.800 ± 0.097	0.403	12.557
$J0654.2 \pm 4514^{*}$	FSRQ	0.928	$0.187 {\pm} 0.012$	12.660 ± 0.082	-11.715 ± 0.039	0.249	$0.103 {\pm} 0.007$	21.905 ± 0.090	-10.900 ± 0.068	0.311	12.795
J2135.6 - 4959	FSRQ	2.181	$0.254 {\pm} 0.022$	12.321 ± 0.042	$-12.424{\pm}0.057$	0.145	0.097 ± 0.007	$21.836 {\pm} 0.084$	-11.295 ± 0.066	0.255	I
J2144.8 - 3356	FSRQ	1.361	$0.162 {\pm} 0.037$	12.948 ± 0.131	$-12.039{\pm}0.047$	0.221	0.069 ± 0.010	$22.874{\pm}0.290$	-11.373 ± 0.071	0.330	I
$J2148.2 \pm 0659$	FSRQ	0.99	0.084 ± 0.017	13.672 ± 0.324	-11.173 ± 0.054	0.459	0.079 ± 0.008	20.737 ± 0.071	-11.023 ± 0.078	0.286	I
$J2157.9 - 1501^{*}$	FSRQ	0.672	0.089 ± 0.020	13.652 ± 0.170	-11.618 ± 0.031	0.705	0.029 ± 0.019	$22.560{\pm}0.990$	-11.557 ± 0.134	0.713	I
$J2201.9\!-\!8335^*$	FSRQ	1.865	$0.157 {\pm} 0.008$	12.627 ± 0.057	-11.878 ± 0.025	0.140	0.117 ± 0.020	21.802 ± 0.224	-10.849 ± 0.201	0.795	I
J2229.7 - 0832	FSRQ	1.56	$0.200 {\pm} 0.031$	12.498 ± 0.050	-11.326 ± 0.062	0.213	0.109 ± 0.010	21.455 ± 0.079	-10.498 ± 0.093	0.394	I
J2258.0 - 2759	FSRQ	0.926	0.115 ± 0.014	13.033 ± 0.102	-11.239 ± 0.023	0.142	0.082 ± 0.012	21.682 ± 0.144	-10.910 ± 0.116	0.370	I
J0635.5 - 7516	FSRQ	0.653	$0.152 {\pm} 0.018$	12.774 ± 0.091	-11.051 ± 0.037	0.170	0.070 ± 0.010	$20.780{\pm}0.122$	-10.839 ± 0.092	0.337	I
$J0601.1 - 7037^{*}$	FSRQ	2.409	$0.275 {\pm} 0.058$	12.782 ± 0.181	-11.647 ± 0.128	0.781	0.101 ± 0.011	$22.064{\pm}0.134$	-10.968 ± 0.091	0.472	I
$_{ m J0501.2-0155^{*}}$	FSRQ	2.291	$0.164 {\pm} 0.029$	12.852 ± 0.112	-11.566 ± 0.048	0.238	0.074 ± 0.012	21.663 ± 0.198	-11.318 ± 0.124	0.545	I
J0137.6 - 2430	FSRQ	0.835	$0.221 {\pm} 0.018$	12.486 ± 0.028	-11.209 ± 0.042	0.186	$0.043 {\pm} 0.016$	21.236 ± 0.285	-11.379 ± 0.162	0.425	I
J0217.5 - 0813	FSRQ	0.607	0.169 ± 0.014	12.847 ± 0.110	-11.918 ± 0.045	0.297	0.041 ± 0.011	21.853 ± 0.322	-11.687 ± 0.108	0.423	I
J0245.9 - 4652	FSRQ	1.385	$0.271 {\pm} 0.031$	12.707 ± 0.027	$-11.400{\pm}0.061$	0.236	0.100 ± 0.012	21.627 ± 0.116	$-10.651 {\pm} 0.116$	0.429	I
$J0252.7 - 2218^{*}$	FSRQ	1.419	$0.173 {\pm} 0.020$	12.714 ± 0.101	-11.987 ± 0.057	0.323	0.095 ± 0.012	22.032 ± 0.177	-10.737 ± 0.060	0.310	I
J0310.0 - 6058	FSRQ	1.479	$0.192 {\pm} 0.010$	$12.566 {\pm} 0.019$	-11.743 ± 0.023	0.126	0.069 ± 0.012	22.160 ± 0.253	-11.413 ± 0.112	0.447	I
$J0339.4\!-\!0144^*$	FSRQ	0.852	0.119 ± 0.022	13.042 ± 0.156	$-11.514{\pm}0.036$	0.182	$0.081 {\pm} 0.006$	$21.285 {\pm} 0.110$	-11.050 ± 0.072	0.464	I
J0413.5 - 5332	FSRQ	1.024	$0.151 {\pm} 0.018$	13.116 ± 0.158	$-12.563{\pm}0.043$	0.271	0.063 ± 0.013	22.660 ± 0.400	-11.517 ± 0.104	0.504	I
$J0442.7 - 0017^{*}$	FSRQ	0.844	$0.146 {\pm} 0.038$	12.793 ± 0.145	-11.630 ± 0.067	0.221	0.115 ± 0.010	$21.674 {\pm} 0.119$	-10.463 ± 0.063	0.367	I
J0453.1 - 2807	FSRQ	2.56	$0.186 {\pm} 0.009$	12.315 ± 0.039	-11.477 ± 0.032	0.156	$0.084{\pm}0.013$	21.306 ± 0.123	-10.843 ± 0.131	0.422	I

58 卷

表1续

罗双玲等: Fermi耀变体能谱分布曲率特性研究

Name (2FGL)	Class	N	$b_{\rm sy}$	$\lg \left[\left(u_{ m p}^{ m sy} ight)^{ m obs} / m Hz ight]$	$\log\left[\left(u f_{ u} ight)_{ m p}^{ m sy}/({ m erg\cdot cm^{-2}\cdot s^{-1}}) ight]$	$(\chi^2_r/{\rm dof})_{\rm sy}$	p_{IC}	$\lg \left[\left(u_{ m P}^{ m IC} ight)^{ m obs} / m Hz ight]$	$\log \left[\left(u f_{ u} ight)_{ m p}^{ m IC} /({ m erg} \cdot { m cm}^{-2} \cdot { m s}^{-1}) ight]$	$(\chi^2_r/\mathrm{dof})_{\mathrm{IC}}$	$\log \left[egin{pmatrix} u^{ m sy}_{ m p} & \ u^{ m sy}_{ m p} \ u^{ m sy} & \ u^{ m sy} \ u^{ m sy} \end{array} ight]$
$J1553.5{+}1255{*}$	FSRQ	1.29	0.188 ± 0.014	12.355 ± 0.062	-11.926 ± 0.062	0.284	0.091 ± 0.012	22.403 ± 0.192	-10.952 ± 0.091	0.531	I
$J0750.6 \pm 1230$	FSRQ	0.889	0.187 ± 0.010	12.495 ± 0.055	-11.186 ± 0.030	0.230	0.057 ± 0.006	21.402 ± 0.087	-11.207 ± 0.064	0.172	12.795
$J0830.5 \pm 2407$	FSRQ	0.94	0.137 ± 0.025	12.889 ± 0.133	-11.572 ± 0.050	0.204	0.067 ± 0.006	21.195 ± 0.027	-11.150 ± 0.091	0.291	12.53
$J0909.1 \pm 0121$	FSRQ	1.024	0.136 ± 0.033	13.079 ± 0.253	-11.517 ± 0.061	1.658	0.111 ± 0.013	21.299 ± 0.042	-10.613 ± 0.183	0.508	13.421
$J0739.2 \pm 0138$	FSRQ	0.189	0.112 ± 0.024	13.430 ± 0.374	-11.366 ± 0.047	0.359	0.102 ± 0.010	22.209 ± 0.141	-10.874 ± 0.086	0.427	14.05
$J1014.1{+}2306^{*}$	FSRQ	0.566	0.101 ± 0.040	13.395 ± 0.423	-11.757 ± 0.048	0.130	0.062 ± 0.020	21.424 ± 0.347	-11.496 ± 0.210	0.973	I
J1130.3 - 1448	FSRQ	1.184	0.110 ± 0.012	13.362 ± 0.055	-11.041 ± 0.052	0.167	0.104 ± 0.007	21.101 ± 0.053	-10.620 ± 0.068	0.265	I
J1152.4 - 0840	FSRQ	2.367	0.171 ± 0.032	12.317 ± 0.044	-11.764 ± 0.076	0.206	0.048 ± 0.017	23.128 ± 0.808	-11.536 ± 0.110	0.900	I
J1337.7 - 1257	FSRQ	0.539	0.158 ± 0.028	12.609 ± 0.080	-11.109 ± 0.055	0.161	0.051 ± 0.014	21.394 ± 0.212	-11.179 ± 0.141	0.404	I
J1408.8 - 0751	FSRQ	1.494	0.133 ± 0.041	12.927 ± 0.213	-11.764 ± 0.059	0.244	0.074 ± 0.012	21.980 ± 0.215	-11.191 ± 0.118	0.356	I
J1428.0 - 4206	FSRQ	1.522	0.159 ± 0.016	13.195 ± 0.090	-11.009 ± 0.019	0.144	0.055 ± 0.011	22.428 ± 0.331	-10.600 ± 0.092	0.346	I
$J1510.9 - 0545^{*}$	FSRQ	1.185	0.169 ± 0.028	12.710 ± 0.097	-11.623 ± 0.053	0.172	0.104 ± 0.015	21.630 ± 0.168	-10.815 ± 0.150	0.683	I
$J1625.7 - 2526^*$	FSRQ	0.786	0.199 ± 0.034	12.633 ± 0.066	-11.269 ± 0.057	0.174	0.111 ± 0.011	21.813 ± 0.110	-10.492 ± 0.096	0.484	I
J1626.1 - 2948	FSRQ	0.815	0.160 ± 0.033	12.565 ± 0.063	-11.418 ± 0.060	0.245	0.075 ± 0.012	21.429 ± 0.128	-10.943 ± 0.121	0.380	I
J1733.1 - 1307	FSRQ	0.902	0.126 ± 0.030	12.836 ± 0.156	-11.172 ± 0.056	0.192	0.090 ± 0.011	21.456 ± 0.099	-10.715 ± 0.108	0.285	I
J1954.6 - 1122	FSRQ	0.683	0.138 ± 0.033	12.770 ± 0.111	-11.800 ± 0.050	0.207	0.067 ± 0.011	22.380 ± 0.272	-11.109 ± 0.096	0.434	I
J1958.2 - 3848	FSRQ	0.63	0.087 ± 0.031	13.542 ± 0.452	-11.396 ± 0.027	0.220	0.083 ± 0.010	21.592 ± 0.122	-10.872 ± 0.099	0.391	I
J1959.1 - 4245	FSRQ	2.178	0.235 ± 0.048	12.720 ± 0.090	-11.762 ± 0.069	0.270	0.107 ± 0.007	21.764 ± 0.072	-10.935 ± 0.068	0.523	I
$J2000.8\!-\!1751^*$	FSRQ	0.65	0.231 ± 0.029	12.586 ± 0.051	-11.332 ± 0.057	0.193	0.068 ± 0.012	21.922 ± 0.229	-11.072 ± 0.113	0.487	I
$J0334.2 - 4008^{*}$	BL Lac	1.445	$0.177 {\pm} 0.010$	$12.876{\pm}0.036$	-11.153 ± 0.024	0.147	$0.054{\pm}0.002$	21.936 ± 0.049	$-10.951 {\pm} 0.019$	0.091	13.04
$J1057.0\!-\!8004^*$	BL Lac	0.581	$0.158 {\pm} 0.021$	$12.974{\pm}0.099$	-11.116 ± 0.034	0.139	$0.068 {\pm} 0.014$	22.044 ± 0.250	-11.174 ± 0.115	0.607	12.795
J1800.5 + 7829	BL Lac	0.68	$0.136 {\pm} 0.005$	13.577 ± 0.035	-10.844 ± 0.013	0.099	0.062 ± 0.009	22.056 ± 0.222	-10.915 ± 0.056	0.254	13.32
J0958.6 + 6533	BL Lac	0.368	$0.225 {\pm} 0.021$	13.092 ± 0.072	-11.003 ± 0.028	0.244	0.044 ± 0.013	21.461 ± 0.054	-11.236 ± 0.185	0.352	13.355
$J1001.0 + 2913^{*}$	BL Lac	0.558	$0.180 {\pm} 0.017$	$13.364{\pm}0.183$	-11.481 ± 0.041	0.486	0.055 ± 0.013	$22.062{\pm}0.396$	-11.524 ± 0.099	0.618	13
J1806.7 + 6948	BL Lac	0.051	$0.121 {\pm} 0.013$	14.287 ± 0.183	-10.740 ± 0.050	0.289	0.059 ± 0.013	22.157 ± 0.298	-11.013 ± 0.077	0.332	14.67
$J2031.7 \pm 1223^{\dagger}$	BL Lac	1.215	$0.170 {\pm} 0.016$	12.420 ± 0.028	-11.666 ± 0.036	0.135	$0.051 {\pm} 0.030$	23.056 ± 1.541	-11.453 ± 0.070	0.532	12.608
$J2244.1 \pm 4059$	BL Lac	1.171	$0.310 {\pm} 0.045$	12.647 ± 0.116	-11.274 ± 0.129	0.617	0.077 ± 0.006	$22.138 {\pm} 0.070$	-11.084 ± 0.071	0.474	12.71
*UV40+4 40701	DIIS	001 1		010 010 01	0000 0 - 0000 1 1	101 0	00000-10000				

58 卷

表1续

天 文 学 报

					¥ .	之 读 ·					
					Table 1	Continued					
Name (2FGL)	Class	N	$b_{\rm sy}$	$\log\left[\left(u_{ m p}^{ m sy} ight)^{ m obs}/{ m Hz} ight]$	$\frac{\log\left[\left(\nu f_{\nu}\right)_{\rm p}^{\rm sy}\right]}{/({\rm erg\cdot cm^{-2}\cdot {\rm s}^{-1}})}$	$(\chi_r^2/\mathrm{dof})_{\rm sy}$	p_{IC}	$_{ m lg} \left[\left(u_{ m p}^{ m IC} ight)^{ m obs} / { m Hz} ight]$	$\log \left[\left(\nu f_{ u} ight)_{ m p}^{ m IC} / ({ m erg} \cdot { m cm}^{-2} \cdot { m s}^{-1}) ight]$	$(\chi^2_r/{\rm dof})_{\rm IC}$	$_{ m 1g} \left[\left(u_{ m p}^{ m 'sy} ight)^{ m obs} / { m Hz} ight]$
J0757.1 + 0957	BL Lac	0.266	0.170 ± 0.020	13.048 ± 0.095	-11.220 ± 0.029	0.148	0.046 ± 0.004	21.354 ± 0.070	-11.190 ± 0.040	0.153	13.39
$J0811.4 \pm 0149$	BL Lac	1.148	0.174 ± 0.038	12.979 ± 0.305	-11.73 ± 0.115	0.493	0.042 ± 0.007	23.127 ± 0.271	-11.533 ± 0.072	0.373	12.895
$J0831.9 \pm 0429$	BL Lac	0.174	0.103 ± 0.007	14.443 ± 0.127	-10.873 ± 0.025	0.244	0.056 ± 0.013	22.565 ± 0.477	-10.979 ± 0.065	0.225	13.64
J2133.8 - 0154	BL Lac	1.285	0.182 ± 0.025	12.734 ± 0.065	-11.226 ± 0.046	0.178	0.063 ± 0.003	21.44 ± 0.108	-11.274 ± 0.012	0.552	I
J2243.2 - 2540	BL Lac	0.297	0.137 ± 0.024	13.164 ± 0.090	-11.664 ± 0.117	0.440	0.060 ± 0.011	22.453 ± 0.309	-11.380 ± 0.092	0.390	I
J2315.7 - 5014	BL Lac	0.808	0.167 ± 0.013	13.039 ± 0.074	-11.523 ± 0.040	0.251	0.063 ± 0.002	22.290 ± 0.039	-11.499 ± 0.001	0.409	I
$J0516.8 - 6207^{*}$	BL Lac	1.3	0.211 ± 0.018	12.664 ± 0.072	-11.534 ± 0.044	0.272	0.070 ± 0.005	22.215 ± 0.113	-11.114 ± 0.046	0.222	I
$J0526.1\!-\!4829^*$	BL Lac	1.3	0.240 ± 0.039	12.476 ± 0.102	-11.638 ± 0.100	0.467	0.051 ± 0.017	22.820 ± 0.628	-11.460 ± 0.117	0.766	I
$J0037.8 \pm 1238$	BL Lac	0.089	0.111 ± 0.007	14.877 ± 0.106	-11.526 ± 0.068	0.602	0.016 ± 0.054	22.723 ± 0.495	-11.533 ± 0.105	0.617	15.37
$J0153.9 \pm 0823^{\dagger}$	BL Lac	0.681	0.090 ± 0.004	15.134 ± 0.125	-11.348 ± 0.025	0.265	0.011 ± 0.018	24.635 ± 2.005	-11.419 ± 0.072	0.381	15.095
$J0159.5 \pm 1046$	BL Lac	0.195	0.133 ± 0.013	15.501 ± 0.044	-11.533 ± 0.055	0.186	I	I	I	I	15.95
J0238.6 - 3117	BL Lac	0.232	0.078 ± 0.006	16.009 ± 0.197	-11.356 ± 0.057	0.495	I	I	I	I	16.16
J0303.4 - 2407	BL Lac	0.260	$0.151 {\pm} 0.003$	14.979 ± 0.028	-10.826 ± 0.016	0.173	I	I	I	I	15.314
J0315.8 - 2611	BL Lac	0.443	0.085 ± 0.003	16.060 ± 0.123	-11.465 ± 0.038	0.263	I	I	I	I	15.985
$J0319.6 \pm 1849$	BL Lac	0.190	0.098 ± 0.019	16.517 ± 0.191	-11.306 ± 0.069	0.327	I	I	I	I	16.91
J0543.9 - 5532	BL Lac	0.273	0.060 ± 0.015	17.387 ± 0.349	-11.083 ± 0.046	0.373	I	I	I	I	16.47
J0630.9 - 2406	BL Lac	1.238	0.092 ± 0.005	15.358 ± 0.111	-11.258 ± 0.035	0.36	I	I	I	I	15.15
J0650.7 + 2505	BL Lac	0.203	0.075 ± 0.006	16.429 ± 0.208	-11.073 ± 0.057	0.392	I	I	I	I	16.34
J0710.5 + 5908	BL Lac	0.125	0.077 ± 0.008	17.502 ± 0.145	-10.875 ± 0.044	0.238	I	I	I	I	16.94
J0805.3 + 7535	BL Lac	0.121	0.089 ± 0.012	16.701 ± 0.121	-11.003 ± 0.028	0.252	I	I	I	I	15.35
$J0847.0 - 2334^{\dagger}$	BL Lac	0.059	0.085 ± 0.007	15.461 ± 0.162	-11.347 ± 0.068	0.68	0.011 ± 0.025	21.202 ± 0.346	-11.409 ± 0.104	0.518	15.6
J0909.2 + 2308	BL Lac	0.223	0.124 ± 0.012	15.264 ± 0.072	-11.727 ± 0.042	0.244	I	I	I	I	15.332
J1053.6 + 4928	BL Lac	0.140	0.077 ± 0.010	15.964 ± 0.349	-11.761 ± 0.111	0.838	I	I	I	I	15.15
J1117.2 + 2013	BL Lac	0.138	0.084 ± 0.005	15.774 ± 0.186	-11.248 ± 0.052	0.396	I	I	I	I	16.03
$J1136.3 \pm 6736$	BL Lac	0.136	0.051 ± 0.006	17.877 ± 0.429	-11.296 ± 0.098	0.525	I	I	I	I	16.305
J1154.0 - 0010	BL Lac	0.254	0.075 ± 0.007	16.475 ± 0.300	$-11.790{\pm}0.076$	0.384	I	I	I	I	16.47
$J1204.2 \pm 1144$	BL Lac	0.296	0.063 ± 0.006	$17.194{\pm}0.364$	-11.595 ± 0.080	0.362	I	I	I	I	16.2
J1204.3 - 0711	BL Lac	0.184	0.121 ± 0.013	14.670 ± 0.236	-11.409 ± 0.112	0.706	I	I	I	I	15.05

57-7

表 1

罗双玲等: Fermi耀变体能谱分布曲率特性研究

		$\log\left[\left(u_{\rm p}^{\prime \rm sy}\right)^{ m obs} / m Hz ight]$	15.205	16.59	14.9	15.04	17.222	15.038	15.65	16.823	16.061	15.975	15.02	15.535	15.92	15.685	15.355	15.76	16.67	15.7
		$(\chi^2_r/dof)_{IC}$	I	I	0.318	I	I	0.718	I	I	I	I	I	0.583	ļ	0.445	I	I	I	I
		$\frac{\log\left[\left(\nu f_{\nu}\right)_{\rm P}^{\rm IC}\right.}{/({\rm erg\cdot cm^{-2}\cdot {\rm s}^{-1}})\right]}$	I	I	-11.511 ± 0.063	I	I	-11.528 ± 0.117	I	I	I	I	I	-11.299 ± 0.084	I	-11.370 ± 0.064	I	I	I	I
		$\lim_{\mathbf{lg}} \left[\begin{pmatrix} \nu_{\mathbf{l}}^{\mathrm{IC}} \\ \nu_{\mathbf{p}}^{\mathrm{obs}} \end{pmatrix} \right] \\ /\mathrm{Hz} \right]$	I	I	24.681 ± 0.968	I	I	22.699 ± 0.698	I	I	I	I	I	23.199 ± 0.534	I	22.630 ± 0.238	I	I	I	I
	_	p_{IC}	I	I	0.008 ± 0.031	I	ļ	0.018 ± 0.042	I	I	I	I	I	0.015 ± 0.058	ļ	0.007 ± 0.055	I	I	ļ	I
续	Continued	$(\chi^2_r/{\rm dof})_{\rm sy}$	0.114	0.675	0.332	0.427	0.208	0.302	0.333	0.36	0.398	0.578	0.793	0.265	0.294	0.332	0.445	0.432	0.267	0.56
表	Table 1	$\frac{\log\left[\left(\nu f_{\nu}\right)_{\rm p}^{\rm sy}\right]}{\left({\rm erg\cdot cm^{-2}\cdot s^{-1}}\right)}$	-10.929 ± 0.015	-11.095 ± 0.056	-11.604 ± 0.049	-11.542 ± 0.065	-11.041 ± 0.039	-11.571 ± 0.035	-10.911 ± 0.045	-11.624 ± 0.057	-11.179 ± 0.046	-11.072 ± 0.128	-11.792 ± 0.078	-11.447 ± 0.027	-11.000 ± 0.031	-11.374 ± 0.035	-11.726 ± 0.051	-11.793 ± 0.050	-11.583 ± 0.048	-11.797 ± 0.078
		$\log \left[\left(u_{\rm p}^{\rm sy} ight)^{ m obs} / { m Hz} ight]$	14.798 ± 0.041	16.359 ± 0.116	14.311 ± 0.075	14.423 ± 0.150	17.243 ± 0.159	14.798 ± 0.069	15.743 ± 0.149	16.407 ± 0.220	16.454 ± 0.226	16.370 ± 0.580	15.437 ± 0.222	14.879 ± 0.066	15.523 ± 0.068	15.510 ± 0.126	16.452 ± 0.252	15.447 ± 0.162	16.524 ± 0.225	15.445 ± 0.249
		b_{sy}	0.103 ± 0.003	0.077 ± 0.003	0.137 ± 0.005	0.098 ± 0.007	0.067 ± 0.002	0.118 ± 0.004	0.089 ± 0.005	0.070 ± 0.005	0.067 ± 0.005	0.073 ± 0.011	0.084 ± 0.008	0.115 ± 0.004	0.102 ± 0.004	0.095 ± 0.005	0.067 ± 0.006	$0.083 {\pm} 0.006$	0.067 ± 0.005	0.075 ± 0.008
		N	0.130	0.182	0.691	1.600	0.129	0.396	0.065	0.702	0.192	0.055	0.098	0.274	0.174	0.059	0.163	0.479	0.449	0.149
		Class	BL Lac	BL Lac	BL Lac	BL Lac	BL Lac	BL Lac	BL Lac	BL Lac	BL Lac	BL Lac	BL Lac	BL Lac	BL Lac	BL Lac	BL Lac	BL Lac	BL Lac	BL Lac
		Name (2FGL)	J1217.8 + 3006	J1221.3 + 3010	$J1309.4{\pm}4304^{\dagger}$	J1312.4 - 2157	$J1428.6 \pm 4240$	$J1440.9 \pm 0611$	J1443.9 - 3908	J1518.0 + 6526	J1548.8 - 2251	$J1728.2 \pm 5015$	$J2322.6 \pm 3435$	J2341.7 + 8016	J2324.7 - 4042	J2323.8 + 4212	$J2314.0 \pm 1446$	J2258.8 - 5524	J2131.6 - 0914	J2108.7-0246

57-8

总的来说,我们获得了包含43(来自C14)+129个(我们自己收集的样本)清洁的Fermi 耀变体样本(97 FSRQ和75 BL Lac),所有的源都测量了红移.图2显示的是样本的红 移分布,它与文献[37]的图13相似.通过Kolmogorov-Smirnov (K-S)检验,FSRQ和BL Lac检验结果分别为p = 0.993、p = 0.728.得到的样本和2LAC之间的红移分布没有显 著不同,这表明选择效应比较弱.此外,红移对于一些计算是重要的,由于BL Lac的发射 谱线特征不易确定,因此对已知红移的样本选择存在困难,在2LAC中56%的BL Lac没有 测量红移^[38].在样本选择过程中,我们只考虑红移测量数据可用的源.Giommi等人提出 了一个新的概念,他们的模拟意味着在2LAC中没有测量到红移的BL Lac的红移远大于 已测得红移的源,其值在0.5-2之间,峰值在1左右^[8-9].Shaw等^[41]提供了134个BL Lac红 移值的约束条件:样本中上限受到Ly- α 吸收线限制,下限受到54个没有检测到寄主星系 的子样本限制,54个样本的红移范围非常相似,并且中值在z = 1.2的高红移处^[41-42].因 此,我们的BL Lac样本选择的是低红移样本,可能导致BL Lac的结果存在偏差.在第4节 中我们会间接证明,虽然选择的样本存在偏差,但分析结果仍然普遍有效.



Fig. 2 The distribution of redshift

3 拟合过程

我们采用对数抛物线法, 即lg $\nu f_{\nu} = -b(\lg \nu - \lg \nu_p)^2 + \lg \nu_p f_{\nu_p}$, 分别拟合同步辐射成分和IC散射成分的准同时SED^[11,26,29,43]. 对于一些耀变体, 没有准同时性观测数据来较好地约束两个分量, 因此我们在拟合中添加其他观测数据, 最小二乘法用于确定拟合参数. 首先, 对于43个LBAS耀变体, C14使用相同的方法提供了拟合参数. 因此, 我们直接使用43个源拟合参数. 在他的工作中, 有20个耀变体的IC散射值与我们

的IC散射值存在较大差异,因此在以下关于IC散射的分析中排除这20个源^[26].其次,对于IC散射,有39个源(33个FSRQ和6个BL Lac)不添加准同时性数据约束样本.由于IC散射数据的误差通常远大于同步辐射数据,因此IC散射的参数可能是不可靠的.其中还有4个耀变体的IC散射曲率值和误差明显大于其他的源,31个BL Lac的IC散射没有高质量的观测数据.由于上述原因,在以下关于IC散射的分析中,我们排除了上述74个耀变体(33个FSRQ和41个BL Lac).详细信息如表1所示.

Ackermann等人最近发布了3LAC (the 3rd LAT AGN Catalog), 他们采用3次多项 式拟合非同时性SED来估算同步辐射峰值频率^[42].从文献[42]的3LAC中得到92个耀变 体,其中包括40个FSRQ和52个BL Lac (参见表1)的同步辐射峰值频率值.比较他们估 计的同步辐射峰值频率值与我们的频率值,结果如图3所示,左边是FSRQ,右边是BL Lac, 虚线代表观测值与理论值完全相同, 实线是最佳的拟合曲线, FSRQ和BL Lac的 斜率分别为0.874和1.033 (对于FSRQ和BL Lac, 相关系数分别为0.77和0.93; Pearson检 验的p值分别为 $p = 4.91 \times 10^{-9}$ 和 $p < 10^{-20}$). 结果表明: 我们的估计值与文献[42]类 似. 但是值得注意的是,我们估计的BL Lac的同步辐射峰值频率多数大于文献[42]中 的峰值频率, FSRQ的同步辐射峰值频率小于其峰值频率. 不同的拟合方法将导致估 计值存在差异, Ackermann等人认为当使用非同时性多波段数据估计SED时, 低态下的 源数据将带来显著的影响^[42].由热辐射/吸积盘辐射估算的FSRQ同步辐射峰值频率 可能偏高,而仅考虑寄主星系的辐射又可能低估BL Lac的同步辐射峰值频率[44].大多 数源的准同时性多波段数据由Fermi卫星在其活跃状态时收集.此时,来自相对论喷流 辐射的影响占主导, 而热辐射/吸积盘辐射和寄主星系的影响是次要的. 峰值频率可通 $过\nu_{\rm p}^{\rm sy,IC} = (1+z) \left(\nu_{\rm p}^{\rm sy,IC}\right)^{\rm obs}$ 计算,其中z是源的红移.在以下分析中,在AGN样本中指 示所有值, 当观测到AGN样本变换时, 曲率b不变.



图 3 拟合的同步辐射峰值频率和Ackermann et al.^[42]比较, 左边是FSRQ, 右边是BL Lac, 虚线代表观测值与理论值相同, 实线是最佳的拟合曲线.

Fig. 3 The comparisons between the fitted synchrotron peak frequency and the results of Ackermann et al.^[42]. The left panel is FSRQs, and the right panel is BL Lacs. The dashed line means that the observational value is equal to the theoretical value, and the solid line is the best fitting results.

3.1 Pearson χ^2 检验

58 卷

在本文中我们使用Pearson χ²检验,该方法由英国统计学家Karl Pearson在1900年 首次提出^[45].设A代表某个类别的观察频数,E代表基于H₀计算出的期望频数,A与E之 差称为残差.显然,残差可以表示某一个类别观察值和理论值的偏离程度,但如果将残 差简单相加以表示各类别观察频数与期望频数的差别,则有一定的不足之处.因为残差 有正有负,相加后会彼此抵消,总和仍然为0,为此可以将残差平方后求和.另一方面,残 差大小是一个相对的概念,相对于期望频数为10时,20的残差非常大,但相对于期望频数 为1000时,20的残差就很小了.考虑到这一点,人们又将残差平方除以期望频数再求和, 以估计观察频数与期望频数的差别.相应公式如下:

$$\chi^2 = \sum \frac{(A-E)^2}{E} = \sum_{i=1}^k \frac{(A_i - E_i)^2}{E_i} = \sum_{i=1}^k \frac{(A_i - np_i)^2}{np_i} \quad (i = 1, 2, 3, \cdots, k), \quad (1)$$

其中, A_i 为i水平的观察频数, E_i 为i水平的期望频数, n为总频数, p_i 为i水平的期望概率. i水平的期望频数 E_i 等于总频数n与i水平的期望概率 p_i 的乘积, k为单元格数. 当n比较 大时, χ^2 统计量近似服从k - 1 (计算 E_i 时用到的参数个数)个自由度的卡方分布. 由卡 方的计算公式可知, 当观察频数与期望频数完全一致时, χ^2 值为0; 观察频数与期望频 数越接近, 两者之间的差异越小, χ^2 值越小; 反之, 观察频数与期望频数差别越大, 两 者之间的差异越大, χ^2 值越大. 换言之, 大的 χ^2 值表明观察频数远离期望频数, 即表明 远离假设. 小的 χ^2 值表明观察频数接近期望频数, 接近假设. 因此, χ^2 是观察频数与 期望频数之间距离的一种度量指标, 也是假设成立与否的度量指标. 如果 χ^2 值小, 研 究者就倾向于不拒绝 H_0 ; 如果 χ^2 值大, 就倾向于拒绝 H_0 . 至于 χ^2 在每个具体研究中究 竟要大到什么程度才能拒绝 H_0 , 则要借助于卡方分布求出所对应的p值来确定(详见网 站http://wiki.mbalib.com/wiki/卡方检验).

3.2 加速机制

两种不同的情况可以解释峰值频率和曲率之间的相关性,即统计模型和随机加速模型.第1种情况是统计加速,需要一个能量依赖加速概率(p_a)或分数加速增益波动(ε).对于能量依赖加速概率的情况,Massaro等^[16]表明:当加速效率与能量本身成反比时(在这种情况下 $p_a = g/\gamma^q \pi \varepsilon = \text{const.},其中g、q为正常数, \gamma为洛伦兹因子),运用对数抛物线定律,具有洛伦兹因子的电子能量分布为^[16,26]$

$$N(\gamma) \approx \text{const.} \left(\frac{\gamma}{\gamma_0}\right)^{-s-r \lg(\gamma/\gamma_0)},$$
(2)

其中, γ_0 是电子的初始洛伦兹因子, $r = q/(2\lg \varepsilon)$ 是电子的能量分布曲率, $s = -2r/q\lg(g/\gamma_0) - (q-2)/2$,电子通过同步加速产生的SED也近似于对数抛物线, 即lg $\nu f_{\nu} = -b(\lg \nu - \lg \nu_p)^2 + \lg \nu_p f_{\nu_p}$.使用 δ 近似,可以得出同步加速峰值频 率 $\nu_p \propto \gamma_p^2$ 和曲率 $b_{sy} = r/4$,其中, γ_p 为洛伦兹因子的最大值. Massaro等人提出,得到的 $b_{sy} = r/5$ 而不是 $b_{sy} = r/4^{[17]}$.

Tramacere等^[19]提供了另一种模型, 分数变换加速增益模型(The model of fluctuation of fractional acceleration gain). 表明当随机变量 ε 围绕着系统能量增益 $\overline{\varepsilon}$ 时($p_a =$ $1\pi\varepsilon = \varepsilon + \chi$,其中随机变量 χ 具有零平均值的概率密度函数,方差为 σ_{ε}^2),应用乘法的中心极限定理,得出加速 n_s 级后的电子能量分布为

$$N(\gamma) = \frac{N_0}{\gamma \sigma_\gamma \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln \gamma - \mu)^2}{2\sigma_\gamma^2}\right].$$
(3)

其中, $\sigma_{\gamma}^2 \approx n_{\rm s}(\sigma_{\varepsilon}/\bar{\varepsilon})^2 \pi \mu = \ln \gamma_0 + n_{\rm s}[\ln \bar{\varepsilon} - (\sigma_{\varepsilon}/\bar{\varepsilon})^2/2].$ 因此, 在lg $\gamma - \lg \gamma^3 N(\gamma)$ 区域中, 可以导出电子峰值能量和曲率: lg $\gamma_{\rm p} = \lg \gamma_0 + n_{\rm s} \lg \bar{\varepsilon} + 3/(4r)$ 、 $r = \ln 10/[2n_{\rm s}(\sigma_{\varepsilon}/\bar{\varepsilon})^2].$ 详见文献[26].在上述模型中,粒子总是加速的,能量增益波动是围绕系统能量增益的随机变量.在随机加速模型中,电子光谱与加速的关系由Fokker-Planck方程提供.扩散项作用于电子光谱模型^[18,46].上述模型可以生成电子能量分布作为对数幂律函数.电子能量的对数抛物线分布也近似SED的对数抛物线,这与拟合方法一致.基于δ函数近似的现象学方法可用于解决曲率参数和峰值频率之间的相关性^[16,19,26].根据准同步辐射理论^[47], 在δ函数近似上,C14提出了不同加速模型下同步辐射峰值频率及其曲率之间的关系.斜率B (1/b_{sy} = A' + B lg $\nu_{\rm p}^{\rm sp}$)的理论预测值为B = 5/2,10/3和2,分别属于能量依赖加速概率模型(The model of energy-dependent acceleration probability)、分数变换加速增益模型(The model of fluctuation of fractional acceleration gain)和随机加速模型(The model of fluctuation of fractional acceleration gain)和随机加速概率模型(The model of energy-dependent acceleration gain)和随机加速概率模型(The model of energy-dependent acceleration gain)和随机加速概率模型(The model of fluctuation gain)一致,而BL Lac的结果与能量依赖加速概率模型(The model of energy-dependent acceleration probability)一致.

在拟合时导出关系lg $\nu f_{\nu} = -b(\lg \nu - \lg \nu_p)^2 + \lg \nu_p f_{\nu_p} \pi 1/b_{sy} = A' + B \lg \nu_p^{sy}$. 如 果在 $\nu_1 \pi \nu_2$ 上的喷流密度分别为 $f_{\nu_1} \pi f_{\nu_2}$,得到

$$\begin{cases} \lg \nu_1 f_{\nu_1} = -b(\lg \nu_1 - \lg \nu_p)^2 + \lg \nu_p f_{\nu_p} \\ \lg \nu_2 f_{\nu_2} = -b(\lg \nu_2 - \lg \nu_p)^2 + \lg \nu_p f_{\nu_p} \end{cases},$$
(4)

根据关系1/ $b_{sy} = A' + B \lg \nu_p^{sy}$ 和宽带谱指数 $\alpha_{12} = -(\lg f_{\nu_2} - \lg f_{\nu_1})/(\lg \nu_2 - \lg \nu_1)$ 代入(4)式可以得到

$$\lg \nu_{\rm p}^{\rm sy} = \frac{A'(1 - \alpha_{12}) + (\lg \nu_2 + \nu_1)}{2 - B(1 - \alpha_{12})}.$$
(5)

根据上述方程,对于FSRQ上式变为:

$$\lg \nu_{\rm p}^{\rm sy} = \frac{-37.59(1 - \alpha_{12}) + (\lg \nu_2 + \nu_1)}{2 - 3.33(1 - \alpha_{12})},\tag{6}$$

对于BL Lac:

$$\lg \nu_{\rm p}^{\rm sy} = \frac{-27.34(1 - \alpha_{12}) + (\lg \nu_2 + \nu_1)}{2 - 2.48(1 - \alpha_{12})}.$$
(7)

4 结果与讨论

图4分别显示FSRQ和BL Lac的同步辐射曲率的分布.对于FSRQ,同步辐射曲率的范围为0.067-0.281,平均值为0.171;对于BL Lac,同步辐射曲率的范围为0.051-0.309,平

均值为0.121. 我们可以看到, FSRQ的同步辐射曲率大于BL Lac的平均值. 我们绘制同步辐射峰值频率与其曲率的关系如图5所示. 为方便与理论结果比较, 我们使用1/b_{sy}代替b_{sy}代表同步辐射曲率. 空心圆是FSRQ, 实心方块是BL Lac, 实线是C14最好的线性拟合, 虚线表示1σ置信带. 由图可知, 大部分数据点位于C14图3的拟合线之上. 这种情况在图5中更为明显. 原因是C14采用普通最小二乘法, 在回归分析中将测量误差用作负权重. 通常, 当自变量测量误差时, 回归斜率的普通最小二乘估计偏向零^[48-50]. 此外, 我们可以清楚地看到FSRQ和BL Lac具有显著不同的趋势. 因此, 我们有必要采用合理的回归分析方法, 而FSRQ和BL Lac应该分别进行调查.



Fig. 4 The distribution of synchrotron curvature



图 5 所有源的同步峰值频率与曲率的关系,空心圆是FSRQ,实心方块是BL Lac,实线是Chen^[26]最好的线性拟合,虚 线表示1 σ 置信带,竖线是lg $\nu_{p}^{sy} = 14.7$.

Fig. 5 The synchrotron peak frequency versus its curvature (in $1/b_{\rm sy}$) for all sources. The empty circles are FSRQs, the solid squares are BL Lacs, the solid line is the best linear fitting in Chen^[26], and the dashed lines indicate the 1 σ confidence bands. The vertical line is lg $\nu_{\rm p}^{\rm sy} = 14.7$.

Bayesian回归在天文学领域中受到重视,当考虑误差不变性回归时, Bayesian回归

优于其他方法. 通过使用该方法, 估计的回归系数近似为无偏的^[49,50], 我们在以下分析 中使用Bayesian回归来估计回归系数. 我们使用来自文献[50]中的似然方程和(18)式, 并 使用均匀分布作为先前的回归系数. 下面用Pearson检验来分析这个相关性分析是否可 信, 我们假设当置信度p < 0.05时, 相关性分析检验通过. 图6和图7分别拟合FSRQ和BL Lac同步辐射频率和曲率之间的关系图, 其中下面的子图是回归系数的概率密度函 数(PDF). 对于FSRQ, Pearson检验给出的置信度为 $p = 1.24 \times 10^{-14}$, 实线是最佳的拟 合曲线, 得到1/ $b_{sy} = -37.59^{+3.47}_{-3.11} + 3.33^{+0.24}_{-0.26} lg <math>\nu_{p}^{sy}$; 对于BL Lac, Pearson检验给出的置 信度为 $p < 10^{-20}$, 实线是最佳的拟合曲线, 得到1/ $b_{sy} = -27.34^{+1.39}_{-1.29} + 2.48^{+0.08}_{-0.08} lg <math>\nu_{p}^{sy}$. 结果表明同步峰值频率与在高置信水平处的曲率相关, 但FSRQ和BL Lac的相关关系是 不同的. 最后, 图8表示的是IC峰值频率和IC曲率(1/ b_{IC})的相关性. 单独考虑FSRQ和BL Lac, Pearson检验显示: FSRQ和BL Lac的置信度分别为p = 0.65和p = 0.85, 但都没有 显示出相关性.

Xue等^[32]的工作和我们的一样,同在C14的基础上选取了大样本研究峰值频率和 曲率之间的关系,但我们的拟合过程是不同的.在Xue等^[32]的结果中BL Lac的斜率值 与C14的结果(*B* = 2.04)都接近理论预测值2,说明BL Lac的加速机制与随机加速机制是 一致的.而我们BL Lac的斜率值接近理论值5/2,其加速模型与能量依赖加速概率模型 一致,与他们的结果存在偏差.其原因主要是BL Lac不能确定发射线,其红移不易测量, 而我们选择的又是低红移样本,导致我们的结果存在偏差.对于FSRQ的斜率,我们的结 果相对于Xue等^[32]的结果更加接近理论预测值10/3,说明FSRQ的加速机制与分数变换 加速增益模型一致.

图9表示同步辐射峰值频率和射电到光学多波段光谱指数之间的相关性,这些数据从3LAC^[40]中得到,射电频率和光学波长分别为5 GHz和5000 Å. 在这里,根据文献[8–9]的模拟结果,从观测得到的AGN样本中,我们假设对于具有未知红移BL Lac样本的红移值为1. 空心圆是FSRQ,空心方块是测量红移的BL Lac,绿色三角是没有测量红移的BL Lac,黑色实线从(6)式导出,黑色虚线从(7)式导出,并且基于C14的结果($A' = -22.08 \pi B = 2.04$)从(5)式导出红色虚线. 可以看到: FSRQ和BL Lac的数据的趋势一般与方程的预测一致,特别是没有测量红移的BL Lac显示相同的趋势. 这个结果证明我们的分析结果是有效的.

我们的结果不同于C14,在他们的工作中,由于样本不够大,没有单独考虑FSRQ和BL Lac,FSRQ的同步加速峰值频率值集中在低频区域,导致结果偏向BL Lac,这种偏差可以从图9中清楚地看出.此外,当考虑误差变量回归时,他们使用普通最小二乘法的斜率估计值具有明显的偏差.在图5和图9中,我们可以看到BL Lac的数据明显高于C14的结果.

同步加速峰值频率及其曲率之间的关系表明, 在加速过程中产生弯曲电子, 曲率随着加速的增加而减小. 我们的结果表明: FSRQ的同步辐射曲率的平均值大于BL Lac, 这表明BL Lac的加速效率高于FSRQ的加速效率. 应归因于FSRQ发出的喷流在BLR内耗散, 且冷却机制相对BL Lac更高效^[51-53]. BL Lac的两个子类可以通过峰值频率 ν_p^{sy} 区分: HBL峰值频率的对数lg (ν_p^{sy}) > 14.7, 而LBL峰值频率的对数lg (ν_p^{sy}) < 14.7. 一些作者发现HBL与FSRQ具有不同的SED特性, 但LBL与FSRQ类似^[54-56]. 在图5中, 竖线



图 6 FSRQ的同步峰值频率与曲率的关系,实线是最佳的拟合曲线,下图是回归系数的概率密度函数, A'是截距, B是斜率,虚线是中心线.

Fig. 6 The top panel is the synchrotron peak frequency versus its curvature for FSRQs, the solid line shows the best fitting result. The bottom panel is the PDF of regression coefficients. A' is the intercept, B is the slop, and the dashed line is the median line.

是lg (ν_p^{sy}) = 14.7.可以看到大多数FSRQ和LBL混合在一起,这表明FSRQ和LBL具有 类似的SED属性,这与先前的结果一致.在FSRQ和BL Lac的IC峰值频率和曲率之间 没有显著的相关性,这与C14和Xue^[32]的结果一致. IC散射的峰值频率可能是同步自 康普顿过程(synchrotron self-Compton,简称SSC)和外康普顿过程(external Compton, 简称EC)的组合,对于耀变体来说,IC散射可能位于Thomson区域,其他位于Klein-Nishina区域.Rybicki等^[47]发现:单个电子IC散射的固有光谱比同步加速光谱更宽.上 述原因导致IC散射更为复杂,因此,IC峰值频率与曲率之间没有显著的相关性.

5 总结

在本工作中,我们分别探讨了FSRQ和BL Lac能谱分布的曲率特性. 主要结果如下: FSRQ和BL Lac的同步辐射峰值频率与其在高置信度水平下的曲率呈负相关,但



图 7 上图是BL Lac的同步峰值频率与曲率的关系,实线是最佳的拟合曲线,下图是回归系数的PDF, A'是截距, B是斜率,虚线是中心线.

Fig. 7 The top panel is the synchrotron peak frequency versus its curvature for BL Lacs, the solid line shows the best fitting result. The bottom panel is the PDF of regression coefficients. A' is the intercept, B is the slop, and the dashed line is the median line.

是各自的相关关系是不同的. 通过比较观测结果和不同模型的理论预测, FSRQ的加速 机制与分数变换加速增益模型一致, 而BL Lac的加速机制与能量依赖加速概率模型一 致. FSRQ的同步辐射曲率的平均值大于BL Lac的同步辐射曲率的平均值, 这表明BL Lac的加速效率高于FSRQ的加速效率. 这归因于FSRQ的辐射流等离子体在BLR内耗散 且冷却机制更高效. 还发现HBL和FSRQ具有不同的SED属性, 但LBL又与FSRQ类似. 在FSRQ和BL Lac的IC峰值频率和其曲率之间没有显著的相关性, 这可能是由复杂的辐 射过程和种子光子场引起的.

参考文献

- [1] Fichtel C E, Bertsch D L, Chiang J, et al. ApJS, 1994, 94: 551
- $[2]\$ Urry C M, Padovani P. PASP, 1995, 107: 803

35



图 8 IC峰值频率与曲率关系图, 上图是FSRQ, 下图是BL Lac.

Fig. 8 The IC peak frequency versus its curvature. The top panel is FSRQs, and the bottom panel is BL Lacs.



图 9 多波段光谱指数α₁₂与同步辐射峰值频率呈负相关.空心圆是FSRQ,空心方块是测量红移的BL Lac,绿色三角是 没有测量红移的BL Lac.

Fig. 9 The broadband spectral indices α_{12} versus synchrotron peak frequency. Circles are FSRQs, squares are BL Lacs with measured redshift, and the green triangles are BL Lacs without measured redshift.

- [3] Urry C M, Scarpa R, O'Dowd M, et al. ApJ, 2000, 532: 816
- [4] Scarpa R, Falomo R. A&A, 1997, 325: 109
- [5] Ghisellini G, Tavecchio F, Foschini L, et al. MNRAS, 2011, 414: 2674
- [6] Sbarrato T, Ghisellini G, Maraschi L, et al. MNRAS, 2012, 421: 1764
- [7] Sbarrato T, Padovani P, Ghisellini G. MNRAS, 2014, 445: 81
- [8] Giommi P, Padovani P, Polenta G, et al. MNRAS, 2012, 420: 2899
- [9] Giommi P, Padovani P, Polenta G. MNRAS, 2013, 431: 1914
- [10] Xiong D R, Zhang X. MNRAS, 2014, 441: 3375
- [11] Sambruna R M, Maraschi L, Urry C M. ApJ, 1996, 463: 444
- [12] Padovani P, Giommi P. ApJ, 1995, 444: 567
- [13] Fossati G, Maraschi L, Celotti A, et al. MNRAS, 1998, 299: 433

- [14] Ghisellini G, Celotti A, Fossati G, et al. MNRAS, 1998, 301: 451
- [15]~ Chen L, Bai J M. ApJ, 2011, 735: 108
- [16] Massaro E, Perri M, Giommi P, et al. A&A, 2004, 422: 103
- [17] Massaro E, Tramacere A, Perri M, et al. A&A, 2006, 448: 861
- [18] Tramacere A, Massaro E, Taylor A M. ApJ, 2011, 739: 66
- [19] Tramacere A, Giommi P, Massaro E, et al. A&A, 2007, 467: 501
- [20] Massaro F, Tramacere A, Cavaliere A, et al. A&A, 2008, 478: 395
- $\left[21\right]$ Landau R, Golisch B, Jones T J, et al. ApJ, 1986, 308: 78
- [22] Rani B, Gupta A C, Bachev R, et al. MNRAS, 2011, 417: 1881
- [23] Paggi A, Massaro F, Vittorini V, et al. A&A, 2009, 504: 821
- [24] Paggi A, Cavaliere A, Vittorini V, et al. A&A, 2009, 508: 31
- [25] Tramacere A, Massaro E, Taylor A M. ApJ, 2011, 739: 66
- [26] Chen L. ApJ, 2014, 788: 179
- [27] Nieppola E, Tornikoski M, Valtaoja E. A&A, 2006, 445: 441
- $\left[28\right]$ Chen Z Y, Gu M F, Cao X W. MNRAS, 2009, 397: 1713
- $\left[29\right]$ Ding N, Zhang X, Xiong D R, et al. MNRAS, 2017, 464: 599
- [30] Ghisellini G, Tavecchio F, Foschini L, et al. MNRAS, 2010, 402: 497
- $[31]\,$ Abdo A A, Ackermann M, Agudo I, et al. ApJ, 2010, 716: 30
- [32] Xue R, Luo D, Du L M, et al. MNRAS, 2016, 463: 3038
- [33] 郑永刚,杨卫国,张皓晶,等.天文学报,2007,48:418
- $[34]\,$ Zheng Y G, Yang W G, Zhang H J, et al. ChA&A, 2008, 32: 140
- [35] Abdo A A, Ackermann M, Ajello M, et al. ApJ, 2009, 700: 597
- [36] Abdo A A, Ackermann M, Ajello M, et al. ApJ, 2010, 715: 429
- [37] Ackermann M, Ajello M, Allafort A, et al. ApJ, 2011, 743: 171
- [38] 俞效龄, 张雄, 熊定荣, 等. 云南师范大学学报: 自然科学版, 2014, 34: 21
- [39] Nolan P L, Abdo A A, Ackermann M, et al. ApJS, 2012, 199: 31
- [40] Stratta G, Capalbi M, Giommi P, et al. arXiv:1103.0749
- [41] Shaw M S, Filippenko A V, Romani R W, et al. AJ, 2013, 146: 127
- [42] Ackermann M, Ajello M, Atwood W B, et al. ApJ, 2015, 810: 14
- $\left[43\right]$ Massaro F, Paggi A, Elvis M, et al. ApJ, 2011, 739: 73
- [44] 王雪品, 王兴华, 丁楠, 等. 云南师范大学学报: 自然科学版, 2016, 36: 1
- [45] Pearson K. PMag, 1900, 50: 157
- [46] Kardashev N S. SvA, 1962, 6: 317
- [47] Rybicki G B, Lightman A P. Radiative Processes in Astrophysics. New York: Wiley-Interscience, 1979
- [48] Fuller W A. Measurement Error Models. New York: John Wiley&Sons, 2009: 305
- [49] Kelly B C. ApJ, 2007, 665: 1489
- [50] Andreon S, Hurn M A. arXiv:1210.6232
- [51] Georganopoulos M, Kirk J G, Mastichiadis A. ASPC, 2001, 227: 116
- [52] Mei D C, Zhang L, Jiang Z J. A&A, 2002, 391: 917
- $[53]\,$ Ma L, Chen L E, Xie G Z, et al. ChJAA, 2007, 7: 345
- [54] Fan J H, Yang J H, Yuan Y H, et al. ApJ, 2012, 761: 125
- [55] Li H Z, Chen L E, Jiang Y G, et al. RAA, 2015, 15: 929
- [56] Lyu F, Liang E W, Liang Y F, et al. ApJ, 2014, 793: 36

LUO Shuang-ling^{1,2} DING Nan³ LUO Dan^{1,2} WANG Xue-pin^{1,2} ZHANG Xiong^{1,2}

(1 School of Physics and Electronic Information Technology, Yunnan Normal University, Kunming 650500)

(2 Key Laboratory of High Energy Astrophysics of University of Yunnan Province, Kunming 650500)

(3 School of Astronomy and Space Science, Nanjing University, Nanjing 210093)

ABSTRACT We collect 172 clean Fermi blazars with broadband quasi-simultaneous spectral data from radio to γ -ray. Both spectral energy distributions (SEDs) of synchrotron and inverse Compton (IC) components are fitted by a log-parabolic law in $\lg \nu - \lg \nu f_{\nu}$ diagram. The second-degree term of log-parabolic measures the curvature of SED. Our main intent is to explore the curvature properties of spectral energy distribution of Fermi blazars. Our main results are as follows: a significant correlation between the synchrotron peak frequency and its curvature for flat spectrum radio quasars (FSRQs) and BL Lacertae objects (BL Lacs) is found, but the correlation formulas are different for FSRQs and BL Lacs. Comparing our observational results and the theoretical predictions of different models, we find that the observational results of FSRQs are consistent with the fluctuation of fractional acceleration gain model, while the observational results of BL Lacs are consistent with the energy-dependent acceleration probability model. The mean value of synchrotron curvature of FSRQs is larger than that of BL Lacs, which suggests the particle acceleration efficiency of BL Lacs is higher than that of FSRQs. It should be attributed to the jet plasma of FSRQs dissipated within the broad-line region (BLR) and suffered stronger cooling. We also find that FSRQs and Low-energy peaked BL Lacs (LBLs) have similar SED properties, which is consistent with previous results. We do not find a significant correlation between the IC peak frequency and its curvature for FSRQs and BL Lacs, which may be caused by complicated seed photon field and radiation processes.

Key words galaxies: active galaxies, radiation mechanisms: non-thermal, methods: statistical