

# Обратное комптоновское рассеяние излучения центрального источника как механизм образования рентгеновского излучения килопарсековых джетов квазаров

Назаров С.В.<sup>1</sup> Бутузова М.В.<sup>1</sup> Пушкарев А.Б.<sup>1</sup>

## 1. Крымская астрофизическая обсерватория

Килопарсековые (кпк-) джеты активных ядер галактик наблюдаются с высоким угловым разрешением в рентгеновском диапазоне космической обсерваторией Chandra с 2000 г.. Для первого обнаруженного джета квазара PKS 0637–752, также как и для джетов других квазаров с доминирующими ядрами, поток излучения в рентгеновском диапазоне оказался выше, чем ожидаемое значение из экстраполяции синхротронного радиооптического спектра на рентгеновские частоты. Это свидетельствует о разных процессах, генерирующих излучение в указанных диапазонах.

В одной из первых работ для джета квазара PKS 0637–752 было показано, что наиболее вероятный механизм высокочастотного излучения это обратное комптоновское рассеяние (ОКР) собственного синхротронного излучения. Но при этом из сравнения потоков в радио- и рентгеновском диапазонах следовало, что условие равнораспределения энергии между магнитным полем и частицами не выполняется: в излучающих частицах заключена большая энергия.

Существует предположение, что рентгеновское излучение джета PKS 0637–752 образуется за счет обратного комптоновского рассеяния реликтового излучения (ОКР/РИ, IC/CMB). При этом полагалось, что кпк-джет, по аналогии с парсековым (пк-) джетом, в целом движется с ультрарелятивистской скоростью под малым углом к лучу зрения.

Тогда плотность энергии реликтового излучения (РИ) в системе отсчета кпк-джета возрастает, что приводит к увеличению потока в рентгеновском диапазоне при неизменном потоке на радиочастотах и, следовательно, к выполнению условия равнораспределения энергии. Эта модель образования рентгеновского излучения, получившая название “beamed IC/CMB”, в дальнейшем стала широко применяться для интерпретации рентгеновского излучения кпк-джетов квазаров с доминирующими ядрами..

В недавних работах показана невозможность применимости “beamed IC/CMB” модели к высокочастотному излучению кпк-джетов квазаров PKS 0637–752 и 3C 273 потому, что в данных наблюдений инструмента Fermi-LAT в гамма-диапазоне отсутствует высокий уровень постоянного потока излучения, характеризующего жестким спектром, который должен был бы генерироваться в кпк-джетах.

Альтернативные механизмы образования рентгеновского излучения кпк-джетов квазаров, например, такие как синхротронное излучение, производимое либо второй высокоэнергетической популяцией электронов, либо протонами, вводят дополнительные свободные параметры, варьированием которых можно получить приемлемые оценки на физические условия в кпк-джетах.

Дополнительно к этому указанные механизмы требуют действия в одной области (или в близко расположенных областях) джета двух различных механизмов ускорения, что усложняет представление о физической природе струй. С другой стороны, если отказаться от априори малого угла ( $<10^\circ$ ) между кпк-джетом и лучом зрения, то наблюдаемые в проекции кпк-джеты в действительности находятся на меньшем расстоянии от активного ядра. Тогда, по крайней мере, для ближних к ядру узлов кпк-джетов рентгеновское излучение может образовываться вследствие обратного комптоновского рассеяния излучения центрального источника (ОКР/ЦИ, IC/CS). ОКР/ЦИ становится более привлекательным механизмом образования рентгеновского излучения еще и потому, что излучение ЦИ на частотах от радио- до миллиметрового диапазона образуется в пк-джете и вследствие релятивистских эффектов усиливается в системе отсчета кпк-джета настолько, что ОКР/ЦИ вносит существенно больший вклад, чем ОКР/РИ, в наблюдаемое рентгеновское излучение.

Как было показано для кпк-джетов квазаров 3C 273 и PKS 1127–145, ОКР/ЦИ дает естественное объяснение наблюдаемому уменьшению рентгеновской интенсивности узлов с удалением от активного ядра и позволяет при известном спектре ЦИ определить как физические параметры узлов, так и угол с лучом зрения и скорость кпк-джета. Так как часто наблюдается уменьшение рентгеновской интенсивности вдоль кпк-джетов квазаров, то это может свидетельствовать о широкой распространенности ОКР/ЦИ. Ранее этот механизм рассматривался только для радиогалактик.

В отличие от других моделей, ОКР/ЦИ без ввода дополнительных предположений объясняет наблюдаемое уменьшение рентгеновской интенсивности узлов с удалением от ЦИ. Для дальних узлов джета квазара 3C 273 рентгеновская интенсивность имеет малое и примерно постоянное значение. Этот факт интерпретируется в работе тем, что в этих узлах рентгеновское излучение образуется за счет ОКР/РИ. Из сравнения плотностей потоков, образуемых при ОКР/ЦИ и ОКР/РИ, найден интервал значений угла кпк-джета с лучом зрения. Для кпк-джетов квазаров PKS 0637–752, PKS 1045–188, PKS 1510–089, наблюдаемое рентгеновское излучение узлов которых образуется только за счет ОКР/ЦИ, получено ограничение снизу на угол джета с лучом зрения. Разница углов с лучом зрения пк-джетов, оцениваемых в из видимого сверхсветового движения их деталей, и углов с лучом зрения кпк-джетов может быть объяснена замедлением выбросов между пк- и кпк-масштабами. Возможно, это замедление уже проявляется на расстояниях около 100 пк от ядра. Значения скорости джета согласуются с другими независимыми оценками скоростей кпк-джетов активных галактик. ОКР/ЦИ предсказывает существование изломов в спектре рассеянного излучения. Эти изломы вызваны переходом от ограничения электронным спектром к ограничению фотонным спектром и наоборот.

Обнаружение изломов в рентгеновском спектре узлов кпк-джетов будет не только доказательством действия ОКР/ЦИ, но и позволит определить параметры электронного спектра.

В рамках ОКР/ЦИ для каждого источника проведено моделирование потока в гамма-диапазоне. Полученный поток в интервале частот, соответствующих энергиям фотонов 0.1–100 ГэВ, зависит от выбора значения максимального лоренц-фактора электронов. При адекватных значениях он оказывается ниже оценки на постоянный поток, полученной по данным наблюдений Fermi-LAT. В предположении, что этот постоянный поток генерируется в кпк-джете, ОКР/ЦИ не имеет противоречий с имеющимися данными наблюдений.

Таблица 1. Основная информация об анализируемых квазарах и их парсековых джетах

Объект	$z$	$D_L$ , Мпк	кпк в $1''$	$\beta_{app}$	$\beta_{pc}$	$\theta_{pc}, ^\circ$	$PA_{pc}, ^\circ$	$PA_{kpc}, ^\circ$	$\Delta PA, ^\circ$	$\theta_{pc}^{kpc}, ^\circ$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
PKS 0637-752	0.653	3909.3	6.94	$13.3 \pm 1.0$ [26]	0.997	4	273 [26]	278 [1]	5	1
PKS 1045-188	0.595	3487.7	6.65	$10.35 \pm 0.32$ [28]	0.995	6	146 [27]	125 [27]	21	3
3C 273	0.158	747.0	2.70	$8.09 \pm 0.06$ [28]	0.992	7	238 [27]	222 [27]	16	3
PKS 1510-089	0.36	1907.0	5.00	$18.4 \pm 2.4$ [28]	0.999	3	328 [27]	163 [27]	165	1

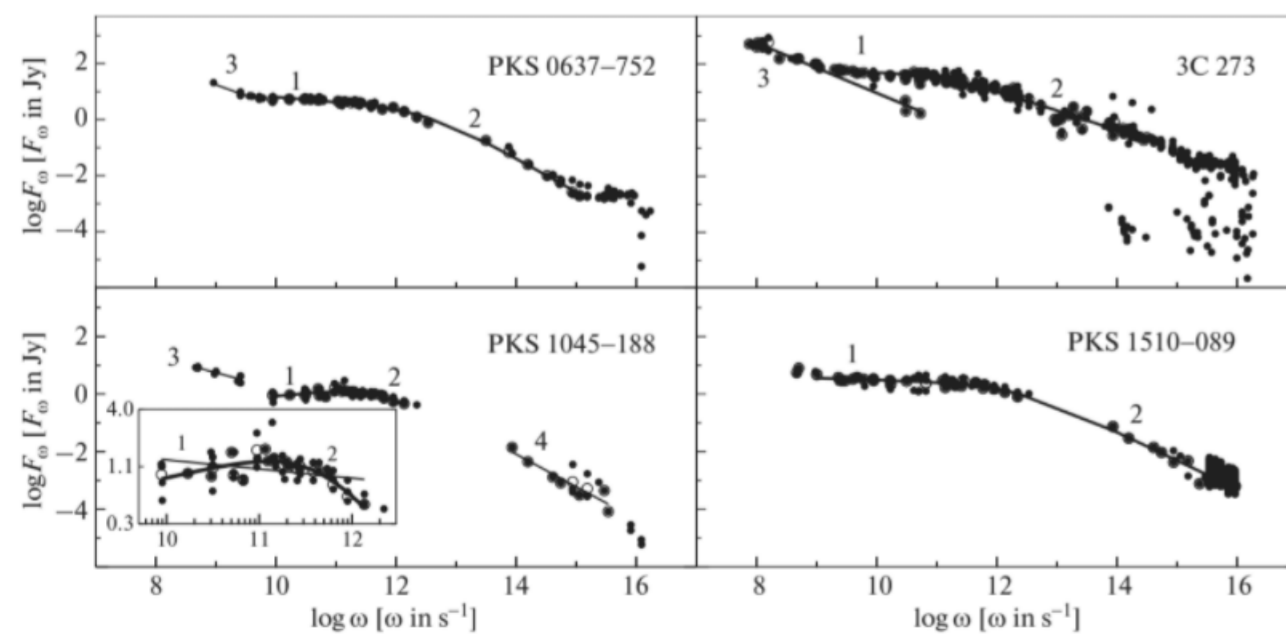


Рис.1 Наблюдаемые спектры квазаров и их аппроксимации

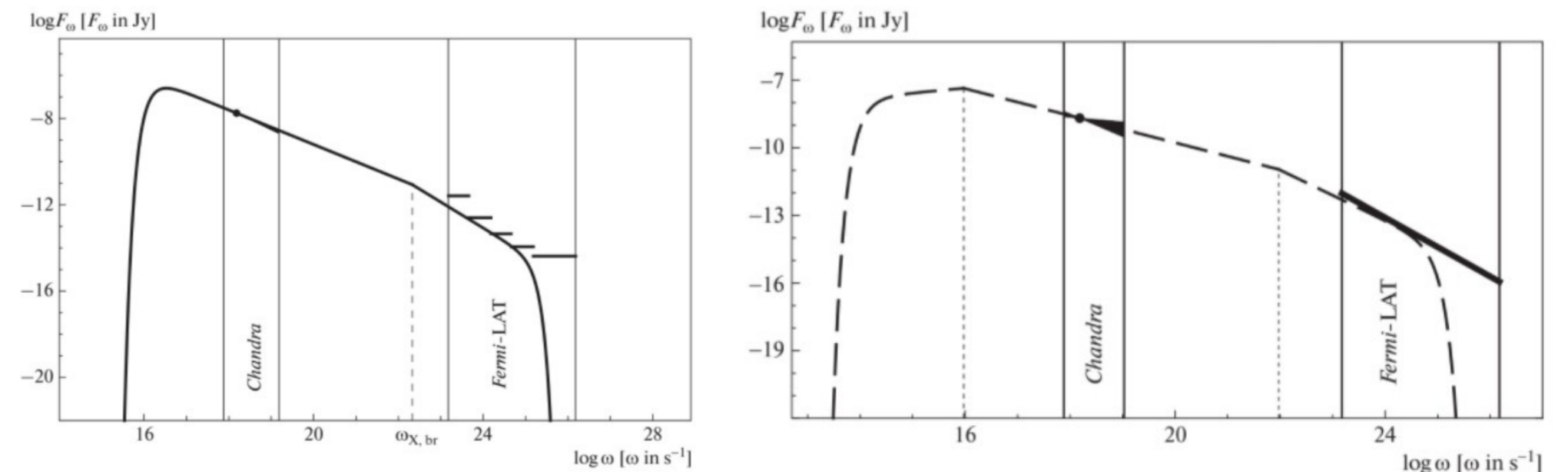


Рис. 2 Модельный высокочастотный спектр излучения всех детектируемых в рентгеновском диапазоне узлов кпк-джета квазара PKS 0637–752 в рамках ОКР/ЦИ.

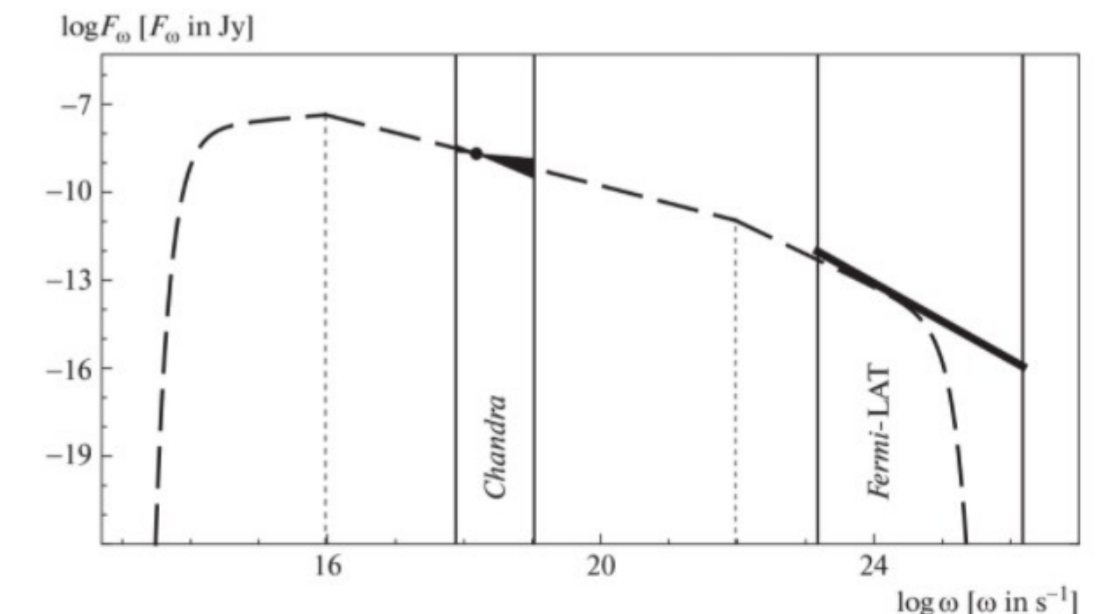


Рис. 3 Спектр рассеянного излучения кпк-джета квазара PKS 1045–188