

ЯДРО ГАЛАКТИКИ — ЧЕРНАЯ ДЫРА?

И. С. ШЕЛОВСКИЙ

Источник в галактическом ядре имеет синхротронную природу. Мощность генерации релятивистских частиц внутри этого источника $\sim 10^{40}$ эрг/сек. Источником энергии скорее всего является аккреция межзвездного газа на массивную ($M \sim 3 \cdot 10^4 M_{\odot}$) черную дыру, являющуюся ядром Галактики.

IS GALAXY NUCLEOUS A BLACK HOLE? by I. S. Shkolovskij. The source located in the Galaxy nucleus has synchrotron nature. The power of relativistic particles generated inside of this source is about 10^{40} erg/s. Its source of energy is probably the accretion of interstellar gas onto massive ($M = 3 \cdot 10^4 M_{\odot}$) black hole — the Galaxy nucleus.

Исследования последних лет выявили структуру радиоисточника в области галактического центра. С последним ассоциируется источник SagA—West (Даунс и Мартин, 1971). Этот источник, как показывают наблюдения на разных частотах, выполненные методом апертурного синтеза (Даунс, 1975), имеет угловые размеры $10''$ и плоский спектр с низкочастотным «завалом» при $\nu = 1$ Гц и спектральной плотностью потока $F(\nu) = 30 \cdot 10^{-26}$ вт/МГц. В центре этого источника имеется пока еще не разрешенный источник с угловыми размерами меньше $0,1''$ и плоским спектром с низкочастотным «завалом» при $\nu = 10$ Гц и спектральной плотностью потока $F(\nu) = 0,7 \cdot 10^{-26}$ вт/МГц.

Каков механизм радиоизлучения SagA—West? Характер его спектра такой же, как у теплового излучения плазмы. Область размером $\sim 45''$, окружающая SagA—West, несомненно является тепловым радиоисточником, что следует из наблюдений в ней рекомбинационной линии 109a (Паулс и др., 1974). Однако мы сейчас приведем аргумент в пользу того, что источник SagA—West не может быть тепловым. В самом деле, легко убедиться, что на частоте $\nu \sim 1$ Гц яркостная температура этого источника $T = 4 \cdot 10^5$ К. Если бы излучение было тепловым, то плоский (с точностью до гаунтовского множителя) спектр его простирался бы до $\nu \sim 10^{16}$ сек $^{-1}$. Следовательно, в инфракрасном диапазоне $2 < \lambda < 10$ м наблюдался бы на этом месте источник с плоским спектром и с $F(\nu) \approx$

$\approx 10 \cdot 10^{-26}$ *вт/МГц* (с учетом межзвездного поглощения). Этому противоречат наблюдения: у инфракрасного источника, совпадающего с SagA — West по координатам и угловым размерам, спектральная плотность потока довольно круто падает с частотой (Рике и Лоу, 1973), причем ее значение намного ниже, чем в радиодиапазоне.

Таким образом, излучение SagA — West должно иметь тепловую природу. Считая его синхротронным, мы можем обычным образом оценить параметры источника. Удобно это сделать путем привязки к Крабовидной туманности, синхротронный спектр которой в радиодиапазоне почти плоский. У SagA — West поверхностная яркость в ~ 10 раз больше, чем у Крабовидной туманности, а радиосветимость единицы объема — в 40 раз. Отсюда следует, что при условии равенства плотности магнитной энергии и плотности энергии релятивистских частиц среднее значение магнитного поля у SagA — West $H \sim 2 \cdot 10^{-3}$ *гс* (в 3 раза больше, чем в Крабовидной туманности), а плотность энергии релятивистских частиц $W_r \approx 2 \cdot 10^{-7}$ *эрг/см³*. Этот расчет сделан в предположении, что у SagA — West релятивистские протоны отсутствуют. Если, как обычно, предположить, что плотность релятивистских протонов там в $k = 100$ раз больше, чем релятивистских электронов, магнитное поле $H \approx 5 \cdot 10^{-3}$ *гс*, а $W_r = H^2/8\pi \cdot 10^{-6}$ *эрг/см³*. В последнем случае полная энергия релятивистских частиц в источнике будет $\sim 10^{48}$ *эрг*.

По изложенным выше причинам излучение неразрешенного ($< 0,1$) источника также не может быть тепловым. При интерпретации синхронного излучения этого источника трудностью является незнание его угловых размеров. Интерференционные наблюдения дают только верхнюю границу. Наблюдаемый обрыв спектра у $\nu = 10$ *ГГц* может быть интерпретирован либо как результат поглощения радиоизлучения окружающей холодной плазмой, либо как эффект синхротронной реабсорбции. Заметим, что «завал» спектра у «10-секундного» источника непринужденно объясняется поглощением в окружающей этот источник холодной плазме с мерой эмиссии $6,5 \cdot 10^6$ *см⁻⁶нс* и температурой 6500 К (Паулс и др., 1974). Для объяснения «завала» спектра у неразрешенного источника поглощением в холодной плазме надо предположить, что в центральной части SagA — West плотность плазмы повышается до 10^5 *см⁻³* в области 10^{16} *см*. Такая возможность будет обсуждаться ниже. С другой стороны, если «завал» спектра маленького источника объяснять синхротронной реабсорбцией, его угловые размеры должны быть 10^{-3} секунды дуги, а линейные — 10^{14} *см*, или 6 а. е.

В первом случае линейные размеры источника $R = 10^{16}$ *см*, напряженность магнитного поля (при $k = 100$ и $W_r = H^2/8\pi$) $H = 0,15$ *гс*, $W_r = H^2/8\pi \approx 10^{-3}$ *эрг/см³*. Во втором случае $R = 10^{14}$ *см*, $H = 15$ *гс*, $W_r = H^2/8\pi \approx 10$ *эрг/см³*.

Представляется практически невозможным удержать такое большое количество релятивистских частиц от разлета в малой области размером $10^{16} - 10^{14}$ см. Вполне естественно считать, что генерируемые каким-то образом в малой области релятивистские частицы более или менее свободно ее покидают. При этом W_r и $H^2/8\pi$ равны по порядку величины. При этом естественном предположении поток энергии в форме релятивистских частиц через замкнутую поверхность равен

$$L = 4\pi R^2 c W_r \sim 4\pi R^2 c \frac{H^2}{8\pi} \sim 10^{40} \text{ эрг/сек}$$

и не зависит от R . Очевидно, L есть мощность генерации релятивистских частиц в источнике. Если $k = 1$, L в 6 раз меньше. Релятивистские частицы попадают в область радиусом $\sim 10^{18}$ см, соответствующую «10-секундному» источнику SagA — West. Так как последний содержит энергию 10^{48} эрг (см. выше), то при найденном значении потока он «наполнится» за $3 \cdot 10^7$ сек, или за 1 год, что хорошо согласуется с его размерами (10^{18} см = 1 св. год). При такой ситуации релятивистские частицы не накапливаются в источнике SagA — West, а вытекают из него в центральную область Галактики.

Итак, анализ радио- и инфракрасных наблюдений приводит к выводу, что в самом центре Галактики, в очень малой области размером в $10^{16} - 10^{14}$ см, перманентно действует источник релятивистских частиц, мощность которого в сотни раз превосходит мощность молодого и весьма активного пульсара N P0532 в Крабовидной туманности. Заметим, что мощности источника релятивистских частиц в галактическом ядре более чем достаточно для «накачки» космических лучей в Галактике. Вполне возможно, что большая часть релятивистских частиц, генерируемых в Галактике, уходит в Метагалактическое пространство.

Какова же природа источника релятивистских частиц, генерируемых в галактическом ядре? Прежде всего следует исключить возможность существования там намагниченного плазменного объекта — «магнетоида». Дело в том, что из условия отсутствия ионизационных потерь у релятивистских электронов (что привело бы к ненаблюдаемому искажению синхротронного радиоспектра) можно сделать оценку плотности газа в пределах неразрешенного малого источника. Оценка дает значение $\rho_{\text{газ}} < 10^{-15}$ г/см³ (при $R = 10^{16}$ см), откуда следует, что полная масса газа в этом источнике во всяком случае меньше $1 M_{\odot}$, а при $R = 10^{14}$ см $M < 10^{-4} M_{\odot}$ — величина слишком незначительная.

Значительно более правдоподобно предположение, что источником энергии является аккреция межзвездного газа на релятивистский объект (а не объекты; вряд ли в области, размеры которой меньше чем 10^{16} см, может быть несколько релятивистских объектов). Следует заметить, что в случае

галактического ядра имеет место не «одномерная» аккреция (когда газ на бесконечности имеет по отношению к звезде определенную скорость), а центрально-симметричная с конечной скоростью газа на бесконечности. Так как облака газа намагничены, то при сферически-симметричном коллапсе заряженные частицы будут весьма эффективно ускоряться до релятивистских энергий.

Естественно предположение, что источником энергии инжектируемых галактическим ядром релятивистских частиц является аккреция межзвездного газа массивным сколлапсирующим объектом. Пусть R_∞ — радиус области, где параболическая скорость v_∞ равна наблюдаемой скорости макроскопических движений в галактическом ядре $v_T = 2 \cdot 10^7$ см/сек (Паулс и др., 1974). Далее положим, что $\sim 10\%$ энергии покоя падающего вещества трансформируется в энергию релятивистских частиц. Тогда будем иметь

$$4\pi R_\infty^2 v_\infty \rho_1 \approx \epsilon / 0,1 c^2, \quad (1)$$

$$v_\infty^2 = \frac{2GM}{R_\infty}, \quad (2)$$

где $\rho_1 \approx 3 \cdot 10^{-21}$ г/см³, M — масса сколлапсировавшего объекта.

Из (1) и (2) следует, что $R_\infty \sim 2 \cdot 10^{16}$ см, $M \sim 6 \cdot 10^{37}$ г = $3 \cdot 10^4 M_\odot$. Хотя эта оценка и груба, она, по-видимому, дает правильный порядок величины для R_∞ и M . Из оценки R_∞ непосредственно следует, что характерные размеры неразрешенного источника должны быть, во всяком случае, значительно меньше 10^{16} см, так как увеличение плотности межзвездного газа из-за наличия гравитационной потенциальной ямы еще очень незначительно для того, чтобы вызвать наблюдаемое поглощение для $\nu < 10$ Гц. Скорее всего размеры источника близки к 10^{14} см в согласии с интерпретацией спектра этого источника синхротронной реабсорбцией. Столь малые размеры излучающей области делают достаточно очевидным наш вывод, что в центре Галактики есть сингулярность — сверхмассивная черная дыра с гравитационным радиусом $r_g = 2GM/c \sim 10^{10}$ см. Размер источника $\sim 10^{14}$ см может относиться к газовому диску, образуемому при аккреции на черную дыру.

По-видимому, образование сверхмассивных черных дыр у галактик со сферически-симметричным распределением массы есть универсальная особенность их эволюции. Несколько лет назад мы уже обратили внимание на то, что в процессе эволюции звезд выброшенный ими газ должен стекать в самые центральные области сфероидальных галактик (Шкловский, 1972). Этот процесс всегда идет в одну сторону и, по-видимому, в конечном итоге приводит к образованию сверхмассивных черных дыр в центральных областях галактик.

У радиогалактик и особенно квазаров сверхмассивные черные дыры могут быть первопричиной наблюдаемой активности, на что уже обращали внимание некоторые авторы (Озерной, 1974). Недавнее открытие сверхкомпактного переменного источника в центре NGC 5128 (Келлерман, 1974), с которым связаны рентгеновский источник и γ -источник, является серьезным доводом в пользу этой гипотезы. Изучение ядра нашей Галактики, которое относительно близко, дает дополнительные аргументы в пользу вывода о том, что в центральных областях галактик имеются сверхмассивные черные дыры.

Ин-т космических исследований
АН СССР, Москва

Поступила в редакцию
5 мая 1975 г.

ЛИТЕРАТУРА

- Даунс (Downes D.), 1975. Доклад на симпозиуме «III-regions and related topics», Миттельберг (Австрия).
Даунс и Мартин (Downes D., Martin A.), 1971. *Nature*, 233, 112.
Келлерман (Kellerman K.), 1974. *Bull. Amer. Astron. Soc.*, 6, 441.
Озерной Л. М., 1974. *Proc. First Europ. Astron. Meeting*, 65.
Паулс и др. (Pauls T., Mezger P., Churchwell E.), 1974. *Astron. and Astrophys.*, 34, 327.
Рике и Лоу (Rieke G., Low F.), 1973. *Astrophys. J.*, 184, 415.
Шкловский И. С., 1972. *Astrophys. Letters*, 10, 5.