УДК 520.2

РАДИОИНТЕРФЕРОМЕТР НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

В. С. Артюх

Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, г. Москва, Россия

Исследования физических условий в активных ядрах галактик и космологические исследования требуют проведения низкочастотных наблюдений компактных радиоисточников с высокой чувствительностью и разрешением. Для достижения существенного прогресса в этих исследованиях необходимы наблюдения в метровом диапазоне длин волн с чувствительностью порядка 1 мЯн. Чувствительность низкочастотных наблюдений внегалактических радиоисточников ограничена эффектом путаницы, для подавления которого до уровня 1 мЯн нужны антенны с апертурой 300÷400 км. В настоящее время разрабатываются проекты радиотелескопов нового поколения SKA и LOFAR, которые представляют собой системы апертурного синтеза на основе малых антенн с размерами в несколько сотен километров. Такие измерительные комплексы позволят достичь чувствительности в 1 мЯн.

В данной работе предлагается создать интерферометр с базой, превышающей 5 000 км, на основе километровых синфазных антенных решёток. Показано, что такое устройство также будет иметь чувствительность порядка 1 мЯн на частоте 100 МГц. Кроме высокой чувствительности предлагаемый интерферометр на базе дифракционных решёток позволит сформировать многолучевую диаграмму направленности, перекрывающую по склонению всю доступную наблюдениям полусферу. Это открывает новые возможности для проведения быстрых обзоров слабых компактных радиоисточников.

ВВЕДЕНИЕ

Для понимания природы активных ядер галактик необходимо знать существующие в них физические условия. Информацию об этом можно получить из наблюдений локализованных в них компактных радиоисточников. На высоких частотах, где эти источники прозрачны, их спектры обычно имеют степенной характер. Общепринятым объяснением этого факта является предположение о синхротронной природе радиоизлучения: такой спектр имеет излучение находящегося в магнитном поле ансамбля релятивистских электронов со степенным распределением по энергиям. На низких частотах у многих радиоисточников наблюдаются изломы или завалы спектров. В литературе рассматриваются различные причины происхождения последних, причём наиболее часто обсуждается синхротронное самопоглощение излучения [1]. Возможно также, что излучение синхротронного источника поглощается нерелятивистской, т.е. тепловой, плазмой, которая может находиться как внутри него [2], так и между источником и наблюдателем, представляя собой в этом случае как бы тепловой экран [3]. Кроме эффектов поглощения излучения, низкочастотный завал спектра может быть объяснён эффектом Разина [4]. Низкочастотные изломы спектров синхротронных источников могут быть вызваны завалами энергетических спектров частиц в области малых энергий [5]. Для выяснения того, какой из этих физических механизмов действует в конкретном радиоисточнике и, следовательно, каковы его внутренние параметры, необходимо знать форму низкочастотного завала спектра этого источника. Отсюда следует, что для исследования активных ядер галактик необходимо проведение их радионаблюдений с высокой чувствительностью и разрешением не только на высоких, но и на низких частотах. Низкочастотные наблюдения компактных радиоисточников нужны также и для космологических исследований, т.к. они позволяют получать необходимые для них однородные выборки галактик. Это связано с тем, что практически все низкочастотные компактные радиоисточники находятся в ядрах квазаров и радиогалактик с довольно большими красными смещениями $\langle z \rangle = 1,4$ [6]. Активность этих объектов определяется активностью их ядер. В то же время в высокочастотных

В. С. Артюх

обзорах при малых плотностях потока $S \leq 1$ мЯн основной вклад в численность радиоисточников вносят голубые галактики, которые находятся на сравнительно небольших (в космологическом смысле) расстояниях. Активность голубых галактик, как и инфракрасных галактик сверхвысокой светимости, связана со вспышкой звёздообразования. Обилие в них газа и молодых звёзд, ионизующих этот газ, приводит к созданию плотной тепловой плазмы. На радиоволных с длинами порядка метра компактные радиоисточники в ядрах таких галактик не видны из-за низкочастотных завалов их спектров, вызванных поглощением радиоизлучения тепловой плазмой внутри галактического ядра [7]. Поэтому голубые галактики не входят в низкочастотные обзоры компактных радиоисточников.

Таким образом, низкочастотные наблюдения компактных радиоисточников в активных ядрах галактик представляют интерес как для исследования последних, так и для космологии. Для проведения таких наблюдений необходимы интерферометры со сверхдлинными базами. Однако, все радиоинтерферометры со сверхдлинными базами (РСДБ), существующие в настоящее время, работают только на сантиметровых и дециметровых волнах и нет РСДБ-систем, работающих в метровом диапазоне длин радиоволн.

На сегодняшний день наиболее низкочастотные наблюдения компактных радиоисточников с высокой чувствительностью и разрешением проводятся в Пущинской радиоастрономической обсерватории (ПРАО) Физического института им. П. Н. Лебедева Российской академии наук на большой синфазной антенне (БСА). Они выполняются на частоте 111 МГц (до 1999 года на частоте 102 МГц) методом межпланетных мерцаний. Большая синфазная антенна является самым крупным из работающих в метровом диапазоне длин волн радиотелескопом (его площади $A_{\text{geom}} = 70\,000 \text{ м}^2$, $A_{\text{eff}} = 25\,000 \text{ м}^2$), что и обеспечивает высокую чувствительность наблюдений. На БСА компактный (мерцающий) радиоисточник с плотностью потока излучения 0,3 Ян регистрируется с вероятностью 0,9. Высокая разрешающая способность наблюдений обусловлена методом межпланетных мерцаний. Обеспечиваемое им разрешение зависит от отношения сигнал/шум. Для слабых источников, плотность потока излучения которых порядка 1 Ян, разрешение составляет примерно 0,1".

Подобные наблюдения уже дали ряд интересных результатов, как в области исследования активных ядер галактик, так и в космологии, см. обзор [8]. Дальнейшее их развитие, в частности связанное с выявлением статистических закономерностей в физике активных галактических ядер, требует наблюдений большого числа слабых компактных радиоисточников с чувствительностью, значительно лучшей, чем 0,1 Ян, которая является наилучшей чувствительностью, достигнутой на сегодняшний день. Повышение чувствительности наблюдений позволит как существенно развить существующие направления исследований, так и поставить новые научные задачи.

1. ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ НИЗКОЧАСТОТНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ РАДИОИСТОЧНИКОВ

1.1. Чувствительность, определяемая эффектом путаницы

На низких частотах, в метровом диапазоне длин радиоволн, чувствительность наблюдений определяется эффектом путаницы. Например, для радиотелескопа БСА среднеквадратичная величина флуктуаций сигнала на выходе, определяемая эффектом путаницы протяжённых ($\theta > 1''$) радиоисточников, составляет — примерно 1 Ян, а для мерцающих источников примерно 0,1 Ян [9], в то время как флуктуационная чувствительность радиотелескопа равна порядка 1 мЯн при температуре системы $T_{\rm сист} \approx 300$ К на частоте 111 МГц, $A_{\rm эф\phi} = 2,5 \cdot 10^3$ м², полосе частот приёмника $\Delta \nu = 2$ МГц и времени когерентного накопления принимаемого сигнала $\tau = 5$ мин.

В. С. Артюх

564

Различие между ними составляет три порядка. Следовательно, для повышения чувствительности низкочастотных наблюдений требуется, прежде всего, подавить эффект путаницы.

Теория последнего в наблюдениях с одиночной антенной дана в работе [10]. Для его подавления необходимо увеличить размер антенны. Действительно, дисперсия сигналов на выходе радиотелескопа равна [11]:

$$\langle \Delta D^2 \rangle \approx \langle N \rangle \langle S^2 \rangle \iint K_{\mathcal{A}}^2(x,y) \, \mathrm{d}x \, \mathrm{d}y = \int_0^\infty S^2 n(S) \, \mathrm{d}S \iint K_{\mathcal{A}}^2(x,y) \, \mathrm{d}x \, \mathrm{d}y. \tag{1}$$

Здесь D — величина сигнала на выходе радиометра, S — плотность потока излучения от источника, n(S) dS — число источников в единичном телесном угле, плотности потоков излучения от которых заключены в интервале от S до S + dS, $\langle N \rangle = \int_0^\infty n(S) dS$ — среднее число источников, приходящихся на единичный телесный угол, $K_A(x,y)$ — диаграмма направленности антенны, $\langle S^2 \rangle = \langle N \rangle^{-1} \int_0^\infty S^2 n(S) dS$ — средний квадрат плотности потоков излучения от радиоисточников.

Для прямоугольной антенны с размерами $a \times b$ и с равномерным заполнением апертуры

$$\iint K_{A}^{2}(x,y) \, \mathrm{d}x \, \mathrm{d}y = \int_{-\infty}^{+\infty} K_{A1}^{2}(x) \, \mathrm{d}x \int_{-\infty}^{+\infty} K_{A2}^{2}(y) \, \mathrm{d}y =$$
$$= \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\sin^{4}(\pi a x/\lambda)}{(\pi a x/\lambda)^{4}} \, \mathrm{d}x \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\sin^{4}(\pi b y/\lambda)}{(\pi b y/\lambda)^{4}} \, \mathrm{d}y = \frac{4}{9} \frac{\lambda^{2}}{ab} \,. \tag{2}$$

Тогда из (1) имеем для среднеквадратической величины флуктуаций сигнала

$$\Delta D = \frac{2}{3} \frac{\lambda}{\sqrt{ab}} \left[\int_{0}^{\infty} S^2 n(S) \, \mathrm{d}S \right]^{1/2}.$$
(3)

Таким образом, увеличивая размеры антенны, мы уменьшаем величину эффекта путаницы.

В работе [12] было показано, что для достижения существенного прогресса в низкочастотных наблюдениях, необходимых для исследований пульсаров, межпланетной и межзвёздной среды, а также внегалактических радиоисточников, требуется создание новой антенны с эффективной площадью, на порядок большей площади радиотелескопа БСА. С этой целью её авторы предложили построение километровой синфазной антенной решётки. Такая антенна позволит увеличить чувствительность наблюдений быстропеременных источников, таких как пульсары, на порядок, т. к. эффект путаницы для них мал. Что касается внегалактических радиоисточников, то из (3) видно, что переходя от БСА с размерами 200 × 400 м к километровой антенне с размерами 1 000 × 1 000 м, мы уменьшаем величину эффекта путаницы на той же частоте примерно в 3,5 раза. Однако для существенного развития представлений о галактических ядрах и космологических исследований желательно повысить чувствительность наблюдений значительно больше, чем в 3,5 раза. Как видно из (3), чтобы уменьшить среднеквадратическую величину эффекта путаницы, например, на три порядка по сравнению с тем, что имеется на БСА, и получить $\sqrt{\langle \Delta D^2 \rangle} = 1$ мЯн на частоте 100 МГц, необходимо иметь антенну с размером 300 × 300 км.

Создать синфазную антенную решётку типа БСА на таких масштабах невозможно из-за влияния неоднородностей ионосферной и межпланетной плазмы. Фазовые флуктуации, обусловленные этими неоднородностями, становятся ощутимыми при размерах решётки больше 1 км. Обзор

работ по влиянию среды на интерферометрические наблюдения можно найти в [13]. Однако можно создать корреляционную решётку, состоящую из большого числа интерферометров, и синтезировать большую апертуру размером 300×300 км. Как видно из (3), эффект путаницы на такой синтезированной антенне будет подавлен на три порядка по сравнению с БСА и соответствующий $\sqrt{\langle \Delta D^2 \rangle}$ составит величину порядка 1 мЯн при условии, что процент дыр в U-V плоскости [13] невелик. Таким образом, создание системы апертурного синтеза размером 300×300 км позволит существенно увеличить чувствительность наблюдений в метровом диапазоне длин волн.

Синтезированная апертура позволяет обнаружить слабый неразрешённый источник, даже если его отклик будет несколько меньше шумов, вызванных эффектом путаницы. Однако, в том случае, когда проводятся наблюдения протяжённого радиоисточника с целью построения карты распределение яркости по нему, мы должны регистрировать сигнал от источника, превышающий шумы, на каждой базе корреляционной решётки. По этой причине необходимо знать величину шумов на каждой базе корреляционной решётки. Поскольку, как было показано выше, на низких частотах (конкретно, на метровых длинах волн) шумы измерений определяются эффектом путаницы, то, следовательно, на выходе каждого интерферометра нужно знать величину вызванных им флуктуаций сигнала.

Теория эффекта путаницы в интерферометрических наблюдениях была разработана в [14]. Как показано в этой работе, дисперсия флуктуаций сигналов на выходе интерферометра, вызванная эффектом путаницы, равна

$$\langle \Delta D^2 \rangle \approx \langle N \rangle \langle S^2 \rangle \langle V^2 \rangle \iint K_{\rm I}^2(x, y) \,\mathrm{d}x \,\mathrm{d}y.$$
 (4)

Здесь $\langle V^2 \rangle = \int_0^1 V^2 W(V) \, \mathrm{d}V$ — средний квадрат глубины модуляции радиоисточников для данной базы интерферометра и данной длины волны, W(V)— функция распределения радиоисточников по глубинам модуляции, $K_{\mathrm{I}}(x,y)$ — диаграмма направленности интерферометра.

Представляет интерес выяснить, насколько меняется величина эффекта путаницы при переходе от наблюдений с одиночной антенной к интерферометрическим наблюдениям. В дальнейшем для получения численных оценок примем, что $K_{\rm I}(x, y)$ допускает разделение переменных так, что $K_{\rm I}(x, y) = K_{\rm I}(x)K_{\rm I}(y)$ и координата x направлена вдоль базы интерферометра. Тогда $K_{\rm I}(y) = K_{\rm A}(y)$, а $K_{\rm I}(x) = K_{\rm A}(x)K_{\rm e}(x, B, \Delta\nu)\cos(\omega x)$. Здесь $K_{\rm A}(x)$ и $K_{\rm A}(y)$ — диаграммы направленности антенны A по двум координатам, если антенны одинаковые, а если антенны разные, то $K_{\rm I}(y)$ — это произведение диаграмм направленности по полю двух антенн, $K_{\rm e}(x, B, \Delta\nu)$ — огибающая интерференционной записи, обусловленная полосой частот $\Delta\nu$ и базой интерферометра B[15], $\cos(\omega x)$ описывает интерференционные лепестки, $\omega = B\nu/c$.

Рассмотрим влияние эффекта путаницы на интерферометрические наблюдения с малыми базами. На частоте 100 МГц интерферометр с базой порядка 10 км имеет ширину лепестка, т.е. разрешение, порядка 1'. В подавляющем большинстве радиоисточники имеют угловые размеры меньше 1' и, следовательно, будут неразрешимыми на таком интерферометре, т. е. в этом случае $\langle V^2 \rangle \approx 1$. Влияние корреляционной огибающей интерференционной записи, обусловленной типичной полосой частот $\Delta \nu = 1$ МГц в метровом диапазоне длин волн, также можно пренебречь, т. к. ширина огибающей в этом случае порядка 100'. Для сравнения отметим, что ширина диаграммы направленности БСА составляет 50', а километровая антенна будет иметь диаграмму направленности шириной порядка 10'.

Если наблюдения проводятся на двух одинаковых прямоугольных антеннах с размерами $a \times b$ и с равномерным заполнением апертуры, то

$$\iint K_{\rm I}^2(x,y) \,\mathrm{d}x \,\mathrm{d}y \approx \frac{2}{9} \frac{\lambda^2}{ab} \,. \tag{5}$$

В. С. Артюх

566

$$\iint K_{\rm I}^2(x,y) \,\mathrm{d}x \,\mathrm{d}y \approx \frac{1}{2} \,\frac{\lambda^2}{ab} \,. \tag{6}$$

Сопоставляя (5) и (6) с (2), видим, что величина эффекта путаницы в интерферометрических наблюдениях на малых базах хотя и уменьшается по сравнению с одиночной антенной, но это уменьшение является незначительным, а для разновеликих антенн эффект путаницы в интерферометрических наблюдениях даже чуть больше, чем у большей из одиночных антенны.

Ситуация радикально меняется при переходе к интерферометрам со сверхдлинными базами. Как показано в [14], интерферометр с базой в 6000 км и с полосой усилителя промежуточной частоты, равной 2 МГц, позволяет подавить дисперсию флуктуаций сигналов на его выходе $\langle \Delta D^2 \rangle$, вызванных эффектом путаницы, чуть больше, чем на три порядка по сравнению с БСА. Увеличивая базу интерферометра и полосу приёма, можно в пределе уменьшить $\langle \Delta D^2 \rangle$ на четыре порядка. Однако, чтобы получить чувствительность наблюдений 1 мЯн, необходимо подавить эту дисперсию на шесть порядков. Из (4) следует, что дополнительного подавления $\langle \Delta D^2 \rangle$ можно достичь за счёт уменьшения дисперсии распределения компактных источников по глубинам модуляции $\langle V^2 \rangle$ с увеличением базы интерферометра.

Оценить величину $\langle V^2 \rangle$ из интерферометрических наблюдений невозможно, т. к. не существует радиоинтерферометров со сверхдлинными базами, работающих в метровом диапазоне длин волн и, следовательно, не существует таких наблюдений. Но косвенную оценку этой величины можно получить исходя из результатов Пущинского обзора мерцающих радиоисточников на частоте 102 МГц [16]. Авторами [16] было зарегистрировано 395 компактных, т.е. имеющих угловые размеры порядка 0,1", радиоисточников, в то время как в 7С обзоре (т.е. в 7-ом Кембриджском обзоре) на частоте 151 МГц (с диаграммой направленности с шириной в 70'') в том же участке неба найдено 4723 радиоисточника, хотя чувствительности обзоров были приблизительно одинаковыми. Следовательно, можно считать, что только 8 % радиоисточников имеют заметные компактные компоненты с размером, не превышающим 0,1", а остальные 92 % из них являются протяжёнными (для интерферометра с разрешением 0,1") и поэтому их глубина модуляции $V \approx 0$. Из проведённых авторами [14] наблюдений получено, что средняя степень компактности обнаруженных мерцающих источников равна 0,36. Последняя равна глубине модуляции соответствующего источника, когда разрешение интерферометра порядка 0,1''. Именно такое разрешение имеет интерферометр с базой 6000 км, работающий на частоте 100 МГц. Отсюда следует, что в наблюдениях на частоте 100 МГц на радиоинтерферометре со сверхдлинной базой порядка $6\,000$ км имеем $\langle V^2 \rangle \sim 0.01$. Следовательно, за счёт глубины модуляции дисперсия сигналов на выходе интерферометра с разрешением 0,1" уменьшится ещё на два порядка. Таким образом, наблюдения на радиоинтерферометре со сверхдлинной базой более 5000 км позволят существенно подавить эффект путаницы и довести обусловленный им $\sqrt{\langle \Delta D^2 \rangle}$ до 1 мЯн.

1.2. Флуктуационная чувствительность интерферометра

Поскольку, переходя от наблюдений на одиночном радиотелескопе к интерферометру с очень большой базой, мы подавляем вызванный эффектом путаницы $\sqrt{\langle \Delta D^2 \rangle}$ до 1 мЯн, то для достижения высокой чувствительности наблюдений мы, естественно, должны иметь и флуктуационную чувствительность интерферометра не хуже 1 мЯн. Отношение сигнал/шум для точечного радиоисточника, наблюдаемого на интерферометре с одинаковыми антеннами, когда антенная

температура источника существенно меньше температуры системы, равно [13]:

$$\frac{SA_{\rm e}}{kT_{\rm s}}\sqrt{\frac{\tau\,\Delta\nu}{2}}\,.\tag{7}$$

Из (7) следует, что при температуре системы $T_{\rm s} \approx 300$ К (в направлении на галактический полюс на частоте 100 МГц температура фона составляет $T_{\rm \phi} \sim 100$ К), в полосе частот $\Delta \nu = 1$ МГц, что составляет величину порядка 1 % от несущей частоты, при времени когерентного накопления $\tau = 100$ с ($\tau = 180$ с получено в [17]) флуктуационную чувствительность в 1 мЯн можно достичь только при эффективной площади интерферометра $A_{\rm e} \sim 10^5$ м². Это означает, что, т. к. $A_{\rm e} =$ $= (A_1 A_2)^{1/2}$, он должен состоять из очень крупных антенн. Например, если в качестве одной из антенн взять синфазную антенную решётку километрового размера с эффективной площадью $A_1 = 4 \cdot 10^5$ м², то вторая антенна должна иметь $A_2 = 2,5 \cdot 10^4$ м², т. е. тоже должна быть очень крупной антенной. Таким образом, для достижения высокой чувствительности наблюдений в метровом диапазоне длин волн необходимо создание интерферометра со сверхдлинной базой на основе очень крупных радиотелескопов.

2. ОСОБЕННОСТИ ИНТЕРФЕРОМЕТРА НА ОСНОВЕ КИЛОМЕТРОВЫХ АНТЕННЫХ РЕШЁТОК

Проектируемые в настоящее время радиотелескопы нового поколения LOFAR и SKA представляют собой системы апертурного синтеза размером порядка 300÷400 км на основе малых антенн. Такую же архитектуру имеет индийский радиотелескоп GMRT, и в настоящее время в качестве проектов будущих радиотелескопов рассматриваются только системы апертурного синтеза. Системы SKA и LOFAR позволят получать карты слабых радиоисточников с чувствительностью порядка 1 мЯн и с разрешением до 1″.

Мы предлагаем создать гигантский интерферометр с базой, большей 5 000 км, на основе синфазных километровых антенных решёток. Данная система позволит наблюдать компактные радиоисточники с такой же чувствительностью порядка 1 мЯн, но с лучшим разрешением порядка 0,1", что очень важно для исследования активных ядер галактик.

Особо отметим принципиально новую возможность предлагаемого радиоинтерферометра. Поскольку синфазные антенные решётки, как и дифракционные решётки, имеют многолучевые диаграммы направленности, то созданный на их основе интерферометр будет иметь также многолучевую диаграмму направленности. В результате появляется возможность перекрыть по склонению всю доступную наблюдениям полусферу. Это открывает новую возможность быстрого проведения обзоров компактных радиоисточников.

Необходимо также отметить, что каждая большая километровая синфазная антенная решётка представляет самостоятельный интерес. Как показано в [12], антенна с эффективной площадью на порядок большей, чем площадь БСА, обеспечит существенный прогресс в исследовании быстропеременных процессов, таких как излучение пульсаров и межпланетных мерцаний, для наблюдения которых нужна высокая мгновенная чувствительность. Кроме того, большая антенна с заполненной апертурой позволит увидеть очень слабые протяжённые радиоисточники. Заметим также, что двумерная дифракционная решётка позволяет формировать многолучевую диаграмму направленности антенны, перекрывающую почти всю видимую полусферу неба. Это даёт возможность наблюдать всё небо одновременно. В результате такая антенна позволит проводить его мониторинг с целью обнаружения объектов, излучение которых слабо и имеет вспышечный характер, для чего необходима высокая мгновенная чувствительность приёмной аппаратуры. Наконец, многолучевая антенная решётка с эффективной площадью на порядок больше, чем у БСА, позволит реализовать ещё одну новую методику — лунный интерферометр, т.е. космический интерферометр на Земле [18]. Для этого также необходим радиотелескоп с высокой мгновенной чувствительностью и многолучевой диаграммой направленности.

Конечно, строительство больших синфазных антенных решёток с многолучевой диаграммой направленности потребует привлечения новых технологий и больших материальных затрат. Тем не менее, для достижения чувствительности в 1 мЯн интерферометр на основе очень крупных антенн может оказаться более дешёвой системой, чем система апертурного синтеза размером 300×300 км с хорошим заполнением U-V плоскости, что необходимо для подавления эффекта путаницы.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования в области физики галактических ядер и космологии требуют проведения низкочастотных наблюдений компактных внегалактических радиоисточников с высокой чувствительностью и разрешением. Существенного прогресса в этом вопросе можно ожидать, если достижимую на сегодняшний день чувствительность при низкочастотных наблюдениях радиоисточников в метровом диапазоне длин волн (порядка 0,1 Ян) повысить до величины порядка 1 мЯн. Указанная чувствительность определяется эффектом путаницы. Для его подавления и получения среднеквадратичного отклонения сигнала на выходе радиотелескопа порядка 1 мЯн требуется антенна с размерами 300 × 300 км. Разрабатываемые в настоящее время проекты радиотелескопов нового поколения LOFAR и SKA представляют собой корреляционные решётки на основе малых антенн, которые позволяют синтезировать апертуры антенн с размерами 300÷400 км. Архитектура этих радиотелескопов подобна архитектуре радиотелескопа GMRT — это большое скопление малых антенн. В настоящей работе показано, что такую же чувствительность порядка 1 мЯн можно достичь с помощью интерферометра с базой, превышающей 5000 км, на основе крупных антенн, которые представляют собой синфазные антенные решётки километрового размера. При этом каждая такая антенна самостоятельно обеспечит существенный прогресс в исследовании быстропеременных процессов, таких как излучение пульсаров и межпланетные мерцания компактных радиоисточников, а также в исследовании слабых и очень протяжённых радиоисточников. Кроме того, такие антенны позволят проводить поиск объектов, излучение которых имеет вспышечный характер, и реализовать лунный интерферометр.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Slish V. I. // Nature. 1963. V. 199. P. 682.
- 2. De Bruyn A. G. // Astron. Astrophys. 1976. V. 52. P. 439.
- 3. Marr J. M., Taylor G. B., Crawford F. // Astrophys. J. 2001. V. 550. P. 160.
- 4. Разин В. А. // Изв. вузов. Радиофизика. 1960. Т. 3. С. 921.
- 5. Sunyaev R. A. // Astrophys. Lett. 1970 V. 7. P. 19.
- 6. Kopylov A. I., Artyukh V. S., Kopylova F. G. // Astron. Astrophys. 2004. V. 421. P. 455.
- 7. Zasov A. V., Artyukh V. S., Tyul'bashev S. A. // Astrophys. Space Sci. 1997. V. 252. P. 107.
- 8. Artyukh V. S. // Astrophys. Space Sci. 2001. V. 278. P. 185.
- 9. Артюх В. С., Шишов В. И. // Астрон. журн. 1982. Т. 59. С. 896.
- 10. Scheuer P. A. G. // Proc. Cambr. Soc. 1957. V. 53. P. 764.
- 11. Артюх В. С., Виткевич В. В., Дагкесаманская И. М. // Астрон. журн. 1973. Т. 50. С. 924.
- Арискин В. И. и др. Большая антенная решётка перспективный радиотелескоп метрового диапазона волн: Препринт № 96 ФИАН. Москва, 1979. 24 с.

В. С. Артюх

- Thompson A. R., Moran J. M., Swenson G. W. Interferometry and synthesis in radio astronomy. New York: John Wiely and Sons, 2001. 692 p.
- 14. Artyukh V. S. // Astron. Astrophys. 2003. V. 409. P. 787.
- 15. Виткевич В. В. // Астрон. журн. 1952. Т. 29. С. 450.
- 16. Артюх В. С., Тюльбашев С. А., Исаев Е. А. // Астрон. журн. 1998. Т. 75. С. 655.
- 17. Clark T. A., Erickson W. C., Hutton L. K., et al. // Astron. J. 1975. V. 80 P. 923.
- 18. Артюх В. С., Шишов В. И. // Астрон. журн. 1982. Т. 59. С. 155.

Поступила в редакцию 19 мая 2009 г.; принята в печать 20 октября 2010 г.

NEW-GENERATION RADIO INTERFEROMETER

V. S. Artyukh

Studies of physical conditions in active nuclei of galaxies and cosmological research require lowfrequency observations of small-size radio sources with high sensitivity and resolution. To advance considerably in this research, observations in the meter wavelength range with a sensitivity of about 1 mJy are needed. The sensitivity of low-frequency observations of extragalactic radio sources is limited by the confusion effect. To suppress it to the 1 mJy level, one needs antennas with the 300– 400 km apertures. Currently, new-generation radio telescopes SKA and LOFAR are developed, which are aperture-synthesis systems based on small antennas which have dimensions of several hundreds of kilometers. Such measuring complexes will allow one to achieve a sensitivity of 1 mJy.

In this paper, we propose to make an interferometer with a base exceeding 5000 km on the basis of synphase kilometer antenna arrays. It is shown that such a system will have a sensitivity of about 1 mJy at a frequency of 100 MHz. Along with the high sensitivity, the proposed interferometer based on diffraction arrays will make it possible to form a multi-beam radiation pattern that in terms of inclination will cover the entire observable hemisphere. This opens up new opportunities for fast surveys of weak small-size radio sources.