

А. Т. Каллоглян, Г. М. Товмасян

О ПРИРОДЕ ДВОЙНЫХ РАДИОГАЛАКТИК

В работах [1, 2, 3] радиоисточники II класса были отождествлены с отдельными галактиками—членами скоплений галактик. Определение в данном скоплении того члена скопления, который является источником радиоизлучения, производилось после того, как была установлена реальность физической связи рассматриваемых радиоисточников с некоторыми скоплениями галактик. Доказательством реальности этой связи являлось значительное превышение наблюдаемого количества совпадений положений радиоисточников и скоплений галактик над ожидавшимся количеством случайных совпадений при допущении равномерного распределения обоих объектов. Вероятность случайного отклонения наблюдаемого количества совпадений от математического ожидания совпадений оказывалась порядка 10^{-4} — 10^{-6} и меньше. И интересно, что в непосредственной близости от положений радиоисточников в скоплениях обнаруживались в основном тесные двойные или пекулярные галактики.

Поскольку радиоисточники отождествлены с членами скоплений галактик, расстояние которых грубо можно оценить, то можно получить распределение мощностей радиоисточников. Это даст возможность проверки правильности произведенных отождествлений радиоисточников с двойными галактиками. Действительно, независимо от механизма возникновения радиоизлучения в двойных галактиках можно предполагать, что должна существовать связь между мощностью радиоизлучения и относительным расстоянием между

компонентами двойной галактики. Будь то случайное столкновение пары галактик или внутренние процессы, приводящие к образованию двойной галактики, мощность радиоизлучения должна при этом убывать по мере эволюции двойной галактики, т. е. по мере удаления ее компонентов друг от друга. На рис. 1 представлена диаграмма зависимости мощности радиоизлучения двойных радиогалактик от относительного расстояния компонентов друг от друга. На диаграмму нанесены те радиоисточники сиднейских списков [4, 5] и списка ЗС [6], которые в [1, 2, 3] с оценкой „хорошо“ или „удовлетворительно“ отождествлены с двойными галактиками, находящимися в скоплениях галактик. На диаграмму нанесены также два радиоисточника, отождествленных Миллсом [7] с двойными галактиками в скоплениях. Всего при составлении диаграммы использовано 46 отождествлений.

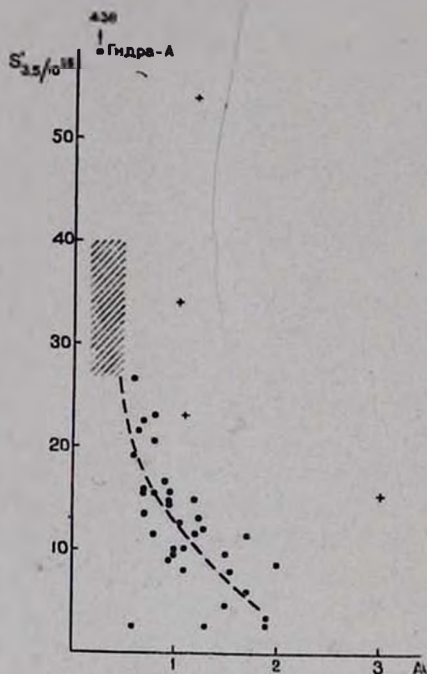


Рис. 1.

На диаграмме по абсциссе отложены относительные расстояния между компонентами двойных галактик

$$A = \frac{2r}{d_1 + d_2},$$

где r — расстояние между центрами галактик, и d_1 и d_2 — их диаметры определялись по красным снимкам паломарского атласа. Исключение составляют радиоисточники ЗС 40 (01—05), ЗС 75 (02+010), ЗС 338 и Гидра-А (ЗС 218, 09—14). Первые три радиоисточника отождествлены с достаточно яркими двойными галактиками, изображения которых п.

красных лучах передержаны на паломарских картах и потому измерение для них относительных расстояний A может дать ошибочные значения. Чтобы избежать этого, относительные расстояния в их случае измерены по синим снимкам. Относительное расстояние между компонентами сверхтесной двойной галактики, отождествленной с радиоисточником Гидра-А, определено с привлечением известного углового расстояния между ядрами галактик, поскольку двойственность этой галактики не различима на карте паломарского атласа и невозможно измерить r . По той же причине относительные расстояния измерены только для уверенно различимых двойных галактик, для которых относительные расстояния между компонентами больше 0.6.

По оси ординат отложены относительные плотности потоков радиоисточников $S'_{3.5}$, приведенные к определенному расстоянию с помощью данных Абелем [8] звездных величин десятых по яркости галактик соответствующих скоплений. Пересчет мощностей всех радиоисточников произведен к расстоянию, определяемому звездной величиной десятой по яркости галактики скопления, равной $17^m.1$. Плотности потоков радиоисточников списка ЗС, не наблюдавшихся в [4, 5], приведены к длине волны 3.5 м с учетом спектрального индекса, равного—0.7, а для источника ЗС 28, равного—0.37 [9]. В заштрихованной области расположены пять радиоисточников, отождествленных с сверхтесными галактиками, относительные расстояния между компонентами которых невозможно было измерить точно.

Рассмотрение рисунка указывает на отчетливую зависимость мощности радиоисточников от относительного расстояния между компонентами отождествленных с ними двойных галактик.

Точки, помеченные крестиками, не удовлетворяют полученной закономерности и представляют, вероятно, ложные отождествления. Это радиоисточники ЗС 14, ЗС 28, 12—019 и 21—120, отождествленные в [2].

На рис. 2 представлена та же диаграмма, с тем, однако, различием, что по оси абсцисс отложены логарифмы от значений A , а по оси ординат — абсолютные радиове-

личины радиисточников, определенные следующим образом. По формуле $m'_{1.9} = -53.4 - 2.5 \lg S'_{3.5} + 0.8$ [4] определены относительные радиовеличины источников сиднейских списков и по формуле $m'_{1.9} = -53.4 - 2.5 \lg S'_{1.9}$ для радиисточников списка ЗС. Затем сделан переход к абсолютным радиовеличинам с привязкой к абсолютной радиовеличине источника Гидра-А, равной по определению Псковского—29.4. [10].

Необходимо отметить, что значения абсолютных радиовеличин источников, определенные таким методом, не будут, конечно, в точности соответствовать их действительным значениям из-за дисперсии абсолютных величин десятых по яркости галактик соответствующих скоплений галактик, а также из-за возможных ошибок при определении $m'_{1.9}$ по $S'_{3.5}$, обусловленных дисперсией спектральных индексов источников. В табл. 1 во втором столбце даны абсолютные радиовеличины M_R нескольких источников, определенные описанным выше методом, а в третьем столбце радиовеличины $M_{R\text{пс}}$, приводимые Псковским. Среднеквадратичные отклонения M_R от $M_{R\text{пс}}$ порядка ± 0.5 (не учтены радиисточники ЗС 33 и ЗС 196). Однако очевидно, что наличие таких отклонений качественно не отразится на полученных результатах.

На рис. 2 пунктирной линией представлена эмпирическая формула:

$$M_R = -(26.0 \pm 0.2) + (4.4 \pm 0.8) \lg A, \quad (1)$$

выражающая зависимость абсолютной радиовеличины M_R на волне 1.9 м от A .

На диаграмме представлен также радиисточник Лебедь-А, абсолютная радиовеличина которого заимствована из [10], а относительное расстояние между компонентами измерено таким же образом, как и для Гидры-А.

Обнаруженная зависимость между абсолютной радиовеличиной источников и относительным расстоянием A между компонентами отождествляемых с ними двойных галактик дает возможность при знании модуля расстояния проверить надежность отождествления. Если же есть другие основания

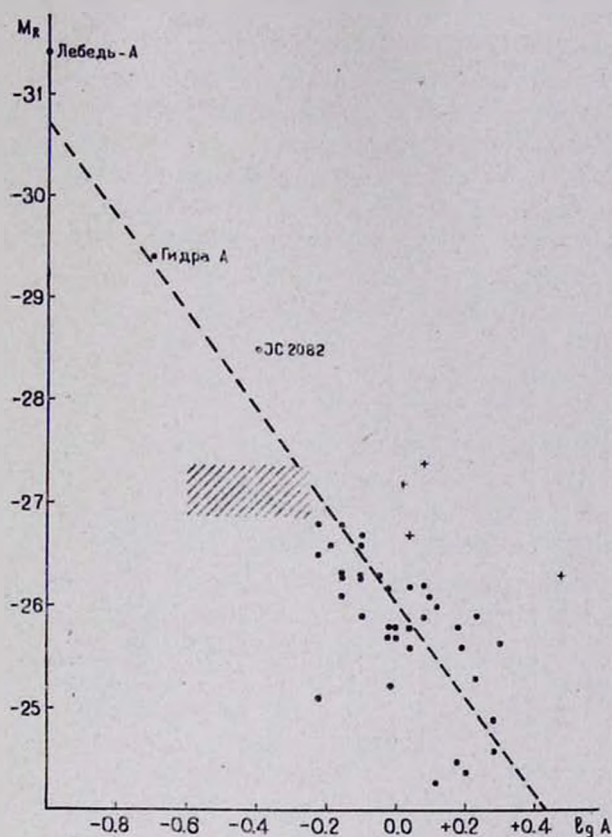


Рис. 2.

Таблица 1

3C	M_R	M_{RHC}	$M_R - M_{RHC}$	Примечания
33	-28.0	-30.2	+2.2	Отождествления произведены с различными галактиками.
40	-24.5	-24.0	-0.5	
75	-24.9	-23.9	-1.0	
196	-29.0	-31.1	+2.1	Галактика, по-видимому, не находится в скоплении A637.
218	-29.4	-29.4	0.0	
317	-26.3	-24.8	-1.5	
338	-25.1	-26.1	+1.0	

верить надежности отождествления, то эмпирическая формула (1) позволяет определить абсолютную радиовеличину источника только лишь по относительному расстоянию между компонентами отождествляемой с источником двойной галактики. В табл. 2 приведены абсолютные радиовеличины M_R , определенные по формуле (1) для тех двойных радиогалактик, абсолютные радиовеличины $M_{RПс}$ которых определены и в [10].

Таблица 2*

ЗС	A	M_R	$M_{RПс}$	$M_R - M_{RПс}$	Примечания
Лебедь-А	0.1	-30.7 ± 0.7	-31.4	+0.7	Один из компонентов двойной галактики кажется сверхтесной двойной.
Гидра-А	0.2	-29.1 ± 0.7	-29.4	+0.3	
338	0.6	-27.0 ± 0.4	-26.1	-0.9	
315	0.9	-26.2 ± 0.2	-29.2	+3.0	
40	1.5	-25.2 ± 0.3	-24.0	-1.2	Отождествления произведены с различными галактиками.
47	1.5	-25.2 ± 0.3	-29.4	+4.2	
278	1.7	-25.0 ± 0.4	24.2	-0.8	
75	1.9	-24.8 ± 0.4	-23.9	-0.9	

Как видно из таблицы, расхождения между M_R и $M_{RПс}$ невелики. Большое расхождение в ЗС 315, можно полагать, обусловлено тем, что этот источник является объектом типа Гидра-А, у которой яркий компонент двойной галактики представляет сверхтесную двойную, относительное расстояние между компонентами которой невозможно измерить на снимке паломарского атласа. Было бы желательным

* После завершения настоящей работы мы обратили внимание на статью Серсика (Zs.f. Ap., 53, 256, 1961), в которой приводится отождествление радионисточника в положении $\alpha = 04^h 28^m .1$, $\delta = -53^\circ 59'$ с двойной галактикой IC 2082. По данным Серсика, относительное расстояние между компонентами двойной галактики равно 0.4 и по формуле (1) получаем $M_R = -27.9$. Абсолютная же радиовеличина, определяемая по приводимому Серсиком модулю расстояния (с поправкой за постоянную Хаббла, принимаемую нами, $H = 75$ км/сек/мпс) получается равной -28.5. Разница между двумя значениями M_R равна всего +0.6. Радионисточник, отождествленный с IC 2082, добавлен на рис. 2 белым кружком.

сфотографировать этот объект на более крупном телескопе с целью проверки его предполагаемой сложной структуры.

Реальность обнаруженной зависимости между мощностью радиоизлучения двойной галактики и относительным расстоянием между его компонентами следует из диаграммы, представленной на рис. 3. Здесь по оси ординат отложены известные для нескольких двойных радиогалактик разности $m_1 - m_2$, взятые из таблицы в [10]. По оси абсцисс, как и ранее, отложены $\lg A$.

Полученная закономерность (1), описывающая эволюцию радионисточников — двойных галактик, имеет еще и важное космогоническое значение. Выше было отмечено, что ослабление мощности радиоизлучения с увеличением расстояния между компонентами двойной галактики должно ожидаться независимо от механизма возникновения радиоизлучения. В случае гипотезы сталкивающихся галактик ход изменения мощности радиоизлучения можно оценить теоретически. При современной шкале метagalактических расстояний кинетическая энергия

сталкивающихся газовых корон Лебедя-А равна $5 \cdot 10^{60}$ эрг [11]. Радиосветимость Лебедя-А (с учетом поправки за шкалу расстояний) равна $6.5 \cdot 10^{14}$ эрг/сек [12]. За время $2.5 \cdot 10^7$ лет было излучено энергии $Lt \sim 5 \cdot 10^{39}$ эрг, т. е. примерно 10% кинетической энергии сталкивающихся масс, что можно считать вполне приемлемым. Полная энергия локализованных в источнике Лебедь-А релятивистских электронов $E_1 \sim 4 \cdot 10^{38}$ эрг, что составляет примерно 1% кинетической энергии столкнувшихся газовых корон. За $2.5 \cdot 10^7$ лет было излучено почти в десять раз больше энергии, чем нынешний ее запас у релятивистских электронов. Если допустить, что высвечивание ре-

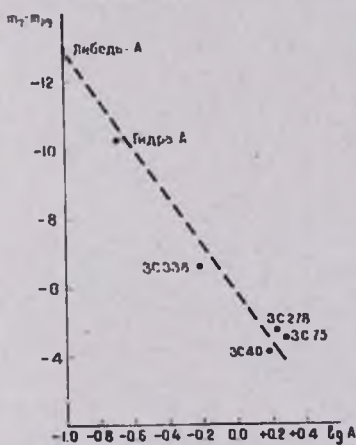


Рис. 3.

составляет примерно 1% кинетической энергии столкнувшихся газовых корон. За $2.5 \cdot 10^7$ лет было излучено почти в десять раз больше энергии, чем нынешний ее запас у релятивистских электронов. Если допустить, что высвечивание ре-

лятивистских электронов будет продолжаться с той же скоростью, то нужно полагать, что через $2.5 \cdot 10^6$ лет мощность радиоизлучения источника Лебедь-А будет ниже порога обнаружения современными средствами. Для обеспечения энергии в $5 \cdot 10^{40}$ эрг необходимо принять, что относительная скорость столкновения должна быть порядка 7 000 км/сек, что довольно маловероятно. Однако даже при такой скорости столкновения и при диаметрах галактик порядка $3 \cdot 10^4$ пс относительное расстояние компонентов двойной галактики за $2.5 \cdot 10^6$ лет станет равным приблизительно 0.6. А в случае более реальных относительных скоростей столкновения порядка 3 000 км/сек относительное расстояние компонентов двойной галактики за это время станет равным всего 0.3, а мощность радиоизлучения уже будет меньше предельного.

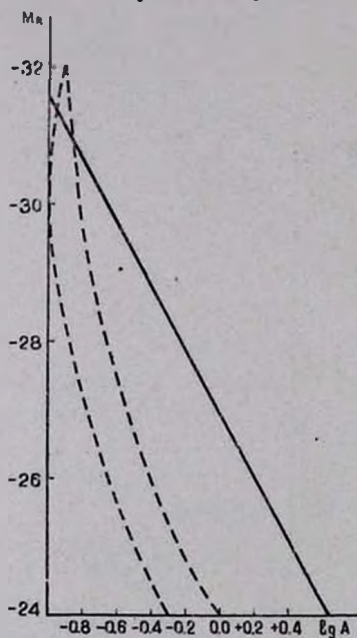


Рис. 4.

Таким образом, допустив, что двойные радиогалактики возникли в результате случайного столкновения и допустив, что для них действительны расчеты, произведенные для случая Лебедя-А, получаем, что мощность радиоизлучения релятивистских электронов столкнувшихся газовых масс падает с огромной скоростью и такие радиогалактики практически перестают быть обнаруживаемыми при достижении относительных расстояний между компонентами двойных галактик в лучшем случае порядка 0.5. Если предположить, что радиоизлучение при столкновении двух галактик возникает с момента первого соприкосновения, то нужно по-

лагать, что эволюция такой двойной радиогалактики будет происходить следующим образом. Радиоизлучение возник-

кает при $A=1$. Затем оно по мере проникновения одной галактики в другую возрастает. Согласно И. С. Шкловскому [12], участие всей массы обеих газовых корон в радиоизлучении, т. е. достижение максимального радиоизлучения, благодаря большей, чем скорость столкновения, скорости прохождения через короны ударной волны происходит до полного проникновения одной галактики в другую, т. е. до того, как A станет равным 0. После этого мощность радиоизлучения начинает быстро падать, так как нет каких-либо новых источников генерации релятивистских электронов. Грубо примерная кривая эволюции радиоизлучения столкнувшихся галактик приведена пунктиром на рис. 4, на котором непрерывной прямой показана наблюдаемая эволюция (учтен фактор проекции для расстояний между компонентами двойных галактик).

Большое расхождение обеих кривых отвергает гипотезу возникновения двойных радиогалактик в результате их случайного столкновения. Альтернативной гипотезой образования двойных радиогалактик остается гипотеза В. А. Амбарцумяна, согласно которой радиоизлучение возникает в результате нестационарных процессов, имеющих место при образовании ядра новой галактики в недрах существующей. При таком механизме источник генерации релятивистских электронов может существовать долго. Например, в случае радиоисточника Дева-А известно, что струя состоит из отдельных сгустков материи и что истечение материи со скоростью 900 км/сек из ядра галактики продолжается и в настоящее время [13], хотя сгустки материи, выброшенные первыми, уже отошли на значительное расстояние от ядра.

Относительная лучевая скорость двух ядер Лебедя-А не превышает по измерениям Минковского 200 км/сек. Относительная лучевая скорость галактик NGC 4872/3, отождествляемых с радиоисточником 3C 278, равна 670 км/сек [14]. Приняв скорость удаления друг от друга компонент двойных радиогалактик в среднем порядка 500 км/сек, получаем, что для достижения относительного расстояния между компонентами двойной галактики $A=1.5 \div 2.0$ необходимо время порядка 10^8 лет.

Ранее было высказано предположение [1], что большая дисперсия мощностей радионисточников может быть объяснена различием масштабов процессов, приводящих к радиоизлучению. В качестве примера приводились радионисточники Лебедь-А и Дева-А. В настоящей работе показано, что мощность радиоизлучения двойных радиогалактик зависит в основном от возраста двойной галактики. Однако закономерность, конечно, не строгая. Помимо других факторов дисперсия точек относительно прямой рис. 2 может быть объяснена именно различием масштабов происходящих явлений. Среднее отношение диаметров 17 двойных галактик, представленных на рисунке 2 точками, лежащими выше прямой, т. е. обладающими большими мощностями, равно 0.89 со среднеквадратичным отклонением $\delta = \pm 0.03$. Среднее же отношение диаметров 17 двойных галактик, расположенных ниже прямой, равно 0.78 с таким же среднеквадратичным отклонением. Таким образом, действительно дисперсия мощностей радионисточников двойных галактик при одинаковых относительных расстояниях компонентов друг от друга частично объясняется отношением диаметров обеих галактик, т. е. масштабами процессов, приводящих к радиоизлучению.

Пересчет плотностей потоков радионисточников, отождествленных в [1, 2, 3] с одиночными галактиками в скоплениях галактик к одинаковому расстоянию, показывает, что одиночные радиогалактики в среднем являются менее мощными радиоизлучателями, чем двойные радиогалактики. Так, даже без учета радионисточников Гидра-А и Лебедь-А с большими отличиями их абсолютных радиовеличин от радиовеличин остальных 39 радионисточников, надежно отождествляемых с двойными галактиками (включая и те радионисточники, которые находятся в заштрихованной области на рис. 1 и 2), среднее значение абсолютных радиовеличин последних равно

$$M_{R(\text{двойные})} = -26.1 \pm 0.1$$

Среднее же значение абсолютных радиовеличин 14 из 17 источников, отождествленных с одиночными галактиками, равно

$$M_{R(\text{одиночные})} = -25.2 \pm 0.3.$$

Не учтены абсолютные радиовеличины трех источников, так как они намного отличались от остальных радиовеличин. Среднее квадратичное отклонение здесь больше предыдущего, что может быть объяснено неоднородностью характеристик, представленных во второй группе одиночных галактик. Возможно, что некоторые из них являются двойными галактиками, не различимыми на паломарских снимках. Абсолютные радиовеличины одиночных радиогалактик были определены так же, как и для двойных радиогалактик.

Бюраканская астрофизическая обсерватория

АН АрмССР,

Институт радиофизики и электроники

АН АрмССР

Ա. Տ. ՔԱԼԹՂԵԱՆ, Հ. Մ. ԹՈՎՄԱՍՅԱՆ

ԿՐԿՆԱԿԻ ՌԱԴԻՈԳԱԼԱԿՏՐՈՒԱՆՆԵՐԻ ԲՆՈՒՅԹԻ ՄԱՍԻՆ

Ա մ փ ո փ ու մ

Նախորդ աշխատանքներում [1, 2, 3] կրկնակի դաշակտիկաների հետ նույնացված ռադիոաղբյուրների միջոցով ցույց է տրվում, որ գոյություն ունի կապ ռադիոաղբյուրների հզորության և նրանց հետ նույնացված կրկնակի դաշակտիկաների բաղադրիչների հարաբերական հեռավորության միջև (նկ. 1):

Նկ. 2 և (1) էմպիրիկ բանաձևում այդ նույն կապն արտահայտված է ռադիոաղբյուրների բացարձակ ռադիոմիծությունների միջոցով:

Ցույց է տրվում, որ ռադիոդաշակտիկաների առաջացումը դաշակտիկաների պատահական բախումներով բացատրելու դեպքում ռադիոդաշակտիկաների հզորության փոփոխությունը ժամանակի ընթացքում խիստ կիրպով տարբերվում է դիտվող փոփոխությունից (տե՛ս նկ. 3) և արդպիսով ժխտվում է բախման հիպոթեզը:

Կրկնակի դաշակտիկաների բաղադրիչների նույն հարաբերական հեռավորության դեպքում ռադիոաղբյուրների հզորության դիսպերսիան որոշ չափով կախված է բաղադրիչների տրամագծերի հարաբերությունից: Այդ հարաբերության միջինը հավասար է 0.89-ի

նկ. 2-ում բերված կորից զերե գտնվող կետերի համար և հավասար է 0.78-ի՝ ցած գտնվող կետերի համար:

Ցույց է տրված նաև, որ կրկնակի ուղիորդակալիկաները ավելի հզոր ուղիորդառադիոթիչներ են՝ նրանց միջին բացարձակ ուղիորդմեծությունը հավասար է -26.1 -ի, քան միախակ ուղիորդակալիկաները, որոնց միջին բացարձակ ուղիորդմեծությունը հավասար է -25.2 -ի:

A. T. KALLOGLYAN, H. M. TOVMASSYAN

ON THE NATURE OF DOUBLE RADIO GALAXIES

S u m m a r y

The correlation of mutual distances between double galaxies components with powers of corresponding radio sources is found for those sources, which in [1, 2, 3] were identified with double galaxies in clusters of galaxies (see fig. 1). In fig. 2 and empiric formula (1) the same correlation is expressed in absolute radio magnitudes of radio sources.

The dispersion of radio emission power of double galaxies having the same relative distances between their components partly depends from the ratio of diameters of double galaxies components. The mean of this ratio is equal to 0.89 for the stronger sources which are represented by dots situated higher of the curve in fig. 2 and is equal to 0.78 for the weaker sources represented by dots lower of the curve.

It is shown that double radio galaxies are more powerful radio emitters. Their mean absolute radio magnitude is equal to -26.1 , while for single radio galaxies the mean absolute radio magnitude is equal to -25.2 .

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Г. М. Товмасын, Р. К. Шахбазян, Известия АН АрмССР, серия физ.-мат. наук, 14, 121, 1961.
2. Г. М. Товмасын, Сообщения Бюраканской обсерватории, 31, 19, 1962.
3. Г. М. Товмасын, А. Т. Каллоглян, Сообщения Бюраканской обсерватории, 31, 31, 1962.

4. *B. Y. Mills, O. B. Slee, E. R. Hill*, Aust. J. Phys. **11**, 360, 1958.
5. *B. Y. Mills, O. B. Slee, E. R. Hill*, Aust. J. Phys. **13**, 676, 1960.
6. *D. O. Edge and others*, Memoirs of RAS, **83**, 37, 1959.
7. *B. Y. Mills*, Aust. J. Phys. **13**, 550, 1960.
8. *G. O. Abell*, Ap. J. Suppl. Ser. № **31**, **3**, 211, 1958.
9. *D. E. Harris, J. A. Roberts*, Cal. Inst. Tech., Radio Obs. № **1**, 1960.
10. *Ю. П. Псковский*, Астрономический журнал, **39**, 222, 1962.
11. *G. R. Burbidge*, Paris Symposium on Radio Astronomy, p. 507, Stanford University Press, 1959.
12. *И. С. Шкловский*, Космическое радиополучение, 1956.
13. *D. Osterbrock*, Ap. J. **132**, 325, 1960.
14. *J. Greenstein*, Ap. J. **133**, 325, 1961.

