

И. С. ШКЛОВСКИЙ

## РАДИОЗВЕЗДЫ

(Представлено академиком М. А. Леонтовичем 19 V 1951)

Хотя экспериментальные данные о так называемых точечных источниках радиоизлучения Галактики пока еще очень скудны, все же можно в настоящее время высказать некоторые, достаточно обоснованные соображения об их количестве и распределении в Галактике, а также об их основных физических характеристиках (например массе, светимости, температуре).

Мы вначале коснемся вопроса об общем количестве «точечных» источников радиоизлучения в Галактике и об их распределении.

В нашей работе <sup>(1)</sup> был предложен метод определения расстояния до точечных источников радиоизлучения Галактики и было показано, что расстояния до одного из таких источников — в созвездии Лебеда — заведомо меньше 35 парсек. Этот неожиданный результат показывает, что точечные источники радиоизлучения Галактики — объекты, близкие к нашей солнечной системе. Отсюда можно сделать вывод, что их общее количество в нашей звездной системе должно быть очень велико. Так как вблизи известных точечных источников не было обнаружено никакой звезды ярче 8-й величины, то светимость объектов, ответственных за наблюдаемое радиоизлучение дискретных источников (в дальнейшем мы их будем называть радиозвездами), должна быть небольшой, во всяком случае, значительно меньше солнечной <sup>(1)</sup>.

Представления о том, что радиозвезды суть объекты, весьма распространенные в нашей Галактике и имеющие небольшую светимость, нашли себе полное подтверждение в недавнем статистическом исследовании точечных источников радиоизлучения Галактики, выполненном Райлем и Смитом <sup>(2)</sup>. Указанные авторы, считая, что на волне  $\lambda = 3,7$  м практически все наблюдаемое радиоизлучение Галактики обусловлено излучением точечных источников (что представляется вполне обоснованным), из отношений интенсивностей отдельных точечных источников и общего радиоизлучения Галактики нашли, что среднее расстояние между радиозвездами в окрестности Солнца еще гораздо меньше и равно 0,7 парсека. Они отмечают, что найденное среднее расстояние между радиозвездами сравнимо с расстоянием между «оптическими» звездами в окрестностях Солнца. Однако, как легко видеть, среднему расстоянию в 0,7 парсека соответствует средняя плотность радиозвезд в окрестностях Солнца, равная 3 объектам на кубический парсек, в то время как плотность обычных звезд в окрестностях Солнца равна 0,1 на кубический парсек, т. е. в 30 раз меньше. Так как в работе <sup>(2)</sup> содержится ряд упрощающих предположений, то весьма важно дать независимый метод оценки плотности радиозвезд.

Для этой цели прежде всего попытаемся отождествить радиозвезды с какими-нибудь известными объектами. Сопоставления такого рода делались и раньше, но при этом пытались отождествить точечные источники со звездами, обладающими какими-нибудь особенностями,

или, во всяком случае, со сравнительно яркими звездами. Так как, согласно (1) и (2), радиозвезды сравнительно близки от нас, то представляется целесообразным сравнить положения радиозвезд с ближайшими к нашей солнечной системе звездами. Мы воспользуемся координатами радиозвезд, данными в (2) (для северного полушария), и каталогом всех звезд, отстоящих от нас ближе 10 парсек, приведенных в сводке Койпера (3). На рис. 1 приводятся положения радио-

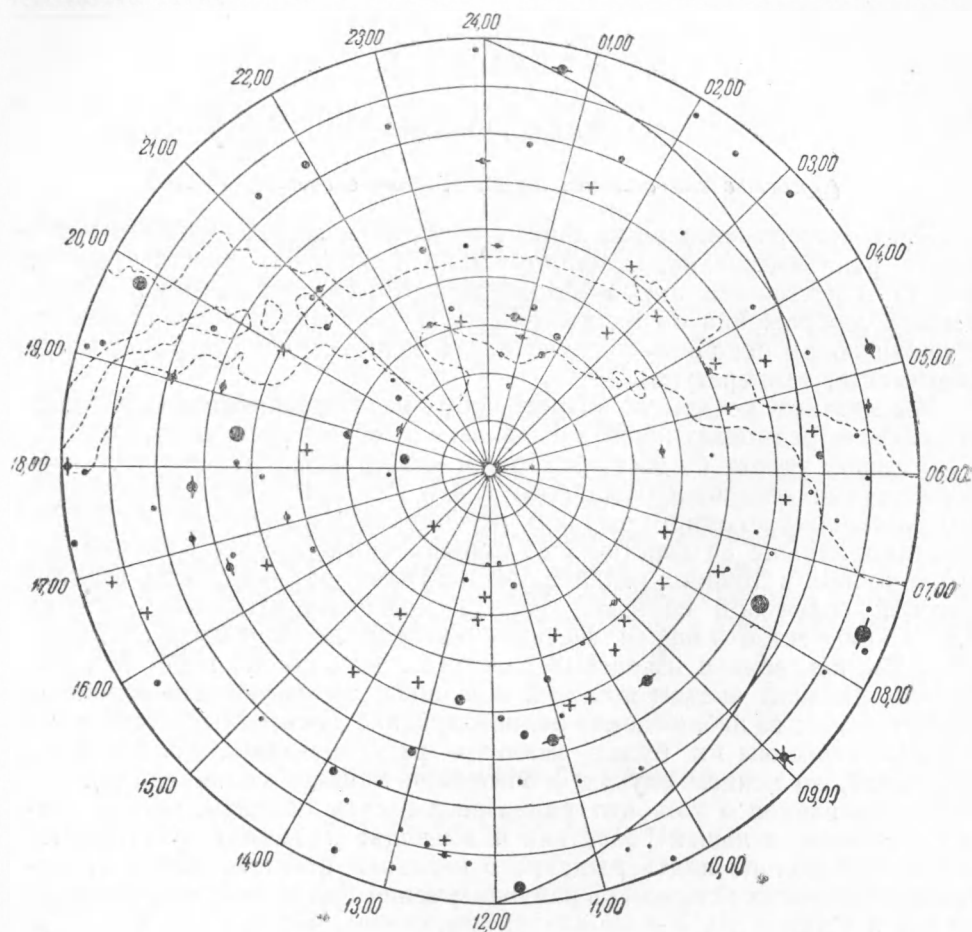


Рис. 1. Близкие к Солнцу «оптические» звезды и радиозвезды в северном полушарии

звезд (отмечены крестиками) и всех близких к нам оптических звезд (черные кружки, грубо соответствующие абсолютным величинам). Совершенно ясно видно, что никакого совпадения положений радиозвезд и оптических звезд нет. Единственное исключение — визуально-двойная звезда Volf 686-687,  $\alpha = 8^{\text{h}}56^{\text{m}}6$ ,  $\delta = +5^{\circ}38'$ . Видимые визуальные величины компонент равны 12,1 и 12,5, абсолютные — то же самое, т. е. принимается, что эта система находится от нас на расстоянии 10 парсек. Спектральный класс обеих компонент M5. Заметим, что параллакс определяется очень неуверенно — просто принимается значение абсолютной величины, среднее для данного спектрального класса. Мы с большой осторожностью относимся к этому единственному совпадению. Для его подтверждения необходимы дальнейшие специальные исследования.

Сам по себе факт отсутствия совпадений положений радиозвезд и оптических звезд весьма многозначителен. Ведь радиозвезды могли

бы быть компонентами кратных систем. Хорошо известно, что явление кратности среди звезд исключительно распространено во Вселенной. Каждая третья, а может быть, и вторая звезда в нашей Галактике входит в состав кратной системы, причем комбинируют звезды с самыми различными физическими характеристиками. Было бы крайне маловероятно считать, что радиозвезды образуют такой тип населения Галактики, который почему-то не комбинирует ни с какой оптической звездой.

Тогда факт отсутствия совпадений положений радиозвезд и оптических звезд может означать, что мы наблюдаем ближайшие к нам радиозвезды, которые оказываются более близкими, чем оптические звезды. Необходимо принять, таким образом, что радиозвезда, находящаяся от нас на расстоянии в 2—3 парсека (т. е. на расстоянии ближайших к нам оптических звезд), будет давать излучение, находящееся на пределе чувствительности современной радиоаппаратуры. Полагая, что все наблюдаемые радиозвезды находятся в сфере, радиус которой меньше 2,5 парсека, найдем, что средняя плотность радиозвезд в окрестностях Солнца будет больше единицы на кубический парсек, что находится в согласии с оценкой Райля и Смита.

Радиозвезды в окрестностях Солнца распределены в пространстве довольно равномерно. Это видно хотя бы из следующего. Совершенно аналогично оптическим звездам мы можем построить шкалу видимых звездных радиовеличин. Интенсивности излучения отдельных радиозвезд могут быть получены косвенно из <sup>(2)</sup>. Полагая условно, что видимая радиовеличина точечного источника в Лебеде (исторически открытого первым) равна  $0^m_0$ , можно найти, что в этой шкале радиовеличина самых слабых из исследованных в <sup>(2)</sup> источников будет  $3^m_4$ , в то время как радиовеличина самого интенсивного источника в Кассиопее равна —  $0^m_6$ . Замечательно, что отношение числа всех радиозвезд до 2-й величины к числу всех радиозвезд до 3-й величины равно 4, в то время как, согласно известной теореме звездной астрономии, при постоянной звездной плотности это отношение равно 3,98 <sup>(4)</sup>. Известно, что этот вывод не зависит от дисперсии абсолютных величин. Если среднее расстояние между двумя радиозвездами равно 0,7 парсека, то ближайшая к нам радиозвезда находится на расстоянии, меньшем 0,35 парсека. Считая, что абсолютные радиовеличины у всех радиозвезд одинаковы, найдем, что на расстоянии 2,5 парсека видимая радиовеличина будет около  $3^m_5$ , т. е. она действительно будет на пределе чувствительности радиоаппаратуры.

Что можно сказать о средних массах радиозвезд?

П. П. Паренаго из динамических соображений нашел, что полная масса Галактики около  $8 \cdot 10^{10}$  масс Солнца <sup>(5)</sup>. Полное число оптических звезд в Галактике  $(150 \pm 100) \cdot 10^9$  <sup>(5)</sup>. Независимо, из функции светимости можно найти среднюю массу звезды для нашей Галактики, которая оказывается равной 0,4 солнечной массы <sup>(6)</sup>. Отсюда следует, что масса оптически не светящейся части Галактики не может превышать  $6 \cdot 10^{10}$  солнечных масс. Полагая, что пространственная плотность радиозвезд в 30 раз больше, чем оптических, и что они распределены в пространстве подобно большинству оптических звезд (это предположение обосновывается приблизительным подобием Галактики в радиолучах и в оптических), найдем, что средняя масса радиозвезды должна быть меньше 0,05 массы Солнца. Так как их видимая визуальная величина больше +17 (иначе радиозвезды наблюдались бы оптически), то их абсолютные визуальные величины  $M_v > 24$ .

Какова же физическая природа этого нового класса космических объектов? Предположение о том, что радиозвезда есть холодное, твердое тело типа планет земной группы, совершенно неприемлемо.

Для того чтобы происходили какие-то неравновесные процессы, приводящие к мощному радиоизлучению, необходимо наличие хотя бы частично ионизированной атмосферы. Для этого минимальная температура поверхности радиозвезды должна быть около  $1000^\circ$ . С другой стороны, если бы температура поверхности такой звезды была  $3000^\circ$ , то из известного соотношения между абсолютной величиной, температурой и радиусом следовало бы, что радиус радиозвезды меньше 0,17 земного. Вряд ли можно предполагать существование объектов с такими фантастическими свойствами.

Мы приходим к представлению, что радиозвезды — это исключительно многочисленный класс космических тел с температурой поверхности  $1000\text{—}2000^\circ$ , с массой, являющейся промежуточной между массой больших планет и слабейших карликов класса М9. Интересно, что они образуют в нашей Галактике подсистему промежуточного типа и в этом отношении очень похожи на красных карликов, а отнюдь не на субкарликов, образующих сферическую подсистему (?). Повидимому, радиозвезды занимают промежуточное место между большими планетами и звездами-карликами.

Естественно принять, что существует в Галактике еще более многочисленный класс объектов с массами, еще меньшими, чем у радиозвезд, и с более низкими температурами. Это обстоятельство имеет важнейшее космогоническое значение, так как является серьезным аргументом в пользу представления о том, что в Галактике находится огромное количество планет (существенно превышающее количество звезд), не связанных со звездами.

Напрашивается вывод, что планетные системы, аналогичные солнечной, являются типичными образованиями в нашей Галактике.

Было бы очень желательно попытаться получить фотографии радиозвезд в инфракрасных лучах. Хотя в этой части спектра имеется мощное излучение ночного неба, принадлежащее, в основном, гидроксиду (<sup>8</sup>), тем не менее имеются значительные «окна» прозрачности. Например, комбинация фотопластинки, чувствительной до  $8800 \text{ \AA}$ , и марблитового фильтра может почти полностью устранить фон ночного неба.

Если считать, что радиозвезды (которые, в основном, излучают в оптической части спектра) удовлетворяют соотношению масса — светимость, то, полагая массу радиозвезды 0,01 солнечной, найдем, что ее болометрическая абсолютная величина будет равна  $18^{\text{м}5}$ . Следовательно, видимая болометрическая величина (для ближайших радиозвезд) будет около  $12^{\text{м}}$ . Теоретическая болометрическая поправка будет равна 10 и  $13^{\text{м}}$  для  $T = 1500$  и  $1200^\circ$ , соответственно. Наблюдения у эффективной длины волны  $\lambda = 8500 \text{ \AA}$  могут дать выигрыш в 5—6 звездных величин по сравнению с обычными фотографическими наблюдениями. Такие объекты, возможно, удастся обнаружить.

Я выражаю свою глубокую признательность акад. М. А. Леонтовичу и проф. П. П. Паренаго за проявленный ими интерес к настоящей работе и за ее обсуждение.

Государственный астрономический институт  
им. П. К. Штернберга

Поступило  
14 V 1951

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> И. С. Шкловский, ДАН, 73, 479 (1950). <sup>2</sup> M. Ryle, Reports on Progress in Physics, 13, 184 (1950). <sup>3</sup> G. Kuiper, Astroph. Journ., 95, 201 (1942). <sup>4</sup> П. П. Паренаго, Курс звездной астрономии, 1946, стр. 174. <sup>5</sup> П. П. Паренаго, Усп. астроном. наук, 4, 69 (1948). <sup>6</sup> В. С. Сафоноов, Астроном. журн., 28, № 4 (1951). <sup>7</sup> Б. В. Кукаркин, Исследование строения и развития звездных систем на основе изучения переменных звезд, М., 1949. <sup>8</sup> И. С. Шкловский, ДАН, 75, 371 (1950). <sup>9</sup> С. Ф. Родионов и И. Г. Фришман, ДАН, 77, 997 (1951). <sup>10</sup> А. А. Калиняк, В. И. Красовский и В. Б. Никонов, ДАН, 66, № 1 (1949).