

АСТРОНОМИЯ

И. С. ШКЛОВСКИЙ

О ВОЗМОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЯ ДО «ТОЧЕЧНЫХ» ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ГАЛАКТИКИ

(Представлено академиком Г. А. Шайном 20 V 1950)

Как известно, до последнего времени не удалось отождествить какой-нибудь из найденных «точечных» источников радиоизлучения Галактики ⁽¹⁾ с каким-либо определенным космическим объектом. В пределах точности локализации этих источников (6'—8') не найдено, например, никакой сколько-нибудь примечательной звезды, могущей быть ответственной за наблюдаемое аномальное радиоизлучение. В связи с этим представляет интерес нахождение способа определения расстояния до «точечных» источников непосредственно из наблюдений.

В настоящей работе мы предлагаем метод, который, по крайней мере принципиально, позволяет решить задачу нахождения расстояния до «точечных» источников.

Отличительной особенностью радиоизлучения «точечных» источников Галактики является переменность. Характер изменения интенсивности этих источников со временем очень похож на временную зависимость радиоизлучения возмущенного Солнца («всплески»). Весьма вероятно, что «точечными» источниками радиоизлучения являются некоторые звезды, излучающие вследствие действия какого-то неравновесного механизма подобно возмущенному Солнцу, но в гораздо большей степени ^(2, 3). Однако в самое последнее время выяснилось, что значительная часть флюктуаций интенсивности «точечных» источников вызвана, повидимому, дифракцией в ионосферных облаках. В то же время, несомненно, существуют и реальные флюктуации интенсивности, на что указывает прекрасная корреляция временной зависимости интенсивности некоторых флюктуаций при наблюдениях на разных волнах и с разных точек Земли ⁽⁴⁾. То обстоятельство, что в ранних исследованиях флюктуаций интенсивности радиоизлучения Галактики не было найдено корреляции для различных волн, повидимому, в значительной степени объясняется дифракционным эффектом в ионосфере.

Предлагаемый метод определения расстояния до «точечных» источников радиоизлучения основан на анализе реальных флюктуаций интенсивности на разных волнах. Радиоволны в межзвездном газе (который является для радиоизлучения диспергирующей средой) распространяются с групповой скоростью ⁽⁵⁾

$$u = c \cdot n, \quad (1)$$

где $n = \sqrt{1 - \frac{4\pi e^2 N}{m\omega^2}}$ — показатель преломления ионизированного газа,

N — концентрация свободных электронов, ω — круговая частота. Если «точечный» источник радиоизлучения (звезды) находится от нас на расстоянии S_1 , то время распространения радиоволны будет:

$$t = \int_0^{S_1} \frac{ds}{c \cdot n(S)} = \frac{1}{c} \int_0^{S_1} \frac{ds}{\sqrt{1 - \frac{4\pi e^2 N(S)}{m\omega^2}}} = \frac{1}{c} \int_0^{S_1} \frac{ds}{\sqrt{1 - \frac{3,18 \cdot 10^9 N(S)}{\omega^2}}} =$$

$$= \frac{S_1}{c} + \frac{1,59 \cdot 10^9}{c\omega^2} \int_0^{S_1} N(S) dS. \quad (2)$$

Отсюда видно, что одновременные «всплески» радиоизлучения «точечного» источника на разных волнах будут приходить на Землю неодновременно: более длинноволновое излучение будет запаздывать. Относительное запаздывание, соответствующее двум частотам ω_1 и ω_2 ($\omega_1 > \omega_2$) и обусловленное различием в групповых скоростях распространения радиоволн, будет:

$$\Delta t = \frac{1,59 \cdot 10^9}{c} \left(\frac{1}{\omega_2^2} - \frac{1}{\omega_1^2} \right) \int_0^{S_1} N(S) dS. \quad (3)$$

Таким образом, эффект запаздывания «накапливается» с увеличением «оптического расстояния» $\int_0^{S_1} N(S) dS$. Очевидно, измерив по регистрограмме относительное запаздывание всплесков излучения «точечного» источника на разных волнах и учитя возможное значение N в направлении на источник, мы можем оценить расстояние до последнего.

В качестве примера, обсудим превосходно коррелирующиеся регистрограммы флуктуации радиоизлучения точечного источника в Лебеде на волнах 3,7 и 6,7 м, опубликованные в ⁽⁴⁾. Насколько можно судить по репродукции малого масштаба, не существует никакого запаздывания, превышающего 5 сек. времени, т. е. $\Delta t < 5$ сек. Подставив в (3) $\omega_1 = 5,10 \cdot 10^8$ сек.⁻¹, $\omega_2 = 2,82 \cdot 10^8$, получим

$$\int_0^{S_1} N(S) dS < 1,1 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}. \quad (4)$$

Если бы между Землей и «точечным» источником было облако межзвездного газа, то принимая для его линейных размеров величину в 10 парсек, а для электронной концентрации $N = 10 \text{ см}^{-3}$ ⁽⁶⁾, мы получили бы в нашем случае запаздывание большее, чем 137 сек. Хорошо известно, что как раз в направлении на создание Лебедя находятся большие облака межзвездного ионизированного газа ⁽⁶⁾. Таким образом, мы непосредственно приходим к выводу, что если наблюдаемые коррелирующиеся флуктуации радиоизлучения Галактики в Лебеде на волнах 3,7 и 6,7 м реальны, то источник радиоизлучения находится между Землей и облаками межзвездного газа в Лебеде. Так как ни одно облако межзвездного газа не может лежать на луче зрения (иначе было бы очень большое запаздывание, чего не наблюдается), то последний, очевидно, проходит через весьма разреженную среду между облаками. Согласно ⁽⁶⁾, электронная концентрация в этой части межзвездного пространства около $0,1 \text{ см}^{-3}$. Следовательно, согласно ⁽⁴⁾, расстояние до «точечного» источника в Лебеде $S_1 < 10^{20}$ см, т. е. меньше 35 парсек. Не исключена возможность, что более тщательный

анализ оригинальной регистрограммы значительно уменьшил бы найденную нами верхнюю границу для S_1 .

Заметим, что, как легко показать, при таком малом S_1 поглощение радиоволн межзвездным газом будет совершенно не существенным.

Таким образом, мы приходим к выводу, что источником аномального переменного радиоизлучения в созвездии Лебедя не могут быть горячие звезды класса O, расположенные от Земли на расстоянии нескольких сот парсек и возбуждающие к свечению окружающие их облака межзвездного газа. Этот источник должен находиться где-то в окрестности Солнца и, очевидно, не может быть звездой с большей светимостью, чем Солнце (так как в области локализации источника, $\alpha = 19^{\circ}59$, $\delta = +41^{\circ}47$, нет ни одной звезды ярче восьмой величины).

Наш результат, разумеется, предварительный. Необходимы дальнейшие наблюдения аномального радиоизлучения, особенно в созвездии Лебедя, на разных волнах и с различных пунктов.

Следует заметить, что в случае больших всплесков радиоизлучения на Солнце всегда наблюдается запаздывание для более длинноволнового излучения, величина которого колеблется от 2–3 сек. до нескольких минут. Повидимому, это запаздывание объясняется конечной скоростью распространения агента, возбуждающего излучение на разных уровнях. Таким агентом могут являться потоки заряженных корпускул, движущихся от более плотных областей к менее плотным и возбуждающие плазменные колебания⁽⁷⁾. Можно ожидать, что этот эффект имеет место в случае «точечных» источников радиоизлучения Галактики. Наблюдаемое запаздывание, очевидно, будет суммой запаздывания в возбуждении излучения соответствующих частот «точечного» источника и запаздывания, обусловленного различием в групповых скоростях. Оба эффекта действуют в одном направлении. Разумеется, это обстоятельство никак не отразится на определении верхней границы расстояния до «точечного» источника. Но для определения самого расстояния желательно по возможности уменьшить запаздывание, обусловленное неодновременностью возбуждения разных частот в «точечном» источнике. Это можно сделать, проводя наблюдения на достаточно близких частотах. Например, при $\omega_1 = 4,08 \cdot 10^8$ сек.⁻¹, $\omega_2 = 3,77 \cdot 10^8$ сек.⁻¹ (разница частот 5 мегациклов — порядка ширины полосы пропускания приемника), при $S_1 = 57$ парсек, $N = 0,1$ см⁻³, $\Delta t = 1$ сек. Весьма вероятно, что такие близкие частоты излучаются источником практически одновременно.

Естественно, что при таких близких частотах надо проявлять особую осторожность при учете дифракционных явлений, обусловленных ионосферой, для чего наблюдения должны вестись с достаточно удаленных друг от друга пунктов.

Наконец, весьма желательны наблюдения линий излучения межзвездного газа в тех частях неба, где находятся «точечные» источники, чтобы иметь возможность оценить концентрацию электронов в соответствующих направлениях.

Крымская астрофизическая обсерватория
Академии наук СССР

Поступило
20 V 1950

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Г. Гетманцев, Усп. физ. наук, **40**, 159 (1950). ² И. С. Шкловский, Астрон. журн., **25**, 237 (1948). ³ A. Unsöld, Zs. f. Astroph., **26**, № 2-3, 176 (1949). ⁴ F. G. Smith, Nature, **165**, 422 (1950). ⁵ В. Л. Гинзбург, Теория распространения радиоволн в ионосфере, 1949, стр. 185. ⁶ B. Strömgren, Astroph. Journ., **108**, 242 (1948). ⁷ И. С. Шкловский, Астрон. журн., **23**, 333 (1946).