Доклады Академии наук СССР
1955. Том 103, № 5

АСТРОНОМИЯ

Г. Г. ГЕТМАНЦЕВ, К. С. СТАНКЕВИЧ и В. С. ТРОИЦКИЙ

МОНОХРОМАТИЧЕСКОЕ РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ ДЕЙТЕРИЯ НА ВОЛНЕ 91,6 см ИЗ ЦЕНТРА ГАЛАКТИКИ

(Представлено академиком Г. А. Шайном 11 III 1955)

Наряду с монохроматическим радиоизлучением нейтрального межзвездного водорода на $\lambda_H \cong 21$ см, исследование которого представляет несомненный астрофизический интерес, в принципе можно наблюдать монохроматическое радиоизлучение и на других волнах. Наиболее перспективным (1) в смысле возможности обнаружения является, повидимому, радиоизлучение межзвездного дейтерия на $\lambda_D \cong 91{,}6$ см (по последним данным $\nu_D = 327{,}38412$ Мгц $\pm$ 80 гц) (6), связанное, как и в случае радиоизлучения водорода на $\lambda_H \cong 21$ см, с переходами между компонентами сверхтонкой структуры основного состояния атомов дейтерия.

Согласно (1), при концентрации дейтерия в межзвездном пространстве порядка 10^{-3} от концентрации нейтрального водорода разность между эффективной температурой $T_{1\,эфф}$ радиоизлучения Галактики вне линии, но на частотах $\nu \sim \nu_D$ и $T_{2\,эфф}$, отвечающей центру линии $\nu = \nu_D$, для направления на галактический центр должна быть порядка $1/250\ T_{1\,эфф}$. При этом, в отличие от монохроматического радиоизлучения водорода, линия на волне $\lambda_D \cong 91{,}6$ см должна наблюдаться в поглощении. Поскольку, однако, в работе (1) не приводятся детали расчета «глубины линии» на $\lambda_D \cong 91{,}6$ см, этот расчет был воспроизведен нами в деталях вторично с учетом замечаний, содержащихся в (2). В результате получилась цифра, несколько меньшая, но близкая к той, которая приведена в (1), а именно, при концентрации $N_D \sim \sim 10^{-3}\, N_H$ «глубина линии» $\Delta T_{эфф}$, выраженная в эффективной температуре, должна быть порядка $1/500\ T_{1\,эфф}$. Для частот $\nu \sim \nu_D$ $T_{1\,эфф} \cong \cong 300°$ (1) и, следовательно, $\Delta T_{эфф}$ должно быть порядка 0,6°. Значение $\Delta T \sim 0{,}6°$ лежит за пределами флуктуационного порога чувствительности современных радиотелескопов, предназначенных для измерения монохроматического радиоизлучения Галактики. Поскольку, однако, концентрация дейтерия в межзвездном пространстве неизвестна и, может быть, в действительности $N_D > 10^{-3}\, N_H$, а статистическая обработка результатов измерений в принципе позволяет исследовать сигналы, лежащие ниже флуктуационного порога чувствительности аппаратуры, нами была предпринята попытка обнаружить линию поглощения на $\lambda_D \cong 91{,}6$ см.

Блок-схема установки, при помощи которой производились измерения радиоизлучения на $\lambda_D \cong 91{,}6$ см, приведена на рис. 1. Будучи типичной для подобного рода схем, она не требует особых пояснений; антенна установки представляет собой 4-метровый параболоид с помещенным в его фокусе полуволновым диполем. В процессе измерения использовались два варианта установки, отличающиеся друг от друга схемой блока высокой частоты. В первом варианте в качестве блока у. в. ч. использовалась высокочастотная часть серийного у. к. в.

компаратора ИНП-1, а во втором случае использовался усилитель, созданный в ГИФТИ. И в этом и в другом варианте установки частотная модуляция с $f \cong 25$ гц осуществлялась при помощи язычкового поляризованного реле, периодически (скачками) изменявшего емкость колебательного контура гетеродина, причем девиация частоты была порядка 40 кгц. В первой установке модулировалась частота 1-го гетеродина, а во второй — 2-го гетеродина. Ширина полосы по высокой частоте складывалась из полос основного и зеркального каналов по 15 кгц каждый, причем для приема радиоизлучения использовался лишь один канал. «Постоянная времени» установки τ в процессе наблюдений обычно была ~ 90 сек. Частота 1-го гетеродина контролировалась гетеродинным волномером и поддерживалась постоянной с точностью $\sim 3 \div 4$ кгц.

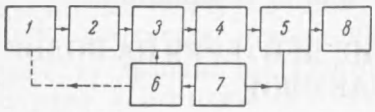


Рис. 1. Блок-схема установки. *1* — усилитель высокой частоты, смеситель и 1-й гетеродин; *2* — усилитель промежуточной частоты; *3* — смеситель, 2-й гетеродин, усилитель промежуточной частоты; *4* — усилитель низкой частоты и детектор; *5* — гетеродинный фильтр и синхронный детектор; *6* — модулятор; *7* — генератор, $f = 25$ гц; *8* — самописец

Флуктуационный порог чувствительности установки, выраженный в эффективной температуре антенны, определяется выражением ([3])

$$T_{\min} = \frac{NT_0}{Q} + \frac{1}{Q}(T_\varepsilon - T_0), \qquad (1)$$

где Q — „модуляционный выигрыш“; T_0 — температура входных цепей приемника $\cong 290°$K; $T_\varepsilon \sim 300°$ — температура антенны, обусловленная космическим радиоизлучением центра Галактики, куда в процессе наблюдения была направлена антенна радиотелескопа. Для описываемой установки $Q \cong 850$*. Коэффициент шумов установки N измерялся при помощи стандарт-генератора ГСС-12. Для второго варианта установки $N \cong 12$, в то время как для установки в ее первом варианте по ряду причин удалось определить лишь порядок N. Пользуясь выражением (1) для $T_{\min}$, для второй установки непосредственно находим $T_{\min} \cong 4°$.

В процессе наблюдений частота 2-го гетеродина плавно менялась в пределах нескольких сотен килогерц со скоростью ~ 5 кгц/сек, причем частота ν_D, отвечающая линии поглощения дейтерия, была заключена внутри интервала, в пределах которого перестраивалась частота. Наблюдения охватывают период с октября 1954 г. по январь 1955 г. включительно. За это время было получено всего около 33 отдельных записей. Поскольку, согласно оценкам, ожидаемый эффект, связанный с наличием линии поглощения, меньше значения $T_{\min}$, отвечающей флуктуационному порогу чувствительности приемной аппаратуры, обработка полученных записей производилась следующим образом. Большое число отдельных записей складывалось так, что фиксированные частоты, отвечающие отдельным записям, совмещались для разных записей, и вычислялось среднее арифметическое значение ординат. Очевидно, что флуктуации в усредненной кривой, обусловленные шумами аппаратуры, должны при этом уменьшаться при большом числе складываемых записей приблизительно как $1/\sqrt{n}$, где n — число использованных записей. В то же время, благодаря совмещению фиксированных частот при сложении записей, эффект, связан-

---

* Согласно ([3]) $Q = \frac{\pi}{8\sqrt{2}} \int_0^\infty \varphi^2 d\nu \Big/ \left[\left(\int_0^\infty \varphi^4 d\nu \right) \left(\int_0^\infty \Phi^2 d\nu \right) \right]^{1/2}$, где $\varphi(\nu)$ — амплитудная характеристика тракта высокой частоты (до детектора), а $\Phi(\nu)$ — амплитудная частотная характеристика гетеродинного фильтра.

ный с наличием полезного принимаемого сигнала, должен сохраняться постоянным.

На рис. 2 *а* приведен результат сложения 13 записей, полученных на 1-й установке, а на рис. 2 *б* — среднее из 20 записей, полученных на 2-й установке. И в том и в другом случае результирующая кривая имеет вид, типичный для записи монохроматического радиоизлучения, наблюдающегося в поглощении (запись излучения сигнал-генератора аналогична той, которая представлена на рис. 2, но имеет обратное чередование максимума и минимума). Ширина контура линий $\Delta\nu_D$, найденная из кривых рис. 2, между ординатами, отвечающими половине ординаты в максимуме линии, порядка 30 кгц. Поскольку ширина линии наблюдающегося монохроматического радиоизлучения водорода, связанная с разбросом скоростей отдельных водородных облаков, в направлении на центр Галактики порядка 120 кгц ([4]) и прямо пропорциональна частоте линии, а отношение $\nu_H/\nu_D \cong 4$, ширина линии поглощения межзвездного дейтерия должна быть порядка 120 $\nu_D/\nu_H \cong 30$ кгц, что совпадает с найденным выше значением $\Delta\nu_D$. Точка перегиба на кривых рис. 2, отвечающая максимуму линии поглощения D, близка к известному значению $\nu_D = 327{,}3842$ Мгц. Если учесть при этом, что при обработке записей рис. 2 должен быть введен некоторый сдвиг по частоте, отвечающий «постоянной времени» приемной аппаратуры $\tau \sim 90$сек., то частота, соответствующая максимуму линии, найденная из измерений, совпадает с приведенным значением ν_D с точностью до ошибок в установке частоты, которая была порядка нескольких килогерц.

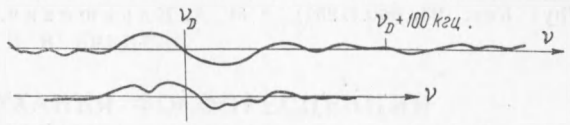


Рис. 2

Для дополнительной проверки полученных результатов были выполнены также следующие измерения, 2-й гетеродин попеременно настраивался на частоты, отвечающие максимуму и минимуму кривой рис. 2. В случае, когда антенна радиотелескопа была направлена на центр Галактики, разность отклонений выходного прибора (самописца) была близка к значению, которое определяется кривыми рис. 2 и по предположению равно удвоенной «глубине линий» поглощения межзвездного дейтерия. В случае же, когда антенна была направлена на галактический полюс, выходной прибор практически не отклонялся. Этот результат можно истолковать в том случае, что концентрация дейтерия для направлений на полюса Галактики много меньше, чем для направления на галактический центр, что представляется естественным.

На основании изложенного мы приходим к заключению, что в процессе описанных измерений в космическом радиоизлучении центра Галактики обнаружена линия поглощения, связанная с наличием межзвездного дейтерия. Эффективная температура $\Delta T_{эфф}$, отвечающая «глубине линий», найденная из кривых рис. 2 с учетом чувствительности аппаратуры и возможных ошибок, равна $2{,}5^\circ$ $(+2^\circ; -1^\circ)$. Найденному значению $\Delta T_{эфф}$ соответствует концентрация дейтерия $\sim 1/300$ от концентрации межзвездного неионизированного водорода, которая приблизительно на порядок превосходит концентрацию D на Земле и в метеорной пыли ([5]).

Однако, насколько мы можем судить, возможность повышенной концентрации дейтерия в межзвездной среде ничему не противоречит.

Так или иначе, полученный результат может оказаться существенным для выяснения изотопического состава межзвездной среды и проблемы происхождения составляющих ее элементов.

Авторы признательны чл.-корр. АН СССР В. Л. Гинзбургу за просмотр статьи и сделанные замечания.

Поступило
7 III 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] И. С. Шкловский, Астр. журн., 29, 144 (1952). [2] J. P. Wild, Astrophys. J., 115, 206 (1952). [3] В. С. Троицкий, ЖТФ, 22, 455 (1952). [4] W. N. Christiansen, J. V. Hindman, Austr. J. Sci. Res., 5A, 437 (1952). [5] G. Boato, Phys. Rev., 93, 640 (1954). [6] М. А. Ельяшевич, УФН, 54, 513 (1954).