

О ВОЗМОЖНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ СЛОЖНОЙ СТРУКТУРЫ ГАЛАКТИЧЕСКИХ РАДИОЛИНИЙ OH и H₂O

Ю. Н. Парийский

Предлагается объяснение частотной и пространственной структуры и поляризации наблюдаемых в Галактике радиолиний гидроксила и водяного пара эффектами многолучевого распространения радиоволн в турбулентной нейтральной и ионизированной «атмосфере», окружающей источники излучения этих радиолиний.

The frequency and spatial structure and the polarization of the hydroxyl and water-vapor radio spectral lines observed in the Galaxy are suggested to be explained by the effects of the multibeam propagation of radio waves in a turbulent neutral and ionized «atmosphere» enveloping the emission sources of these lines.

В последнее время выяснилась необходимость учета эффектов распространения радиоволн в межзвездной среде при интерпретации многих явлений, наблюдаемых в Галактике [1]. Однако обычно эти эффекты рассматривались только в случае сплошного спектра (вращение плоскости поляризации синхротронного излучения, поглощение и реабсорбция, рассеяние излучения пульсаров и квазаров на неоднородностях межзвездной и межпланетной среды). Ниже мы покажем, что эти эффекты могут иметь не меньшее значение и в случае спектров межзвездных атомов и молекул.

Пусть n — показатель преломления среды, z — путь, проходимый монохроматическим сигналом частоты ω в этой среде. Тогда общий фазовый сдвиг сигнала составит

$$\varphi = 2\pi/\lambda \cdot (n - 1)z.$$

Неоднородная среда приводит к рассеянию плоской волны на угол

$$\theta_s \approx \Delta t_{rms}/t = \Delta n_{rms}/n,$$

где t , Δt_{rms} — среднее время и дисперсия времени прохождения сигнала через различные точки «фазового экрана», которым заменяется реальная среда. Распространение в магнитоактивной среде (плазме в магнитном поле) приводит к пространственному расхождению обыкновенного и необыкновенного лучей. Если это расхождение (на пути z) по величине больше размера неоднородностей, то излучение может быть сильно поляризовано по кругу. При этом, в отличие от эффекта Зеемана, интегральная (по профилю линии) поляризация может быть отличной от нуля.

В реальном случае распространения монохроматического сигнала сквозь движущуюся среду (или среду с параметрами, зависящими от времени) имеем смещение частоты первичного сигнала

$$\Delta\omega \approx \partial\varphi/\partial t \approx \varphi_{rms}/T,$$

где T — характерное время изменения параметров среды вдоль луча зрения. Так как в точку наблюдения попадает излучение, рассеянное различными неоднородностями, движущимися, вообще говоря, с различными скоростями, то наблюдатель будет видеть расщепленную линию сложной структуры, отдельные компоненты которой могут быть поляризованы до 100% по кругу. Кроме того, зависимость поляризации от частоты оказывается неотличимой от эффекта Зеемана.

Приведем здесь некоторые количественные оценки для наиболее изученного объекта W3.

Рассмотрим следующую идеализированную схему. Точечный источник излучения одиночной линии ОН находится в середине турбулентной области ионизированного газа, пронизанного магнитным полем. Размер области — z , плотность — N_e , $\Delta N_e \approx N_e$; расстояние до объекта — R ; магнитное поле внутри области — H ; характерное время изменения условий распространения — T . В соответствии с наблюдениями Морана и др. [2], примем угол рассеяния

$$\theta_s = \Delta t_{rms}/t \approx \Delta n_{rms} \approx 10^{-2''}.$$

Но

$$n = 1 - 4\pi e^2 N_e / m(\omega \pm \omega_H)^2;$$

при $\omega_H \ll \omega$ сразу получим

$$N_{ср. кв.} = 3 \cdot 10^3.$$

Частотная структура линии этого объекта показывает величину расщепления $\Delta\nu \approx 3 \cdot 10^3$ гц ($\omega = 2\pi\nu$), а характерный масштаб временных изменений по данным наблюдений близок к 1 месяцу. Видимая пространственная структура источника W3, полученная с интервалом в 1 год, совершенно различна (ср. [2] и [3], хотя это различие может быть связано и с плохим качеством наблюдений). В этом смысле «радиодрожания» в W3 более существенны, чем «радиомерцания», аналогично случаю турбулентной атмосферы.

Из этих соображений найдем из выражения

$$\partial \varphi_{rms} / \partial t \approx \varphi_{rms} / T = 2\pi / \lambda T \cdot (n - 1) z = 3 \cdot 10^3$$

масштаб «атмосферы» источника W3:

$$z = 0.1 \text{ пс.}$$

Наконец, найдем величину магнитного поля H в непосредственной близости от W3 из следующих выражений:

$$n_+ - n_- = 4\pi e^2 N_e / m\omega^2 \cdot 4\omega_H / \omega = a/z,$$

где n_+ , n_- — показатели преломления обыкновенной и необыкновенной волн, a — масштаб неоднородностей, ω_H — гирочастота.

Данные о масштабах неоднородностей весьма ограничены. Предположим, что эти масштабы заключены между характерными масштабами солнечного ветра (10^7 см) и межзвездного газа ($\sim 10^{11}$ см). При $z = 0.1$ пс это приводит нас к $H \approx 1 \div 10^{-4}$ гс.

Любопытно, что при значениях $z = 0.1$ пс и $N_e = 3 \cdot 10^3$ масса ионизированной «атмосферы» первичного источника ОН оказалась близкой к массе Солнца.

В заключение отметим, что возможно также объяснить структуру (и переменность) радиолиний H_2O эффектами рассеяния и многолучевого

распространения радиоволн в турбулентной водородной (неионизированной) среде. В этом случае компоненты не должны быть поляризованы и показатель преломления не будет зависеть от длины волны. Оценки показывают, что при скоростях движения неоднородностей водородной «атмосферы» до 100 км/сек. наблюдаемая структура объясняется наличием нейтральной «атмосферы» вокруг первичного источника свечения H_2O с массой до $10-100 M_{\odot}$.

Наконец, комбинацией эффектов, возникающих в нейтральной и ионизированной турбулентной плазме, можно объяснить наблюдаемые свойства радиолиний OH и H_2O в предположении *единого* источника излучения одиночной радиолинии. Так как направления отклонения фронта волны в нейтральной и в ионизированной средах имеют противоположные знаки, то угловые расстояния между кажущимися «левыми» и «правыми» изображениями будут уже не связаны с угловым размером рассеянного изображения. По-видимому, именно такой случай и имеет место — влияние нейтральной среды сравнимо с влиянием ионизированной среды.

В принципе смещение частоты радиолиний в движущихся (или изменяющих свои свойства) прозрачных средах может быть использовано и для определения свойств самой среды во многих других случаях (коллапс или разлет газовых масс, оценка межгалактической плотности по частотной зависимости хаббловского расширения и по искажению реликтового фона). Однако пока что все эти эффекты для известных объектов находятся за пределами возможностей экспериментальной проверки. Следует также отметить, что движения в межзвездном газе накладывают ограничения на оценки ожидаемого характера способов межзвездной связи и методов расшифровки сигналов: среда ограничивает полосу сигнала величиной $\Delta \omega \approx 1 \div 10^3$ гц и «нормализует» распределение амплитуд электромагнитного поля, т. е. теряется всякая возможность извлечь информацию из статистики поля принимаемого излучения. Именно этим эффектом может быть объяснен также отрицательный результат, полученный Пащенко и др. [4], при попытке обнаружения отклонения статистики поля излучения OH от гауссовой.*

Экспериментальная проверка важности роли рассеяния на движущихся средах может быть сделана методами интерферометрии с большими базами. Фазочувствительная интерферометрия должна дать сведения о «радиодрожаниях», а интерферометрия с базами D , для которых объект находится в ближней зоне ($D > \sqrt{R\lambda}$), позволит устранить эффект многолучевого распространения радиоволн и увидеть истинную структуру (и спектр) источников излучения. Для устранения эффектов рассеяния в солнечной короне и в эклиптическом газе достаточно применяемых на Земле баз, а для устранения эффектов, возникающих в межзвездной среде, необходимы базы порядка долей астрономической единицы.

Литература

1. P. Scheuher, Nature, 218, No. 5145, 922, 1968.
2. J. Morgan et al., Astrophys. J., 152, No. 2, L97, 1968.
3. J. Morgan et al., Astrophys. J., 148, No. 2, L69, 1967.
4. М. И. Пащенко и др. Астрон. цирк., № 626, май 25, 1, 1971.

Декабрь 1971 г.

* Такое отклонение должно иметь место при мазерном механизме излучения