

УДК 524.52+524.54

КОРРЕЛЯЦИЯ МЕЖДУ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ДИФFUЗНОГО ИОНИЗОВАННОГО ГАЗА В ГАЛАКТИКЕ И ОБЛАСТЯМИ НII

© 2019 г. А. В. Пынзрь*

Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН,

Пушчинская радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН, Пушкино, Россия

Поступила в редакцию 19.04.2019 г.; после доработки 31.05.2019 г.; принята к публикации 31.05.2019 г.

Показано, что обнаруженная ранее в линии $\text{H}\alpha$ пространственная корреляция между областями НII и диффузным ионизованным газом подтверждается наблюдениями в радиодиапазоне. Получено, что во внутренней части Галактики в направлении с координатами $l = 30^\circ$, $b = 0^\circ$ ионизирующее излучение от областей НII может распространяться на расстояния ≤ 240 пк, но при этом 75% ионизирующего излучения поступает со средних расстояний ≤ 7 пк. В антицентре Галактики ($l = 186^\circ 6$, $b = 0^\circ 32$) ионизирующее излучение областей НII способно ионизовать газ до расстояний ≤ 1300 пк, но при этом 66% излучения ионизует газ до расстояний ≤ 155 пк. С использованием связи между распределениями областей НII и диффузного ионизованного газа получены параметры этого газа в направлении на пульсар В1758-23: мера эмиссии 5800 ± 900 пк/см⁶, средняя электронная концентрация в облаках 5.42 см⁻³, протяженность области, занимаемой облаками, 200 пк, коэффициент заполнения для электронов 0.06. Показано, что максимальный вклад в меру эмиссии, меру дисперсии и параметры рассеяния пульсара В1758-23 дает область, расположенная на расстоянии ≈ 1.3 кпк от наблюдателя. Определено расстояние до пульсара В1758-23, равное $3.5(+1, -0.3)$ кпк.

DOI: 10.1134/S0004629919110045

1. ВВЕДЕНИЕ

Около 20 лет назад была обнаружена высокая пространственная корреляция между излучением в линии $\text{H}\alpha$ областей НII и диффузного ионизованного газа (ДИГ) как в других галактиках [1–6], так и в нашей Галактике [7]. Была выдвинута гипотеза, что часть L_c -квантов (фотонов с длиной волны < 912 ангстрем) из-за неоднородного распределения газа в областях НII уходит в межзвездное пространство [6–9]. Благодаря неоднородному распределению нейтрального водорода и наличию в среде горячих коридоров и сверхоболочек с температурой $T \approx 10^6$ К и электронной концентрацией $N_e \approx 10^{-3}$ см⁻³ [10], эти фотоны уходят далеко от места рождения и способны ионизовать газ на больших расстояниях от источников ионизации [6–8].

Представляет интерес поиск аналогичной корреляции по радиоданным. В этой работе мы исследуем связь между областями НII и ДИГ, используя каталог областей НII [11] и данные наблюдений фона Галактики в линии $\text{H}166\alpha$ [12]. На основе найденной корреляции определяются параметры ДИГ в направлении пульсара В1758-23.

2. МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Из каталога областей НII [11] были выбраны объекты, у которых измерены скорости V , определены расстояния D и параметры возбуждения U . Сначала были определены значения угловых расстояний φ и прицельных расстояний p каждой области НII до луча зрения в данном направлении. Затем для каждой области НII были определены значения отношения

$$a = U/p^2.$$

Параметр возбуждения U связан с количеством L_c -квантов $N(L_c)$, излучаемых за 1 с звездой, возбуждающей эту область НII, соотношением [10]:

$$N(L_c) \approx 3.8 \times 10^{43} [U/(\text{пк см}^{-2})]^3 \text{ квантов /с, (1)}$$

где $U = r_s(N_e)^{2/3}$ пк/см², а r_s и N_e — радиус зоны Стремгrena и электронная концентрация в ней соответственно.

Межзвездная среда очень неоднородна. Между лучом зрения в данном направлении и областью НII могут быть плотные облака нейтрального водорода HI и пыли. Область НII может быть яркой и близкой к лучу зрения в данном направлении, но плотные облака пыли или нейтрального водорода

*E-mail: pynz@prao.ru

поглотят все L_c -кванты, выходящие из нее. Поэтому, чем дальше область НII от данного луча зрения, тем больше вероятность, что излучение, выходящее из нее, будет поглощено по пути. В связи с этим при предположении, что среда, состоящая из нейтрального водорода и пыли, статистически однородна, стоит отдавать предпочтение ближайшим к лучу зрения областям НII.

Для оценки влияния на ионизацию ДИГ областей НII, наблюдаемых в угловом радиусе φ от данного луча зрения, вычислялась сумма параметров a всех областей НII на этом угловом расстоянии от луча зрения в данном направлении $A = \sum a_i$. Для вычисления этого параметра в данном направлении брались только те области НII, вклад которых в параметр A составляет более 1% от вклада третьего по величине от максимального параметра a в этом направлении. Дело в том, что самое большое значение параметра a в данном направлении бывает иногда у слабой области НII, которая расположена очень близко к лучу зрения. В этом случае значение параметра $a = U/p^2$ велико из-за малого значения прицельного расстояния p , а не из-за того, что область НII яркая. Отбрасывание областей НII с очень малыми значениями параметра a позволяет оценить, какие из них и на каком расстоянии от наблюдателя дают максимальный вклад в ионизацию газа в данном направлении. Величина углового интервала φ , в пределах которого рассматривались области НII, зависит от направления в Галактике. Чем больше областей НII в данном направлении и чем они ярче, тем меньше угловой интервал. Например, $\varphi = 3^\circ$ вблизи галактической долготы 30° , а в направлении антицентра Галактики $\varphi = 50^\circ$. Критерий таков, чтобы вклад выброшенных областей НII в суммарный параметр $A = \sum a_i$ для всех областей НII, попавших в этот интервал, не превышал 3%. Для оценки величины углового расстояния, в пределах которого рассматривались области НII, сначала выбирался заведомо большой интервал. Например, в направлениях внутренней Галактики ($l = 4^\circ - 32^\circ$, $b = 0^\circ$), где концентрация областей НII велика, сначала выбирался угловой интервал 10° . В пределах этого углового интервала вычислялся параметр $A = \sum a_i$. Затем величина интервала уменьшалась последовательно на 1° , и каждый раз вычислялся параметр A . Это продолжалось до тех пор, пока значение A не достигало $\approx 97\%$ от значения этого параметра при угловом расстоянии 10° . Для направлений вблизи антицентра Галактики начальный угловой интервал равнялся 100° и последовательно уменьшался на 10° .

Приведем примеры вычисления параметра A для двух направлений в Галактике. В направлении с галактическими координатами $l = 31^\circ$ и $b = 0^\circ$ в

радиусе 4° от луча зрения в каталоге областей НII [11] найдено 133 источника с известными расстояниями, скоростями и параметрами возбуждения. Максимальное значение параметра a в этом направлении равно 0.767 пк см $^{-4}$. Третье по величине значение параметра $a = 0.263$ пк см $^{-4}$. Суммарный параметр $A = 2.423$ пк см $^{-4}$. После отбрасывания значений $a < 0.001$ пк см $^{-4}$ осталось 60 областей НII с суммарным параметром $A = 2.398$ пк см $^{-4}$. Таким образом, отбрасывание более половины областей НII привело к уменьшению параметра A всего лишь на 1%.

В направлении, близком к антицентру Галактики ($l = 186^\circ 6$ и $b = 0^\circ 32$), в радиусе 50° от луча зрения в данном направлении наблюдается 99 областей НII. Максимальное значение $a = 0.00257$ пк см $^{-4}$. Суммарное значение $A = 0.01587$ пк см $^{-4}$. Третье по величине значение a равно 0.000834 пк см $^{-4}$. После отбрасывания областей НII с $a < 7 \times 10^{-6}$ пк см $^{-4}$ осталось 63 источника со значением $A = 0.01575$ пк см $^{-4}$. Отбрасывание 36 областей НII привело к уменьшению параметра A на 0.76%.

3. СВЯЗЬ ТЕПЛООВОГО ФОНА ГАЛАКТИКИ С ОБЛАСТЯМИ НII

Поиск связи между областями НII и ДИГ проводится путем сравнения распределений областей НII и антенной температуры фона T_A в линии Н166 α в координатах скорость — галактическая долгота (рис. 1). Так как T_A пропорциональна мере эмиссии фона [13], такое сравнение оправдано. Данные измерений яркости фона в линии Н166 α получены для интервала галактических долгот $4^\circ - 44.6^\circ$ и широты $b = 0^\circ$ в работе [12] с разрешением $21'$. Имеется более поздний аналогичный обзор плоскости Галактики в рекомбинационных линиях Н166 α , Н167 α и Н168 α [14–16], однако он проведен в более узком интервале долгот ($l = 20^\circ - 44^\circ$). Кроме того, в этих работах значения яркостной температуры приводятся только в виде изофот, тогда как в работе [12] данные обзора даются и в таблицах, что удобно для использования другими авторами, поэтому мы использовали данные, приведенные в [12].

Данные об областях НII получены вблизи частот 5 и 8.6 ГГц и, как указано выше, собраны в каталоге [11]. Данные о распределении антенной температуры фона в линии Н166 α в координатах скорость — галактическая долгота [12] в интервале долгот $30^\circ - 36^\circ$ и $b = 0^\circ$ приведены на рис. 1. Этот рисунок является фрагментом рис. 2 из работы [12]. На рис. 2–4 показаны распределения областей НII в координатах “скорость — расстояние” для долгот

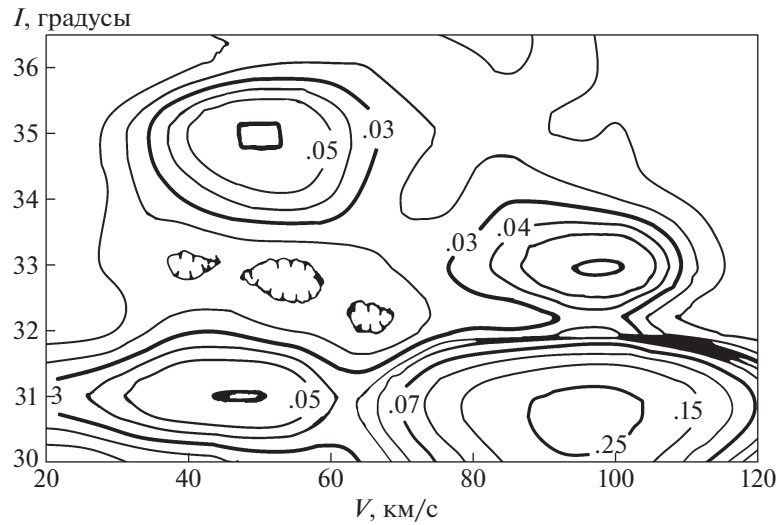


Рис. 1. Распределение антенной температуры фона в координатах “скорость–расстояние” для галактических долгот $l = 30^\circ\text{--}36^\circ$ и $b = 0^\circ$. Цифры около изофот обозначают антенную температуру фона в линии Н166 α в кельвинах.

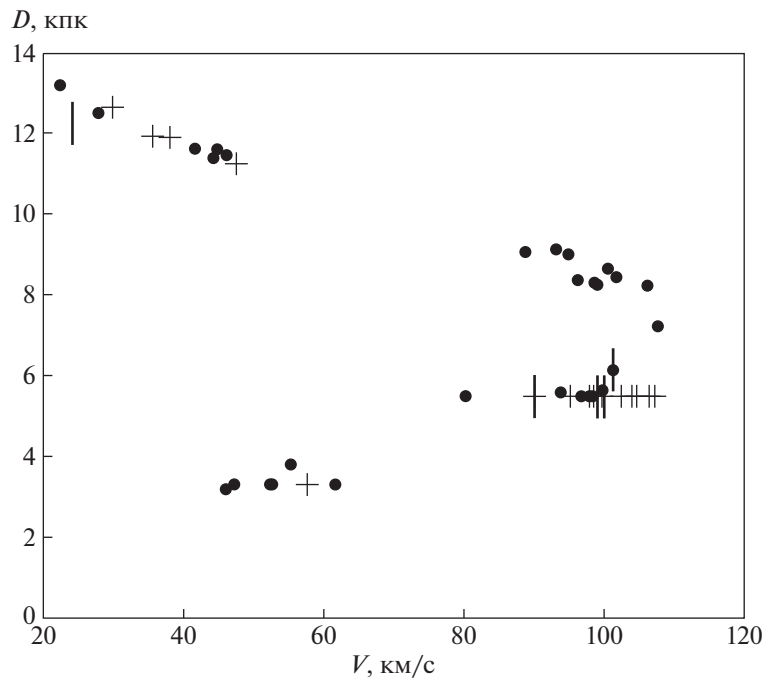


Рис. 2. Распределение областей НII в координатах “скорость–расстояние” в направлении галактической долготы $l = 31^\circ$ и $b = 0^\circ$. Значения параметра $a = U/p^2$ обозначены различными значками: черточки соответствуют значениям параметра $a > 0.1$ пк см $^{-4}$, крестики — $a = 0.01\text{--}0.1$ пк см $^{-4}$, темные кружочки — $a = 0.001\text{--}0.01$ пк см $^{-4}$.

31° , 33° и 35° соответственно. Как в [11], так и в [12] скорости приведены к локальному стандарту покоя. Значения параметра a на рис. 2–4 обозначены различными значками. Черточки соответствуют значениям параметра $a > 0.1$ пк см $^{-4}$, крестики — $a = 0.01\text{--}0.1$ пк см $^{-4}$, темные кружочки — $a = 0.001\text{--}0.01$ пк см $^{-4}$. Цифры около изофот на

рис. 1 обозначают антенную температуру фона в линии Н166 α в кельвинах.

Из сопоставления рис. 1 с рис. 2–4 видно, что большему скоплению областей НII на рис. 2–4 соответствуют большие значения антенной температуры на рис. 1, а в направлениях, где областей НII нет, значения антенной температуры малы. Для

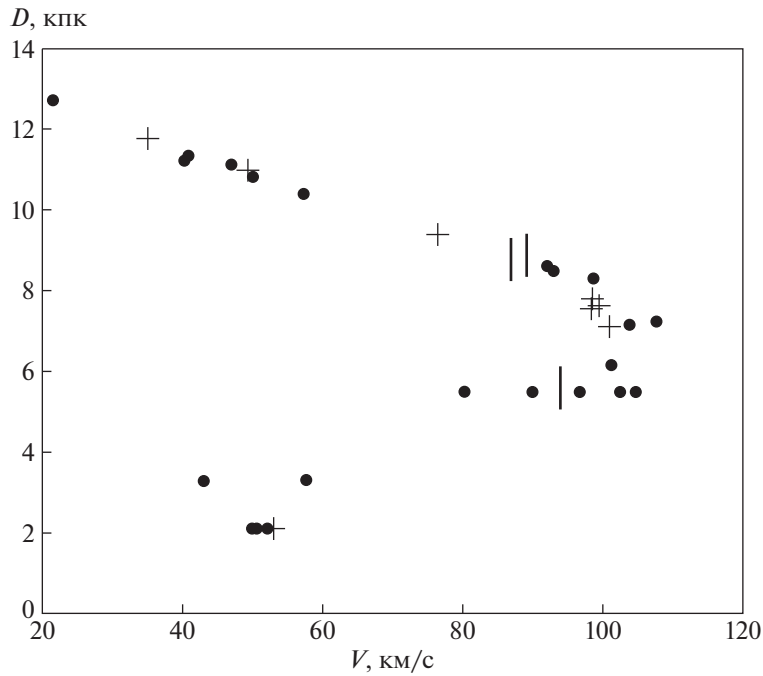


Рис. 3. Распределение областей НII в координатах “скорость–расстояние” в направлении галактической долготы $l = 33^\circ$ и $b = 0^\circ$. Обозначения те же, что на рис. 2.

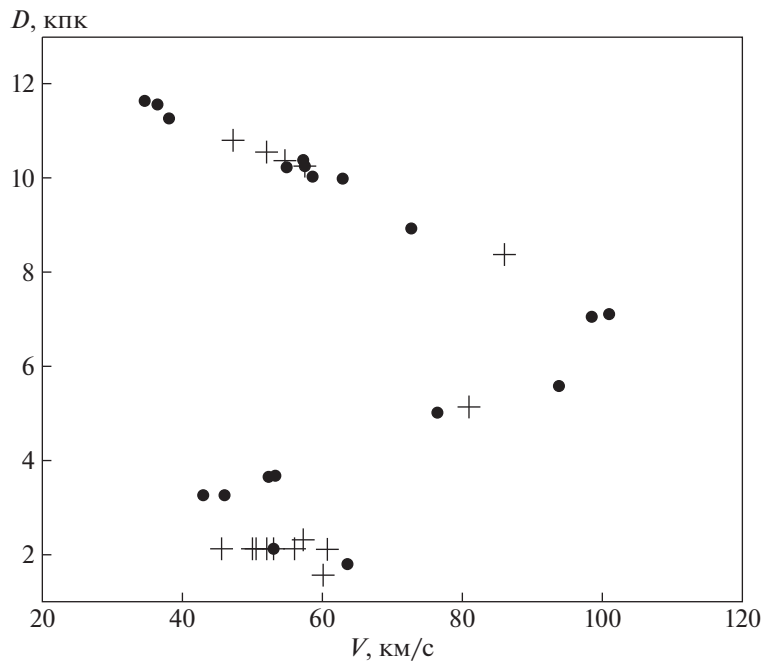


Рис. 4. Распределение областей НII в координатах “скорость–расстояние” в направлении галактической долготы $l = 35^\circ$ и $b = 0^\circ$. Обозначения те же, что на рис. 2.

этого достаточно сравнить данные указанных рисунков при одинаковых скоростях и долготах. Например, на рис. 1 на долготе 31° в излучении линии Н166 α наблюдаются два максимума: один — более

слабый ($T_A = 0.07$ К) на скоростях 30–60 км/с и другой более сильный ($T_A = 0.25$ К) на скоростях 80–120 км/с, а в интервале скоростей 60–80 км/с наблюдается минимум излучения ($T_A = 0.03$ К).

Отношение значений антенной температуры более сильного максимума к более слабому ≈ 3.6 .

На рис. 2 видно, что в направлении этой долготы в интервале скоростей 80–110 км/с наблюдается большое скопление областей НII, среди которых есть 7 источников, обозначенных черточками и крестиками. Сумма параметров a всех областей НII в радиусе φ от луча зрения в данном направлении $A = \sum a_i$ в интервале скоростей 80–110 км/с равна 1.89 пк см^{-4} , тогда как в интервале скоростей 30–60 км/с, где количество областей НII меньше и они слабее, $A = 0.53 \text{ пк см}^{-4}$. Получено, что отношение значений A большего скопления областей НII к меньшему ≈ 3.6 , что согласуется с отношением значений антенной температуры более сильного максимума к более слабому на рис. 1. В интервале скоростей 60–80 км/с, где в линии Н166 α наблюдается минимум излучения, видны лишь 2 слабые области НII.

Таким образом, из сравнения рис. 1 и 2 видно, что существует корреляция между распределением областей НII и антенной температуры в линии Н166 α . Из этого следует, что по распределению областей НII можно в некоторых направлениях оценивать расстояния до областей, в направлениях которых наблюдаются максимумы и минимумы в излучении ДИГ. Например, на долготе 31° в плоскости Галактики в интервале скоростей 80–120 км/с, как указывалось выше, наблюдается максимум излучения в линии Н166 α (рис. 1). Из рис. 2 видно, что в этом направлении на тех же скоростях наблюдаются две группы областей НII, первая из которых расположена на расстоянии около 5.5 кпк со значением параметра $A = 1.842 \text{ пк см}^{-4}$, а вторая группа расположена на расстояниях 7–9 кпк, суммарный параметр областей НII которой равен $A = 0.046 \text{ пк см}^{-4}$. Из этого следует, что основной вклад в излучение ДИГ дает газ, расположенный на расстоянии 5.5 кпк. В этом же направлении в интервале скоростей 30–60 км/с наблюдаются также две группы областей НII, одна из которых расположена на расстоянии 3–4 кпк, а вторая — на расстоянии 11–12 кпк (рис. 2). У первой группы $A = 0.049 \text{ пк см}^{-4}$, а у второй — $A = 0.477 \text{ пк см}^{-4}$, откуда следует, что основной вклад в максимум излучения ДИГ в линии Н166 α в интервале скоростей 30–60 км/с (рис. 1) дают области НII, расположенные на расстояниях 11–12 кпк. Таким образом, используя наблюдения излучения ДИГ и наблюдения областей НII, можно определять не только направления максимального излучения ДИГ, но и расстояния, на которых расположен газ, ответственный за это излучение.

На долготе 33° интенсивность линии Н166 α наиболее велика ($T_A = 0.07 \text{ К}$) в интервале скоростей 80–110 км/с (рис. 1) и очень мала на скоростях 30–80 км/с ($T_A = 0.02\text{--}0.03 \text{ К}$). На рис. 3 в направлении этой долготы на скоростях 80–110 км/с видно, что количество областей НII и значения a больше, чем на других скоростях. Это обусловлено тем, что эти источники находятся близко к лучу зрения ($d = 6\text{--}25 \text{ пк}$) в данном направлении ($l = 33^\circ$, $b = 0^\circ$), тогда как области НII, расположенные на скоростях 40–60 км/с, в большинстве случаев расположены на расстояниях 70–250 пк от луча зрения, поэтому значительная часть ионизирующего излучения, выходящего из областей НII, вероятно, поглощается нейтральным водородом и пылью и не достигает луча зрения.

Интерес представляет скопление областей НII на скоростях 35–65 км/с в направлениях долготы 35° . Около половины из этих областей НII расположены на расстояниях 9–12 кпк (рис. 4), но они имеют малые значения параметра a ($a = 0.001\text{--}0.01 \text{ пк см}^{-4}$). Другая половина областей НII в направлениях этой долготы расположена на расстоянии около 2 кпк. Значения параметра a , соответствующие этим областям НII, на порядок больше, чем значения a для областей, расположенных на расстояниях 9–12 кпк.

Из рис. 1 видно, что на скоростях 35–65 км/с антенная температура наибольшая на долготе 35° , меньше на 36° и еще меньше на долготе $36^\circ 5'$. Хотя значения параметра a у областей НII, расположенных на расстоянии 2 кпк (рис. 4), в среднем больше, чем у областей НII, расположенных на расстояниях 9–12 кпк, что видно по обилию жирных черточек и крестиков у областей НII, расположенных на расстояниях 2 кпк, они, по видимому, дают незначительный вклад в излучение ДИГ в этом направлении. На это указывает и тот факт, что у остатков сверхновых Kes 78 (G 32.8–0.1), Kes 79 (G 33.6+0.1) и W44 (G 34.7–0.4), расположенных на расстояниях не ближе 3 кпк, не наблюдаются завалы спектров на частоте 31 МГц из-за поглощения излучения ионизованным газом [17]. Возможно, в этом направлении много пыли, на что указывает также и факт отсутствия оптических областей НII [18,19].

Приведем несколько зависимостей, указывающих на наличие корреляции между областями НII и диффузным ионизованным газом галактического фона. На рис. 5 приведены зависимости от параметра A значения антенной температуры фона T_A в линии Н166 α (рис. 5а), интеграла по частоте от антенной температуры фона P в линии Н166 α (рис. 5б) и угла рассеяния компактных внегалактических источников θ на частоте 1 ГГц (рис. 5в).

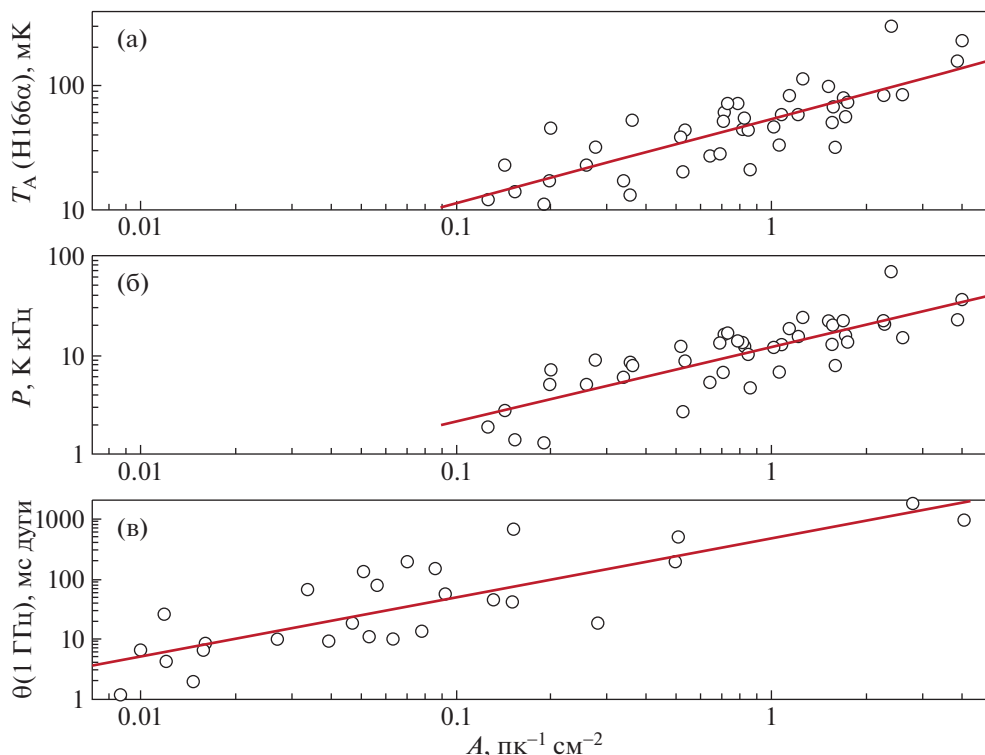


Рис. 5. Значения антенной температуры фона T_A в линии H166 α (рис. 5а), интеграла по частоте P от антенной температуры фона T_A в линии H166 α (рис. 5б) и угла рассеяния компактных внегалактических источников θ на частоте 1 ГГц (рис. 5в) в зависимости от параметра A . Данные о T_A и P взяты из работы [12], а данные об углах рассеяния взяты из работ [20] и [21] и приведены к частоте 1 ГГц пропорционально квадрату длины волны. Зависимости аппроксимированы степенной функцией вида A^α . Показатель степени $\alpha = 0.68 \pm 0.08$ для зависимости, приведенной на рис. 5а, 0.75 ± 0.08 для зависимости на рис. 5б и 1.0 ± 0.12 для зависимости на рис. 5в.

Данные о T_A и P взяты из работы [12], а данные об углах рассеяния взяты из работ [20 и ссылки там] и [21] и приведены к частоте 1 ГГц пропорционально квадрату длины волны. Зависимости, приведенные на рис. 5, аппроксимировались степенной функцией вида A^α . Показатель степени $\alpha = 0.68 \pm 0.08$ для зависимости, приведенной на рис. 5а, $\alpha = 0.75 \pm 0.08$ для зависимости на рис. 5б и $\alpha = 1.0 \pm 0.12$ для зависимости на рис. 5в. Все величины, приведенные в зависимости от параметра A , пропорциональны мере эмиссии [13, 20, 22], то есть характеризуют поверхностную яркость фона. Как видно из рис. 5, эти величины хорошо коррелируют с параметром A , что указывает на связь между распределениями областей НII и диффузного ионизованного газа.

4. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДИФFUЗНОГО ИОНИЗОВАННОГО ГАЗА В НАПРАВЛЕНИИ НА ПУЛЬСАР В1758-23

На рис. 6 приведено распределение областей НII в координатах “расстояние — скорость” в направлении на пульсар В1758-23. Из рисунка видно, что в направлении на пульсар мало областей

НII и нет источников с малыми значениями параметра a . Как указано выше, значения a , обозначенные черточками, превышают 0.1 пк см^{-4} . То, что в направлении на пульсар В1758-23 расположены области НII с такими большими значениями параметра a , свидетельствует о том, что в этом направлении электронная концентрация диффузного ионизованного газа, как будет показано ниже, достаточно велика. На рис. 6 видно также, что области НII с самыми большими значениями параметра a расположены в узком интервале расстояний. Пять областей НII, обозначенных черточками, и две, обозначенных крестиками, расположены на расстоянии $1.28 \pm 0.09 \text{ кпк}$ [11]. Эти области НII дают 80% вклада в параметр A , который, как указывалось выше, является суммой параметров a всех областей НII в радиусе 3° от луча зрения в направлении на пульсар. Суммарный параметр A в этом направлении равен 3.81 пк см^{-4} , что является самым большим значением этого параметра в первом квадранте Галактики.

Как было показано выше, самые большие значения параметра a имеют области НII, расположенные на расстоянии 1.28 кпк. С большой вероятностью можно полагать, что именно эти области

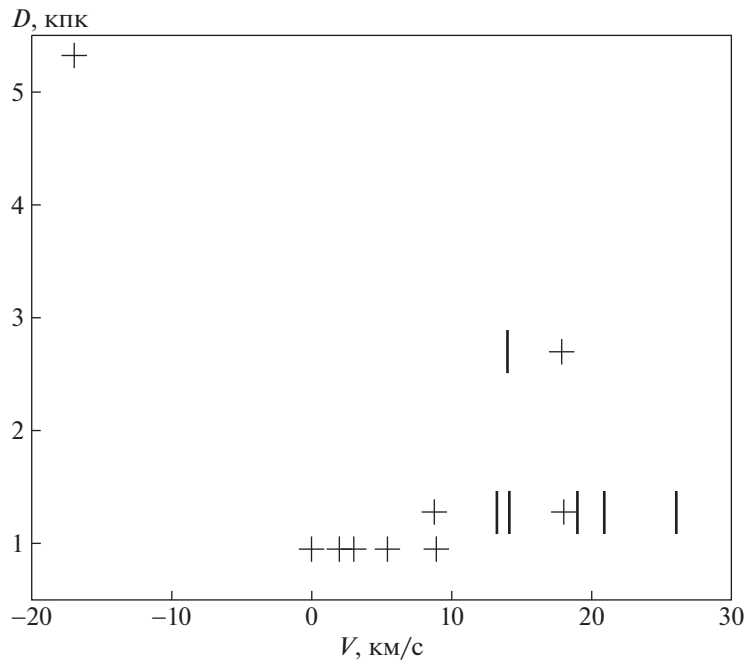


Рис. 6. Распределение областей НII в направлении на пульсар В1758-23 в координатах “скорость–расстояние”. Обозначения те же, что на рис. 2.

НII ответственны за ионизацию нейтрального водорода в этом направлении. Используя значения параметра a этих областей НII и их расстояния до луча зрения на пульсар В1758-23, было получено, что в направлении на этот пульсар 97% ионизирующего излучения областей НII приходит с расстояний ≤ 18 пк от луча зрения на пульсар, а 87% — с расстояний ≤ 9 пк.

Поскольку области НII, расположенные на расстоянии 1.28 кпк от наблюдателя, дают, как указано выше, 80% вклада в суммарный параметр A , можно считать, что диффузный ионизованный газ сосредоточен в тонком слое. О том, что слой тонкий, свидетельствует тот факт, что толщина слоя, в котором сосредоточены области НII, гораздо меньше расстояния до слоя (рис. 6). Кроме того, на малую толщину эффективного слоя ионизованного газа указывает и тот факт, что, как уже отмечено выше, 87% ионизирующего излучения от областей НII приходит с расстояний ≤ 9 пк.

Чтобы показать, что эффективный слой диффузного ионизованного газа в направлении на пульсар В1758-23 расположен именно на расстоянии около 1.3 кпк, было решено определить расстояние до пульсара, используя уширение импульсов пульсара из-за межзвездного рассеяния τ , а затем сравнить это расстояние с расстоянием, оцененным в работе [23] по измерениям поглощения излучения пульсара в линии нейтрального водорода 21 см.

Для установления связи между уширением импульсов пульсара τ , расстоянием до него и до слоя,

дающего основной вклад в межзвездное рассеяние, удобно использовать формулу для модели рассеивающей среды в виде тонкого экрана [24, 25]:

$$\tau = [\theta^2 / (8c \ln 2)] [d(D - d) / D], \quad (2)$$

где D — расстояние от наблюдателя до пульсара, d — расстояние от наблюдателя до рассеивающего слоя, а θ — угол рассеяния (ширина диска рассеяния по уровню 0.5) компактного источника плоских волн, например, внегалактического источника, излучение от которого просвечивает тот же слой среды, что и источник сферических волн (в данном случае пульсар). Из формулы (2) видно, что уширение импульсов пульсаров зависит от величины множителя $d(D - d) / D$. Этот множитель близок к нулю для слоя вблизи пульсара ($D - d \approx 0$), а также вблизи наблюдателя $d \approx 0$, и достигает максимума, когда рассеивающая среда расположена на середине расстояния между наблюдателем и пульсаром ($d = D/2$). Подчеркнем, что эта формула связывает временное уширение импульсов пульсара с углом рассеяния внегалактического источника (источника плоских волн), излучение от которых проходит через одни и те же слои рассеивающей среды. В качестве источника плоских волн был взят компактный внегалактический источник J1801-231, расположенный на угловом расстоянии $1'6$ от пульсара в предположении, что параметры диффузного ионизованного газа в направлениях на оба источника одинаковы. Это оправдано тем, что эффективный слой рассеивающей среды расположен между наблюдателем и пульсаром, а на

расстояниях, превышающих расстояние до слоя $d \approx 1.3$ кпк ионизованная среда оказывает незначительное влияние на рассеяние внегалактического источника, что видно по отсутствию областей III с большими значениями параметра a на расстояниях больше 1.3 кпк (рис. 6).

Значение уширений импульсов пульсара В1758-23 взято из работы [26], а угол рассеяния внегалактического источника J1801-231 — из работы [27]. В указанных работах приведены измерения этих параметров на разных частотах. По зависимости этих параметров от частоты были определены их значения на частоте 1 ГГц: $\tau = 0.32 \pm 0.02$ с, $\theta = 0.95 \pm 0.06$ секунд дуги.

Для определения расстояния до пульсара В1758-23 формула (2) была переписана в виде:

$$D = (0.436\theta^2 d^2) / (0.436\theta^2 d - \tau) \text{ кпк.} \quad (3)$$

Используя вышеприведенные значения τ и θ , а также расстояние до эффективного слоя диффузного ионизованного газа $d = 1.28 \pm 0.09$ кпк [11], по формуле (3) мы получили оценку расстояния до пульсара В1758-23, равную 3.5 кпк. С учетом ошибок параметров τ , θ и d , входящих в эту формулу, расстояние D находится в пределах $\approx 3.2-4.5$ кпк. Это значение согласуется со значением $D = 4 \pm 1$ кпк, полученным в работе [23] по измерениям поглощения излучения этого пульсара в линии нейтрального водорода 21 см. Совпадение расстояний до пульсара В1758-23, полученных двумя независимыми методами, свидетельствует, что метод, описанный в данной работе, является надежным. Надежной оказывается и оценка расстояния до эффективного слоя ионизованной среды, которая получена нами путем сравнения распределений областей III и диффузного ионизованного газа. Все это указывает на то, что существует высокая степень корреляции между распределениями областей III и диффузного ионизованного газа в Галактике.

Оценим некоторые параметры диффузного ионизованного газа, ответственного за меру дисперсии и уширение импульсов пульсара В1758-23. Известно, что диффузный ионизованный газ в Галактике имеет облачную структуру [28–31]. По значениям меры эмиссии EM и меры дисперсии DM можно оценить значения локальной (средней в облаках) электронной концентрации N_e , суммарного пути в облаках на луче зрения L_e и коэффициента заполнения F_e . Величина L_e является эффективной толщиной среды, заполненной облаками ионизованного газа, а F_e показывает, какую часть объема среды на луче зрения к пульсару занимает облака этого газа. Значения этих величин вычисляются по формулам [32]:

$$N_e = EM / DM, \quad (4)$$

$$L_e = DM^2 / EM, \quad (5)$$

$$F_e = \langle N_e \rangle / N_e, \quad (6)$$

где $\langle N_e \rangle = DM / D$ — среднее значение электронной концентрации на луче зрения к пульсару, расположенному на расстоянии D от наблюдателя.

Мера эмиссии фона в направлении на пульсар В1758-23 равна 5800 ± 900 пк/см⁶. Мера эмиссии оценена по методике и по данным, приведенным в работе [20]. Мера дисперсии пульсара, равная 1073.9 пк/см³, взята из каталога пульсаров [33]. Было получено, что в направлении на пульсар В1758-23 $N_e = 5.42$ см⁻³, $L_e = 200$ пк, $\langle N_e \rangle = 0.31$ см⁻³ и $F_e = 0.057$.

5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В литературе широко обсуждается вопрос, как далеко в межзвездной среде распространяется излучение от источников ионизации [8 и ссылки там]. Мы попытались оценить эти расстояния для направлений с галактическими координатами $l = 30^\circ$, $b = 0^\circ$ и $l = 186^\circ 6'$, $b = 0^\circ 32'$, используя значения параметра a областей III и расстояния до луча зрения в этих направлениях. Было получено, что во внутренней части Галактики ($l = 30^\circ$, $b = 0^\circ$) в радиусе 3° от этого направления ионизирующее излучение $>1\%$ от максимальных значений в этих направлениях приходит со средних расстояний ≤ 240 пк, причем 75% этого излучения приходит со средних расстояний ≤ 7 пк. В антицентре Галактики ($l = 186^\circ 6'$, $b = 0^\circ 32'$) в радиусе 50° от луча зрения в этом направлении $>1\%$ от максимального значения излучение приходит со средних расстояний ≤ 1300 пк, причем 93% приходит с расстояний ≤ 245 пк, а 66% — с расстояний ≤ 155 пк.

Наличие корреляции между распределениями областей III и диффузным ионизованным газом в Галактике открывает большие возможности для уточнения модели распределения электронной концентрации в Галактике [34]. Зная распределение диффузного ионизованного газа, можно в некоторых случаях определять расстояния до пульсаров и остатков сверхновых с завалами спектров на низких частотах, если для них это пока невозможно сделать традиционными методами.

Знание распределения диффузного ионизованного газа позволит объяснить, почему в некоторых направлениях в Галактике при умеренных значениях меры дисперсии некоторых пульсаров они имеют достаточно большие значения уширений импульсов, и наоборот, при больших мерах дисперсии уширение импульсов незначительно.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Обнаруженная ранее в оптическом диапазоне корреляция между областями НII и ДИГ подтверждена наблюдениями в радиодиапазоне.

2. На основе корреляции между областями НII и ДИГ предложен метод исследования параметров ДИГ.

3. Определены параметры ДИГ в направлении на пульсар В1758-23 и расстояние до него, равное $3.5(+1, -0.3)$ кпк.

4. Показано, что расстояния, до которых может распространяться ионизирующее излучение от источников ионизации, зависит концентрации газа. Во внутренней части Галактики (например, в направлении с $l = 30^\circ$, $b = 0^\circ$) L_c -кванты могут ионизовать газ в радиусе 3° от луча зрения до средних расстояний ≤ 240 пк, причем 75% этого излучения ионизует газ до средних расстояний ≤ 7 пк. В направлениях на антицентр Галактики (например, $l = 186^\circ 6$, $b = 0^\circ 32$) в радиусе 50° ионизирующее излучение достигает средних расстояний ≤ 1300 пк, причем 93% достигает расстояний ≤ 245 пк, а 66% — расстояний ≤ 155 пк.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор благодарит Р. Д. Дагкесаманского и рецензента за ценные замечания, Т. В. Смирнову и В. А. Извекову за полезные дискуссии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- R. A. M. Walterbos and R. Braun, *Astrophys. J.* **431**, 156 (1994).
- A. M. Ferguson, R. F. G. Wyse, J. S. Gallagher, and D. A. Hunter, *Astron. J.* **111**, 2265 (1996).
- C. G. Hoopes, R. A. M. Walterbos, and B. E. Greenawalt, *Astron. J.* **112**, 1429 (1996).
- C. G. Hoopes, R. A. M. Walterbos, and R. J. Rand, *Astrophys. J.* **522**, 669 (1999).
- A. E. Zurita, M. Rozas, and J. E. Beckman, *Astron. and Astrophys.* **363**, 9 (2000).
- A. E. Zurita, J. E. Beckman, M. Rozas, and S. Ryder, *Astron. and Astrophys.* **386**, 801 (2002).
- R. J. Reynolds, N. C. Sterling, and L. M. Haffner, *Astrophys. J.* **558**, L101 (2001).
- L. M. Haffner, R.-J. Dettmar, J. E. Beckman, K. Wood, et al., *Rev. Mod. Phys.* **81**, 969 (2009).
- N. A. Kassim, K. W. Weiler, W. C. Erickson, and T. L. Wilson, *Astrophys. J.* **338**, 152 (1989).
- С. А. Каплан, С. Б. Пикельнер *Физика межзвездной среды* (М.: Наука, 1979).
- L. G. Hou and J. L. Han, *Astron. and Astrophys.* **569**, 125 (2014).
- F. J. Lockman, *Astrophys. J.* **209**, 429 (1976).
- F. J. Lockman, D. J. Pisano, and G. J. Howard, *Astrophys. J.* **472**, 173 (1996).
- M. I. R. Alves, R. D. Davies, C. Dickinson, R. J. Davis, R. R. Auld, M. Calabretta, and L. Staveley-Smith, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **405**, 1654 (2010).
- M. I. R. Alves, R. D. Davies, C. Dickinson, M. Calabretta, R. Davis, and L. Staveley-Smith, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **422**, 2429 (2012).
- M. I. R. Alves, M. Calabretta, R. D. Davies, C. Dickinson, et al., *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **450**, 2025 (2015).
- N. E. Kassim, *Astrophys. J.* **347**, 915 (1989).
- S. Sharpless, *Astrophys. J. Supp. Ser.* **4**, 257 (1959).
- B. T. Lynds, *Astrophys. J. Supp. Ser.* **12**, 163 (1965).
- А. В. Пынзарь, *Астрон. журн.* **87**, 430 (2010).
- A. V. Pushkarev and Y. Y. Kovalev, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **452**, 4274 (2015).
- A. L. Fey, S. R. Spangler, and J. M. Cordes, *Astrophys. J.* **372**, 132 (1991).
- J. P. W. Verbiest, J. M. Weisberg, A. A. Chael, K. J. Lee, and D. R. Lorimer, *Astrophys. J.* **755**, 39 (2012).
- K. M. Desai, C. R. Gwinn, J. Reynolds, E. A. King, et al., *Astrophys. J.* **393**, L75 (1992).
- А. В. Пынзарь, *Астрон. журн.* **94**, 411 (2017).
- W. Lewandowski, M. Kowalinska, and J. Kijak, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **449**, 1570 (2015).
- M. J. Claussen, W. M. Goss, K. M. Desai, and C. J. Brogan, *Astrophys. J.* **580**, 909 (2002).
- J. M. Cordes, J. M. Weisberg, and V. Boriakoff, *Astrophys. J.* **288**, 221 (1985).
- А. В. Пынзарь, *Астрон. журн.* **70**, 480 (1993).
- А. В. Пынзарь, В. И. Шишов, *Астрон. журн.* **74**, 663 (1997).
- А. В. Пынзарь, В. И. Шишов, *Астрон. журн.* **76**, 504 (1999).
- R. J. Reynolds, *Astrophys. J.* **216**, 433 (1977).
- R. N. Manchester, G. J. Hobbs, A. Teoh, and M. Hobbs, *Astron. J.* **129**, 1993 (2005).
- J. M. Yao, R. N. Manchester, and N. Wang, *Astrophys. J.* **835**, 29 (2017).