

УДК: 524.45:[524.52:524.53]

ИЗЛУЧЕНИЕ ГАЗА И ПЫЛИ В СКОПЛЕНИЯХ ГАЛАКТИК В РАДИОДИАПАЗОНЕ

В. К. ХЕРСОНСКИЙ, Н. В. ВОЩИННИКОВ

Поступила 21 октября 1983

Принята к печати 15 мая 1984

Рассмотрены следствия гипотезы о присутствии пылевых частиц в межгалактической среде скоплений галактик. В предположении, что свойства пылинок подобны характеристикам межзвездной пыли, рассчитано излучение пыли и газа в диапазоне длин волн 0.04—50 см для скоплений галактик в Волосах Вероники и Персее. Показано, что излучение пыли не может компенсировать эффект Сюняева—Зельдовича в сантиметровом диапазоне длин волн. В субмиллиметровой и отчасти в миллиметровой области спектра излучение от скоплений галактик может значительно превышать излучение реликтового фона.

1. *Введение.* Новые данные, поступающие с рентгеновских спутников, постоянно повышают интерес к изучению горячего газа, находящегося в межгалактической среде скоплений галактик. Из этих наблюдений можно извлечь информацию о химическом составе, распределении температуры и концентрации газа в скоплении, что позволяет подойти к решению вопросов о динамическом равновесии, происхождении и эволюции скоплений галактик [1—7]. О характеристиках горячего межгалактического газа можно также судить по искажениям излучения реликтового фона в радиодиапазоне в направлении скоплений галактик (эффект Сюняева—Зельдовича). Суть эффекта заключается в переработке фотонов реликтового излучения из рэлей-джинсовской области спектра в субмиллиметровую в результате обратного комптоновского рассеяния этих фотонов на горячих электронах [8, 9]. При этом должно наблюдаться понижение яркостной температуры реликтового излучения T_R на миллиметровых и сантиметровых длинах волн и повышение T_R на субмиллиметровых длинах волн.

Попытки обнаружить эффект Сюняева—Зельдовича предпринимались неоднократно [10—15] (обсуждение наблюдательных данных в миллиметровом и сантиметровом диапазонах длин волн для 25 скоплений галактик проведено в работах [16, 17]). К сожалению, результаты наблюдений

зачастую противоречивы, а ошибки наблюдений, как правило, велики. Лейк [16] отмечает, что лишь для двух скоплений галактик (А 2218 и А 576) более-менее уверенно найдено уменьшение T_R . Однако недавние исследования, выполненные на длине волны $\lambda = 6$ см [18], указывают на отсутствие искажений T_R в направлении А 576 и вероятное увеличение температуры реликтового фона в направлении скопления А 2218. Рост температуры фонового излучения в направлении ряда скоплений галактик отмечался и ранее [11—14]. Для объяснения этого факта были выдвинуты предположения о существовании в скоплениях галактик дискретных источников радиоизлучения или холодного компонента межгалактического газа. Еще одной причиной, позволяющей компенсировать эффект Сюняева—Зельдовича, как указывается в работах [19, 20], может быть излучение межгалактической пыли.

В настоящее время имеются наблюдательные данные, позволяющие предполагать наличие пыли в межгалактической среде скоплений галактик. Они получены при изучении покраснения удаленных галактик в скоплениях, слабого оптического диффузного излучения в направлении скоплений, а также при статистических исследованиях распределения скоплений галактик и квазаров [5, 21—27].

Отметим, что при рассмотрении излучения пыли в скоплениях галактик в работах [19, 20] сделано несколько произвольных предположений о свойствах и концентрации пылинок (в частности, считалось, что неоднородно заряженные пылинки излучают как электрические диполи). Поскольку в межгалактическую среду пыль попадает из галактик, было бы интересно установить, может ли излучение нагретых пылинок, аналогичных межзвездным, конкурировать с эффектом Сюняева—Зельдовича в скоплениях галактик. Расчеты инфракрасного (ИК) излучения таких пылинок с учетом последних данных об оптических характеристиках межзвездной пыли были проведены нами ранее [28].

Целью данной работы является вычисление ожидаемого излучения межгалактической пыли в радиодиапазоне (от субмиллиметровых до сантиметровых длин волн). При этом мы учтем также эффект Сюняева—Зельдовича и тепловое излучение межгалактического газа, а возможный вклад дискретных источников рассматриваться не будет. Результаты расчетов иллюстрируются на примере скоплений галактик в Волосах Вероники и Персее. Большое количество наблюдательных данных для этих скоплений позволяет более уверенно, чем в других случаях, выбрать параметры, необходимые для расчетов.

2. *Яркостная температура и интенсивность излучения.* Рассмотрим сферически симметричное скопление галактик с радиусом R_s . Яркостная температура излучения с частотой ν , (p) от области, располо-

женной на прицельном расстоянии ρ (выраженном в единицах R_c) относительно центра скопления, связана с суммарной интенсивностью $I_*(\rho)$ соотношением

$$T_*(\rho) = \frac{h\nu}{k} \left\{ \ln \left[1 + \frac{2h\nu^3}{c^2 I_*(\rho)} \right] \right\}^{-1}, \quad (1)$$

где h — постоянная Планка, k — постоянная Больцмана, c — скорость света. Интенсивность излучения $I_*(\rho)$ может быть представлена в виде четырех слагаемых

$$I_*(\rho) = I_{0.0} + \Delta I_{*d}^d(\rho) + \Delta I_{*g}^g(\rho) + \Delta I_{*SZ}^{SZ}(\rho), \quad (2)$$

где $I_{0.0}$ — интенсивность реликтового фона

$$I_{0.0} = \frac{2h\nu^3}{c^2} (e^x - 1)^{-1}, \quad x = \frac{h\nu}{kT_R}, \quad (3)$$

$T_R = 2.76$ К — температура реликтового излучения в современную эпоху. Слагаемые $\Delta I_{*d}^d(\rho)$, $\Delta I_{*g}^g(\rho)$ и $\Delta I_{*SZ}^{SZ}(\rho)$ представляют собой вклад излучения пыли, газа и эффекта Сюняева — Зельдовича соответственно. Для оптически тонкой среды имеем

$$\Delta I_{*d}^d(\rho) = \int_{-l}^l (B_d - I_{0.0}) \kappa_{v, \text{abs}} dz, \quad (4)$$

$$\Delta I_{*g}^g(\rho) = \int_{-l}^l (B_g - I_{0.0}) \kappa_{v, g} dz, \quad (5)$$

$$\Delta I_{*SZ}^{SZ}(\rho) = I_{0.0} f(x) \int_{-l}^l \sigma_T n_g \frac{kT_g}{m_e c^2} dz. \quad (6)$$

Здесь B_d и B_g — планковские интенсивности излучения пыли и газа с температурами T_d и T_g , $\kappa_{v, \text{abs}}$ и $\kappa_{v, g}$ — коэффициенты поглощения для пыли и газа, причем $\kappa_{v, g}$ при температурах $T_g > 10^3$ К вычисляется по формуле (см., например, [29])

$$\kappa_{v, g} = 1.978 \cdot 10^8 \frac{n_e n_i}{\nu^3 T^{3/2}} \ln \left[4.7 \cdot 10^{10} \left(\frac{T_g}{\nu} \right) \right] \left(1 - e^{-\frac{h\nu}{kT_g}} \right) \text{см}^{-1}, \quad (7)$$

где n_e и n_i — концентрация электронов и ионов. Выражение для коэффициента поглощения пыли $\kappa_{v, \text{abs}}$ будет приведено в следующем пара-

графе. Через σ_T , n_g и m_e в (6) обозначены томсоновское сечение рассеяния свободных электронов, концентрация газа и масса электрона соответственно; $f(x)$ определяется выражением [9]

$$f(x) = \frac{xe^x}{e^x - 1} \left(x \operatorname{cth} \frac{x}{2} - 4 \right). \quad (8)$$

Пределы интегрирования в формулах (4)—(6) определяются границей скопления галактик по лучу зрения ($l = \sqrt{R_g^2 - p^2}$).

Из соотношений, приведенных выше, видно, что для расчета яркостной температуры излучения межгалактической среды в скоплении галактик в интересующем нас диапазоне частот следует задать радиус скопления, распределения концентрации газа и пыли, определить температуру газа, а также найти температуру и коэффициент поглощения пыли.

Концентрация и температура газа были выбраны нами в соответствии с результатами наблюдений рентгеновского излучения. Согласно [30] для различных скоплений галактик пространственное распределение концентрации газа достаточно хорошо описывается зависимостью

$$n_g(R) = n_g(0) \left[1 + \left(\frac{R}{R_g} \right)^2 \right]^{-3/2}, \quad (9)$$

где R — расстояние от центра скопления, R_g — характерный радиус газового распределения. При этом температура газа может быть принята постоянной $T_g = T_0$ (изотермическое распределение).

3. *Пылевые частицы в межгалактическом газе скопления галактик.* Подробное обсуждение свойств пыли, а также возможных моделей ее распределения в межгалактической среде проведено нами в работе [28]. Здесь мы лишь кратко суммируем основные результаты.

В горячем и разреженном газе скопления конденсация пылевых частиц невозможна, поэтому пыль (если она существует в межгалактической среде) выбрасывается из галактик. В качестве модели пылинок мы выбрали двухкомпонентную смесь, состоящую из аморфных углеродных и кристаллических силикатных частиц [31]. Частицы каждого сорта имеют степенное распределение по размерам с показателем степени, равным — 3.5. Такая модель позволяет объяснить кривые межзвездного поглощения [32] и межзвездной поляризации [33].

Скорость разрушения пылевых частиц при температурах $10^6 \text{ K} < T_g < 10^9 \text{ K}$ зависит лишь от концентрации газа и радиуса частицы [34]. В [28] показано, что при химическом составе межгалактического газа, близком к солнечному, и $n_g = 10^{-3} - 10^{-2} \text{ см}^{-3}$ время жизни пылинок составляет $10^7 - 10^9$ лет. Таким образом, если пылевые частицы

выметаются из галактик со скоростями $(1 \div 2) \cdot 10^3$ км/с, они успевают удалиться от родительской галактики на достаточно большое расстояние.

Температуру пыли можно определить из условия баланса энергий нагрева при столкновениях пылинок с горячим газом и охлаждения при излучении в далекой ИК-области спектра. На больших расстояниях от центра скопления, где концентрация газа мала, в нагрев пылинок может давать вклад реликтовое излучение. После рассмотрения всех факторов, влияющих на нагрев пылинок, мы нашли [28], что для близких скоплений (красное смещение $\ll 1$) температура углеродных и силикатных пылинок составляет соответственно

$$\begin{aligned} T_C &= T_R (1 + 5.05 \cdot 10^7 n_g)^{1/5} \approx 95.8 n_g^{1/5}, \\ T_{Si} &= T_R (1 + 1.16 \cdot 10^{10} n_g)^{1/6} \approx 131 n_g^{1/6}. \end{aligned} \quad (10)$$

В качестве окончательного значения T_d для углеродно-силикатной смеси используем среднее значение

$$T_d = (T_C + 1.07 T_{Si})/2.07, \quad (11)$$

получающееся с учетом того, что $n_{Si}/n_C \approx 1.07$ [31]. В работе [28] получено выражение для коэффициента поглощения $\chi_{\lambda, abs}$ (или $\chi_{\nu, abs}$), усредненного по спектру размеров пылинок

$$\chi_{\lambda, abs} \approx 5.77 \cdot 10^{-18} n_d Q_{abs}(\lambda). \quad (12)$$

Здесь $n_d = n_{Si} + n_C \approx 2.07 n_C$, Q_{abs} — отношение фактора эффективности поглощения к радиусу частицы a , средневзвешенное по обоим компонентам смеси

$$Q_{abs}(\lambda) = \left[1.07 \frac{Q_{abs, Si}(\lambda)}{a} + \frac{Q_{abs, C}(\lambda)}{a} \right] / 2.07, \quad (13)$$

причем значения Q_{abs}/a для частиц каждого сорта могут быть аппроксимированы степенной функцией длины волны

$$\frac{Q_{abs}}{a}(\lambda) = \left(\frac{Q_{abs}}{a} \right)_{0.01 \text{ см}} \left(\frac{0.01 \text{ см}}{\lambda} \right)^\varepsilon.$$

Для силикатных частиц $\varepsilon = 2.95$ при $25 \text{ мкм} \leq \lambda \leq 100 \text{ мкм}$, $\varepsilon = 2.00$ при $\lambda > 100 \text{ мкм}$ и $(Q_{abs}/a)_{0.01 \text{ см}} = 50.1 \text{ см}^{-1}$; для углеродных частиц $\varepsilon = 0.58$ при $25 \text{ мкм} \leq \lambda \leq 100 \text{ мкм}$, $\varepsilon = 1.57$ при $\lambda > 100 \text{ мкм}$ и $(Q_{abs}/a)_{0.01 \text{ см}} = 411 \text{ см}^{-1}$.

Исходя из того, что распределение яркости диффузного излучения хорошо соответствует распределению интегрального излучения скоплений

[25] можно считать, что пространственное распределение пыли (если она присутствует в межгалактической среде и является причиной диффузного излучения) скорее всего соответствует пространственному распределению галактик. По-видимому, это характерно для случая, когда пыль выметается из галактик давлением излучения звезд. Поэтому мы выбрали распределение концентрации пыли, согласно которому

$$n_d(R)/n_d(0) = \rho_{gal}(R)/\rho_{gal}(0)$$

($\rho_{gal}(R)$ — пространственная плотность галактик). В работах [35, 36] отмечено, что $\rho_{gal}(R)$ во многих случаях хорошо описывается при помощи соотношения

$$\rho_{gal}(R) = \rho_{gal}(0) \left[1 + \left(\frac{R}{R_{gal}} \right)^2 \right]^{-3/2},$$

где R_{gal} — радиус ядра скопления. Тогда выражение для пространственного распределения пыли выглядит следующим образом:

$$n_d(R) = n_d(0) \left[1 + \left(\frac{R}{R_{gal}} \right)^2 \right]^{-3/2}. \quad (14)$$

В работе [28] мы использовали также другую модель, согласно которой

$$n_d(R) = n_d(0) \left\{ \left[1 + \left(\frac{R}{R_{gal}} \right)^2 \right] \cdot \left[1 + \left(\frac{R}{R_g} \right)^2 \right] \right\}^{-3/2}. \quad (15)$$

Однако различия результатов вычислений интенсивностей излучения для распределений (14) и (15) оказались малы, поэтому в дальнейшем мы ограничимся рассмотрением лишь зависимости $n_d(R)$, описываемой формулой (14).

4. *Параметры скоплений галактик в Волосах Вероники и Персее.* Для расчетов интенсивностей и яркостных температур излучения необходимо выбрать численные значения параметров T_0 , R_c , R_g , R_{gal} , $n_d(0)$ и $n_g(0)$. Величины T_0 , $n_g(0)$ и R_g могут быть определены из рентгеновских наблюдений, а R_{gal} — из оптических. В табл. 1 приведены параметры скоплений галактик в Волосах Вероники и Персее и ссылки на работы, из которых они взяты. При этом использовалось значение постоянной Хаббла $H_0 = 50$ км/с/Мпс.

За радиус скопления обычно принимают, так называемый, приливной радиус R_t (см., например, [5]). Однако относительно этой величины в литературе имеются самые противоречивые сведения. Поэтому мы выберем R_c из других соображений. Поскольку нас прежде всего интересует меж-

галактический газ, будем считать, что основной вклад в излучение дают те области скопления, где $n_g(R)/n_g(0) > 10^{-3}$ (это касается и пыли, так как ее излучение существенным образом определяется величиной T_d , зависящей от распределения концентрации газа). Граница этой области может рассматриваться как радиус скопления R_c . Тогда, используя формулу (9), получаем $R_c \approx 9.95 R_g$. Значения R_c , вычисленные таким образом, указаны в табл. 1.

Таблица 1

ПАРАМЕТРЫ СКОПЛЕНИЙ ГАЛАКТИК В ВОЛОСАХ ВЕРОНИКИ И ПЕРСЕЕ

Параметр	Волосы Вероники	Литература	Персей	Литература
T_0, K	$1.03 \cdot 10^8$	[2]	$7.9 \cdot 10^7$	[2]
$n_g(0), \text{см}^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	[3]	$7 \cdot 10^{-2}$	[4]
$R_g, \text{Мпс}$	0.62	[1]	0.26	[6]
$R_{gal}, \text{Мпс}$	0.25	[1]	0.24	[6]
$D, \text{Мпс}$	113	[29]	97	[29]
$R_c, \text{Мпс}$	6.17		2.54	
$\tau_{\text{ext}}(4170 \text{ \AA})$	0.4	[22]	0.2	[22]
$n_d(0), \text{см}^{-3}$	$4.7 \cdot 10^{-13}$		$2.39 \cdot 10^{-13}$	
$\gamma(0)$	$2.9 \cdot 10^{-3}$		$6.4 \cdot 10^{-5}$	

Вопрос о выборе величины $n_d(0)$ может быть решен с учетом данных о покраснении удаленных галактик в скоплении. В работе [22] для ряда скоплений (в том числе и для рассматриваемых) определена величина $\tau_{\text{ext}}(4170)$ — оптическая толщина в синей области спектра на $\lambda = 4170 \text{ \AA}$ (см. табл. 1). С другой стороны, оптическая толщина скопления по пыли при $p = 0$ равна

$$\tau_{\text{ext}}(\lambda) = 2 \int_0^{R_c} x_{\lambda, \text{ext}}(R) dR. \tag{16}$$

Для $x_{\lambda, \text{ext}}$ можно написать выражение, аналогичное (12), заменив фактор эффективности поглощения $Q_{\text{abs}}(\lambda)$ на фактор эффективности ослабления $Q_{\text{ext}}(\lambda)$. Обозначая через $\Lambda(\lambda)$ альbedo пылинок, перепишем (16) в следующем виде

$$\tau_{\text{ext}}(\lambda) = 1.15 \cdot 10^{-17} \frac{Q_{\text{abs}}(\lambda)}{1 - \Lambda(\lambda)} \int_0^{R_c} n_d(R) dR,$$

причем величина $Q_{\text{abs}}(\lambda)$ вычисляется по формуле (13). Для оценок $\tau_{\text{ext}}(\lambda)$ в видимой части спектра воспользуемся значением Q_{abs} на 1 мкм [31] и, считая, что $\Lambda(1 \text{ мкм}) = 0.5$, а $\tau_{\text{ext}}(\lambda) \sim \lambda^{-1}$ для $\lambda < 1 \text{ мкм}$, получим при $\lambda = 4170 \text{ \AA}$

$$\tau_{\text{ext}}(4170) \approx 1.14 \cdot 10^{-12} \int_0^{R_c} n_d(R) dR. \quad (17)$$

С учетом (14) находим

$$n_d(0) = 8.77 \cdot 10^{11} \tau_{\text{ext}}(4170) R_c^{-1} \left[1 + \left(\frac{R}{R_{\text{gal}}} \right)^2 \right]^{1/2}. \quad (18)$$

В табл. 1 приведены также значения отношения массы пыли к массе газа в единице объема скопления, определенные по формуле

$$\gamma(R) \approx 1.86 \cdot 10^3 n_d(R) / n_g(R).$$

Отметим, что даже в центре скоплений $\gamma < 0.006$ — среднего отношения плотностей пыли и газа в межзвездной среде [37].

5. *Результаты расчетов и обсуждение.* Расчеты яркостных температур излучения для скоплений галактик в Волосах Вероники и Персее были проведены для $\lambda\lambda = 0.04\text{—}50 \text{ см}$. На рис. 1 и 2 для нескольких значений длин волн приведены относительные изменения яркостной температуры фона в направлении скоплений галактик в Волосах Вероники (рис. 1) и Персее (рис. 2),

$$\frac{\Delta T_\lambda}{T_R} \equiv \frac{T_\lambda(\vartheta) - T_R}{T_R},$$

в зависимости от углового расстояния ϑ от центра скопления. При этом угол ϑ определяется из соотношения

$$\vartheta = \frac{P}{D} (\text{rad}) = 3437.7 \left(\frac{P}{R_c} \right) \left(\frac{R_c}{D} \right) \text{ угл. минут},$$

где D — расстояние до скопления (см. табл. 1). Из рассмотрения рис. 1 и 2 можно сделать несколько выводов.

а) На миллиметровых длинах волн излучение пыли может полностью компенсировать эффект Сюняева—Зельдовича, что приведет к существенным избыткам излучения по сравнению с фоновым от периферийных областей скопления. С уменьшением длины волны и в областях скопления,

более близких к центру, значения $\Delta T_\lambda / T_R$ становятся положительными. При $\lambda \leq 1$ мм все скопление галактик в целом является мощным источником излучения. Количественные различия в распределении яркостных температур для рассмотренных скоплений обусловлены, главным образом, отличиями в концентрации газа, поэтому эффект Сюняева—Зельдовича даже на краях скопления в Персее превышает излучение пыли.

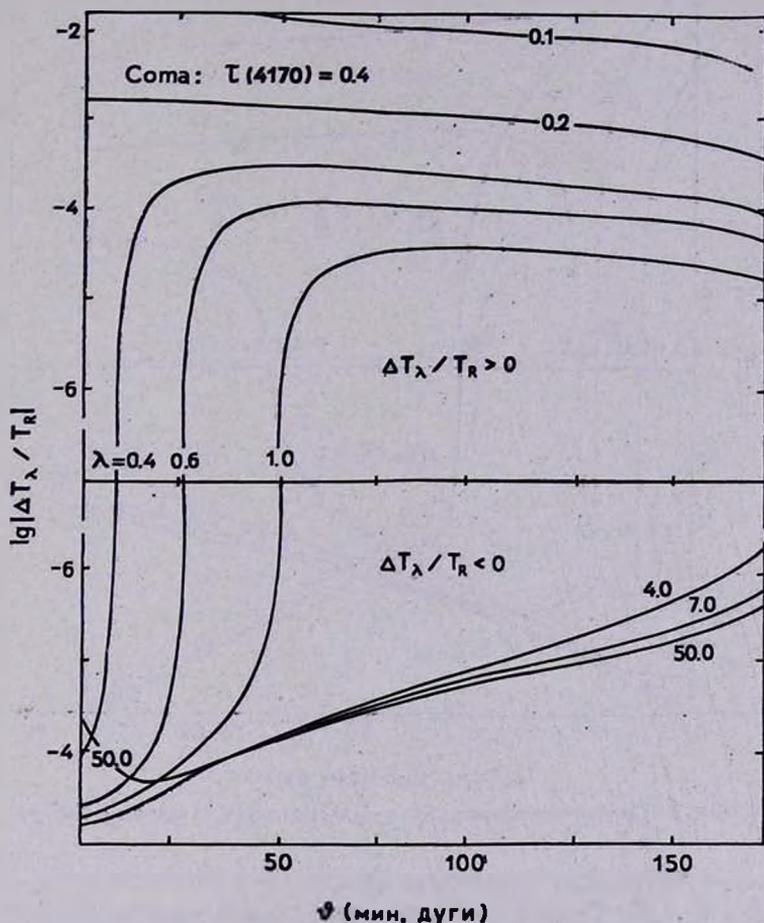


Рис. 1. Относительное изменение яркостной температуры фона в направлении скопления галактик в Волосах Вероники в зависимости от углового расстояния до центра скопления. Длины волн в сантиметрах.

б) Значительная концентрация газа в межгалактической среде скопления в Персее ведет к тому, что при $\lambda \geq 10$ см тепловое излучение горячего газа в центральной части скопления становится господствующим. С ростом λ размеры этой области увеличиваются. В скоплении в Волосах

Вероники подобный эффект практически отсутствует в рассмотренном диапазоне длин волн.

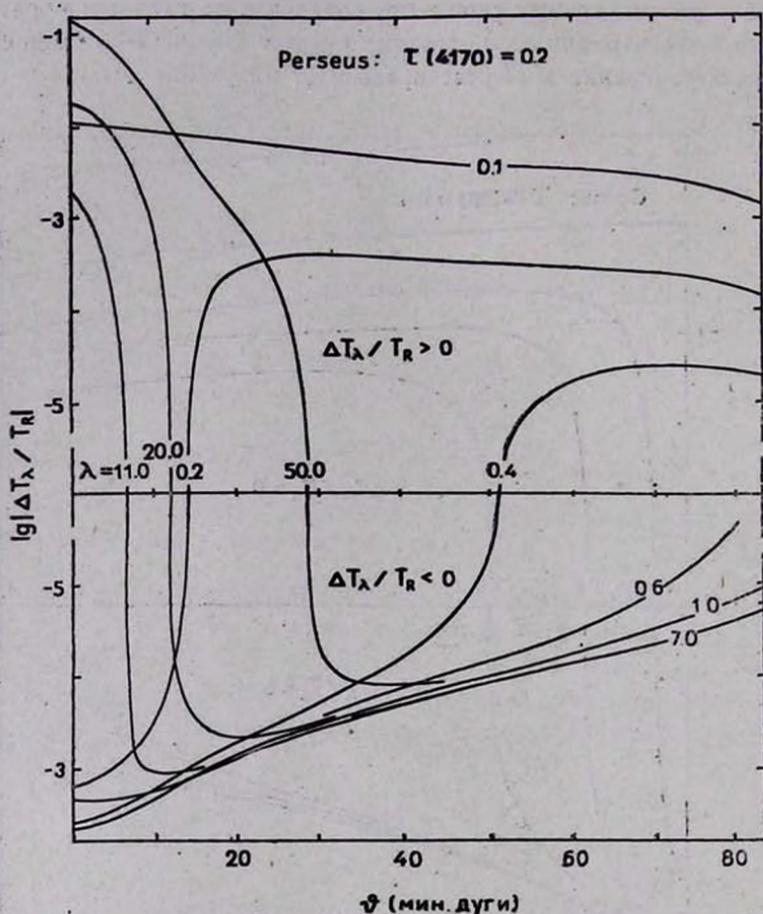


Рис. 2. То же, что на рис. 1, но для скопления галактик в Персее.

в) При выбранных параметрах скоплений в сантиметровом диапазоне длин волн эффект Сюняева—Зельдовича нельзя уравновесить тепловым излучением газа и пыли. Лишь при увеличении оптической толщины скопления по пыли можно ожидать частичной компенсации эффекта Сюняева—Зельдовича и появления превышения излучения над фоном в направлении скоплений галактик. На рис. 3 нанесены зависимости $\Delta T_{\lambda}/T_R$ от θ для скопления галактик в Волосах Вероники при различных значениях параметра $\tau_{\text{ext}}(4170)$. Увеличение концентрации пыли в 2—3 раза ведет к тому, что на $\lambda = 2$ см значения $\Delta T_{\lambda}/T_R$ становятся положительными для большей части скопления.

Результаты расчетов яркостных температур в субмиллиметровой области спектра представлены в табл. 2 и 3 (при этом использованы параметры скоплений, приведенные в табл. 1). Основной вклад в излучение скоплений, превышающее реликтовый фон, дают нагретые пылинки, тогда как слагаемое, обусловленное эффектом Сюняева—Зельдовича, даже на

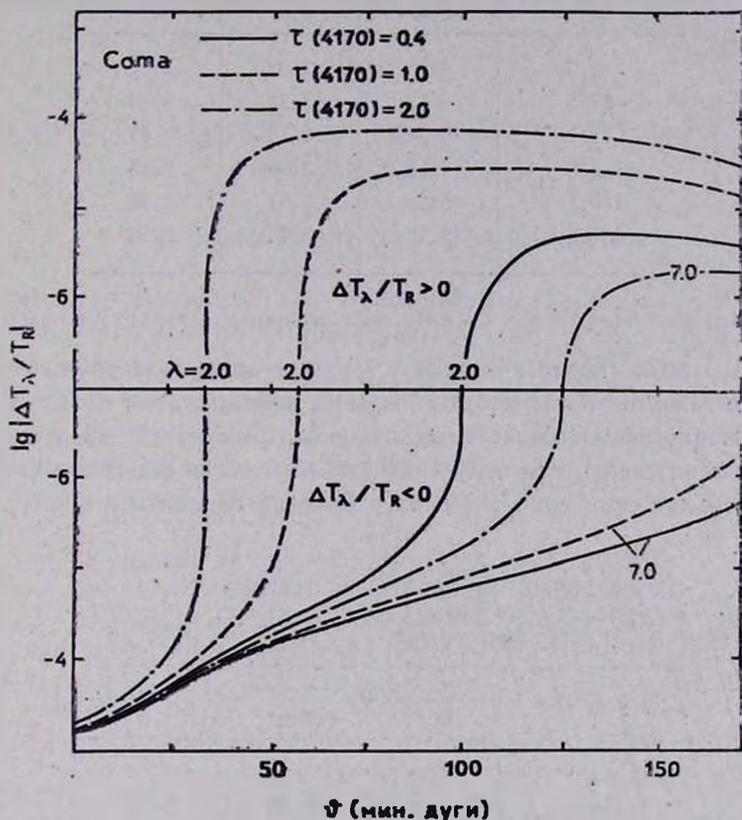


Рис. 3. То же, что на рис. 1, но при различных значениях концентрации пыли в межгалактической среде.

$\lambda = 0.8$ мм (вблизи максимума эффекта Сюняева—Зельдовича [9]) составляет $\sim 1.3\%$ и $\sim 22\%$ от «пылевого» слагаемого для скоплений в Волосах Вероники и Персее соответственно. Поэтому, если пыль присутствует в скоплениях галактик, то оценки ожидаемых потоков излучения от скоплений галактик в субмиллиметровой области спектра, приведенные в работе [38], следует увеличить в 200—400 раз, что даст разумные времена накопления сигнала от источника.

Таблица 2

ОЖИДАЕМЫЕ ЯРКОСТНЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ (В КЕЛЬВИНАХ) СУБМИЛЛИМЕТРОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ СКОПЛЕНИЯ ГАЛАКТИК В ВОЛОСАХ ВЕРОНИКИ

ϑ , угл. мин	λ , мм		
	0.4	0.6	0.8
0.0	4.76	3.33	2.91
37.5	4.57	3.24	2.88
75.1	4.34	3.15	2.85
112.6	4.13	3.06	2.83
150.1	3.89	2.97	2.80
187.7	2.76	2.76	2.76

6. *Заключение.* Кратко резюмируем основные результаты работы.

а) В рамках предположения о том, что в межгалактической среде скопления галактик присутствуют пылевые частицы, а их свойства подобны характеристикам межзвездных пылинок, рассчитаны яркостные температуры и интенсивности излучения пыли и газа в диапазоне длин волн 0.04—50 см для скоплений галактик в Волосах Вероники и Персее.

Таблица 3

ОЖИДАЕМЫЕ ЯРКОСТНЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ (В КЕЛЬВИНАХ) СУБМИЛЛИМЕТРОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ СКОПЛЕНИЯ ГАЛАКТИК В ПЕРСЕЕ

ϑ , угл. мин	λ , мм		
	0.4	0.6	0.8
0.0	4.43	3.12	2.84
15.4	4.31	3.06	2.82
30.9	4.16	3.01	2.81
46.3	4.00	2.95	2.80
61.8	3.81	2.90	2.78
77.2	2.76	2.76	2.76

б) Показано, что при концентрации пылинок, задаваемой на основании оптических наблюдений покраснения удаленных галактик в скоплениях, эффект Сюняева—Зельдовича нельзя компенсировать тепловым излучением пыли на сантиметровых длинах волн.

в) В субмиллиметровой и отчасти миллиметровой области спектра должно наблюдаться обусловленное пылью превышение излучения от

скоплений над излучением реликтового фона, что может быть использовано в качестве теста, позволяющего судить о наличии пыли в межгалактической среде скоплений галактик.

Ленинградский филиал САО
АН СССР

Ленинградский государственный
университет

GAS AND DUST EMISSION IN THE GALAXY CLUSTERS IN THE RADIOWAVE REGION

V. K. KHERSONSKIJ, N. V. VOSHCHINNIKOV

The consequences of the hypothesis on the presence of the dust grains in the intergalactic medium of galaxy clusters are considered. Gas and dust emission in the range $\lambda = 0.04\text{--}50$ cm in Coma and Perseus galaxy clusters are calculated. It is shown that the dust emission cannot compensate Sunyaev-Zel'dovich effect in the centimeter wavelength region. In the submillimeter wavelength region the galaxy clusters may be bright sources of emission.

ЛИТЕРАТУРА

1. C. Jones, E. Mandel, J. Schwartz, W. W. Forman, S. S. Murray, F. R. Harneden, *Ap. J.*, 234, L 21, 1979.
2. P. Hintzen, J. S. Scott, *Ap. J.*, 232, L 145, 1979.
3. G. B. Field, *Mitt. Astron. Ges.*, 47, 7, 1980.
4. A. C. Fabian, E. M. Hu, L. L. Cowie, J. Grindlay, *Ap. J.*, 248, 47, 1981.
5. М. А. Аракелян, *Итоги науки и техники, сер. Астрономия, ВИНТИ, М.*, 18, 83, 1981.
6. R. J. Hanisch, *Astron. Astrophys.*, 116, 137, 1982.
7. В. Г. Горбацкий, *Тезисы докладов конференции «Структура галактик и звездообразование»*, Киев, 1983, стр. 46.
8. R. A. Sunyaev, Ya. B. Zel'dovich, *Comm. Astrophys. Space Phys.*, 4, 173, 1972.
9. Я. Б. Зельдович, Р. А. Сюняев, *Астрофизика и космическая физика*, ред. Р. А. Сюняев, Наука, М., 1982, стр. 9.
10. S. F. Gull, K. J. E. Northover, *Nature*, 263, 572, 1976.
11. M. Birkinshaw, S. F. Gull, K. J. E. Northover, *M. N. RAS.*, 185, 245, 1978.
12. L. Rudnik, *Ap. J.*, 223, 37, 1978.
13. S. L. Perrenod, C. J. Lada, *Ap. J.*, 234, L 173, 1979.
14. G. Lake, R. B. Partridge, *Ap. J.*, 237, 378, 1980.
15. M. Birkinshaw, S. F. Gull, A. T. Moffet, *Ap. J.*, 251, L 69, 1981.
16. G. Lake, *Objects of High Redshift*, IAU Symp. eds. G. O. Abell, P. J. E. Peebles, Reidel, 92, 1980, p. 305.

17. G. Cavallo, N. Mandolesi, *Astrophys. Lett.*, 22, 119, 1982.
18. A. N. Lassenby, R. D. Davies, *M. N. RAS*, 203, 1137, 1983.
19. P. S. Wesson, *Astron Astrophys.*, 61, 177, 1977.
20. S. Atello, F. Melchiorri, F. Mencaraglia, *Astrophys. Space Sci.*, 53, 403, 1978.
21. F. Zwicky, *P.A.S.P.*, 64, 242, 1952.
22. И. Д. Караченцев, В. А. Липовецкий, *Астрон. ж.*, 45, 1148, 1968.
23. R. S. Bogart, R. V. Wagoner, *Ap. J.*, 181, 609, 1973.
24. K. H. Schmidt, *Astron. Nachr.*, 295, 163, 1974.
25. T. X. Thuan, J. Kormendy, *P.A.S.P.*, 88, 466, 1977.
26. M. Aaronson, *Infrared Astronomy*, IAU Symp., eds. C. G. Wynn-Williams, D. P. Cruikshank, Reidel, 96, 1981, p. 297.
27. T. Shanks, R. Foog, M. R. Green, R. G. Clowes, A. Savage, *M. N. RAS*, 203, 181, 1983.
28. N. V. Voshchinnikov, V. K. Khersonskij, *Astrophys. Space Sci.*, 103, 301, 1984.
29. К. Ленз, *Астрофизические формулы*, Мир, М., 1978.
30. G. Chincarini, *X-ray Astronomy*, eds. R. Giacconi, G. Setti, Reidel, 1980, p. 197.
31. B. T. Draine, *Ap. J.*, 245, 880, 1981.
32. J. S. Mathis, W. Rumpl, K. H. Nordstreck, *Ap. J.*, 217, 425, 1977.
33. J. S. Mathis, *Ap. J.*, 232, 747, 1979.
34. B. T. Draine, E. E. Salpeter, *Ap. J.*, 231, 77, 1979.
35. I. R. King, *Ap. J.*, 174, L 123, 1972.
36. H. R. Rood, T. L. Page, E. C. Kinter, I. R. Rood, *Ap. J.*, 175, 627, 1972.
37. А. Спиггер, *Физические процессы в межзвездной среде*, Мир, М., 1981.
38. И. И. Канаев, Г. Б. Шоломицкий, И. А. Маслов, В. М. Гроздилов, *Итоги науки и техники, сер. Астрономия*, ВИНТИ, М., 22, 286, 1983.