

УДК 524.77

## О ВЫПАДЕНИИ НА ГАЛАКТИКУ ГАЗА ИЗ СКОПЛЕНИЯ

Е. В. ВОЛКОВ, Л. Н. ИВАНОВ

Поступила 2 февраля 1982

Принята к печати 6 ноября 1982

Показано, что в богатых скоплениях галактик длины свободного пробега частиц превышают размеры галактик. Сделана оценка темпа выпадения такого бесстолкновительного газа на неподвижную галактику. Он может достигать  $5 M_{\odot}$  в год, что существенно для эволюции галактики.

1. В результате рентгеновских наблюдений в диапазоне 0.1—100 кэВ было обнаружено тепловое излучение горячего газа, находящегося в скоплениях галактик [1—4]. При интерпретации этого рентгеновского излучения как тормозного получаются величины температуры и плотности газа, которые группируются около значений  $T = 10^8$  К и  $n = 10^{-3}$  см<sup>-3</sup>. Наиболее сильное излучение идет от центральных областей скоплений, имеющих размеры порядка 1 Мпс, но есть свидетельства в пользу существования газа и на более далеких от центра расстояниях [5]. Таким образом, галактики, входящие в состав скопления, погружены в горячую газовую среду.

Проблеме взаимодействия галактики с ее окружением в литературе уделялось большое внимание. Неоднократно проводились исследования процесса аккреции межгалактического газа на галактику [6—7]. Существенным моментом в указанных работах являлся учет охлаждения газа, причем оно значительно увеличивало темп аккреции. Для решения задачи привлекался аппарат гидродинамики. Было получено, что к галактике может присоединяться около  $1 M_{\odot}$  в год. Однако возможность аккреции очень горячего газа ( $T = 10^8$  К), но не в гидродинамическом, а в бесстолкновительном режиме не рассматривалась. В настоящей работе показано, что межгалактический газ на масштабах галактики следует считать бесстолкновительным, а также получены оценки для скорости присоединения этого газа к галактике. При этом речь идет не об аккреции, а именно о присоединении, так как гравитационный потенциал галактики несущественен для рассматриваемой оценки. Основным фактором является чисто геометрическое экранирование телом галактики свободно летящих в межгалакти-

ческом пространстве частиц горячего газа. В настоящей работе не делается попытки учесть слабое магнитное поле в межгалактической среде, во-первых, из-за трудности этой задачи и, во-вторых, ввиду того, что пока нет надежных данных о его существовании, а тем более, о его структуре. Галактические же магнитные поля, очевидно, только способствуют захвату пролетающих частиц и не могут существенно изменить полученную оценку.

2. В последнее десятилетие появилось много работ, в которых строились модели распределения горячего газа в скоплениях [8—11]. В этих работах были использованы различные представления потенциала скопления и предположения о распределении газа, но везде принималась гипотеза о гидростатическом равновесии газовой политропы в гравитационном поле скопления. Получаемые при этом зависимости температуры и плотности газа от расстояния  $r$  до центра скопления позволяют оценить длину свободного пробега (ДСП) для различных значений  $r$ .

Нами были вычислены ДСП в межгалактическом газе по формулам из работы [12]

$$l = 4.5 \cdot 10^5 T^2 / n \ln \Lambda; \quad \ln \Lambda = 9.5 + \frac{3}{2} \ln T - \frac{1}{2} \ln n. \quad (1)$$

При этом использовались приведенные в статье [11] законы изменения  $T$  и  $n$  от расстояния до центра скопления. Были приняты следующие значения для температуры и плотности газа в центре скопления:  $T_0 = 10^8$  К,  $n_0 = 10^{-3}$  см<sup>-3</sup>. В нижеследующей таблице приведены величины ДСП для различных расстояний от центра скопления (в Мпс):

|     |      |      |      |      |      |      |      |     |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| $r$ | 0.05 | 0.1  | 0.2  | 0.5  | 1.0  | 1.5  | 2.5  | 5.0 |
| $l$ | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.07 | 0.13 | 0.21 | 0.37 | 0.9 |

Здесь даны значения «локальных» ДСП, характерные для определенного расстояния от центра скопления. Как видно из таблицы, отношение  $l/r > 0.1$  во всем скоплении, а в центральной части близко к единице, поэтому при исследовании динамики газа и построении стационарных моделей скоплений галактик, очевидно, следует проявлять осторожность в применении методов обычной газодинамики. Здесь более подходят методы, разработанные для систем в переходном (от бесстолкновительного к гидродинамическому описанию) режиме. В связи с этим более приемлемой кажется модель изотермической плазмы, находящейся в гравитационном поле скопления.

Рассмотрим теперь процесс выпадения межгалактического газа на галактику. Предполагаем далее, что скорость галактики относительно среды мала. Используем рассуждения, применяемые при описании потока разреженного газа вблизи препятствия. Параметром, определяющим характер течения разреженного газа вблизи препятствия, является число Кнудсена

$$Kn = l/L, \quad (2)$$

где  $l$  — ДСП частицы,  $L$  — характерный размер тела. Если принять типичное для радиуса галактики  $R_0$  значение 10 кпс, то при сравнении с полученными оценками ДСП частиц в межгалактической среде богатого скопления галактик видно, что  $Kn > 1$  для центральных и  $Kn \gg 1$  для периферийных областей скоплений. Следовательно, межгалактическая среда на масштабах галактики ведет себя как разреженный газ. С другой стороны, оценка ДСП «горячей» частицы внутри галактики по формуле [13] при значениях плотности  $n_g = 1 \text{ см}^{-3}$  и температуры галактического газа  $T_g = 10^4 \text{ К}$  дает величину порядка 10 пс и  $Kn \ll 1$ :

$$l \approx 6 \cdot 10^4 T_g^2 / n_g \ln \Lambda. \quad (3)$$

ДСП термализованной частицы определяется по формуле (1) и оказывается еще меньше, так что внутри галактики мы имеем дело со слабо разреженным газом. В процессе присоединения межгалактической среды к галактике происходит переход от течения с  $Kn > 1$  к течению с  $Kn \ll 1$ . Изучение таких процессов наиболее затруднительно с формально-математической точки зрения. С целью получения порядковых оценок интенсивности газообмена галактики с окружающей средой предположим существование резкой поверхностной границы галактики. Вне этой границы реализуется свободномолекулярное течение газа, внутри же газ слабо разрежен и, кроме того, гравитационно связан с галактикой. Предположим также, что всякая горячая частица межгалактической среды, пересекая границу галактики, термализуется и присоединяется к галактическому газу. Оценим теперь количество частиц  $N$  межгалактического вещества, пересекающих с одной стороны в единицу времени единицу поверхности галактики. При условии, что скорости частиц распределены по закону Максвелла,  $N$  находим по формуле из работы [14]

$$N = n \sqrt{\frac{R^* T}{2\pi}}, \quad (4)$$

где  $R^*$  — универсальная газовая постоянная. Предполагая, что горячие частицы тормозятся в основном в газовом диске галактики, на основании (4) получим оценку полного числа частиц межгалактического газа, присоединяющихся к веществу галактики за год,

$$N = 3 \cdot 10^7 n \sqrt{\frac{R^* T}{2\pi}} 2\pi R_0^2 = 6 \cdot 10^{57} \text{ год}^{-1}. \quad (5)$$

В пересчете на массу это дает  $5M_{\odot}/\text{год}$ . Таким образом, за все время существования галактики на нее выпадает масса газа, сравнимая с ее собственной массой. Как следует из соотношения (5), темп выпадения газа на галактику прямо пропорционален скорости звука в окружающем газе,  $v_{\text{зв}} = \sqrt{\gamma R^* T}$ . В работах [6, 7] получалась обратная зависимость от второго параметра (т. е. чем горячее газ, тем слабее аккреция). Таким образом видно, что высокая температура является препятствием для присоединения газа только посредством гравитационного захвата, а для чисто геометрического экранирования пролетающих частиц, каковое и рассматривалось в настоящей статье, высокая температура является положительным фактором. Относительный вклад того и другого процесса захвата для бесстолкновительного газа определяется безразмерным числом  $\alpha = (MG)/(R_0 v_{\text{зв}}^2)$ . Легко видеть, что в случае аккреции на галактику газа, температура которого не превышает  $\sim 10^6$  К, это число велико по сравнению с единицей. Именно этот случай до сих пор и рассматривался в литературе. В случае, рассмотренном здесь,  $\alpha = 0.01$ , откуда и следует, что геометрический фактор захвата выходит на первое место для газа с достаточно высокими температурами.

Сделанные оценки показывают, что процесс присоединения горячего межгалактического газа к галактике должен играть большую роль в ее эволюции. Детальную картину данного процесса следует строить на основе решения кинетических уравнений. Проникающие в галактику частицы несут с собой большую энергию, поэтому должен иметь место нагрев межзвездного газа и вылет частиц из галактики. В дальнейшем предполагается подробнее рассмотреть механизм массо- и энергообмена галактики с окружающей ее средой.

Ленинградский государственный  
университет

## ON ACCRETION OF INTRACLUSTER GAS ON A GALAXY

E. V. VOLKOV, L. N. IVANOV

The free path of particles in rich clusters of galaxies is shown to be greater than the scale of a galaxy. The estimate is made for the collisionless gas accretion rate on a motionless galaxy. It may reach  $5M_{\odot}/\text{year}$ , and this is important for the evolution of the galaxy.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *H. Gursky, E. Kellogg, S. Murray, C. Leong, H. Tananbaum, R. Giacconi*, *Ap. J.*, 167, L81, 1971.
2. *H. Gursky, A. Solinger, E. Kellogg, S. Murray, H. Tananbaum, R. Giacconi*, *Ap. J.*, 173, L99, 1972.
3. *E. Kellogg, H. Gursky, H. Tananbaum, R. Giacconi*, *Ap. J.*, 174, L65, 1972.
4. *E. Kellogg, H. Gursky, H. Tananbaum, R. Giacconi*, *Ap. J.*, 178, 309, 1972.
5. *P. Hintzen, J. S. Scott*, *Ap. J.*, 239, 765, 1980.
6. *D. P. Cox, B. W. Smith*, *Ap. J.*, 203, 361, 1976.
7. *L. L. Cowie, J. Binney*, *Ap. J.*, 215, 723, 1977.
8. *S. M. Lea, J. Silk, E. Kellogg, S. Murray*, *Ap. J.*, 184, L105, 1973.
9. *S. F. Gull, K. Northover*, *M. N.*, 173, 585, 1975.
10. *A. Cavaliere, R. Fusco-Femiano*, *Astron. Astrophys.*, 49, 137, 1976.
11. *P. E. J. Nulsen, A. C. Fabian*, *M. N.*, 191, 887, 1980.
12. *А. А. Арцимович, Р. Э. Сагдеев*, *Физика плазмы для физиков*, Атомиздат, М., 1979.
13. *К. Лени*, *Астрофизические формулы*, ч. I, Мир, М., 1978.
14. *В. П. Шидловский*, *Введение в динамику разреженного газа*, Наука, М., 1965.