

ВНЕАТМОСФЕРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МЕЖГАЛАКТИЧЕСКОГО ГАЗА

В.Г.Курт, Р.А.Сюлле

При помощи приемника излучения на автоматической межпланетной станции (АМС) "Венера-3", были выполнены наблюдения верхней границы потока ультрафиолетового излучения в интервале длин волн 1225-1340 Å.

Основным источником такого излучения является линия L_{α} ($\lambda = 1216 \text{ Å}$) межгалактического водорода, смещенная в красную сторону вследствие космологического расширения. Найденная в эксперименте верхняя граница потока дает сведения о плотности и температуре межгалактической среды, в которой по современным представлениям может находиться основная масса вещества Вселенной.

На АМС "Венера-3", запущенной 16 ноября 1965 г., был установлен прибор для измерений излучения в двух спектральных интервалах: 1050-1340 и 1225-1340 Å. В качестве приемника ультрафиолетовой радиации использовался гейгеровский счетчик фотонов с наполнением окисью азота (NO) и окном из фтористого лития. Для измерений во второй полосе применялся дополнительный фильтр из фтористого кальция толщиной около 1 мм. Поля зрения для указанных спектральных интервалов равнялись соответственно 7 и 20°, а геометрические факторы — $3 \cdot 10^{-4}$ и $3 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2 \text{ стер}$. Эффективность счетчиков к излучению в исследуемых полосах составляла примерно 10-20% по лабораторным измерениям. Поле зрения фотометра описывало конус с углом раствора 140° вокруг антисолнечной точки за время около 10 мин. Оба счетчика за исключением окошка диаметром 7 мм были экранированы слоем свинца толщиной 3,5 мм, что полностью отрезало мягкую компоненту космического излучения.

В первом спектральном интервале вдали от Земли измерен поток, равный $5,5 \cdot 10^{-5} \text{ эрг/см}^2 \text{ сек стер}$. Он естественно объясняется резонансно рассеянным на межпланетном нейтральном водороде излучением Солнца в линии L_{α} [1]. В полосе 1225-1340 Å вне линии L_{α} отсчет составлял

$31,6 \pm 4$ *имп/сек*. Сравнение с данными измерений на той же АМС, выполненными с помощью гейгеровского счетчика СТС-5 с такой же примерно экранировкой, позволило оценить скорость счета в нашем приборе, вызванную космическими лучами. Показания этого счетчика равнялись $31,4 \pm \pm 1,4$ *имп/сек*.* (Данные по этим измерениям со счетчиком СТС-5 были нам любезно предоставлены Г.П.Любимовым.). На рис. 1 приведены пока-

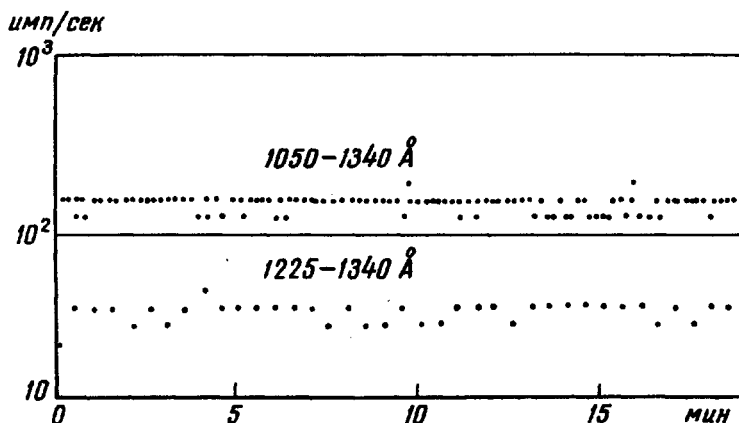


Рис.1. Сеанс связи с АМС "Венера-3" 7 января 1966 г

зания счетчиков в обоих спектральных интервалах в одном из сеансов связи. При скорости счета около 31 *имп/сек* можно утверждать, что счет, связанный с излучением в полосе 1225–1340 Å, не превышает 4 *имп/сек*, что соответствует верхней границе потока 10^{-7} *эрг/см²сек стер*.

Если теперь учесть поглощение в Галактике, то можно получить верхний предел потока из Метагалактики. Поглощение на элементах с низким (< 10 эв) потенциалом ионизации явно несущественно. Считая, что для длин волн ~ 4000 Å по перпендикуляру к плоскости Галактики поглощение на пыли составляет 0,18 и что поглощение пропорционально λ^{-1} [2], получаем, что в интересующем нас интервале длин волн поглощение на пыли уменьшает поток в среднем по небу в 2,5 раза и, следовательно, поток

из Метагалактики не превышает $2,5 \cdot 10^{-7}$ *эрг/см²сек стер*.

Перейдем к интерпретации экспериментальных результатов. В настоящее время предполагается, что в пространстве между скоплениями галактик находится горячий, почти полностью ионизованный газ [3], состоящий из 70% водорода и 30% гелия (по весу). В ходе расширения длины волн меняются по закону $\lambda = \lambda_0(1+z)$, где z – красное смещение, плотность – $n = n_0(1+z)^3$, а температуру для простоты будем считать постоянной. В этих предположениях можно найти поток излучения в измеряемом интервале частот:

$$I = \frac{c}{H} \int_0^{\infty} i_{\nu_1} \frac{dz}{(1+z)^5 \sqrt{1+\Omega z}} \Delta\nu_0,$$

где $\nu_1 = \nu_0(1+z)$, $\Omega = 2q = \rho/\rho_{кр}$, $\rho_{кр} = 2 \cdot 10^{-29}$ г/см³, q – параметр ускорения, H – постоянная Хаббла, $\Delta\nu_0$ – принимаемый интервал частот, j_ν – объемная светимость; для линии с частотой ν_α

$$j_{\nu_1} = \frac{1}{4\pi} n_1^2 h \nu_1 f(T) \delta(\nu_1 - \nu_\alpha) = \frac{1}{4\pi} n_0^2 h \nu_0 (1+z)^7 f(T) \delta[\nu_0(1+z) - \nu_\alpha].$$

Функции $f(T)$ для излучения в линии $Z_\alpha HI$ и в резонансной линии He II $\lambda=304 \text{ \AA}$ приведены на рис. 2. Окончательно получим $I = \Omega^2 \psi(T)$.

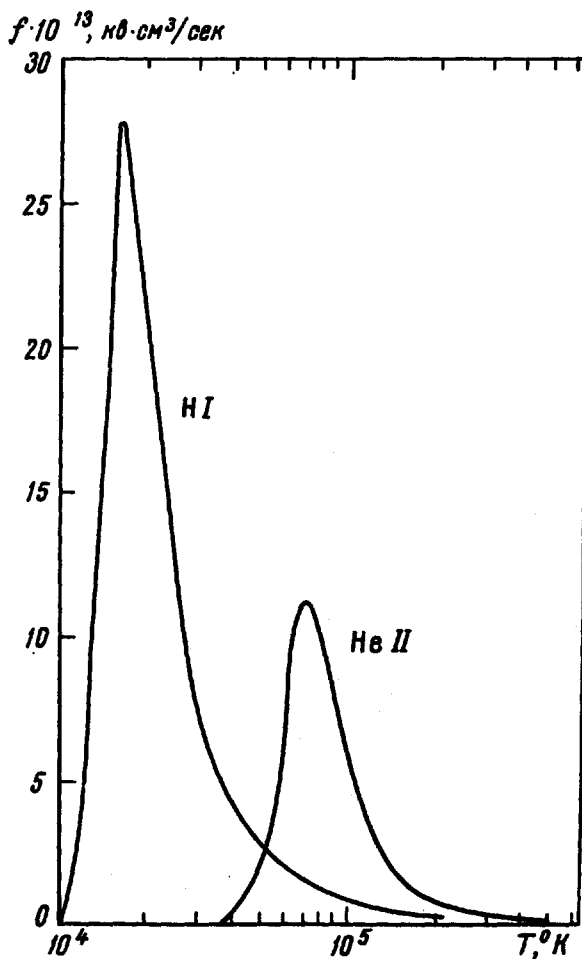


Рис. 2. Зависимость излучательной способности водорода и гелия в линиях L_α и $\lambda = 304 \text{ \AA}$ в функции температуры

Поскольку для потока измерена лишь верхняя граница, для каждого T можно указать верхнее значение плотности. Соответствующая кривая приведена на рис. 3. В различных областях температуры главный вклад обусловлен следующими процессами.

1. При $10^4 < T < 6 \cdot 10^4$ °К это – излучение атомного водорода, возбуждаемого электронным ударом, и в меньшей степени – рекомбинационное излучение водорода в линии L_α . В этом случае эффективно работает слой с $z < 0,1$. По существу измерен верхний предел меры эмиссии, который при наиболее выгодной температуре равен 0,03. Отсюда сразу видна большая эффективность метода измерений: в оптическом диапазоне объекты с такой мерой эмиссии ненаблюдаемы из-за фона ночного неба, а в космосе - из-за фона звезд.

2. При более высокой температуре, $6 \cdot 10^4 < T < 5 \cdot 10^5$ °К главный вклад дает резонансная линия ионизованного гелия, излучающего в интервале $3 < z < 3,4$.

3. При $T > 5 \cdot 10^5$ °К главный вклад дают свободно-свободные переходы. При этом существенны области с большими $z \sim 10^{-5} T$, т.е. $z > 5$ в данном случае.

Так как во втором и третьем случаях важную роль играет излучение из областей с большими z , функция $\psi(T)$ также зависит от Ω , и пересчет потока несколько усложняется.

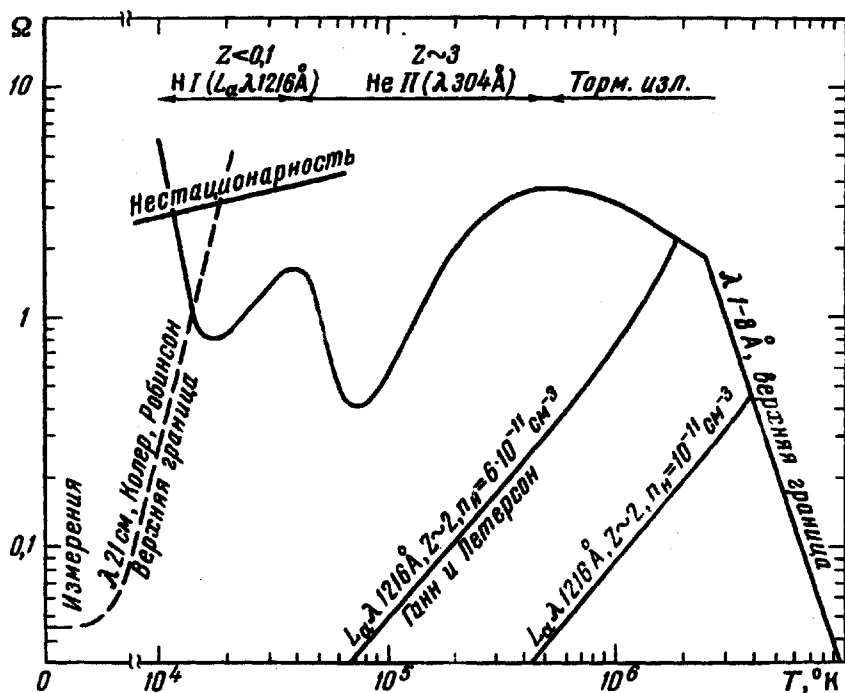


Рис.3. Верхняя граница плотности межгалактического газа как функции температуры

На рис. 3 приведены также данные по наблюдениям другими методами. Ганн и Петерсон [4] обнаружили нейтральный водород с плотностью $6 \cdot 10^{-11} \text{ см}^{-3}$ при $z \sim 2$ по поглощению в спектре квазара ЗС-9. Бербиджи, Линдс и Оук доказывают, что оценка Ганна и Петерсона завышена, по меньшей мере, в 3-4 раза и $n_H < 2 \cdot 10^{-11} \text{ см}^{-3}$. Столь малую плотность нейтрального водорода объясняют высокой температурой газа. С учетом за-

висимости степени ионизации от температуры построены кривые, в каждой точке которых плотность нейтрального водорода равна $6 \cdot 10^{-11} \text{ см}^{-3}$ и 10^{-11} см^{-3} , соответственно.

Филд и Генри [5] интерпретировали рентгеновский фон в области $1 \div 8 \text{ \AA}$, как тормозное излучение газа. Приведенная кривая ограничивает ту область на плоскости $\rho - T$, в которой нет противоречия с наблюдениями фона в рентгеновской области спектра.

В недавней работе Колера и Робинсона [6] найдена плотность нейтрального водорода в межгалактической среде при малых z по поглощению в линии 21 см . Полагая спиновую температуру равной 4°K , Колер дает $n_{\text{H}} = 4,5 \cdot 10^{-7} \text{ см}^{-3}$. Соответствующие значения ρ и T , для которых в стационарном состоянии достигаются такие n_{H} , также приведены на рис. 3. При такой плотности нейтрального водорода среда непрозрачна в линии L_{α} , и оптическая толщина с учетом космологического расширения равна $\tau = 10^4$, а толщина для лаймановского континуума $\tau \sim 10^3 \div 10^4$. Поглощение в L_{α} сопровождается переизлучением и поэтому не меняет выводов для области температур с $T < 5 \cdot 10^4 \text{ K}$, излучение же при свободно-свободных переходах и в линии гелия полностью поглощается.

Сопоставление с малым n_{H} при $z \sim 2$ [4] показывает, если интерпретация Колера верна, что нейтральный водород появился где-то при $z < 2$. Область его появления может быть определена, если расширить изучаемый спектральный интервал в сторону низких частот.

Проверкой результата Колера и Робинсона явилось бы сопоставление потоков в двух спектральных интервалах с $\lambda < 1216 \text{ \AA}$ и $\lambda > 1216 \text{ \AA}$, которое может позволить различить излучение водорода (близкая область) от эмиссии при свободно-свободных переходах и в линии гелия $\lambda = 304 \text{ \AA}$. Если степень ионизации при $z \sim 2$ соответствует электронной температуре газа, то водород не может рекомбинировать за космологическое время. Кривая, соответствующая излучению при нестационарной рекомбинации, также приведена на рис. 3.

В ближайшее время авторы собираются проанализировать взаимную совместимость имеющихся экспериментальных данных при различных предположениях об изменении температуры со временем.

Чувствительность аппаратуры может быть существенно повышена. Предел чувствительности определяется, по-видимому, звездной компонентой фона. Суммарное излучение звезд в исследуемой спектральной области для участков неба вдали от галактической плоскости не превышает $3 \cdot 10^{-9} \text{ эрг/см}^2 \text{ сек стер}$, что значительно меньше приведенного значения. Важность дальнейших измерений ясна: наблюдения за ходом расширения дают значение $\rho \sim 2 \rho_{\text{кр}}$ с очень малой точностью [7].

Авторы благодарны Я.Б.Зельдовичу и И.С.Шкловскому за ценные обсуждения, В.М.Тийту и Е.К.Шефферу за помощь в эксперименте.

Государственный
астрономический институт
им.П.К.Штернберга

Поступило в редакцию
5 февраля 1967 г.

Литература

- [1] С.И.Бабиченко, И.П.Карпинский, В.П.Курт и др. Космические исследования, 3, 237, 1965.
- [2] A.E.Whitford. *Astronom. J.*, 63, 201, 1958.
- [3] В.Л.Гинзбург, Л.М.Озерной. *Астроном. ж.*, 42, 943, 1965.
- [4] J.E.Gunn, B.A.Petterson. *Astrophys. J.*, 142, 1633, 1965.
- [5] G.B.Field, R.C.Henry. *Astrophys. J.*, 140, 1002, 1964.
- [6] I.A.Koehler, B.I.Robinson, *Astrophys. J.*, 146, 488, 1966.
- [7] А.Р.Сэндейдж. Наблюдательные основы космологии. Изд-во "Мир", 106, М, 1965.

* С учетом отношения геометрических факторов.