

ВЛИЯНИЕ РЕЛИКТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА НАСЕЛЕННОСТИ УРОВНЕЙ МОЛЕКУЛ CS И HCN В ОБЛАКАХ С БОЛЬШИМ КРАСНЫМ СМЕЩЕНИЕМ

В. К. Херсонский

Изучается влияние поля реликтового излучения при больших красных смещениях z на населенности нижних вращательных уровней молекул CS и HCN. Рассмотрены области кинетических температур и концентраций газа, типичные для молекулярных облаков нашей Галактики, $10^2 \text{ см}^{-3} \leq N \leq 10^6 \text{ см}^{-3}$, $20 \text{ К} \leq T_{\text{к}} \leq 60 \text{ К}$. Показано, что увеличение температуры поля излучения при увеличении z существенно сказывается на населенностях уровней, что должно учитываться при постановке наблюдений молекулярных линий в спектрах поглощения квазаров.

The influence of the background radiation at large redshifts z on the populations of the low rotational levels of CS and HCN molecules is studied. We consider the intervals of kinetic temperatures and gas densities which are typical for interstellar clouds of our Galaxy, $10^2 \text{ cm}^{-3} \leq N \leq 10^6 \text{ cm}^{-3}$, $20 \text{ K} \leq T_{\text{к}} \leq 60 \text{ K}$. It is shown that the increase of radiation field temperature (at z increase) substantially affects on the level populations. This must be taken into account at the observations of the molecular lines in QSO absorption spectra.

1. В настоящее время эмиссионные линии, соответствующие вращательным переходам различных молекул, наблюдаются в спектрах многих соседних галактик. В спектрах квазаров уверенно отождествлена лишь радиолиния нейтрального водорода $\lambda=21 \text{ см}$. В оптических абсорбционных спектрах квазаров имеется очень много неотожествленных деталей. В ряде работ (см., например, [1, 2]) сделаны попытки отождествить некоторые из них с линиями молекул H_2 и CO. В работе [3] детально обсуждалась возможность обнаружения молекулярных линий поглощения в спектрах квазаров в радиодиапазоне. Уже приняты первые попытки обнаружения этих линий [4, 5]. Нет сомнения, что по мере повышения чувствительности приемной аппаратуры работа в этом направлении будет непрерывно расширяться.

Для правильной интерпретации возможных абсорбционных деталей в радиоспектрах квазаров, связанных с поглощением радиоконтинуума квазара при вращательных молекулярных переходах, необходимо корректно учитывать основные факторы, влияющие на заселение молекулярных уровней в облаках с большим красным смещением. Эта проблема затронута нами в работах [6, 7]. В этих работах обсуждалось влияние поля реликтового излучения в облаках с большим красным смещением $z=1 \div 4$ на населенности вращательных уровней молекулы CO. В них показано, что при концентрациях газа $N < 10^4 \text{ см}^{-3}$ это влияние очень существенно, несмотря на то что дипольный момент молекулы CO мал ($d_{\text{CO}}=0.112 \text{ деб}$) и эта молекула сравнительно слабо сцеплена с излучением. Наряду с молекулой CO в облаках с большим красным смещением могут также присутствовать другие молекулы, в частности молекулы CS и HCN, которые в молекулярных облаках нашей Галактики представлены достаточно большими содержаниями. Существенное отличие этих молекул от молекулы CO состоит в том, что их дипольные моменты велики ($d_{\text{CS}}=1.96 \text{ деб}$, $d_{\text{HCN}}=3.0 \text{ деб}$). Поэтому их связь с реликтовым излучением существенно сильнее, чем для молекулы CO. Цель данной работы состоит в расчете эффектов влияния реликтового излучения при больших красных смещениях на заселение вращательных уровней молекул CS и HCN.

2. Для решения поставленной задачи необходимо рассчитать населенности вращательных уровней молекул CS и HCN с учетом столкновительных и радиа-

тивных возбуждений и деактиваций. Рассмотрим оптически тонкий случай, когда собственное излучение молекул не влияет на заселение уровней. В молекулярных облаках нашей Галактики этот случай практически всегда реализуется для изотопзамещенных аналогов молекул CS и HCN. С другой стороны, этот случай представляет наибольший интерес для приложений, связанных с изучением физических условий в рассматриваемых облаках по данным наблюдений вращательных линий.

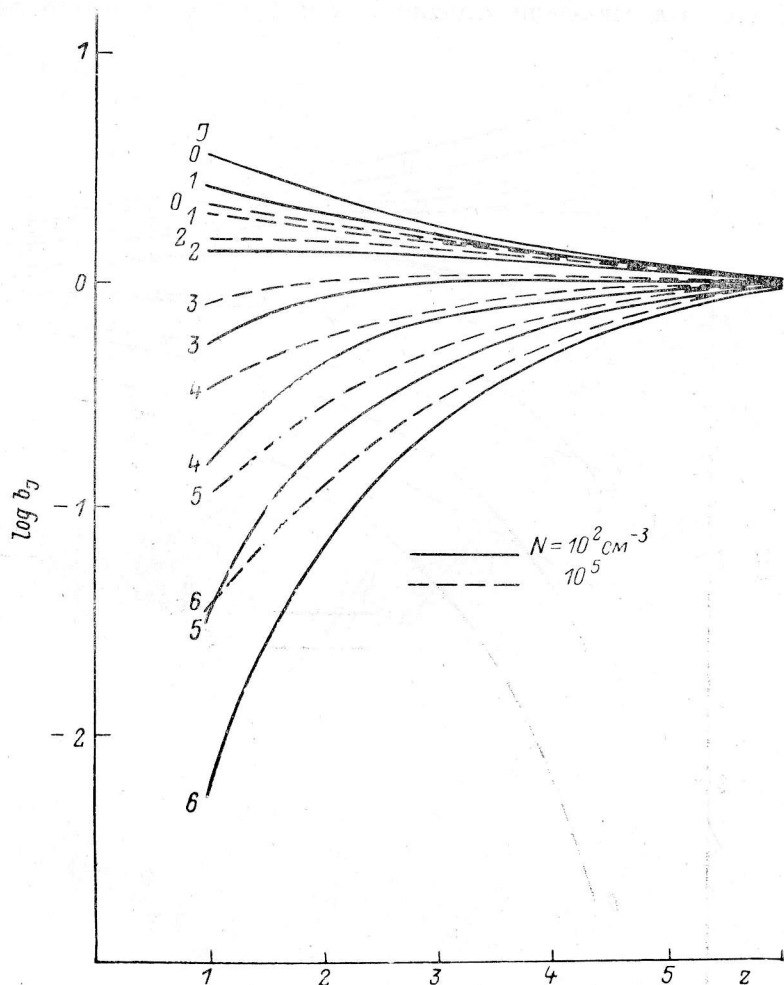


Рис. 1. Величины b_J для молекул CS как функции красного смещения при двух значениях концентрации газа и $T_k = 20 \text{ K}$.

Методика расчета населенностей $n_J(N, T_k, T_R)$ (N — полная концентрация газа; T_k — кинетическая температура, $T_R(z) = 2.76(1+z)$ — температура поля излучения в эпоху z ; J — квантовое число, характеризующее вращательное состояние молекулы) изложена нами в работе [8]. Вероятности столкновительных переходов между вращательными уровнями молекул изучались нами в работе [9]. Вероятности спонтанных радиативных переходов легко рассчитать с учетом приведенных выше величин дипольных моментов молекул CS и HCN. Для вычисления полных вероятностей радиативных возбуждений и деактиваций при данном красном смещении z необходимо учесть, что плотность фотонов в ячейке фазового объема определяется планковской формулой с температурой, равной температуре поля излучения $T_R(z)$ в эпоху z . В дальнейшем мы будем интересоваться не самими населенностями, а величинами $b_J \equiv n_J/n_J^*$, представляющими собой отношения истинных населенностей n_J к населенностям вращательных уровней n_J^* при термодинамическом равновесии с температурой T_k .

Расчеты величин b_J были выполнены для следующих интервалов значений N , T_k и z : $10^2 \text{ см}^{-3} \leq N \leq 10^5 \text{ см}^{-3}$; $20 \text{ К} \leq T_k \leq 60 \text{ К}$; $1 \leq z \leq 5$. Выбранные интервалы изменения N и T_k типичны для межзвездных молекулярных облаков.

3. Результаты расчетов величин b_J для молекул CS и HCN представлены на рис. 1–4 как функции величины красного смещения z . Кривые представлены для двух значений кинетической температуры газа $T_k=20 \text{ К}$ и $T_k=60 \text{ К}$ и двух значений концентрации газа $N=10^2 \text{ см}^{-3}$ и $N=10^5 \text{ см}^{-3}$. На этих рисунках видны особенности в поведении величин b_J как функций красного смещения.

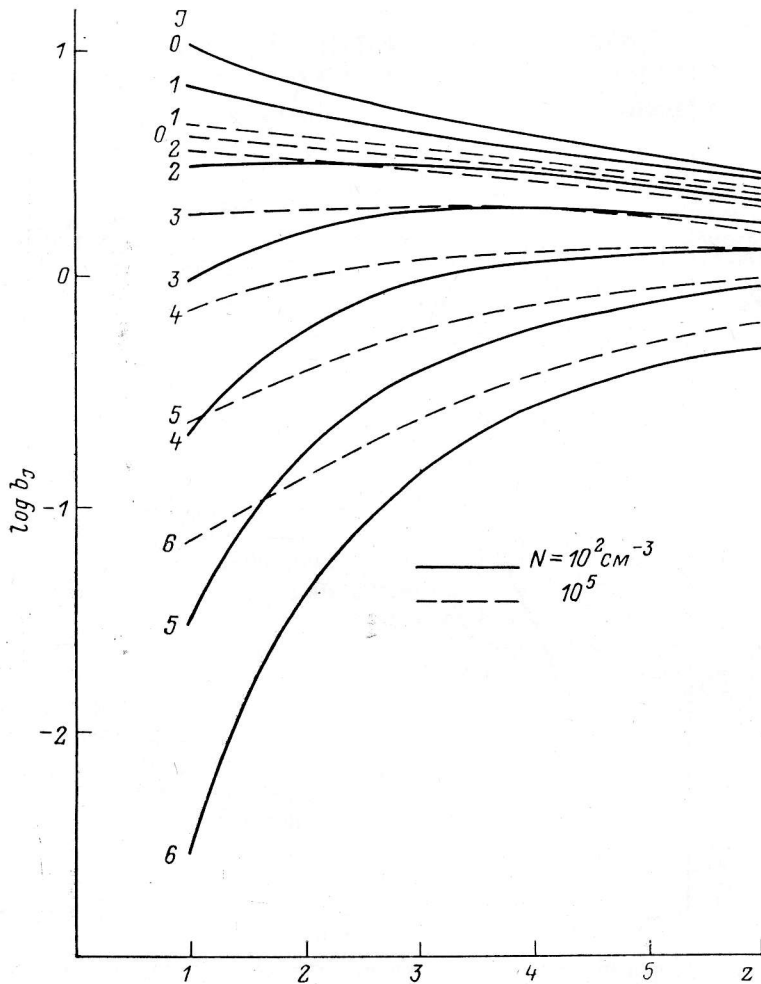


Рис. 2. То же, что на рис. 1, для $T_k=60 \text{ К}$.

а. При увеличении z все кривые стремятся к значению $b_J=1$. Особенно явно это видно на рис. 1. Такое поведение кривых обусловлено тем обстоятельством, что при возрастании z значение температуры поля излучения приближается к значению кинетической температуры газа. Следовательно, населенности приближаются к термодинамически равновесным величинам. При дальнейшем увеличении z , когда $T_R(z)=2.76(1+z)$ становится больше T_k , отклонения b_J от единицы снова будут нарастать.

б. Различия кривых для $N=10^2 \text{ см}^{-3}$ и 10^5 см^{-3} не очень велики для интервала значений $3 \leq z \leq 6$, так как в этом интервале поле излучения (а не столкновения) играет доминирующую роль в заселении вращательных уровней. Лишь при $z \leq 1 \div 2$, когда поле излучения достаточно слабо, столкновения вновь начинают давать существенный вклад (при рассматриваемых значениях концентрации) в возбуждение и деактивацию уровней, и кривые для двух зна-

чений концентрации расходятся, причем зависимости для $N=10^5 \text{ см}^{-3}$ являются более пологими, чем для $N=10^2 \text{ см}^{-3}$.

в. Влияние кинетической температуры T_k на рассматриваемые зависимости также определяется вкладом столкновений в заселение вращательных уровней. Необходимо отметить важную особенность, возникающую при увеличении кинетической температуры газа. На представленных кривых она четко проявляется для молекулы CS (рис. 2). Кривая для $J=0$ при $N=10^5 \text{ см}^{-3}$ идет ниже кри-

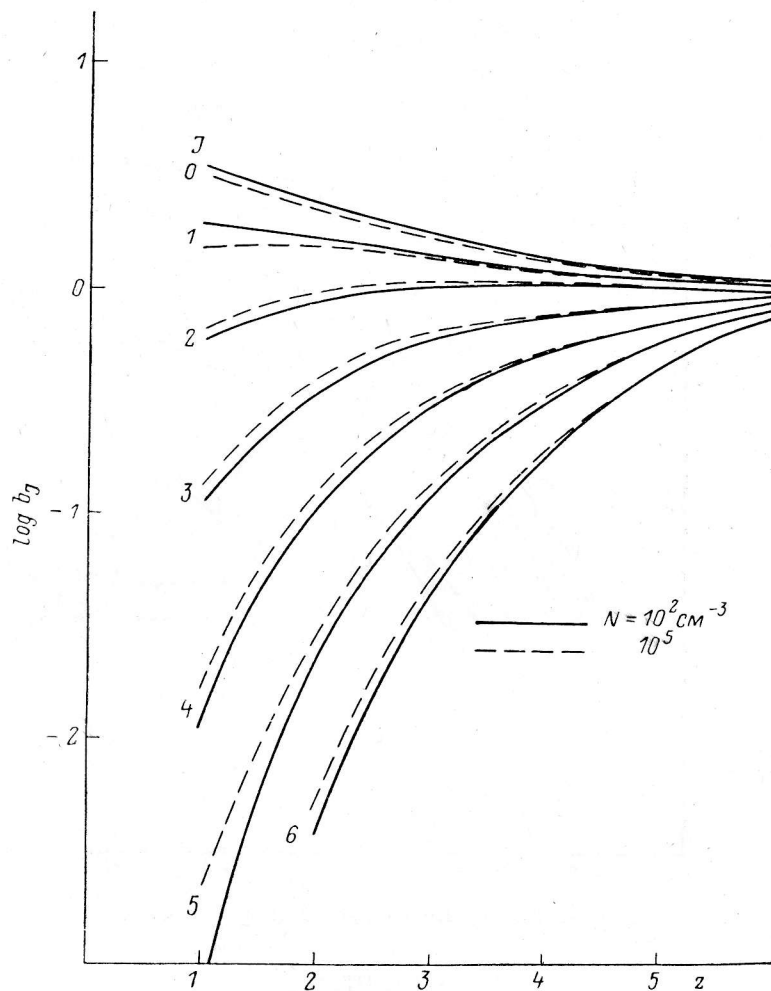


Рис. 3. Величины b_J для молекул HCN как функции красного смещения при двух концентрациях газа и $T_k=20 \text{ К}$.

вой $J=1$ для той же концентрации газа. Такое обращение кривых свидетельствует о том, что при таких значениях T_k и N возникает инверсия населенностей вращательных уровней $J=0$ и $J=1$, а соответствующая оптическая толщина для перехода $J=0 \rightarrow 1$ будет отрицательна. Из этого вытекает важное для наблюдений следствие: линии, соответствующие переходу $J=0 \rightarrow 1$ и другим инвертированным переходам (если таковые будут иметь место при больших значениях T_k), в спектрах поглощения квазаров будут наблюдаться не как абсорбционные, а как эмиссионные.

г. Общие количественные различия кривых для CS и HCN обусловлены главным образом различием дипольных моментов этих молекул.

В целом, как видно на рис. 1—4, зависимости b_J от красного смещения z очень резкие. Это обстоятельство может быть использовано для определения температуры поля излучения из наблюдений линий поглощения (или эмиссион-

ных линий в случае инверсии) в абсорбционных спектрах квазаров. Решение такой задачи позволит проверить линейный закон возрастания температуры реликтового излучения с ростом величины красного смещения, который является прямым следствием горячей модели расширяющейся Вселенной.

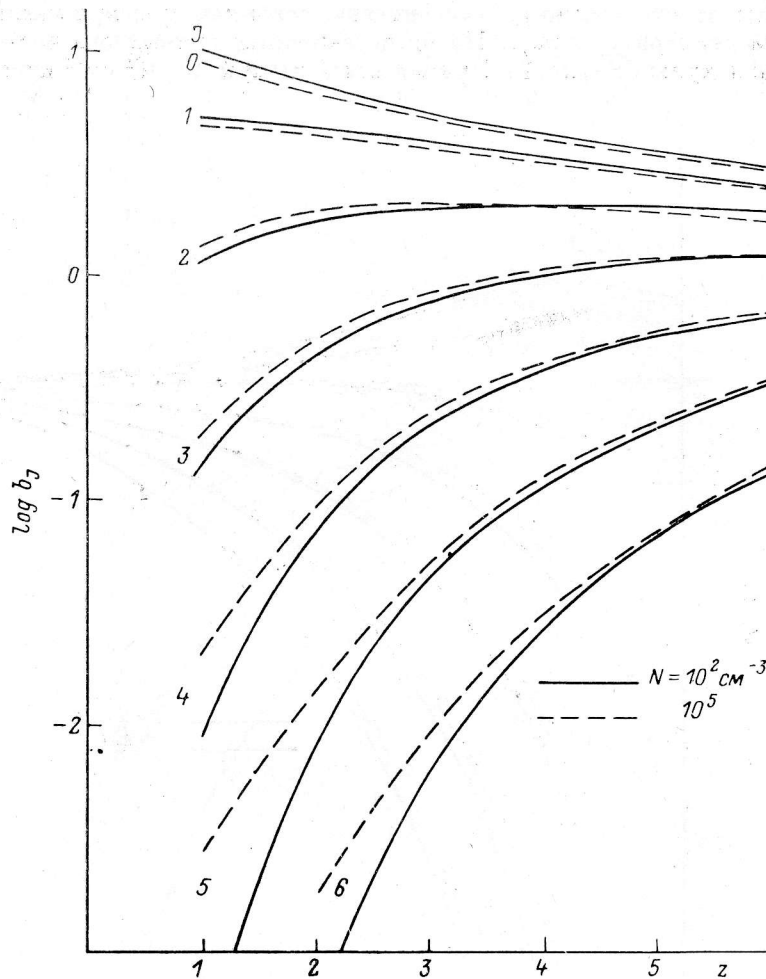


Рис. 4. То же, что на рис. 3, для $T_K=60$ К.

Литература

1. Варшавович Д. А., Левшаков С. А. Линии молекулярного водорода в спектрах квазаров // Письма в Астрон. журн. 1978. 4. С. 115—117.
2. Варшавович Д. А., Левшаков С. А. Линии поглощения молекул H_2 и CO в спектрах квазара PHL-957 // Письма в Астрон. журн. 1979. 5. С. 371—378.
3. Херсонский В. К., Варшавович Д. А., Левшаков С. А. Об оценках возможностей радионаблюдений молекулярных облаков на космологических расстояниях // Астрон. журн. 1981. 58. С. 29—35.
4. A search for high redshift absorption lines ($J=0-1$) of CO molecules toward quasars / F. Takahara, Y. Sofue, M. Inoue et al. // Proc. 24th Liege International Astrophysical Colloquim. 1983. P. 621—626.
5. A negative search for CO absorption lines ($J=0-1$) toward high redshift quasars / F. Takahara, Y. Sofue, M. Inoue et al. // Publ. Astron. Soc. Japan. 1984. 36. P. 387—390.
6. Вальтц И. Е., Херсонский В. К. Населенности вращательных уровней молекул в облаках с большим красным смещением // Астрофизика. 1987. В печати.
7. Вальтц И. Е., Херсонский В. К. Расчеты величин b_J для молекул CO в облаках с большим красным смещением. — Препринт ИКИ АН СССР, 1986. В печати.
8. Херсонский В. К. Интенсивности миллиметровых молекулярных линий CO, CS и SiO // Астрофиз. исслед. (Изв. САО). 1979. 11. С. 121—144.
9. Варшавович Д. А., Херсонский В. К. Вращательные возбуждения линейных молекул при столкновениях // Журн. техн. физики, 1981. 51. С. 1569—1576.

Поступила в редакцию 5 мая 1986 г.