

## К ВОПРОСУ О ПРИРОДЕ НЕОТЖДЕСТВЛЕННЫХ ЛИНИЙ ПОГЛОЩЕНИЯ В СПЕКТРАХ КВАЗАРОВ

Е. А. Назаров

Распределение однородной выборки линий поглощения, наблюдающихся в спектрах КЗО на длинах волн короче эмиссионной линии  $L_\alpha$ , хорошо согласуется с теоретическим при значении  $q_0=0.5$ . Обнаруженный избыток линий поглощения с малыми скоростями относительно КЗО ( $v < 15 \cdot 10^3$  км/с) интерпретируется как наличие линий «внутреннего» происхождения. Заподозрено существование неизвестной линии с длиной волны  $\lambda=(1009 \pm 4)$  Å.

Distribution of a uniform sample of absorption lines with wavelengths shorter than  $L_\alpha$ -emissions fits to the theory when the deceleration parameter  $q_0=1/2$ . The revealed excess of absorption lines with velocities relative to QSO  $V < 15 \cdot 10^3$  km/s can be interpreted as the presence of lines of «internal» origin. The existence of an unknown line with a wavelength  $\lambda=(1009 \pm 4)$  Å is suspected.

В спектрах всех далеких квазаров (КЗО) наблюдается большое число линий поглощения на длинах волн короче эмиссионной линии  $L_\alpha$ . Согласно предположению Линдса [1], считается, что они принадлежат к линиям серии Лаймана, и это предположение подтверждается корреляцией  $L_\alpha-L_\beta$  пар [2]. Существование зависимости плотности этих линий от красного смещения, установленное Петерсоном [3], приводит к предположению о том, что большинство из них образуется на расстояниях, сравнимых с расстояниями до самих КЗО. В качестве возможных объектов, ответственных за образование линий, рассматривались гало галактик, двойные галактики, сверхскопления и межгалактические газовые облака. Анализ наблюдательных данных [4] показал, что наиболее подходящими кандидатами являются облака межгалактического водорода, распределенные в пространстве равномерно с точностью до параметра замедления  $q_0$ .

С другой стороны, области образования широких эмиссионных линий в спектрах КЗО имеют облачную структуру и при случайной проекции облака на луч зрения оно также может проявить себя в поглощении. Примеры таких линий совместно с попыткой классификации их по типам приводят Болдуин и Смит [5]. Существование этих линий допускается всеми авторами, однако в отличие от линий межгалактического происхождения последние изучены крайне слабо, так как остаются невыясненными следующие принципиальные вопросы:

- какая часть линий поглощения образуется в межгалактической среде, а какая внутри оболочек самих КЗО?
- по каким признакам их можно различать?

В данной работе указанные вопросы исследуются на основе репрезентативной выборки наблюдательного материала.

Предположим, что положения линий «внутреннего» происхождения (т. е. линий, образующихся внутри самих КЗО) на спектре ограничены голубым крылом эмиссионной линии  $L_\alpha$ . В этом случае спектр квазара, приведенный к шкале скоростей в сопутствующей системе координат, будет иметь вид, показанный на рис. 1. Обозначим  $N(v)$  полное число линий поглощения в интервале скоростей  $\Delta v$ , представляющее собой совокупность линий «внутреннего» и «внешнего» происхождения, соответственно  $N_e(v)$  и  $N_q(v)$ . Для серии Лаймана имеем

$$N(v) = \sum_i k_i [N_q(v) + N_e(v)] / v \geq v_i, \quad (1)$$

где  $i$  — порядковый номер членов серии Лаймана;  $k_i$  — коэффициент, учитывающий вероятность обнаружения  $i$ -го члена серии;  $v_i$  — положения линий серии Лаймана в шкале скоростей относительно  $L_\alpha$ . Они определяются из выражения

$$v_i/c = \frac{(1216\text{Å}/\lambda_i)^2 - 1}{(1216\text{Å}/\lambda_i)^2 + 1}; \quad c = 3 \cdot 10^5 \text{ км/с.}$$

Число поглощающих облаков на луче зрения, согласно [3], определяется выражением

$$N(z) = N_0(1+z)(1+2q_0z)^{-1/2}, \quad (2)$$

где  $z$  — красное смещение;  $N_0$  — число облаков на луче зрения в современную эпоху;  $q_0$  — параметр замедления.

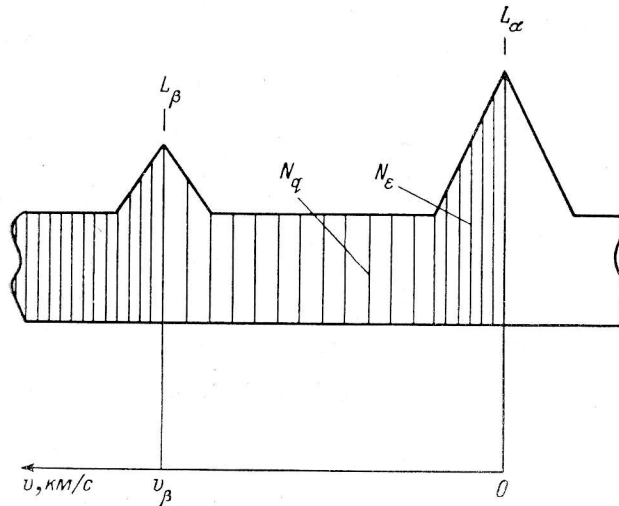


Рис. 1. Схематический спектр КЗО в сопутствующей системе отсчета.

$N_q(v)$  — линии «внешнего» происхождения;  $N_\epsilon(v)$  — линии «внутреннего» происхождения.

Используя (2), а также

$$v/c = \frac{R^2 - 1}{R^2 + 1}; \quad R = \frac{1 + z_{em}}{1 + z_{abs}},$$

перепишем  $N_q(v)$  в виде

$$N_q(v) = N_0(1+z)F(v)\{[(1+z)F(v) - 1]2q_0 + 1\}^{1/2}, \quad (3)$$

где обозначено

$$F(v) = [(1 - v/c)/(1 + v/c)]^{1/2}.$$

Выражение (3) есть распределение по шкале скоростей линий «внешнего» происхождения, т. е. линий, образующихся в межгалактическом пространстве.

$N_\epsilon(v)$  — линии «внутреннего» происхождения, образующиеся в оболочках КЗО. Их число зависит от фактора покрытия поглощающими облаками источника континуума  $\epsilon = \Omega/(4\pi)$ . Функция распределения облаков по скоростям заранее не известна.

Для построения зависимости (1) по имеющимся в литературе данным была сформирована выборка объектов и линий поглощения в их спектрах. Объекты отбирались по следующим признакам:

- КЗО с  $z_{em} \geq 2.0$ ;
- КЗО, для которых имеются спектры с разрешением лучше 3 Å и с отношением сигнал/шум не менее 10.

Всего отобрано 25 КЗО, список которых приводится в таблице. В выборку линий поглощения включались:

Выборка объектов и линий поглощения в их спектрах

№	КЗО	Спектральное разрешение, Å	$z_{em}$	Спектральный диапазон, Å	Число линий	Источник спектра
1	PH 957	0.6	2.69	3500—4490	56	Sargent e. a. [6]
2	0002—422	0.9	2.76	3800—4580	48	Sargent e. a. [7]
3	0002+051	0.8	1.90	3250—3540	24	Young e. a. [8]
4	0119—046	0.8	1.94	3250—3570	29	Sorgent e. a. [9]
5	0122—380	0.6	2.18	3200—3870	37	Carswell e. a. [15]
6	0123+257		2.36	3400—4080	14	Oemler, Linds [11]
7	0237—233	2.2	2.22	3530—3920	21	Young e. a. [12]
8	0421+019	0.8	2.05	3250—3710	31	Young e. a. [8]
9	0424—131	3.0	2.16	3600—3850	12	Roberts e. a. [13]
10	0453—423	0.9	2.66	3900—4400	50	Sargent e. a. [7]
11	0457—024	3.0	2.38	3500—4120	28	Roberts e. a. [13]
12	0551—355	2.2	2.38	3530—4030	18	Young e. a. [12]
13	0805+046	2.0	2.88	3580—4720	106	Chen e. a. [2]
14	0830+115	3.0	2.97	3680—4830	110	Roberts e. a. [13]
15	0935+410	1.5	1.98	3200—3620	18	Bechtold e. a. [14]
16	1101—264	0.6	2.15	3200—3830	35	Carswell e. a. [15]
17	1222+229	1.5	2.05	3200—3700	16	Bechtold e. a. [14]
18	1225+31.7	0.6	2.23	3190—3930	49	Sargent e. a. [6]
19	1226+105	3.0	2.30	3700—4000	10	Roberts e. a. [13]
20	1228+077	2.5	2.39	3700—4150	17	Young e. a. [12]
21	1442+101	1.6	3.54	4200—5540	158	Peterson e. a. [16]
22	1448—232	2.5	2.22	3200—3900	29	Chen e. a. [17]
23	1623+268	1.1	2.52	3950—4280	37	Sargent e. a. [10]
24	1623+269	1.1	2.61	3600—4390	54	Sargent e. a. [10]
25	2126—158	0.9	3.28	4160—5200	80	Young e. a. [18]

Примечание. Нижняя граница спектрального диапазона  $\leq$  длины волны, соответствующей  $v = 80 \cdot 10^3$  км/с. Верхняя граница равна длине волны эмиссии  $L_{\alpha}$ .

— неотождествленные линии поглощения из диапазона скоростей  $0 \leq v \leq \leq 8 \cdot 10^3$  км/с относительно эмиссии  $L_{\alpha}$  и с эквивалентными ширинами  $W_0 \geq \geq 0.32$  Å в сопутствующей системе отчета;

— линии, отождествленные с линиями серии Лаймана в чисто водородных абсорбционных системах.

Исключались и в дальнейшем не принимались во внимание:

— линии, отождествленные в абсорбционных системах с содержанием линий металлов;

— линии, отождествленные с членами серии Лаймана в системах с содержанием металлов.

В общей сложности в спектрах 25 КЗО отобрано 1087 линий. Далее строилась гистограмма с шагом  $\Delta v = 2.5 \cdot 10^3$  км/с, по оси ординат которой откладывалась величина

$$N(v) = \frac{N_j(v)}{n_j},$$

где  $N_j(v)$  — суммарное число линий поглощения для всех 25 КЗО в  $j$ -м интервале  $\Delta v$ ;  $n_j$  — число КЗО, наблюдаемый спектральный диапазон которых позволял обнаруживать линии в  $j$ -м интервале  $\Delta v$ .

Полученные результаты представлены на рис. 2, из которого видно, что распределение линий поглощения по скоростям в достаточной степени однородно в диапазоне  $15 < v < 50 \cdot 10^3$  км/с. Величина  $N_j(v)$  монотонно уменьшается при увеличении  $j$ , т. е. при продвижении вправо по оси абсцисс на рис. 2. Отсюда типичные среднеквадратичные отклонения, подсчитанные в предположении нормального распределения числа линий поглощения по объектам внутри каждого бина.

В соответствии с (3)  $N_j(v)$  есть функция скорости  $v$  и красного смещения  $z$ . Среднее значение красного смещения выборки составляет  $z_{em} = 2.5 \pm 0.2$ . При этом значении выражение (3) в диапазоне скоростей  $15 < v < 50 \cdot 10^3$  км/с наи-

лучшим образом согласуется с гистограммой при  $q_0=0.5$ . Уровень согласия по критерию  $\chi^2$  составляет 0.999. На рис. 2 штриховой линией нанесена функция  $N_q(v)$  при  $z=z_{em}=2.5$  и  $q_0=0.5$ . Значение ее при  $v=0$  есть число линий поглощения «внешнего» происхождения в интервале скоростей  $0 \leq v < 2.5 \cdot 10^3$  км/с в спектре одного КЗО. Эта величина равна

$$N_{(z=2.5)} = 2.1 \pm 0.2.$$

В данной работе предполагается, что видимый на гистограмме избыток линий поглощения на малых скоростях ( $v < 15 \cdot 10^3$  км/с) обусловлен наличием линий «внутреннего» происхождения. Мы аппроксимировали избыток  $N_\varepsilon(v)$  функцией Гаусса с полушириной  $13 \cdot 10^3$  км/с. Очевидно, что интеграл от  $N_\varepsilon(v)$  есть

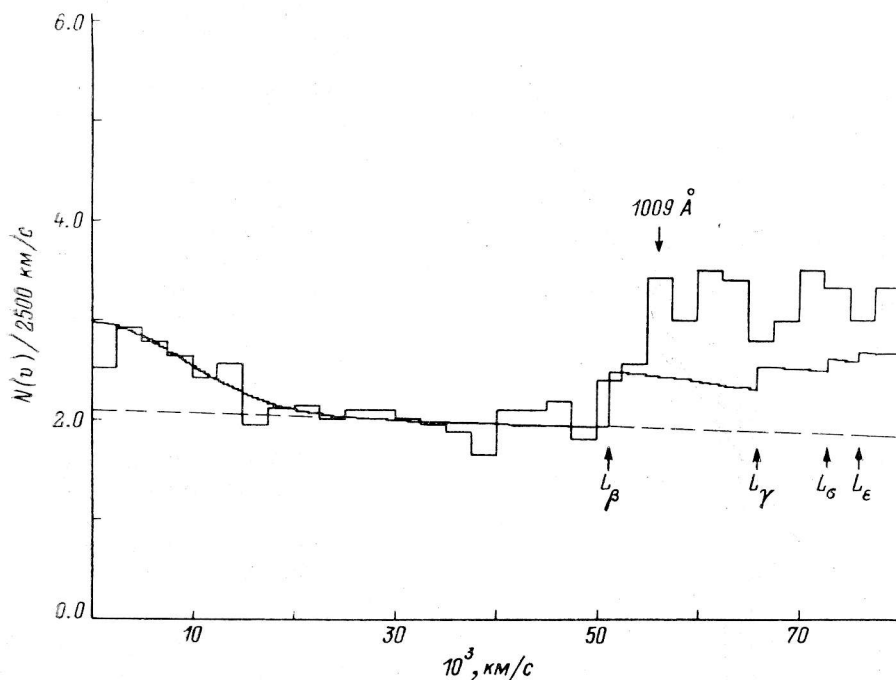


Рис. 2. Наблюдаемое и теоретическое распределение линий поглощения по скоростям.

Гистограмма — число линий поглощения в спектре одного КЗО,  $N(v) = N_j(v)/n_j$  в интервале скоростей  $\Delta v = 2.5 \cdot 10^3$  км/с; штриховая линия — зависимость  $N_q(v)$  при значениях  $z=z_{em}=2.5$  и  $q_0=0.5$ ; сплошная линия — зависимость  $N(v)$  при  $k_i = f_i/f_\alpha$ .

число линий «внутреннего» происхождения в спектре одного КЗО, или число облаков на луче зрения:

$$\int N_\varepsilon(v) dv = 3.3.$$

В выражении (1) коэффициенты  $k_i$  учитывают вероятности обнаружения членов серии Лаймана. Исходя из того, что контуры узких линий поглощения не являются насыщенными и их эквивалентные ширины пропорциональны силам осцилляторов, представим коэффициенты в виде

$$k_i = \frac{f_i}{f_\alpha}.$$

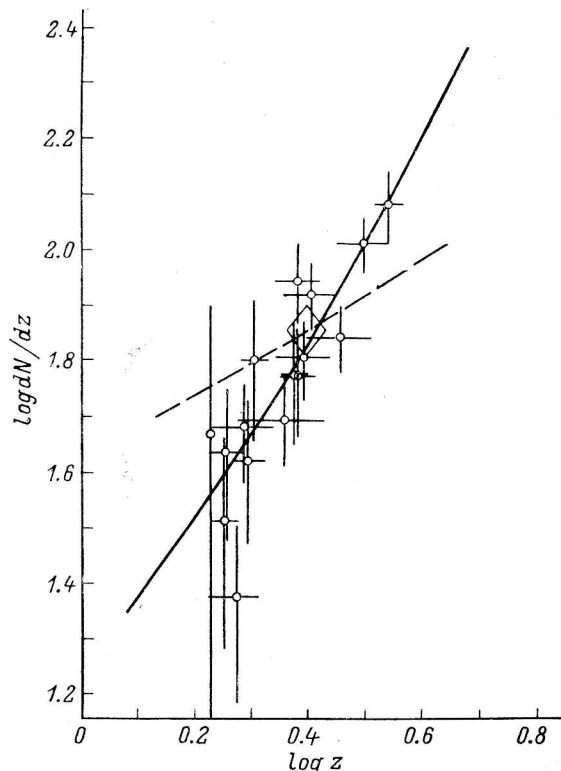
где  $f_i$  — сила осциллятора  $i$ -го члена серии Лаймана;  $f_\alpha$  — сила осциллятора линии  $L_\alpha$ .

В окончательном виде функция  $N(v)$  представлена на рис. 2 сплошной линией.

Построенное распределение линий поглощения по скоростям хорошо согласуется с теоретическим распределением (1) при значениях  $z=z_{em}=2.5$  и  $q_0=0.5$ .

Линии «внешнего» происхождения распределены в достаточной степени равномерно в диапазоне скоростей  $15 < v < 50 \cdot 10^3$  км/с. При  $v=0$  число линий «внешнего» происхождения равно  $2.1 \pm 0.2$  (в интервале  $\Delta v = 2.5 \cdot 10^3$  км/с), что в пересчете на единицу красного смещения дает значение  $dN/dz = 72 \pm 7$ . На рис. 3 воспроизводится зависимость  $\log dN/dz - \log z$ , заимствованная из [16]. Линии поглощения для нее отбирались по аналогичным критериям. Значение  $dN/dz$ , полученное в настоящей работе, изображено в виде ромба, обозначающего среднеквадратичные отклонения.

Избыток линий поглощения на малых скоростях ( $0 < v < 15 \cdot 10^3$  км/с) рассматривается в данной работе как наличие линий «внутреннего» происхождения. Это означает, что в спектре каждого КЗО в пределах голубого крыла



эмиссии  $L_\alpha$  должно наблюдаться не менее трех линий поглощения, принадлежащих к оболочке КЗО, или 20 % от всех линий, зарегистрированных в этом участке спектра. Полуширина функции  $N_\alpha(v)$  составляет  $13 \times 10^3$  км/с, что значительно превышает среднее значение аналогичной величины для эмиссионных линий  $L_\alpha$  рабочей выборки КЗО. Последнее обстоятельство не позволяет связать область образования линий «внутреннего» происхождения с областью образования широких эмиссионных линий.

Распределение линий при  $v > 50 \cdot 10^3$  км/с в общих чертах не противоречит расчетной зависимости. При  $v > v_\beta$  на гистограмме наблюдается скачкообраз-

Рис. 3. Зависимость плотности линий поглощения от красного смещения.

Рисунок заимствован из работы [16]. Значение  $dN/dz = 72 \pm 7$  при  $z = 2.5 \pm 0.2$  изображено в виде ромба.

ное увеличение величины  $N(v)$ , обусловленное присутствием линии  $L_\beta$ , однако начиная с  $v \approx 56 \cdot 10^3$  км/с число линий увеличивается более чем вдвое по сравнению с ожидаемым (рис. 2). Причиной этого может быть наличие в спектрах КЗО абсорбции с длиной волны  $\lambda_0 = (1009 \pm 4) \text{ \AA}$ . В ряде работ высказывалось предположение о том, что наряду с линиями серии Лаймана атомарного водорода в спектрах КЗО могут присутствовать также и линии поглощения некоторых молекул. Например, Варшалович и Левшаков [19] в спектре PKS 0528—250 выявили несколько линий молекулы  $\text{H}_2$ . С этой точки зрения указанная линия естественно отождествляется с членом вернеровской серии  $\lambda_0 = 1008 \text{ \AA}$  молекулы  $\text{H}_2$ .

Остается невыясненным второй вопрос, а именно: по каким признакам можно различить линии «внутреннего» и «внешнего» происхождения?

Распределение линий поглощения по эквивалентным ширинам из двух участков гистограммы с  $0 \leq v \leq 15 \cdot 10^3$  и  $20 \leq v \leq 35 \cdot 10^3$  км/с показывает значительный избыток линий с малыми эквивалентными ширинами на малых скоростях. Если указанное отличие отражает свойства линий, образующихся внутри оболочек КЗО, то, для того чтобы сформировать выборку линий «внутреннего» происхождения, необходимо выделять слабые линии из области спектр ограниченной  $0 \leq v \leq 15 \cdot 10^3$  км/с относительно эмиссии  $L_\alpha$ .

Автор благодарен В. К. Дубровичу и С. А. Левшакову за обсуждение результатов и критические замечания.

### Литература

1. L i n d s R. The absorption-line spectrum of 4C 05.34 // *Astrophys. J.*, 1971. **164**. P. L73—L78.
2. T h e s p e c t r u m o f t h e Q S O 0805+046 (4C 05.34) at intermediate dispersion / Chen Jian-Sheng, D. C. Morton, B. A. Peterson et al. // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 1981. **196**. P. 715—723.
3. P e t e r s o n B. A. QSO absorption lines // *Quasars and Gravitational Lenses // 24th Liege Astrophysical Colloquium*, June 21—24, 1983. P. 563—566.
4. S a r g e n t W. L. W., B o k s e n b e r g A. The  $L_{\alpha}$  absorption lines in the QSO spectra // *Ibid.* P. 518—537.
5. B o l d w i n J. A., S m i t h M. G. The location of material producing Lyman-limit discontinuities in QSO spectra // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 1983. **204**. P. 331—345.
6. T h e d i s t r i b u t i o n o f L y m a n - a l p h a a b s o r p t i o n l i n e s i n t h e s p e c t r a o f s i x Q S O s : e v i d e n c e f o r a n i n t e r g a l a c t i c o r i g i n / S a r g e n t W. L. W., Y o u n g P. J., B o k s e n b e r g A., T y t l e r D. // *Astrophys. J. Suppl.* 1980. **42**. P. 41—83.
7. A h i g h - r e s o l u t i o n s t u d y o f t h e a b s o r p t i o n s p e c t r a o f t h e Q S O s Q 0002—422 a n d Q 0453—423 / W. L. W. Sargent, P. J. Young, A. Boksenberg et al. // *Astrophys. J.* 1979. **230**. P. 49—67.
8. Y o u n g P., S a r g e n t W. L. W., B o k s e n b e r g A. A high-resolution study of the absorption spectra of the QSOs: evidence for cosmological evolution in the Lyman-alpha lines / *Astrophys. J.* 1982. **252**. P. 10—31.
9. S a r g e n t W. L. W., Y o u n g P., B o k s e n b e r g A. A high-resolution spectroscopic study of Q 0119—046 and the nature of absorption complexes with  $Z_{abs} > Z_{em}$  // *Astrophys. J.* 1982. **252**. P. 54—68.
10. S a r g e n t W. L. W., Y o u n g P., S c h n e i d e r D. P. Intergalactic Lyman-alpha absorption lines in a close pair of high-redshift QSOs // *Astrophys. J.* 1982. **256**. P. 374—385.
11. O e m l e r A., L i n d s C. R. The absorption spectrum of 4C 25.05 // *Astrophys. J.* 1975. **199**. P. 558—564.
12. Y o u n g P., S a r g e n t W. L. W., B o k s e n b e r g A. C IV absorption in an unbiased sample of hypothesis // *Astrophys. J. Supple.* 1982. **48**. P. 455—506.
13. A s t u d y o f t h e a b s o r p t i o n l i n e s p e c t r a o f s i x h i g h - r e d s h i f t q u a s i s t e l l a r o b j e c t s / D. H. Roberts, E. M. Burbidge, G. R. Burbidge et al. // *Astrophys. J.* 1978. **224**. P. 344—367.
14. J U E o b s e r v a t i o n s o f h i g h - r e d s h i f t q u a s a r s / J. Bechtold, R. F. Green, R. J. Weymann et al. *Astrophys. J.* 1984. **281**. P. 76—89.
15. O b s e r v a t i o n o f t h e s p e c t r a o f Q 1222—380 and Q 1101—264 / R. F. Carswell, J. A. J. Whelan, M. G. Smith et al. // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 1982. **198**. P. 91—110.
16. T h e s p e c t r u m o f t h e 1442+101 (OQ172) of intermediate dispersion / B. A. Peterson, Chen Jian-Sheng, D. C. Morton et al. *Anglo-Australian observatory preprint nr 196*, 1984.
17. A b s o r p t i o n l i n e s i n t h e s p e c t r a o f t h e Q S O P K S 1448—232 / Chen Jian-Sheng, D. C. Morton, B. A. Peterson, A. E. Wright // *Proc. Astron. Soc. Austral.* 1984. **5**. P. 355—359.
18. A h i g h - r e s o l u t i o n s t u d y o f t h e a b s o r p t i o n s p e c t r u m o f P K S 2126—158 Y o u n g P., S a r g e n t W. L. W., B o k s e n b e r g A. et al. // *Astrophys. J.* 1979. **229**. P. 891—908.
19. L e v s h a k o v S. E., V a r c h a l o v i c h D. A. Molekular hydrogen in the  $Z=2.811$  absorbing material tuard the quasar PKS 0528—250 // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 1985. **212**. P. 517—521.

Поступила в редакцию 13 ноября 1986 г.