АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 18

ФЕВРАЛЬ, 1982

ВЫПУСК 1

УДК 524.7

АНАЛИЗ АБСОРБЦИОННЫХ СПЕКТРОВ ОДИННАДЦАТИ КВАЗАРОВ С $z_s > 2$

С. А. ЛЕВШАКОВ, Д. А. ВАРШАЛОВИЧ

Поступила 10 февраля 1981

Принята в печать 5 декабря 1981

Заново проанализированы спектры поглощения 11 квазаров, полученные с высоким разрешением Саргентом и др. [1] и Робертсом и др. [2]. Отобрано 39 возможных абсорбционных систем, содержащих линии молекулы CO, наряду с другими линиями атомов и ионов. Для каждой системы CO линий оценена вероятность случайного отождествления. Показано, что найденные системы могут возникать в результате поглощения в межзвездном газе далеких галактик ($z > 1$), лежащих на луче зрения между наблюдателем и квазаром; обсуждаются эффекты, связанные с гравитационным возмущением этих галактик на абсорбционные спектры квазаров.

1. Введение. К настоящему времени известны более 680 квазаров, в спектрах которых были обнаружены абсорбционные детали [3]. Среди них наилучшие спектры в диапазоне длин волн $\lambda \sim 4000 \div 6000 \text{ \AA}$, содержащие большое число (~ 100) узких абсорбционных линий, получены Саргентом и др. [1] и Робертсом и др. [2]. В работе [1] исследованы 5 квазаров с разрешением $\Delta\lambda \sim 0.8 \text{ \AA}$: PKS 2126-158 ($z_s = 3.280$), Q 0002-422 ($z_s = 2.763$), PHL 957 ($z_s = 2.690$), Q 0453-423 ($z_s = 2.656$), В 1225-31.7 ($z_s = 2.200$), а в работе [2] - 6 квазаров с разрешением $\Delta\lambda \sim 1.5 \text{ \AA}$: 0830 + 115 ($z_s = 2.974$), 2351 - 154 ($z_s = 2.665$), 0457 + 024 ($z_s = 2.384$), 1226 + 105 ($z_s = 2.296$), 0824 + 110 ($z_s = 2.278$) и 0424 - 131 ($z_s = 2.165$). Краткий вывод из этих исследований следующий. Из 461 линии, найденной Саргентом и др. в 5 квазарах, было отождествлено только 38%. Большая часть линий поглощения, лежащая с короткоколлоной стороны эмиссионной линии водорода L_{α} ($\lambda < 1216 \times (1 + z_s)$) в этих спектрах оставалась неотожествленной. Этот факт явился одним из основных для Саргента и др. в их предположении,

что эти линии являются абсорбционными линиями L_1 с различными $z_1 < z_0$, возникающими в межгалактических чисто водородных облаках, лежащих на луче зрения между наблюдателем и квазаром. Что касается работы Робертса и др. [2], то ими было найдено в 6 квазарах 520 линий поглощения. В каждом из этих квазаров были отождествлены системы поглощения с $z_1 < z_0$, содержащие линии атомов и ионов; однако около 60% линий оставалось неотожествленными.

Развивая методику, изложенную в [4—8], авторы данной работы предприняли попытку отождествить неидентифицированные линии в спектрах этих 11 квазаров. В отличие от работ [1, 2] список поисковых линий был расширен. В него, наряду с УФ-линиями атомов и ионов, были включены УФ-молекулярные линии, которые присутствуют в спектрах поглощения ОВ звезд и возникают в межзвездных диффузных облаках. Для того, чтобы выделить случаи, в которых абсорбционная область могла бы принадлежать далекой галактике, лежащей на луче зрения, отбирались только такие системы поглощения, которые содержат молекулярные линии. К сожалению, при красных смещениях абсорбционных систем $z_1 < z_0$ наиболее сильные линии молекулы H_2 , серий Лаймана и Вернера не попадают в исследованный диапазон λ . Поэтому основное внимание уделялось молекуле CO, которая после H_2 является самой распространенной молекулой в межзвездной среде.

2. Абсорбционные системы CO линий. При красных смещениях $z_1 < z_0$ в изученный диапазон λ попадают линии четвертой положительной полосы CO $A^{1\Pi} - X^{1\Sigma^+}$, соответствующие различным колебательным возбуждениям верхнего электронного состояния 0—0, 1—0, 2—0, 3—0, 4—0, 5—0. Эти линии являются наиболее сильными в лабораторном УФ-спектре поглощения CO [9, 10]; соответствующие им силы осцилляторов относятся как 0.5:0.9:1.0:0.8:0.6:0.4. Но главное, что в УФ-спектрах поглощения звезд Галактики и БМО [11—13] эквивалентные ширины наиболее интенсивных линий этой полосы 1—0, 2—0, 3—0, 4—0 имеют значения $\sim 40 \div 100$ мА, достаточные, чтобы быть обнаруженными в спектрах квазаров.

Исходя из этих соображений были заново проанализированы абсорбционные спектры 11 квазаров. Результаты этого анализа представлены в табл. 1—4. В табл. 1 и 3 были включены лишь абсорбционные системы, содержащие, как правило, не менее трех линий CO, точность отождествления которых $\Delta\lambda = |\lambda - \lambda_0(1 + z_1)| \lesssim \lambda/2$ удовлетворяет спектральному разрешению анализируемого спектра, а эквивалентные ширины линий коррелируют с силами осцилляторов. Отметим, что, во-первых, значения $\Delta\lambda$, приведенные в табл. 1 и 3, соответствуют линии в CO-системе с максимальным отклонением λ_1 , тогда как среднеквадратич-

Таблица 1

АБСОРБЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ СО ЛИНИЙ В СПЕКТРАХ КВАЗАРОВ
 PKS 2126-158, Q 0002-422, PHL 957, Q 0453-423, B 1225+31.7

(z', z'') λ_0 (Å):	СО $\lambda_{\text{H}\alpha}$ - $\lambda_{\text{H}\beta}$					max $ \Delta\lambda $ (Å)	M
	0-0 1544.5	1-0 1509.8	2-0 1477.6	3-0 1447.4	4-0 1419.1		
PKS 2126-158							
$z = 2.5538$	...	...	5252.1* 1.7	5143.5 1.6	5042.7 2.7	0.4	0.200
$z = 2.4064$	...	5143.5 1.6	5033.4* 1.8	4929.5 1.0	...	0.7	0.100
$z = 2.1066$	4797.3 1.5	...	4590.8 5.2	4496.7* 2.3	...	0.5	0.100
$z = 1.9712$	...	4486.1* 1.5	4389.9* 2.7	4300.5 1.8	...	0.4	0.070
Q 0002-422							
$z = 1.9125$	4498.4 1.7	4397.7 2.2	4303.1 2.8	4211.3* 6.2	...	0.1	0.300
$z = 1.8164$	...	4251.8 1.0	4161.9* 2.1	...	...	0.4	0.600
PHL 957							
$z = 1.7425$	4235.5 0.9	4142.1 2.4	4052.7 2.6	3969.7* 1.0	...	0.4	0.010
$z = 1.6962$	...	4070.5 1.4	3984.0 3.0	3902.6 0.9	...	0.2	0.600
Q 0453-423							
$z = 1.9017$	...	4381.6 1.0	4287.7 1.1	4199.6 0.7	4117.8 2.1	0.4	0.003
$z = 1.8285$	...	4270.2 0.6	4179.8 1.8	4093.8 1.4	...	0.4	0.080
$z = 1.7813$	...	4199.6 0.7	4109.4 1.3	4025.5 1.8	...	0.3	0.070
B 1225+31.7							
$z = 1.4523$	...	3702.8 1.0	3623.7 1.5	...	3479.6 0.4	0.4	0.600

Примечание к таблице 1

Значения длин волн λ_0 (Å) и эквивалентные ширины наблюдаемых линий W_λ (которые приводятся в таблице под соответствующими длинами волн) взяты из работы [1]; длины волн λ_0 (Å) для СО — из работы [9]; * — означает, что данная линия блондируется линией атома или иона, принадлежащей ранее отождествленной системе [1]; M — частота случайных отождествлений линии СО при данном z ; $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0(1+z)$.

Таблица 2

СИСТЕМЫ АБСОРБЦИОННЫХ ЛИНИЙ ИОНОВ В СПЕКТРАХ КВАЗАРОВ
PKS 2126-158, Q 0002-422, PHL 957, Q 0453-423, B 1225+31.7

z_{CO}	$z_{ион}$	$(v_{CO}-v_{ион})^a$ (км/с)	λ_0 (А)	λ (А)	W_λ (А)	$\Delta\lambda$ (А)
PKS 2126-158						
2.5538	2.5538	0	HI 1215.7	4320.9	3.1	0.5
			CII 1334.5	4742.4	2.4	-0.1
			SiII 1193.3	4240.6	1.0	-0.1
2.4064	2.4073	-90	CII 1334.5	4545.1*	3.8	-0.9
			SiII 1260.4	4295.0	1.1	0.4
	2.1063	30	Cl 1656.0	5146.8	1.1	0.0
			Cl 1560.3	4846.9	1.1	0.1
2.1066			SiII 1536.7	4742.4	2.4	0.0
	2.1057	90	CIV 1548.2	4808.3	1.6	0.1
			SiIV 1393.8	4331.1*	2.0	2.4
Q 0002-422						
1.8164	1.8159	50	CIV 1548.2	4359.7	1.3	0.1
			SiIV 1393.8	3924.8	1.3	0.0
			SiII 1526.7	4299.2*	0.2	0.2
PHL 957						
1.7425	1.7423	20	Cl 1656.9	4542.3*	0.4	-1.4
			Cl 1560.3	4278.8	0.6	0.0
			Cl 1328.8	3643.5*	2.3	0.5
			SiII 1304.4	3577.9	1.2	0.8
1.6962	1.6957	50	SiIV 1402.8	3781.3	2.4	-0.2
			SiIV 1393.8	3757.5	2.4	0.2
Q 0453-423						
1.9017	1.9017	0	SiII 1526.7	4429.3	0.3	-0.7
1.8285	1.8295	-100	SiIV 1393.8	3943.8	1.1	0.0
B 1225-31.7 ^b						
1.4523	1.4523	0	SiII 1526.7	3744.4	0.6	0.5
			FeII 1260.5	3095.7	3.3-4.6	4.6
			SiII 1260.4			
			HI 1215.7	2948-2983	10-12	
			SiII 1193.3	2927.4*	1.2-1.7	1.1
			FeII 1096.9	2689.3*	2.4-3.4	-0.6
			NI 1084.0	2653.0*	3.9-4.7	-5.3

Примечание к таблице 2

Значения λ и W_λ взяты из работы [1]; λ_0 — из работы [14]; * — означает то же, что и в табл. 1; a — разности скоростей приведены с точностью ± 30 км/с; b — УФ-линии с $\lambda < 3100$ А, опубликованные в работе [26], были получены со спектральным разрешением $\Delta\lambda \sim 8-9$ А; $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 (1+z)$.

Таблица 3

АБСОРБЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ СО ЛИНИЙ В СПЕКТРАХ КВАЗАРОВ

0830+115, 2351-154, 0457+024, 1226+105, 0824+110, 0424-131

(α', δ') $_{0}(A)$:	СО A'II-X' Σ					max Δ ' (A)	M
	0-0 1544.5	1-0 1509.8	2-0 1477.6	3-0 1447.4	4-0 1419.1		
1	2	3	4	5	6	7	8
0830+115							
$z=2.3241^a$	...	...	4912.12 M	4810.63 W	4717.78 vS	0.6	0.050
$z=2.2429^b$	...	...	4791.44 W	4695.09 W	4601.00 W	0.9	0.050
$z=2.2093^c$	...	4846.05 [*] W	4741.27 M	4645.0 vW	4555.06 M	0.7	0.100
$z=2.0822$	...	4653.39 vW	4555.06 M	1460.6 vW	4373.60 M	0.5	0.040
$z=1.8317$	4373.60 M	4275.23 W	4183.77 M	...	...	0.2	0.400
$z=1.5998$	...	3925.27 M	3841.33 M	...	...	0.2	0.200
$z=1.5892$	3998.61 W	3908.72 [*] W	3826.58 M	...	...	0.6	0.900
2351-154							
$z=2.3070$	...	4992.71 W	4887.39 [*] W	4787.2 [*] vW	4691.44 vW	0.8	0.060
$z=2.2937$	5088.03 W	4971.82 vW	4866.94 W	4766.65 [*] W	4674.26 W	0.9	0.007
$z=2.2404$	5005.39 W	4892.44 W	4787.2 [*] vW	4691.44 vW	...	0.8	0.030
$z=2.1384$	4847.4 vW	4737.62 W	4637.45 [*] W	4542.36 vW	...	0.8	0.005
$z=2.0086$	...	4542.36 vW	4443.36 [*] W	4354.71 vW	...	0.8	0.500
$z=2.0024$	4637.45 [*] W	4532.9 vW	4436.04 [*] M	...	...	0.8	0.400
$z=1.9684$	...	4481.80 vW	4386.00 [*] vW	4296.34 W	...	0.2	0.004
$z=1.9154$	4503.35 vW	4401.33 vW	4307.30 M	4219.90 W	lim	0.5	0.060
$z=1.8985$	...	4376.39 vW	4283.23 W	4194.6 vW	lim	0.5	0.020
0457+024							
$z=1.7174$	...	4102.61 vW	4015.21 vW	3933.24 vS	...	0.07	0.040
$z=1.6295$	...	3969.20 M	3884.92 S	3806.51 [*] M	...	0.8	0.100

Таблица 3 (окончание)

1	2	3	4	5	6	7	8
$z = 1.6249$	...	3962.80 <i>M</i>	3879.07 <i>vW</i>	3799.28 <i>W</i>	3724.62 <i>M</i>	0.4	0.050
$z = 1.6205$	...	3955.90° <i>M</i>	3873.27 <i>M</i>	3792.23° <i>W</i>	...	0.8	0.400
$z = 1.565^a$	3962.80 <i>M</i>	3873.27 <i>M</i>	3792.23° <i>W</i>	...	...	0.8	0.300
1226+105							
$z = 1.7156$	...	4100.91 <i>W</i>	4011.83 <i>S</i>	3930.40 <i>W</i>	...	0.8	0.010
0824+110							
$z = 1.9035$	4484.24 <i>vW</i>	4383.52° <i>S</i>	4290.8 <i>vW</i>	4202.42° <i>M</i>	...	0.8	0.0004
0424-131							
$z = 2.2362$	...	4886.0° <i>M</i>	4782.7° <i>W</i>	4683.2 <i>vW</i>	...	0.8	0.200
$z = 2.1592$	4877.7° <i>W</i>	4769.33° <i>M</i>	4668.6 <i>vW</i>	...	4483.07° <i>W</i>	0.8	0.300
$z = 1.6623$	...	4019.3 <i>vW</i>	3934.1 <i>vW</i>	3853.26 <i>vW</i>	...	0.3	0.020
$z = 1.5885$	3998.3° <i>W</i>	...	3824.06 <i>S</i>	3747.02 <i>M</i>	...	0.8	0.300

Примечание к таблице 3

Значения длин волн λ (А) и эквивалентные ширины W_λ наблюдаемых линий (которые приводятся в таблице под соответствующими длинами волн; W — реальная линия, большинство из vW — линии реальные) взяты из работы [2]; ° — означает, что данная линия блендируется линией атома или иона, принадлежащей ранее отождествленной системе [2]; *M* — то же, что и в табл. 1; *lim* — данная линия СО не попадает в наблюдаемый диапазон длин волн; $\lambda' = \lambda - \lambda_0(1+z)$. *a* — при данном z_0 удается также отождествить линию СО 5—0 полюсом $A^{11} - X^{12}$ с λ 4628.40 *W*; *b* — при данном z_0 удается также отождествить линии СО 5—0 и 6—0 полюсом $A^{11} - X^{12}$ с λ 4515.40 *M* и 4436.14 *W*, соответственно; *c* — при данном z_0 удается также отождествить линии СО 5—0 полюсом $A^{11} - X^{12}$ и линии 0—0 и 1—0 полюсом $B^{12} - X^{12}$ с λ 4468.14 *vW*, 3693.84 *W*, 3604.5 *vW*, соответственно.

ное отклонение $z_0 \leq 0.7 \Delta\lambda$. Во-вторых, фактическое совпадение длин волн отождествляемых линий λ_0 в $(1+z_0)$ раз лучше, чем указанные значения. Величины *M*, приведенные в последних столбцах табл. 1 и 3, характеризуют частоту случайных отождествлений систем линий СО, при сканировании диапазона красных смещений от $z_{\min}$ до $z_{\max}$ с шагом $\Delta z = \delta/\lambda_0$, где δ — спектральное разрешение, а λ_0 — средняя длина

ноды УФ-полосы CO A¹Π — X¹Σ⁺. Вероятность P случайного отождествления системы CO линий определялась так же, как и в работе [8]. При этом, M есть произведение P для данной CO-системы на общее число просмотренных случаев $(z_{\max} - z_{\min})/\Delta z$. Из табл. 1 и 3 видно, что среди 39 отождествленных CO-систем 24 системы имеют значения $M \leq 0.1$, 11 систем $0.1 < M \leq 0.5$ и 4 системы $0.5 < M \leq 0.9$. Последние четыре системы являются наиболее сомнительными, но были оставлены нами в виду того, что при соответствующих z_a удается отождествить ряд линий атомарных ионов (табл. 2 и 4), которые являются наиболее сильными в спектрах поглощения звезд Галактики [14]. Пять систем CO линий с $z_a = 1.9712$ (PKS 2126 — 158, $M = 0.07$), $z_a = 1.9125$ (Q 0002 — 422, $M = 0.31$), $z_a = 1.7813$ (Q 0453 — 423, $M = 0.07$), $z_a = 1.7156$ (1226 + 105, $M = 0.01$) и $z_a = 1.9035$ (0824 + 110, $M = 0.0004$) не совпадают по z_a ни с какими системами линий поглощения атомов или ионов в диапазоне скоростей ± 300 км/с, но включены нами в табл. 1 и 3 как примеры систем, состоящих целиком из линий CO и имеющих очень низкие значения M .

Оставшиеся наиболее вероятные 30 систем CO линий характеризуются низкими значениями $M \leq 0.5$ и совпадают по z_a с системами линий атомов и ионов, широко распространенных в межзвездной среде Галактики и БМО [13, 14]. Оценка достоверности этих систем может быть проверена и другим способом. В системах, имеющих достаточно большие значения z_a (такие, что в наблюдаемый диапазон длин волн должна попасть линия L_a), мы должны отождествлять линию H I (1216). Таких систем из 30 оказалось 7, и в каждом случае нам удавалось отождествить линию L_a наряду с другими линиями атомов и ионов:

PKS 2126 — 158 ($z_a = 3.280$). 1) Система CO линий ($z_a = 2.5538$, $M = 0.2$) совпадает по z_a с системой линии H I, C II, Si II с $z_a = 2.5538$ (табл. 2).

0830 + 115 ($z_a = 2.974$). 2) Система CO линий ($z_a = 2.3241$, $M = 0.05$) совпадает по z_a с системой линий H I, C II, N I, N II, Si II, Si III, Mg II, Fe I с $z_a = 2.3241$ (табл. 4).

3) Система CO линий ($z_a = 2.2429$, $M = 0.05$) приблизительно совпадает по z_a ($|\Delta v| \sim 300$ км/с) с системой линий H I, C II, Si II с $z_a = 2.2463$ (табл. 4).

4) Система CO линий ($z_a = 2.2093$, $M = 0.1$) совпадает по z_a с системой линий H I, C II, Si II, Si IV с $z_a = 2.2093$ (табл. 4).

0424 — 131 ($z_a = 2.165$). 5) Система CO линий ($z_a = 2.2362$, $M = 0.2$) совпадает по z_a , в пределах точности измерений, с системой линий H I, C II, Si II, Si III с $z_a = 2.2366$ (табл. 4).

СИСТЕМЫ АБСОРБЦИОННЫХ ЛИНИЙ ИОНОВ В СПЕКТРАХ КВАЗАРОВ
0830 + 115, 2351 - 154, 0457 + 024, 0424 - 131

$\bar{z}_{CO}$	$\bar{z}_{лин}$	$(v_{CO} - v_{лин})^2$ (км/с)		λ_0 (А)	λ (А)	W	$\Delta\lambda$ (А)			
1	2	3	4	5	6	7	8			
0830 + 115 2.3241	2.3241	0	CII	1334.5	4436.14	W	0.14			
			FeII	1206.5			0.55			
			SiII	1260.4	4190.55	vS	0.85			
			MgII	1239.9	4121.2	vW	-0.4			
			HI	1215.7	4040.06	M	-0.94			
			NI	1199.6	3987.91	W	0.31			
			SIII	1190.2	3955.96	vS	-0.34			
			FeII	1145.0	3806.22	vW	0.12			
			NI	1084.0	3604.5	vW	1.2			
			2.2429	2.2463	-340	CII	1334.5	4332.00	M	-0.2
						SiII	1304.4	4233.8	vW	-0.7
SiII	1260.4	4091.25				vW	-0.35			
2.2093	2.2093	0	HI	1215.7	3947.21	S	0.81			
			SiIV	1393.8	4472.6	vW	-0.5			
			CII	1334.5	4283.01	S	0.21			
2.0822	2.0820	20	SiII	1260.4	4044.13	M	-0.87			
			HI	1215.7	3900.54	M	-0.85			
			CI	1328.8	4096.24	vW	0.84			
	2.0812	100	CI	1277.3	3935.67	S	-0.93			
			SiII	1260.4	3886.42	S	1.82			
			SiII	1193.3	3679.2	vW	1.4			
			SiII	1190.4	3669.50	M	0.7			
	1.8317	1.8317	0	CIV	1548.2	4770.01	vS	-0.20		
				CIV	1550.8	4780.26	S	1.96		
				SiIV	1393.8	4295.47	S	0.87		
CII				1334.5	4111.38	S	-0.52			
SiII				1304.4	3693.84	W	0.14			
1.5998	1.5989	50	FeII	1608.5	4555.06	M	0.26			
			CIV	1548.2	4383.76	M	-0.24			
			SiIV	1393.8	3947.21	S	0.41			
			CI	1656.9	4305.92	vW	-0.18			
			SiI	1526.7	3968.00	M	0.30			
1.6000	-20	AlII	1670.8	4342.70	M	0.50				
		CIV	1550.8	4033.08	S	0.98				

Таблица 4 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8
1.5892	1.5889	30	CIV	1548.2	4024.33	S	-0.97
			SiII	1808.0	4681.3	vW	0.6
			AlII	1670.8	4325.49	W	0.01
			FeII	1608.5	4163.68	vW	-0.52
			AlIII	1862.8	4824.39	S	0.09
2351-154	1.5898	-60	AlIII	1854.7	4803.36	vS	0.06
			SiIV	1393.8	4609.2	vW	-0.5
			OI	1302.2	4307.30	M	-0.5
2.2937	2.2939	-20	SiII	1260.4	4168.29	vW	-0.21
			ClI	1334.5	4396.55*	vW	0.85
			ClI	1328.8	4376.39	vW	-0.51
2.2404	2.2408	-40	SiII	1304.4	4296.34	W	-0.26
			CIV	1548.2	5017.03	vW	-0.37
			SiII	1304.4	4227.81	W	0.51
2.1384	2.1385	-10	OI	1302.2	4219.90	W	-0.3
			CIV	1550.8	4856.94	W'	-0.26
			CIV	1548.2	4859.38	M	0.38
2.0086	2.0092	-60	SiII	1526.7	4791.6*	vW	0.1
			CIV	1550.8	4667.13	vW	0.43
			SiIV	1402.8	4219.90	W	-1.4
2.0024	2.0025	-10	SiIV	1393.8	4194.6	vW	0.4
			CIV	1550.8	4655.0	vW	-1.3
			CIV	1548.2	4649.7*	vW	1.2
1.9684	1.9684	0	MgI	1827.9	5425.32	M	-0.58
			ClI	1656.9	4918.51	W	0.21
			SiII	1526.7	4532.9	vW	1.00
1.9154	1.9166	-120	AlII	1670.8	4872.94	W	-0.16
			CIV	1550.8	4523.4	vW	0.3
			CIV	1548.2	4515.1*	vW	-0.4
1.8985	1.8989	-40	ClI	1656.9	4803.7*	vW	0.5
			ClI	1560.3	4523.4	vW	0.2
			SiII	1526.7	4425.19	vW	-0.61
0457+024							
1.7171	1.7167	70	SiII	1260.4	3124.14	M	0.04
1.6295	1.6290	50	AlII	1670.8	4392.52*	W	0.02
			ClI	1656.9	4355.61*	W	-0.39
			FeII	1608.5	4228.10	W	-0.60

Таблица 4 (окончание)

1	2	3	4	5	6	7	8
1.6249	1.6251	-20	Cl	1560.3	4102.61	vW	0.61
			Al II	1670.8	4385.52*	W	-0.48
			C, V	1548.2	4064.15	M	-0.05
1.6205	1.6211	-60	CIV	1550.8	4064.15	M	-0.65
			CIV	1548.2	4058.79*	S	0.79
			Si II	1526.7	4001.63*	S	0.03
1.5659	1.5654	50	Cl	1656.9	4249.98	vW	-0.62
			Fe II	1608.5	4126.2*	vW	-0.2
			C II	1334.5	3424.14	M	0.64
0424-131	2.2362	-49	C II	1334.5	4319.75*	W	0.55
Si II			1304.4	4222.3*	vW	0.5	
H I			1215.7	3934.1	vW'	-0.6	
2.1592	2.1586 ^b	70	Si III	1206.5	3904.8	vW'	-0.2
			H I	1215.7	3840.62	1.2 A	0.72
			Si IV	1393.8	4491.8	0.4 A	-0.7
			Si IV	1402.8	4430.4	0.5 A	-0.5
			CIV	1550.8	4897.6	0.3 A	-0.8
1.6623	1.6616	70	Si II	1526.7	4063.4	W	-0.1
1.5885	1.5884	10	Al III	1854.7	4799.8*	vW	-0.9
			Al II	1670.8	4325.11	M	0.41
			Fe II	1608.5	4163.8*	W	0.4
			Si II	1526.7	3551.38*	M	-0.32

Примечания к таблице 4

Значения λ и W взяты из работы [2]; λ_0 — из работы [14]; * — означает то же, что и в табл. 3; a — разности скоростей приведены с точностью ± 0.0 км/с; b — данная система линий ионов была отождествлена ранее в работе [2]; $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0(1+z)$.

6) Система CO линий ($z_0 = 2.1592$, $M = 0.3$) приблизительно совпадает по z_0 ($|\Delta v| \sim 70$ км/с) с системой линий H I, CIV, Si IV с $z_0 = 2.1586$, которая ранее была отождествлена Робертсом и др. [2] (табл. 4).

7) Сельмая система CO линий с $z_0 = 2.0822$ ($0830 + 115$, $M = 0.04$) совпадает по z_0 , в пределах точности измерений, с системой линий Cl и Si II с $z_0 = 2.0820$, и которой линия H I (1216) blendируется абсорбционной линией, приписанной Робертсом и др. линии водорода L_1 с $z_0 = 2.8569$.

Подводя итог этой части работы, отметим, что:

1. В случае квазара 0830+115 подавляющее большинство вновь отождествленных линий (62 из 67) ранее не были отождествлены.

2. Общее число вновь отождествленных линий, принадлежащих СО-системам, для 5 квазаров Саржента и др. [1] — 60, из них 21% совпадает с ранее отождествлявшимися линиями, а общее число вновь отождествленных линий для 6 квазаров Робертса и др. [2] — 188, из них 21% совпадает с ранее отождествлявшимися.

3. Система СО линий с $z_0 = 2.5538$ (PKS 2126—158) является системой с самым большим красным смещением, среди достоверных систем СО линий.

4. В результате повторного анализа спектра поглощения квазара PHL 957, основанного на данных работы [1], найдены две новые системы СО линий с $z_0 = 1.7425$ и 1.6962 , наряду с ранее отождествленной системой СО и H₁ линий с $z_0 = 2.181$ [5].

5. Существенно, что найденные абсорбционные системы (табл. 1—4) содержат наиболее сильные линии, широко представленные в УФ-спектрах межзвездного поглощения в Галактике и БМО. Это позволяет сделать вывод о том, что такие системы СО линий с большой вероятностью возникают в результате поглощения излучения квазара в межзвездном газе далеких галактик, лежащих на луче зрения между наблюдателем и квазаром.

3. *Модель поглощающей области.* К сожалению, эквивалентные ширины линий СО даны только для 5 квазаров [1] (в работе [2] эквивалентные ширины неидентифицированных линий характеризовались лишь качественно). Наиболее интенсивная линия СО 2—0 присутствует во всех СО-системах. Эквивалентная ширина этой линии, с учетом поправки $1 - z_0$, имеет значение $W_{\lambda} = W_{\lambda}/(1 + z_0) \sim (0.7 \pm 0.3) \text{ \AA}$, за исключением случаев возможного блендирования с другими линиями, соответствующим иным значениям z_0 , а также случая анамально интенсивной линии СО 2—0 в системе с $z_0 = 2.1066$ (PKS 2126—158, $M = 0.1$). Указанное значение W_{λ} на порядок превосходит типичные значения W_{λ} ($= 40 - 100 \text{ m\AA}$) линии СО 2—0 для отдельного облака в Галактике или БМО [11—13], хотя во всех остальных отношениях содержащие СО поглощающие области весьма похожи на диффузные облака Галактики с $\Delta E_{\text{д-р}} \approx 0''20$ [8]. Естественно думать, что большая ширина наблюдаемых линий обусловлена суммарным эффектом от значительного числа ($N \sim 10$) диффузных облаков, входящих в состав далеких галактик и имеющих различные скорости относительно наблюдателя ($\Delta v \sim 100 \text{ км/с}$).

В таком случае в зависимости от соотношения видимых угловых размеров квазара Ω_q и галактики Ω_g , возможны два случая:

1. При $\Omega_* \ll \Omega_c$ может быть лишь последовательное поглощение излучения квазара в облаках, расположенных в далекой галактике ($z > 1$) вдоль луча зрения. Такая ситуация едва ли реализуется, поскольку при наклонном положении экваториальной плоскости галактики невозможно набрать вдоль луча зрения необходимое число облаков, а случай совпадения луча зрения с плоскостью диска, во-первых, маловероятен, во-вторых, при таком совпадении из-за концентрации пыли в диске галактики она была бы непрозрачна.

2. При $\Omega_* \gtrsim \Omega_c$ в поглощение могут давать вклад все облака галактики, которые попадают в телесный угол Ω_* . На первый взгляд может показаться, что этот случай не имеет места, поскольку измерения оптической переменности блеска квазаров приводят к значениям $\Omega_* \ll \Omega_c$ ($z = 2$) $\approx 1''$. Однако поскольку рассматриваемая галактика лежит на луче зрения, необходимо учитывать гравитационную фокусировку излучения квазара, которая и должна приводить к увеличению видимых угловых размеров удаленного источника излучения до величины порядка $1''$, поскольку $\theta = 1.75 (M_c/M_\odot) (R_c/R_g)$, где M_c и R_c — масса и радиус фокусирующей галактики в солнечных единицах. В таком случае при любом наблюдении распределении массы в галактике часть ее, заключенная внутри радиуса $\approx 0.75 R_c$, подобна оптической линзе, т. е. фокусируется все излучение, проходящее через эту область, как было показано в [15]. Указанная ситуация может реализоваться лишь в том случае, когда луч квазар — наблюдатель проходит сквозь диск галактики на расстоянии не более 10 кпс от ее центра. А только этой центральной области и могут принадлежать облака, содержащие СО. Отметим также, что увеличение видимого углового размера квазара, обусловленное общей кривизной пространства (при $z \sim 2$, $H_0 \sim 100$ км/с Мпс и $q_0 \leq 1$), на порядок меньше, чем рассмотренный выше эффект. Интересно, что гравитационная фокусировка излучения квазаров галактиками естественно объясняет «сосуществование» линий ионов различных степеней ионизации (C II и C IV, Si II и Si IV, N I и N II, NV и т. д.) при одном и том же красном смещении — факт, на который было указано в работе [16].

Как известно, эффект гравитационной линзы ранее привлекался для объяснения ряда явлений: а) усиление потока излучения квазаров, обусловленное фокусировкой [17]; б) кажущееся сверхсветовое расширение оболочек некоторых квазаров [15]; в) кратность видимых изображений ряда квазаров [18, 19]. В данной работе указан еще один возможный эффект — увеличение видимых угловых размеров квазара, приводящее, во-первых, к уширению слабых спектральных линий и, во-вторых, к существованию абсорбционных систем с «перемешанной степенью ионизации».

4. Основные результаты и выводы. Если предлагаемая идентификация линий CO правильна, то мы с необходимостью должны считать, что

1) Содержащие CO поглощающие облака входят в состав центральных областей ($r \lesssim 10$ кпс) спиральных и иррегулярных галактик с $z_s > 1$, поскольку согласно прямым наблюдениям нашей и близлежащих галактик, только в таких областях наблюдается CO.

2) Находящаяся на луче зрения галактика, содержащая в своей межзвездной среде молекулы, с большой вероятностью содержит и пыль. Именно этим можно объяснить сильное покраснение ряда далеких квазаров: PKS 2126—158 [20], PKS 0528—250 [21], PKS 1402+044 [22], 0938 + + 119 [23]. К сожалению, полоса λ 2200 А, связанная с пылью, для всех рассматриваемых z_s выходит за пределы измеренных спектров квазаров.

3) Среди вновь отождествленных линий спектров поглощения 5 квазаров Саржента и др. 12% совпали с линиями, которые в работе [1] интерпретировались как линии поглощения атомарного водорода H I (1216), имеющие различные значения $z_s > z_r$. Исходя из того, что часть линий отождествляется случайно, можно заключить, что в этих пяти квазарах отождествление новых CO-систем существенно не влияет на выводы Саржента и др. о существовании большого числа межгалактических чисто водородных „L“-облаков.

В заключение отметим, что в работе [24] была указана возможность наблюдений поглощающих облаков с большим красным смещением в радиодлинах молекул CO, H₂CO, а также в ИК-линиях молекул H₂ и HD. Такая же возможность имеется и в случае рассматриваемых квазаров. Например, квазар PKS 2126—158 имеет большой поток в радиодиапазоне F_{ν} (5000 МГц) = 1.24 ед. п. [25], что делает его интересным объектом для подобных исследований.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе

ANALYSIS OF THE ABSORPTION-LINE SPECTRA OF ELEVEN QUASARS WITH $z_s > 2$

S. A. LEVSHAKOV, D. A. VARSHALOVICH

The high resolution spectra of 11 quasars investigated by Sargent et al. [1] and Roberts et al. [2] are reanalysed. 39 certain and probable absorption systems containing CO lines as well as atom and ion lines are found. For each CO-system line the probability of accidental coincidence is estimated. It is shown that these systems may arise due to

absorption by interstellar gas of intervening far galaxies ($z > 1$); the gravitational effect of these galaxies on absorption quasar spectra is discussed.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. W. L. W. Sargent, P. J. Young, A. Boksenberg, D. Tytler, *Ap. J. Suppl. ser.*, 42, 41, 1980.
2. D. H. Roberts, E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, A. H. Crowne, V. T. Junkkuriinen, H. E. Smith, *Ap. J.*, 224, 344, 1978.
3. J. J. Perry, E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, *Astron. Soc. Pacific*, 90, 337, 1978.
4. Д. А. Варшало́вич, С. А. Левшаков, *Письма АЖ*, 4, 115, 1978.
5. Д. А. Варшало́вич, С. А. Левшаков, *Письма АЖ*, 5, 371, 1978.
6. S. A. Levshakov, D. A. Varshalovich, *Astrophys. Lett.*, 20, 67, 1979.
7. D. A. Varshalovich, S. A. Levshakov, Preprint of A. F. Ioffe Inst. Phys. Technol., No. 673, Leningrad, 1980.
8. Д. А. Варшало́вич, С. А. Левшаков, *Письма АЖ*, 7, 204, 1981.
9. S. G. Tilford, J. D. Stimmans, *J. Phys. Chem. Ref. Data*, 1, No. 1, 1972.
10. E. N. Lassetre, A. Skerbele, *J. Chem. Phys.*, 54, 1597, 1971.
11. D. C. Morton, *Ap. J.*, 197, 85, 1975.
12. A. M. Smith, T. P. Stacher, *Ap. J.*, 164, L43, 1971.
13. K. S. de Buer, J. Koornneef, B. D. Savage, *Ap. J.*, 236, 769, 1980.
14. D. C. Morton, *Ap. J.*, 222, 863, 1978.
15. S. M. Chitre, J. V. Narlikar, *Ap. J.*, 235, 335, 1980.
16. E. M. Burbidge, *Physica Scripta*, 17, 201, 1978.
17. J. M. Barnothy, *A. J.*, 70, 666, 1965.
18. P. Young, J. E. Gunn, J. Kristian, J. B. Oke, J. A. Westphal, *Ap. J.*, 241, 507, 1980.
19. R. J. Weymann, D. Latham, J. R. P. Angel, R. F. Green, J. W. Liebert, D. A. Turnshek, D. E. Turnshek, J. A. Tyson, *Nature*, 285, 641, 1980.
20. D. L. Jancey, A. E. Wright, B. A. Peterson, J. J. Condon, *Ap. J.*, 223, L1, 1978.
21. D. L. Jancey, A. E. Wright, B. A. Peterson, *Ap. J.*, 221, L109, 1978.
22. B. A. Peterson, D. L. Jancey, A. E. Wright, *Ap. J.*, 222, L81, 1978.
23. E. A. Beaver, R. Harms, C. Hazard, H. S. Murdosh, R. F. Carswell, P. A. Strittmatter, *Ap. J.*, 203, L5, 1976.
24. В. К. Херсонский, Д. А. Варшало́вич, С. А. Левшаков, *Астроф. ж.*, 58, 29, 1981.
25. D. L. Jancey, A. E. Wright, B. A. Peterson, J. J. Condon, *Ap. J.*, 219, L1, 1978.
26. M. A. J. Sniijders, M. Pettini, A. Boksenberg, *Ap. J.*, 245, 395, 1981.