

УДК: 524—355

СОПОСТАВЛЕНИЕ НЕОТОЖДЕСТВЛЕННЫХ ЛИНИЙ
ПОГЛОЩЕНИЯ В СПЕКТРАХ КВАЗАРОВ
С НЕОТОЖДЕСТВЛЕННЫМИ ЛИНИЯМИ
В СПЕКТРАХ ЗВЕЗД

И. Е. ВАЛЬЦ

Поступила 21 октября 1987

Принята к печати 14 января 1988

В работе рассматривается возможность отделить часть неотожествленных линий спектров квазаров от «леса Ly » путем сопоставления их с неотожествленными линиями спектров звезд. В случае квазара 2351—154 для уверенной абсорбционной системы с $z_a = 2.6775$ наблюдается превышение числа совпадений линий спектра квазара с линиями спектра ζ Pup. Восемь линий спектра квазара, которые совпали с линиями спектра ζ Pup, ранее не были отождествлены.

Абсорбционные линии в оптических спектрах квазаров в настоящее время являются практически единственным источником сведений о физическом состоянии вещества в межгалактической среде. Несмотря на большое количество квазаров, обнаруженных к настоящему времени (более 3000 на 1987 г.), квазаров с линиями поглощения известно не более 500. Для них опубликовано всего около 100 спектров, причем не более 50 имеют число линий, достаточное для отождествления с некоторой степенью надежности.

С хорошим спектральным разрешением — $\Delta\lambda \approx 0.8 \text{ \AA} - 2 \text{ \AA}$ — получено не более трети абсорбционных спектров; обычно в них отождествляются несколько абсорбционных систем, насчитывающих от двух до десяти линий, в исключительных случаях — больше десятка линий. Уверенных систем в каждом спектре — одна-две, остальные системы относятся к системам низкой степени надежности. В работе [1] мы обратили внимание на то, что системы, отождествленные с низкой степенью надежности, не подтверждаются при улучшении спектрального разрешения.

Таким образом, строго говоря, наблюдательный материал по абсорбционным линиям в спектрах квазаров, на основе которого можно было бы сделать более или менее правильные выводы о физических свойствах поглощающего газа, в настоящий момент довольно беден. В теоретических

работы привлекают к анализу все системы линий поглощения, как правило, с одинаковым весом, не обращая особого внимания на различные градации надежности отождествления систем. Такой подход сильно снижает ценность теоретических моделей. Поэтому повышение степени надежности отождествления линий и увеличение числа отождествленных линий — задача не последней важности в спектроскопии квазаров.

Одной из главных трудностей в отождествлении абсорбционных линий в спектрах квазаров является, конечно, разброс по z . Однако в звездных спектрах, все линии которых находятся в системе покоя, тоже имеются неотожествленные линии. Например, на 200 отождествленных линий в спектре звезды ζ Pup [2] приходится 52 неотожествленных, на 252 отождествленных в спектре ζ Ori [3] — 45 неотожествленных. Возможно, что в случае ζ Ori и некоторых других звезд неотожествленные линии являются слабыми линиями железа Fe II, других низкоионизованных атомов, например, Si, или линиями молекул, силы осцилляторов которых определены не очень надежно. В случае ζ Pup, на которую проектируется менее плотное облако, спектр поглощения формируется более высокоионизованными ионами, для линий которых спектроскопические таблицы должны быть достаточно полными. Поэтому ситуация с ζ Pup остается неясной [2].

Если считать, что большинство узких абсорбционных линий в спектрах квазаров формируется в межзвездной среде галактик, находящихся на луче зрения между наблюдателем и квазаром, можно ожидать, что спектры линий поглощения квазаров и звезд Галактики будут подобны. В общих чертах спектры линий поглощения звезд ζ Ori (плотное холодное облако) и ζ Pup (разреженная межоблачная среда, зона H II) можно было бы считать эталонными для сравнения со спектрами «низкоионизованных» систем и систем «промежуточной» стадии ионизации, характерных для абсорбционных спектров квазаров. При этом возможно, что сходными окажутся не только отождествляемые линии спектров, но и те детали, которые не удается отождествить по причине недостаточно высокого качества спектроскопических таблиц. В данной работе мы решили сопоставить именно неотожествленные детали спектров квазаров с неотожествленными деталями спектров звезд (сопоставление с отождествленными линиями мы приведем в другой работе).

Списки звездных линий, которые мы брали для сравнения, приводятся в работах Мортонa [2] — ζ Pup и [3] — ζ Ori. Поскольку длины волн неотожествленных линий звездных спектров заключены в пределах от 960 Å до 1390 Å, имеет смысл проводить сопоставление этих линий с линиями в спектрах квазаров только для самых далеких абсорбционных систем. Мы отобрали для нашей цели квазары (см. ниже), в которых имеются абсорбционные системы с $z_a > 2$ и спектры которых получены с раз-

решением $\Delta\lambda$ не хуже 2.0 Å. Отождествление линий проводилось по стандартной методике: вычислялась длина волны $\lambda_i = \lambda_0 \cdot (1+z)$ и сопоставлялась с наблюдаемой. Линия считалась отождествленной, если $|\lambda_i - \lambda_0| \leq \Delta\lambda$. Процедура проводилась не по всему спектру квазара, а только в рамках абсорбционных систем: $z_a \pm 0.01$, шаг процедуры $\Delta z \approx 0.0001$ (зависит от разрешения).

Перейдем к описанию результатов.

PKS 0424—131. Спектр из работы Робертса и др. [4], $z_e = 2.165$. Имеется 18 абсорбционных систем с z_a от 0.7472 до 2.1752. Поскольку z_a малы, сопоставление возможно только с линиями ζ Pp (спектр неотжествленных линий ζ Pp более длинноволновый, чем ζ Oph). Превышение числа совпадений над средним уровнем около 3σ заметно для уверенной системы с $z_a = 2.1333$ (на $z_a = 2.1281$ совпало 10 линий из 26 возможных; средний уровень совпадений, — 3—4 линии) и около 2σ для возможной системы с $z_a = 2.1505$ (на $z_a = 2.1504$ совпало 8 линий из 26 возможных при том же среднем уровне).

MC5 0824+110. Спектр работы Робертса и др. [4], $z_e = 2.278$. 11 абсорбционных систем, из них 4 уверенных: $z_a = 0.4990, 1.6229, 2.1090, 2.1803$. 2 далекие системы формируются в высокоионизованных областях, поэтому совпадений линий с линиями спектров звезд, вообще говоря, быть не должно. В самом деле, ни для одной из систем не наблюдается превышения числа совпадений линий над средним уровнем

MC 1226+105. Спектр из работы Робертса и др. [4], $z_e = 2.296$, 4 системы линий поглощения. Подходящая по z_a для нашего исследования относится к классу возможных ($z_a = 2.1981$), отождествлена по трем линиям — L_a и дублету C IV, представляющему собой широкую деталь в спектре. Превышения числа совпадений линий квазара с линиями ζ Pp над средним уровнем не обнаружено.

PKS 0457+024. Спектр из работы Робертса и др. [4], $z_e = 2.384$. 8 абсорбционных систем, 2 системы с достаточно большими z_a (2.3385 и 2.8567) низкой степени надежности. Превышение числа совпадений над средним уровнем ($> 2\sigma$) имеется для системы с $z_a = 2.3385$ при $z_a = 2.3410$ и для системы с $z_a = 2.8567$ при $z_a = 2.8504$ при сравнении со спектром ζ Pp.

Q 0453—423. Спектр из работы Саржента и др. [5], $z_e = 2.656$. 6 абсорбционных систем, 4 уверенных. Спектр получен с разрешением 0.8 Å, средний уровень случайных совпадений низкий. Незначительное превышение над средним уровнем ($> 2\sigma$) обнаружено только для уверенной системы с $z_a = 2.2765$ на $z_a = 2.2705$ при сравнении со спектром ζ Pp.

MC 2351—154. Спектр из работы Робертса и др. [4], $z_e = 2.665$. 11 абсорбционных систем, из них 3 имеют достаточно большие z_a : 2.0949, 2.6447 — системы низкой достоверности и 2.6775 — уверенная система. В пределах этой системы с несколько смещенным z_a (2.6786) имеется максимум, выходящий за уровень 3σ при сопоставлении спектра квазара со спектром ζ Pup.

PHL 957. Мы скомпилировали спектр из двух спектров, полученных с разным разрешением: от $\lambda = 3100 \text{ \AA}$ до $\lambda = 3500 \text{ \AA}$ — спектр Колемаана и др. [6]; от $\lambda = 3500 \text{ \AA}$ до $\lambda = 5100 \text{ \AA}$ — спектр Саржента и др. [7]. Разрешение в первой части спектра $\Delta\lambda = 4 \text{ \AA}$, во второй — $\Delta\lambda = 0.8 \text{ \AA}$; $z_e = 2.69$. По Колеману, спектр содержит 5 абсорбционных систем, данная система с $z_a \sim 2.30$, отождествленная Колеманом как «уверенная», подтвердилась Саржентом при улучшении разрешения. Превышение числа совпадений на уровне $> 2\sigma$ при сравнении со спектром ζ Pup имеется для $z_a = 2.3182$: отличие от z_a уверенной системы довольно велико.

Q 0002—422. Спектр из работы Саржента и др. [5] $z_e = 2.763$. 5 абсорбционных систем, 3 далеких: $z_a = 2.1683$ (возможная), $z_a = 2.3018$ (уверенная), $z_a = 2.4641$ (вероятная). Незначительное превышение числа совпадений над средним уровнем ($\approx 2\sigma$) наблюдается для системы $z_a = 2.4641$ при $z_a = 2.4587$.

PKS 0528—250. Спектр из работы Мартона и др. [8], $z_e = 2.765$. Имеются 3 системы линий поглощения: $z_a = (2.81322 \text{ и } 2.81100)$, 2.53758, 2.14077. Ни в одном случае не обнаружено превышение числа совпадений $> 2\sigma$ ни для спектра ζ Ori, ни для спектра ζ Pup.

4C 05.34. Спектр из работы Чен-Ян-шента и др. [9], $z_e = 2.8772$, 5 систем линий поглощения: 2 уверенных, $z_a = 2.87717$ и $z_a = 2.47568$; три возможных с $z_a < 2$. Превышения числа совпадений $> 2\sigma$ имеются в пределах системы $z_a = 2.47$ для ζ Ori и ζ Pup и в пределах системы $z_a = 2.87$ для ζ Pup на нескольких значениях z_a , поэтому, даже если какой-либо максимум является реальным, его трудно отличить от случайного, т. к. все максимумы приблизительно одинаковой величины.

MC5 0830+115. Спектр из работы Робертса и др. [4], $z_e = 2.974$. 3 абсорбционные системы с $z_a = 2.1247$, 2.2168 (уверенные) и с $z_a = 2.7664$ — вероятная. Превышение числа совпадений на уровне 2σ имеется только для системы $z_a = 2.7664$ при $z_a = 2.7090$ для спектра ζ Ori.

PKS 2126—158. Спектр из работы Янга и др. [10], $z_e = 3.28$. 5 систем линий поглощения, из них 4 — с $z_a < 2$: 2.3938 (4 линии), 2.6381 (14 линий, уверенная система), 2.7685 (16 линий, уверенная система), 3.1668 (6 линий). Превышения числа совпадений над средним уровнем не обнаружено.

Перейдем к обсуждению результатов. Из исследованных нами 35 абсорбционных систем в абсолютном большинстве случаев превышение числа совпадений над средним уровнем не выходит за уровень 2σ и, скорее всего, носит случайный характер. Мы остановимся подробнее только на одной абсорбционной системе: квазар 2351—154, уверенная абсорбционная система $z_a = 2.6775$, спектр звезды ζ Pup.

В спектре этого квазара имеется 114 линий поглощения, из которых отождествлено 42 линии с низкой степенью надежности. Уверенная система при $z_a = 2.6775$ включает в себя 7 линий: L_a , одну блендированную линию дублета NV 1238 — другая не обнаружена, две линии дублета C IV, одну линию Si III 1206 (в бленде) и две линии дублета Si IV ($\lambda\lambda$ 1393, 1402). Система, таким образом, формируется в области высокоионизованного газа. Сопоставление возможно только с 30 линиями ζ Pup, для которых $\lambda > 1133 \text{ \AA}$. При $z_a = 2.6786$ совпали следующие линии:

Таблица 1

2351—154	ζ Pup	$\lambda_{\text{кв}} - \lambda_{\text{зв}}$
$\lambda_{\text{набл.}} (\text{A})$	$\lambda_{\text{набл.}} (\text{A})$	(A)
4194.6	1140.269 1140.521	0.00 —0.69 при $z_a = 2.684$
4283.23	1164.177 1164.275 1164.462	0.68 0.31 —0.35
4490.45	1120.502 1220.752	0.72 —0.20
4511.1	1226.246	—0.22
4542.36	1235.014	—0.75
4655.0	1265.378	0.17
4880.22	1326.732	—0.29
5088.03	1383.720	—0.25

Ни одна из линий спектра квазара, приведенная в табл. 1, не была отождествлена ранее. Средний уровень совпадений при данном z составляет 2—4 линии. Поскольку уверенная система $z_a = 2.6775$ содержит всего 7 линий, 4—5 линий, которые можно было бы приписать ей на основании подобного сопоставления, составили бы значительную долю отождествлений в системе — около 30%. Некоторое расхождение в z_a можно объяснить неточностью в определении центров линий, неточностью в определении красных смещений или реальным несовпадением поглощающих областей. Так как система $z_a = 2.6775$ формируется, по-видимому, в области высокоионизованного газа, а облако, проектирующееся на ζ Pup — более

холодное и может ассоциироваться с близкой к основному z_a , но другой поглощающей областью. То есть несовпадение поглощающих областей в данном случае вполне допустимо.

Выводы. Итак, мы рассмотрели возможность сопоставления неотожествленных линий спектров квазаров и неотожествленных линий спектров звезд. Поскольку большинство линий поглощения в спектре ζ Ori имеет длину волны короче 1000 А, практически можно было проводить сопоставление только с линиями поглощения ζ Pup. Существенных превышений числа совпадений над средним уровнем не обнаружено, но в случае квазара 2351—154 число таких совпадений в пределах уверенной системы несколько выше, чем для других спектров. Интересно, что все выделенные нами линии спектра этого квазара относятся к числу неотожествленных.

Конечно, подобное сопоставление абсорбционных линий спектров квазаров и линий спектров звезд можно рассматривать только как слабую попытку «отвоевать» у «леса L_a » хотя бы несколько линий в пользу абсорбционных систем. Однако для более далеких абсорбционных систем, которые, возможно, будут обнаружены, этот метод может сыграть роль более существенную.

Институт космических исследований
АН СССР

COMPARISON OF UNIDENTIFIED ABSORPTION LINES OF QUASAR SPECTRA WITH UNIDENTIFIED LINES OF STELLAR SPECTRA

I. E. VAL'TTS

A possibility to separate part of unidentified lines in QSO spectra from "Lyman- α forest" by comparing them with unidentified lines in stellar spectra is discussed. The higher number of line coincidences between QSO spectrum and ζ Pup spectrum over their mean value is observed for the certain absorption system with $z_a = 2.6775$ in the case of QSO 2351-154. Eight QSO lines which coincide with lines of ζ Pup spectrum have not been identified earlier.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. Е. Вальц. Препр. ИКИ АН СССР, № 1224, 1987.
2. D. C. Morton, *Astrophys. J.*, 222, 863, 1978.
3. D. C. Morton, *Astrophys. J.*, 197, 77, 1975.

4. *D. H. Roberts, E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, A. H. Crowne et al.*, *Astrophys. J.*, 224, 344, 1978.
5. *W. L. W. Sargent, P. J. Young, A. Boksenberg, R. F. Carswell, J. A. J. Whelan*, *Astrophys. J.*, 230, 49, 1979.
6. *G. Coleman, R. F. Carswell, P. A. Strittmatter et al.*, *Astrophys. J.*, 207, 1, 1976.
7. *W. L. W. Sargent, P. J. Young, A. Boksenberg, D. Tytler*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 42, 41, 1980.
8. *D. C. Morton, Chen Jian-sheng, A. E. Wright, B. A. Peterson, D. L. Jauncey*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 193, 359, 1980.
9. *Chen Jian-sheng, D. C. Morton, B. A. Peterson, A. E. Wright, D. L. Jauncey*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 196, 715, 1981.
10. *P. J. Young, W. L. W. Sargent, A. Boksenberg, R. F. Carswell, J. A. J. Whelan*, *Astrophys. J.*, 229, 891, 1979.