

بررسی اثر خطوط فلزی بر تابع توزیع احتمال شار در جنگل لیمان آلفای اختروش‌ها

سارا رضایی دارستانی¹، رضا پژوهش¹، علیرضا آقایی²

¹ گروه فیزیک دانشگاه بیرجند، بیرجند

² گروه فیزیک، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان

چکیده

در این پژوهش، تابع توزیع احتمال شار برای مجموعه 50 اختروش محاسبه شد، که دارای انتقال به سرخ نشی $1.89 < z < 3.21$ و نسبت سیگنال به نویز بالای 20 می‌باشند. سپس اثر خطوط فلزی بر شکل تابع توزیع احتمال شار بررسی گردید. نتایج نشان دهنده اثرات قویتر خطوط فلزی بر تابع توزیع احتمال در انتقال به سرخ‌های کمتر بود.

Investigation Of The Effect Of Metal Lines On The Flux Probability Distribution Function In The Lyman Alpha Forest Of Quasars

S.R. Darestanee¹, R. Pazhouhesh¹, A. Aghae²

¹ Department of Physics, Birjand University, Birjand

² Department of Physics, Sistan and Baluchestan University, Zahedan

Abstract

In this research, The flux probability distribution function (PDF) was calculated for a set of 50 quasars that they have emission redshift at $1.89 < z < 3.21$ and high signal-to-noise ($S/N > 20$). Then the effect of metal lines on the shape of the flux probability distribution function was investigated. The results shows Metal lines have a larger impact on the PDF at lower redshift.

مقدمه

جنگل لیمان آلفا، مجموعه بزرگی از خطوط جذبی می‌باشند که در سمت آبی خط نشی لیمان آلفای اختروش‌های با انتقال به سرخ بالا قرار دارند. در دهه گذشته، به لطف قدرت تلسکوپ‌های کلاس 10 متری مجهز به طیف نگارهای با وضوح بالا و شبیه‌سازی‌های هیدرودینامیکی، پیشرفت قابل توجهی در جهت درک ماهیت این ویژگی‌های جذبی حاصل شده است. مقایسه پیش‌بینی‌های شبیه‌سازی‌های هیدرودینامیکی و مشاهدات تصویری را ایجاد کرده که در آن خطوط جنگل لیمان آلفا به دلیل مولفه هیدروژن خنثی موجود در محیط گرم ($\sim 10^4$ K) و فوتوایونیزه میان کهکشانی که نوسانات چگالی با دامنه متوسط را دنبال می‌کنند، ایجاد شده‌اند. در این تصویر، طیف اختروش‌های با انتقال به سرخ بالا یک کاوشگر یک بعدی از چگالی ماده را در امتداد خط دید تا اختروش فراهم می‌کند. بنابراین، توزیع شار در طیف‌های جذبی اختروش‌ها، اطلاعات مربوط به توزیع و تکامل ماده را رمزگذاری می‌کند و جنگل لیمان آلفا به عنوان یک ابزار کیهانی قدرتمند شناخته شده است، که مکمل سایر کاوشگرهای کیهانی است. [1,2].

خواص آماری جنگل لیمان آلفا به انتقال به سرخ خطوط جذبی بستگی دارد و از انتقال به سرخ اختروشی که طیف آن اندازه‌گیری می‌شود مستقل می‌باشد. این واقعیت مشاهده‌ای یکی از مهم‌ترین شاخصه‌های جذب برای یک منبع میان کهکشانی است. [3]. مقادیری که اغلب در تجزیه و تحلیل جنگل لیمان آلفا مطالعه می‌شود، تابع طیف توان شار می‌باشد که برای تعیین پارامترهای کیهانشناسی و همچنین کاوش برای ماده تاریک به کار می‌رود.

مقدار دیگر تابع توزیع احتمال شار می‌باشد که علاوه بر حساس بودن به توزیع ماده تاریک و پارامترهای کیهانشناسی و به ویژه دامنه نوسانات ماده به خواص گرمایی IGM نیز وابسته می‌باشد [4,6]. با این حال، اثر حرارتی IGM و سایر عدم قطعیت‌ها استخراج اطلاعات از تابع توزیع احتمال شار را دشوارتر می‌کند. تابع توزیع احتمال شار نه تنها به جذب هیدروژن خنثی حساس است، بلکه متاسفانه به عدم قطعیت‌هایی چون سطح پیوستار و جذب عناصر سنگین و نویز حساس می‌باشد. تأثیر عدم قطعیت پیوستار در مقاله [7] بررسی و نتایج ارائه گردید. در این مرحله تأثیر جاذب‌های فلزی بر تابع توزیع احتمال شار بررسی می‌شود.

انتخاب داده‌ها

داده‌هایی که در این مقاله استفاده می‌شوند مربوط به مقاله‌ای تحت عنوان "بررسی تابع توزیع احتمال شار طیف 50 اختروش در جنگل لیمان آلفا" می‌باشند [7].

محاسبه تابع توزیع احتمال شار

برای بدست آوردن تابع توزیع احتمال شار برای اختروش‌ها از روابط و شرایطی که در مقاله [7] آمده استفاده شده است. در شکل 4 نمونه‌ای از تابع توزیع احتمال شار قبل از پوشاندن خطوط فلزی، برای چهار عدد از اختروش‌های مجموعه (کمترین انتقال به سرخ و بالاترین انتقال به سرخ) را می‌توان به رنگ سیاه مشاهده کرد.

شناسایی و حذف خطوط فلزی در جنگل لیمان آلفا

برای کاهش تاثیر جذب فلزی در راستای خط دید، خطوط فلزی در ناحیه جنگل پوشانده می‌شوند. برای شناسایی خطوط فلزی ابتدا سیستم‌های لیمان آلفای میرا (DLA) شناسایی و پوشانده شدند.

برای شناسایی DLAها به این نکته توجه می‌شود که این سیستم‌ها با چگالی ستونی $N_{HI} \geq 2 \times 10^{20} \text{cm}^{-2}$ تعریف شده و به وسیله پروفایل‌های خطی جذبی به خاطر پهن شدگی‌های طبیعی دارای بال‌های میرا هستند، شناسایی می‌شوند. این سیستم‌ها نخستین بار توسط ولف و همکارانش در سال 1986 معرفی شدند [8].

از آنجایی که عمق اپتیکی جذب لیمان آلفا در این سیستم‌ها بالا می‌باشد، فوتون‌های پیوستار اختروش در نزدیکی مرکز خط به طور کامل جذب خواهند شد. ابرهای لیمان آلفا میرا مشابه با کهکشان‌های قرص‌گونه و غنی از گاز هستند، که تحت زاویه تصادفی در راستای خط دید ما قرار گرفته‌اند. خطوط جذبی عناصر سنگین (فلزات) نیز مطابق با انتقال به سرخ این سیستم‌ها در طیف وجود دارند که دارای فراوانی از مرتبه یک به ده درصد خورشید هستند. بنابراین DLAها بیانگر مراحل اولیه شکل‌گیری کهکشان‌ها می‌باشند [9].

جدول 1: فهرست فلزاتی که در جنگل لیمان آلفا پوشانده شده‌اند.

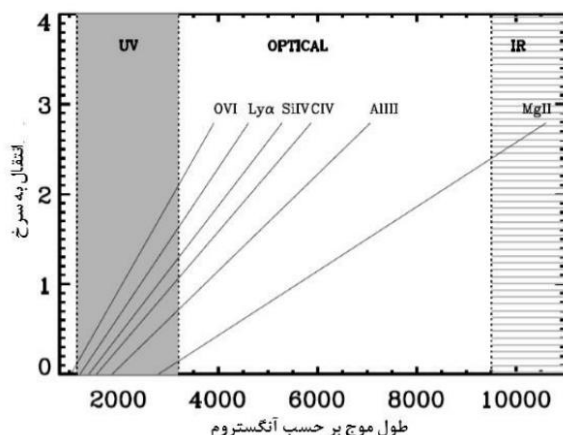
نام یون	طول موج بر حسب آنگستروم	نام یون	طول موج بر حسب آنگستروم	نام یون	طول موج بر حسب آنگستروم
O VI	1031.926	Si II	1260.422	Al III	1854.716
C II	1036.337	O I	1302.169	Al III	1862.790
O VI	1037.617	Si II	1304.370	Fe II	2344.214
N V	1083.990	C II	1334.532	Fe II	2374.461
Fe III	1122.526	C II	1335.708	Fe II	2382.765
Fe II	1144.938	Si IV	1393.755	Fe II	2586.650
Si II	1190.416	Si IV	1402.770	Fe II	2600.173
Si II	1193.290	Si II	1526.707	Mg II	2796.352
N I	1200.710	C IV	1548.195	Mg II	2803.531
Si III	1206.500	C IV	1550.770	Mg I	2852.964
N V	1238.821	Fe II	1608.451	Ca I	3934.777
N V	1242.804	Al II	1670.787	Ca I	3969.591

سپس خطوط جذبی فلزی مطابق با انتقال به سرخ DLA_ که از رابطه 1 محاسبه می‌شود_ شناسایی و ناحیه‌ای به اندازه 60 Km/s در هر سمت خط فلزی پوشانده شد. برای این کار از فلزات در جدول 1 استفاده شد.

$$z_{DLA} = \frac{(\lambda_{abs} - 1215.67)}{1215.67} \quad (1)$$

در ادامه، با توجه به اینکه در انتقال به سرخ‌های بسیار بالا، تقریباً مقدار کمی فلزات در همه‌ی ساختارهای مداخله کننده تزریق شده است. خطوط جذبی که فلزات در طیف اختروش تولید می‌کنند در مقایسه با خطوط هیدروژن آسان‌تر تشخیص داده می‌شوند. روش استاندارد برای شناسایی یک سیستم جذبی در طیف یک اختروش، جستجوی خطوط دوگانه یا چندگانه می‌باشد. در یک طیف نوری معمولی که گستره طول موجی آن 3100-9500 آنگستروم می‌باشد، خطوط دوگانه مختلف، دارای پوشش‌های انتقال به سرخی متفاوتی هستند که در شکل 2 مشاهده می‌شود [10].

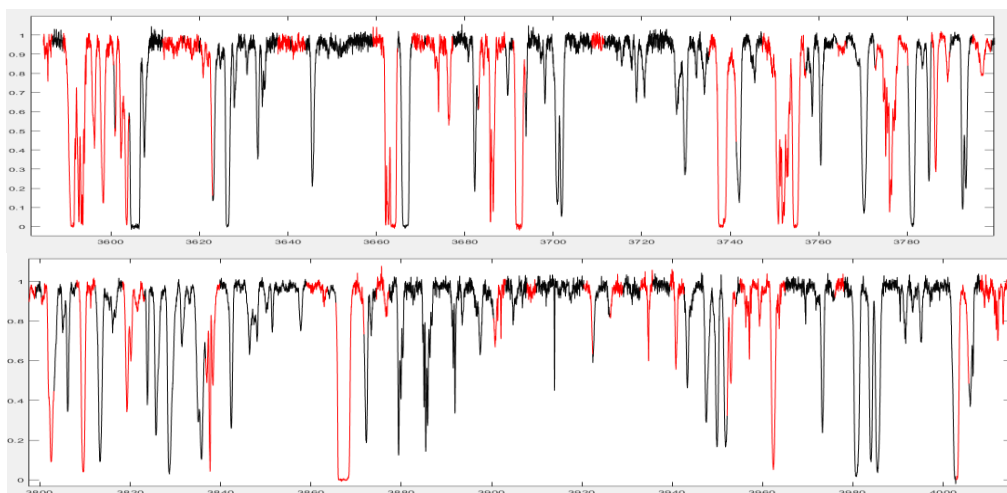
در اینجا از خطوط جذبی دوگانه متداول همچون (SiIV, CIV, MgII, ALIII, FeII, NV) استفاده شده است. این خطوط در سمت قرمز جنگل شناسایی و تمام خطوط فلزی جدول 1 مطابق با انتقال به سرخ_ که از رابطه 2 محاسبه می‌شود_ آنها همانند DLAها پوشانده شدند.



شکل 2: پوشش طول موجی خطوط جذبی دوگانه در نواحی فرابنفش، مرئی و فرورسرخ نشان داده شده است.

در شکل 3 مثالی از اینکه چه مقدار از طیف پوشانده شده است را می‌توان دید. خطوط سیاه نواحی از طیف هستند که پوشانده نشده‌اند و خطوط قرمز نواحی پوشانده شده‌اند. در طیف این اختروش به دلیل حضور کهکشانی دیگر در راستای خط دید و ایجاد DLA، خطوط فلزی زیادی متعلق به DLA در ناحیه جنگل قرار می‌گیرند، که با پوشاندن آنها کسر قابل توجهی از ناحیه جنگل از داده‌ها حذف می‌شوند. در حقیقت طیف اختروش‌های که در آنها سیستم‌های DLA را دارند، پوشش فلزی در ناحیه جنگل بخش قابل توجهی از داده‌ها را حذف می‌کند. در شکل 3 می‌توان دید که بسیاری از خطوط باریک در طیف پوشانده شده‌اند، اما همچنین بسیاری از مناطق جنگل به طور تصادفی با موقعیت‌هایی همپوشانی دارند، که خطوط فلزی مرتبط با جاذب‌های شناسایی شده ممکن است در آن قرار بگیرند [5].

$$z_{abs} = \frac{(\lambda_{abs} - \lambda_{lab})}{\lambda_{abs}} \quad (2)$$



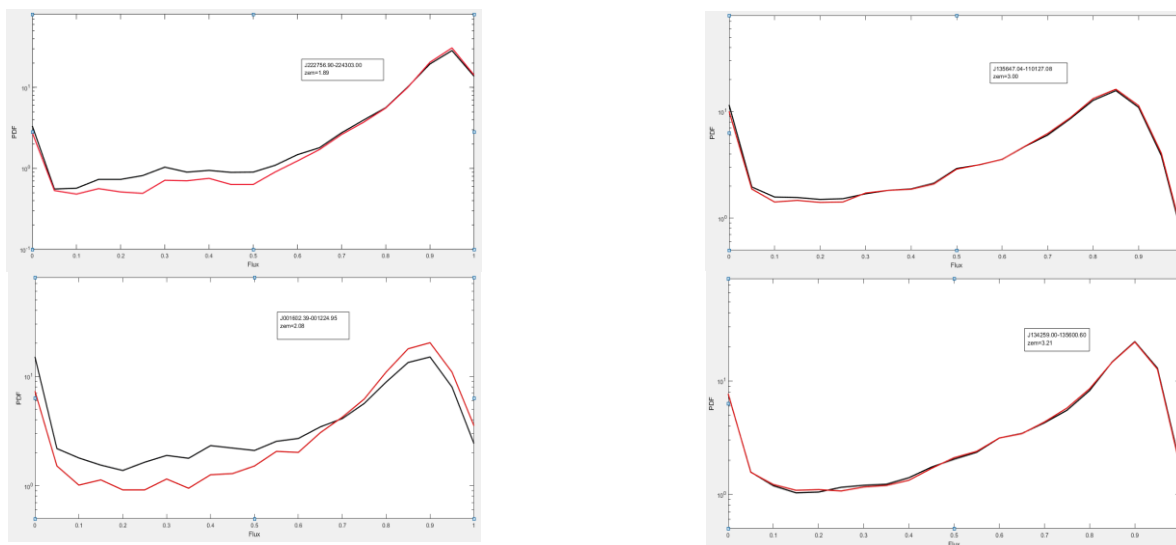
شکل 3: ناحیه جنگل لیمان آلفا برای اختروش HE2217-2818 به همراه مناطقی که به دلیل آلودگی احتمالی فلزی به رنگ قرمز پوشانده شده‌اند.

در ادامه برای تمامی اختروش‌ها تابع توزیع احتمال شار در ناحیه جنگل که خطوط فلزی آنها پوشانده شده‌اند [7] در شکل 4 می‌توان تابع توزیع احتمال شار را برای چهار عدد از اختروش‌های مجموعه به رنگ قرمز مشاهده نمود.

نتیجه گیری

به طور کلی، اثر پوشاندن خطوط فلزی منجر به کاهش تعداد پیکسل‌ها با شار پایین و افزایش تعداد پیکسل‌ها با شار بالا می‌شود. در نتیجه، PDF محاسبه شده پس از پوشاندن فلزات کمی تندتر از PDF محاسبه شده قبل از آن است. این اثر را می‌توان به وضوح در شکل 4 مشاهده کرد.

همانطور که از شکل 4 دیده می‌شود، تاثیر خطوط جذبی فلزی بر روی PDF به انتقال به سرخ اختروش و در نتیجه به میانگین انتقال به سرخ جنگل لیمان آلفا نیز وابسته باشد. این اثر در انتقال به سرخ‌های پایین‌تر جایی که خطوط جذبی لیمان آلفا نسبتاً کمتر وجود دارند، مهم‌تر می‌باشد.



شکل 4: اثر خطوط جذبی فلزی بر تابع توزیع احتمال شار برای چهار عدد از اختروش‌ها در مجموعه 50 تایی. منحنی سیاه PDFها را برای هر یک از اختروش قبل از پوشاندن خطوط فلزی نمایش می‌دهد. منحنی قرمز PDFها بعد از پوشاندن خطوط فلزی در جنگل لیمان آلفا را نمایش می‌دهند.

مرجع‌ها

- [1] F. Calura, E. Tescari, V. D'Odorico, M. Viel, S. Cristiani, T.-S. Kim, J. S. Bolton, "The Lyman α forest flux probability distribution at $z > 3$ ", *MNRAS* **422** (2012) 3019-3036
- [2] S. Clark, "Towards the Edge of the Universe, A Review of Modern Cosmology"; Springer 2nd edition (1999)
- [3] P. Schneider, "Extragalactic Astronomy and Cosmology", Springer 2006
- [4] R. A. C. Croft, D. H. Weinberg, M. Bolte, S. Burles, L. Hernquist, N. Katz, D. Kirkman, D. Tytler, "Towards a Precise Measurement of Matter Clustering: Lyman-Alpha Forest Data at Redshifts 2-4", *ApJ* **581** (2002) 20
- [5] M. Walther, J. Hennawi, H. Hiss, J. O'neil, Kh. G. Lee, A. Rorai, J. O'Meara "A new precision measurement of the small scale line of sight power spectrum of the Ly α forest", *APJ* **852** (2018), 22
- [6] T.-S. Kim, J. S. Bolton, M. Viel, M. G. Haehnelt & R. F. Carswell, "An improved measurement of the flux distribution of the Ly α forest in QSO absorption spectra: the effect of continuum fitting, metal contamination and noise properties", *MNRAS* (2007) **382** 1657
- [7] رضائی دارستانی، سارا؛ « بررسی تابع توزیع احتمال شار طیف 50 اختروش در جنگل لیمان آلفا»؛ همایش ملی نجوم و اختر فیزیک 1398
- [8] H. Mo, F. Van den Bosch & S. White, "Galaxy Formation and Evolution", Cambridge University Press, (2010)
- [9] T. Padmanabhan, "After The First Three Minutes, The Story of Our Universe", Cambridge University Press, (1998).
- [10] F. Hamann, G. Ferland, "Elemental abundances in Qsos: star formation and galactic nuclear evolution at high redshifts", *Astronomy and Astrophysics* **37** (1999) 487-531.