

مقاله نامه بیست و دومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۱-۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۴)

مقایسه روش های PCA و MF-PCA در تعیین طیف پیوسته اختروش در ناحیه جنگل لیمان آلفا

فاطمه طیبی نعیم پور^۱، علیرضا آقائی^۲، حسین فرج الهی^۱

فروغ آریایی نژاد^۲

^۱ گروه فیزیک دانشگاه گیلان

^۲ گروه فیزیک دانشگاه سیستان و بلوچستان

چکیده

طیف اختروش ها به عنوان آزمایشگاه کیهانشناسی است و استخراج اطلاعات کیهانشناسی از آن، بدون تعیین طیف پیوسته اختروش غیرممکن است. در این مقاله به کمک برازش منحنی هموار بر طول موج های بلندتر از خط نشری لیمان آلفا طیف اختروش های SDSS-DR10، روش تجزیه تحلیل مولفه های اصلی PCA و روش تنظیم میانگین شار- تجزیه تحلیل مولفه های اصلی MF-PCA در تعیین طیف پیوسته اختروش مقایسه گردیده است. نتایج برتری روش MF-PCA را نشان می دهد.

خطوط جذبی لیمان آلفا در طول موج های آبی تر از خط نشری لیمان آلفای طیف اختروش، ناحیه ای را ایجاد می کنند که به جنگل لیمان آلفای هیدروژن مشهور است. در واقع جنگل لیمان آلفا سیستم های جذبی با چگالی ستونی هیدروژن خنثی کم تر از $N_{\text{HI}} < 10^{17.2} \text{ atoms/cm}^2$ هستند. تصور بر آن است که جنگل لیمان آلفا در سرخ گرایی های بالا مربوط به مواد نخستین باشد. آنها اطلاعات مهمی درباره محیط میان کهکشانی، دما و چگالی ابرهای هیدروژنی و همچنین اطلاعات جامعی در باره توزیع ماده تا مقیاس های کوچک، ارائه می دهند. تعیین طیف پیوسته اختروش در جنگل لیمان آلفا از اهمیت به سزایی برخوردار است، چرا که بدون تعیین آن، امکان دسترسی به این اطلاعات میسر نمی گردد. روش های متداول برای تخمین طیف پیوسته در ناحیه جنگل لیمان آلفای طیف اختروش چندان رضایت بخش نیستند. بویژه برای اختروش های با انتقال به سرخ بالا که نواحی طیف پیوسته جذب نشده در جنگل لیمان آلفا بسیار کم است، و در طیف های با توان تفکیک پایین که خطوط در هم رفته، طیف پیوسته در ناحیه جنگل به راحتی قابل تعیین نیست.

یکی از راه های یافتن طیف پیوسته در ناحیه جنگل لیمان آلفا، به دلیل وجود همبستگی نسبتا خوب بین دو ناحیه قرمز، طول موج های بلندتر از خط نشری لیمان آلفا و آبی طیف، تخمین با استفاده از طول موج های بلندتر از خط نشری لیمان آلفای اختروش (سمت راست پیک) است. در سال ۲۰۰۵ طیف پیوسته ناحیه جنگل لیمان آلفا یک نمونه ۵۰ تایی اختروش، با استفاده از سمت راست خط نشری لیمان آلفای طیف، به کمک روش آماری تجزیه تحلیل مولفه های اصلی^۱ (PCA) طیف، توسط سوزوکی و همکاران تخمین زده شد [2]. با این حال، روش استاندارد PCA، نویزهای پیکسلی را به حساب نمی آورد، در حالیکه اکثریت اختروش های مشاهده شده در مساحی آسمان دیجیتال اسلون^۲ (SDSS)، نسبت سیگنال به نویز^۳ ($S/N < 3$)

¹ Principal Component Analysis (PCA)

² Sloan Digital Sky Survey (SDSS)

³ signal-to-noise

مقاله نامه بیست و دومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۱-۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۴)

10)، پایینی دارند. در این روش سوزوکی خطای شار مطلق میانگین بالای حدود ۱۰٪ بدست آورد. لی و همکاران در سال ۲۰۱۲ روش تنظیم میانگین شار- تجزیه تحلیل مولفه‌های اصلی^۴ یا به اختصار MF-PCA را ارائه نمودند [1]. در این روش دامنه و شیب برازش پیش بینی شده از روش PCA با استفاده از قیود خارجی بر میانگین شار جنگل لیمان آلفا تصحیح می‌شود.

داده‌هایی که در این مقاله مورد استفاده قرار گرفت از کاتالوگ دهمین انتشار داده اختروش‌ها DR10، از مساحی اسپکتروسکوپی نوسانات باریونی^۵ BOSS، مربوط به SDSS III، با انتقال به سرخ نشری $z_{em} \gtrsim 2.3$ است.

در این تحقیق، ابتدا بر سمت راست خط نشری لیمان آلفا طیف هر اختروش، با ماسک نمودن خطوط جذبی فلزی، یک تابع هموار برازش گردید. سپس به کمک دو مجموعه از مؤلفه‌های اصلی z_1 و z_2 و ماتریس تصویر X که سوزوکی در مقاله خود ارائه داده است [2]، پیش بینی برای شکل طیف پیوسته در کل طیف، C_{PCA} ، بدست آورده شد. سپس از طیف پیوسته PCA، $C_{PCA}(\lambda_{rest})$ ، که بر طیف مشاهده‌ای برازش شده، ابتدا شار عبوری جنگل لیمان آلفا را در طول موج‌های $\lambda_{rest} = 1041 - 1185 \text{ \AA}$ با استفاده از رابطه (۱) استخراج گردید

$$F^{init}(\lambda_{rest}) = f(\lambda)/C_{PCA}(\lambda_{rest}) \quad (1)$$

سپس جنگل لیمان آلفای استخراج شده به قسمتهایی تقسیم گردید که $\lambda_{bin} = [1070 \text{ \AA}, 1110 \text{ \AA}, 1150 \text{ \AA}]$ طول موج ساکن مرکزی هر قسمت است و مقدار میانگین شار $\bar{F}_{bin}^{init}(\lambda_{bin})$ در هر قسمت محاسبه شد. با معرفی نقطه محوری $\lambda_{rest} = 1280 \text{ \AA}$ ، تابع برازشی درجه دومی مطابق رابطه (۲) اعمال تا طیف پیوسته تنظیم شده میانگین شار حاصل گردد

$$C_{MF}(\lambda_{rest}) = C_{PCA}(\lambda_{rest}) \times (1 + a_{MF}\hat{\lambda}_{rest} + b_{MF}\hat{\lambda}_{rest}^2) \quad (2)$$

که a_{MF} و b_{MF} پارامترهای آزاد برای برازش و $\hat{\lambda}_{rest} \equiv \lambda_{rest}/1280 \text{ \AA} - 1$ است. با استفاده از برازش کمترین مربعات^۶ مقادیر a_{MF} و b_{MF} به طریقی تعیین می‌گردد که بهترین برازش را بین میانگین شار استخراج شده $\bar{F}_{bin}^{fit}(\lambda_{bin})$ و قید میانگین شار خارجی $\langle F \rangle(z)$ ، ایجاد کند. برای قید میانگین شار، از تابع دوجمله‌ای توانی برازش شده از اندازه‌گیری میانگین شار که توسط پاریس و همکارانش در سال ۲۰۱۱ ارائه شده [3]، استفاده شد که از رابطه (۳) بدست می‌آید

$$(0.0031 \pm 0.0012) \times (1 + z)^{3.49 \pm 0.31}, \quad z < 3.2;$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_{eff}(z) = \\ (0.0011 \pm 0.0012) \times (1 + z)^{4.21 \pm 0.70}, \quad z \geq 3.2 \end{array} \right. \quad (3)$$

که $\tau_{eff}(z)$ عمق اپتیکی^۷ نامیده می‌شود و با میانگین شار به صورت $\tau_{eff}(z) = -\ln(\langle F \rangle(z))$ رابطه دارد.

نتیجه گیری

در شکل ۱ و برای مقایسه طیف دو اختروش و طیف‌های پیوسته حاصل از دو روش نشان داده شده است. همانطور که از طیف سمت راست به وضوح روشن است، طیف پیوسته حاصل از روش PCA، پیش‌بینی بیش از مقدار مورد انتظار دارد اما نتیجه روش MF-PCA به خوبی مقداری کمتر از آن را

⁴ mean-flux regulated PCA (MF-PCA)

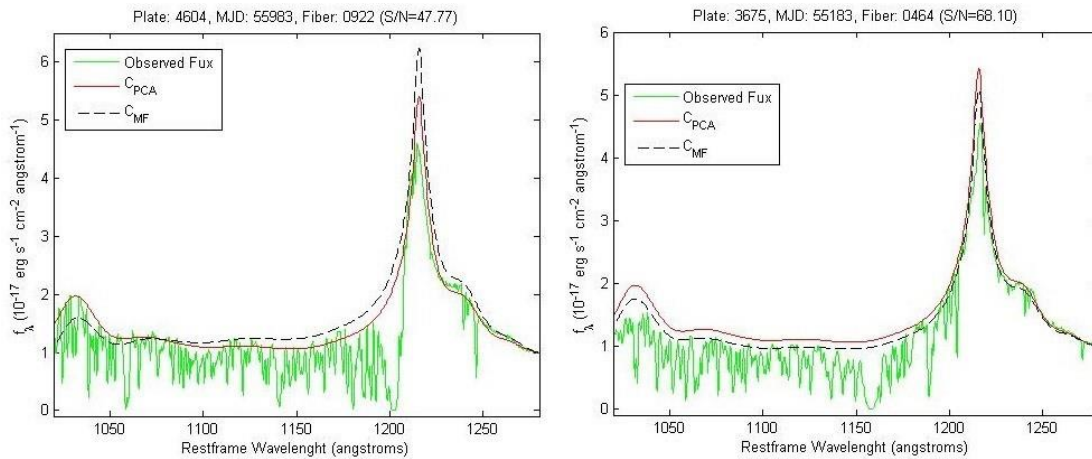
⁵ Baryon Oscillation Spectroscopic Survey

⁶ least-squares-fitting

⁷ optical depth

مقاله نامه بیست و دومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۱-۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۴)

نتیجه داده است. در طیف سمت چپ، پیش‌بینی روش PCA این بار مقداری کمتر از مقدار مورد انتظار دارد که روش MF-PCA باز هم نتیجه بهتری داده است، هر چند که در حوالی خط نشری لیمان بتا هر دو روش نتیجه مناسبی ارائه نداده‌اند. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که نتایج روش MF-PCA از دقت بالاتری برخوردار است که این بهبود در دقت برازش طیف پیوسته، سهم ویژه‌ای در بالا بردن ارزش داده‌های جنگل لیمان آلفا خواهد داشت.



شکل ۱: نمونه‌هایی از تخمین طیف پیوسته اخترش‌های SDSS-DR10، در هر نمودار، شار مشاهده‌ای (سبز)، روش PCA (خط ممتد) و روش MF-PCA (خط چین) نشان داده شده است.

مرجع‌ها

۱. Lee K. G. et al, *The Astronomical Journal*, **Volume 143**, Issue 2, article id. 51 (2012)
۲. Suzuki N. et al, *Astrophys.J.* **618:592-600**, (2005)
۳. Paris, I. et al., *A&A*, **530, A50**, (2011)