

LAMOST 光谱 J152238.11+333136.1 P-Cygni 轮廓分析

屈彩霞, 杨海峰*, 蔡江辉, 荀亚玲

太原科技大学计算机科学与技术学院, 山西 太原 030024

摘要 LAMOST 一期巡天成功获取河外星系光谱超过150 000条, 大样本光谱数据为探索奇异、稀有的天体从而完善现有的天体演化理论提供了必要的条件; 而先进的信息技术为从海量的数据中挖掘这些珍稀样本提供了有效途径。针对采用基于 DoPS 的数据挖掘方法, 从 LAMOST DR5 星系光谱数据获得的离群数据挖掘结果中, 呈现出疑似 P-Cygni 轮廓特征的光谱 J152238.11+333136.1 进行了深入讨论。首先针对该光谱的基本信息、疑似 P-Cygni 轮廓特征以及相应的离群数据挖掘方法进行了简要表述, 光谱在 $H\beta$ 和 $[OIII]\lambda 4860$ 处呈现 P-Cygni 轮廓, 在 $NeIII\lambda 3869$ 和 $HeI\lambda 5874$ 处呈现反 P-Cygni 轮廓; 其次, 对该特征的真实性及其生成机制从以下 4 个角度展开讨论。(1)交叉同源观测。Sloan 巡天 2004 年(相差 11 年)的同源观测, 其光谱上并未呈现对应的特征, 据推测可能是正在进行的演化活动或者光纤定位误差所致;(2)通过分析光谱质量、减天光残差等方法, 分析 P-Cygni 特征是否为观测或数据处理所致。 $NeIII\lambda 3869$ 和 $HeI\lambda 5874$ 处呈现反 P-Cygni 轮廓可信度较低; 同时, 通过比较目标光谱与超级天光, 以及相邻光纤观测到的光谱在对应波长处的光谱特征, 说明存在 P-Cygni 轮廓为减天光过程导致的可能性;(3)光谱子型差异。IRAS 和 WISE 等近红外同源观测, 显示其为 Seyfert 2 型星系, 光学波段发射线强比 $[NII]/H\alpha$, $[OIII]/H\beta$ 显示其为 H II 区, 结合光学、红外测光图像特征, 推测目标可能是两个星系进行并合活动;(4)从导致 P-Cygni 轮廓的物理机制的角度, 分析了由星系并合触发外流、由恒星形成(爆发)电离气体触发的外流以及由 Wolf-Rayet 特征星系的超星风等原因引起的可能性。

关键词 P-Cygni 轮廓; Outflows; 郭守敬望远镜(LAMOST); 离群特征

中图分类号: P114.1 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2020)04-1304-05

引言

LEGAS 是 LAMOST (large sky area multi-object fiber spectroscopic telescope) 工程主要的巡天任务之一, 包括河外星系红移巡天和类星体巡天, 目前第一期巡天任务(5 年)已顺利完成, 成功获取河外天体光谱数达 150 000 余条^[1]。目前利用 LAMOST 河外星系、类星体光谱数据进行的科学研究主要集中在两个方面:(1)与 LAMOST 科学任务一致的红移测量、星系/类星体分类识别、星系对等方面的研究^[2]。比如 Zhao 等利用 LAMOST 完备小天区的星系光谱测量了星系的光度函数^[3]; Wang 等利用线指数对 LAMOST 河外星系光谱进行了分类, 与星系形态分类具有较好的一致性^[4]; 等等。(2)珍稀、奇异的天体光谱发现/证认, 这些样本候选体对完善现有星系乃至宇宙学理论具有重要的科学意义。比

如 Shi 等针对 LAMOST DR1 星系光谱中存在的双峰窄发射线结构光谱进行了系统搜寻及分析^[5]; 此外 HST 和 LAMOST 用于发现双 AGN 候选体 E+A 星系、星系对等^[6]。从海量的巡天光谱中, 发现并分析证认这些特殊性质的目标天体, 可以为相应的科学研究提供重要的候选体样本, 从而有利于完善现有的星系以及宇宙的形成和演化理论。

本工作讨论 LAMOST 河外星系光谱中具有稀有特征的星系光谱: LAMOST J152238.11+333136.1, 针对该星系光谱中呈现出的疑似 P-Cygni 轮廓特征, 结合现有的文献及测光图像, 分析该目标区别于一般星系的特征。

1 LAMOST J152238.11+333136.1 基本信息

1.1 离群数据挖掘

收稿日期: 2019-08-03, 修订日期: 2019-12-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(U1931209, U1731126, 61602335), 山西省重点研发计划项目(201803D121059)资助

作者简介: 屈彩霞, 1995 年生, 太原科技大学计算机学院硕士研究生 e-mail: qucaixia@stu.tyust.edu.cn

* 通讯联系人 e-mail: hfyang@tyust.edu.cn

LEGAS 巡天已成功获取超过 150 000 条河外星系光谱数据, 为发现、探索稀有、珍贵的光谱提供了数据条件, 而先进的数据挖掘方法为找到这些稀有数据提供了有效途径^[7-8]。

光谱 LAMOST J152238.11+333136.1 是本课题组之前作 DoPS 方法获得的离群数据集中发现的^[9]。DoPS 方法旨在系统地搜寻 LAMOST DR5 中具有双峰发射线轮廓的光谱, 通过采用相关性空间对已标记的双峰数据集进行特征提取, 并采用 SVM 获得分类阈值, 针对满足该阈值的后 5 000 条光谱进行人眼认证, 发现光谱 J152238.11+333136.1 上呈现出了 P-Cygni 稀有特征, 因此特别选择该光谱展开讨

论。

1.2 LAMOST J152238.11+333136.1 基本信息

LAMOST J152238.11+333136.1 位于北天高银纬区域, 于 2015-04-21(农历初三, 暗月夜)观测获得光谱[如图 1(a)所示]。结合 LAMOST 观测所得光谱的属性, 该目标光谱基本信息为: 分辨率 $R \approx 1\,800$; 波长范围约为 $3\,800 \sim 9\,000 \text{ \AA}$; 视宁度: 2.70 arcsec ; 红移 $z: 0.128\,878$ (pipeline 高估); 类型为 GALAXY; 赤经 RA 为 $230.658\,805\,8$; 赤纬 DEC 为 $33.526\,699$ 。

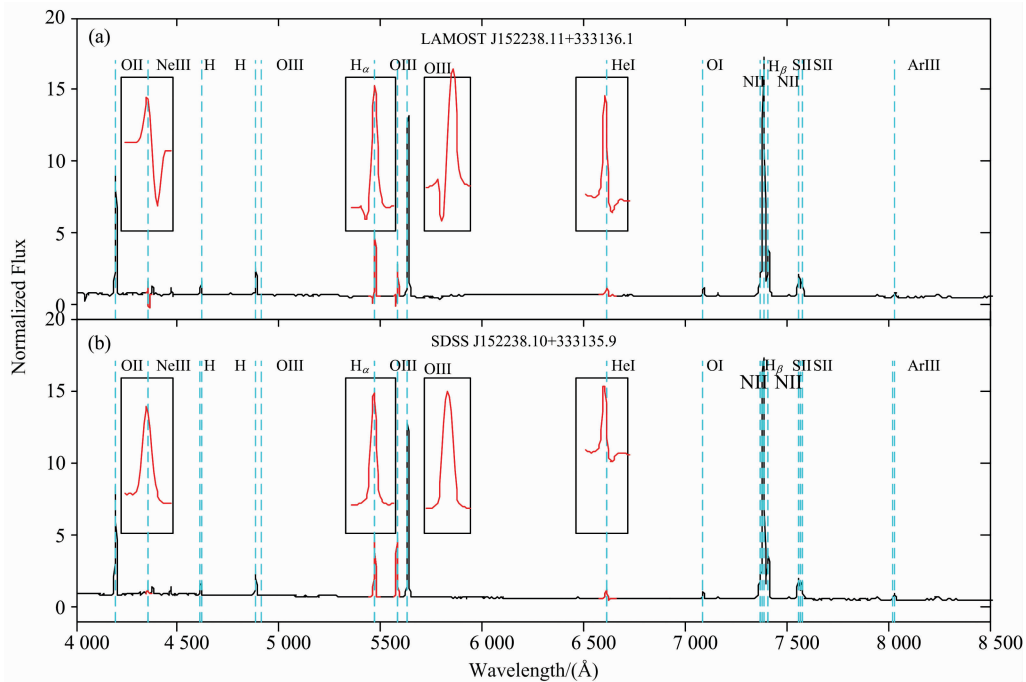


图 1 LAMOST J152238.11+333136.1 与 SDSS 同源星系光谱图

Fig. 1 The same source galaxy spectra of LAMOST and SDSS

1.3 P-Cygni 特征

P-Cygni 轮廓是指在光谱上呈现发射线, 并伴随相邻吸收线的特征, 最早发现于天鹅座的一颗特殊恒星, 其发射线无位移, 吸收线向蓝端位移, 其形状特征也酷似天鹅, 因此也称作“天鹅 P 谱线轮廓”。从光谱[图 1(a)]上可以看出, 该光谱除了蓝端边界区域质量比较低外, 其他部分尤其是呈现 $H\alpha$, $H\beta$, $[OIII]$, $[NII]$ 等几个发射线特征的波长段, 其光谱质量较高, 且观测日期是暗月夜, 视宁度较好。因此, 光谱上呈现的天鹅 P 谱线轮廓是值得深入探讨的。由图 1(a)可知:

(1) 该光谱上 $H\beta$ 和 $[OIII]\lambda 4860$ 处呈现明显的 P-Cygni 形状, 其光谱红移经校正后为 $z: 0.125\,4$, 其吸收线的红移 $z: 0.124\,5$, 二者相差 $0.000\,9$;

(2) 该光谱上 $Ne\ III\ \lambda 3869$ 和 $He\ I\ \lambda 5874$ 处呈现反 P-Cygni 形状, 其光谱红移经校正后为 $z: 0.125\,4$, 其吸收线的红移, 前者为 $z_1: 0.126\,6$, 后者为 $z_2: 0.128\,1$, 前后二值不一致。

2 P-Cygni 特征分析

在 LAMOST 当前低分辨率星系光谱上, 可能导致出现 P-Cygni 形状的原因有两种。一是真 P-Cygni 轮廓, 反映着目标星系正经历着重要的活动; 二是假轮廓, 出现假轮廓主要是由噪声、数据处理残差等造成的。因此, 从以下 4 个角度对该星系呈现的特征进行分析。

2.1 SDSS 同源观测

美国 Sloan 巡天对该星系也进行了观测, 我们通过星表交叉, 交叉半径为 $3''$, 得到了一条同源光谱, 如图 1(b)所示。在该光谱中, $He\ I\ \lambda 5874$ 处特征与 LAMOST 光谱特征一致, 存在一个反 P-Cygni 轮廓, 但是经检测, 该偏红的吸收是其右侧相邻的 NaD 吸收所致。在其他区域, 特别在与 LAMOST 特征相对应的 $H\beta$, $[OIII]\lambda 4860$ 等区域, 均未呈现明显的 P-Cygni 轮廓。

特征不一致的原因, 我们分析可能有以下几条:

(1) 首先排除光谱质量问题。该星系由 SDSS 和 LAM-

OST 两次观测 $g/r/i$ 波段的信噪比较高, 分别为 (21.20/22.82/20.99), (23.32/47.92/64.95), 并且从光谱上看, 出现 P-Cygni 特征的位置噪声毛刺也较少;

(2) 同源交叉半径为 3", 实际两次观测目标的坐标差异比 3" 更小, 但是考虑到光纤定位的精度问题, 并且该目标是

face-on 的展源近邻星系, 因此, 存在两次观测定位到星系不同位置的可能;

(3) 观测时间, SDSS 和 LAMOST 观测时间分别是: 2004.04.23, 2015.04.21, 二者相隔 11 年, 因此, 目标星系有可能出现导致光谱呈现 P-Cygni 轮廓的喷流 flow 活动。

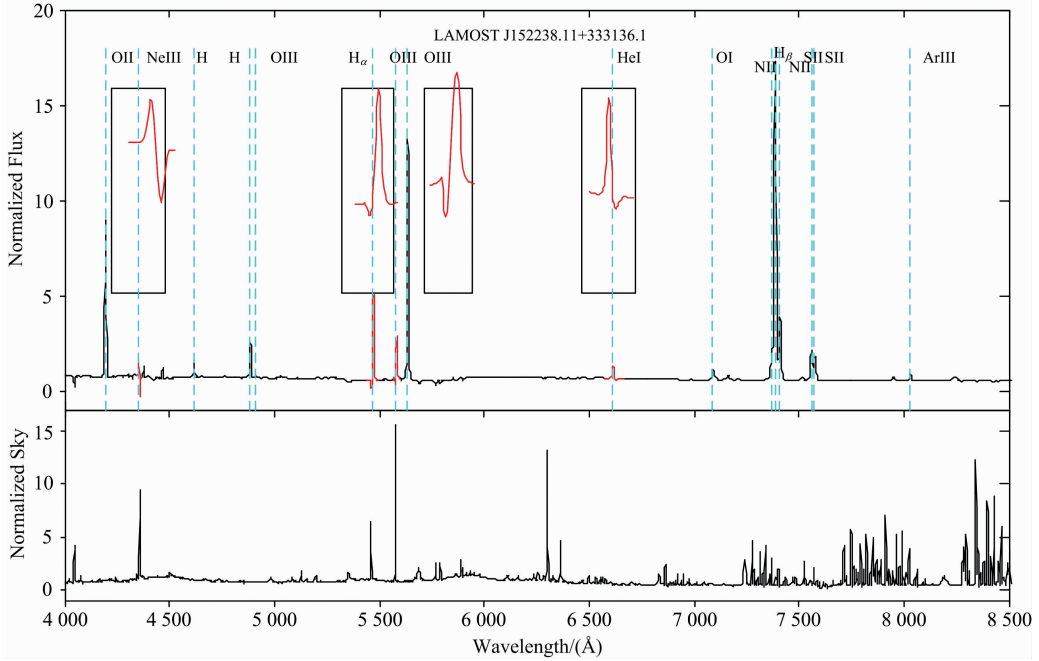


图 2 LAMOST J152238.11+333136.1 光谱与超级天光

Fig. 2 The spectrum of LAMOST J152238.11+333136.1 and the super sky

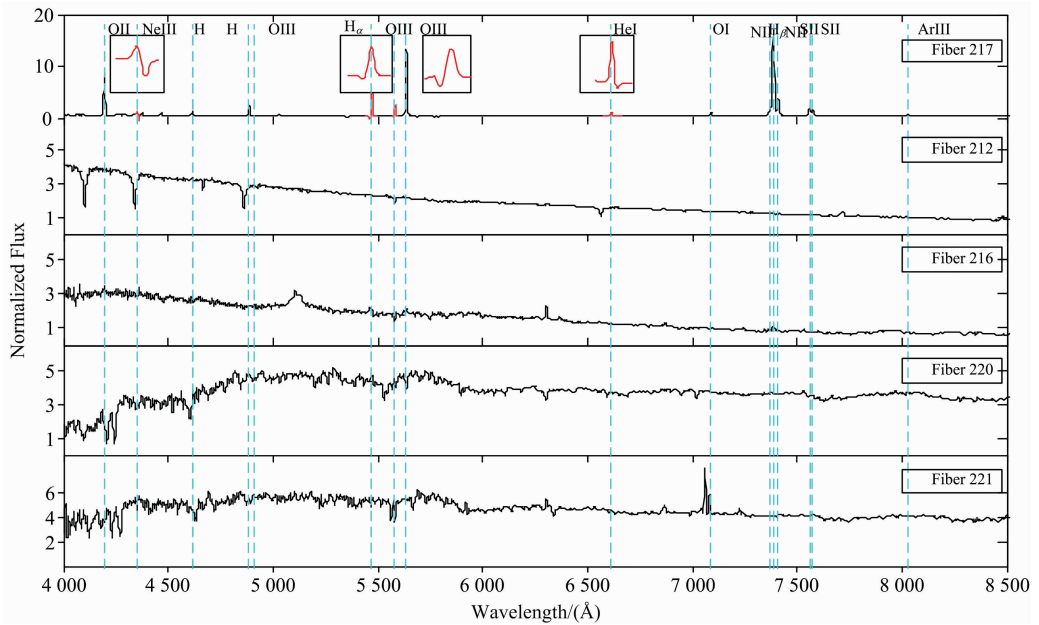


图 3 邻近光纤光谱

蓝色虚线所示的特征线与第一条光谱红移保持一致

Fig. 3 The spectra observed by the adjacent fibers

The characteristic line (blue dotted line) is consistent with the redshift of the first spectral line

2.2 天光残差分析

天光背景的扣除是光纤光谱数据处理的一个重要环节, 天光模型的质量是影响减天光精度的主要因素之一^[10-11]。因此, 由于参与形成 P-Cygni 轮廓的像素点较少, 减天光数据处理过程也可能导致目标光谱上呈现类似形状。

图 2 显示了目标光谱与超级天光的对应情况, 可以看出, 天光光谱中 $\lambda 5462.6$ 和 $\lambda 5576$ 两条强发射线正好在 $H\beta$ 和 $[O III]$ 附近偏左的位置, 因此, 如果减天光过程扣除过多, 是很可能造成图中 P-Cygni 形状的。同时, 由于天光光谱红端特征比较密集, 关于天光扣除的研究也比较多, 从而对 LAMOST 光谱而言, 红端的扣除精度比蓝端要高, 因此, 由天光残差导致呈现该特征的可能性比较高。

我们对邻近光纤的光谱情况进行了检查, 如图 3 所示。可以看出, 邻近光纤的光谱在对应的位置未发现疑似 P-Cygni 的形状, 从侧面验证了该天区的超级天光构造质量。

2.3 目标星系类型

对于该目标, 通过交叉 SIMBAD 以及查阅相关文献, 发现其可能的类型有以下几种:

(1) SDSS 星表给出星系的子型是 STARBURST, 通过计算线强比 $[N II]/H\alpha$, $[O III]/H\beta$, LAMOST 和 SDSS 观测的目标光谱在 BPT 图中的位置如图 4 所示。可看出两者类型基本一致, 处于 H II 区与混合区的临界位置。

(2) 该目标由 IRAS, WISE 近红外观测, 给出的类型是 Seyfert 2 型星系^[12]; 其类型与利用光学光谱测量的类型不一致, 我们推测可能是合理的, 具体分析见小节 2.4。

(3) 在文献[13-14]中, 将该目标归类为 Wolf-Rayet 特征星系, 即大质量恒星在氢燃烧阶段将其外壳以超星风形式损失掉而暴露出来的星核。Wolf-Rayet 星是恒星特征, 因此文献[14]中认为只是观测到了星系的部分区域。

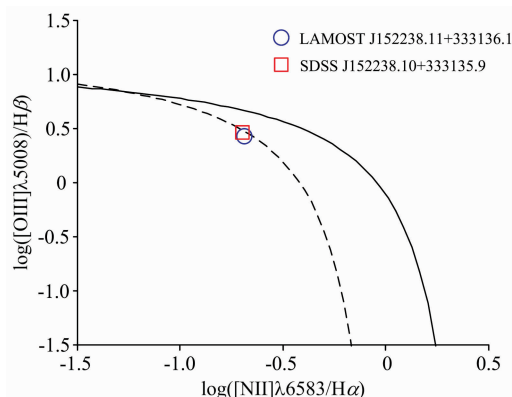


图 4 目标星系的 BPT 分类

Fig. 4 The BPT classification of the target

2.4 物理机制分析

若排除掉数据处理因素, 导致低分辨光谱中呈现 P-Cygni 轮廓的主要原因是目标天体正在经历的活动。对于恒星光

谱中出现该特征的主要物理机制是该恒星壳层出现的星风, 导致光谱吸收线部分出现了偏移; 而对于河外星系光谱而言, 主要是正在发生的喷流作用(分 outflow 外流和 inflow 内流两种)导致吸收线部分出现蓝移或红移。

排除 $Ne III \lambda 3869$ 的特征基本不可信外, $H\beta$ 和 $[O III] \lambda 4860$ 两个波长处的 P-Cygni 轮廓若为真, 则其背后的物理机制可能是:

(1) 由星系并合过程引发的外流所致。我们推测这种可能是比较大的, 文献[12]在超亮近红外星系星表中, 记载着该目标经历着并合活动; 图 5 显示了 SDSS 和 2MASS 的测光图像, 从光学图像(a)和近红外图像(b)差异上, 可以推测可能存在两个叠加的源, 而光学图像的右边可能存在一个不太明显的轮廓。这也可以解释前文光学光谱的类型和近红外光谱的类型不一致的原因。

(2) 由恒星形成(星爆)星系的电离气体引发的外流所致。文献[15]记载着该源的恒星形成活动引发的外流情况, 这与光学光谱给出的 STARFORMING/STARBURST 类型结论一致, 因此不能排除这个可能。

(3) Wolf-Rayet 星的超星风所致。虽然文献[14]的 Wolf-Rayet 星系星表中有记载, 但是在光学光谱中未发现该星明显的特征, 因此, 这种可能性不高。

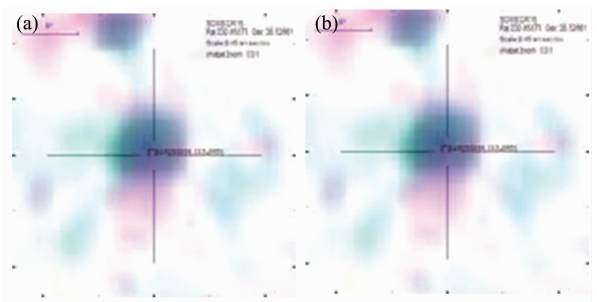


图 5 SDSS 和 2MASS 测光图像

Fig. 5 The photometric image from SDSS and 2MASS

3 结 论

LAMOST J152238.11+333136.1 是海量星系光谱数据离群挖掘结果中特征比较特殊的一条光谱, 光谱上在 $H\beta$, $[O III] \lambda 4860$ 等波长处呈现稀有的 P-Cygni 轮廓, 反映了该观测目标及观测时刻呈现出的较稀有的现象。由于星系自身活动的相关特征、观测技术手段限制、光谱分辨率等因素, 在河外星系光谱中出现 P-Cygni 轮廓的比例非常低, 说明了光谱 LAMOST J152238.11+333136.1 的稀有程度。从 SDSS 同源观测、超级天光残差、星系子类型差异、物理机制等角度, 通过分析现有文献、测量特征线强度比、结合图像特征, 对该 P-Cygni 轮廓的真实性、背后的物理性质等进行了详细讨论。

References

- [1] Luo A L, Zhao Y H, Zhao G, et al. *Research in Astronomy and Astrophysics*, 2015, 15(8): 1095.
- [2] Torres-Zafra J, Cellone S A, Buzzoni A, et al. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2018, 474(3): 3162.
- [3] Zhao P, Wu H, Xu C K, et al. *Research in Astronomy and Astrophysics*, 2019, 19(8): 113.
- [4] Wang L L, Luo A L, Shen S Y, et al. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2017, 474(2): 1873.
- [5] Shi Z X, Comte G, Luo A L, et al. *Astronomy & Astrophysics*, 2014, 564: A89.
- [6] Yang H F, Luo A L, Chen X Y, et al. *Research in Astronomy and Astrophysics*, 2015, 15(8): 1414.
- [7] Wang Y, Wang X, Wang X L. *A Spectral Clustering Based Outlier Detection Technique. Machine Learning and Data Mining in Pattern Recognition. Springer International Publishing*, 2016. 15.
- [8] Zhang J, Yu X, Li Y, et al. *Knowledge-Based Systems*, 2016, 99: 1.
- [9] Qu C, Yang H, Cai J, et al. *IEEE Access*, 2019, 7: 106139.
- [10] Yang Yuqing, Cai Jianghui, Yang Haifeng, et al. *Expert Systems with Applications*, 2020, 139: 112846.
- [11] Bai Z R, Zhang H T, Yuan H L, et al. *Research in Astronomy and Astrophysics*, 2017, 17(9): 91.
- [12] Veilleux S, Meléndez M, Sturm E, et al. *The Astrophysical Journal*, 2013, 776(1): 27.
- [13] Brinchmann J, Kunth D, Durret F. *Astronomy & Astrophysics*, 2008, 485(3): 657.
- [14] Chen P S, Yang X H, Liu J Y, et al. *The Astronomical Journal*, 2018, 155(1): 12.
- [15] Arribas S, Colina L, Bellocchi E, et al. *Astronomy & Astrophysics*, 2014, 568: A14.

P-Cygni Profile Analysis of the Spectrum: LAMOST J152238.11 + 333136.1

QU Cai-Xia, YANG Hai-feng*, CAI Jiang-hui, XUN Ya-ling

School of Computer Science and Technology, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030024, China

Abstract LAMOST first-tage regular survey has been successfully observed more than 150 000 galaxy spectra, which will provide necessary data for mining the precious and rare objects to improve the existing cosmogony theories. The advanced information technologies will provide effective tools to mine these rare samples from the vast amounts of spectral data. In this paper, the spectrum J152238.11+333136.1 is particularly chosen from LAMOST DR 5 by using the outlier mining method based on the DoPS method and intensively discussed the rare characteristics of P-Cygni profiles. Firstly, the basic information, the description of suspected P-Cygni profiles and the related data mining methods are introduced briefly. The P-Cygni shapes are shown in the wavelength of $H\beta$ and $[O\ III]\lambda 4860$, and inverted P-Cygni shapes are shown in the wavelength of $Ne\ III\lambda 3869$ and $He\ I\lambda 5874$. Secondly, the authenticity of the feature and its generation mechanism are discussed from the following four perspectives. (1) Homologous observation. The homologous observation of Sloan survey in 2004 (11 years before) did not present corresponding features on the spectrum, which might be due to ongoing evolutionary activities or fiber positioning errors; (2) By analyzing the spectral quality and reducing the residual of the skylight, it is analyzed whether the P-Cygni features are caused by observations or data processing. The inverted P-Cygni shapes in $Ne\ III\lambda 3869$ and $He\ I\lambda 5874$ have lower credibility. Meanwhile, by comparing the target spectrum with the super skylight, and the spectral characteristics of the spectrum observed by the adjacent fibers, the possibility that the P-Cygni profiles is caused by the sky background reduction process is illustrated; (3) Spectral sub-type differences. Near-infrared homologous observations such as IRAS and WISE showed that it is a Seyfert 2 galaxy. However, the emission line intensity ratio $[N\ II]/H\alpha$, $[O\ III]/H\beta$ shows that it is H II region. Considering the characteristics of optical and infrared photometry images, we infer that the two galaxies of the target may be on going the merging activities; (4) From the perspective of the physical mechanism that leads to the P-Cygni profiles, the possibility of the outflows triggered by galaxies, the outflows triggered by the ionized gas of star formation (star burst), and the super-wind by the Wolf-Rayet galaxies are carefully analyzed.

Keywords P-Cygni profiles; Outflows; LAMOST; Outlier characteristics

* Corresponding author

(Received Aug. 3, 2019; accepted Dec. 22, 2019)