

# 发现迄今为止最遥远的明亮类星体J0313-1806

赵雪杉<sup>1,2\*</sup>, 邓舒夏<sup>1</sup>, 苟利军<sup>1,2\*</sup>

1. 中国科学院国家天文台, 北京 100012;

2. 中国科学院大学天文与空间科学学院, 北京 100049

\* 联系人, E-mail: [xszhao@nao.cas.cn](mailto:xszhao@nao.cas.cn); [lgou@nao.cas.cn](mailto:lgou@nao.cas.cn)

2021年1月20日发表在*Astrophys J Lett*上的一项研究宣布<sup>[1]</sup>, 研究人员发现了迄今为止最古老、最遥远的类星体J0313-1806, 它距离我们约131.5亿光年, 在大爆炸后约6.7亿年时形成(距离和时间都与宇宙学参与有关, 此处均采用Planck卫星的最新结果<sup>[2]</sup>), 中心黑洞的质量为太阳质量的16亿倍, 挑战了现有的黑洞形成理论. 研究人员在类星体中发现了强烈的外流, J0313-1806因此成为研究类星体对宿主星系影响的绝佳实验室.

## 1 类星体的发现

20世纪60年代, 类星体与脉冲星、星际有机分子、宇宙微波背景辐射一起, 被并称为天文学的四大发现, 但类星体的发现过程充满了曲折. 追溯至20世纪50年代, 随着雷达探测技术被应用于天文学领域, 射电天文学迅速发展壮大. 英国剑桥大学的天文学家们将发现的射电辐射源汇总成初版的星表, 随即又补录了更多射电源, 刊登了第三版剑桥射电源星表(third Cambridge catalogue of radio sources, 3C), 在这一版本的星表中, 天体编号以3C作为前缀<sup>[3]</sup>. 实际上, 虽然当时无人知晓, 但这一版星表中已经包含了许多类星体. 1960年, 美国天文学家艾伦·桑德奇(Allan Sandage)等人<sup>[4]</sup>在帕洛马天文台发现了3C 48的光学对应体, 虽然它看上去像普通恒星, 但光谱中却具有普通恒星所没有的宽发射线. 此后, 西里尔·哈泽德(Cyril Hazard)用位于澳大利亚帕克斯的64米射电望远镜(Parkes Telescope)准确地测量了3C 273的位置, 同样发现了一些无法认证的宽发射线. 1963年, 马尔滕·施密特(Maarten Schmidt)<sup>[5]</sup>利用帕洛马天文台的5米口径光学望远镜仔细地观测了3C 273, 记录了它的发射线, 并最终发现它们实质上就是红移了的氢巴尔默线. 施密特将3C 273的红移测定为 $z = 0.158$ , 证实了它属于一种位于河外的新天体, 至此正式确定了类星体的存在.

类星体辐射产生区域小、距离远, 因此看起来类似恒星, 从而得名类星体(它的英文名quasar是“quasi-stellar radio source”的缩写), 但类星体的本质并不是恒星, 而是活动星系核(active galactic nuclei, AGN). 类星体的典型光度可以达到 $10^{46} \text{ erg s}^{-1}$ , 恒星核聚变反应不足以提供如此庞大的能量.

**赵雪杉** 中国科学院国家天文台在读博士研究生, 研究方向为黑洞基本性质测量以及高能天体物理.



**苟利军** 中国科学院国家天文台研究员, 中国科学院大学天文与空间科学学院教授. 《中国国家天文》杂志执行主编, 北京天文学会副理事长. 主要研究兴趣为高能天体物理, 包括黑洞、引力波和伽马射线暴等.



1964年, 雅科夫·泽尔多维奇(Yakov Zeldovich)和伊戈尔·德米特里耶维奇·诺维科夫(Igor Dmitriyevich Novikov)<sup>[6]</sup>以及埃德温·萨尔皮特(Edwin Salpeter)<sup>[7]</sup>分别提出, 类星体的中心引擎可能是吸积气体的超大质量黑洞. 1980年, 人们在3C 273周围发现星云状物质, 也支持了“类星体本质是活动星系核”这一说法<sup>[8]</sup>.

类星体的结构可以用活动星系核的统一模型来表示<sup>[9]</sup>, 它的中央是一颗超大质量黑洞, 黑洞周围的气体、尘埃等物质在引力的作用下不断落入黑洞, 在黏滞的作用下, 物质向内绕进而角动量向外转移, 最终在黑洞周围形成一个巨大的吸积盘. 在这个过程中, 吸积盘主要通过黑体辐射机制产生从紫外到近红外波段的极强辐射, 盘中光子和吸积盘周围的

高能电子发生逆康普顿散射,从而产生X射线辐射.在吸积盘之外,存在着由气体云团块构成的宽线区,通过光致电离等机制产生宽发射线.类星体的光谱中可能包含了很强的宽发射线,如H $\alpha$ ( $\lambda$ 6563)、Ly $\alpha$ ( $\lambda$ 1216)、MgII( $\lambda$ 2798)、CIV( $\lambda$ 1549)等,但对于早期的类星体来说,这些发射线可能红移出目前的可观测范围.在宽线区外侧还存在一个大尺度的尘埃环,它由气体和尘埃组成,主要在红外波段产生辐射.在宽线区和尘埃环之外的是窄线区,此处会产生窄的允许线和禁线.部分类星体中心还存在壮观的喷流,喷流中的高能电子在磁场中会通过同步辐射发射射电辐射,同步辐射场与高能电子再一次进行逆康普顿散射,又能产生更高能的X射线或伽马射线辐射.

## 2 高红移类星体

目前已知类星体的红移范围跨越了0.05~7.5的广阔区域,是研究宇宙各时期演化历程的绝佳媒介.在天文领域,红移不仅代表了源和我们之间的距离,也等同于该源的年龄.高红移类星体的存在说明类星体是目前所能观测到的最遥远、最古老的天体之一.宇宙大爆炸之后约38万年时,宇宙温度下降到3000 K,原来一直处于自由状态的电子与离子结合成为中性原子,光子得以自由穿行,从而形成了我们现在看到的宇宙微波背景辐射,此时还没有恒星诞生,所以宇宙就此进入了漫长的黑暗时期.之后,随着时间的推移和宇宙空间的膨胀,宇宙早期量子扰动所产生的微小密度扰动被逐渐放大,在引力的作用下,宇宙间的密度不均匀性逐渐增强,高密度区域坍缩形成恒星,聚集形成星系,至此宇宙中的第一代恒星和星系形成,它们发出的强烈紫外辐射电离了周围的氢原子(HI),重新点亮了整个宇宙,宇宙黑暗时期结束,步入再电离时期.目前的观测表明,再电离时期可能发生在红移 $z=6\sim 12$ 范围(比如,Planck卫星的最新数据给出再电离红移为 $7.50\pm 0.82$ <sup>[2]</sup>),因此研究高红移类星体对于探索宇宙再电离时期的历史以及宇宙演化具有重要意义.

搜寻高红移类星体的关键在于多波长宽带观测,离不开光学、红外巡天项目的通力协作.由于类星体在光学成像中显示出点源的特征,天文学家在观测数据中首先可以排除弥散源.此外,类星体具有较强的紫外和光学辐射,天文学家可以通过颜色判据区分恒星和类星体.在过去,斯隆数字巡天(Sloan Digital Sky Survey, SDSS)是发现类星体样本的主力.它是目前最成功的巡天项目之一,使用了位于新墨西哥州阿帕奇天文台(Apache Point Observatory)的2.5米口径望远镜,在r、i、u、z、g五个光学波段进行观测.暗能量光谱仪遗产成像巡天(Dark Energy Spectroscopic Instrument Legacy Imaging Survey)是继SDSS之后的下一代宇宙学光谱巡天项目,它由暗能量相机遗产巡天(Dark Energy Camera Legacy Survey, DECaLS)、北京-亚利桑那天区巡天(Beijing-Arizona Sky Survey, BASS)及梅奥尔z-波段遗产巡天(Mayall z-band Le-

gacy Survey, MzLS)这三个项目组合而成,使用位于基特峰国家天文台(Kitt Peak National Observatory, KPNO)的梅奥尔望远镜(Mayall Telescope)和2.3米巴特·博克望远镜(Bart Bok Telescope)以及位于托洛洛山美洲天文台(Cerro Tololo Inter-American Observatory, CTIO)的布兰科望远镜(Victor M. Blanco Telescope),共同在g、r、z三个光学波段对北半球可见的约14000平方度的河外天区进行成像.

然而,对于高红移类星体而言,它们主要的发射线很可能已经频移到了近红外波段,传统的光学观测变得力不从心,若想对它们进行光谱认证,还需要联合红外望远镜的观测.典型的红外波段巡天项目包括美国的广域红外巡天探测者(Wide-field Infrared Survey Explorer, WISE)、英国的UKIRT红外深空巡天项目(UKIRT Infrared Deep Sky Survey, UKIDSS)、VISTA半球巡天(VISTA Hemisphere Survey, VHS)以及日本的超广角照相机(Hyper Suprime-Cam, HSC)昴星团战略项目(Subaru Strategic Program Survey, SSP)巡天(HSC-SSP)等.它们在观测天区、观测波段等方面相互印证、互为补充,为搜寻高红移类星体做出了卓越贡献.

WISE在4个红外波段(W1~W4,中心波长分别为3.4、4.6、12、22  $\mu\text{m}$ ,其中W1和W2位于中红外范围)观测天空.UKIDSS使用的设备是位于夏威夷莫纳克亚山的英国红外望远镜(United Kingdom Infrared Telescope, UKIRT)的广域相机.UKIDSS由5个项目组成,涵盖了滤光片Z、Y、J、H、K和H $_2$ 的各种组合.它的观测范围横跨了整个北天区的高低银纬,覆盖了7000余平方度的天区,K波段极限星等最低可达到约23 mag.2011年,天文学家在UKIDSS的第八次数据释放中首次发现了红移超过7的类星体ULAS J1120+0641( $z = 7.085$ ).与之相对比,VHS的观测范围是整个南天区半球约20000平方度的天区.它主要利用了欧南台位于智利的帕瑞纳天文台(Cerro Paranal Observatory)的天文可见光及红外巡天望远镜(Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy, VISTA).VISTA上配置了一台视场直径1.65°的近红外相机、5个宽带滤光片(Z、Y、J、H、Ks)和一个1.18  $\mu\text{m}$ 的窄带滤光片.HSC-SSP配套使用5个宽带滤光片(g、r、i、z、y)和4个窄带滤光片,沿天赤道方向可观测1200平方度的天区,r-波段极限星等达到约27 mag.红移 $z = 7.07$ 的类星体HSC J124353.93+010038.5就是由该项目首次发现的.

此外,部分被挑选出来的高红移类星体候选体的视星等是暗弱的,因此使用诸如8.2米的昴星团望远镜、10米级的Keck望远镜等大型望远镜进行后续观测也是尤为重要的.

仰赖天文观测设备的建设和各类巡天项目的开展,类星体样本库逐渐充盈,高红移类星体接连浮出水面.2015年,由北京大学吴学兵教授领导的国际合作团队<sup>[10]</sup>,利用云南丽江的2.4米望远镜发现了一个红移 $z = 6.3$ 的类星体SDSS J010013.02+280225.8.这也是首次利用中小型观测设备捕捉到宇宙极早期类星体.经过不懈努力,目前人们已经发现了

50余个红移大于6.5的类星体样本<sup>[11-20]</sup>。但那些更古老的类星体仍然难以被捕获。在J0313-1806发现之前,红移大于7的类星体样本仅有6个<sup>[11,14,16-20]</sup>,红移超过7.5的类星体仅发现了两例(ULAS J1342+0928,  $z = 7.54$ ; J100758.264+211529.207,  $z = 7.515$ )。这是由多种因素共同造成的。首先,类星体的空间密度向高红移快速下降,这些类星体需要依靠大面积的深度巡天。其次,在红移达到6.5以上时,搜寻类星体所依赖的尘埃发射线通常将被红移到近红外波长,我们不仅需要光学波段的多色测光数据,还需要红外波段的高精度成像和高分辨率光谱探测。

这个团队综合了包括DESI Legacy Imaging Survey、VHS、WISE在内的多个巡天项目获得的数据集(图1)。为了精确限制类星体的红移,此项工作还利用了阿塔卡玛毫米/亚毫米波阵列望远镜(Atacama Large Millimeter/sub-millimeter Array, ALMA)对158  $\mu\text{m}$ 处CII精细结构线的观测(图2)。ALMA由66架天线构成,地处智利北部查南托高原阿塔卡玛沙漠的拉诺德查南托天文台,海拔5000 m以上,它们可以通过干涉的方式协同工作,从而让望远镜的分辨率高达0.01角

秒(此分辨率已经达到下一代光学红外地基望远镜的分辨率),在毫米/亚毫米波段实现前所未有的高效、高质量观测。

CII线是冷(<1000K)星际介质(interstellar medium, ISM)的主要冷却线,是恒星形成的示踪器,也是精确测量红移的重要工具。天文学家使用单高斯模型对CII线进行拟合,得到的半高全宽(full width at half-maximum, FWHM)约为 $312 \text{ km s}^{-1}$ ,红移约为7.642,表明这个类星体距离地球长达131.5亿光年,记录了宇宙在6.7亿年时的样子,我们现在看到的仅仅是它在目前宇宙年龄5%时发射的光。它打破了此前类星体距离的观测纪录,引发了天文学界的广泛关注。

### 3 一颗16亿倍太阳质量的超大质量黑洞

类星体的光谱可用于估计中心超大质量黑洞的质量,反响映射技术是测量超大质量黑洞质量的重要工具,而MgII线是测量高红移黑洞质量的重要探针。宽线区的发射线是由吸积盘产生的连续谱光致电离激发宽线区的气体团块产生的。那么宽线区中被激发产生的光子到达观测者的时间,相比于从吸积盘发射直接到达观测者的光子存在时间延迟。通过测

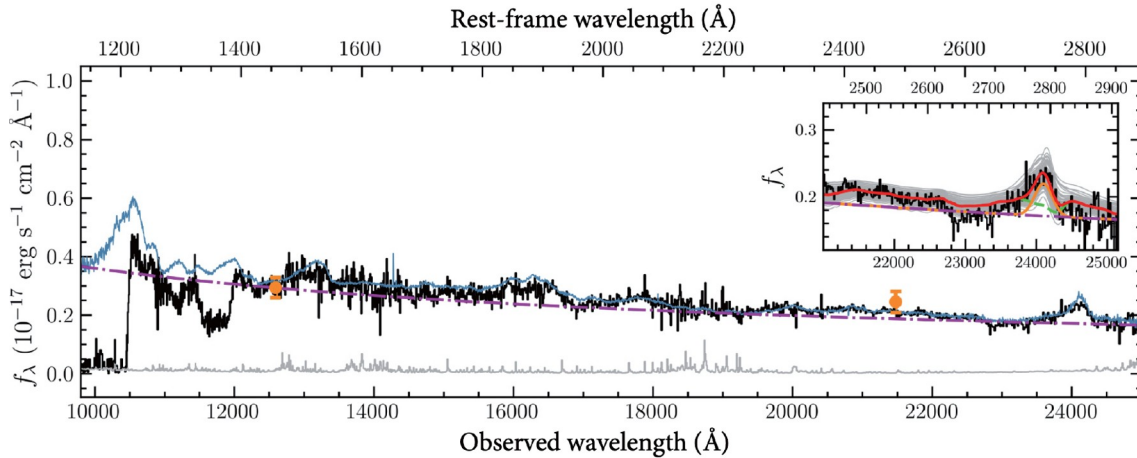


图1 (网络版彩色)J0313-1806的光谱<sup>[1]</sup>。图片是由多个望远镜的观测数据叠加而成的。Copyright © 2021 The American Astronomical Society  
Figure 1 (Color online) The spectrum of J0313-1806<sup>[1]</sup>. This image is a combination of observations from multiple telescopes. Copyright © 2021 The American Astronomical Society

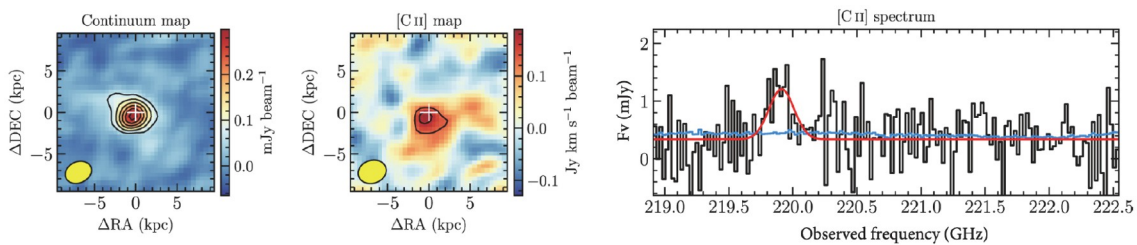


图2 (网络版彩色)ALMA观测到的尘埃连续谱和CII线<sup>[1]</sup>。右图展示了CII线的光谱,光谱拟合给出CII的FWHM =  $312 \pm 94 \text{ km s}^{-1}$ ,基于CII的红移约为 $7.6423 \pm 0.0013$ 。Copyright © 2021 The American Astronomical Society  
Figure 2 (Color online) ALMA observations of the dust continuum and CII line<sup>[1]</sup>. The right panel shows the CII spectrum, the spectral fitting gives FWHM =  $312 \pm 94 \text{ km s}^{-1}$  and  $z[\text{CII}] = 7.6423 \pm 0.0013$ . Copyright © 2021 The American Astronomical Society

量吸积盘的光变信息传递到宽线区的时间,可以推导出宽线区到中心超大质量黑洞的距离.宽线区的气体云团块绕黑洞旋转,由于多普勒效应,宽线区的发射线在光谱中被展宽了.宽线区发射线的半高全宽可用于推断气体云绕黑洞的旋转速度.假设宽线区气体团块绕中心黑洞位力化运动,结合相应的时间延迟和气体云绕转速度,就能测量黑洞的质量.

在此项工作中,天文学家首先利用CII线将光谱去红移到静止坐标系中.然后,对光谱中不包含强而宽的吸收/发射线(除FeII之外)的“伪连续谱”部分进行拟合.最后,他们扣除了类星体光谱中的“伪连续谱”,并使用双高斯模型对MgII宽线进行拟合.观测到的MgII线(静止坐标系下,波长为2798 Å)的波长大概为24100 Å,基于MgII线估计的红移约为7.611.拟合计算得到的MgII线半高全宽FWHM =  $3670 \pm 405 \text{ km s}^{-1}$ ,由此可知中心超大质量黑洞的质量为 $1.6 \times 10^9 M_{\odot}$ .约为太阳质量的16亿倍.此外,这颗黑洞的爱丁顿比(它的热光度和爱丁顿光度的比值,其中热光度为 $1.4 \times 10^{47} \text{ erg s}^{-1}$ )约为0.67,表明该类星体正处于快速吸积的阶段,与其他已知的 $z > 7$ 的明亮类星体相似.

J0313-1806是已知的红移最高的类星体,在宇宙年龄约6.7亿年时就产生了质量高达 $1.6 \times 10^9 M_{\odot}$ 的黑洞,这为理解宇宙早期超大质量黑洞的形成和成长提供了重要线索.假设种子黑洞在极高红移处 $z = 15 \sim 30$ (即大爆炸后约98百万年~270百万年的时间内)生成,且形成后以爱丁顿吸积速率吸积物质,那么现在观测到的黑洞质量要求种子黑洞的质量达到( $10^4 \sim 10^5$ )  $M_{\odot}$ .这样大质量的种子黑洞并不像天文学界中通常所认为的那样,通过第一代恒星坍缩而成,也不像是稠密星团中动力学过程的产物.它更倾向于在前星系暗物质晕中直接坍缩形成,刚刚出生便具有较大的质量,从而能在短时间内增长到 $1.6 \times 10^9 M_{\odot}$ .

#### 4 发现源自类星体的高速外流

另一项值得称道的发现是,这个类星体的光谱中存在明显的CIV和SiIV宽吸收线,而宽吸收线特征通常被认为是从超大质量黑洞吸积盘中发射的强外流产生的.测量得到的外流最大速度接近于光速的20%,表明在这个类星体中存在着强烈的由活动星系核驱动的外流.除此之外,ALMA对于宿主星系尘埃发射和CII线发射的观测结果表明,J0313-1806的宿主星系正处于恒星形成的活跃时期,恒星形成率约为 $200 M_{\odot} \text{ a}^{-1}$ ,比银河系快200倍,同时在类星体宿主星系中已经积累了质量高达 $7 \times 10^7 M_{\odot}$ 的尘埃.这一结果和此前的观测统计大致相吻合,相对论外流不常在低红移类星体中出现,而在高红移类星体中更加普遍.在这些高红移类星体中,超大质量黑洞处于快速生长阶段,表现出较高的爱丁顿光度比,外流所携带的能量会对类星体的宿主星系产生一定的反馈作用,调节宿主星系中的恒星形成.目前针对这一课题,仍存在大量悬而未决的谜题,即使针对一些基础问题,现有的理论

和观测也很难达成共识.有些研究认为,这些从类星体中发出的风会将宿主星系中冷的形成恒星的气体吹出并且剥离出去,因此使得恒星形成停止<sup>[21]</sup>.而有的理论则提出,活动星系核吸积过程中产生的热量能够加热周围气体,抑制气体冷却,从而延缓恒星的形成<sup>[22]</sup>.

由此可见,J0313-1806具有独特的研究价值,它是已知最早的类星体影响宿主星系的实例,代表了再电离末期形成的第一代活动星系核-宿主星系系统.通过探究这一系统,天文学家们或许能够更深入地认知早期星系形成的历史,理解活动星系核是如何重塑宿主星系的环境,又是如何对宿主星系孕育新恒星的过程施加影响.

#### 5 总结和展望

随着科技水平的提高,观测仪器的灵敏度逐渐提升,各类巡天项目逐步展开,多波段观测设备通力协作,天文学家逐渐突破以往的观测极限,在红移 $z = 7.642$ 处发现了迄今为止最古老、最遥远的类星体J0313-1806. J0313-1806是一个明亮的类星体,它的光度达到 $1.4 \times 10^{47} \text{ erg s}^{-1}$ ,中心引擎是一颗质量为16亿倍太阳质量的超大质量黑洞.在大爆炸后仅6.7亿年时就存在这样一颗超大质量黑洞,这对种子黑洞的质量提出了强有力的约束,也挑战了超大质量黑洞的形成和生长理论.

通过观测来自类星体宿主星系的尘埃连续谱和CII发射线,天文学家在宿主星系中发现了强烈的恒星形成活动,每年约形成200颗太阳质量的恒星,远超银河系的恒星形成率.在这个类星体的光谱中还发现了高速外流存在的迹象,它们的最大速度达到了光速的20%. J0313-1806或许代表了第一代形成的类星体-星系系统,未来高分辨率的光谱观测有望揭示早期活动星系核和宿主星系之间相互作用的奥秘.

目前高红移类星体样本的数目仍然不多,为统计性工作的开展造成了不便,但目前正在进行以及未来预期开展的一系列光学/红外巡天项目或将为天文学界带来突破性的进展.目前,地基巡天望远镜的建设已经提上日程,如美国的光学巡天项目大口径全天巡天望远镜(Large Synoptic Survey Telescope, LSST)以及中国的大视场巡天望远镜(Wide Field Survey Telescope, WFST)等. WFST是由中国科学技术大学和紫金山天文台共同建设的,位于青海冷湖的赛什腾山天文观测台站,后者同时也是东半球唯一一个世界级的天文观测台站.它的主镜口径为2.5 m,可在光学u、g、r、i、z、w波段开展深度时域巡天,观测天区约6000平方度,g波段极限星等可达23 mag,建成后将成为北半球巡天能力最强的光学望远镜.与此同时,空间巡天望远镜也在紧锣密鼓地部署之中.于2021年末成功发射的韦布空间望远镜(James Webb Space Telescope, JWST)将接过哈勃望远镜的接力棒,在红外波段展开巡天观测.在未来,中国的巡天空间望远镜(Chinese Survey Space Telescope, CSST)、欧空局主导的欧几里得空间望

远镜(Euclid Space Telescope)以及美国的罗曼空间望远镜(Roman Space Telescope)将于同期开展广域空间巡天。其中,CSST的口径约为2 m,观测范围覆盖近紫外到近红外波段,而

Euclid和Roman则主要聚焦于红外探测,三者不仅能独立观测,还能相互配合,有望获得广袤宇宙的第一手观测资料,对类星体研究有所助益。

**致谢** 感谢国家自然科学基金(U1838114)资助。

## 推荐阅读文献

- 1 Wang F G, Yang J Y, Fan X H, et al. A luminous quasar at redshift 7.642. *Astrophys J Lett*, 2021, 907: L1
- 2 Planck Collaboration. Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters. *Astron Astrophys*, 2020, 641: A6
- 3 Edge D O, Shakeshaft J R, Mc Adam W B, et al. A survey of radio sources at a frequency of 159 Mc/s. *Mem Roy Astron Soc*, 1959, 68: 37
- 4 Matthews T A, Sandage A R. Optical identification of 3C 48, 3C 196, and 3C 286 with stellar objects. *Astrophys J*, 1963, 138: 30
- 5 Schmidt M. 3C 273: A star-like object with large red-shift. *Nature*, 1963, 197: 1040
- 6 Zel'dovich Y B, Novikov I D. The radiation of gravity waves by bodies moving in the field of a collapsing star. *Sov Phys Dokl*, 1964, 9: 246
- 7 Salpeter E E. Accretion of interstellar matter by massive objects. *Astrophys J*, 1964, 140: 796–800
- 8 Wyckoff S, Gshren T, Morton D C, et al. Discovery of nebulosity associated with the quasar 3C 273. *Astrophys J*, 1980, 242: 59
- 9 Antonucci R. Unified models for active galactic nuclei and quasars. *Annu Rev Astron Astrophys*, 1993, 31: 473–521
- 10 Wu X B, Wang F, Fan X, et al. An ultraluminous quasar with a twelve-billion-solar-mass black hole at redshift 6.30. *Nature*, 2015, 518: 512–515
- 11 Mazzucchelli C, Bañados E, Venemans B P, et al. Physical properties of 15 quasars at  $z \gtrsim 6.5$ . *Astrophys J*, 2017, 849: 91
- 12 Matsuoka Y, Iwasawa K, Onoue M, et al. Subaru high- $z$  exploration of low-luminosity quasars (SHELLQs). X. Discovery of 35 quasars and luminous galaxies at  $5.7 \leq z \leq 7.0$ . *Astrophys J*, 2019, 883: 183
- 13 Reed S L, Banerji M, Becker G D, et al. Three new VHS-DES quasars at  $6.7 < z < 6.9$  and emission line properties at  $z > 6.5$ . *Mon Not Roy Astron Soc*, 2019, 487: 1874–1885
- 14 Wang F G, Yang J Y, Fan X H, et al. Exploring reionization-era quasars. III. Discovery of 16 quasars at  $6.4 \lesssim z \lesssim 6.9$  with DESI legacy imaging surveys and the UKIRT hemisphere survey and quasar luminosity function at  $z \sim 6.7$ . *Astrophys J*, 2019, 884: 30
- 15 Yang J Y, Wang F G, Fan X H, et al. Exploring reionization-era quasars. IV. Discovery of six new  $z \gtrsim 6.5$  quasars with DES, VHS, and unWISE photometry. *Astrophys J*, 2019, 157: 236
- 16 Yang J Y, Wang F G, Fan X H, et al. Pōniuā'ena: A luminous  $z = 7.5$  quasar hosting a 1.5 billion solar mass black hole. *Astrophys J*, 2020, 897: L14
- 17 Mortlock D J, Warren S J, Venemans B P, et al. A luminous quasar at a redshift of  $z = 7.085$ . *Nature*, 2011, 474: 616–619
- 18 Bañados E, Venemans B P, Mazzucchelli C, et al. An 800-million-solar-mass black hole in a significantly neutral Universe at a redshift of 7.5. *Nature*, 2018, 553: 473–476
- 19 Wang F G, Yang J Y, Fan X H, et al. The discovery of a luminous broad absorption line quasar at a redshift of 7.02. *Astrophys J*, 2018, 869: L9
- 20 Matsuoka Y, Onoue M, Kashikawa N, et al. Discovery of the first low-luminosity quasar at  $z > 7$ . *Astrophys J*, 2019, 872: L2
- 21 Fabian A C. Observational evidence of active galactic nuclei feedback. *Annu Rev Astron Astrophys*, 2012, 50: 455–489
- 22 Cheung E, Bundy K, Cappellari M, et al. Suppressing star formation in quiescent galaxies with supermassive black hole winds. *Nature*, 2016, 533: 504–508

Summary for “发现迄今为止最遥远的明亮类星体J0313-1806”

## Discovery of the most distant luminous quasar to date: J0313-1806

Xue-Shan Zhao<sup>1,2\*</sup>, Shu-Xia Deng<sup>1</sup> & Li-Jun Gou<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup> National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012, China;

<sup>2</sup> School of Astronomy and Space Science, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

\* Corresponding authors, E-mail: [xszhao@nao.cas.cn](mailto:xszhao@nao.cas.cn); [lgou@nao.cas.cn](mailto:lgou@nao.cas.cn)

Distant quasars are unique media for studying topics such as the formation mechanisms of first-generation seed black holes, the interaction of active galactic nuclei and their host galaxies, and the history of cosmic reionization. So far, there have been found only six quasars with  $z > 7$ , and two of them (ULAS J1342 + 0928,  $z = 7.54$ ; J100758.264+211529.207,  $z = 7.52$ ) have a redshift larger than 7.5.

On January 20, 2021, in *the Astrophysical Journal Letters*, an international collaborative team of astronomers led by the University of Arizona reported a bright quasar, named J0313-1806, with a bolometric luminosity of  $1.4 \times 10^{47}$  erg s<sup>-1</sup>. The process of discovering the quasar, the technique, and the scientific significance of this discovery are explained in this paper.

Their work is based on a data set obtained mainly from the Pan-STARRS1, the DESI Legacy Imaging Surveys, the UKIRT Hemisphere Survey, the VISTA Hemisphere Survey, and the Wide-field Infrared Survey Explorer Survey. To measure the redshift of this quasar more accurately, the dust continuum and the CII emission from the quasar's host galaxy were observed using the Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array in Chile. Via spectral fitting, they calculated the quasar's redshift of 7.642, that is more than 13 billion light-years from Earth and dating back to only 670 million years after the Big Bang, which makes the quasar the most distant and earliest one.

Based on the spectral fitting and the MgII virial estimator, the mass of the supermassive black hole was calculated to be  $1.6 \times 10^9 M_{\odot}$ . The formation of such a massive supermassive black hole in a short period time imposes strict constraints on the mass and the formation model of the seed black hole. Suppose the black hole accreted at the Eddington rate, if it started its growth at redshift  $z = 15 - 30$  (i.e., 400–570 Ma growth time), to what we observe today, it requires a  $10^4 - 10^5 M_{\odot}$  seed black hole, that might be more supportive of direct-collapse black holes forming in pre-galactic dark matter halos.

The quasar's spectra also exhibit evident broad absorption line features in CIV and SiIV, together with a strongly blueshifted CIV emission line, indicating the relativistic outflows with the maximum speed of up to 20% of the speed of light. In addition, the ALMA observations imply a strong star formation of  $200 M_{\odot} \text{ a}^{-1}$  taking place in the host galaxy of J0313-1806. The continuum observations indicate that substantial dust ( $7 \times 10^7 M_{\odot}$ ) was already built up in the quasar host galaxy. Those makes J0313-1806 an ideal target for probing the effects of active galactic nuclei on their host galaxies.

The number of high-redshift quasars is still small, making it difficult for constraining the formation model of the seed black holes, understanding the relation of the supermassive black hole and its host galaxy and so on. We look forward to those ongoing and upcoming optical/infrared sky surveys, such as the James Webb Space Telescope (JWST) and the Large Synoptic Survey Telescope (LSST), which will bring breakthroughs in astronomy.

**quasar, J0313-1806, supermassive black hole, outflow, cosmic reionization**

doi: [10.1360/TB-2022-0182](https://doi.org/10.1360/TB-2022-0182)