外文出处：

Song-lin Li, Yong Shi, Yan-Mei Chen, Martha Tabor, Dmitry Bizyaev, Jianhang Chen, Xiao-ling Yu, and Long-ji Bing. An early-type galaxy with an inner star-forming disc. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 480(2):1705–1710, 2018.

译文标题：

一个内部具有恒星形成的盘的早型星系

译文：

摘要：

早期类型星系（ETG）由两个不同的种群组成：高质量和低质量，分别可能通过贫气合并和富燃气合并/吸积建立。但是，很难将低质量ETG与高气体丰度合并直接关联，我们目前报告发现了ETG（SDSS J142055.01 + 400715.7），其的存在，为低浓度气体合并提供了直接证据，这是因为它们目前的气体贫乏且没有持续的恒星形成迹象。 星系的整体特性与典型的低质量ETG一致，但外区和内区分别表现出明显的弥散和旋转主导的运动学。银河周围有一些潮汐特征。这两个事实表明星系是最近才合并的。此外，内部的圆盘上还隐藏着正在形成的恒星，这表明它们的合并是富含气体的。这种类型的星系很少见，但可能证明了富含气体的合并的过渡相在制造低质量ETG中的作用。

关键词：

星系：椭圆和透镜型，cD星系：恒星形成星系，id：SDSS J142055.01+400715.7

1、介绍

Hubble(1926, 1936)首次提出的哈勃星系序列将星系分为两种类型：晚型星系和早型星系（ETG），其特征在于它们是否包含螺旋特征。根据盘的存在，传统上将ETG分为椭圆形和S0，但星系的光度分析的等照度线表明,一些椭圆星系仍然拥有较弱的盘结构(Bender et al. 1989), 同时倾角的影响会导致一些s0椭圆星系的错误分类(Jorgensen & Franx 1994)。

其中，高质量(M > 1011 M⊙，MV)。-21.5)和低质量星系被发现是两个不同的星系群。大质量的etg总是四四方方的，三轴等轴的形状，而小质量的etg是圆盘状的(Kormendy 1999;Kormendy et al. 2009)和axisymmetric (Cappellari et al. 2013a)。在光学光线的径向剖面上，大质量的ETGs在外半径处有较大的S’ersic指数(n > 4 Krajnovi’c et al. 2013a)，但在内半径处有缺陷，称为核心。

另一方面，低质量的ETGs在外部半径处显示出相对较小的S’ersic指数(n 6 3 Krajnovi’c et al. (2013a))，并且是无核的，要么具有幂律内部轮廓，要么甚至具有额外的核光(Kormendy 1999)。进一步的观察表明，一些中心部分的恒星群比其他星系更年轻(Lauer et al. 2005;McDermid等人，2006)。

利用积分场单元(IFU)光谱观测，如SAURON survey (de Zeeuw et al. 2002)和ATLAS3D项目(Cappellari et al. 2011a)，可以根据ETGs的2D运动学特性对其进行分类。例如，Krajnovi’c et al.(2006,2011)发现ETGs可以分为具有规则速度场的“规则旋转器”和以随机运动为主的“非规则旋转器”，分别与高质量和低质量ETGs相关。Emsellem等(2007)利用表观角动量参数分离ETGs，发现质量较大的ETGs旋转缓慢(慢旋转器)，质量较低的椭圆型ETGs旋转较快(快旋转器)。Cappellari等人(2011a,b)认为快速旋转的星系在光度/质量与大小的平面上形成平滑的平行螺旋星系序列

人们怀疑大型ETG的核心是通过无耗散的干合并形成的，在这种干合并中，超大质量黑洞沉入星系中心，喷射恒星并形成核核心(Kormendy et al. 2009;Cappellari 2016;Krajnovi’c et al. 2013b)，而低质量ETGs中额外的核光是由富气物质的合并或吸积产生的，在这种情况下，核星暴被触发。然而，所有的etg，即贫气合并和富气合并的残余，都缺乏正在进行的恒星形成，因为即使在富气合并的情况下，气体已经被驱散或消耗，停止了恒星的形成。这使得很难将低质量的ETG与富含气体的过程直接联系起来。在MaNGA项目(在Apache Point天文台绘制邻近星系的地图)中，我们确定了一个ETG SDSS J142055.01+400715.7 (RA=14h20m55.014s & DEC=+40d07m15.70)，这可能是一个活生生的例子，说明富气物质的合并在形成带有额外核光的低质量ETG中发挥了重要作用。

在第2节中，我们将简要介绍银河系计划、我们所关注的银河系的特征和方法。在第3节中，我们列出了这个星系的物理特性。第4节是讨论，总结和结论在第5节。

2、数据和方法

MaNGA (Bundy et al. 2015; Law et al. 2015)是斯隆数字巡天计划（SDSS-IV）的一部分(Blanton et al. 2017)。这项计划于2014年7月在Apa he Point天文台(APO)的2.5米望远镜上进行(Gunn et al. 2006) 。其目的是通过IFU光谱观测，对红移范围0.01<z<0.15的1万个邻近星系中的气体和恒星的内部运动结构和组成进行观测(Wake et al. 2017)。MaNGA仪器由一组17个六边形纤维束积分场单元组成，直径从12弧秒（19根纤维）到32弧秒（127根纤维）不等，其中12个7纤维 "迷你束 "用于分光光度校准，92个单 光纤用于天空减法(Drory et al. 2015; Yan et al. 2016a) 。所有的光纤都被送入双光束BOSS光谱仪，覆盖了 波长范围为3600°A至10300°A光谱分辨率为R∼2000 (Smee et al. 2013)。通过Law等（2016）中描述的数据还原方法，对原始数据进行了还原。

我们的源SDSS J142055.01+400715.7是位于红移z=0.01754处为覆盖率达到1.5Re的主样本中的一个源(Yan et al. 2016b)。我们的数据重构后的点扩散函数的半高全宽是2.4角秒对应的物理尺度是0.86kpc。对这个源我们进行了以下测量：

IRAF椭圆拟合：

我们使用IRAFF1中的 "椭圆 "程序得到了星系在g、r和i波段的1-D剖面图，视场中的伴星系和前景星系的污染被自动去除。然后我们用两个S´ersic模型(S´ersic 1968)来拟合该剖面，为了考虑点扩散函数（PSF）的影响并得到本征S´ersic指数，我们将PSF简化为高斯函数，然后与两个S´ersic模型进行卷积，用卷积后的模型来拟合这个剖面

图像：

Emsellem et al. (2007)提出了一个简单的参数来表征星系的恒星角动量。对于IFU的数据可以用下式计算

其中R,V,分别为所取位置的半径，恒星速度和恒星的速度弥散，我们使用的是在有效半径内经过通量平均之后的测量值。大的表示该星系是快速旋转体，而小的表示该星系是慢速旋转体。通过比较和星系的视椭圆率，Emsellem et al. (2011)提出了一个区分快速旋转体和慢速旋转体的经验性方法。我们根据MaNGA数据分析管线图测量了这个星系的(DAP; Westfall et al.)。

结构：

为了量化的判断星系是否可以被分类为规则旋转体和不规则旋转体，Krajnovi´c et al. (2006)提出了截断傅里叶展开的程序KINEMETRY，用IFU数据来拟合星系的速度场。这里我们使用KINEMETRY来研究不同半径处的动力学特性。

3、结果

3.1．星系的整体性质

该星系的恒星质量为(Salim et al. 2007)。Fig. 1 (a)为该星系的光学图像，它表明该星系是一个没有螺旋臂的ETG。星系系的中心区域比外部区域更蓝。

图像还显示出在星系的外侧存在明显的额外核光。为了验证这一点，我们得到星系的一维径向剖面图，并用S´ersic 模型(S´ersic 1968)来拟合。拟合结果如图二，从图二中可以看出星系外侧的S´ersic指数为2.3-2.5这与ETG的形态相一致。而内部则表现出明显从S´ersic剖面的内向外推的额外光。如前所述，这种额外的核光的存在的典型的低质量ETG的特征(Kormendy 1999; Kormendy et al. 2009; Krajnovi´c et al. 2013b)。IFU的观测结果可以让我们进一步研究星系的整体的动力学特征。图3(a)为恒星的速度分布图，为了判断星系是快速旋转体还是慢速旋转体，我们测量了一个Re内的(Emsellem et al. 2007; Cappellari 2016)，并将其与视椭圆率进行比较，如图3(b)所示星系位于分界线以上，表明他是一个快速旋转体，再次与低质量的ETGs保持一致

3.2．一个正在经历恒星形成的内部旋转的盘

星系的内部和外部区域表现出不同的动力学特征。如图3(a)所示，包含有额外光的核区视明显的旋转的盘，而外部区域是由弥散主导的。这个结论也被图3(b)的图像所证明：内部在分界线之上，而外部区域在分界线下方。该星系属于核心动力学解耦一类的ETGs(Kormendy et al. 2009; Krajnovi´c et al. 2011; Chen et al. 2012)。正如不可能通过任何内部过程产生这样的核心，核心的动力学解耦是星系经历并和的证明。我们进一步用KINEMETRY的结果来量化 两部分的运动特性。如图4所示，在最佳拟合椭圆内区的仰角(P.A.) 几乎是恒定的，每个椭圆的速度都大于离散度所以k1/k5很小。此外从内部区域的旋转曲线，我们可以确认这个星系不是棒旋星系因为旋转曲线没有表现出刚体旋转的特性(Kormendy 1982)。与此相比，在外部区域椭圆的朝向是随机的，并且随着k1/k5的快速增加，速度几乎下降到0，这表明了在外部区域弥散占主导。我们也使用了Tabor et al. (2017)的方法，对星系进行动力学分解，并且确认内部区域是盘状的，外部区域是球状的。

图1(b)是来自BASS（北京-亚利桑那天空观测）第二次数据的g波段图像(Zou et al. 2017, Sub.)。它比SDSS高0.87的星等，视场覆盖了227 × 227平方角秒，大约是图1(a)覆盖范围的20倍。主星系周围有一些微弱的潮汐特征。按照Miskolczi et al. (2011)的方法对图像进行平滑后，潮汐特征更加明显，如图1 (c)所示。这些潮汐特征进一步表明了星系最近或正在经历并和过程(Mart´ınez-Delgado et al. 2010; Miskolczi et al. 2011)。

如图3(a)所示，我们将内部区域定义为一个半长轴为4.33"（1.54kpc），椭圆率为0.5的椭圆。依据Salim et al. (2007)和Chen et al. (2010)中提到的方法，我们把5个波段的颜色与CB08 (S. Charlot & G. Bruzual 2008, in priv.)模型星系的颜色对比，得到星系内部区域的恒星的质光比M/L。然后我们得到内区的恒星质量为，占星系总质量的30%。这么大的比例表明，形成星系盘的合并事件很可能是一次大合并。

与其他椭圆星系中的运动学解耦核心不同，SDSS J142055.01+400715.7中的核心正在进行恒星形成，如空间分辨率的BPT图所示(Baldwin et al. 1981; Kewley et al. 2001; Kauffmann et al.2003)。如图 5 所示，由旋转主导的盘为恒星形成区，而外部区域存在可能由年老恒星群激发的类似于LIER的发射线(Belfiore et al. 2016)。恒星形成率是由H-α发射线计算出来的，考虑到尘埃消光的影响，我们使用Balmer衰减曲线和Calzetti的衰减曲线(Calzetti et al. 2000)进行计算。如图5(c)所示，内部的盘位于恒星形成星系的主序列，表明其恒星的形成水平更像螺旋星系而不是恒星爆发。这种正在经历恒星形成的过程为这个星系经历的合并是富含气体的合并提供了直接证据。

4、讨论

长期以来，人们一直怀疑低质量的ETG是通过富含气体的合并/吸积形成的，但很难将其与富含气体过程直接联系起来，因为绝大多数ETG星系早已停止了显示这些过程的恒星形成阶段。我们发现一个星系似乎正处于富气合并的最后阶段，其结果是一个典型的低质量ETG。虽然从总体上看，它是一个快速旋转的ETG，具有额外的核光，但其内部和外部明显的运动学特征以及围绕着宿主星系的潮汐特征表明，这个星系的起源是星系合并，而核区域内正在进行的恒星形成进一步表明了合并过程是富含气体的合并过程。根据恒星形成定律，即恒星形成率与气体质量之间的关系，可以大致估算出冷气体质量(Kennicutt 1998)。我们首先估计氧丰度为一个太阳质量，这样就可以利用螺旋星系的恒星形成定律(Shi et al. 2014)。根据Shi et al. (2018)的方程，得出的冷气体质量约为。因此，气体与恒星的质量比很小，只有1%左右。这可能是因为目标已经处于合并的最后阶段，所以大部分气体已经被驱逐或消耗掉了。

该星系还提供了直接的证据，证明额外的核光是由核区的恒星形成活动贡献的(例如 Kormendy 1999)。从一维径向剖面图中看到的额外核光的空间范围与恒星形成区的空间范围大致相同（图5）。额外的核光覆盖了一个半径约为0.7-1.0 kpc的光带区域（图2和图6（b）），这比在其他ETG中观察到的要大得多(Kormendy et al. 2009)。这很可能是由星系内部额外核光中的质光比较小的年轻恒星群体造成的。

一些研究发现，一些ETG正在经历恒星形成。这些ETG往往存在气体和恒星区域错位，表明星系从外部吸积新鲜的气体(Ilyina et al. 2014; Sil’chenko et al. 2014)。然而，它们于本工作中的星系不同，那些星系已经是ETG并获得少量的外部气体来触发适度的恒星形成，有时被称为重启。另一方面，我们的星系位于恒星形成主序中，表明了是富含气体的合并。在图6中我们绘制了不同半径的Hδ−Dn4000图像(Balogh et al. 1999)。最好的拟合结果是IRAF中的”ellipse”程序。发现向外存在单调递减的情况，表明该型星系属于outside-in的恒星形成停止方式。这可能是富含气体合并的最后阶段，并产生低质量的ETG。

5、结论

我们的工作是在MaNGA中发现了一个早期型星系，为低质量ETG的起源提供了直接证据。该星系的整体性质与典型的低质量ETG一致：，没有旋臂，快速旋转体，外部S´ersic指数为2.1-2.4。然而，外侧和内侧分别表现出明显的色散为主和旋转为主的运动学特征。而宽带图像显示了银河系周围的一些潮汐特征。这些都表明该星系最近经历过合并过程。此外，正如BPT图像所表明的星系内部的正在进行恒星形成过程，表明该星系经历的是富含气体的合并过程。这种星系是很罕见的，但是它可能是富含气体的合并过程在低质量ETG形成中占主导作用的一个例子。

指导教师评语：

签字：

年 月 日

注：不够可加页，并后附外文资料复印件（A4纸复印）。