

Bài báo nghiên cứu

ƯỚC TÍNH KHỐI LƯỢNG CỦA TIỀN SAO LÙN NÂU GIAI ĐOẠN I
[GKH94] 41 TỪ DỮ LIỆU QUAN SÁT VỚI HỆ KÍNH VÔ TUYẾN SMANguyễn Thành Đạt^{1, 2}, Phan Bảo Ngọc^{1*}¹ Bộ môn Vật lý, Trường Đại học Quốc tế, ĐHQG TP HCM, Việt Nam² Khoa Vật lý và Vật lý Kỹ thuật, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG TP HCM, Việt Nam*Tác giả liên hệ: Phan Bảo Ngọc – Email: pbngoc@hcmiu.edu.vn

Ngày nhận bài: 06-8-2019; ngày nhận bài sửa: 24-8-2019, ngày chấp nhận đăng: 12-6-2020

TÓM TẮT

GKH94] 41 đã được xác nhận là một tiền sao lùn nâu giai đoạn I ở vùng hình thành sao Taurus với khối lượng cuối cùng thấp hơn ngưỡng khối lượng dưới sao trong bài báo của Dang và cộng sự (2016). Tuy nhiên, khối lượng cuối cùng của vật thể chỉ được ước tính dựa trên ba điểm dữ liệu trong khoảng bước sóng từ 70 μm đến 2,9 mm. Nghiên cứu tiền sao lùn nâu giai đoạn I góp phần quan trọng để hiểu về quá trình tiến hóa của sao lùn nâu ở những giai đoạn sớm nhất. Do đó, chúng tôi thu thập thêm dữ liệu quan sát ở vùng mm để xác nhận khối lượng cuối cùng của [GKH94] 41. Chúng tôi quan sát [GKH94] 41 tại tần số 230 GHz (bước sóng 1,3 mm) với hệ kính vô tuyến SMA và kết hợp với các dữ liệu sẵn có để xây dựng phổ phân bố phổ năng lượng của vật thể. Thông lượng của [GKH94] 41 được đo ở bước sóng 1,3 mm là $2,6 \pm 0,5$ mJy. Khối lượng cuối cùng của [GKH94] 41 được ước tính là $42_{-27}^{+56} M_{\text{Mộc tinh}}$. Khối lượng ước tính của chúng tôi trong bài báo này phù hợp với kết quả trong bài báo trước và khẳng định [GKH94] 41 sẽ trở thành một sao lùn nâu vào giai đoạn cuối của quá trình hình thành.

Từ khóa: sao lùn nâu; sự hình thành sao; tiền sao

1. Mở đầu

Sao lùn nâu (SLN) là những vật thể có khối lượng nằm trong khoảng từ 13 đến 75 lần khối lượng Mộc tinh. Khối lượng này quá bé so với khối lượng tối thiểu Jeans ($\sim 1 M_{\text{Mặt trời}}$) để khởi đầu quá trình hình thành ngôi sao từ sự sụp đổ hấp dẫn của các đám mây phân tử. Do đó, SLN thường được đề xuất được hình thành theo các cơ chế khác nhau, trong đó gồm hai mô hình chính là mô hình giống sao và mô hình đẩy ra. Trong mô hình giống sao, SLN hình thành giống các sao thông thường có khối lượng thấp qua quá trình phân mảnh hỗn loạn (Padoan, & Nordlund, 2004) hay phân mảnh hấp dẫn (Bonnell et al., 2008). Còn trong mô hình đẩy ra, SLN chỉ là những nhân có khối lượng rất thấp bị đẩy ra từ một hệ gồm nhiều tiền sao không ổn định do sự tương tác động học giữa chúng (Bate et al., 2002).

Cite this article as: Nguyen Thanh Dat, & Phan Bao Ngoc (2020). Estimating the final mass of the class I proto brown dwarf [GKH94] 41 from sma observation. *Ho Chi Minh City University of Education Journal of Science*, 17(6), 1042-1047.

Một số lõi tiền SLN (Oph B-11 ở vùng rho Ophiuchi trong André và cộng sự (2012), tiền SLN giai đoạn 0 (L328-IRS trong Lee và cộng sự (2013) và IC 348-SMM2E trong Palau và cộng sự (2014)) và giai đoạn I ([GKH94] 41 và IRAS 04191+1523B trong Dang và cộng sự (2016)) đã được phát hiện và xác nhận có khối lượng cuối cùng nằm dưới ngưỡng khối lượng dưới sao (dưới $75 M_{\text{Mộc tinh}}$). Những phát hiện này đã khẳng định sự tồn tại của SLN trong các giai đoạn sớm nhất của quá trình hình thành. Điều này chứng tỏ rằng các SLN hình thành chủ yếu qua cơ chế tương tự như các sao thông thường.

[GKH94] 41 là tiền SLN giai đoạn I có kiểu phổ $M7.5 \pm 1.5$ (Luhman et al. 2003) ở vùng hình thành sao Taurus và khối lượng cuối cùng $49_{-27}^{+56} M_{\text{Jupiter}}$ được ước tính trong Dang và cộng sự (2016). Khối lượng cuối cùng được ước tính của vật thể này cho thấy tiền SLN sẽ trở thành một SLN vào giai đoạn cuối của quá trình hình thành. Tuy nhiên, khối lượng cuối cùng của [GKH94] 41 trong nghiên cứu của Dang và cộng sự (2016) chỉ được ước tính dựa trên ba điểm dữ liệu quan sát trong vùng bước sóng từ 70 μm đến 2,9 mm. Vì vậy, trong bài báo này, chúng tôi ước tính lại khối lượng cuối cùng của [GKH94] 41 dựa trên dữ liệu quan sát mới từ hệ kính vô tuyến SMA và các dữ liệu đã có sẵn nhằm xác nhận lại kết quả nghiên cứu của Dang và cộng sự (2016). Trong phần 2, chúng tôi trình bày quan sát với hệ kính SMA và xử lý dữ liệu. Kết quả và thảo luận được chúng tôi trình bày trong phần 3, và phần 4 tổng kết lại kết quả nghiên cứu của chúng tôi.

2. Quan sát và xử lý dữ liệu

Chúng tôi quan sát [GKH94] 41 tại tần số 230 GHz (hoặc bước sóng 1,3 mm) với hệ kính vô tuyến SMA (Ho et al., 2004) vào ngày 25 tháng 7 năm 2017. Hai dải băng tần rộng 8 GHz, cách nhau 16 GHz được sử dụng để quan sát vật thể. Dữ liệu quan sát được chúng tôi hiệu chỉnh để loại bỏ ảnh hưởng của khí quyển và các dụng cụ đo theo thời gian và tần số bằng cách quan sát chuẩn tinh 3C 111. Thiên Vương tinh được dùng để hiệu chỉnh thông lượng của nguồn. Dữ liệu quan sát được xử lý bằng hai phần mềm MIR và MIRIAD. Hình 1 mô tả 8 ăng-ten, mỗi ăng-ten đường kính 6 mét của hệ kính vô tuyến SMA.

Hệ kính SMA là hệ kính hoạt động ở bước sóng vô tuyến nằm trong khoảng tần số từ 180 GHz đến 420 GHz với các cấu hình khác nhau bao gồm: Subcompact, Compact, Extended và Very Extended. Mỗi cấu hình sẽ tương ứng với các vị trí khác nhau của 8 ăng-ten trong hệ nhằm quan sát nguồn có độ phân giải không gian khác nhau. Cấu hình Subcompact có độ phân giải thấp nhất, cỡ 5 giây cung tại tần số 345 GHz trong khi cấu hình Very Extended có độ phân giải cao nhất cỡ 0,25 giây cung.



Hình 1. Hệ kính vô tuyến SMA gồm 8 ăng-ten, mỗi ăng-ten đường kính 6 m đặt tại đỉnh núi Mauna Kea, bang Hawaii, Mĩ

(Nguồn: www.cfa.harvard.edu/sma)

Để quan sát nguồn [GKH94] 41 chúng tôi sử dụng cấu hình Compact để thực hiện quan sát và thu được beam tổng hợp có kích thước 5,0”x4,1” với góc vị trí là $-62,1^{\circ}$. Bảng 1 thể hiện các thông số cấu hình quan sát SMA cho [GKH94] 41.

Bảng 1. Thông số của kính SMA dùng để quan sát nguồn [GKH94] 41

Tọa độ		Cấu hình	Kích thước beam (“x”)	Thông lượng tại 1,3 mm
RAC (J2000)	DEC (J2000)			
04 ^h 19 ^m 46,57 ^s	+27° 12’ 55,2’’	Compact	5,0 x 4,1	2,6 ± 0,5

3. Kết quả và thảo luận

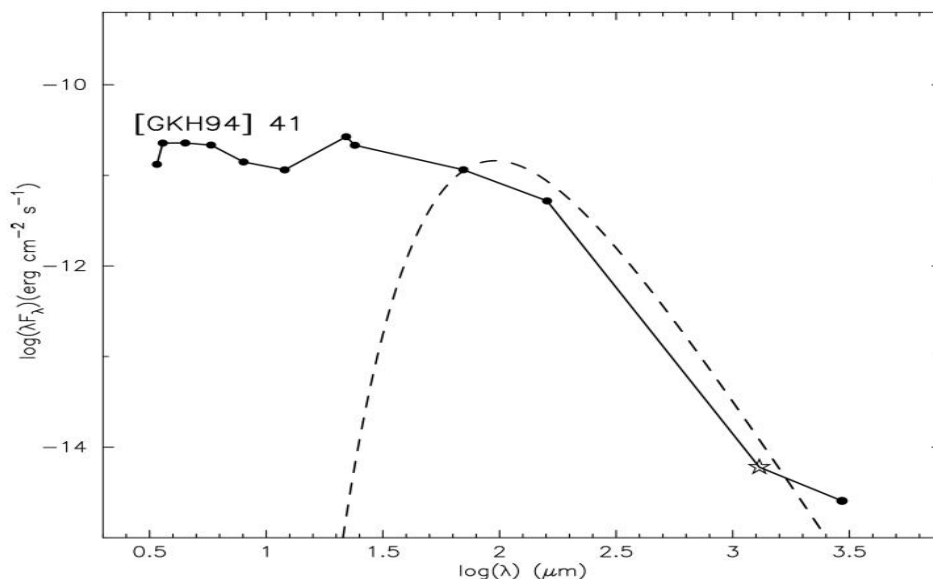
Chúng tôi đã phát hiện bức xạ liên tục từ vỏ bụi bọc ngoài [GKH94] 41 ở bước sóng 1,3 mm. Thông lượng đo được từ bức xạ này là $2,6 \pm 0,5$ mJy. Với dữ liệu này cùng các dữ liệu quan sát nguồn trước đây (xem Bảng 2), chúng tôi xây dựng phổ phân bố năng lượng của nguồn [GKH94] 41.

Bảng 2. Các dữ liệu quan sát của [GKH94] 41

Bước sóng (μm)	Thông lượng (mJy)	Sai số (mJy)	Tài liệu tham khảo
3,4	15	0,4	5
3,6	27,3	0,5	4
4,5	34,2	0,7	4
5,8	41,8	0,9	4
8	37,5	0,9	4
12	46	1,	5
22	196	5,	5
24	172	10,	3
70	269	5,0	1
160	279	66	1
1300	2,6	0,5	Bài báo này
2940	2,5	0,2	2

Nguồn : (1) Bulger et al. (2014); (2) Dang et al. (2016); (3) Harvey et al. (2012); (4) Luhman et al. (2010); (5) Wright et al. (2010)

Chúng tôi sau đó ước tính khối lượng vỏ bụi bọc ngoài [GKH94] 41 bằng phương pháp tìm mô hình vật đen tuyệt đối phù hợp của nguồn trong khoảng giá trị thông lượng từ bước sóng 70 μm đến mm (Bảng 2). Phương pháp này đã được mô tả chi tiết trong bài báo trước của chúng tôi (Dang et al., 2016). Từ dữ liệu mới của SMA và ba điểm dữ liệu đã có (ở các bước sóng 70 μm and 160 μm từ kính Herschel, 2,94 mm từ kính CARMA), mô hình vật đen phù hợp nhất mà chúng tôi tìm được cho các giá trị tham số nhiệt độ bụi $T_d = 31$ K, chỉ số bức xạ bụi $\beta = 0,9$ và khối lượng vỏ bụi khoảng 1 $M_{\text{Mộc tinh}}$ (Hình 2).



Hình 2. Mô hình phân bố phổ năng lượng của tiền sao lùn nâu giai đoạn I [GKH94] 41.

Dữ liệu của SMA tại bước sóng 1,3 mm đo trong bài được kí hiệu bằng hình ngôi sao.

Đường đứt đoạn biểu diễn mô hình vật đen tương ứng với vỏ bụi của [GKH94] 41

Tuy nhiên, chỉ số phát xạ bụi mà chúng tôi thu được vẫn nhỏ hơn đáng kể với giá trị thông thường $\beta = 1,4$ của các tiền sao giai đoạn I trong vùng hình thành sao Taurus (Chandler et al. 1998). Vì vậy, chúng tôi đã ước tính trực tiếp khối lượng vỏ bụi dựa trên dữ liệu SMA tại 1,3 m theo công thức sau (Liu et al., 2004):

$$M_{env} = \frac{F d^2}{k_{\nu} B_{\nu}(T_d)} \tag{1}$$

trong đó, M_{env} là khối lượng vỏ bụi, F_{λ} là thông lượng bức xạ liên tục tại tần số quan sát, d là khoảng cách của vật thể, k_{ν} là hệ số chấn sáng, $B_{\nu}(T_d)$ là công thức Planck tại nhiệt độ bụi T_d .

Nếu chúng tôi dùng các giá trị $\beta = 1,4$ và $T_d = 31$ K thì khối lượng vỏ bụi được ước tính khoảng 1 $M_{\text{Mộc tinh}}$. Giá trị này bằng với giá trị được ước tính từ mô hình vật đen của vỏ bụi.

Từ khối lượng trung bình hiện tại của [GKH94] 41 là $41^{+56}_{-27} M_{\text{Mộc tinh}}$ (xem Dang et al. 2016) và khối lượng của vỏ bụi mà chúng tôi ước tính trong bài này là 1 $M_{\text{Mộc tinh}}$, chúng

tôi suy ra khối lượng cuối cùng của vật thể là $42_{-27}^{+56} M_{\text{Mộc tinh}}$. Ngưỡng khối lượng này xác nhận lại lần nữa kết quả trong bài báo trước của chúng tôi là [GKH94] 41 sẽ trở thành một sao lùn nâu vào giai đoạn cuối của quá trình hình thành.

4. Kết luận

Từ dữ liệu quan sát mới với hệ kính SMA, chúng tôi đã ước tính lại chính xác hơn khối lượng cuối cùng của tiền SLN giai đoạn I [GKH94] 41. Kết quả của chúng tôi chỉ ra rằng [GKH94] 41 sẽ trở thành một SLN vào giai đoạn cuối quá trình hình thành. Điều này cung cấp thêm bằng chứng cho thấy SLN hình thành tương tự như các sao thông thường có khối lượng thấp. Trong các quan sát với độ phân giải cao hơn sắp tới, chúng tôi sẽ nghiên cứu các tính chất khác của [GKH94] 41 (chẳng hạn như hiện tượng luồng phụt) để mô tả hoàn chỉnh hơn về các giai đoạn tiến hóa đầu tiên của SLN.

❖ **Tuyên bố về quyền lợi:** Các tác giả xác nhận hoàn toàn không có xung đột về quyền lợi.

❖ **Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ phát triển Khoa học và Công nghệ Quốc gia Việt Nam (NAFOSTED), mã số đề tài 103.99-2015.108.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- André, P., Ward-Thompson, D., & Greaves, J. (2012). Interferometric Identification of a Pre-Brown Dwarf. *Science*, 337(6090), 69-72.
- Bate, M. R., Bonnell, I. A., & Bromm, V. (2002). The formation mechanism of brown dwarfs. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 332(3), L65-L68.
- Bonnell, I. A., Clark, P., & Bate, M. R. (2008). Gravitational fragmentation and the formation of brown dwarfs in stellar clusters. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 389(4), 1556-1562.
- Bulger, J., Patience, J., Ward-Duong, K., Pinte, C., Bouy, H., Ménard, F., & Monin, J. L. (2014). The Taurus Boundary of Stellar/Substellar (TBOSS) Survey-I. Far-IR disk emission measured with Herschel. *Astronomy & Astrophysics*, 570, A29.
- Chandler, C. J., Barsony, M., & Moore, T. J. (1998). The circumstellar envelopes around three protostars in Taurus. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 299(3), 789-798.
- Dang Duc, C., Phan-Bao, N., & Dao Van, D. T. (2016). Two confirmed class I very low-mass objects in Taurus. *Astronomy & Astrophysics*, 588, L2.
- Harvey, P. M., Henning, T., Liu, Y., Ménard, F., Pinte, C., Wolf, S.,... & Pascucci, I. (2012). A Herschel Survey of cold dust in disks around brown dwarfs and low-mass stars. *The Astrophysical Journal*, 755(1), 67.
- Ho, P. T., Moran, J. M., & Lo, K. Y. (2004). The submillimeter array. *The Astrophysical Journal Letters*, 616(1), L1.
- Lee, C. W., Kim, M. R., Kim, G., Saito, M., Myers, P. C., & Kurono, Y. (2013). Early star-forming processes in dense molecular cloud L328; identification of L328-IRS as a proto-brown dwarf. *The Astrophysical Journal*, 777(1), 50.

- Liu, M. C., Matthews, B. C., Williams, J. P., & Kalas, P. G. (2004). A submillimeter search of nearby young stars for cold dust: Discovery of debris disks around two low-mass stars. *The Astrophysical Journal*, 608(1), 526-532.
- Luhman, K. L., Stauffer, J. R., Muench, A. A., Rieke, G. H., Lada, E. A., Bouvier, J., & Lada, C. J. (2003). A census of the young cluster IC 348. *The Astrophysical Journal*, 593(2), 1093-1115.
- Luhman, K. L., Allen, P. R., Espaillat, C., Hartmann, L., & Calvet, N. (2010). Erratum: "The Disk Population of the Taurus Star-Forming Region" (2010, ApJS, 186, 111). *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 189, 353-354.
- Padoan, P., & Nordlund, Å. (2004). The "mysterious" origin of brown dwarfs. *The Astrophysical Journal*, 617(1), 559-564.
- Palau, A., Zapata, L. A., Rodríguez, L. F., Bouy, H., Barrado, D., Morales-Calderón, M., & Li, D. (2014). IC 348-SMM2E: a Class 0 proto-brown dwarf candidate forming as a scaled-down version of low-mass stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 444(1), 833-845.
- Wright, E. L., Eisenhardt, P. R., Mainzer, A. K., Ressler, M. E., Cutri, R. M., Jarrett, T.,... & Stanford, S. A. (2010). The Wide-field Infrared Survey Explorer (WISE): mission description and initial on-orbit performance. *The Astronomical Journal*, 140(6), 1868-1881.

**ESTIMATING THE FINAL MASS OF THE CLASS I PROTO BROWN DWARF
[GKH94] 41 FROM SMA OBSERVATION**

Nguyen Thanh Dat^{1,2}, Pham Bao Ngoc^{1}*

¹ Department of Physics, HCM International University, Viet Nam National University

² Faculty of Physics and Engineering Physics, HCM University of Science, Viet Nam National University

^{*}Corresponding author: Phan Bao Ngoc – Email: pbngoc@hcmiu.edu.vn

Received: August 06, 2019; Revised: August 24, 2019; Accepted: June 12, 2020

ABSTRACT

[GKH94] 41 was previously identified to be a class I proto brown-dwarf in Taurus with an estimated final mass below the substellar boundary in a study by Dang Duc et al. (2016). However, in their study, the current final mass of [GKH94] 41 was estimated based on only three photometric data points in the wavelength ranging from 70 μm to 2.9 mm. Studying class I proto-brown dwarfs is very important to understand the evolutionary process of brown dwarfs at the earliest stages. Therefore, in this study observations were used for the source at different millimeter wavelengths to improve the estimated final mass for [GKH94] 41. We observed [GKH94] 41 at 230 GHz (or 1.3 mm) with the Submillimeter Array and then combined with other available data to reconstruct the spectral energy distribution of the source. The flux density of [GKH94] 41 is measured at 1.3 mm to be 2.6 ± 0.5 mJy. Our estimated final mass of [GKH94] 41 is $42^{+56}_{-27} M_{\text{Jupiter}}$. The estimated final mass in this paper is in agreement with our previously estimated mass of [GKH94] 41. Our result confirms that the source will end up as a brown dwarf.

Keywords: brown dwarfs; star formation; proto-stars