



## اكتشاف مجموعة من بقايا السوبرنوبا في المجرة القريبة NGC 3344 عن طريق دراسة طيفية ثلاثية الأبعاد في المجال المرئي

إسماعيل مؤمن

طالب دكتوراه تحت إشراف مشترك من جامعة لافال وتلسكوب كندا وفرنسا وهاواي في كندا

من خلال هذا المقال، والذي هو عبارة عن ملخص مترجم للمقال الأصلي المنشور في مجلة Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (انظر، Moumen et al. 2019) سنقدم أول اكتشاف بصري مرفوق بتأكيد طيفي في المجال المرئي لعينة من بقايا السوبرنوبا (Supernova Remnants) في المجرة القريبة NGC 3344. وقد تم هذا الاكتشاف باستخدام بيانات ذات دقة طيفية ومكانية عالية تم الحصول عليها باستخدام (Fourier Transform Spectro-imager) مطياف-تصوير بتحويل فورييه يدعى SITELE والمتواجد بمركز كندا - فرنسا - هاواي. من خلال هذا البحث، تمت دراسة حوالي 2200 منطقة لخطوط الانبعاث، أغلبها مناطق لنشأة النجوم والتي تسمى أيضاً مناطق الهيدروجين المؤين (H II regions)، ومناطق الغاز المؤين المنتشر (diffuse ionised gaz)، بالإضافة إلى بقايا السوبرنوبا (Supernova Remnants). استناداً إلى أربعة معايير فيزيائية، تم تحديد 129 منطقة مرشحة لتكون بقايا سوبرنوبا. كما تم قياس خطوط الانبعاث للأوكسجين والنايتروجين بالإضافة للهيدروجين، لدراسة خواص الغاز المؤين لهذه المناطق المرشحة لتكون بقايا السوبرنوبا.

تم رصد المجرة NGC 3344 في مارس 2016 باستعمال مطياف تحويل فورييه للتصوير (imaging Fourier transform spectrometer) الذي تم تثبيته حديثاً بمركز كندا-فرنسا-هاواي. يتميز هذا الجهاز بمجال رؤية كبير ودقة مكانية في حدود الرؤية الفلكية للمركز. في حالة NGC 3344 وفي قمة بركان الموناكيا، كانت حدود الرؤية حوالي 0.8 ثانية قوس. تمكنا من خلال هذا الرصد من الحصول على أكثر من أربعة ملايين طيف في نطاق الطول الموجي المرئي من 350 إلى 900 نانومتر. في الجدول 1، نقدم تفاصيل الدقة الطيفية ووقت الرصد باستعمال كل مرشح، إلى جانب معلومات الرصد الأخرى.

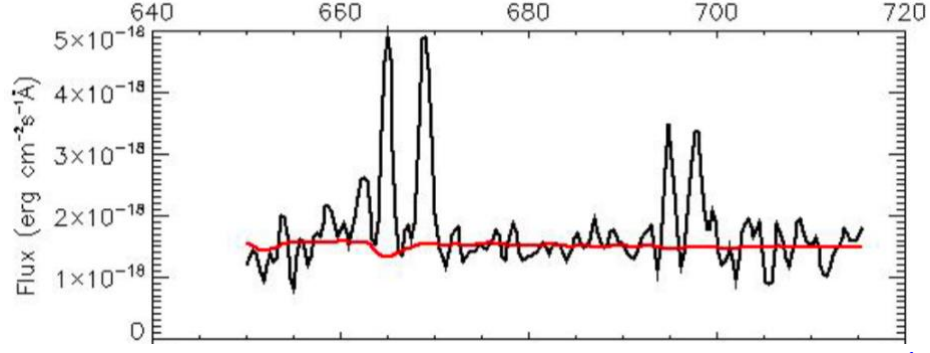
| المرشح                       | SN1         | SN2         | SN3         |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| تاريخ الرصد                  | 7 مارس 2016 | 6 مارس 2016 | 5 مارس 2016 |
| الرؤية الفلكية (ثانية القوس) | 0.8         | 0.8         | 0.8         |
| جودة السماء                  | صافية       | صافية       | صافية       |
| الاستبانة الطيفية            | 400         | 600         | 1500        |
| مدة الرصد (بالساعات)         | 2.8         | 3.1         | 2.7         |

جدول 1: معلومات عن رصد المجرة القريبة NGC 3344 والظروف التي تم فيها هذا الرصد

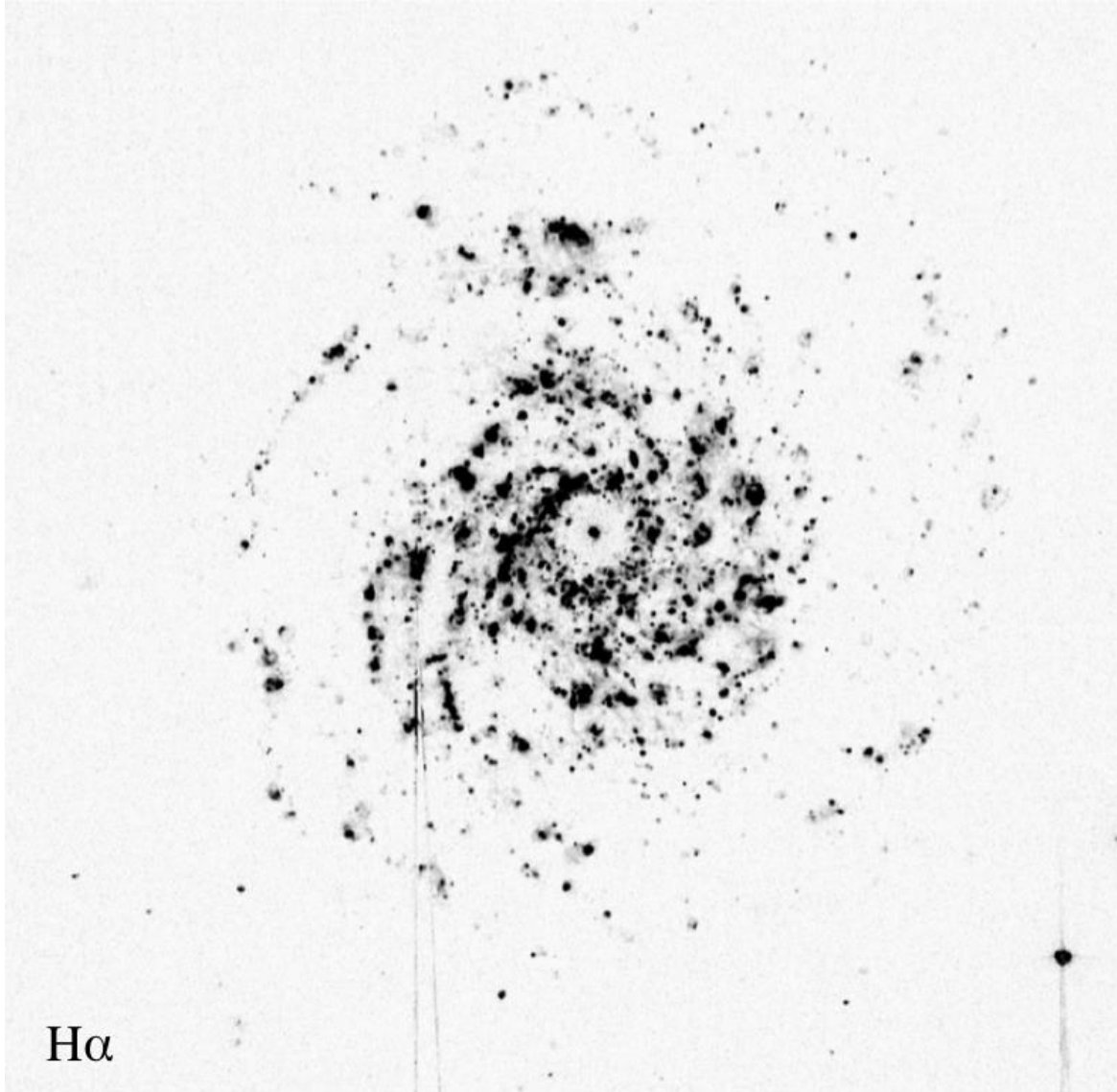


شكل 1: اعلی: صورة عن الطريق مزج الصور العميقة للمرشحات الثلاثة 3SN بالأحمر، 2SN بالأخضر، و1SN بالأزرق. المجال البصري للجهاز هو 11 دقيقة القوس x 11 دقيقة القوس. الشمال إلى فوق والشرق إلى اليسار.

كما نعرض في الشكل 2 طيف بكسل واحد موجود داخل منطقتين مرشحتين كي يكونا بقايا سوبرنوف. بينما يعرض الشكل 3 خرائط لجميع الخطوط المستخدمة في هذا العمل. من المثير للاهتمام ملاحظة كيف أن خطوط الانبعاث O  $\lambda\lambda$  [4959, 5007] غائبة في الحلقة الداخلية للمجرة ، بينما تبدو واضحة جدًا في خطوط الانبعاثات الأخرى، بما في ذلك  $\lambda$  [3727 O II].

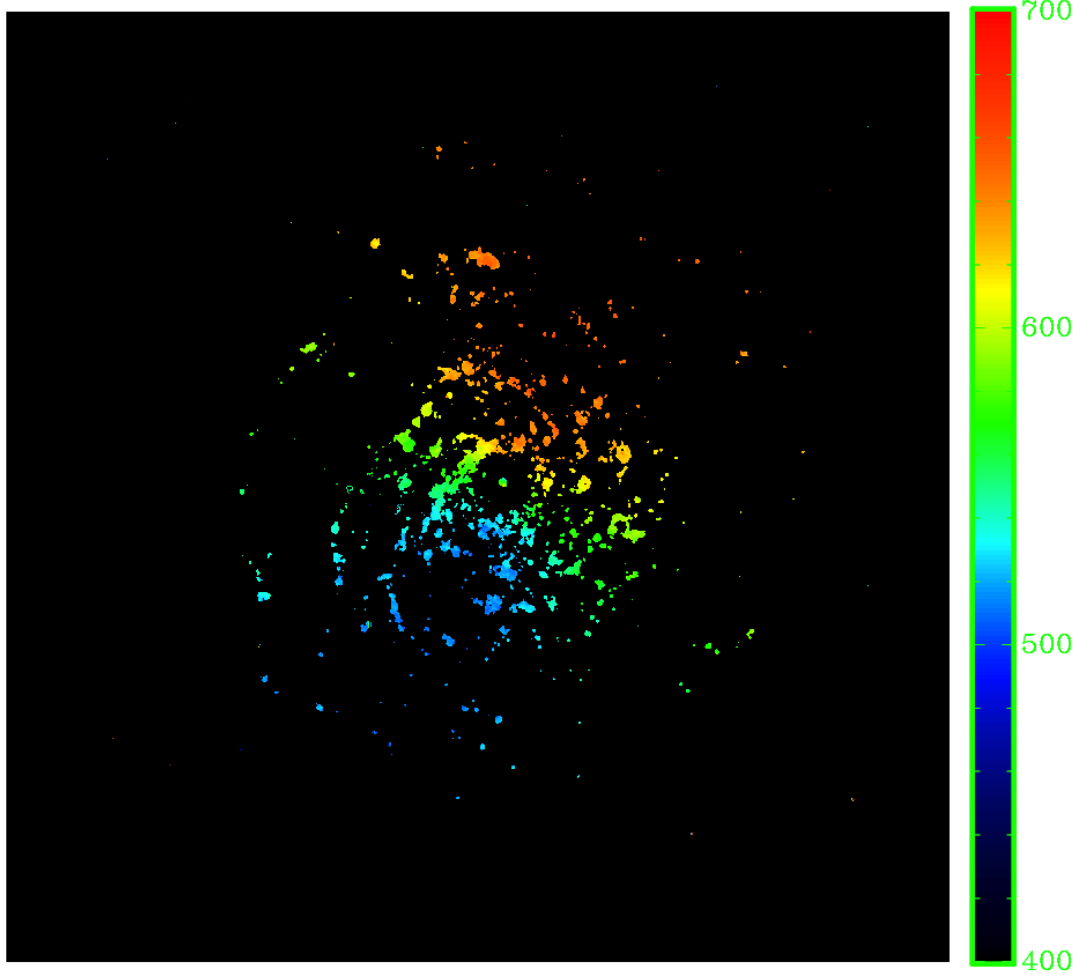


شكل 2: مثال من أطياف SITELE لـ بكسل واحد داخل احدى بقايا السوبرنوف. في هذا الشكل نعرض طيف المرشح 3SN والذي يحتوي على خطوط (من اليسار إلى اليمين) [N II 6548,6584] و  $H\alpha$  و [S II 6716,6731]. باللون الأسود: الطيف المرصود وباللون الأحمر طيف الامتصاص الذي تم الحصول عليه من أحد نماذج ساكنة النجوم.



شكل 3: خريطة التدفق لخط الانبعاث الصادر من الهيدروجين المؤين  $H\alpha$ .

يعرض الشكل 4 خريطة سرعة الغاز المؤين التي تم تجميعها مع الأخذ بعين الاعتبار فقط البيكسلات ذات اشارة إلى نسبة ضوضاء أكبر من 3 بالنسبة لخط الانبعاث إتش-ألفا. مع وجود زاوية ميل صغيرة ( $i = 18.7^\circ$ )، تعرض المجرة NGC 3344 تدرج صغير في سرعة مكوناتها يبلغ في أقصاه 200 كيلومتر في الثانية ما بين الجانب الذي يبتعد عنا والجانب المقرب منا. تتوافق السرعة النظامية المقاسة في مركز المجرة في هذا العمل ( $18 \pm 579$  كيلومتر في الثانية) مع القيمة الموجودة في قاعدة البيانات NED وهي ( $1 \pm 580$  كيلومتر في الثانية).

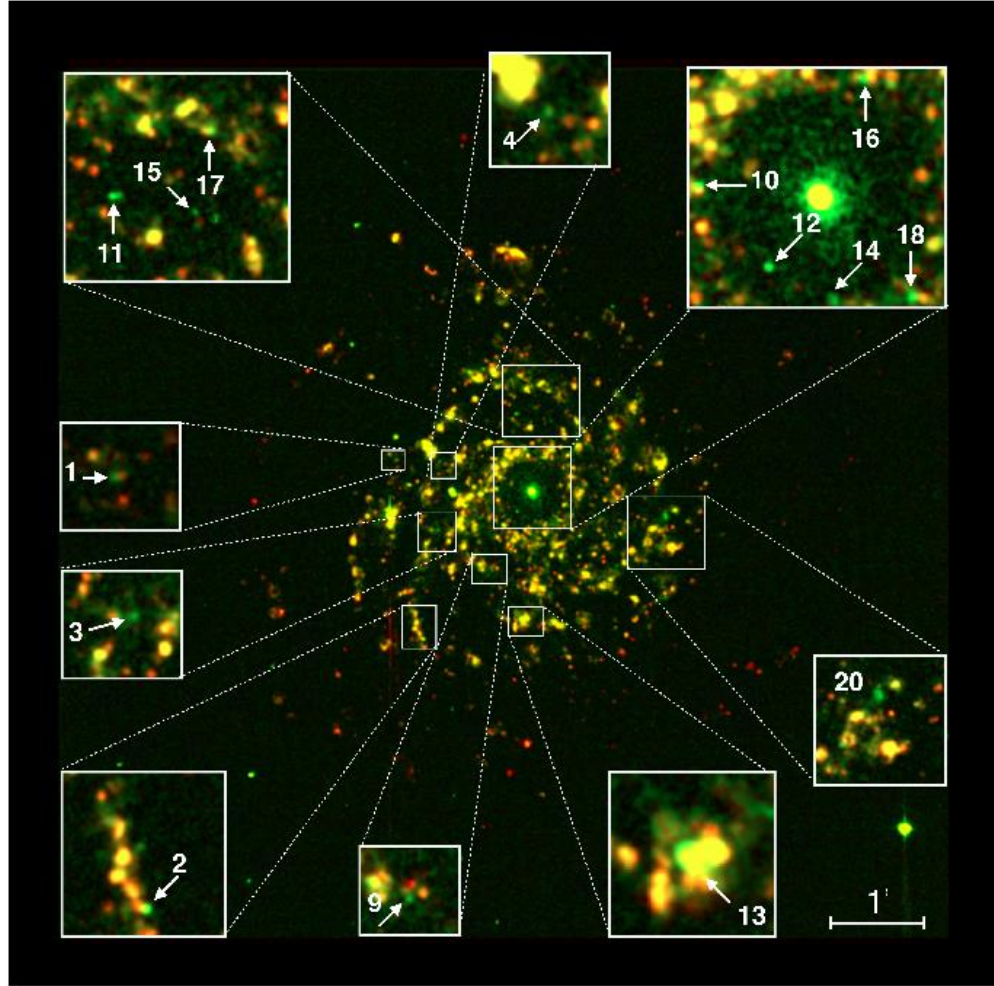


شكل 4: خريطة السرعة للمجرة NGC 3344 والتي تم الحصول عليها باستعمال البيكسلات ذات اشارة إلى نسبة ضوضاء أكبر أو تساوي 3 بالنسبة لخط الانبعاث إتش-ألفا.

#### اختيار المناطق المرشحة كي تكون بقايا سوبرنوف:

من أجل اختيار المناطق المرشحة كي تكون بقايا سوبرنوف بطريقة أوتوماتيكية وغير ذاتية، استخدمنا تقنية التعرف الآلي لمناطق الغاز المؤين التي تم تقديمها في مقال [Rousseau-Nepton et al. 2018](#). تم إنشاء هذه التقنية في البداية لدراسة مناطق نشأة النجوم في المجرة الحلزونية المجاورة NGC 628، حيث تم تحديد أكثر من 4200 منطقة نشأة نجوم.

لكن من خلال هذا العمل قمنا بتعديل هذه التقنية للعثور على المناطق المرشحة كي تكون بقايا سوبرنوف. ومن خلال هذه التقنية تم الحصول على 2192 من مناطق الانبعاثات. في هذه المرحلة، والتي تشمل بالإضافة لبقايا السوبرنوف، مناطق نشأة النجوم (H II regions) وكذلك مناطق الغاز المؤين المنتشر (diffuse ionised gaz). من أجل اختيار المناطق المرشحة لتكون بقايا سوبرنوف بين مناطق الانبعاثات التي قمنا بتحديدنا، استخدمنا عدة معايير مكنتنا من الحصول على قائمة من 129 مرشح بقايا السوبرنوف.



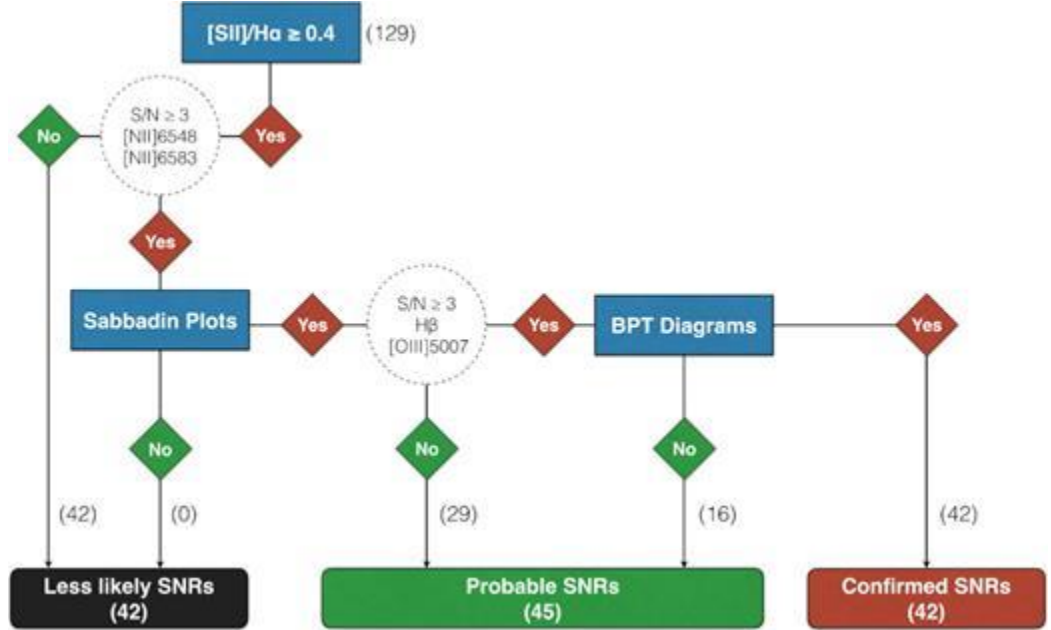
شكل 6: صورة H $\alpha$  + [S II] للمناطق المرشحة كي تكون بقايا سوبرنوف. تظهر المناطق المرشحة كمصادر خضراء بسبب انبعاث الكبريت المؤين [S II] الأقوى نسبياً.

#### التأكيد البصري لبقايا السوبرنوف

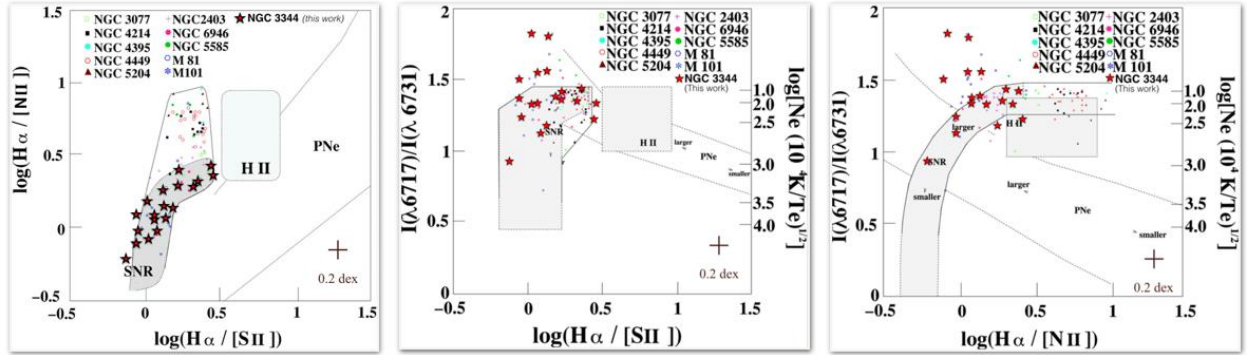
لتأكيد الطبيعة الفيزيائية للمناطق المرشحة كي تكون بقايا السوبرنوف اتبعنا الطريقة المعروضة في الشكل 7 والتي تبدأ بكل المناطق المرشحة وعددها 129 ونحصل في النهاية على ثلاثة أنواع فقط، وهي: بقايا السوبرنوف الأقل احتمالاً وعددها 42، ثم بقايا السوبرنوف المحتملة وعددها 45، وأخيراً بقايا السوبرنوف الأكيدة وعددها 42. كما هو مبين في الشكل 8. بالنسبة لبقايا السوبرنوف الأقل احتمالاً فهي المناطق التي توجد خارج منطقة بقايا السوبرنوف في رسومات Sabbadin et al. 1977 أو لا تتوفر على كميات كافية من النيتروجين كي يتم دراستها في هذه الرسومات. أما بالنسبة لبقايا السوبرنوف



المحتملة فهي المناطق المتواجدة في المنطقة المخصصة لبقايا السوبرنوفات في رسومات Sabbadin لكن توجد خارج منطقة الصدمات في الرسوم البيانية لـ Baldwin et al. 1981 والمعروفة باسم رسومات الـ BPT بقايا السوبرنوفات الأكيدة هي تلك المناطق المتواجدة في المنطقة المخصصة لبقايا السوبرنوفات في رسومات Sabbadin وأيضا في منطقة الصدمات في رسومات الـ BPT. (انظر المقال الاصيلي. (Moumen et al. 2019).



شكل 7: شجرة القرار المستخدمة لتأكيد بقايا السوبرنوفات في المجرة NGC 3344. في نهاية هذا التحليل ، تندرج المناطق المرشحة لبقايا السوبرنوفات الـ 129 في واحدة من الفئات الثلاث:  
أكيدة (42) ، محتملة (45) ، أو أقل احتمالاً (42). المصدر: Moumen et al. 2019.



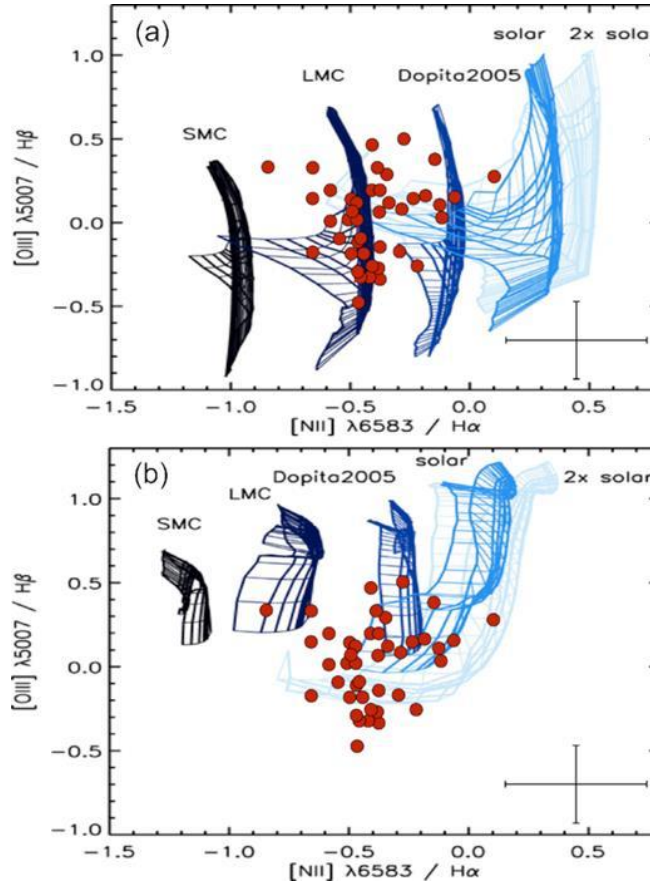
شكل 8: أمثلة لرسومات Sabbadin لبعض المناطق المرشحة. بالاحمر: بعض بقايا السوبرنوفات التي تم اكتشافها خلال هذه الدراسة. باقي الالوان تمثل بقايا السوبرنوفات في مجرات اخرى مأخوذة من دراسة Leonidaki et al. (2013).

## مقارنة مع نماذج الصدمات

تم تطوير العديد من نماذج الصدمات من قبل فرق علمية مختلفة مختصة في هذا المجال وغالباً ما تستخدم هذه النماذج لدراسة الخصائص الفيزيائية لبقايا السوبرنوفات. من بين أهم هذه النماذج، نماذج Allen et al. 2008 ونماذج Dopita et al. 1984 التي تأخذ بعين الاعتبار العديد من المتغيرات الفيزيائية كسرعة الصدمات والمجال المغناطيسي والمكونات الكيميائية لبقايا السوبرنوفات.

في الشكل 10، نقدم نماذج من Allen et al. 2008 لنسب خطوط الانبعاث  $[O III] \lambda 5007 / H\beta$  مقابل  $[N II] \lambda 6583 / H\alpha$  للمقارنة مع المعطيات المرصودة خلال هذا العمل.

بالنسبة لهذه النماذج، تمثل الخطوط العمودية قيماً مختلفة للحقل المغناطيسي، بينما تمثل الخطوط الأفقية سرعات الصدمة. في كلا النموذجين، يمكن اعتبار مختلف القيم للحقل المغناطيسي، بينما بالنسبة للمكونات الكيميائية تم استبعاد النماذج ذات مكونات كيميائية منخفض للغاية كأنواع SMC بينما تم تفضيل القيمة المنخفضة لسرعة الصدمة. وبشكل خاص أحسن قيم لوصف المعطيات المرصودة هي سرعة صدمات تقل عن 250 كم في الثانية للغاز ذو المكونات الكيميائية القريبة من أعمال Dopita 2005، والمكونات الشمسية، و  $2 \times$  المكونات الشمسية. هذه النتائج تتوافق مع القيمة الموجودة في الأعمال السابقة  $(8.72 = 12 + (\log(O / H)))$ .



شكل 10:  $[O III] \lambda 5007 / H\beta$  مقابل  $[N II] \lambda 6583 / H\alpha$  استناداً إلى (أ) نماذج الصدمات فقط و (ب) نماذج السلايف الصدمية من Allen et al. 2008. الصورة مأخوذة من Moumen et al. 2019.

يوضح الشكل 19 في Moumen et al. (2019) منحنيات ونماذج نسب انبعاثات خطوط مختلفة من Allen et al. 1984 في حالة سرعة صدمة ضعيفة تبلغ 106 كيلومتر في الثانية. كما يبدو من خلال هذا الشكل، فإن بقايا السوبرنوفات لا



تتطابق مع المنحنيات الموجودة في المخططات العليا (حيث تم اعتبار نسبة الوفرة الثابتة  $O/S = 42.8$ ). وهذه نفس النتيجة توصل إليها Lee et al. 2015 أثناء دراستهم لبقايا السوبرنوف في مجرة 31M. من جهة أخرى، يبدو أن معظم بقايا السوبرنوف توافق القيم الموجودة في المخططات السفلى وتعطي قيم تتراوح من  $1.5 \times 10^{-4}$  و  $6 \times 10^{-4}$

### خلاصة

في هذه الورقة، والتي هي عبارة عن ترجمة لأهم نتائج الدراسة المنشورة في (Moumen et al. 2019) استخدمنا بيانات طيفية ومكانية عالية الدقة تم الحصول عليها من جهاز SITELLE في مرصد كندا-فرنسا-هاواي لدراسة عينة من بقايا السوبرنوف في المجرة القريبة NGC 3344. نلخص نتائجنا كما يلي:

1. أول اكتشاف وتأكيد لعينة من بقايا السوبرنوف في المجرة القريبة NGC 3344 عن طريق تحليل منهجي باستخدام معايير متعلقة بفيزياء ومورفولوجيا مناطق الانبعاث. تمكننا من اكتشاف 129 منطقة مرشحة كي تكون بقايا سوبرنوف مصنفة إلى ثلاث فئات: مؤكدة (42)، محتملة (45)، وأقل احتمالاً (42).
2. قدمنا تحليلاً طيفياً ذاتياً متسقاً، مستغلين جميع خطوط الانبعاث المتاحة مع الجهاز SITELLE واستخدمنا رسومات Sabbadin ورسومات BPT لتأكيد آلية التأين داخل المناطق المرشحة.
3. قمنا بمقارنة النماذج النظرية للصدمات من Allen et al. 2008 بنسب خطوط الانبعاث التي تم الحصول عليها لبقايا السوبرنوف المؤكدة. بالنسبة للمكونات الكيميائية فهي تتراوح بين LMC و  $2 \times$  الشمسية. أما المقارنة مع نماذج الصدمات من Dopita et al. 1984 فقد كشفت عن وفرة  $O/N$  ما بين 6 و 12 و  $Z(O)$  يتراوح ما بين  $1.5 \times 10^{-4}$  و  $6 \times 10^{-4}$



### المرجع الأساسي:

**3D optical spectroscopic study of NGC 3344 with SITELLE: I. Identification and confirmation of supernova remnants.** I Moumen, C Robert, D Devost, R P Martin, L Rousseau-Nepton, L Drissen, T Martin

*Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 488, Issue 1, September 2019, Pages 803–829, <https://doi.org/10.1093/mnras/stz1734> . Published: 25 June 2019

### المراجع الاخرى (حسب الترتيب الأبجدي)

- Allen M. G., Groves B. A., Dopita M. A., Sutherland R. S., Kewley L. J., 2008, ApJS, 178, 20
- Baldwin J. A., Phillips M. M., Terlevich R., 1981, PASP, 93, 5
- Dopita M. A., Binette L., Dodorico S., Benvenuti P., 1984, ApJ, 276, 653
- Drissen L. et al., 2019, MNRAS, 485, 3930
- Lee M. G. et al., 2015, ApJ, 804, 63
- Leonidaki I., Boumis P., Zezas A., 2013, MNRAS, 429, 189
- Martin T. B., Prunet S., Drissen L., 2016, MNRAS, 463, 4223
- Rousseau-Nepton L., Robert C., Martin R. P., Drissen L., Martin T., 2018, MNRAS, 477, 4152
- Sabbadin F., Minello S., Bianchini A., 1977, A&A, 60, 147