

نجوم متغيرة جديدة مكتشفة في مجموعة نجوم الثريا المفتوحة

محمد أحمد معلا*

(تاريخ الإيداع ١٤ / ٦ / ٢٠٢٠ . قبل للنشر ١٨ / ٨ / ٢٠٢١)

ملخص

نعرض في هذه المقالة العلمية نتائج رصدنا الفلكي لحقل من النجوم يقع ضمن مجموعة نجوم الثريا المفتوحة وذلك بحثاً عن نجوم متغيرة جديدة. لقد تمت عمليات الرصد الفلكي للحقل المدروس في الفترة الممتدة من عام 2008 ولغاية نهاية العام 2010 وحديثاً تمت متابعة الرصد في العام ٢٠٢٠ بواسطة كاميرا فلكية مركبة على التلسكوب الرئيسي ذو القطر 0.9m في المرصد الفلكي التابع لمعهد الفيزياء الفلكية في جامعة فريدرش شيلر في مدينة بينا-ألمانيا. تم اكتشاف العديد من النجوم المتغيرة الجديدة ضمن هذا الحقل، ولكن ثلاثة منها تصلح لأن تكون إما نجوم نابضة متغيرة أو نجوم دوارة متغيرة. في نفس الوقت فإن هذه النجوم الثلاث تصلح كذلك لأن تكون أنظمة ثنائية الكسوف. قمنا بحساب البارامترات الفيزيائية، كشدّة الإشعاع في أطوال موجية مختلفة والنوع الطيفي وكلاً من الكتلة ونصف القطر لكل نجم من هذه النجوم. أما فيما يتعلق بانتماء هذه النجوم المتغيرة الجديدة إلى مجموعة نجوم الثريا، فقد قمنا بإنشاء مخطط اللون-اللمعان للتحقق من ذلك.

كلمات مفتاحية { مجموعات مفتوحة: نجوم الثريا -- النجوم: نجوم متغيرة -- نابضة -- دوارة -- التقنيات: قياس شدة الضوء }.

*مدرس في كلية طب الأسنان - جامعة المنارة - اللاذقية.

New founded variable stars in the Pleiades open cluster

Mohammad Ahmad Moualla*

(Received 14 / 6 / 2020 . Accepted 18 / 8 / 2021)

Abstrac

We present in this paper the results of our survey on a field of stars in the Pleiades open cluster searching for variable stars. The field was observed in the period 2008– 2010 and recently 2020 with the main telescope's camera of 0.9 m at the University Observatory Jena in Germany. Many new variable stars were found, but three of them are valid either as pulsating or rotating stars, at the same time it's possible that those stars could be eclipsing binaries.

We have determined the orbital period, magnitudes in many filters, spectral type, mass and radius yielding each one of those stars. A Color-Magnitude Diagram (CMD) was performed in order to verify the membership of those stars in the Pleiades open cluster.

Keywords { open clusters and associations: individual (Pleiades) -- stars: variable-- pulsating--rotating-- techniques: photometric }

¹Lecturer at the Faculty of Dentistry – Manara University – Lattakia, Syria.
mohammad.moualla@manara.edu.sy

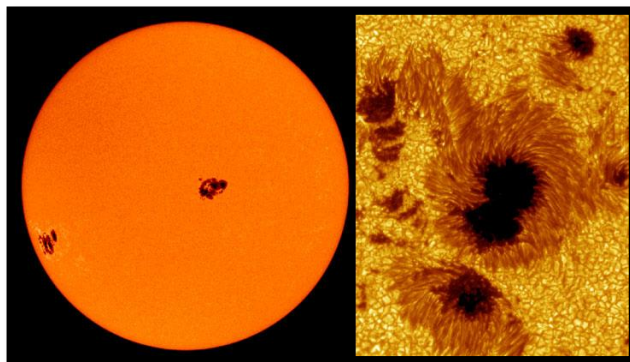
المقدمة:

تمتلك النجوم دورة حياة تشبه إلى حد كبير حياة البشر، حيث أنها تولد في مجموعات تضم أعداد كبيرة من النجوم تظهر نشاط كبير جداً في المراحل الأولى للتطور يتمثل في سرعة دوران عالية جداً (مرحلة الشباب)، تليها مرحلة طويلة مستقرة نسبياً (مرحلة النضوج)، ثم تليها مرحلة تطور جديدة تُظهر فيها النجوم بعض التغيرات التي تكون مقدمة لاندثارها إما على شكل قزم سماوي أبيض (white dwarf) أو ثقب أسود (black hole) أو في أسوأ الأحوال انفجار النجم (Supernova) مع تشكل نجم نيوتروني (neutron star) في بعض الحالات (مرحلة الموت).

تصنف النجوم بالمجمل ضمن نوعين رئيسيين، نجوم ثابتة ونجوم متغيرة. فيما يتعلق بالنجوم الثابتة فدعيت كذلك لأنها تحافظ على شدة لمعان ثابتة نسبياً أثناء فترة حياتها الطويلة وهو ما يمكن ملاحظته في المنحني الضوئي الخاص بهذه النجوم، في حين تتغير شدة لمعان النجوم المتغيرة مع مرور الزمن نتيجة تغيرات تطراً على النجم أثناء فترة حياته. تكتسب دراسة هذه النجوم المتغيرة أهمية خاصة لعلماء الفلك تتمثل في تحديد بعض الخواص الفيزيائية، التي من غير الممكن تحديدها أو قياسها بشكل مباشر (كالكتلة أو البعد) بدقة جيدة لبعض هذه النجوم في بعض الحالات.

تتضمن مجموعة النجوم المتغيرة فيزيائياً نوعين رئيسيين وهما نجوم متغيرة بانتظام ونجوم متغيرة بصورة غير منتظمة. أما النجوم المتغيرة بانتظام فتتضمن بدورها نوعين وهما النجوم النابضة (pulsating stars) والنجوم الدوارة (rotating stars)، في حين تحوي النجوم المتغيرة بصورة غير منتظمة نوع واحد فقط هو نجوم الفلير (flare stars) [1,2].

تدور كافة النجوم حول محور دورانها بسرعات مختلفة، ابتداءً بسرعات عالية جداً للنجوم الفتية وانتهاءً بسرعات منخفضة مع تقدم العمر. يكون السطح الخارجي في هذا النوع من النجوم غير منتظم، بمعنى أنه توجد مناطق صغيرة سوداء على السطح تدعى باللطخ أو الكلف النجمي (Star spots) (الشكل 1)، وسميت كذلك لأنها شبيهة بالكلف الشمسي (Sunspots). ويعود السبب الفيزيائي لوجود هذه اللطخ إلى تأثير حقول مغناطيسية شديدة القوة على مناطق معينة من سطح النجم مما يؤدي إلى عدم السماح بإيصال كامل الطاقة المتولدة في المركز عن سلسلة التفاعلات النووية إلى هذه المنطقة من السطح، إذ أن الحقل يكون قوي جداً لدرجة أنه يقوم بعكس المادة أي الطاقة قبل وصولها إلى السطح وبالتالي فإن هذا الجزء من سطح النجم يحصل على كمية طاقة أقل من باقي مناطق السطح الأخرى كون تأثير الحقل في هذه المنطقة يكون أكبر، وبالتالي تكون درجة حرارة هذا الجزء أقل من درجة حرارة باقي المناطق بحوالي 200 K - 300 K وهذا ما يفسر كون هذه المنطقة سوداء (كناية عن انخفاض درجة الحرارة الناجم عن انخفاض كمية الطاقة المنقولة حرارياً إلى السطح). الجدير بالذكر أن هذه اللطخ السوداء تظهر وتختفي من حين إلى آخر بحسب شدة الحقول المغناطيسية المؤثرة. فترة حياتها تمتد من بضع دقائق إلى عدة سنين ومن غير الممكن مراقبتها بشكل مباشر نظراً لصغر حجمها ولبعد النجم وعدم توفر التكنولوجيا اللازمة. عند مراقبتنا لنجم يحوي لطفة سوداء على سطحه فإننا نقيس دائماً نفس شدة الضوء ولكن عند مراقبة النصف الآخر من النجم والذي يحوي هذه اللطفة نحصل على كمية أقل من الضوء مما يعني حدوث تغيرات دورية في المنحني الضوئي الخاص بهذا النجم كونه يدور حول محور دورانه الوهمي. عملية القياس هذه تدعى (Photometry) وهي الآلية التي تم أتباعها في هذا البحث لدراسة تغيرات النجوم [3].



الشكل ١: صورتين من البقع الشمسية المختلفة. الصورة على اليسار تظهر قرص الشمس مع بعض مجموعات من البقع الشمسية الكبيرة بحجم كوكب المشتري العملاق (أكبر كواكب مجموعتنا الشمسية). الصورة على اليمين هي تقريب لبعض البقع الشمسية الأخرى، أصغرها أكبر من كوكب الأرض. [3].

سنقوم في هذه المقالة العلمية بعرض ثلاثة نجوم متغيرة جديدة مكتشفة ضمن حقل من النجوم في مجموعة نجوم الثريا (تمتلك أطراف من النوع المتوسط)، وهي إما نجوم متغيرة مفردة أو قد تكون نجوم متغيرة مضاعفة. سنشرح باختصار آلية الرصد الفلكي بالإضافة إلى آلية معالجة الصور الفلكية الملتقطة للحقل المدروس، ومن ثم سنقوم بعرض النتائج والمناقشة.

أهمية وأهداف البحث:

تأتي أهمية البحث من كون الحقل المدروس لم يتم رصده ودراسته فلكياً مسبقاً، مما يعني إمكانية اكتشاف العديد من الأجرام السماوية المهمة كالنجوم المتغيرة ومحاولة إثبات انتماءها لمجموعة نجوم الثريا.

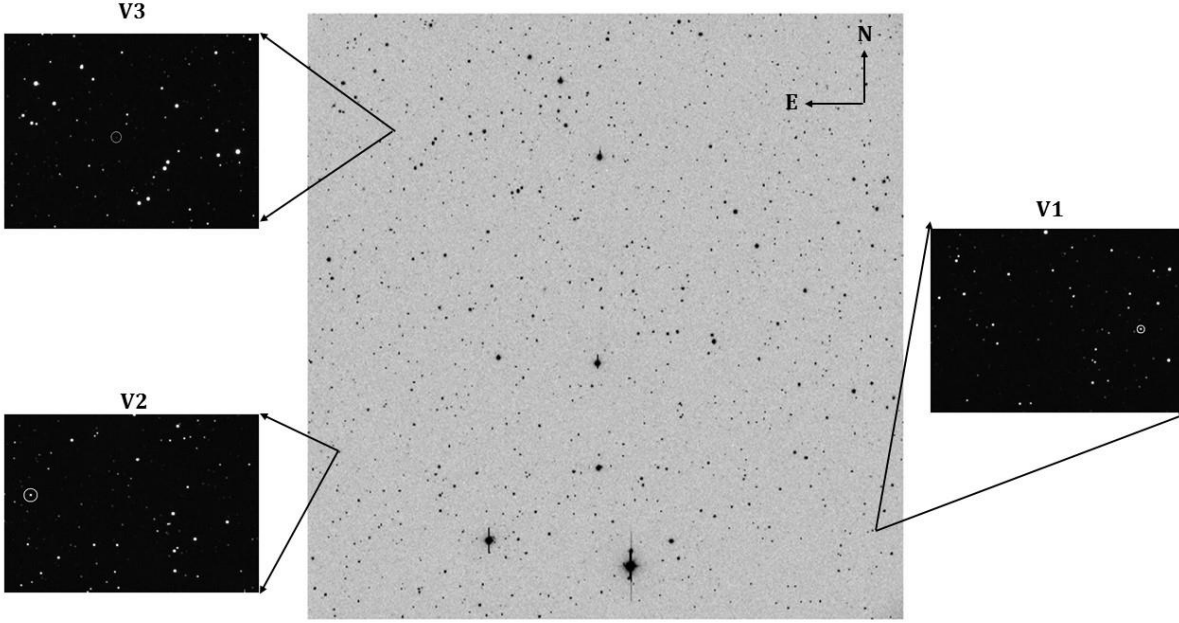
طرائق البحث ومواده:

لقد تم في إطار هذا البحث اختيار حقل من النجوم ضمن مجموعة نجوم الثريا الشهيرة بحثاً عن كافة أنواع النجوم المتغيرة. يعود سبب اختيارنا لنجوم الثريا إلى كونها نجوم حديثة الولادة [4] وقريبة نسبياً من الأرض [5, 6]، مما يعني القدرة على رصد أي نشاط تبديه هذه النجوم الفتية.

أما فيما يتعلق بموقع الحقل المدروس فقد تم اختياره ($\alpha = 3h 42m 21s$, $\delta = 25^\circ 36' 54''$) بعيداً عن مركز مجموعة الثريا حيث تقع النجوم شديدة اللان والتي ستعيق عملية قياس شدة لمعان نجوم الحقل المدروس، بالإضافة إلى أن الحقل المدروس لم تتم دراسته من قبل [7].

تمت كافة عمليات الرصد الفلكي في المجال R (Red) ($\lambda = 563nm$) المرئي من الطيف الكهرطيسي للضوء وبزمن إضاءة قدره 90s باستخدام تلسكوبات المرصد الفلكي (GSH (GrossSchwabHausen التابع لمعهد الفيزياء الفلكية (Astrophysical Institute University–Jena) AIU في جامعة فريدريش شيللر في مدينة جينا-ألمانيا [8]. تم رصد الحقل المدروس على مدار عدة سنوات بدءاً من العام ٢٠٠٨ حتى العام ٢٠٢٠، حيث تراوحت فترة الرصد الفلكي من عدة ساعات حتى ليل كامل بأكمله.

قمنا خلال دراستنا السابقة للحقل المدروس باكتشاف عدد من الأجرام السماوية، المرشحة لأن تكون أقزام سماوية بنية [9]. كما نجحنا باكتشاف العديد من النجوم المتغيرة ضمن هذا الحقل، أبرزها نجم فلير [10] ونجم متغير من نوع الغول [11]، ونجم متغير نابض [12].



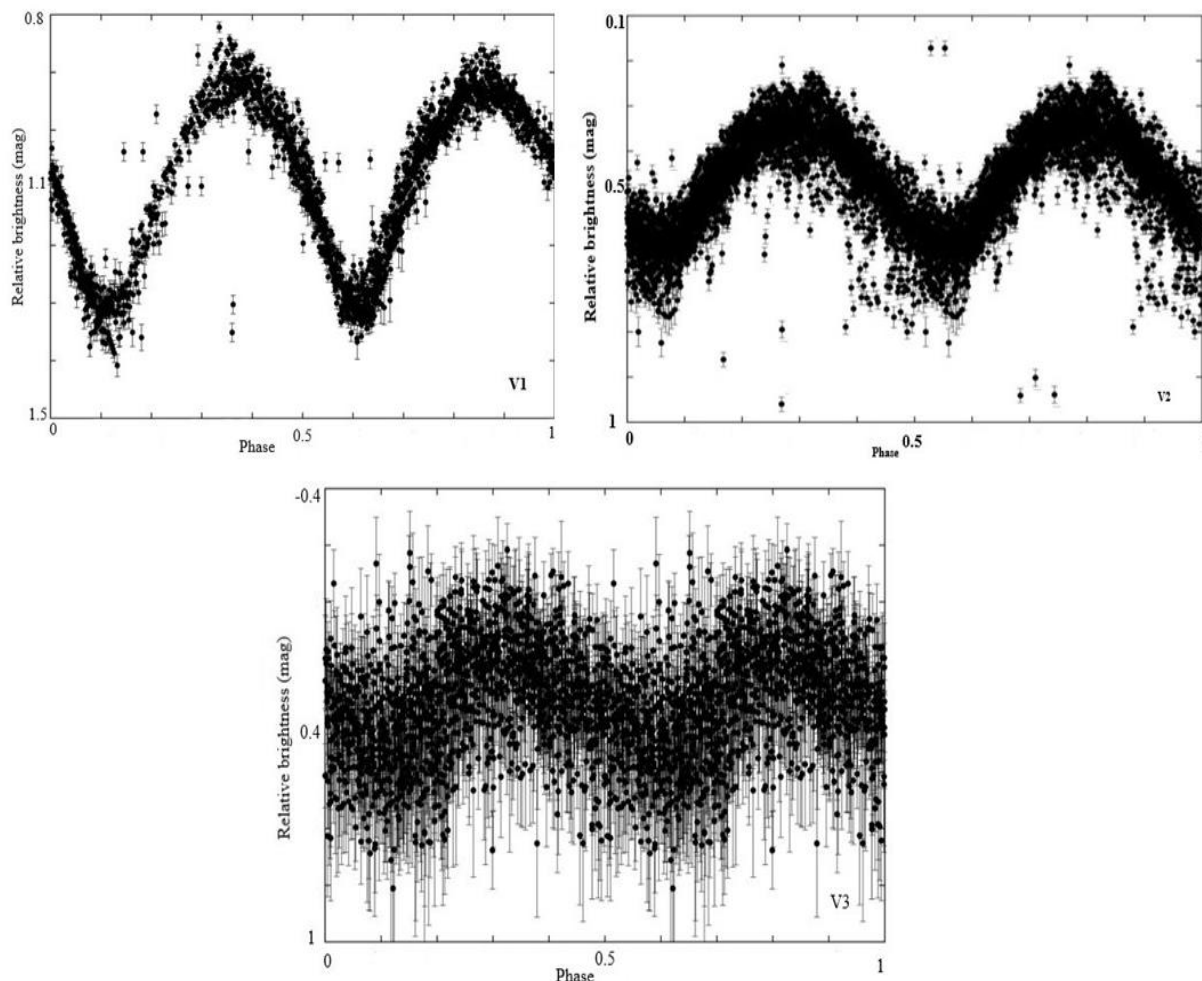
الشكل ٢: صورة للحقل المدروس ضمن مجموعة نجوم الثريا المفتوحة. تم التقاط هذه الصورة بواسطة كاميرا تلسكوب المرصد الفلكي (GSH) التابع لجامعة فريدرش شيللر في مدينة Jena في ألمانيا بزمن إضاءة قدره 90s وبطول موجي $\lambda = 563\text{nm}$. يشير N إلى الشمال و E إلى الشرق. تشير المربعات إلى تكبير مناطق تواجد النجوم الثلاثة المتغيرة الجديدة (V1, V2, V3) حيث تمت الإشارة إلى هذه النجوم بواسطة دوائر صغيرة ضمن هذه المربعات.

من أجل قياس شدة إشعاع نجوم الحقل المدروس والحصول على أفضل النتائج الممكنة، ينبغي في البدء معالجة الصور الفلكية الملتقطة (Raw image) بغية إزالة العيوب منها كالتيار الساكن وسطوح الخلفية. تمت عملية المعالجة حاسوبياً باستخدام Software خاص (Munich Image Data Analysis System, MIDAS) ومعتمد من قبل المنظمة الأوروبية للأبحاث الفلكية في نصف الكرة الأرضية الجنوبي (ESO) (European Southern Observatory) [13, 14].

يعتبر تحديد المصادر (Source detection) الخطوة الأولى في قياس شدة الإشعاع، حيث يتم تحديد كافة النجوم الموجودة في الحقل وذلك بالاعتماد على برنامج فلكي خاص [15]، يلي ذلك حساب شدة إشعاع (Instrumental Magnitude) كافة نجوم الحقل المدروس باستخدام طريقة الحلقات [3, 16]، حيث تتم مقارنة شدة إشعاع النجوم لوغاريتمياً بشدة إشعاع الخلفية.

النتائج والمناقشة

لقد قمنا في إطار هذا العمل برسم المنحني الضوئي الخاص بكل نجم من هذه النجوم الثلاثة بالاعتماد على برنامج فلكي خاص، حيث أننا نقوم بإدخال قيم شدة الإشعاع المقاسة (٨٨٠٠ قيمة توافق كل قيمة صورة فلكية واحدة) للنجم في كل ليلة من الليالي وعلى مدار عدة سنوات من العام ٢٠٠٨ ولغاية العام ٢٠٢٠، ومن ثم يقوم البرنامج برسم منحني بياني واحد أخذاً بعين الاعتبار الطور (Phase) من أجل طوي (Folds) المنحنيات الضوئية فوق بعضها البعض ولذلك يدعى هذا المنحني الضوئي بالمنحني الضوئي المطوي بالنسبة للطور (Phase folded light curve) (الشكل 3).



الشكل ٣: المنحنيات الضوئية الخاصة بالنجوم الثلاث الجديدة (V1, V2, V3) المكتشفة في الحقل المدروس حيث يشير الحرف V إلى كلمة متغير Variable. يتضمن كل منحنى قيم للسطوع الفعال (m_{inst}) المقيس خلال الفترة ٢٠٠٨-٢٠١٠ مضافاً لها قيم لقياسات حديثة من العام ٢٠٢٠، كما ان أخطاء القياس تم أخذها بعين الاعتبار.

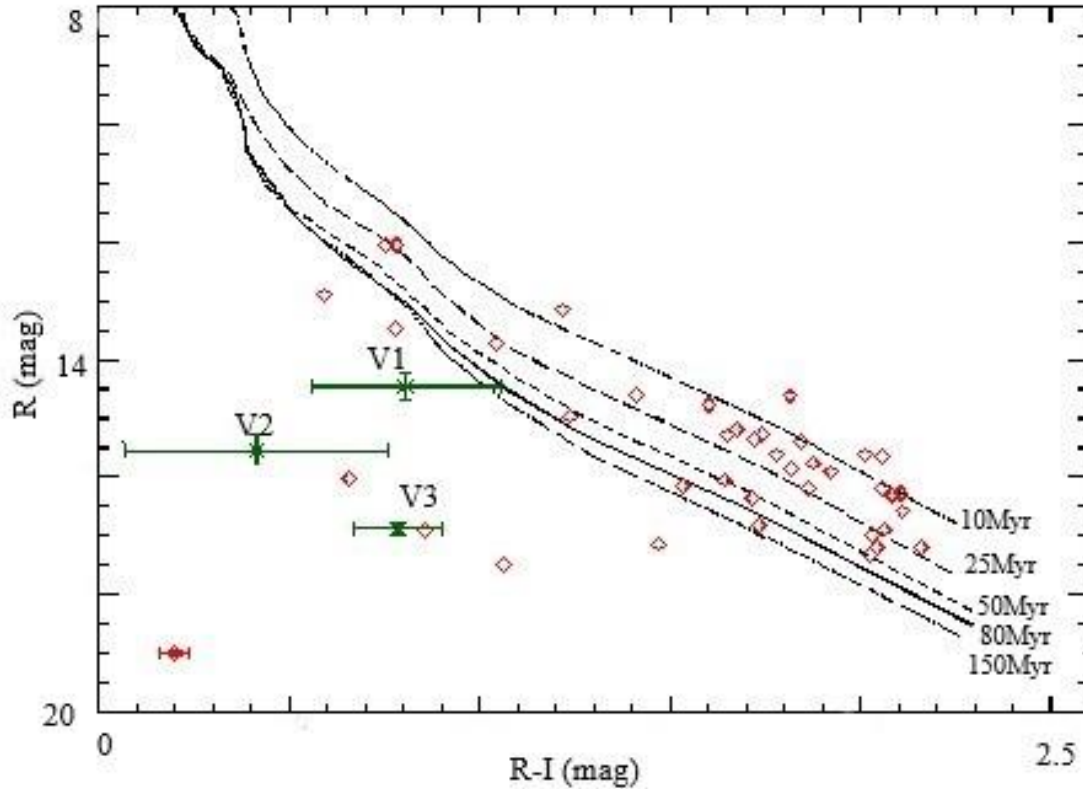
تم حساب نوع الطيف ودرجة الحرارة الفعالة لكل نجم من النجوم الثلاث بالاعتماد على جداول فلكية خاصة [17] أخذين بعين الاعتبار أن هذه النجوم تقع على النسق الرئيسي. بالنسبة للكتلة ونصف القطر فقد تم حسابها أيضاً لكل نجم من النجوم الثلاث باستخدام جداول فلكية خاصة [18]. بالنسبة لشدة الإشعاع في المجالات (B, J, H, K) (B:Blue) طول موجة اللون الأزرق (445nm)، في حين أن HJK تشير إلى أطوال موجية في المجال تحت الأحمر القريب (2190-1220nm) فقد تم الحصول عليها من عدة كتالوجات فلكية [19,20,21] لعدم قدرتنا على القياس في هذه الأطوال الموجية.

يلخص الجدول ١ أهم البرامترات الفيزيائية للنجوم الثلاث المدروسة، فهي تشمل شدة الإشعاع (السطوع) في المجال المرئي وبطولين موجيين مختلفين ($V = 552nm, R = 563nm$) بالإضافة إلى النوع الطيفي ودرجة الحرارة وكلاً من الكتلة ونصف القطر.

من أجل تحديد عمر وبعد النجوم الثلاث المدروسة، فقد قمنا برسم مخطط يدعى بمخطط اللون واللمعان CMD (Color-Magnitude Diagram) في المجال المرئي وهو أحد أشكال مخطط شهير جداً في فيزياء الفلك يدعى بمخطط (Hertzsprung-Russell Diagram, HRD). قمنا في هذا المخطط بإدراج القيم الخاصة بنجوم الثريا المعروفة والمدروسة سلفاً في الحقل المدروس (المربعات المرسومة ضمن الشكل ٤) كما قمنا بإدراج قيم القياس الخاصة بالنجوم الثلاث المدروسة (V1, V2, V3).

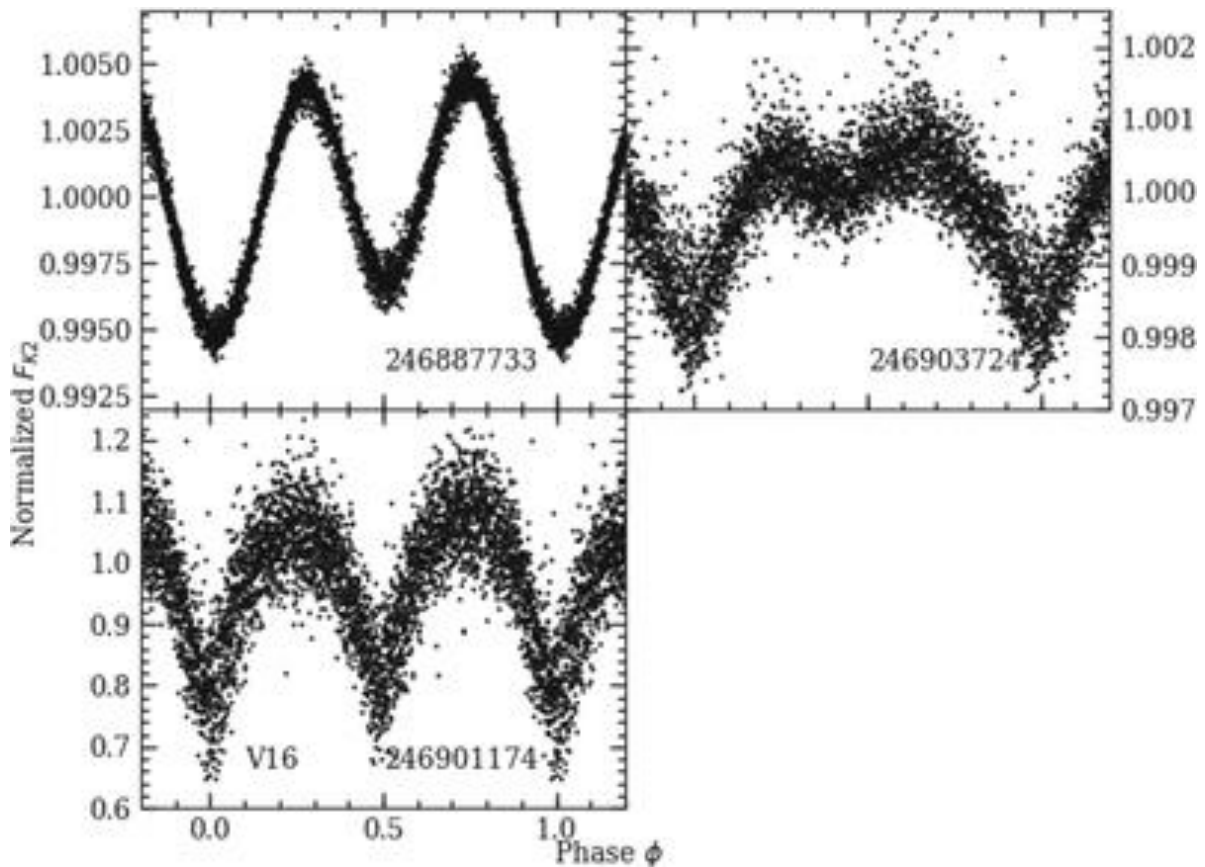
الجدول ١: البارامترات الفيزيائية للنجوم الثلاث المدروسة.

النجم V3	النجم V2	النجم V1	البارامتر
18.83	14.82	15.67	السطوع في المجال B
17.136 $\pm 0.328 \text{ mag}$	13.861 $\pm 0.213 \text{ mag}$	13.873 $\pm 0.186 \text{ mag}$	السطوع في المجال V
17.361 $\pm 0.162 \text{ mag}$	14.148 $\pm 0.331 \text{ mag}$	14.342 $\pm 0.190 \text{ mag}$	السطوع في المجال R
15.240 $\pm 0.056 \text{ mag}$	13.44 $\pm 0.022 \text{ mag}$	13.585 $\pm 0.023 \text{ mag}$	السطوع في المجال J
14.503 $\pm 0.052 \text{ mag}$	13.16 $\pm 0.031 \text{ mag}$	13.284 $\pm 0.032 \text{ mag}$	السطوع في المجال H
14.452 $\pm 0.071 \text{ mag}$	13.13 $\pm 0.036 \text{ mag}$	13.215 $\pm 0.033 \text{ mag}$	السطوع في المجال K
K5V	F2.5V	F7V	نوع الطيف Spectral type
4380 $\pm 2230 \text{ K}$	6720 $\pm 3340 \text{ K}$	6520 $\pm 3000 \text{ K}$	درجة الحرارة الفعالة T_{eff}
0.672 $\pm 0.316 M_{\odot}$	1.384 $\pm 0.920 M_{\odot}$	1.281 $\pm 0.230 M_{\odot}$	الكتلة M
0.812 $\pm 0.169 R_{\odot}$	1.320 $\pm 0.826 R_{\odot}$	1.192 $\pm 0.252 R_{\odot}$	نصف القطر R



الشكل ٤: يتضمن هذا المخطط قيم قياساتنا لسطوع نجوم الثريا المعروفة في الحقل المدروس (المربعات ضمن الشكل) وللنجوم الثلاث الجديدة المدروسة (V1, V2, V3). كما قمنا بإدراج بيانات (قيم مرجعية) لخمس موديلات نظرية لنجوم بأعمار مختلفة (موضحة ضمن الرسم) ولكنها تمتلك نفس بعد نجوم الثريا [22]. Myr هي اختصار للرقم مليون سنة.

يشير موقع النجم الأول (V1) ضمن مخطط CMD إلى أن بعده وعمره يتوافقان مع عمر وبعد نجوم الثريا [4, 5, 6] 80Myr وبالتالي فإنه يصلح لأن يكون مرشح لعضوية مجموعة نجوم الثريا. أما في ما يتعلق بالنجمين الثاني والثالث (V2, V3) فهما غير متوافقين مع نجوم الثريا من حيث العمر والبعد بحسب المخطط CMD وبالتالي لا يصلحان لعضوية مجموعة نجوم الثريا. حيث أنه يشترط كي يكون نجم ما عضو في مجموعة نجوم معروفة، أن يمتلك هذا النجم نفس الخواص الفيزيائية لنجوم المجموعة كالعمر والبعد. نجد عند مقارنة المنحنيات الضوئية لهذه النجوم الثلاث (الشكل ٣) مع المنحنيات الضوئية لمجموعة من النجوم المتغيرة (الشكل ٥) المكتشفة ضمن المجموعة المفتوحة NGC 1817 [23]، أنه من الممكن أن تكون هذه النجوم عبارة عن نجوم مضاعفة (Eclipsing Binaries, EB)، أي أنه قد تكون عبارة عن أنظمة ثنائية، يتكون كل نظام ثنائي من نجمين يدوران حول نفسيهما وحول مركز ثقل يكون أقرب للكتلة الأكبر.



الشكل ٥: منحنيات ضوئية لمجموعة من النجوم المضاعفة المتغيرة المكتشفة ضمن مجموعة النجوم المفتوحة NGC 1817 [11].

الاستنتاجات والتوصيات

- النجوم الثلاث المدروسة هي نجوم متغيرة جديدة لم تتم دراستها مسبقاً، ولكن فقط نجم واحد من هذه النجوم الثلاث يصلح لعضوية مجموعة نجوم الثريا لأن موقعه ضمن مخطط اللون والمعان CMD يتوافق مع موقع نجوم الثريا المعروفة سلفاً، في حين أن النجمين المتبقين هما نجوم خلفية لا تنتمي إلى مجموعة نجوم الثريا.
- قد يكون سبب التغير المشاهد في هذه النجوم الثلاث هو كونها نجوم نابضة متغيرة (نجوم نابضة) أو وجود مجموعة من البقع (Stellar spots) على سطح القرص الخارجي لهذه النجوم (نجوم دوارة).

٣. في نفس الوقت، هناك احتمال ثالث لأن تكون هذه النجوم المتغيرة هي نجوم مضاعفة، أي هي عبارة عن أنظمة ثنائية يتكون كل نظام منها من نجمين يدوران حول مركز ثقل هذا النظام.
٤. من أجل إثبات ذلك نحتاج إلى طيف عالي الدقة يظهر إما خطوط إصدار وامتصاص مفردة أو مضاعفة. ففي حال كون هذه الخطوط مفردة فهي نجوم نابضة (Pulsating stars)، أما في حال كانت هذه الخطوط مضاعفة فهي إما عبارة عن نجوم دوارة (Rotating stars) بفعل وجود بقع على السطح الخارجي أو هي عبارة عن أنظمة ثنائية (Eclipsing Binaries, EB).

شكر

أتوجه بالشكر الجزيل لإدارة معهد فيزياء الفلك-جامعة فريدريش شيللر في مدينة بينا-ألمانيا ممثلة بالسيد مدير المعهد (Prof. Dr. Ralph Neuhauser)، كما أتوجه بالشكر إلى طاقم المرصد الفلكي ممثلاً بالسيد مدير مرصد الجامعة الفلكي (PD. Dr. Markus Mugrauer) لرصدهم مجموعة نجوم الثريا وتقديمهم الدعم والمساعدة لإنجاح هذا العمل العلمي.

المراجع

- Unsöld, A. ; Baschek, B.: *Der neue Kosmos*. Auflage 7. Springer, 2009.١
- Weigert, A. ; Wendker, H. J. ; Wisotzki, L.: *Astronomie und Astrophysik*. ٢
Auflage 5. WIELY-VCH, 2009
- ٣.نزيه حيدر: محي الدين نظام: محمد معلا. ٢٠٢٠، فيزياء الفلك. مديرية المطبوعات في جامعة تشرين، ٣٣٨.
- Patenaude, M., *Age determinations of open clusters*. In: A&A 66 (1978), .٤
May, S. 225–239
- van Leeuwen, F., *Parallaxes and proper motions for 20 open clusters as .٥
based on the new Hipparcos catalogue*. In: A&A 497 (2009), April, S. 209– 242
- van Leeuwen, F.: *Open Cluster Distances from Hipparcos parallaxes* In: D. .٦
Egret & A. Heck (Hrsg.): Harmonizing Cosmic Distance Scales in a Post-HIPPARCOS Era Bd. 167, 1999, S. 52–71
- Schwarz, J. M. & Becklin, E. E., *A DEEP INFRARED PHOTOMETRIC .٧
SURVEY FOR VERY LOW MASS BROWN DWARFS IN THE PLEIADES*, The
Astronomical Journal, 130:2352-2362, November, 2005
- Mugrauer, M. ; Berthold, T., *STK: A new CCD camera at the University .٨
Observatory Jena*. In: Astronomische Nachrichten 331 (2010),S. 449–+

Eisenbeiss, T. ; Moualla, M. ; Mugrauer, M. ; Schmidt, T. O. B. ; Raetz, S. ;^٩
Neuhäuser, R. ; Ginski, C. ; Hohle, M. M. ; Koeltzsch, A. ; Marka, C. ; Rammo, W.
; Reithe, A. ; Roell, T. ; Vaňko, M., *New brown dwarf candidates in the Pleiades*. In:
Astronomische Nachrichten 330 (2009), May, S. 439+

Moualla, M., Schmidt, T. O. B., Neuhäuser, R., Hambaryan, V. V.,^{١٠}
Errmann, R., Trepl, L. and Broeg, Ch., *a new flaring star member candidate in the
Pleiades cluster*, AN, 2011. No. 7. 661 – 667.

١١. محمد معلا. دراسة التباين الضوئي لحقل من النجوم ضمن مجموعة الثريا (دراسة نجم جديد من
نوع الغول ضمن لحقل المدروس)، مجلة جامعة تشرين. العلوم الأساسية مجلد (٤٢) العدد (٥). ٢٠٢٠.

١٢. محمد معلا. حساب البارامترات الفيزيائية لنجم نابض جديد مكتشف في مجموعة نجوم الثريا
المفتوحة. مجلة جامعة تشرين. قيد النشر ٢٠٢١.

European Southern Observatory, *MIDAS, ESO Operating Manual No.1*,^{١٣}
May 1990. – Volume A: System

European Southern Observatory, *MIDAS, ESO Operating Manual No.1*,^{١٤}
May 1990. – Volume B: Data Reduction

Bertin, E., *SExtractor, User's manual*, Edition 2.5, 1997, Institut.^{١٥}
d'Astrophysique, Observatoire de Paris.

Broeg, C. ; Fernández, M. ; Neuhäuser, R., *A new algorithm for differential*^{١٦}
photometry: computing an optimum artificial comparison star, In: Astronomische
Nachrichten 326 (2005), February, S. 134–142

Kenyon, S. J. ; Hartmann, L., *Pre-Main-Sequence Evolution in the Taurus-*^{١٧}
Auriga Molecular Cloud. In: ApJS 101 (1995), November, S. 117+

Schmidt-Kaler, T., Landolt-Börnstein. Springer-Verlag, 1982. – 4.1.1.^{١٨}
Classification of stellar spectra

Cutri, R. M. ; Skrutskie, M. F. ; & Zacarias, N. (Hrsg.), *2MASS All Sky*.^{١٩}
Catalog of point sources, June 2003

Zacharias, N. ; Finch, C. ; Girard, T. ; Hambly, N. ; Wycoff, G. ; Zacharias,^{٢٠}
M. I. ; Castillo, D. ; Corbin, T. ; Divittorio, M. ; Dutta, S. ; Gaume, R. ; Gauss, S. ;
Germain, M. ; Hall, D. ; Hartkopf, W. ; Hsu, D. ; Holdenried, E. ; Makarov, V. ;
Martinez, M. ; Mason, B. ; Monet, D. ; Rafferty, T. ; Rhodes, A. ; Siemers, T. ; Smith,
D. ; Tilleman, T. ; Urban, S. ; Wieder, G. ; Winter, L. ; Young, A., *Third U.S. Naval
Observatory CCD Astrograph Catalog (UCAC3)*. In: VizieR Online Data Catalog
1315 (2009), S. 0+

Zacharias, N. ; Monet, D. G. ; Levine, S. E. ; Urban, S. E. ; Gaume, R. ; .٢١
Wycoff, G. L., *NOMAD Catalog (Zacharias+ 2005)*. In: VizieR Online Data Catalog
1297 (2005), November, S. 0—+

Siess, L. ; Dufour, E. ; Forestini, M., *An internet server for premain*. ٢٢
sequence tracks of low- and intermediate-mass stars. In: A&A 358 (2000), June,S.
593–599

Sandquist et al., Variability in the Massive Open Cluster NGC 1817 from .٢٣
K2: A Rich Population of Asteroseismic Red Clump, Eclipsing Binary, and Main
Sequence Pulsating Stars. The Astronomical Journal, Volume 159, Issue 3, id.96, 20
pp. (2020).