

دراسة التباين الضوئي لحقل من النجوم ضمن مجموعة الثريا (دراسة نجم جديد من نوع الغول ضمن الحقل المدروس)

د. محمد أحمد معلماً*

تاريخ الإيداع 10 / 2 / 2020. قُبِلَ للنشر في 29 / 9 / 2020

□ ملخص □

يتناول هذا البحث دراسة نجم من نوع نجوم الغول (اسم عربي)، الذي تم اكتشافه من قبل المرصد الفلكي التابع لجامعة فريدريش شيللر في مدينة بينا في ألمانيا أثناء الرصد الفلكي لحقل من النجوم يقع على أطراف مجموعة نجوم الثريا المفتوحة خلال الفترة الممتدة من عام 2007م وحتى نهاية عام 2010م. قدم المرصد الفلكي صوراً فلكية حديثة بواسطة ثلاث كاميرات فلكية مركبة على تلسكوبين بقطر 0.25m و 0.9m. تم حساب الدور المداري لهذا النجم، الذي هو في الحقيقة عبارة عن نجم مضاعف، حيث بلغت قيمة هذا الدور $P = 1.19217 \text{ days}$.

لقد لوحظ أن موقع النجم بالنسبة لمخطط هرتز شبرونغ-راسل (HRD) يتوافق مع عمر ويعد نجوم الثريا الموجودة في الحقل المدروس وفق المراجع العلمية ذات الصلة.

تبين أيضاً أنه للنجم المركزي A طيف من النمط G9 وللثانوي B طيف من النمط K7، ذلك استناداً إلى الألوان المحسوبة من الأطوال الموجية BVRIJHK.

تم حساب كتلة ونصف قطر كلا النجمين المكونين لهذا النجم المضاعف مفترضين أن هذا النجم يقع على خط التشكل الأساسي، فكانت كتلة النجم المركزي $M_A = 0.77M_{\odot}$ ونصف قطره $R_B = 0.18R_{\odot}$ ، في حين بلغت كتلة النجم الثانوي $M_B = 0.15M_{\odot}$ ونصف قطره $R_B = 0.18R_{\odot}$.

تشير $M_{\odot} = 1.9891 \times 1030 \text{ kg}$ إلى كتلة الشمس و $M_{\odot} = 1.9891 \times 1030 \text{ kg}$ إلى نصف قطرها.

الكلمات المفتاحية: مجموعات مفتوحة: نجوم الثريا، النجوم: أنظمة ثنائية الكسوف، التقنيات: قياس شدة الضوء.

* مدرس - دكتوراه في الفيزياء الفلكية - قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

Photometric Variability of a Field of Stars in the Pleiades Cluster (A new founded Algol star in the selected field)

Dr. Mohammad Ahmad Moualla*

(Received 10 / 2 / 2020. Accepted 29 / 9 / 2020)

□ ABSTRACT □

We continue in this work studying a new Algol (Arabic name) star, which we discovered during our survey on a field located at the edge of the Pleiades open cluster. We have observed this field in the period 2007 – 2010 with three different CCD-cameras at the University Observatory Jena in Germany using three telescopes from 0.25 to 0.9 m. Our discovered star has an orbital period of $P = 1.19217$ days.

The location of this star in the HRD is consistent with the age and distance of the already known Pleiades stars in this field. The derived spectral type of the primary star is G9 and K7 for the secondary one. Assuming that our star is a main-sequence star, the derived mass and radius are $M_A = 0.77M_\odot$ and $R_A = 0.80R_\odot$ for the primary, $M_B = 0.15M_\odot$ and $R_B = 0.18R_\odot$ for the secondary. A refers to the primary star, where B refers to the secondary star.

$M_\odot = 1.9891 \times 10^{30} \text{ kg}$ is the solar mass, and $R_\odot = 6.9599 \times 10^5 \text{ km}$ is the solar radius.

Keywords: {open clusters and associations: individual (Pleiades) -- stars: binaries, eclipsing -- techniques: photometric}

* Assistant Professor - (Dr. rer. nat. Astrophysics) - Department of Physics, Faculty of Science, Tishreen University, Lattakia, Syria.

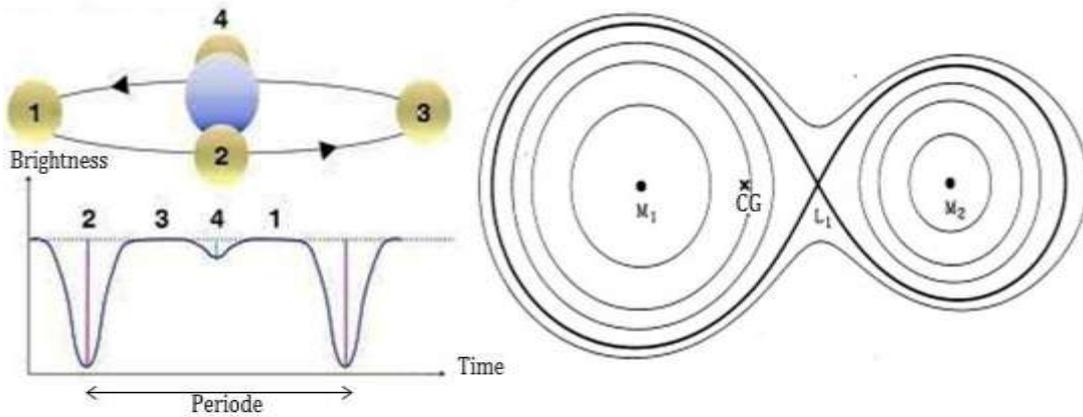
مقدمة:

تعرّف المجموعات المفتوحة (Open clusters) بأنها تجمعات للنجوم، التي تتركز في السماء على طول مجرة درب التبانة. تمتاز نجوم هذه المجموعات بأنها تشكلت سوياً من سحب من الغبار والغاز الكونيين. تمتاز بعض المجموعات المفتوحة بأنها غنية بالنجوم لاحتوائها على عدة آلاف من النجوم ولكنها تبقى بالرغم من ذلك فقيرة مقارنةً بالمجموعات الكروية (Globular clusters)¹

العدد الكلي المتوقع للمجموعات المفتوحة في مجرتنا (مجرة درب التبانة) هو حوالي 20000 مجموعة، فقط حوالي 1000 مجموعة مفتوحة يمكن رصدها من الأرض بفعل المسافات البعيدة والغيوم المظلمة في الفضاء.

تعتبر مجموعة نجوم الثريا (Pleiades) واحدة من أشهر المجموعات المفتوحة المشاهدة شتاءً في السماء، حيث أنها تشاهد من منتصف شهر أب وحتى نهاية شهر أذار ضمن برج الثور (Taurus) حوالي 10° شمال نجم الدبران (Aldebaran) العملاق والمشاهد بالعين المجردة. يبلغ عدد أعضاء مجموعة الثريا على الأقل 500 نجم تتوزع بشكل مريح وغير متراس ضمن حقل مساحته 2° .

تعرّف النجوم ثنائية الكسوف بأنها نظام مكون من نجمين يدوران حول نفسها وحول مركز ثقل النظام، مما يعني بأن كلٍ منهما سيقوم بحجب الآخر عند مروره أمامه (شبيه بالكسوف الفلكي للقمر أو الكسوف الفلكي للشمس)، لذلك تدعى هذه النجوم بالنجوم المتغيرة بصرياً (optical variable stars) لأن سبب التغير المشاهد في المنحني الضوئي الخاص بالنظام هو عبور كل منهما أمام الآخر (الشكل 1).



الشكل 1: نشاهد على اليمين رسم توضيحي لسطوح تساوي الكمون في نجم الغول (نظام مضاعف) حيث أن كتلة النجم الأول في هذا النظام تساوي ضعف كتلة النجم الثاني $M1 = 2M2$ (الكتل هنا عبارة عن قيم افتراضية). يشير الرمز $L1$ إلى نقطة لاغرانج الداخلية (interior Lagrange point) والاختصار CG إلى مركز ثقل النظام (Centre of Gravity)، في حين يشير المنحني الاسود العريض إلى سطح روش الحرج (critical Roche surface) [26]. في حين نشاهد على اليسار منحني ضوئي مثالي خاص بنجم الغول، حيث تشير الأرقام 2 و 4 إلى الكسوفين الرئيس والثانوي.

¹ تمتلك المجموعة الكروية نصف قطر يتراوح ما بين 150pc-15pc، حيث أن القسم الأعظم من النجوم (عدة مئات آلاف النجوم) يتركز في مركز المجموعة مما يعني كثافة نجمية عالية جداً أكبر بحوالي عشر مرات منها في مركز المجموعات المفتوحة. تلعب قوى التأثير المتبادل ما بين نجوم المجموعات الكروية دوراً أساسياً في تطور نجومها [23, 26].

لقد قمنا باختيار مجموعة الثريا لبحثنا هذا لعدة أسباب، من أهمها قربها من الأرض، حيث تبعد عن الأرض مسافة $r = 120 \pm 3.5 \text{ pc}$ [25] وامتلاكها عمر صغير نسبي $80 \times 10^6 \text{ years}$ [14] مما يجعلها هدف جيد للبحث عن نجوم متغيرة جديدة، وعلى وجه الخصوص النجوم ثنائية الكسوف (Eclipsing Binaries, EB). تدعى نجوم الغول بالأنظمة المنفصلة (Separate systems) كون النجمين منفصلين عن بعضهما البعض أي أنهما ضمن سطوح روش الدرجة الخاصة بكل منهما، كما أن كلا النجمين كروي الشكل لعدم إحداث قوى الجاذبية أي تشوه في أي منهما (الشكل 5 في [10]). كما تمتاز نجوم الغول بامتلاكها شدة ضوئية ثابتة (الشكل 1) خارج مناطق الكسوف الرئيس (Primary eclipse) والثانوي (Secondary eclipse) ودور مداري يبلغ حوالي اليوم الواحد في حده الأدنى.

سنقوم في هذه المقالة العلمية بعرض نجم الغول الجديد المكتشف والذي يقع على النسق الرئيس (ZAMS)². وشرح آلية الرصد الفلكي بالإضافة إلى آلية معالجة الصور الفلكية الملتقطة للحقل المدروس، كما سنقوم بشرح آلية معالجة هذه الصور الفلكية بالإضافة إلى عرض النتائج والمناقشة.

أهمية البحث وأهدافه:

تأتي أهمية هذا البحث في دراستنا لهذا النوع من النجوم المضاعفة (نجوم الغول) من كونه مكتشف ضمن حقل جديد لم تتم مراقبته سابقاً، ولم يتم إثبات انتماؤه إلى مجموعة نجوم الثريا بعد. بالإضافة إلى دراسة إمكانية كون أحد أو كلا النجمين، المكونين لهذا النجم المضاعف، ينتمي إلى مجموعة الأقزام البنية. لقد أظهر اكتشاف أول نظام ثنائي الكسوف مكون من قزمين بنين ^3BDs [19] أهمية إضافية لدراسة هذه الأنظمة، حيث أنه من الممكن، بالاعتماد على الطرق النظرية، حساب كتل وأنصاف أقطار كلا النجمين بشكل مباشر ومن ثم مقارنة بارامترات كلا النجمين مع البارامترات المستنتجة بالاعتماد على موديلات نظرية تم تطويرها بواسطة الحاسوب [20] مما يساعد على تطوير وتحسين هذه الموديلات النظرية بالإضافة إلى تحسين فهمنا لكل من النجوم والكواكب على اعتبار أن الأقزام البنية تقع على الحد الفاصل ما بين النجوم والكواكب.

طرائق البحث ومواده:

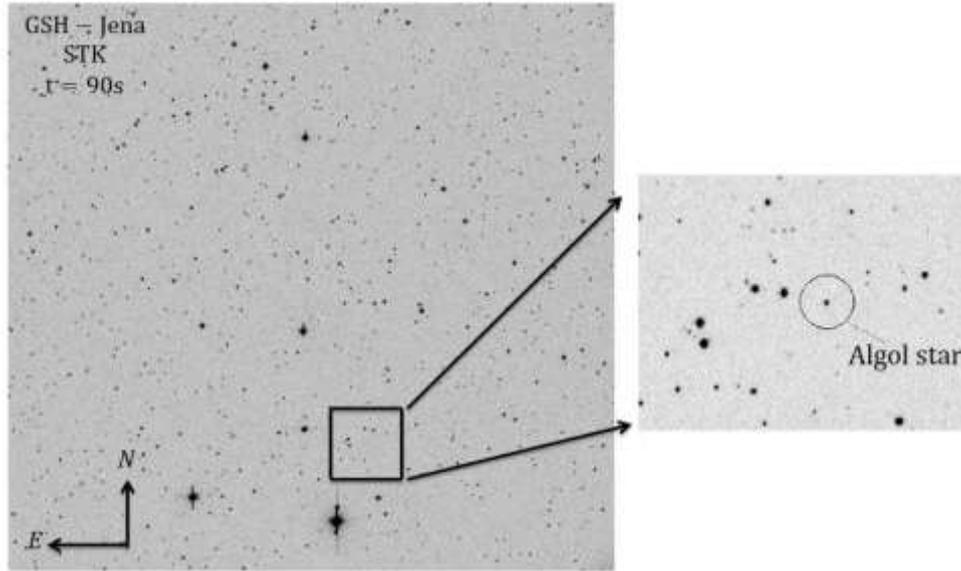
الرصد الفلكي ومعالجة الصور الفلكية (Observations and data reduction)

تم في إطار هذا البحث رصد الحقل المدروس (الشكل 2) ضمن مجموعة الثريا بحثاً عن الأقزام السماوية البنية والنجوم المتغيرة بمختلف أنواعها. يعود اختيارنا لهذا الحقل إلى عدة أسباب من أهمها أنه لم يتم رصده سابقاً بحثاً عن الأقزام

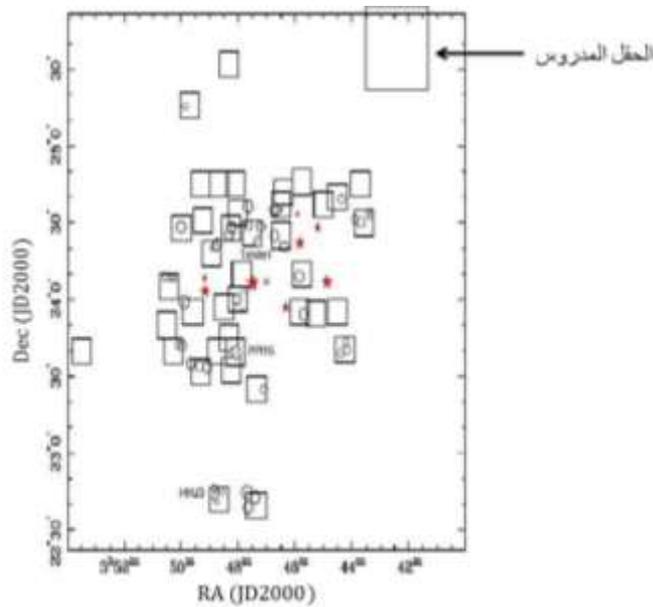
¹ البارسيك Parsec (الفرسخ الفلكي) هو وحدة قياس المسافات في علم فيزياء الفلك، $1 \text{ pc} = 3.08567758 \times 10^{13} \text{ km}$.
² النسق الرئيس (Zero Age Main Sequence, ZAMS) هو عبارة عن شريط عريض ضمن مخطط HRD يضم القسم الأعظم من نجوم مجرتنا مجرة درب التبانة، حيث أن معظم هذه النجوم تقوم بإنتاج الطاقة النووية عن طريق دمج نوى الهيدروجين، إما وفق سلسلة بروتون بروتون (p-p series) للنجوم فقيرة الكتلة، أو وفق دورة الكربون والنتروجين والأكسجين (CNO cycle) للنجوم عالية الكتلة. من أشهر أعضاء هذا النسق هو الشمس.

³ الأقزام البنية هي أجرام سماوية شبيهة بالنجوم (Sub stellar objects) تتشكل مع النجوم من نفس السحابة الكونية وفق نفس الآلية الفيزيائية ولكنها لا تصل إلى الحد الكافي لدمج نوى الهيدروجين في المركز وبالتالي تكون عاجزة عن إنتاج الطاقة النووية الاندماجية.

السماوية البنية (أنظر الجدول 1 في [21])، بالإضافة إلى موقعه البعيد عن مركز مجموعة الثريا حيث تقع النجوم شديدة السطوع والتي قد تأثر سلباً على شدة ضوء النجوم المدروسة كما يوضح الشكل 3. تم أيضاً دراسة التغيرات الضوئية لكل نجوم الحقل المدروس من خلال رصد الحقل بشكل متواصل لفترات زمنية تمتد من عدة دقائق إلى عدة ساعات على مدار عدة سنوات.



الشكل 2: صورة للحقل المدروس مأخوذة بواسطة الكاميرا STK بزمن إضاءة 90s في المرصد الفلكي GSH في مدينة جينا Jena. يشير N إلى الشمال و E إلى الشرق، كما يمكننا مشاهدة تكبير لجزء من الحقل حيث يقع نجم الغول المدروس Algol star



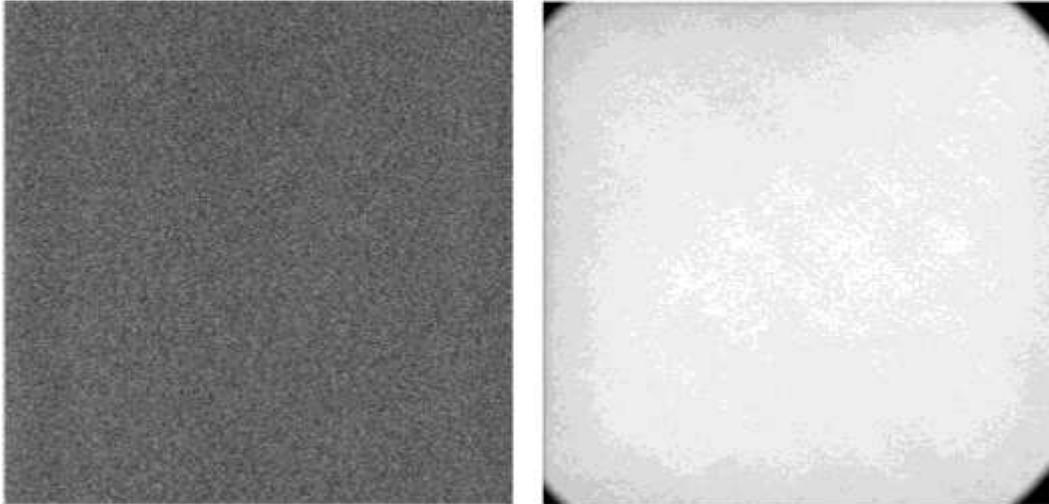
الشكل 3: موقع الحقل المدروس ضمن مجموعة نجوم الثريا (مستطيل فارغ يشير فقط إلى موقع وحجم الحقل مقارنةً بالحقول المدروسة سابقاً)، حيث تشير النجوم الحمراء إلى النجوم شديدة اللعان في مركز المجموعة. كما يظهر في الشكل عدد من المربعات والتي تشير إلى الحقول المدروسة مسبقاً بحثاً عن الأقزام السماوية البنية المشار إليها بواسطة الدوائر. HHJ3 , PPI15 , Teide1 هي أشهر ثلاثة أقزام بنية ضمن مجموعة نجوم الثريا [29].

تم، أثناء دراستنا السابقة، اكتشاف عدد من العناصر، ضمن الحقل المدروس، المرشحة لأن تكون أقزام سماوية بنية في الحقل المدروس [5, 17].

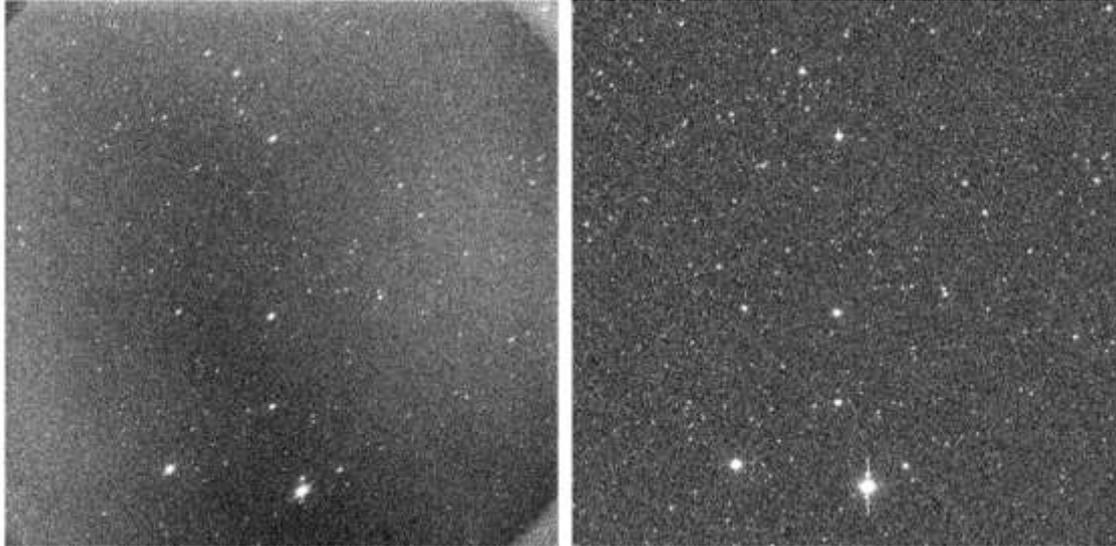
الإحداثيات المركزية للحقل المدروس هي $\alpha = 3h 42m 21s$, $\delta = 25^\circ 36' 54''$ ، حيث كانت عمليات الرصد الفلكي قد تمت في المرصد الفلكي GSH التابع لجامعة فريدريش شيللر في مدينة بينا في ألمانيا. بدأت عمليات الرصد الفلكي في شهر أذار من العام 2007 باستخدام كاميرا CTK (Cassgrain-Telescope-Kamera) مثبتة على تلسكوب صغير نصف قطره 0.25m مثبت بدوره على التلسكوب الرئيس 0.9m [12]. لاحقاً وفي العام 2009 تم باستخدام كاميرا جديدة STK (Schmidt-Telescope-Kamera) مركبة على التلسكوب الرئيس مما يعني القدرة على مراقبة حقل أكبر واكتشاف عدد أكبر من النجوم ضمن الحقل المراقب [13]. معظم عمليات الرصد الفلكي قد تمت في المجال المرئي $R (\lambda = 563nm)$.

تم اختيار زمن الإضاءة المستخدم أثناء عملية الرصد الفلكي ليكون 60s بما يتناسب مع الطول الموجي للضوء ومدى حساسية الكاميرا ودقة الصور الملتقطة. لاحقاً في عام 2010 تم اكتشاف العديد من النجوم المتغيرة الجديدة، من بينها نجم فلير ضعيف اللمعان [11] مما اضطر مجموعة الرصد الفلكي إلى زيادة زمن الإضاءة ليصبح 90s بدلاً من 60s.

تمت معالجة الصور الفلكية باستخدام لغة برمجة MIDAS (Munich Image Data Analysis System) وهي لغة خاصة بالبيانات الفلكية ومعتمدة من قبل المنظمة الأوروبية للأبحاث الفلكية في نصف الكرة السماوية الجنوبي (European Southern Observatory) ESO، حيث تم استخدام الصور المستوية (Flat images) (الشكل 4، 5) لمعالجة سطوع الخلفية واختلاف حساسية كل بكسل من الكاميرا بما يضمن الحصول على صورة نقية دون أي تباينات تذكر، والصور السوداء (Dark images) (الشكل 4، 5) لإزالة تأثير التيار الكهربائي الساكن الموجود ضمن صورة الحقل. تم التقاط هذه الصور بنفس الأدوات الفلكية وبنفس شروط (درجة الحرارة والطول الموجي وزمن الإضاءة) رصد الحقل المدروس.



الشكل 4: نشاهد يساراً صورة سوداء (Dark image) ويميناً صورة مستوية (Flat image) تستخدمان في معالجة الصور الفلكية للحقل المدروس. كلا الصورتين تم التقاطهما في المرصد الفلكي بواسطة نفس الكاميرا المستخدمة في رصد الحقل المدروس وفي نفس الشروط الفيزيائية (طول موجي ودرجة حرارة وزمن إضاءة متساويين) تماماً قبل أو بعد انتهاء رصد الحقل المدروس.



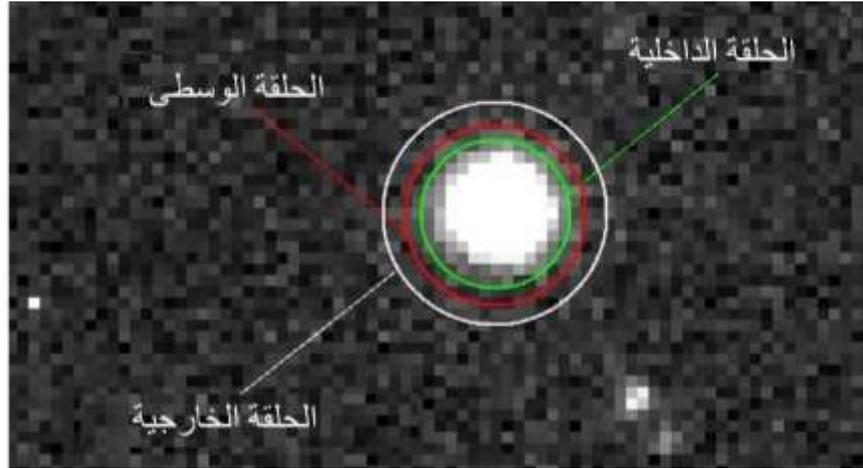
الشكل 5: صورة أولية (Raw image) للحقل المدروس قبل المعالجة الفلكية (يساراً) وصورة للحقل المدروس بعد المعالجة الفلكية (يميناً).

قياس شدة الضوء (Photometry)¹

بعد إتمام عملية معالجة جميع الصور الفلكية، تم استخدام عدة برامج فلكية مختلفة وخاصة بقياس شدة لمعان كل نجوم الحقل المدروس. يتم في المرحلة الأولى تحديد المصادر (Source Extractor) SE ضمن الحقل المراقب باستخدام البرنامج GAIA (Graphical Astronomy and Image Analysis Tool) حيث يتم التمييز ما بين المصادر الحقيقية (النجوم) و المصادر المزيفة (بكسل ميت ضمن الصورة مثلاً) ضمن الحقل المدروس [1]، بالإضافة إلى تحديد الإحداثيات المركزية (X_{Cen}, Y_{Cen}) لكل مصدر تم اكتشافه ضمن هذا الحقل ومن ثم تنظيمها في جداول خاصة. في المرحلة الثانية يتم قياس شدة الضوء بواسطة طريقة الحلقات (Aperture Photometry) باستخدام البرنامج MIDAS حيث يتم حساب ما يعرف بالشدة الفعالة للمعان (Instrumental Magnitude) كل هذه النجوم (المصادر) المكتشفة ضمن الحقل المدروس.

تقوم طريقة الحلقات على قياس شدة اللمعان باستخدام ثلاثة حلقات تحيط بالنجم (الشكل 6)، بالنسبة للمعان النجم فيتم قياسه بالاعتماد على حلقة داخلية بنصف قطر قدره 5pixel، والخلفية والوسط المحيط بالنجم يتم قياس شدة لمعانهما باستخدام حلقة خارجية ذات نصف قطر قدره 20pixel، وبالتالي فإن قيمة الشدة الفعالة لهذا النجم تنتج لوغاريتمياً بطرح القيمة المقاسة بواسطة الحلقة الخارجية من تلك المقاسة بواسطة الحلقة الداخلية، بمعنى آخر يتم مقارنة لمعان النجم بلمعان الخلفية والوسط المحيط لوغاريتمياً. وأما فيما يتعلق بالحلقة الوسطى فهي فقط تفصل ما بين الحلقتين الداخلية والخارجية ولا تقوم بأي دور يذكر في عملية القياس هذه. بما أن عدد النجوم في الحقل المدروس كبير جداً (يتجاوز ألف نجم)، فقد تم كتابة برنامج خاص [2] يقوم بقراءة الجداول (الإحداثيات المركزية لكل النجوم المحددة ضمن الحقل المدروس) المحددة بواسطة البرنامج الأول (GAIA) ومن ثم قياس شدة اللمعان بطريقة الحلقات بشكل أوتوماتيكي وتنظيمها ضمن جداول خاصة تتضمن قيم الشدة الفعالة لكل نجم من نجوم الحقل المدروس.

¹قياس شدة الضوء (Photometry) هو مجال من مجالات الفيزياء يهتم بقياس شدة الضوء الصادر عن مختلف المنابع في الطبيعة أو ضمن المخابر العلمية.



الشكل 6: الحلقات الثلاث (الداخلية والوسطى والخارجية) المستخدمة في قياس شدة سطوع نجم ما بالاعتماد على تقنية الحلقات.

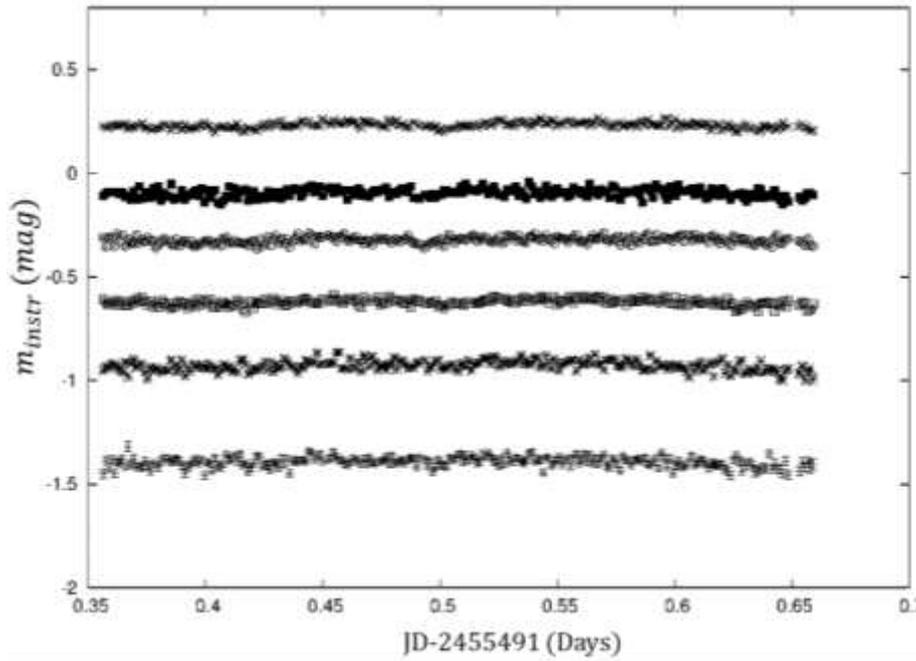
يهدف حساب ما يعرف بالسطوع الظاهري (1 Apparent Magnitude) يتم حساب نقطة صفر الكاشف الموجود ضمن الكاميرا المستخدمة في عملية الرصد الفلكي، وذلك بالاعتماد على النجوم الثابتة والمعروفة سلفاً ضمن الحقل المدروس (الشكل 7). يتضمن الجدول 2 قائمة بأسماء هذه النجوم، حيث أن العمود الأول يشير إلى أسماءها كما وردت في الكتالوجات الفلكية المختلفة، يشير العمود الثاني إلى المطلع المستقيم (مقاساً بالساعات h والدقائق m والثواني s)، ويشير العمود الثالث إلى ميل هذه النجوم (مقيساً بالدرجات $^\circ$ والدقائق والقوسية $'$ والثواني القوسية $''$). أما العمود الأخير فيتضمن قيمة المتوسط الحسابي (Mean value) لنقطة الصفر C_R (محسوبة في المجال R) مطروحاً منها المقدار $k \times z$ ، حيث يشير كلاً من z و k إلى معامل الامتصاص وكتلة الهواء. بما أن النجوم تقع في نفس الحقل المراقب، فهي تمتلك نفس قيم الثوابت k و z . تم الحصول على القيم $(C_R - k \times z)$ من كتالوجات فلكية عديدة أهمها (SIMBAD Astronomical Database, CDS (Strasbourg)-France). من أجل الحصول على قيمة السطوع الظاهري m_R (في المجال R) لكل نجوم الحقل المدروس، تم إضافة المقدار $C_R - k \times z$ (المحسوب مسبقاً) إلى قيمة السطوع الفعال m_{instr} التي تم قياسها لكل نجم من نجوم الحقل المدروس، وفق العلاقة التالية:

$$m_R = m_{instr} + (C_R - k \times z) \quad (1)$$

¹السطوع (القدر) الظاهري (Apparent Magnitude) هو تعريفاً سطوع النجم كما هو مشاهد بالعين المجردة في السماء. تم تقسيم النجوم من حيث شدة سطوعها الظاهري إلى ستة مراتب رئيسية. كلما كان مقدار السطوع صغير كلما كان النجم شديد اللمعان والعكس صحيح. تعتبر الشمس أسطع نجوم السماء بسطوع ظاهري قدره $m_{\odot} = -26.33 mag$.

الجدول 2: قائمة بالنجوم المعروفة¹ (تحمل أسماء ومدروسة سلفاً في الكتالوجات الفلكية) وثابتة شدة السطوع.

Star name	RA(J2000.0) [h m s]	Dec(J2000.0) [° ' "]	$C_R - k \times z$ [mag ²]
Melotte 22 SK 785	03 40 14.80	+25 19 20.0	13.512 ± 0.0213
Melotte 22 MT 22	03 40 58.40	+25 17 43.0	13.274 ± 0.0148
Melotte 22 SK 792	03 40 05.00	+25 31 38.0	13.072 ± 0.0167
NVSS J034035+253859	03 40 35.57	+25 39 00.6	13.596 ± 0.0124
Melotte 22 DH 153	03 40 49.89	+26 03 33.5	13.378 ± 0.0127
Melotte 22 SK 769	03 40 24.60	+26 03 26.0	13.118 ± 0.0162
Mean value			13.325 ± 0.0156



الشكل 7: المنحنيات الضوئية للنجوم الثابتة والمعروفة ضمن الحقل المدروس والمستخدم في حساب نقطة الصفر للكاميرا المستخدمة في عملية الرصد الفلكي. النجوم مرتبة من الأعلى إلى الأسفل بنفس ترتيبها في الجدول 2. تمتلك m_{instr} المقيسة لهذه النجوم قيم انحراف معياري منخفضة تتراوح ما بين 0.006 mag وحتى 0.073 mag [11].

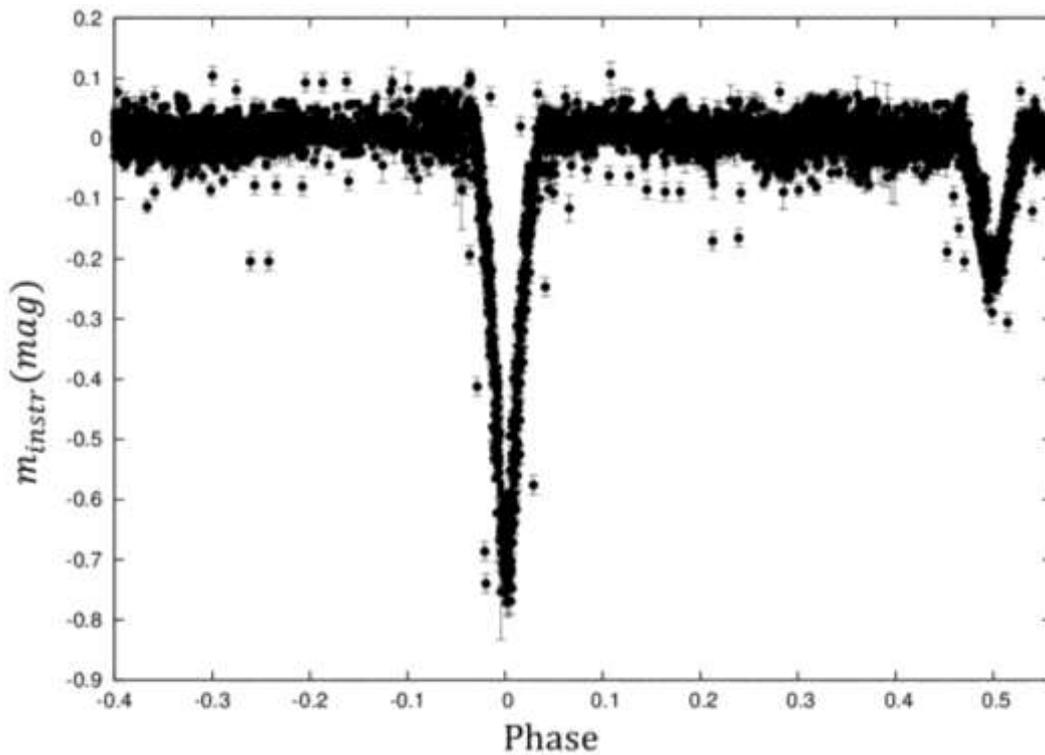
النتائج والمناقشة:

لقد تم حساب الدور المداري الخاص بهذا النجم حيث وجدنا $p = 1.19217$ days وذلك بالاعتماد على برنامج فلكي خاص SL (Stringlength) [4] يعتمد على طريقة المربعات الصغرى (Least squares)، يقوم هذا البرنامج

¹لقد تم اختيار هذه النجوم من بين أكثر من 96 نجم معروف وثابت الشدة في الحقل المدروس، كما أنه تم الاعتماد عليها في حساب قيمة السطوع الظاهري الخاص بنجم الفلير (Flare star) المكتشف في الحقل المدروس [11]. ولكن تم في هذه المقالة حساب قيمة شدة السطوع بالاعتماد على المراقبات الحديثة، وكانت القيم قريبة جداً من القيم المحسوبة سابقاً بفارق بسيط قدره $\Delta m \cong 1.3\%$.
² Mag هي اختصار لكلمة Magnitude، وهي واحدة قياس شدة السطوع في فيزياء الفلك. في بعض المراجع يستعاض عنها بالحرف m فقط.

برسم منحنى بياني (Phase folded light curve) (الشكل 8) يتضمن قيمة السطوع الظاهري للنجم والمحسوبة خلال كافة فترات المراقبة على مدار عدة سنوات.

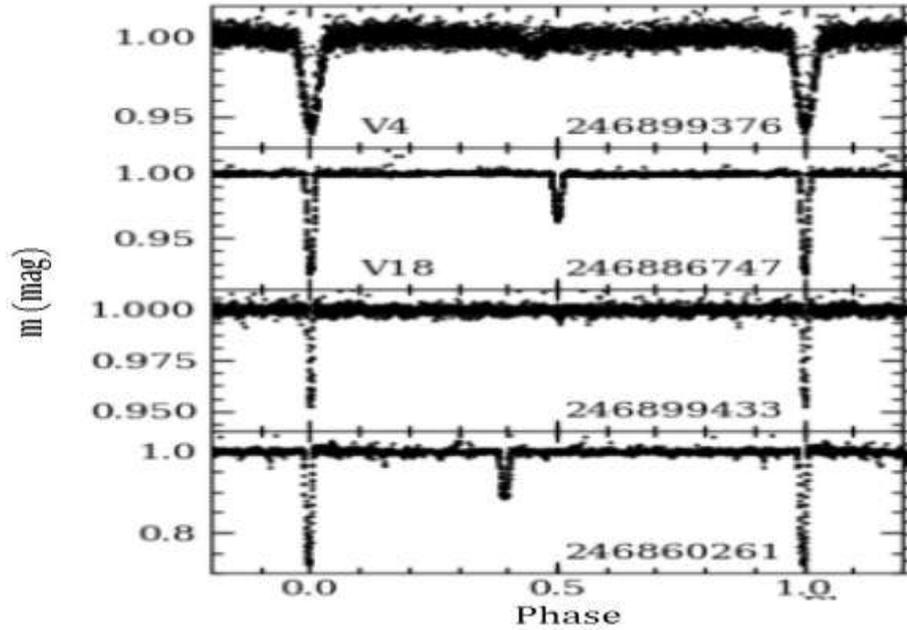
كما هو واضح من الشكل 8 فإن هذا المنحنى البياني هو لنجم مضاعف من نوع الغول والذي هو عبارة عن نظام مكون من نجمين كرويين منفصلين (نظام منفصل) حيث أنه لا يحدث بينهما أي تبادل للمواد. يمتلك النجمان شدتين مختلفتين للسطوع بحيث يؤدي عبور النجم ضعيف السطوع أمام النجم شديد السطوع إلى انخفاض شدة الإضاءة المقيسة وبالتالي مشاهدة انخفاض حاد ($\Delta m_1 = 0.7 \text{ mag}$) في المنحنى الضوئي يدعى بالخسوف الرئيس (Primary eclipse) يلي ذلك عبور النجم شديد السطوع أمام النجم ضعيف السطوع مما يعني أيضاً انخفاض في شدة الإضاءة المقيسة ومشاهدة انخفاض غير حاد ($\Delta m_2 = 0.2 \text{ mag}$) في المنحنى الضوئي يدعى بالخسوف الثانوي (Secondary eclipse). أما بالنسبة لبقية الأجزاء خارج منطقتي الخسوف الرئيس والثانوي، تكون شدة اللمعان ثابتة كما هو واضح في الشكل 8 بانحراف معياري متوسط قدره $\sigma = 0.02487 \text{ mag}$.



الشكل 8: المنحنى الضوئي الخاص بنجم الغول المكتشف ضمن الحقل المدروس. أخطاء القياس تم أخذها أيضاً بعين الاعتبار كما هو واضح في الشكل

بمقارنة هذا المنحنى الضوئي بالمنحنيات الضوئية (الشكل 9) الخاصة بالعديد من نجوم الغول المكتشفة في مجموعة النجوم المفتوحة NGC1817 [22]، نلاحظ التشابه فيما بينها من حيث الشكل العام ولكن شدة كلاً من الخسوف الرئيس والثانوي ($\Delta m_1 \cong 0.3 \text{ mag}, \Delta m_2 \cong 0.1 \text{ mag}$) أقل منها في حالة نجمنا المدروس. يعزى هذا الفرق إلى كون مجموعة NGC1817 متقدمة في العمر نسبياً ($1 \times 10^9 \text{ years}$) مقارنةً بمجموعة الثريا حديثة الولادة ($80 \times 10^6 \text{ years}$)، مما يعني بأن هذه النجوم التي غادرت للتو النسق الرئيس باتجاه منطقة العمالقة الحمر (Red

(Giants) هي أقل نشاط من نجوم الثريا الواقعة على النسق الرئيس، وبالتالي فهي تمتلك دور مداري أكبر منه في حالة النجم المدروس.



الشكل 9: المنحنيات الضوئية الخاصة بأربعة نجوم الغول مكتشفة ضمن NGC1817 [22].

تم في إطار هذا العمل حساب البارامترات الأساسية (الجدول 3) الخاصة بكل النجمين المكونين لهذا النجم المضاعف بغية توصيفه فلكياً، بطريقة مشابهة لحساب بارامترات النجم V658 Car (الجدول 2 في [8]). بالنسبة للإحداثيات الاستوائية المتحركة (α, δ) وشدة السطوع في المجال تحت الأحمر JHK، فقد تم الحصول عليهما من المراجع الفلكية، تحديداً من كتالوغ 2MASS الفلكي [3] وكتالوغ UCAC3 الفلكي [27]. كذلك الأمر بالنسبة لقيمة السطوع في المجال المرئي B (Blue) فقد تم الحصول عليها من كتالوغ NOMAD الفلكي [28]. أما في ما يتعلق بشدة السطوع في المجالات الثلاث VRI^1 فقد تم حسابها بالاعتماد على الصور الفلكية الموجودة.

نتيجة صعوبة الفصل ما بين النجمين المكونين لهذا النظام الثنائي (نجم الغول) فقد تم الافتراض أن الشدة المقاسة هي للنجم الرئيس (Primary star) ذو السطوع الأكبر، في حين أنه من الصعب بمكان تحديد شدة سطوع النجم الثاني ذو السطوع الأقل (Secondary star) فلذلك تم الاكتفاء بذكر ذلك في الجدول من خلال إشارة الأكبر (>) فهي تعني بأنه أقل لمعاناً نتيجة العلاقة العكسية ما بين مقدار السطوع والشدة المقاسة.

بالنسبة لنوع طيف (Spectral type) النجم الرئيس وشدة الامتصاص (A_V) في طبقات الغلاف الجوي فقد تم حسابها، نسبةً إلى شدة السطوع في كل الأطوال الموجية $BVRIJHK$ ، وذلك بالاعتماد على جداول فلكية خاصة [9]. [15].

¹ نظام من الفلاتر الضوئية المستخدمة في مجال قياس شدة الضوء حيث يرمز كل حرف إلى طول موجي معين. $V=551\text{nm}$ (Visual)، $R=658\text{nm}$ (Red)، $I=806\text{nm}$ (Infrared).

الجدول 3: البارامترات الأساسية لكل من النجم الرئيس (Primary star) والنجم الثانوي (Secondary star) المكونان لنجم الغول المكتشف ضمن الحقل المدروس.

Parameter	Primary star	Secondary star
α [h m s]	03 40 26.25	03 40 26.25
δ [° ' "]	+25 27 22.00	+25 27 22.00
2MASS-name	J03402625 + 2527220	J03402625 + 2527220
B [mag]	16.260	$B > 16.260$
V [mag]	14.798 ± 0.225	$V > 14.798 \pm 0.225$
R [mag]	14.693 ± 0.128	$R > 14.693 \pm 0.128$
I [mag]	13.267 ± 0.016	$I > 13.267 \pm 0.016$
J [mag]	12.518 ± 0.024	$J > 12.518 \pm 0.024$
H [mag]	11.851 ± 0.033	$H > 11.851 \pm 0.033$
K [mag]	11.661 ± 0.024	$K > 11.661 \pm 0.024$
Spt	G7V (G4V...K1V)	M6V(M1V...M9V)
A_V [mag]	1.478 ± 0.022	1.478 ± 0.022
T_{eff} [K]	5325 (5940...4850)	3110 (3350...2935)
M [M_{\odot}]	0.77 (0.89...0.68)	0.15 (0.33...0.11)
R [R_{\odot}]	0.81 (0.88...0.71)	0.18 (0.45...0.07)

أما بالنسبة لدرجة الحرارة الفعالة، فقد تم حساب القيمة بالاعتماد على النوع الطيفي وعلى جداول فلكية خاصة بدرجة الحرارة الفعالة [9]. فيما يتعلق بالكتلة ونصف القطر فقد تم الحصول عليها من جداول فلكية خاصة [16] على افتراض أنه نجم من نجوم النسق الرئيس.

بغية حساب البارامترات الفيزيائية للنجم الثاني (Secondary star) فقد قمنا باستخدام العلاقات (2)، (3) أدناه، وهي عبارة عن علاقات رياضية تربط لوغاريتمياً بين مقدار الانخفاض في شدة السطوع المقيس ونسبة شدة سطوع النجمين سوياً:

$$\Delta(m_1) = -2.5 \log \left(\frac{L_A}{L_B} \right) = -2.5 \log \left(\frac{4\pi\sigma R_1^2 T_{eff,1}^4 + 4\pi\sigma R_2^2 T_{eff,2}^4 - 4\pi\sigma R_2^2 T_{eff,1}^4}{4\pi\sigma R_1^2 T_{eff,1}^4 + 4\pi\sigma R_2^2 T_{eff,2}^4} \right), \quad (2)$$

$$\Delta(m_2) = -2.5 \log \left(\frac{L_C}{L_B} \right) = -2.5 \log \left(\frac{4\pi\sigma R_1^2 T_{eff,1}^4}{4\pi\sigma R_1^2 T_{eff,1}^4 + 4\pi\sigma R_2^2 T_{eff,2}^4} \right), \quad (3)$$

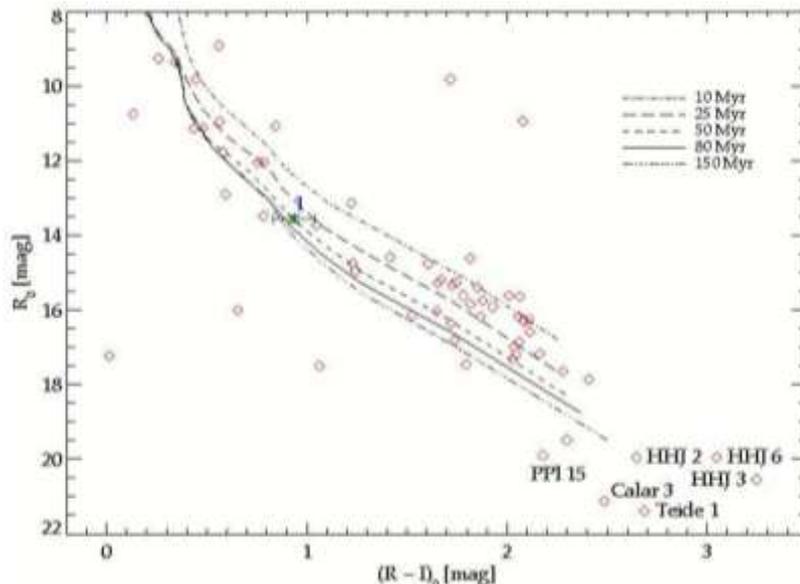
تصف المعادلة (2) حالة الخسوف الرئيس (Primary eclipse) حين يعبر النجم الثانوي منخفض شدة الإضاءة أمام النجم الرئيس عالي شدة الإضاءة، وبالتالي فإن مقدار الانخفاض في الشدة المقيسة $\Delta(m_1)$ يرتبط لوغاريتمياً بنسبة شدة الإضاءة المقيسة في هذه اللحظة L_A إلى شدة الإضاءة المقيسة في الحالة العامة (خارج فترات الخسوف) L_B . بالنسبة للحد الأول L_A فهو مكون من ثلاثة حدود (استناداً إلى قانون ستيفان بولتزمان في الإشعاع) وهي كالتالي: $(L_1 = 4\pi\sigma R_1^2 T_{eff,1}^4)$ ويمثل شدة لمعان النجم الرئيس و $(L_2 = 4\pi\sigma R_2^2 T_{eff,2}^4)$ ويمثل شدة لمعان النجم الثانوي، في حين يمثل $(L_3 = 4\pi\sigma R_2^2 T_{eff,1}^4)$ مقدار لمعان الجزء المحجوب من النجم الرئيس بواسطة النجم

الثانوي. أما في ما يتعلق بالحد الثاني ($L_B = L_1 + L_2$) فهو يمثل شدة لمعان كلاً من النجمين الرئيس والثانوي بدون حدوث أي خسوف.

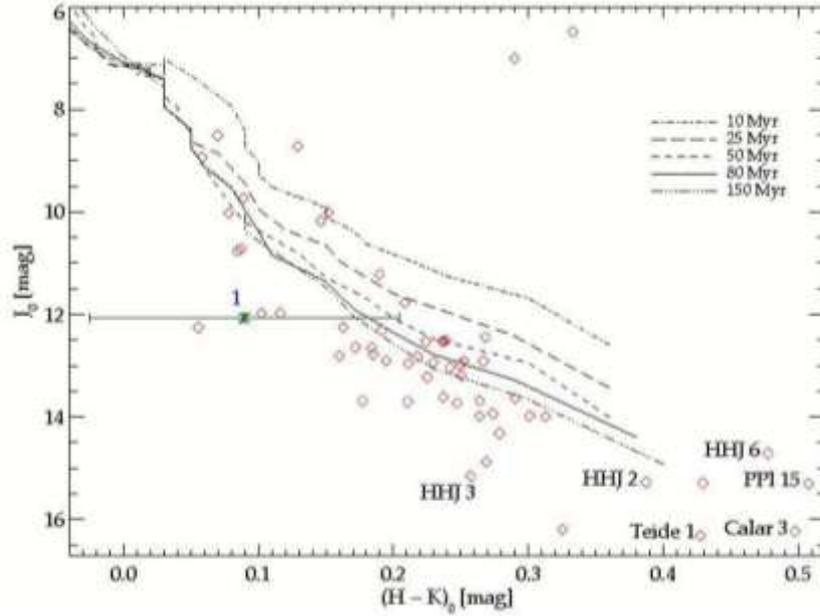
أما المعادلة (3) فهي تصف حالة الخسوف الثانوي (Secondary eclipse)، أي عبور النجم الرئيس أمام النجم الثانوي، وبالتالي فإن الحد ($L_C = L_1 = 4\pi\sigma R_1^2 T_{eff,1}^4$) يمثل لمعان النجم الرئيس فقط بفعل شدة إضاءته العالية مقارنةً بالنجم الثانوي.

تتضمن المعادلتين (2)، (3) مجهولين فقط، هما $R_B, T_{eff,2}$ ، حيث أن بقية البارامترات معلومة مسبقاً. بحل هاتين المعادلتين نحصل على قيمة نصف القطر ودرجة الحرارة الفعالة للنجم الثانوي، ومن ثم تم تحديد كتلته M_B بالاعتماد على جداول فلكية خاصة [16] على افتراض أنه نجم من نجوم النسق الرئيس أيضاً.

بالإضافة إلى ذلك، فقد تم في إطار هذا العمل رسم أحد أشكال مخطط HRD وهو مخطط اللون-اللمعان CMD (Color-Magnitude Diagram) في المجالين المرئي (الشكل 9) والمجال تحت الأحمر (الشكل 10) حيث تم إدراج القيم الخاصة بنجوم الثريا المعروفة والمدروسة سلفاً في الحقل المدروس (الأشكال الهندسية باللون الأحمر في الشكل 9 والشكل 10) بالإضافة إلى إدراج نجم الغول المدروس (النجم المرسوم باللون الأخضر في الشكل 9 والشكل 10)، حيث تبين أن نجم الغول متوافق مع نجوم الثريا من حيث العمر 80 Myr والبعد [14, 24]، بالاعتماد على موقعه ضمن مخططي CMD، بالتالي فهو مرشح لأن يكون نجم من نجوم مجموعة الثريا وليس نجم خلفية (Background star) لا يمت إلى المجموعة بصلة.



الشكل 9: مخطط اللون-اللمعان CMD يتضمن قيم مقيسة بواسطتنا لمقدار سطوع نجوم الثريا المعروفة في الحقل المدروس (المرمعات باللون الأحمر) و نجم الغول المدروس (النجم رقم 1 باللون الأخضر). كما قمنا بإدراج بيانات (قيم مرجعية) لخمسة موديلات نظرية لنجوم بأعمار مختلفة (موضحة ضمن الرسم) ولكنها تمتلك نفس بعد نجوم الثريا [18]. Myr هي اختصار للرقم مليون.



الشكل 10: مخطط اللون-اللمعان CMD في المجال تحت الأحمر لنجوم الثريا المعروفة ضمن الحقل المدروس (المربعات باللون الأحمر) ونجم الغول المدروس (النجم رقم 1 باللون الأخضر).

الاستنتاجات والتوصيات:

1. يتوافق النجم المدروس مع نجوم الثريا من حيث العمر والبعد وذلك بالاعتماد على موقعه ضمن مخطط CMD.
2. النجم المدروس هو مرشح لأن يكون نجم من نجوم مجموعة الثريا.
3. نقترح الحصول على صور بمقدرة فصل عالية بغية قياس شدة سطوع كل نجم بدقة.
4. كما نقترح تحديد النوع الطيفي لكل نجم باستخدام مقياس للأطياف عالي الدقة وذلك بحثاً عن الليثيوم، لإثبات أنه نجم حديث الولادة وينتمي إلى مجموعة نجوم الثريا. وهذا يتطلب استخدام تلسكوب أكبر، أي بنصف قطر يتراوح ما بين 8-10 أمتار.

References:

1. Bertin, E., *SExtractor, User's manual*, Edition 2.5, 1997, Institut d'Astrophysique, Observatoire de Paris.
2. Broeg, C.; Fernández, M.; Neuhäuser, R., *A new algorithm for differential photometry: computing an optimum artificial comparison star*, In: *Astronomische Nachrichten* 326 (2005), February, S. 134–142
3. Cutri, R. M.; Skrutskie, M. F.; van Dyk, S.; Beichman, C. A.; Carpenter, J. M.; Chester, T.; Cambresy, L.; Evans, T.; Fowler, J.; Gizis, J.; Howard, E.; Huchra, J.; Jarrett, T.; Kopan, E. L.; Kirkpatrick, J. D.; Light, R. M.; Marsh, K. A.; McCallon, H.; Schneider, S.; Stiening, R.; Sykes, M.; Weinberg, M.; Wheaton, W. A.; Wheelock, S.; Zacarias, N.; Cutri, R. M., Skrutskie, M. F., van Dyk, S., Beichman, C. A., Carpenter, J. M., Chester, T., Cambresy, L., Evans, T., Fowler, J., Gizis, J., Howard, E., Huchra, J., Jarrett, T., Kopan, E. L., Kirkpatrick, J. D., Light, R. M., Marsh, K. A., McCallon, H., Schneider, S., Stiening, R., Sykes, M., Weinberg, M., Wheaton, W. A., Wheelock, S., & Zacarias, N. (Hrsg.), *2MASS All Sky Catalog of point sources*, June 2003
4. Dworetzky, M. M., *A period-finding method for sparse randomly spaced observations of 'How long is a piece of string?'*. In: *MNRAS* 203 (1983), June, S. 917–924
5. Eisenbeiss, T.; Moualla, M.; Mugrauer, M.; Schmidt, T. O. B.; Raetz, S.; 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–+
6. European Southern Observatory, *MIDAS, ESO Operating Manual No.1*, May 1990. – Volume A: System
7. European Southern Observatory, *MIDAS, ESO Operating Manual No.1*, May 1990. – Volume B: Data Reduction
8. Hauck, Norbert. *Eclipsing binary V658 Carinae (HD 92406) containing a shell star and a hot low-mass star in the post-Algol stage*. BAV Rundbrief 2/2018, Vol. 67, p. 41-48. February 2018
9. Kenyon, S. J.; Hartmann, L., *Pre-Main-Sequence Evolution in the Taurus-Auriga Molecular Cloud*. In: *ApJS* 101 (1995), November, S. 117–+
10. Mennickent, R. E.; Cabezas, M. *On the long-cycle variability of the Algol OGLE-LMC-DPV-065 and its stellar, orbital, and disc parameters*. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 487, Issue 3. p.4169-4180. August 2019.
11. Moualla, M., Schmidt, T. O. B., Neuhäuser, R., Hambaryan, V. V., Errmann, R., Trepl, L. and Broeg, Ch., *a new flaring star member candidate in the Pleiades cluster*, *AN*, 2011. No. 7. 661 – 667.
12. Mugrauer, M., *CTK: A new CCD Camera at the University Observatory Jena*. In: *Astronomische Nachrichten* 330 (2009), May, S. 419–+
13. Mugrauer, M.; Berthold, T., *STK: A new CCD camera at the University Observatory Jena*. In: *Astronomische Nachrichten* 331 (2010), S. 449–+
14. Patenaude, M., *Age determinations of open clusters*. In: *A&A* 66 (1978), May, S. 225–239
15. Rieke, G. H.; Lebofsky, M. J.: *The interstellar extinction law from 1 to 13 microns*. In: *ApJ* 288 (1985), January, S. 618–621
16. Schmidt-Kaler, T., Landolt-Börnstein. Springer-Verlag, 1982. – 4.1.1 *Classification of stellar spectra*

17. Seeliger, M., Neuhäuser, R. and Eisenbeiss, T. (2011), *Spectral classification of Pleiades brown dwarf candidates*. *Astron. Nachr.* 332 (8), 821–830
18. Siess, L.; Dufour, E.; Forestini, M., *An internet server for pre-main sequence tracks of low- and intermediate-mass stars*. In: *A&A* 358 (2000), June, S. 593–599
19. Stassun, K. G.; Robert, D. Mathieu & Jeff, A. Valenti, *Discovery of two young brown dwarfs in an eclipsing binary system*, *Letters to nature*, Vol. 440, March 2006
20. Stassun, K. G.; Robert, D. Mathieu & Jeff, A. Valenti, *A surprising reversal of temperatures in the brown dwarf eclipsing binary 2MASS J05352184-0546085*, *The Astrophysical Journal (APJ)*, USA, 664:1154-1166, August, 2007
21. Schwarz, J. M. & Becklin, E. E., *A DEEP INFRARED PHOTOMETRIC SURVEY FOR VERY LOW MASS BROWN DWARFS IN THE PLEIADES*, *The Astronomical Journal*, 130:2352-2362, November, 2005
22. Sandquist, Eric L.; Stello, Dennis; Arentoft, Torben. *Variability in the Massive Open Cluster NGC 1817 from K2: A Rich Population of Asteroseismic Red Clump, Eclipsing Binary, and Main-sequence Pulsating Stars*. *The Astronomical Journal*, Volume 159, Issue 3, id.96. March 2020
23. Unsöld, A.; Baschek, B.: *Der neue Kosmos*. Auflage 7. Springer, 2009
24. van Leeuwen, F., *Parallaxes and proper motions for 20 open clusters as based on the new Hipparcos catalogue*. In: *A&A* 497 (2009), April, S. 209–242
25. van Leeuwen, F.: *Open Cluster Distances from Hipparcos parallaxes* In: D. Egret & A. Heck (Hrsg.): *Harmonizing Cosmic Distance Scales in a Post-HIPPARCOS Era* Bd. 167, 1999, S. 52–71
26. Weigert, A.; Wendker, H. J.; Wisotzki, L.: *Astronomie und Astrophysik*. Auflage 5. WILEY-VCH, 2009
27. Zacharias, N.; Finch, C.; Girard, T.; Hambly, N.; Wycoff, G.; Zacharias, 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–+
28. Zacharias, N.; Monet, D. G.; Levine, S. E.; Urban, S. E.; Gaume, R.; Wycoff, G. L., *NOMAD Catalog (Zacharias+ 2005)*. In: *VizieR Online Data Catalog* 1297 (2005), November, S. 0–+
29. Zapatero Osorio, M. R.; Rebolo, R.; Martín, E. L.; Hodgkin, S. T.; Cossburn, M. R.; Magazzù, A.; Steele, I. A.; Jameson, R. F.: *Brown dwarfs in the Pleiades cluster. III. A deep IZ survey*. In: *A&AS* 134 (1999), February, S. 537–543