



# دراسة التغير الضوئي للنظام الكسوفي (W Serpentis)

رسالة تقدم بها

ليث طالب هادي

إلى مجلس كلية العلوم – جامعة بابل

وهي جزء من متطلبات نيل درجة الماجستير

علوم في الفيزياء

بإشراف

د. طالب هادي قدوري

شباط ٢٠٠٧

محرم ١٤٢٨



# **Light Variation Study of the Eclipsing System (W Serpentis)**

*A Thesis Submitted By*

*Laith Talib Hadi*

***To the Council of College of Science***

***University of Babylon***

***In Partial Fulfillment of the Requirements for  
the Degree of Master of Science in Physics***

*Supervisor*

*Dr. Talib H. Kadouri*

**February ٢٠٠٧**

**Moharam ١٤٢٨**

# بسم الله الرحمن الرحيم

## أقرار المشرف على الرسالة

أشهد أن إعداد هذه الرسالة الموسومة بـ "دراسة التغير الضوئي للنظام الكسوفي W Serpentis" التي تقدم بها الطالب "ليث طالب هادي" قد جرى بأشرافي في قسم الفيزياء/ كلية العلوم/ جامعة بابل، وهي جزء من متطلبات نيل درجة الماجستير في علوم الفيزياء/فلك.

التوقيع

المشرف: د. طالب هادي قدوري

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد

العنوان: كلية العلوم/ جامعة بابل

التاريخ: / / ٢٠٠٧

## توصية رئيس قسم الفيزياء

بناءً على التوصيات المتوافرة أرشح هذه الرسالة للمناقشة.

التوقيع:

الاسم: د. طالب هادي قدوري

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد

التاريخ: / / ٢٠٠٧

## الخلاصة

تهدف الرسالة إلى بحث التغير الضوئي للنظام الكسوفي (W Serpentis) في ضوء ما تم نشره عن كون النظام يتكون من ثلاث نجوم تتحرك وفق مدار بشكل ثماني مفتوح ( $\infty$ ) ، كذلك يتناول البحث تحديد هوية النظام على ضوء معطيات النتائج. تقع الرسالة في أربعة فصول:

يتناول الفصل الأول بعض المفاهيم العامة عن المجرة والنجوم المتغيرة وأنواعها وفرضيات تكون الأنظمة الثنائية والمتعددة والدلائل الرصدية للأنظمة الثلاثية ، وقد ختم هذا الفصل بأهم المعلومات المتوفرة في المراجع والمصنفات الفلكية عن النظام (W Serpentis) والهدف من البحث .

احتوى الفصل الثاني على شرح موجز لبعض الأسس النظرية وبرمجتها المستخدمة في تحليل المنحنيات الضوئية وخاصة طريقة تحويلات فورير في مجال التردد باستخدام بيانات الكسوف الابتدائي فقط أو كلا الكسوفيين الابتدائي و الثانوي للمنحني الضوئي.

خصص الفصل الثالث للبيانات الرصدية التي تم جمعها ومعالجتها لحساب المساحات اللحظية وتعيين العناصر الفيزيائية والهندسية ، لأول مرة ، كما تم حساب القيم المطلقة لعناصر النظام. تم في الفصل الرابع مناقشة النتائج وذكر الاستنتاجات وسرد موجز لبعض التوصيات المستقبلية الخاصة بمتعلقات موضوع الرسالة .

تشير نتائج البحث إلى أن النموذج ذا الشكل الثماني المفتوح ( $\infty$ ) لا تتوفر له دلائل رصدية مؤيدة في حالة النظام ( W Serpentis ) ، وان المركبة الثانوية في النظام كثنائي هي نجم من طائفة النجوم العملاقة (III) ومرتبة طيفية ( $G_2$ )، كما إن البحث اظهر إن الدورة المدارية للنظام ( $28^d.31042$ ) تفسر التغير الضوئي للنظام الذي يحتوي على معالم متكاملة للمنحني الضوئي .

## Abstract

The aim of this study is to investigate the light variation of the eclipsing system (W Serpentis) through what has been published on considering that the system consists of triple stars moving around in an open figure eight orbit ( $\infty$ ). According to the outcome results, the study includes also an indication on the system identity. The thesis falls into four chapters:

The first chapter deals with some general concepts on the galaxy, the kinds of variable stars, the hypothesis of the origin of binary and multiple star systems and the observational indicators of triple star systems. This chapter is ended by important informations available in the references and the astronomical papers on the (W Serpentis) system, with the aim of the project.

The second chapter contains a brief outline on the theoretical principles and the programs used in the analyses of the light curves, using Fourier transformation in the frequency domain by using the data of the primary minimum only or the primary and secondary minima of the light curve.

Chapter three is devoted for the observational data which have been collected and the procedure process to calculate the moment areas and to determine the physical and geometrical elements, for the first time. The absolute elements of the system are also determined.

Finally chapter four introduces discussion, conclusion remarks and suggestions for further studies.

The results indicate that the figure eight orbit ( $\infty$ ) has no observational evidences to agree with the light variation of the (W Serpentis) system, and the second component, if the system is a binary, is a giant (III) of spectral type ( $G_V$ ). The orbital period of ( $2^{\wedge}d.3^{\wedge}o^{\wedge}e^{\wedge}2$ ) explains the light curve variability of the system to be a complete light curve.

# شكر وتقدير

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على سيد المرسلين محمد وآله وأصحابه  
الطيبين الطاهرين.

كل الشكر لله على ما أمدني من قوة وصبر وتوفيق في إتمام متطلبات البحث  
الحالي، وبعد أسجل شكري إلى رئاسة جامعة بابل وإلى عمادة كلية العلوم لإتاحتهم  
الفرصة بالاستمرار في تحصيلي العلمي.

كما أتقدم بوافر الشكر والتقدير إلى الدكتور طالب هادي قدوري لما بذله من  
جهود ومتابعة طوال مدة البحث، وفقه الله لدوام الخير والعطاء.

ولا يفوتني أن أتقدم بالشكر والتقدير إلى جميع منتسبي قسم الفيزياء وطلبة  
الدراسات فيه لمؤازرتهم لي خلال مدة دراستي.

الباحث

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَهُوَ الَّذِي جَعَلَ لَكُمُ النُّجُومَ  
لِتَهْتَدُوا بِهَا فِي ظُلُمَاتِ الْبَرِّ  
وَالْبَحْرِ قَدْ فَصَّلْنَا الْآيَاتِ لِقَوْمٍ  
يَعْلَمُونَ

صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ

سورة الأنعام (الآية ٩٧)

## المحتويات

| رقم الصفحة  | عنوان الموضوع   |
|---|---|
| I   | قائمة الرموز  |
| <b>الفصل الأول : المقدمة</b>                                    |   |
| ١   | ١-١ المجرة  |
| ٢   | ٢-١ النجوم المتغيرة   |
| ٣   | ١-٢-١ النجوم المتغيرة الثائرة   |
| ٤   | ٢-٢-١ النجوم المتغيرة النابضة   |
| ٤   | ٣-٢-١ النجوم المتغيرة الدوارة   |
| ٥   | ٤-٢-١ النجوم المتغيرة العنيفة (شبيهة- المستعرة والمتفجرة)                 |
| ٥   | ٥-٢-١ الأنظمة الكسوفية  |
| ٨   | ٦-٢-١ النجوم الثنائية المتقاربة ذات المصدر الشديد للأشعة السينية          |
| ٩   | ٣-١ أهمية الأنظمة الكسوفية  |
| ١٠  | ٤-١ أصل تكون الأنظمة الثنائية والمتعددة                                   |
| ١٠  | ١-٤-١ فرضية التشظي  |
| ١٠  | ٢-٤-١ فرضية التكتاف   |
| ١١  | ٣-٤-١ فرضية العناقيد النجمية  |
| ١١  | ٤-٤-١ فرضية الاقتران  |
| ١١  | ٥-١ الدراسات الفلكية  |
| ١١  | ١-٥-١ الدراسات الفوتومترية  |
| ١٣  | ٢-٥-١ الدراسات الطيفية  |
| ١٤  | ٣-٥-١ الدراسات الأخرى   |
| ١٥  | ٦-١ الدلائل الرصدية للأنظمة الثلاثية                                      |
| ١٦  | ٧-١ دراسات سابقة  |
| ١٨  | ٨-١ الهدف من البحث  |
| <b>الفصل الثاني : الجزء النظري والبرمجيات</b>                   |   |
| ١٩  | ١-٢ تطور تحليل المنحنيات الضوئية  |
| ٢٠  | ٢-٢ علاقة المساحات اللحظية للمنحنى الضوئي ومعاملات فورير                  |
| ٢٦  | ٣-٢ تعيين العناصر الفيزيائية والهندسية باستعمال الكسوف الابتدائي          |
| ٢٩  | ٤-٢ تعيين العناصر الفيزيائية والهندسية باستعمال الكسوف الابتدائي والثانوي |
| <b>الفصل الثالث : الحسابات والنتائج</b>                         |   |
| ٣١  | ١-٣ معالجة وتحليل بيانات الرصد لنموذج $(\infty)$                          |
| ٣٨  | ٢-٣ معالجة وتحليل بيانات الرصد باعتبار النظام (W-Serp.) ثنائي كسوفي نشط.  |
| ٤٠  | ٣-٣ العناصر المطلقة للنظام الكسوفي (W Serp.)                              |
| ٤٣  | ٤-٣ موقع نجوم النظام على مخطط H-R   |
| <b>الفصل الرابع : المناقشة والاستنتاجات والأعمال المستقبلية</b> |   |
| ٤٧  | ١-٤ المناقشة  |
| ٤٨  | ٢-٤ الاستنتاجات   |
| ٤٩  | ٣-٤ الأعمال المستقبلية  |
| ٥٠  | المصادر   |
| ٥٦  | ملحق A  |
| ٦٢  | ملحق B  |

## قائمة الرموز

| الرمز           | التعريف   |
|-----------------|---|
| i               | زاوية الميل   |
| u               | معامل عتمة الطرف  |
| r               | نصف القطر النسبي  |
| R               | نصف القطر المطلق  |
| $R_{\odot}$     | نصف القطر المطلق للشمس  |
| P               | مدة دورة المدار بالأيام   |
| A               | المسافة الفاصلة بين مركزي النجمين   |
| T               | زمن لحظة اقتراب النجم الأول من الثاني في أقرب مسافة بينهما  |
| $\omega$        | تمثل الزاوية الواقعة بين نقطة تقاطع المدار مع المستوي المماس إلى القبة الفلكية إلى المحور الكبير في المدار البيضاوي |
| e               | شذوذ المدار عن الشكل الدائري  |
| a               | نصف القطر للمدار الرئيسي  |
| K               | السرعة نصف القطرية  |
| $\theta_1$ أو C | زاوية الطور للتماس الأولي   |
| $\theta$        | زاوية الطور   |
| $a_n$           | معاملات فورير   |
| $\Delta u$      | مقدار الخطأ الرصدي في قيمة النورانية  |
| $\lambda$       | عمق الكسوف عند زاوية الطور $\theta = 0$   |
| $\alpha_0$      | الفقدان النسبي للنورانية عند الكسوف الأعظم  |
| $\alpha_{0C}$   | الفقدان النسبي للنورانية في حالة كسوف الاستتار  |
| $\alpha_{0T}$   | الفقدان النسبي للنورانية في حالة كسوف العبور  |
| $F_r$           | دالة عتمة الطرف الخطية  |
| H.J.D.          | التوقيت الجولياني نسبة للشمس  |
| EP.             | العناصر الضوئية (التوقيت الجولياني لحظة الكسوف الابتدائي)   |
| $\Delta m$      | القدر الضوئي التفاضلي   |
| $A_{r_m}$       | المساحات اللحظية  |
| $\ell$          | النورانية النسبية   |
| L               | النورانية   |
| $L_{\odot}$     | النورانية للشمس   |
| $T_{eff}$       | درجة الحرارة المؤثرة  |
| $M_{bol}$       | القدر الضوئي البولومتري   |
| $\tau$          | معامل العتمة التثاقلية  |
| E               | معامل الانعكاسية  |
| $\lambda_{eff}$ | الطول الموجي المؤثر   |
| $\rho$          | الكثافة   |
| $\rho_{\odot}$  | الكثافة للشمس   |
| M               | الكتلة  |

| الرمز                       | التعريف  |
|-----------------------------|--|
| $M_{\odot}$                 | الكتلة للشمس   |
| $f_{(m)}$                   | دالة الكتلة  |
| $g$                         | المعامل الوني للنجم                                    |
| $\epsilon$                  | الخطأ في حساب كل نقطة رصد منفردة                       |
| (O-C)                       | الفرق بين القيمة المرصودة والقيمة المحسوبة رياضياً     |
| $\beta_6, \beta_4, \beta_2$ | حدود الاضطراب الفوتومتري                               |
| $\Delta\chi$                | الخطأ الرياضي من الحسابات                              |
| $F_1/F_2$                   | نسبة تدفق فيض المادة بين النجمين                       |
| $M_I$                       | عناصر الكسوف الابتدائي                                 |
| $e$                         | شحنة إلكترون   |
| $^{37}Ar$                   | عنصر الأركون   |
| $^{37}Cl$                   | عنصر الكلور  |
| $N$                         | عدد التوافقيات في متسلسلة فورير                        |
| $m$                         | عدد نقاط البيانات الداخلة في البرنامج                  |
| $C_2, C_3, C_1$             | متغيرات ثانوية تستعمل لتحديد العناصر في النظام الكسوفي |
| $U$                         | النيوترينو   |
| $1.^d.$                     | يوم شمسي   |

# الفصل الأول

## المقدمة

# الفصل الأول

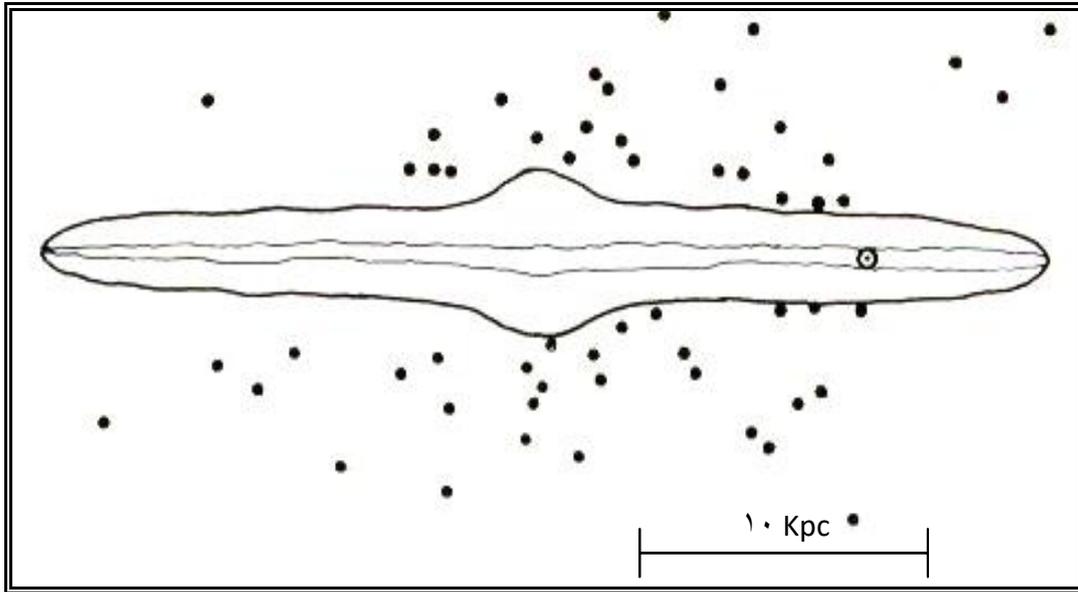
## المقدمة

### The Galaxy

### ١-١ المجرة

خلال حقبة المادة (Matter Era) التي تمثل المرحلة النهائية من مراحل تطور الكون والتي لازالت مستمرة حتى الآن، تكونت المجرات وما تتضمنه من نجوم وأجرام مختلفة أخرى. إذ تشكلت المجرات من تجمع كثافات صغيرة من الغازات ذات قوة ارتباط أعلى من كثافة الإشعاع، ومن ثم ساعد ذلك على تكون المجرات والمجاميع المجرية ومنها مجرة درب التبانة (The Milky Way Galaxy)، التي تعرف عادة بالمجرة (The Galaxy)، وهي المجرة والتي تتواجد فيها الشمس ومنظومتنا الشمسية، أما بقية المجرات ومجاميعها فتعرف بالمجرات الخارجية التي تشكل مع الأجرام الأخرى الجزء المنظور وغير المنظور للكون المتسع. تصنف مجرة درب التبانة على أنها من المجرات اللولبية (Spiral Galaxies)، (Hubble, ١٩٣٦).

تمتلك مجرة درب التبانة كتلة تقدر بحوالي ( $2 \times 10^{11}$ ) مرة بقدر كتلة الشمس ( $M_{\odot}$ ) ويبلغ قطر قرص المقطع الطولي لها حوالي (٣٠٠٠٠) فرسخ فلكي وسمكه في منطقة الوسط التي هي في الغالب تجمعات نجمية بـ (١٠٠٠) فرسخ فلكي وسمكه في منطقة المحيطة بمركز القرص، والتي هي في الغالب نجوم تتخللها منطقة غبار كوني وغازات تقدر نسبتها بحوالي ٢-٤٪ من كتلة المجرة بـ (٢٠٠) فرسخ فلكي. تبعد الشمس عن مركز المجرة بمسافة حوالي (٨.٥) ألف فرسخ فلكي كما في الشكل (١-١)، تمتلك المجرة من موقع الشمس سرعة دورانية محورية مقدارها (٢٢٠ km/s)، وذات دوره مدارية تقدر بحوالي ( $240 \times 10^6$ ) سنة أرضية، لذلك يقدر أن المجموعة الشمسية قد أكملت حوالي (٢٠-٢١) دورة منذ تكونها وحتى الآن. ويقدر عمر مجرة درب التبانة بحوالي ( $10 \times 10^9 - 20 \times 10^9$ ) سنة أرضية. تضم المجرة حوالي (١٠<sup>١١</sup>) نجمة مختلفة من متغيرة وغير متغيرة للمعان (Narlikar, ١٩٧٧; Karttunen et al., ١٩٩٦).



شكل (١-١) يمثل مقطعاً طويلاً لهيكل المجرة (درب التبانة)، وموقع الشمس من المجرة (Karttunen et al., ١٩٩٦).

### Variable Stars

### ٢-١ النجوم المتغيرة

تدل الدراسات الفلكية أن كافة النجوم متغيرة للمعان ويحدث التغير في لمعان النجوم المفردة منها إثناء مرحلة تطورها بسبب تغيرات داخلية وخاصة عندما تكون قتيبة (Early Type) أو هرمة (Late Type). أن الكشف عن مثل هذا التغير يحتاج إلى متابعة لمعان النجم لفترة طويلة جداً تتناسب مع عمر النجوم ما عدا التغير الفجائي الذي يحدث في لمعان بعض النجوم من نوع المستعرات (Nova) أو النجوم النابضة (Plusating Stars). كما يوجد نوع من النجوم تبدو مفردة ولكن لمعانها يتغير بصورة

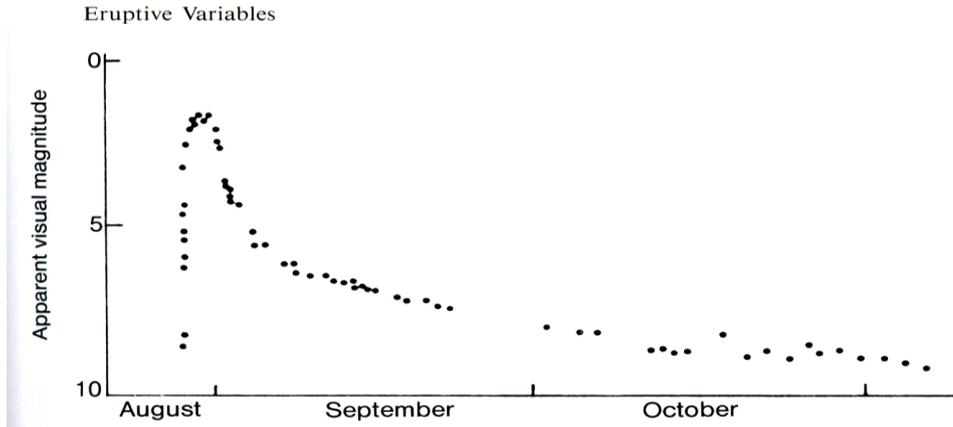
دورية مشيراً إلى أنها ذات أنظمة ثنائية أو متعددة، وتكون مداراتها بوضع مناسب ليكشف بعضها بعضاً خلال فترة تعتمد على مدة الدورة المدارية للنظام، مسبباً تغير في لمعان النظام، وهذا النوع من النجوم يمدنا بمعلومات وافرة لبيان حالة التطور لمركبات هذا النظام.

لقد تم التعرف على أكثر من ٣٠٠٠٠ نجمة متغيرة لحد عام (٢٠٠٠)، كما تم الاشتباه بأكثر من ١٤٠٠٠ نجمة أخرى على أنها متغيرة للمعان (Beck, ٢٠٠٥). وبينت الإحصائيات أن أكثر من ٥٠ % من النجوم في السماء هي ضمن مجموعة النجوم ذات الأنظمة الثنائية أو المتعددة (Lazaro and Arevalo, ٢٠٠١)، وأن ٢٠% من النجوم هي أنظمة ثلاثية أو أكثر (Tokovinin, ٢٠٠٤).

إن دراسة أنظمة النجوم المتغيرة تعد مهمة من خلال ما توفره من معلومات عن الخواص الفيزيائية والهندسية لنجوم النظام مثل (المسافات، الكتلة، الأقطار، الهيكلية الداخلية والخارجية، درجة الحرارة، النورانية، ..... الخ) التي يمكن تعيينها باستعمال البيانات الرصدية للنظام المتغير للمعان. وقد قسمت النجوم المتغيرة استناداً إلى العامل المسبب للتغير في اللمعان على الأنواع (Beck, ٢٠٠٥): { ثائرة (Eruptive)، نابضة (Pulsating)، متناوبة أو دوارة (Rotating)، عنيفة (شبيهة-المستعرة والمتفجرة) (Cataclysmic (Explosive and Nova-Like)، الأنظمة الكسوفية (Eclipsing Systems)، متغيرة الشدة من مصدر للأشعة السينية (Intense Variable X-Ray Sources) }. إن أي نوع من هذه الأنواع يضم نجوماً ذات طبيعة مختلفة عن الأنواع الأخرى مختلفة في مسبب التغير للمعان. وأنه من الممكن أن يكون التغير في لمعان النجم نتيجة لجميع الأنواع السابقة أو أغلب الأسباب أو أن يكون التغير لتركيبية معينة من الأسباب.

## ١-٢-١ النجوم المتغيرة الثائرة Eruptive Variable Stars

يطلق عليها هذا الاسم لكون التغير في اللمعان يحصل نتيجةً لمؤثر مفاجيء وعنيف، أو توهج يحصل في الكروموسفير والاكليل المحيط بالنجم، وبعد زوال المؤثر يعود النجم إلى حالته الأساسية كما في الشكل (٢-١)، إذ إن التغير في لمعان النجم يكون مصاحباً لأحداث تحصل في القشرة أو نتيجةً لتدفق المادة من النجم إلى الخارج على شكل رياح نجمية ذات شدة متغيرة أو نتيجةً لتداخل في المادة المحيطة بالنجمة (Kholopov et al., ١٩٨٥).

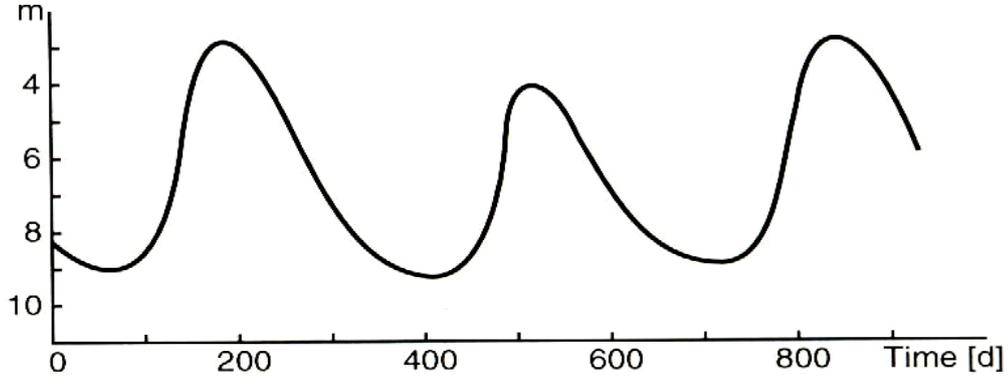


شكل (٢-١) المنحني الضوئي لنجم ثائر (V1٥٠٠ Cyg.) (Beck, ٢٠٠٥).

## Pulsating Variable Stars

## ٢-٢-١ النجوم المتغيرة النابضة

يطلق عليها هذا الاسم لان النجم يظهر توسعاً وتقلصاً دورياً في طبقات سطح النجم اللذان يؤديان إلى التغير في لمعان النجم كما في الشكل (٣-١) ، وعملية التوسع والتقلص يمكن أن تكون قطرية أو غير قطرية ، إذ أن النجمة النابضة القطرية تحافظ على الشكل الكروي للنجمة ، في حين أن النجمة النابضة غير القطرية يمكن أن تنحرف عن الشكل الكروي للنجمة بشكل دوري (Beck, ٢٠٠٥). وحتى المناطق المجاورة لانطقة النجم يمكن أن تحصل فيها عمليات عكسية في الطور لعملية النبض.



شكل (٣-١) المنحني الضوئي لنجم نابض ذي دورة طويلة الأمد من نوع العملاقة الجبارة ذات طيف من نوع M (M Super giants) (Beck, ٢٠٠٥).

## Rotating Variable Stars

## ٣-٢-١ النجوم المتغيرة الدوارة

يطلق عليها هذا الاسم بسبب اللمعان غير المنتظم التوزيع على سطح النجمة ، أو على النجوم ذات الشكل الناقص . إن التغير في اللمعان الحاصل في مثل هذه النجوم يكون مصاحباً لدوران النجم حول المحور بالنسبة إلى الراصد (Kholopov et al., ١٩٨٥).

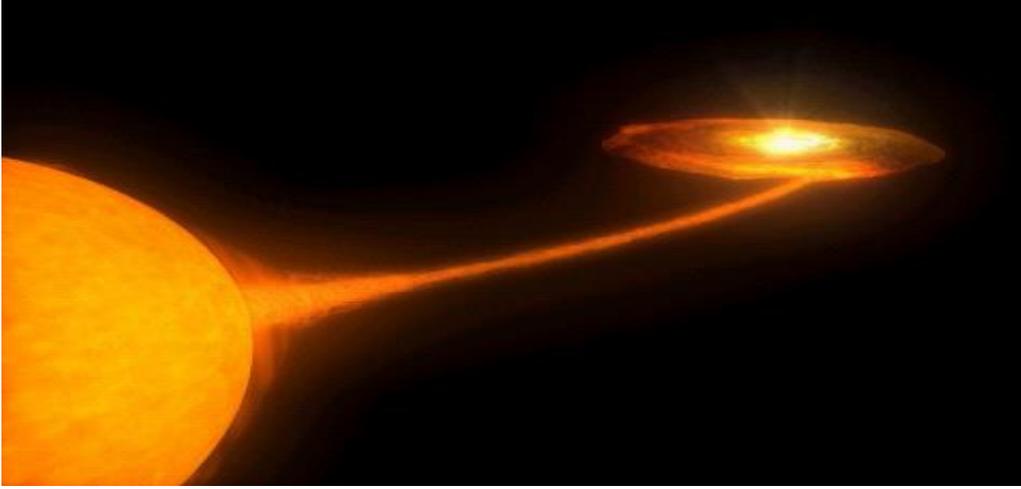
إن اللمعان ذا التوزيع غير المنتظم على السطح يمكن أن ينتج عن وجود بقع معتمة أو مضيئة تبدي تغيراً صغيراً في اللمعان، ومن الممكن إن تشغل هذه البقع (٢٠%) من سطح النجمة (Beck, ٢٠٠٥). أو قد ينتج التغير في اللمعان عن عدم تجانس حراري أو كيميائي في الغلاف الجوي للنجم ناتج عن المجال المغناطيسي، إذ تكون محاوره غير متزامنة مع محاور الدوران للنجم.

## ٤-٢-١ النجوم المتغيرة العنيفة (شبيهة- المستعرة والمتفجرة)

### Cataclysmic Variable Stars (Explosive and Nova-Like)

يطلق عليها اسم النجوم المتغيرة المتفجرة بسبب حصول انفجارات ناتجة عن تفاعلات حرارية نووية تندفع من خلال طبقات سطح النجم المستعرة (Nova)، أو تندفع من خلال باطن النجمة المستعرة العظمى (Super Nova).

أن شبيهة المستعرة مثال على التغيرات التي تظهر نتيجة للانفجارات الخارجية بسبب السرعة العالية في إطلاق الطاقة الى حجم الفضاء المحيط بالنجمة، كما أن الحد الأدنى للمعان النجوم المتفجرة يحدد المرتبة الطيفية لتلك النجمة. أن غالبية النجوم المتغيرة المتفجرة هي أنظمة ثنائية متقاربة ذات مركبات تكون ذات تأثير متبادل بين كل من النجمين. عندما يرصد النجم الأقل طاقة والأكثر كثافة وجاذبية (القزم) في المنظومة الثنائية، كما في الشكل (٤-١) يكون محاطاً بقرص يتعاظم ربحه للمادة من نجم ذي مرتبة طيفية أكبر وطاقة أكبر وكثافة أقل (Kholopov et al., ١٩٨٥).



شكل(٤-١) النجم الحار على اليسار والأقل حرارة على اليمين محاط بالقرص (Nagel, ٢٠٠٣).

### Eclipsing Systems

### ٥-٢-١ الأنظمة الكسوفية

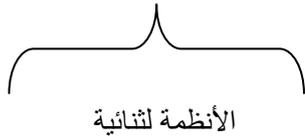
وتقسم إلى

#### Binary Eclipsing Systems

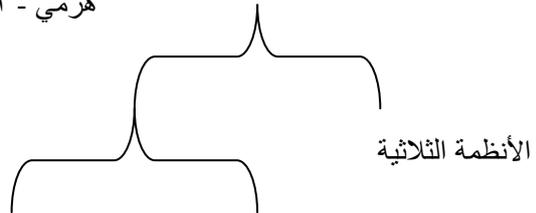
١. الأنظمة الكسوفية الثنائية

عبارة عن نجمتين مرتبطتين ببعضهما بتأثير الجاذبية المشتركة، ويدوران حول مركز ثقلية مشتركة. ويحدث الكسوف دورياً لأن مستوي دوران الثنائي لا يميل كثيراً عن خط الإبصار، مسبباً تغيراً في شدة الضوء الواصل إلينا من الثنائي. وتعطى الثنائيات بشكل عام في تصنيف الهرم (Hierarchy)، (وهو عبارة عن مفهوم يطلق على الأنظمة الثنائية أو المتعددة في ضوء عدد المدارات الموجودة في النظام) (Batten, ١٩٧٣)، المرتبة (١)، كما في شكل (٥-١).

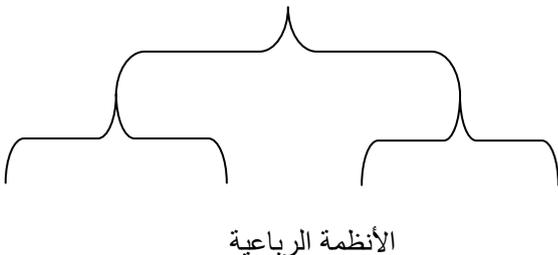
هرمي - ١ -



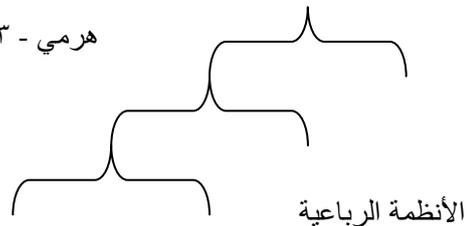
هرمي - ٢ -



هرمي - ٢ -



هرمي - ٣ -



شكل (٥-١) مخطط تصنيف الهرم (Batten, ١٩٧٣).

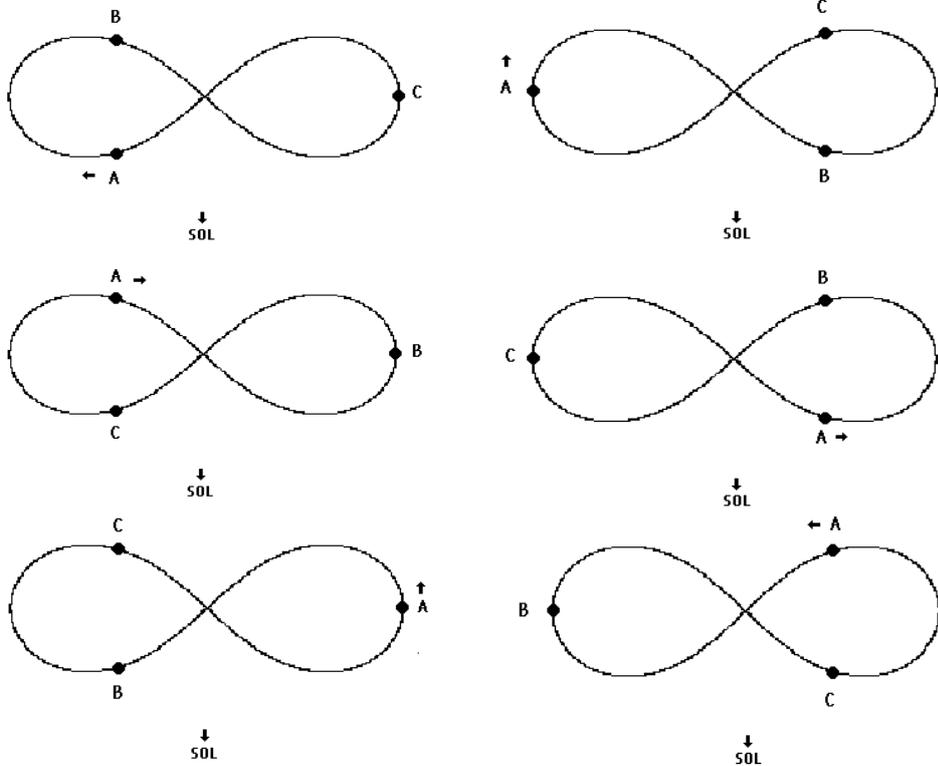
## Triple Eclipsing Systems

## ٢. الأنظمة الكسوفية الثلاثية

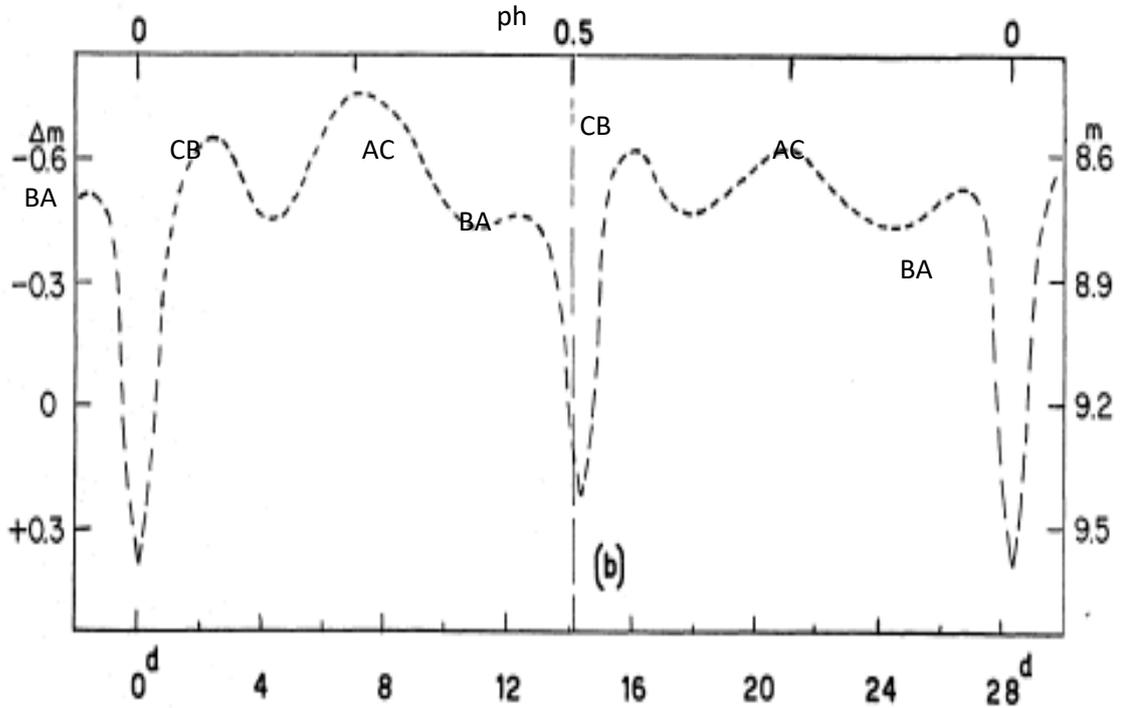
عبارة عن ثلاث نجوم مرتبطة ببعضها بتأثير الجاذبية المشتركة، إذ تتشكل مدارات هذه الأنظمة من جزئيين مدار داخلي، يضم نجمين يدوران حول مركز ثقل مشترك، ذي دورة مدارية قصيرة نسبياً ( $P_{in}$ ) ومدار خارجي ( $P_{out}$ ) يتحرك فيه النجم الثالث، ذي دورة مدارية أكبر من الدورة المدارية الداخلية، إذ يتحرك النجم الثالث في مدار حول مركز ثقل مشترك مع مركز ثقل المدار الداخلي.

تحصل عملية الكسوف في الأنظمة الثلاثية وفي حالة المدار الداخلي بصورة دورية (كما في الأنظمة الثنائية الكسوفية)، مع بعض الاختلاف في شكل المنحني الضوئي سنائي على ذكره في الدلائل الرصدية. أما بالنسبة إلى المدار الخارجي فإن احتمالية حصول كسوف من النجم الثالث تعتمد على قيمة الزاوية المحصورة بين المستوي الأول للمدار الداخلي والمستوي الثاني للمدار الخارجي، فكلما كانت أقرب إلى الصفر ارتفعت احتمالية حصول الكسوف مع النجم الثالث ضمن فترات زمنية طويلة جداً تجعل من النادر ملاحظته من الراصد، وتعد الأنظمة الثلاثية من هذا النوع من المرتبة (الهرم -٢-).

وفي السنوات الأخيرة قام الباحثون بتوضيح أن المدارات الغريبة من الممكن أن تتحقق ضمن الأسس الرياضية وذهبوا ابعدها من ذلك في حالة المدار ذي الشكل الثماني المفتوح ( $\infty$ ) وبينوا أن مثل هذا النظام من الممكن أن يوجد في الكون بشكل مستقر، فإن فرضية المدار ذي الشكل الثماني المفتوح ( $\infty$ ) يتضمن ثلاث نجوم ذات أبعاد هندسية وكتل متساوية تقريباً تتحرك على المدار كما في الشكل (٦-١)، مسببة عملية كسوف ثنائي متتابع بين نجوم النظام؛ مما يولد ستة تفرعات دورية ضمن الدورة المدارية الواحدة كما في الشكل (٧-١)، فالكسوف الأول بين (B-A)، والكسوف الثاني بين (C-B)، والكسوف الثالث بين (A-C)، وتكرر بحيث أن الكسوف الرابع بين (B-A)، والكسوف الخامس بين (C-B)، والكسوف السادس بين (A-C)، ثم تعاد الدورة المدارية بالترتيب نفسه كما أن الاختلاف في عمق كل كسوف على حدة يعود إلى الاختلاف في نورانية كل نجم عن الآخر (Edgeworth, ٢٠٠١).



شكل (٦-١) مخطط دوران النجوم الثلاث (A, B, C) بالتتابع في المدار  
(Edgeworth, ٢٠٠١), (∞)



شكل (٧-١) المنحني الضوئي للنظام (W-Serp.) (Fresa, ١٩٥٧).

### E-Eclipsing Systems

### ٣. الأنظمة الكسوفية الأخرى

كلما زاد عدد النجوم في الأنظمة ازدادت طرائق تشكيل المدارات في ذلك النظام. وفي الأنظمة التي تحتوي على أربعة نجوم ، كما في شكل (٥-١)، قد يتحد كل زوج من نجوم هذا النظام في مدار ذي مركز ثقل مشترك، أي يتشكل مداران للنظام واللذان بدورهما قد يتحركا حول بعضيهما البعض أو لا، ويكون من المرتبة (الهرم -٢-). أو يتحد نجمان في مركز ثقل مشترك لمدار مرتبط مع مداريين آخرين خارجيين يحتوي كل منهما بشكل منفصل على نجم ويكون من المرتبة (الهرم-٣-).

### ٦-٢-١ النجوم الثنائية المتقاربة ذات المصدر الشديد للأشعة السينية

#### Close Binary Stars of Strong X-Ray Source

هي النجوم الثنائية الباعثة للأشعة السينية ، ولا تنتمي إلى أي صنف من الأصناف السابقة من النجوم المتغيرة. يتألف ثنائي الأشعة السينية من نجمين مرتبطين مع بعضيهما فيزيائياً ، الكبير منهما هو النجم الابتدائي ، ويطلق عليه النجم البصري (Optical Component) ، أما النجم الثاني فيكون صغيراً جداً ومنهاراً إلى المركز ويمثل نجم الأشعة السينية ( X-Ray Component)، ويحتمل أن يكون نجماً نيوترونياً أو ثقباً أسود أو قزماً أبيض والتي تعد في المراحل النهائية لتطور النجوم. تنبعث الأشعة السينية نتيجة تعجيل وتسخين المواد الغازية الساقطة من النجم الابتدائي على النجم الثانوي الذي هو نجم الأشعة السينية ، وعندئذ يصبح النجم المنهار مصدراً قوياً للأشعة السينية (Abdul-Lettif, ١٩٩٢; Kholopov et al, ١٩٨٥).

### ٣-١ أهمية الأنظمة الكسوفية

#### Importance of the Eclipsing Systems

إن دراسة التغير الضوئي للأنظمة الكسوفية له أهمية متزايدة في فيزياء الفلك المعاصر بسبب الوفرة الغزيرة لمثل هذه الأنظمة في المجرة و الكون، حيث أظهر المسح للنجوم القريبة من شمسنا لمسافات تصل إلى (٣٠-٢٠) فرسخاً فلكياً إن (٠.١٪) من نجوم هذا المجال تمثل مركبات لأنظمة كسوفية، وإذا ما عممنا النسبة على كامل مجرتنا يصبح العدد المتوقع للأنظمة الكسوفية حوالي (١٠<sup>٤</sup>) نظام كسوفي (Kopal, ١٩٧٩).

إن ٢٠٪ من النجوم المتغيرة المكتشفة هي نجوم ثنائية كسوفية متقاربة ويدل هذا على أن المتغيرات الكسوفية ليست حالات استثنائية أو غير شائعة بين الكم الهائل من النجوم في الكون . ولا تقتصر الأهمية على الوفرة التي تتمثل بالعدد الكبير من المتغيرات الكسوفية في الكون بل أيضاً على أهمية وطبيعة المعلومات التي تزودنا بها، فدراسة صفات أي جرم سماوي يتطلب توفر معلومات نحصل عليها من خلال مصدرين : هما الجاذبية الثقالية ، والإشعاع الصادر عن الجرم . وفي حالة النجم المنفرد الذي يشع ضوءاً ثابت اللامعان فإنه يكون مصدراً مناسباً لمعلومات محدودة يوفرها الإشعاع الصادر عنه عن طريق الدراسات الفوتوغرافية والطيفية له ، التي تكشف لنا عن بعض العناصر الفيزيائية للنجم مثل المرتبة الطيفية (ومنها يمكن معرفة درجة الحرارة) والتركيب الكيماوي والسرعة نصف القطرية (Radial velocity) والضغط (من خلال تأثير Stark) ، أو المجال المغناطيسي (تأثير Zeeman) ، كما يمكن أن نستدل منها على النورانية ومعدل البرم للنجم، كما أن النجوم المفردة ثابتة اللامعان لا تستطيع أن تمدنا بمعلومات أخرى مثل أبعادها المطلقة وكتلتها وزمن الدورة ... الخ . ولكي تكشف لنا عن ذلك فما عليها إلا أن تكون عضواً في ارتباط تجاذب مع نجم آخر أو أكثر مشكلة بذلك نظاماً ثنائياً أو متعدداً يمدنا الإشعاع الصادر عنه بمعلومات عن مركبات النظام عن طريق الدراسات الفوتومترية (Al-Damy, ١٩٩٥).

## ٤-١ أصل تكون الأنظمة الثنائية والمتعددة

### The Origin of Binary and Multiple Systems

لقد وضعت فرضيات عدة لتفسير أصل تكون الأنظمة الثنائية والمتعددة منها:

#### Fragmentation Hypothesis

#### ١-٤-١ فرضية التشظي

وهي من أكثر الفرضيات قبولاً، وتفيد أن عملية التشظي تحصل في قلوب الغيوم الكونية خلال مرحلة الانهيار الجذبي. بين روكسبورغ (Roxburgh, 1965; 1966a,b) أنه خلال مرحلة حياة النجم الابتدائية التي يستمر فيها النجم بالتقلص إلى أن يصبح غير قابل للانضغاط، وذا كثافة عالية جداً يحدث التشظي، كما أوضح أن عملية التشظي تحصل عندما تكون كتلة النجم الابتدائي تتراوح بين (٠.٨) إلى (٤) من كتلة الشمس.

وهناك نوعان من التشظي:

أولاً: تشظي عاجل Prompt fragmentation (Boss, 1986). ويحدث عندما تحصل عملية الزيادة في الكثافة بشكل مضطرب (أي غير منتظمة)، مما يؤدي لتعجيل زمن الانهيار بشكل سريع جداً. وهناك العديد من البحوث في مجال التشظي العاجل (Truelove et al., 1998; Bate and Burkert, 1997; Boss and Bodenheimer, 1979).

ثانياً: تشظي قرصي Disc fragmentation (Bonnell, 1994). وتحدث عملية التشظي بهذه الطريقة في حالة زيادة الكثافة المحيطة بالجسم المركزي، وتكون هذه الزيادة بمعدل منتظم وخلال فترات زمنية طويلة نسبياً. إن هذا النوع من التشظي يتطلب كثافة عالية للقرص، وخلافه فإن التشظي سوف لا يحصل، فينتج نجم مستقر (Burkert et al., 1994; Whitworth et al., 1995; Bonnell and Bate, 1994).

#### Condensation Hypothesis

#### ٢-٤-١ فرضية التكتاف

التي تشير إلى أن النجوم الثنائية والمتعددة تتكون من تكتاف السحب الغازية والأترية الكونية ما بين النجوم حول نوى منفصلة ومتجاورة، ومن ثم تتكون الأنظمة الثنائية إذا كانت نواتين متجاورتين، وتتكون أنظمة ثلاثية إذا كانت ثلاث نوى، وهكذا. ومن رواد هذه النظرية (Huang, 1966; Wood, 1964). وهناك ثغرة في هذه النظرية، وهي أن السحب الكونية تميل للتكتاف حول مركز واحد.

#### Clusters Hypothesis

#### ٣-٤-١ فرضية العناقيد النجمية

تشير إلى أن النجوم الثنائية والمتعددة تنشأ من العناقيد النجمية التي تضم عشرات عدة من النجوم، إذ تكون غير مستقرة في بداية تكوينها وتميل بعض أجزاء سحابتها للتكتاف، خلال فترة تتراوح ما بين (١٠<sup>٣</sup>-١٠<sup>٤</sup>) سنة أرضية، إلى نجوم ثنائية أو متعددة. وتعد هذه الفرضية في بعض جوانبها امتداداً لفرضية التكتاف.

#### Capture Hypothesis

#### ٤-٤-١ فرضية الاقتران

تذكر هذه الفرضية أن الأنظمة الثنائية والمتعددة ممكن أن تتكون من تلاقي نجمين أو أكثر والارتباط بقوة الجاذبية المشتركة، فمن الممكن تشكيل نظام ثنائي بشكل مباشر عن طريق تلاقي نجمين، ولكن في الأنظمة المتعددة فإن هذه الفرضية قد تحصل بعد عملية التشظي، أو بعد عملية التكتاف. وقد بينت دراسة، تعرف بعملية المحاكاة للواقع التي أجريت على مجاميع نجمية كبيرة والتي أدخلت فيها كل فرضيات تكوين الأنظمة النجمية، أن الغالبية العظمى من الأنظمة تتكون عن طريق التشظي، وأن عملية الاقتران ممكن أن تحصل في ١-٢% من جميع الأنظمة الثنائية والمتعددة (Bate et al., 2003; 2002a,b).

### Astronomical Studies

### ٥-١ الدراسات الفلكية

يعد الإشعاع الكهرومغناطيسي المنبعث من النجوم المصدر الوحيد الذي يمدنا بمعلومات عن النجوم، فباستعمال أكبر المراقب الفلكية لا يظهر النجم أكثر تفصيلاً مما نراه بالعين المجردة سوى زيادة بريقه ولمعانه حتى أنه لا يظهر بشكل قرص كما نرى الشمس وذلك لبعده الشاسع عنا.

إن جزءاً قليلاً من الطيف الكهرومغناطيسي المنبعث عن النجم يصل إلى الأرض ويتم رصده واعتماده بالدراسات الفلكية، ويتمثل ذلك بطيف الضوء المرئي وجزء من المنطقة فوق البنفسجية وجزء من المنطقة تحت الحمراء ، وكذلك بعض المديات الأخرى مثل المديات الراديوية والملمترية ، ومن أهم الدراسات الفلكية هي ما يأتي:

## Photometric Studies

## ١-٥-١ الدراسات الفوتومترية

في الدراسات الفوتومترية يتم تسجيل الإشعاع المستلم من النجوم بعد تجميعه باستعمال المرقاب الفلكي من خلال منظومات المرشحات الضوئية أو أجهزة ذات تقنيات مختلفة للمديات الأخرى. تكون الدراسات الفوتومترية أكثر فعالية في حالة ازدواجية النجوم ؛ أي إن تكون ثنائيات كسوفية ، ومن خلال المنحنى الضوئي الذي يعطي الكثير من المعلومات عن العناصر الفيزيائية والهندسية للنظام ، حيث يوضح الجدول (١-١) بعض العناصر المستخلصة من الدراسات الفوتومترية للأنظمة الكسوفية والدراسات الأخرى للأنظمة الثنائية.

ومن أهم العناصر في الدراسات الفوتومترية للأنظمة الكسوفية هي زاوية الميل (i) (Inclination Angle) وهي (الزاوية المحصورة بين العمود على مستوي الدوران مع خط الإبصار) ، وعممة الطرف (u) (Limb Darking) الذي يعني أن شدة الإضاءة في مركز النجم عالية، أكثر منها للإضاءة عند الطرف ، كذلك يمدنا المنحنى للمنظومة الثنائية بأقطار النجوم النسبية (r) والنورانية النسبية ( $\ell$ ) (Orbital Period) (P) وزمن الدورة (Al-Sadouny, ١٩٩٨) وغيرها من المتغيرات الفيزيائية والهندسية التي يصل عددها إلى (٣٥) معاملاً كما هو موضح في (Wilson, ١٩٧١; ١٩٩٠; ١٩٩٣).

الجدول (١-١) بعض العناصر الرئيسية التي يتم الحصول عليها من الانظمة الثنائية في

الدراسات الفوتومترية والطيفية (Batten, ١٩٧٣).

| العناصر  | الثنائيات الكسوفية في الدراسات الفوتومترية | الثنائيات الطيفية في الدراسات الطيفية                      |                   |
|----------|--|--|-------------------|
|          |  | وجود طيف   | وجود طيفين        |
| P        | /  | /  | /                 |
| A        | No   | $a_1 \sin i$   | $a \sin i$        |
| e        | /  | /  | /                 |
| $\omega$ | /  | /  | /                 |
| T        | /  | /  | /                 |
| i        | /  | No   | No                |
| $M_1$    | No   | $f_{(m)}$  | $M_1 \sin^3 i$    |
| $M_2$    | No   |  | $M_2 \sin^3 \ell$ |
| $R_1$    | $r_1 = (R_1/A)$                            | من الممكن تقدير القيمة من معرفة المرتبة الطيفية والنورانية |                   |
| $R_2$    | $r_2 = (R_2/A)$                            |  |                   |
| $\ell_1$ | /  | من الممكن تقديرها من معرفة المرتبة الطيفية                 |                   |
| $\ell_2$ | /  |  |                   |
| $u_1$    | /  | No   | No                |

|                 |                          |    |    |
|-----------------|--------------------------|----|----|
| $u_2$           | /                        | No | No |
| المرتبة الطيفية | بتوفر العديد من المرشحات | /  | /  |

الرقمان (٢٠١) يشيران إلى النجمين الأول والثاني على التوالي.

|           |   |
|-----------|---|
| $f_{(m)}$ | دالة الكتلة   |
| $M$       | الكتلة للنجم.   |
| $A$       | المسافة الفاصلة بين مركزي النجمين .   |
| $T$       | زمن لحظة اقتراب النجم الأول من الثاني في أقرب مسافة بينهما.   |
| $\omega$  | تمثل الزاوية الواقعة بين نقطة تقاطع المدار مع المستوي الماس إلى القبة الفلكية إلى المحور الكبير في المدار البيضي. |
| $e$       | شدوذ المدار عن الشكل الدائري.   |
| $a$       | نصف القطر للمدار الرئيسي .  |

## Spectroscopic Studies

### ١-٥-٢ الدراسات الطيفية

يتم في هذه الدراسة تسجيل الطيف ضمن مديات معينة تختلف فيها التقنيات المستعملة للكشف والتسجيل حسب موقع المدى من الطيف الكهرومغناطيسي ؛ كما أن الدراسات الطيفية تشغل حيزاً مهماً بين الدراسات الفلكية لكثرة ما توفره من معلومات عن النجوم. والثنائيات الطيفية هي أنظمة تظهر كأنها مفردة إذ أن مركبتي هذا النظام لا يمكن أن نلاحظها بالعين المجردة أو بوساطة أقوى المراقب الفلكية ، ولكن من الممكن ملاحظة خطوط طيف الذرات في النجوم للمنظومة التي تبين ثنائيتها ، ومن الممكن ملاحظة امتلاكها (أي الأنظمة الثنائية) على نجمتين من ازدواج خطوط الطيف. إن إزاحة دوبلر لخطوط الطيف هي خاصية مباشرة لقياس السرعة نصف القطرية (Radial Velocity) (Murad, ٢٠٠٥). ولكي تتوفر بيانات رصدية مناسبة في الثنائي يجب أن يمتلك الطيف الحد الأدنى من قوة الوضوح والتمييز لخطوط الطيف (Hiltner, ١٩٧٧).

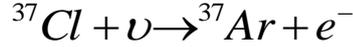
في الدراسة الطيفية للثنائي الطيفي من الممكن تحديد كتلة كل من المركبتين، وهذا مقرون بملاحظة طيف النجمتين. ففي حالة ملاحظة طيف نجمة واحدة والنجمة الثانية خافته لا يمكن تمييزها ، فإن الدراسات الطيفية سوف تعطي معلومات عن زمن الدورة المدارية (Orbital Period) (p) ، والسرعة نصف القطرية ( $K_1$ ) ، ونصف القطر للمدار الرئيسي ( $a_1$ ) إلى إحدى مركبات النظام ، وكذلك تعطي دالة الكتلة  $f_{(m)}$  التي تساوي:

$$f_{(m)} = \frac{M^3 \sin^3 i}{(M_1 + M_2)^2} = 1.0385 \times 10^{-7} (1 - e^2)^{3/2} K^3 PM_{\odot} \quad \dots\dots(1-1)$$

ومن الممكن في الدراسة الطيفية للثنائي ملاحظة شدوذ المدار عن الشكل الدائري (e) (Eccentricity) ، من خلال ملاحظة التغيير الحاصل في شكل الموجة الجيبية التي تمثل السرعة نصف القطرية مع الزمن ، فكلما زاد شدوذ المدار، زاد التغيير في شكل الموجة الجيبية (Karttunen et al., ١٩٩٦).

كما توفر الدراسات الطيفية للنجوم معرفة الخواص الكيميائية كالتركيب الكيميائي (Chemical Structure) عن طريق المقارنة ضمن مدى أطوال موجية معينة ، ووفرة العناصر في النجم (Elements Abundanc) ، درجة الحرارة للنجم (Stellar Temperature) ، المرتبة الطيفية للنجم (Spectral Type) ، سرعة الدوران المحوري (Rotational Velocity) ، وللمزيد من المعلومات مراجعة (Al-Sadouny, ١٩٩٨; Al-Uqaily, ١٩٩٧).

مع تطور التقنيات الفلكية تطورت كذلك الدراسات الفلكية ومواضيعها ، ومن الدراسات الفلكية الأخرى التي نشطت دراستها في السنين السابقة هي دراسة النيوتريو المنطلق من التفاعل النووي المتسلسل الحاصل في النجوم ، وهي توفر معلومات عن حجم الطاقة الناتجة في النجوم ، ومن الطرائق الأولى كانت طريقة الإشعاع الكيميائي (Radio Chemical) ، فعندما يسقط النيوتريو على ذرة كلور (Chlorium) فإنه يتحول إلى أركون (Argon) ويطلق الكترون.



وذرة الاركون هي مشعة وبهذه الطريقة من الممكن الكشف عن النيوتريو ، وهذه الكواشف يجب أن توجد في باطن الأرض ؛ لكي تكون محمية من الإشعاع الثانوي المتكون من الأشعة الكونية (Cosmic rays).

أما عملية دراسة الأشعة الكونية فيجب أن تحصل فقط خارج الغلاف الجوي بواسطة الأقمار الصناعية ، فعند سقوط الأشعة الكونية على الغلاف الجوي الأرضي فإنها تطلق الأشعة الكونية الثانوية ، وهي التي يتم رصدها من الأرض. أن عملية دراسة الأشعة الكونية تعطينا معلومات عن مصدر الطاقة الهائل لهذه الأشعة مثل المستعرات العظمى.

ومن الدراسات الأخرى هي دراسة الأشعة الجذبية ؛ وهي أشعة تطلق من التعجيل الكتلي للأجسام مثلها مثل الأشعة الكهرومغناطيسية التي تنطلق من تعجيل الأجسام المشحونة.

من أولى المعادلات للكشف عن الموجات الجذبية كانت عن طريق نموذج القضيب الهوائي المصنوع من الألمنيوم الذي يبدأ بالتذبذب عند طول موجي مناسب ، فعندما يتعرض القضيب إلى نبضة جذبية يتغير طول القضيب حوالي ( $10^{-7}\text{m}$ ) ويتم دراسة التغيير في الطول بواسطة مجسات خاصة توضع على أطراف القضيب.

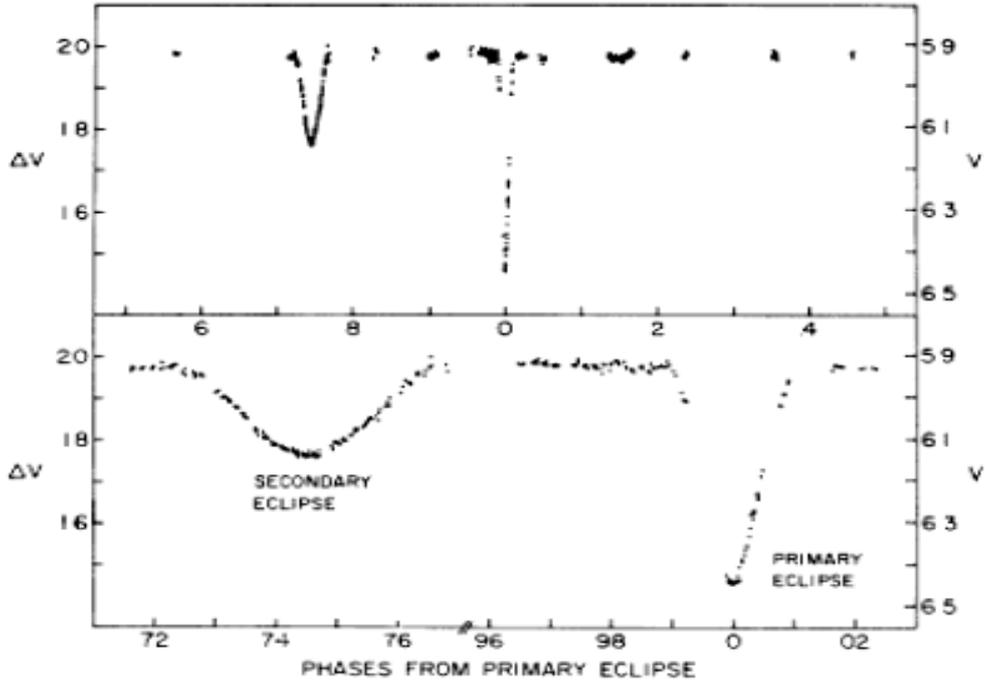
ومن الدراسات الأخرى الدراسات البصرية التي تعد من أقدم المصادر للمعلومات الفلكية ؛ فهي توفر الكثير من المعلومات عن طريق التلسكوبات الضخمة ، وتوفر معلومات عن كواكب المجموعة الشمسية ، والقمر ، والشمس ، والثنائيات البصرية ، والنجوم المرئية (Karttunen et al., 1996).

## ١-٦ الدلائل الرصدية للأنظمة الثلاثية

### Observational Indicators of Triple Systems

يمكن تمييز الأنظمة الثلاثية التي لا يزيد بعدها على ١٠٠ فرسخ فلكي بالتلسكوب ، أو التصوير الفوتوغرافي ، أو حتى بالعين المجردة ، في حين يستعمل الأرصاد الطيفي للكشف عن الأنظمة الثلاثية التي تصل مسافتها إلى ألف أو ألفين فرسخ فلكي . وهنا تجب ملاحظة أن الأنظمة الثلاثية تكون ثلاثة خطوط طيفية للعنصر الواحد ، اعتماداً على ظاهرة دوبلر .

أما الأنظمة التي يزيد بعدها عن ذلك فإن كشفها لا يتم إلا إذا حصل كسوف في ذلك النظام ، فيحصل تغيير في شدة النورانية للنظام بصورة دورية ، ويكون المنحني الضوئي شبيه بالمنحني الضوئي للثنائي الكسوفي ، ولكن يتميز بكون التقعر الكسوفي الثانوي مزاح عن الطور (٠.٥) كما في الشكل (٨-١) ، وذلك نتيجة لتأثير النجم الثالث ، الذي لا يدخل في الكسوف بشكل مباشر. وتم عد التغيير الحاصل في المنحني الضوئي للنظام (W-Serp.) ، مسبباً عن وجود ثلاث نجوم (A,B,C) ، تدور في مدار على شكل ( $\infty$ ) ، وهذه النجوم تسبب حصول ستة كسوفات وكما هو مبين في الشكل (٧-١).



شكل (٨-١) المنحنى الضوئي للنظام (HR ٧٤٨٤), (Snowden and Koch, ١٩٦٩).

## Literature Survey

## ٧-١ دراسات سابقة

يعد نظام (W-Serpentis) أحد أكثر الأنظمة غريبة في التصرف من حيث المنحنى الضوئي الخاص بالنظام .

تم اكتشاف النظام (W-Serp.) من العالمة (Cannon, ١٩٠٧) عن طريق دراسة فوتوغرافية استمرت من عام (١٨٨٨) إلى عام (١٩٠٦) ، إذ تم إدراج النظام في سجلات جامعة هارفرد تحت رقم (٢٩٠٩). وقد شملت تلك الدراسة (٣٦٦) لوحاً فوتوغرافياً، بينت أن أعظم قدر ضوئي للنظام هو (8.<sup>m</sup>5) وأخفت قدر ضوئي هو (10.<sup>m</sup>0) ، وتم إدراج النظام على أنه من طائفة الغول (Algol) ذي دورة مدارية (p) مقدارها (١٤.<sup>d</sup>١٥) ، وتعد هذه الدراسة أولية غير كافية لتحديد صفات هذا النظام.

بين زينر (Zinner, ١٩١٢) عن طريق دراسة بصرية أن النظام من نوع زينا الجوزاء (Geminorum - G) ، وبين أن النظام يمتلك شدة متغيرة في منطقة خارج الكسوف الابتدائي ، وأن الكسوف الابتدائي يكون ذا تقعر حاد.

ومن دراسة طيفية من العالم (Joy, ١٩٢٧) في جبل ولسن (Mount Wilson) أوضح أن إحدى مركبات النظام عبارة عن عملاق (giant) ذي مرتبة طيفية متغيرة ما بين (G<sub>١</sub>-G<sub>٢</sub>) وللنظام شذوذ (e) (Eccentricity) قليل ، وسرعته نصف القطرية في لحظة الكسوف الابتدائي هي (٢٤ km/s) - .

وفي دراسة قام بها العالم (Zessewitsch, ١٩٢٨) بين أن النظام هو كسوفي ، ولكن ذو دورة مدارية (p) مقدارها (٢٨.<sup>d</sup>٣٠٧٢). ومن اعتماد زمن هذه الدورة عد العالم (McLaughlin, ١٩٢٩) أن النظام من نوع بيتا-القيثارة (β-Lyrae) ، أو حالة وسطية ما بين نوع الغول (Algol) وبيتا-القيثارة (β-Lyrae) . إن أول عملية رصد فوتومترية قد تم نشرها للنظام من كل من (Gaposchkin, ١٩٣٧; O'Connell, ١٩٣٧) بشكل منفرد. كما تم إدراج الدورة المدارية (٢٨.<sup>d</sup>٣٠٧٢) في الأطالس الفلكية (Astronomic Catalogues) في السنة نفسها.

وفي دراسة طيفية أخرى للنظام من كل من (Baure, ١٩٤٥; Sahade & Struve, ١٩٥٧; Hack, ١٩٦٣; Plavec & Koch, ١٩٧٨) أوضحوا أن المظهر العام للنظام هو عبارة عن طيف للقشرة (Shell) ، وهو غلاف يحيط بمركبتي النظام. وفي صيف عام (Lynds, ١٩٥٧) ومن خلال دراسة فوتومترية وبالاعتماد على التوقيت

$$\text{Primary minimum} = \text{JD } ٢٤٣٥٦٢٩.٦٠ + ١٤.<sup>d</sup>١٥٦٦٧E$$

التي شملت (٢٨) يوماً رصدياً، لوحظ أن المنحني الضوئي للنظام يتمتع بتصرف غريب في منطقة خارج الكسوف الابتدائي ، إذ يمتلك تقعرين ثانويين ، كما تمت ملاحظة حصول تغير في المنحني الضوئي لكل دورة مدارية (p) خلال فترة الرصد. كما أستنتج من عملية المقارنة للنورانية مع غيره من النجوم القياسية أنه يقع فوق منطقة التابع الرئيسة على مخطط (H-R) ، وأن المسافة الفاصلة بين مركز مجرتنا والنظام هي حوالي (٨٣) فرسخاً فلكياً. وفي العام نفسه قام العالم ( Fresa, ١٩٥٧ ) برصد النظام ، واعتمد مدة الدورة (p) مساوية الى (٢٨<sup>d</sup>.٣١٤٥٢) وعالج نقاط الرصد حسب العناصر الضوئية (Struve, ١٩٥٣):

$$\text{Primary minimum} = \text{JD } 2426639.4 + 28^{\text{d}}.31452E$$

شملت هذه الدراسة فترة زمنية مقدارها (١٣٠) يوماً رصدياً ضمن المنطقة المرئية (V) ، تم الخروج منها بمنحني ضوئي متكامل للنظام . قام العالم (McLaughlin, ١٩٦١) ، باعتماد كل من الدوريتين المداريتين (١٤<sup>d</sup>.١٥٦٦٧) و (٢٨<sup>d</sup>.٣١٤٥٢) لكي يخرج بمنحني ضوئي لكل منها اعتماداً على الرصد المتوفر من (O'Connell, ١٩٣٧; Gaposhkin, ١٩٣٧).

ومن خلال مختلف الدراسات تم طرح فكرة لكون النظام عبارة عن نجم حار يقوم بقذف المادة على النجم الثاني، وهذا أدى إلى تكون قرص غير شفاف يحيط بالنجم الثاني وأعطى هذا النموذج تفسيراً للنشاط الغريب للنظام في منطقة خارج الكسوف. ومن هذا النموذج بالذات تم إطلاق نوع جديد من التصنيف للمنحنيات الضوئية يتمتع بالمنحني الضوئي للنظام نفسه (W-Serp.) يطلق عليه نوع دبليو-الحية (W-Serpentis type) ويضم هذا النوع كلاً من الأنظمة (RW Per. ،RX Cas. ،SX Cas. ،V٣٦٧ Cyg.). كما شملت الدراسات بناء برمجيات تقوم على هيكلية تكون القرص حول النجم الثاني عن طريق تدفق الفيض من النجم الحار (Plavec, ١٩٨٠; Young and Sngder, ١٩٨٢; Barba, ١٩٩٣; Weiland et al., ١٩٩٥; Neal and Rafert, ١٩٩٦).

كما بين نموذج رياضي تم أعداده من (Edgeworth, ٢٠٠١)، إن النظام ما هو إلا ثلاثة نجوم تدور في مدار على شكل (∞) المفتوح من المنتصف ، وشملت هذه الدراسة

الدورة المدارية (٢٨.٣١٤٥٢) يوماً ، إذ تم تفسير التقعرات في المنحني الضوئي لحصول عمليات كسوف بين النجوم الثلاث بشكل دوري كما في الشكل (٦-١). وفي دراسة فوتومترية حديثة عام (٢٠٠٥) (Piirola et al., ٢٠٠٥) من مجموعة من الباحثين ، أشاروا إلى أن النظام لا يمتلك قرصاً يحيط بالمركبة الثانية ، ولكن التغير الحاصل في المنحني الضوئي ناتج عن وجود بقع شمسية (Sun Spots) أو نافورات (Jet) قاذفة للفيض ، هي المسبب الرئيس للتغير في الشدة للمنطقة خارج الكسوف. أن الشيء المشترك في جميع الدراسات السابقة وحتى يومنا هذا والمتعلقة بالنظام (W-Serp.) هو تمتعه بغرابة لا مثيل لها في الأنظمة الثنائية أو المتعددة.

## Aim of the Project

## ٨-١ الهدف من البحث

يهدف البحث إلى التحقق من طبيعة التغير الضوئي للنظام (W Serp.) على ضوء الدراسات السابقة التي عدت الحركة المدارية لنجومه ممثلة بمسار على شكل (∞) المفتوح والذي يفترض حدوث سنة كسوفات متتابعة ضمن الدورة المدارية الواحدة خلال مدة الدور (٢٨.٣١٤٥٢). كذلك يهدف البحث إلى تحليل المنحني الضوئي المتوفر لتعيين العناصر الهندسية والفيزيائية للنظام على انه ثنائي كسوفي يكتنفه نشاط غير اعتيادي.

# الفصل الثاني

الجزء النظري والبرمجيات

## الفصل الثاني

### الجزء النظري والبرمجيات

#### ١-٢ تطور تحليل المنحنيات الضوئية

### Evolution of Light Curves Analysis

يهدف تحليل المنحنيات الضوئية المتوفرة عن الرصد الفلكي إلى بناء نماذج رياضية لحساب المنحنيات الضوئية النظرية ، ومطابقتها مع المنحنيات الرصدية لتعيين العوامل الفيزيائية والهندسية للأنظمة الكسوفية. فقد كانت أول محاولة لتحليل منحنى ضوئي من (Pickering, 1880) ، وذلك عندما وضع نموذجاً هندسياً بسيطاً لحساب عناصر ثنائي الغول، بعد ذلك وضع (Russel and Shapley, 1912)، طريقة بسيطة لحساب عناصر الثنائيات الكسوفية.

طور كوبال (Kopal, 1941) طريقة (Russel)، للحصول على العوامل الفيزيائية والهندسية للنظام الكسوفي ، وتوجت هذه الجهود باستحداث طريقة تحليل تعتمد على تحويلات فورير في مجال التردد (Frequency Domain)، ظهرت على شكل مجموعة من الأبحاث لكوبال وآخرين أهمها الأتي:

(Kopal, 1946; 1948; Piotrowski, 1947; 1948; Kopal, 1970a,b,c,d,e; Kopal, 1977a,b,c; 1978a,b; Kopal & Demircan, 1978; Kopal, 1979,b; Kopal et al., 1976; Smith, 1976; Demircan, 1978; Kopal, 1986).

من خلال طريقة مجال التردد يمكن حساب أنصاف الأقطار النسبية  $(r_1, r_2)$  ، للنجم الكاسف والمكسوف ، النورانية النسبية  $(l_1, l_2)$  ، وزاوية الميل  $(i)$  ، لنظام لم يسبق أن استخرجت له هذه العوامل.

ويمكن أن تعمل هذه الطريقة على تحليل جزء من المنحنى الضوئي لمنطقة الكسوف الابتدائي أو الثانوي ، كل منطقة بشكل مستقل عن الأخرى من دون الحاجة إلى استعمال جميع نقاط المنحنى الضوئي.

وبعد (Kopal, 1982, a, b) وحتى الوقت الحالي ، وبسبب تطور الحاسبات وسرعة تحليل البيانات ، تم بناء برمجيات متطورة ، منها برنامج (Wilson and Devinney) الذي عد من أضخم البرامج التحليلية للمنحنيات الضوئية، إذ يحتوي على (٦٨) برنامجاً فرعياً ضمن البرنامج الرئيسي، ويقوم بإعطاء (٣٥) عاملاً فيزيائياً وهندسياً وهو موجود ضمن نسخة حديثة تم إعدادها من (Van Hamme and Wilson, 2003).

وتم إعداد نسخة حديثة عام (٢٠٠٢) عن برنامج (Prameter 16) ، الذي أنشئ من (Budding and Zelik, 1988; Budding, 1977; Budding, 1974) ، والذي يعمل على حساب العناصر الفيزيائية والهندسية كذلك مواقع وحجم البقع الشمسية لمركبات النظام الكسوفي. ويعتمد تحليل هذه البرمجيات على توفر معاملات فيزيائية وهندسية أولية كذلك يجب أن يتوفر منحنى ضوئي متكامل، يحتوي على نقاط الكسوف الابتدائي والثانوي ومنطقة خارج الكسوفين.

ونظراً لعدم توفر معاملات فيزيائية وهندسية أولية للنظام الكسوفي (W-Serp.)، ولحاجتنا إلى تحليل كل كسوف في نموذج  $(\infty)$  بشكل منفرد من دون نقاط بقية المنحنى الضوئي، تم اعتماد طريقة كوبال التي تستند على تحويلات فورير في مجال التردد لتحليل التقعرات الكسوفية قيد الدراسة للنظام (W-Serp.).

كما تم اعتماد برنامج (Jabbar, 1983) لاحقاً ، لتحليل المنحنى الضوئي للنظام على اعتبار حالته كثنائي كسوفي باستعمال المنحنى الضوئي نفسه ذي الدورة المدارية (٢٨<sup>d</sup>.٣١٤٥٢).

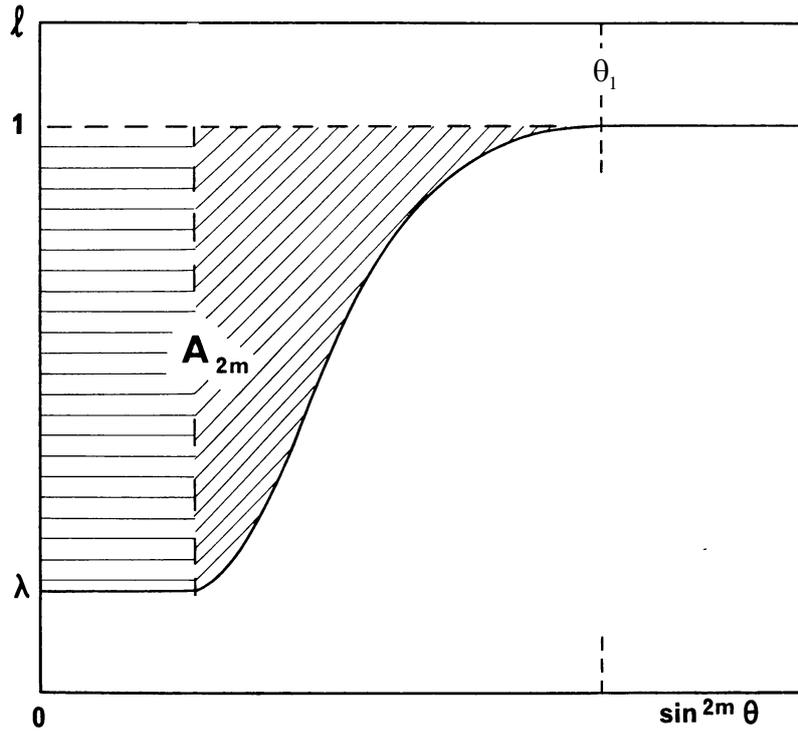
#### ٢-٢ علاقة المساحات اللحظية للمنحنى الضوئي ومعاملات فورير

### The Relations of the Light Curve Moments and Fourier Coefficients

إن الغرض من تحليل المنحنى الضوئي الكسوفي كما هو موضح سابقاً، إيجاد أنصاف الأقطار النسبية  $(r_2, r_1)$  ، والنورانية النسبية  $(\ell_1, \ell_2)$  ، واستخراج زاوية الميل  $(i)$  ، ولتحقيق هذا الغرض قام كوبال (Kopal, 1975a) بحساب ما يعرف بالمساحات اللحظية  $(A_{2m})$  للمنحنى الضوئي، ووضع المعادلات الرياضية التي تربط بين هذه المساحات والعناصر الهندسية والفيزيائية أفة الذكر.

يوضح الشكل (١-٢) ، المساحات اللحظية المحصورة بين المنحنى الضوئي والمحور الصادي والمستقيم الأفقي حيث  $\ell = 1$  ، التي تعطى بالمعادلة: (Kopal, 1982a)

$$A_{2m} = \int_0^{\theta_1} (1 - \ell) d(\sin^{2m} \theta) \quad \dots\dots\dots (٢-١)$$



شكل (١-٢) المساحات اللحظية للمنحنى الضوئي (Kopal, ١٩٧٥a).

إذ أن

$\theta_1$  زاوية الطور للتماس الأولي (First Contact Angel).

$\theta$  زاوية الطور المناظرة لكل قيمة من قيم النورانية.

$l$  النورانية النسبية (للتثاني الداخل في الكسوف).

$m$  ثابت صحيح موجب ( $m = 0, 1, 2, 3, \dots$ ).

وللوصول إلى المساحات اللحظية يستعان بمعاملات فوريير ( $a_n$ ) حسب العلاقة (Kopal, ١٩٨٢a).

$$1 - \Delta u - l = \frac{1}{2} a_0 + \sum_{n=1}^N a_n \cos(n\pi\theta / C) \quad \dots\dots\dots (٢-٢)$$

إذ

$\Delta u$  مقدار الخطأ الرصدي في قيمة النورانية (اهملت قيمتها في هذه المرحلة لصغرها).

$a_n$  معاملات فوريير.

$C$  ثابت قيمته مساوية إلى زاوية التماس الأولي .

$N$  عدد التوافقيات بعد الحد الأول في متسلسلة فوريير.

ويتم استخراج قيم المعاملات بتطبيق طريقة المربعات الدنيا (Least Squares Fitting)، على نقاط الأرصاد للتقعر قيد التحليل (Whittaker and Robinson, ١٩٤٤)، فعند كتابة المعادلة (٢-٢) إلى  $(N+1)$  من الحدود وإهمال قيمة  $\Delta u$ ، يمكن كتابة المعادلة (٢-٢) بشكل مختصر لتصبح :

$$g = \sum_{n=0}^N f_n S_n \quad \dots\dots\dots (٢-٣)$$

إذ أن

$$f_n = \begin{cases} \frac{1}{2} & \text{when } n = 0, \\ \cos\left(\frac{n\pi\theta}{\theta_1}\right) & \text{when } n > 0 \end{cases}$$

و

$$S_n = a_n$$

$$g = 1 - \ell(\theta_m)$$

وبتوفير قيم رصدية للنورانية  $\ell(\theta_m)$  ذات عدد  $m$  نقطة، إذ  $(m = 1, 2, 3, \dots, n)$ ، مرصودة في زاوية طور  $(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_m)$ ، وبمساعدة مجموعة من المعادلات تمتلك الصيغة نفسها للمعادلة (٢-٣) يكون:

$$R_{1,j} a_1 + R_{2,j} a_2 + R_{3,j} a_3 + \dots + R_{N+1,j} a_N + R_{N+2,j} = 0 \dots \dots \dots (٢-٤)$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, N+1$$

إذ

كذلك

$$R_{1,1} = \frac{1}{4} m \dots \dots \dots (٢-٥)$$

$$R_{i,1} = \frac{1}{2} \sum_{m=1}^m \cos((i-1)\pi\theta_m / \theta_1) \dots \dots \dots (٢-٦)$$

$$i = 2, 3, 4, \dots, N+1$$

$$R_{i,j} = \sum_{m=1}^m \cos((i-1)\pi\theta_m / \theta_1) + \cos((j-1)\pi\theta_m / \theta_1) \dots \dots \dots (٢-٧)$$

$$i = 2, 3, 4, \dots, N+1$$

$$j = 2, 3, 4, \dots, N+1$$

$$R_{N+2,1} = \frac{1}{2} \sum_{m=1}^m (1 - \ell(\theta_m)) \dots \dots \dots (٢-٨)$$

$$R_{N+2,j} = \frac{1}{2} \sum_{m=1}^m (1 - \ell(\theta_m)) (\cos(j-1)\pi\theta_m / \theta_1) \dots \dots \dots (٢-٩)$$

$$j = 2, 3, 4, \dots, N+1$$

فنتمكن من الحصول على المصفوفة  $\{R_{ij}\}$ ، المتناظرة حول محور القطر الرئيسي  $(R_{ij} = R_{ji})$ .

وبعد الحصول على قيم هذه المصفوفة من المعادلات (٢-٥) إلى (٢-٩)، يمكن إيجاد حل عام للمعادلة (٢-٤) للحصول على معاملات فوريير من خلال خطوتين تشمل:

الأولى: تكوين مصفوفة مساعدة  $\{r_{ij}\}$ ، التي تمثل مربع الجذر للمصفوفة  $\{R_{ij}\}$ ، وهي هنا تمتلك الصيغة:

$$r_{11} \quad r_{21} \quad r_{31} \quad r_{41} \quad \dots \quad r_{N+2,1}$$

$$\begin{array}{ccccccc}
r_{22} & r_{32} & r_{42} & \dots & r_{N+2,2} \\
& r_{33} & r_{43} & \dots & r_{N+2,3} \\
& & r_{44} & \dots & r_{N+2,4} \\
& & & & \vdots \\
& & & & r_{N+2,N+2}
\end{array}$$

ومن الممكن إيجاد قيم المصفوفة السابقة بتطبيق كلاً من المعادلات الآتية (Kopal, 1982a):

$$r_{i,1} = \sqrt{R_{i,1}} \quad \dots \dots \dots (2-10) \quad .1$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, N+2$$

2. كما تأخذ الصفوف ( $i > 1$ ) في المصفوفة  $\{r_{ij}\}$ ، والواقعة ضمن ( $i > j$ )، قيمتها من المعادلات

$$r_{i,2} = (R_{i,2} - r_{2,1} r_{i,1}) / r_{2,2} \quad \dots \dots \dots (2-11)$$

$$r_{i,3} = (R_{i,3} - r_{3,2} r_{i,2} - r_{3,1} r_{i,1}) / r_{3,3} \quad \dots \dots \dots (2-12)$$

$$r_{i,4} = (R_{i,4} - r_{4,3} r_{i,3} - r_{4,2} r_{i,2} - r_{4,1} r_{i,1}) / r_{4,4} \quad \dots \dots \dots (2-13)$$

:

الخ

3. أما عناصر المصفوفة  $\{r_{ij}\}$ ، الواقعة ضمن ( $i < j$ )، فتكون قيمتها مساوية للصفر، مما يحول المصفوفة إلى مصفوفة مثلثية.

4. أما العنصر الأخير في المصفوفة ( $r_{N+2, N+2}$ )، فإنه يأخذ القيمة  $(\mp 1)$ ، وهنا تعتمد الإشارة على موقع القيمة ( $R_{N+2, N+2}$ ) في يسار أو يمين المعادلة (2-4).

ثانيه: تكوين المصفوفة  $\{q_{ij}\}$ ، معاكسة للمصفوفة  $\{r_{ij}\}$ ، إذ

$$\begin{array}{ccccccc}
q_{11} & & & & & & \\
q_{12} & q_{22} & & & & & \\
q_{13} & q_{23} & q_{33} & & & & \\
q_{14} & q_{24} & q_{34} & & & & \\
& \vdots & \vdots & \vdots & & & \\
q_{1,N+2} & q_{2,N+2} & \dots & q_{N+2,N+2} & & & 
\end{array}$$

ويتم حساب قيم القطر الرئيسي في المصفوفة  $\{q_{ij}\}$  من

$$q_{i,i} = (r_{i,i})^{-1} \quad \dots \dots \dots (2-14)$$

والقيم أسفل القطر الرئيسي في المصفوفة  $\{q_{ij}\}$ ، ( $i < j$ ) فتحسب من المعادلة

$$r_{ii} q_{i,j} = r_{j,i} q_{i,i} - r_{j,i+1} q_{i,i+1} - r_{j,i+2} q_{i,i+2} - \dots - r_{i,j} q_{i,j-1} \quad \dots \dots \dots (2-15)$$

أما القيم أعلى القطر الرئيسي ( $i > j$ ) فإنها تساوي صفراً.

ومن امتلاك قيم المصفوفة الأخيرة  $\{q_{ij}\}$ ، يمكن حساب قيم معاملات فورير ( $a_n$ )، كذلك الخطأ الرياضي لهذه القيم من المعادلات:

$$a_0 = q_{1,N+2} \mp \left\{ q_{11}^2 + q_{12}^2 + q_{13}^2 + \dots + q_{1,N+1}^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad \dots \dots \dots (2-16)$$

$$a_1 = q_{2,N+2} \bar{r} \in \left\{ q_{22}^2 + q_{23}^2 + q_{24}^2 + \dots + q_{2,N+1}^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (2-17)$$

$$a_2 = q_{3,N+2} \bar{r} \in \left\{ q_{33}^2 + q_{34}^2 + q_{35}^2 + \dots + q_{3,N+1}^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (2-18)$$

$$a_{N-1} = q_{N,N+2} \bar{r} \left\{ q_{N,N}^2 + q_{N,N+1}^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (2-19)$$

$$a_N = q_{N+1,N+2} \bar{r} \in q_{N+1,N+1} \quad \dots\dots\dots (2-20)$$

إذ أن  $\in$  تمثل الخطأ في حساب كل نقطة رصد منفردة، وهي تساوي

$$\in = \left\{ \frac{[(O - C)^2]}{m - N - 1} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (2-21)$$

$m$  : عدد نقاط البيانات الداخلة في البرنامج .

$N$  : عدد التوافقيات في متسلسلة فورير .

(O-C) : الفرق بين القيمة المرصودة والقيمة المحسوبة رياضياً وتحسب من

$$[(O - C)^2] = [gg] - \sum_{j=1}^{N+1} r_{N+2,j}^2 \quad \dots\dots\dots (2-22)$$

[gg] مجموع حاصل ضرب القيمتين إذ:

$$[gg] = \sum_{m=1}^m (1 - \ell(\theta_m))(1 - \ell(\theta_m)) \quad \dots\dots\dots (2-23)$$

والقيمة  $\sum_{j=1}^{N+1} r_{N+2,j}^2$  من الممكن الحصول عليها من المصفوفة المساعدة  $\{r_{ij}\}$ . وبعد تحديد قيم معاملات فورير من المعادلات (2-16) إلى (2-20). تحسب قيم المساحات اللحظية من العلاقات:

$$A_0 = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\in_n}{2} a_n \quad \dots\dots\dots (2-24)$$

$$A_2 = \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ \frac{\in_n}{2} \frac{a_{2n} \sin^2 \theta_1}{1^2 - (n\pi/\theta_1)^2} + \frac{a_{2n+1} \cos^2 \theta_1}{1^2 - ((2n+1)\pi/\theta_1)^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (2-25)$$

$$A_4 = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\in_n}{2} \left\{ \frac{\sin^2 \theta_1}{1^2 - (n\pi/\theta_1)^2} - \frac{\sin^2 2\theta_1}{2^2 - (n\pi/\theta_1)^2} \right\} a_{2n} + \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ \frac{\cos^2 \theta_1}{1^2 - ((2n+1)\pi/2\theta_1)^2} - \frac{\cos^2 2\theta_1}{2^2 - ((2n+1)\pi/2\theta_1)^2} \right\} a_{2n+1} \quad \dots\dots\dots (2-26)$$

$$A_6 = \frac{3}{16} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\epsilon_n}{2} \left\{ \frac{5 \sin^2 \theta_1}{1^2 - (n\pi/\theta_1)^2} - \frac{8 \sin^2 2\theta_1}{2^2 - (n\pi/\theta_1)^2} + \frac{3 \sin^2 3\theta_1}{3^2 - (n\pi/\theta_1)^2} \right\} a_{2n} +$$

$$\frac{3}{16} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ \frac{5 \cos^2 \theta_1}{1^2 - ((2n+1)\pi/2\theta_1)^2} - \frac{8 \cos^2 2\theta_1}{2^2 - ((2n+1)\pi/2\theta_1)^2} + \frac{3 \cos^2 3\theta_1}{3^2 - ((2n+1)\pi/2\theta_1)^2} \right\} a_{2n+1}$$

..... (٢-٢٧)

إذ  $(\epsilon_n)$  ثابت يساوي ١ عندما  $n = ٠$  ويساوي ٢ عندما  $n > ٠$ .

ومن إعادة كتابة المعادلة (٢-٢٤) بالصيغة

$$A_0 = \frac{1}{2} a_0 + a_1 + a_3 + \dots \quad \text{..... (٢-٢٨)}$$

وبما أن

$$\ell_{(0)} = \lambda \quad \text{..... (٢-٢٩)}$$

إذ  $\lambda$  عمق الكسوف عند زاوية الطور  $\theta = 0$ .

وبتعويض قيم المعادلتين (٢-٢٨) و(٢-٢٩) في المعادلة (٢-٢) نحصل على

$$A_0 = 1 - \lambda \quad \text{..... (٢-٣٠)}$$

وبمعرفة المساحات اللحظية يمكن حساب العناصر الفيزيائية والهندسية للنظام الكسوفي من توافر بيانات رصدية للكسوف الابتدائي فقط أو لكلا الكسوفيين.

## ٢-٣ تعيين العناصر الفيزيائية والهندسية باستعمال الكسوف الابتدائي

### Determination of the Physical and Geometrical Elements Using Primary Minimum

بعد حساب المساحات اللحظية  $(A_m)$ ، تأتي مهمة تعيين العناصر الفيزيائية والهندسية، ولأجل ذلك نعود إلى المعادلات التي نشرت لأول مرة من كوبال (Kopal, ١٩٧٧c)، التي تصح لكافة أنواع الكسوف الابتدائي من المنحني الضوئي سواء أكان كلياً (Total) أم جزئياً (Partial) إذ:-

$$A_1 = \ell_1 \alpha_0 \quad \text{..... (٢-٣١)}$$

$$A_2 = \ell_1 (C_3 + (1 - \alpha_0) \cos^2 i) - L_1 \beta_2 \cos^2 i \quad \text{..... (٢-٣٢)}$$

$$A_4 = \ell_1 (C_3^2 + C_2^2 - (1 - \alpha_0) \cos^4 i) - \ell_1 \beta_4 \cos^4 i \quad \text{..... (٢-٣٣)}$$

$$A_6 = \ell_1 (C_3^2 + 3C_2^2 C_3 + C_1 C_2^2 + (1 - \alpha_0) \cot^2 i) - \ell_1 \beta_6 \cos^6 i \quad \text{..... (٢-٣٤)}$$

إذ

$\ell_1$  النورانية النسبية للنجم المكسوف.

$\alpha_0$  الفقدان النسبي لشدة الإضاءة عند الكسوف الأعظم.

متغيرات متواجدة في حدود الاضطراب الفوتومتري  $\beta_6, \beta_4, \beta_2$  التي استبعدت (Photometric Perturbation) التي استبعدت عند حساب المساحات اللحظية لتبسيط عملية الوصول للعناصر الفيزيائية والهندسية.

متغيرات ثانوية تستعمل لتحديد العناصر  $(i, r_2, r_1)$  كما في العلاقات أدناه (Kopal, 1979).

$$C_1 = r_2^2 \csc^2 i \quad \dots\dots\dots (2-35)$$

$$C_2 = r_1 r_2 \csc^2 i \quad \dots\dots\dots (2-36)$$

$$C_3 = r_2^2 \csc^2 i - \cot^2 i \quad \dots\dots\dots (2-37)$$

ومن الممكن حل هذه المعادلات أنياً لنحصل على العناصر الهندسية من العلاقات (Kopal, 1982a).

$$r_1^2 = \frac{C_1^2}{(1-C_3)C_1 + C_2^2} \quad \dots\dots\dots (2-38)$$

$$r_2^2 = \frac{C_2^2}{(1-C_3)C_1 + C_2^2} \quad \dots\dots\dots (2-39)$$

$$\sin^2 i = \frac{C_1}{(1-C_3)C_1 + C_2^2} \quad \dots\dots\dots (2-40)$$

أما فيما يتعلق بحساب العناصر الفيزيائية فتستعمل العلاقات أدناه (Kopal, 1975a).

$$l_2 = \lambda \quad \dots\dots\dots (2-41)$$

إذ  $\lambda$  عمق الكسوف ويساوي النورانية النسبية ( $l_2$ ) للنجم الكاسف.

وبما أن

$$l_1 = 1 - \lambda \quad \dots\dots\dots (2-42)$$

إذن

$$A_0 = l_1 = 1 - l_2 \quad \dots\dots\dots (2-43)$$

ومن ذلك نستطيع حساب قيمة النورانية النسبية للنجم الكاسف والمكسوف ( $l_1, l_2$ ) ، بعد حساب قيم  $C_1$  و  $C_2$  و  $C_3$  من العلاقات (2-32) – (2-34).

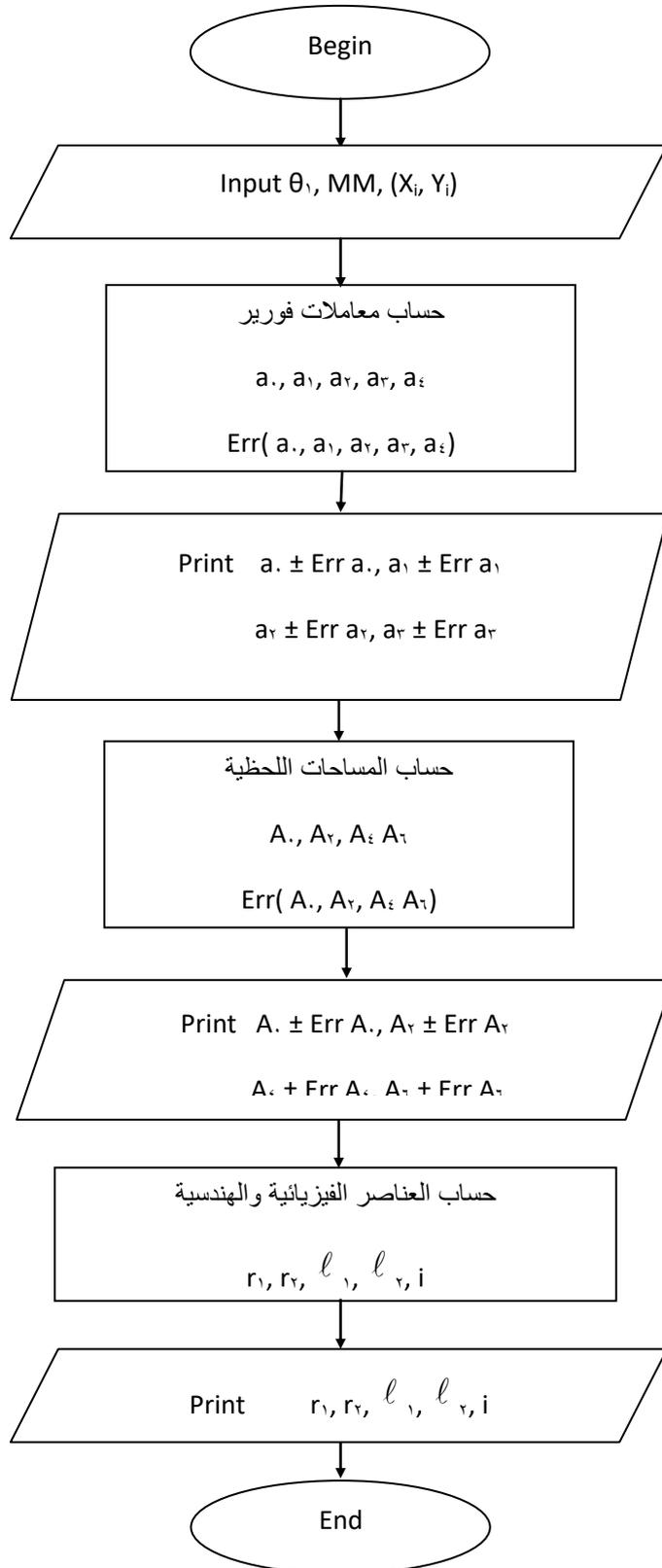
بفرض قيمة  $(\alpha_0 = 1)$  وأن قيم  $\beta_6, \beta_4, \beta_2$  تساوي صفراً ينتج أن:

$$A_2 = A_0 C_3 \quad \dots\dots\dots (2-44)$$

$$A_4 = A_0 (C_3^2 + C_2^2) \quad \dots\dots\dots (2-45)$$

$$A_6 = (C_3^2 + 3C_2^2 C_3 + C_1 C_2^2) \quad \dots\dots\dots (2-46)$$

وباعتماد العلاقات السابقة تم بناء برنامج رياضي باستعمال لغة (Q.Basic)، وحاسبة بنتيوم (Pentium four) IV، كما هو مدرج في الملحق (A) ومخططه الانسيابي المبين في الشكل (2-2)، لحساب العناصر الفيزيائية والهندسية لأي نظام كسوفي.



الشكل (٢-٢) المخطط الانسيابي لبرنامج حساب العناصر الفيزيائية والهندسية.

## ٤-٢ تعيين العناصر الفيزيائية والهندسية باستعمال الكسوف الابتدائي والثانوي

### Determination of the Physical and Geometrical Elements Using Primary and Secondary Minima

يمكن كتابة المعادلات (٢-٣١) إلى (٢-٣٤) بدلالة متغيرات جديدة هي  $(X_C)$  و  $(X_T)$  و  $(Y)$  لنحصل على:

$$X_C = r_2 \csc^2 i \quad \dots\dots\dots (٢-٤٧)$$

$$X_T = r_1 \csc^2 i \quad \dots\dots\dots (٢-٤٨)$$

$$Y = \cot^2 i \quad \dots\dots\dots (٢-٤٩)$$

ففي حالة لكون الكسوف الابتدائي من نوع الاستتار (Occultation Eclipse) ينتج أن (Jabbar, ١٩٨٣)

$$A_{0C} = \ell_C \alpha_{0C} \quad \dots\dots\dots (٢-٥٠)$$

$$A_{2C} = \ell_C (X_C - \alpha_{0C} Y) \quad \dots\dots\dots (٢-٥١)$$

$$A_{4C} = \ell_C (X_C^2 - 2X_C Y + F_2 \chi^2 X_C^2 + \alpha_{0C} Y^2) \quad \dots\dots\dots (٢-٥٢)$$

وفي حالة لكون الكسوف الابتدائي من نوع العبور (Transit Eclipse) فإن

$$A_{0T} = \ell_T \alpha_{0T} \quad \dots\dots\dots (٢-٥٣)$$

$$A_{2T} = \ell_T (X_T - \alpha_{0T} Y) \quad \dots\dots\dots (٢-٥٤)$$

$$A_{4T} = \ell_T \left( X_T^2 - 2X_T Y + \frac{F_2 X_T^2}{\chi^2} + \alpha_{0T} Y^2 \right) \quad \dots\dots\dots (٢-٥٥)$$

إذ أن  $\alpha_{0C}$  و  $\alpha_{0T}$  الفقدان النسبي للنورانية في حالة كسوف الاستتار والعبور على التوالي.

$\ell_T, \ell_C$  النورانية النسبية للنجمين الكاسف والمكسوف.

$F_2$  دالة عتمة الطرف الخطية (Linear limb darkening function) وهي تساوي:

$$F_2 = \frac{15-7u}{5(3-u)} \quad \dots\dots\dots (٢-٥٦)$$

إذ أن  $u$  معامل عتمة الطرف (Limb Darkening Coefficient).

ففي حالة كون الكسوف كلياً تصبح الحسابات بسيطة ( $\alpha_{0C} = 1$ )، وتحسب ( $\ell_C$ ) من (٢-٥٠) و ( $\ell_T$ ) من العلاقة

$$\ell_T = 1 - \ell_C \quad \dots\dots\dots (٢-٥٧)$$

وتستخرج  $\alpha_{0T}$  من (٢-٥٣)، ويتم إيجاد قيم  $(X_C)$  و  $(X_T)$  و  $(Y)$  بحل المعادلات (٢-٥١)، (٢-٥٢)، (٢-٥٤)، (٢-٥٥)

أنياً ومنها تحسب ( $r_1$  و  $r_2$ ). أما إذا كان الكسوف جزئياً فإن العملية تصبح أكثر تعقيداً وتتطلب عمليات تكرارية (Iteration processes)، بإدخال قيمة اختيارية لمعامل الجودة ( $\chi$ ) (في البرنامج يساوي (١)).

ثم تحسب قيم الفقدان النسبي للضوء حسب ما ورد في (Kopal, ١٩٨٢a) إذ:

$$\alpha_{0C} = A_{0C} + A_{0T} / \chi^2 \quad \dots\dots\dots (٢-٥٨)$$

$$\alpha_{0T} = A_{0T} + A_{0C} \times \chi^2 \quad \dots\dots\dots (2-59)$$

وتحسب قيم  $(\ell_c)$  و  $(X_c)$  و  $(Y)$  من المعادلات (2-50) إلى (2-52) وتستخرج قيمة  $\chi$  ( الجديدة من (2-55) بعد حساب  $(\ell_T)$  و  $(X_T)$ ، وتستمر العملية التكرارية إلى أن تصبح القيمة الجديدة لـ  $\chi$  ( عند الإدخال لا تختلف عن القيمة عند الإخراج إلا بمقدار ضئيل، إذ تكون  $\Delta\chi$  ) ، أقل ما يمكن وهي هنا تشير للخطأ الرياضي.

بعدها يتم إيجاد العناصر الهندسية للنظام الكسوفي  $(r_1$  و  $r_2$  و  $i$ ) من المعادلات (2-49)، (2-48)، (2-47).