دراسة تحليلية للمستعرة العظمى(SN 1993J)

آراء مبدر حولي الشيباني
قسم الفيزياء-كلية التربية -جامعة القادسية

الخلاصة:

تم في هذا البحث تحليل المنحني الضوئي لمستعرة عظمى من النوع الثاني والمعروفة بالمستعرة العظمى(SN 1993J) باستخدام نموذج الحل التحليلي، وقد تبين من تقارب النتائج الفوتومترية المرصودة للمستعرة العظمى (SN 1993J) ونتائج الحل التحليلي بان كتلة النجم المولد لهاوالمنفجر بتاريخ (28March1993) هي($10M_O$) وبنصف قطر ابتدائي ($3.88x10^{15}$ cm)وقد قذف مقذوفاته بسرعة(4×10^8 cm/sec) وبكتلة($6M_O$) وطاقة انفجار($1.0x10^{51}$ erg).

Analytical Study
Of Supernova (SN 1993J)

Araa M. H. AL-Shaiban*y*
Dept. of Physics, College of Education, Qadisiya University

Abstract:

In this research the Analytical Solution for Light Curve Of Supernova (SN 1993) of Type II has been analyzed using the Analytical Solution Model.

The obtained results where show a good agreement with observed photometry results of (SN 1993J), and the results of analytical solution, it found to be the mass of progenitor for supernova exploded by date (28March1993) equals (10 MO), its initial radius ($3.88x\ 10^{15}$ cm), its eject velocity ($4x\ 10^8$ cm/sec), its eject mass ($6M_O$) and explosion energy ($1.0x\ 10^{51}$ erg).

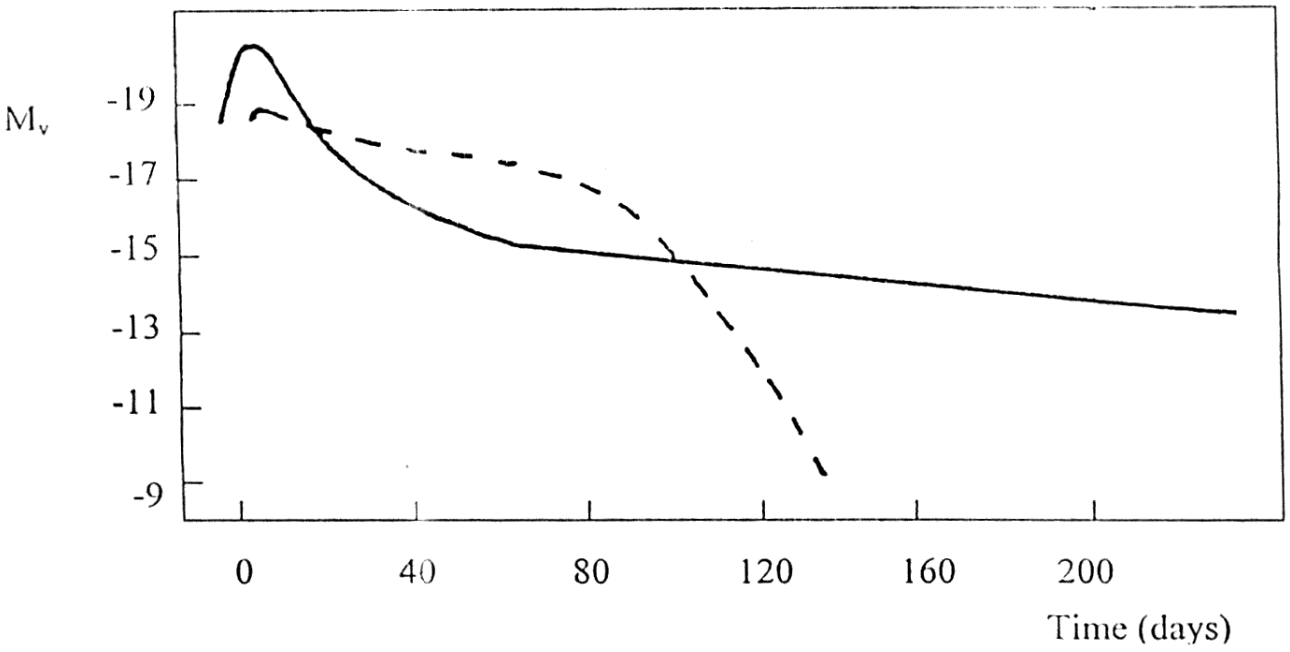
المقدمة:

تتصف نورانية المستعرات العظمى بشدة تألق عالية تجعلها متميزة خلال عدة شهور، وفي هذه الفترة نفسها يتم الحصول على المنحني الضوئي وعلى الصور الطيفية للنجم المنفجر كمستعرة عظمى. حيث يزداد اللمعان أثناء الانفجار ازدياداً سريعاً جداً يصل النهاية العظمى خلال بضعة أيام يعقبه هبوط بطيء نسبياً. ففي النوع الأول من المستعرات العظمى (SN I) ينخفض اللمعان بدون تذبذب ويستغرق ذلك مدة طويلة نسبيا، وبعد سنة من الانفجار ينخفض اللمعان بضع مئات من المرات، وتتشابه إلى درجة كبيرة منحنيات التألق لنجوم هذا النوع كافة، بينما يتميز النوع الثاني (SN II) بالتباين الكبير في منحنيات تألقه، وسرعة هبوط اللمعان بعد مائة يوم تقريبا من النهاية العظمى له.و يوضح الشكل (1) المنحنيات الضوئية لكلا النوعين[1] .

أن المستعرات من النوع الأول والثاني تميزان أيضا من خلال غياب أو ظهور خطوط الهيدروجين في الأطياف البصرية على التوالي ويصنف النوع الأول إلى ثلاثة أصناف بحيث يميز نوع (SN Ib) عن(SN Ic) من خلال وجود خطوط (He I) في

الأطياف البصرية المبكرة للأول[2] ،أما النوع (SN Ia) فهو ينشا من الانفجار النووي الحراري للأنظمة النجمية الثنائية والمولدة لقزم ابيض (White Drawf) في نهاية حياتها كمستعرات عظمى[3] . وان المستعرة العظمى (SN1993J) قيد البحث المكتشفة من قبل (Francisco Garcia,1993) في اسبانيا بالتوقيت الكوني (21.45 UT)بتاريخ (1993 March 28)عن طريق تسجيله صور فوتوغرافية للنجم(KO Super giant) الذي تغيرت إضاءته فجأة للفترة (March 30.89- July30.93 1993) باستخدام تلسكوب(JKT) (Jacobus Kapleyn Telescope)العاكس والذي قطره (1-m) ،حيث أكدت الدراسات البصرية بان المستعرة العظمى (1993J) تقع في المجرة الحلزونية((M81galaxy (NGC 3031) عند المطلع المستقيم(Right Ascension) α (=9^h 55^m 24.785^s) ،والميل δ (Declination) (="69º 01' 13.69"+) وأيضا أكدت بأنها مستعرة عظمى من النوع(Type II) من خلال الكشف المبكر عن وجود خطوط (H) في الأطياف البصرية المتأخرة(Later Spectra) [4] . وكذلك من سلوك المنحني الضوئي لها المتجانس مع بقية المستعرات العظمى من نفس النوع،حيث أكد المنحني الضوئي للأقدار الضوئية بان المستعرة العظمى (1993J) بأنها من النوع الثاني (SN II) [5] . وأيضا ظهور خطوط الهيدروجين في أطيافها في الوقت المبكر للانفجار أكد بأنها من النوع الثاني [6] .اذ تمتاز المنحنيات الضوئية للمستعرات من النوع الثاني بخاصية التسطح الطويل في النورانية خلال الأشهر القليلة الأولى يتبعها انحراف حاد وتذيل شبه أسي في المرحلة الأخيرة،إذ يفسر التسطح الطويل (Long Plateau) بأنه ناتج عن حركة الغلاف الهيدروجيني السميك للنجم المولد والذي صاحبه تأين ابتدائي بسبب الطاقة المعكوسة لموجة الصدمة وأيضا بسبب الانحلال النشط إشعاعيا لمادة النيكل (^{56}Ni).اما التذيل الشبه أسي في المرحلة الأخيرة من المنحني الضوئي يفسر بأنه ناتج عن انحلال النشاط الإشعاعي الناتج من تحويل الكوبلت(^{56}Co) إلى الحديد(^{56}Fe) [7] .

أن وصول النجم المولد للمستعرة العظمى لمراحل تطوره النووي النهائية يقترن باضطراب شديد في حالته الغازية الذي ينتقل على شكل موجة قوية تدعى موجة الصدمة (Shock Wave) التي يرتبط ظهورها بالأنضغاط الفجائي الشديد الذي تعانيه الطبقة الغازية المجاورة لموقع الانفجار. أن عملية تولد الصدمة عملية معقدة جدا تحدث نتيجة تقلص فجائي يحدث للنجم ويحول جزء من طاقته الكامنة إلى طاقة حرارية و إشعاعية، تنتقل الطاقة من باطن النجم إلى الطبقات الخارجية بواسطة هذه الموجة، وتحت تأثيرها تتمزق الطبقات الخارجية للنجم مكونة غلافا يأخذ بالتوسع والانتشار. محرراً طاقة إشعاعية يمكن تعيينها بواسطة منحني التألق، وكذلك الأشعة الضوئية التي يحررها النجم أثناء الانفجار كطاقة كهر ومغناطيسية بأطوال موجية مختلفة وأشعة كونية، وبالإضافة إلى طاقة انحلال النشاط الإشعاعي لكل من النيكل والكوبالت (^{56}Co, ^{56}Ni) والتي امتزجت بالمادة المقذوفة بتأثير انتقال الصدمة داخل النجم [8] .



الشكل (1) يوضح الشكل المنحنيات الضوئية للنوع الأول (SN I) (الخط المتصل) وللنوع الثاني (الخط المنفصل) والمرسومان بين القدر المرئي والزمن[1] .

النظرية:

تتضمن الحلول التحليلية إدخال تأثيرات أنصاف الأقطار الابتدائية للنجوم المولدة للمستعرات العظمى وكذلك مصدر طاقة انحلال النيكل ^{56}Ni، ويتم من خلال أجراء بعض الافتراضات الفيزياوية ووضعها في صياغة رياضية. وتتبين صحة هذه الحلول من خلال حقيقة الافتراضات ومدى قبولها فيزيائيا. وتتمثل بأربع افتراضات[8] :-

1. التمدد المتجانس (Homologous Expansion) :- والذي يشير إلى المسار الطبيعي للصدمة الكروية (A spherical Shock).
2. هيمنة الضغط الإشعاعي (Radiation Pressure Dominate):- أي أن الضغط الإشعاعي للغاز يكون سائد على ضغط الغاز الناتج من كتلته بحكم الجاذبية، وبذلك فأن معادلة الحالة تكون:-

$$E = aT^4V \text{ ---------- } (1)$$

تشير الرموز على التوالي:-

E: (Energy Density) كثافة الطاقة الإشعاعية.

a: (Radiation Constant) ثابت الإشعاع.

T: (Surface of Temperature) درجة حرارة سطح النجم المنفجر.

$$P = \frac{E}{3V} = \frac{aT^4}{3} \text{ ---------- } (2)$$

ويمثل كل من:

P :(Radiation Pressure) الضغط الإشعاعي.

V:(Specific Volume) الحجم المحدد للمادة المقذوفة.

3. ظهور النيكل (^{56}Ni) في المادة المقذوفة من النجم أثناء الانفجار.
4. توزيع كتلة النيكل (^{56}Ni) يتجمع باتجاه مركز المادة المقذوفة.

ولتبسيط الحل تم افتراض أن مصدر الطاقة الوحيد الذي يتعامل معه أسيا هو الطاقة النووية الناشئة من انحلال النشاط الإشعاعي للنيكل (^{56}Ni) (Radioactivity Decay). وأخيراً تم افتراض أن انفجار النجم المولد للمستعرة العظمى يكون متناظر كرويا (spherical symmetry) .ولأجراء الحل نسلك الطرق التالية [8,9] :-

الحالة الحرارية للغلاف المقذوف والمتمدد تتغير مع الزمن وفقا للقانون الأول في الثرموديناميك:-

$$\overset{o}{E} + P\overset{o}{V} = -\frac{\partial}{\partial m}L + \varepsilon \text{ ---------- } (3)$$

$$\frac{L}{4\pi r^2} = -\left(\frac{\lambda c}{3}\right)\frac{\partial}{\partial r}(aT^4) \text{ ---------- } (4)$$

حيث تمثل:-

$\overset{o}{E}$: مشتقة طاقة إشعاع الغاز الحرارية $\overset{o}{E} = 4\,aT^3V\overset{o}{T} + aT^4\overset{o}{V}$.

$\overset{o}{V}$: مشتقة حجم المادة المقذوفة والذي يتناسب مع كثافتها $(V = \frac{1}{\rho})\rho$.

L :(Luminosity) النورانية وتمثل مقدار الطاقة الإشعاعية الكلية المنبعثة من سطح النجم المنفجر.

m : (Mass ejected)كتلة المادة المقذوفة.

ε: طاقة انحلال النشاط الإشعاعي للنيكل($3.78x10^{10}\,erg\,g^{-1}\,sec^{-1}$).

r :نصف القطر للمقذوفات.

λ :(Mean Free Path) معدل المسار الحر للفوتونات $\lambda = \frac{1}{\rho\kappa}$.

k :(Opacity) اللانفاذية أو العتمة.

c :سرعة الضوء.

بعد تعويض ($\overset{o}{E}$) وكل من المعادلات (2) ,(4) في معادلة (3) ينتج:-

$$4T^4\left(\frac{\overset{o}{T}}{T}+\frac{\overset{o}{V}}{3V}\right)=\frac{1}{r^2}.\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{c}{3\rho\kappa}r^2\frac{\partial T^4}{\partial r}\right)+\varepsilon \quad ----------(5)$$

ولإيجاد الحل الدقيق للمعادلة أعلاه، يتم فصل متغيراتها المعتمدة على الفضاء(r)، عن متغيراتها المعتمدة على الزمن(t) ،حتى الحصول على المعادلة التالية:

$$T_e(t)=15{,}493K\left(\frac{M^{\circ}_{Nii}}{M}\right)^{1/2}\left(\frac{10^8 cm/\sec}{\upsilon_{sc}}\right)^{1/4}\left(\frac{\Lambda(x,y)}{x^2y^2}\right)^{1/4} ---(6)$$

إذ تمثل كلا من:

(M^0_{Ni}/Mo): كتلة النيكل نسبة لكتلة الشمس(Solar mass) ،إذ أن كتلة النيكل تحسب من العلاقة $\left(M_{Ni}=0.1*M_t X_{Ni}(0)\right)$ [9] .

M_t:الكتلة الكلية للنجم المولد للانفجار.

$X_{Ni}(0)$: وفرة تواجد النيكل في الكتلة المقذوفة.

υ_{SC} : (Ejects velocity scale) مقياس سرعة المقذوفات.

حيث آن $\Lambda(x,y)$ تمثل :-

$$\Lambda(x,y)=\exp(-x^2)\int_o^x(-2xy+x^2)2xdx \quad ------(7)$$

$$x=t/\tau_m \quad ----------(8)$$

$$y=\tau_m/2\tau_{Ni} \quad ----------(9)$$

حيث ان:

t :الزمن من لحظة الانفجار.

τ_m :(diffusion time scale) مقياس زمن الانتشار والذي يتعين من سلوك المنحني الضوئي للمستعرات العظمى.

τ_{Ni} :(Radioactivity decay time) زمن انحلال النيكل (^{56}Ni)(7.60320 x10^{5}sec) .

وعلى اعتبار النجم المنفجر يبعث إشعاعه كأي جسم اسود فعندئذ نستخدم قانون سيفان –بولتزمان لحساب النورانية الذي ينص على أن مقدار الطاقة المنبعثة من الجسم الأسود في وحدة الزمن تتناسب طرديا مع مربع نصف قطره(مساحة سطحية) والقوة الرابعة لدرجة الحرارة الفعالة وبذلك فإن نورانية السطح للنجم المنفجر(The luminosity at surface) تعطى بالعلاقة :-

$$L(1,t)=4\pi R(t)^2\,\sigma\,\mathrm{T_e(t)}^4 \quad ----------(10)$$

حيث تمثل:

Te (t) : درجة الحرارة الفعالة (Effective temperature) لسطح النجم المنفجر.
σ : ثابت ستيفان –بولتزمان ($5.67x10^{-8}$ Wm^{-2} K^{-4}).
ويمثل R(t) نصف قطر المقذوفات بعد الزمن (t) من الانفجار والذي يكون اكبر بكثير من(0) R الذي يمثل نصف القطر الصفري للنجم المنفجر (نصف القطر الابتدائي للنجم قبل الانفجار).
ويعطى بالمعادلة التالية:-

$$R(t) = R(O) + v_{sc}t \quad \text{---------- (11)}$$

وبذلك تختصر المعادلة (11)الى الشكل التالي:

$$R(t) = v_{sc}t \quad \text{---------- (12)}$$

وتحسب سرعة المقذوفات من العلاقة:

$$v_{sc} = \sqrt{3.3333\frac{E_{SN}}{M_{ej}}} \quad \text{---------- (13)}$$

يلاحظ من المعادلة(6) بأن قيمة درجة الحرارة الفعالة $T_e(t)$ تعتمد على كل من (υ_{sc}) التي بدورها تعتمد على طاقة إنفجار المستعرة العظمى (E_{SN}) والكتلة المقذوفة أثناء الانفجار (M_{ej}) ونصف القطر الابتدائي للنجم قبل الانفجار R(0) عند الزمن t=0 وكتلة النيكل(^{56}Ni)ووفرته التي بدورها تعتمد على الكتلة الكلية للنجم.

النتائج والمناقشة:

كان لحدوث المستعرة العظمى(1987A) في (23 شباط 1987) فرصة ثمينة اختبرت من خلالها التصورات النظرية لأساليب حسابات المنحنيات الضوئية، حيث تحقق للعلماء نجاح كبير في هذا المجال[10] .استخدم لهذا الغرض أسلوبين مختلفين، تمثل الأول بأسلوب التحليل العددي (Numerical Analysis) باستخدام طريقة الفروق المنتهية (Difference method finite) وهي طريقة مطولة في الحل ومعقدة في الوقت نفسه. أما الأسلوب الأخر، فقد تمثل بالحلول التحليلية (Analytical Solutions) التي أثبتت توافق كبير مع نتائج الارصادات. اعتمدت هذه الدراسات على متابعة التغير الزمني للضيائية باستخدام معادلات تفاضلية اعتيادية (Ordinary Differential Equations) (ODE) بدلا من معادلات تفاضلية جزئية (Partial Differential Equations) (PDE).[11,10] .

قد تم تحليل النتائج المرصودة للمستعرة العظمى(SN 1993J) من المراصد العالمية ،وقسم المنحني الضوئي البولومتري للمستعرة العظمى(SN 1993J)إلى أربعة أطوار[4] :-

طور الأيام التسعة الأولى{The First 9days}:- ظهرت النورانية بقمة عظمى وخاصة باليوم الأول (3.4D) ،ومن ثم انحرفت بصورة حادة وأيضا بانخفاض سريع إذ وصلت لأدنى قيمة لها في اليوم التاسع ،تمثل هذه الفترة الزمنية مرحلة انهيار النجم. بينمادرجة الحرارة في الفترة الزمنية [(3.4-9)days]قد انخفضت من ($17000\ ^oK$) إلى ($8100\ ^oK$) .إما الأيام الخمس الأولى فلقد تمددت الفوتوسفير بسرعة حوالي($13x10^8 cm/sec$) وتمددها قد ظهر بارزا في الأيام الأربعة الأولى عند وصول موجة الصدمة(Shock Wave) إلى سطحه. إذن نستنتج إن طور الأيام التسع الأولى يعرف بالطور الابتدائي (initial phase)وهذا يتوافق مع تفسير الطاقة المعكوسة لموجة الصدمة الحاصلة بعد عملية انهيار النجم المولد للمستعرة العظمى.

طور الفترة الزمنية للأيام من (9 إلى21) يوم {Days 9 to 21} :- تزداد قيمة الأقدار والنورانية وتصل إلى قمتها الثانية وهي تمثل مرحلة الانفجار ،بينما درجات الحرارة تبقى ثابتة تقريبا، والفوتوسفير تبدأ بالتمدد مرة أخرى ولكن ألان بسرعة مقدارها($4x10^8$ cm/sec)هذا النمو الثاني بالنورانية خلال هذه الفترة الزمنية يتوافق مع الطاقة الحرارية الهاربة عن طريق الانحلال الإشعاعي للنيكل (^{56}Ni)المتولد إثناء الانفجار والذي بالتالي أنتج انحلال الكوبلت(^{56}Co).

طور الفترة الزمنية للأيام من (21 إلى 50) يوم{Days 21 to 50} :- في بداية هذا الطور النورانية تبدأ بالانحراف ودرجة الحرارة تنخفض بانحدار حاد .وتفسير هذه الظاهرة ناتج عن امتزاج متنامي لمقدمة صدمة الموجة والتي تصل إلى الحدود بين غلاف الهيدروجين والهيليوم .وبالتالي فان الفوتوسفير يتزايد نصف قطرها باتجاه المقذوفات والتي ستصبح فيما بعد بقايا متمددة.

طور ما بعد (50 يوم){After day 50}:-بعد حوالي الخمسين يوم النورانية تأخذ بالتناقص وعند الفترة[(50-125)days] تظهر على المنحني بوادر انحلال أسي ،وذلك لانحلال مادة النيكل والكوبلت الممتزجة بالمادة المقذوفة ،وأيضا درجة الحرارة تنخفض بمعدل ثابت تقريبا عن طريق الطاقة الحارية المفقودة من عملية الانحلال الإشعاعي للنويات النشطة إشعاعيا ،وكذلك استمرار تباعد الفوتوسفير والمتمثلة في هذا الطور بالمقذوفات.

إما نتائجنا الحالية وفقاً لهذا النموذج موضحه في الجدول (1) والذي يشير إلىنتائج المستعرة العظمى(SN1993J) وفقا لنموذج الحل التحليلي للمنحنيات الضوئية للمستعرات العظمى.

جدول رقم (1)
يبين النتائج الحالية للمستعرة العظمى(SN 1993J) وفقا لنموذج الحل التحليلي .

الكمية (Quantity)	النموذج التحليلي(Analytical model)
الكتلة الكلية الافتراضية للنجم المنفجر M_{total}	$10\ M_O$
طاقة الانفجار الافتراضية للمستعرة العظمى $E_{SN}(erg)$	$1.\ 0x\ 10^{51}$
الكتلة المقذوفة M_{ej}	$6\ M_O$
مقياس السرعة $v_{sc}x10^8(cm/\sec)$	$4.0x10^8$
كتلة النيكل ^{56}Ni (M^{56}_{Ni})	$0.1\ M_O$
نصف االقطر الابتدائي $R_o\ (cm)$	$3.88x10^{15}$

تضمنت النتائج الموضحة في الجدول (1) نموذج اعتمد على الكتلة الكلية النجمية (Mtotal) المفترضة للنجم المولد لـ(SN 1993J) التي أشارت الدراسات إلى أن قيمتها بحدود [M_o(10-20)] [5] اعتمدت طاقة انفجار المستعرة العظمى(SN 1993J)بقيمة ($1.0x10^{51}$erg) والكتلة المقذوفة في ($0.6*M_{total}$)، وذلك لان قيم (v_{sc}) المستنتجة وفق هذه النسبة من القذف من العلاقة (9) توافق قيم سرعة (SN1993J) التي حددتها اغلب الارصادات الطيفية بحدود [$(7-10)x10^8$ m/sec] [5] ، كذلك فأن قيم الكتل المقذوفة وفق هذه النسبة تقع ضمن حدود كتل مقذوفات (1993J) والتي تقع قيمها بين(M_O(11-14)][5] .

ان التغير الزمني لكل من درجات الحرارة المؤثرة (T_{eff}) ولوغاريتم النورانية البولومترية للنجم المنفجر كمستعرة عظمى ومقارنتها مع نتائج الارصادات (JKT) [4]
تم عرضها في الاشكال (2,3) .

بما ان وفرة النيكل تعطى بـ $(X_{Ni}(0) \geq 0.1)$ [10] ، تم حساب كتلة النيكل ^{56}Ni (M_{Ni}) باعتماد القيمة ($X_{Ni}(0)=0.1$) ، لأنها أعطت افضل النتائج.

يوضح الشكل(4) وفقاً للنموذج التحليلي للدراسة الحالية بالنسبة للتغير الزمني لـ (T_{eff}) مدى تأثير أنصاف الأقطار الابتدائية (R_o) على قيم التغير الزمني لدرجات الحرارة المؤثرة(T_{eff}) والسبب في انخفاض قيمة الكثافة للمادة النجمية وهذا مما ادى

الى تناقص في (T_{eff})، اذ أن العلاقة بين(T_{eff}, P)علاقة طردية بينما تكون العلاقة بين T_{eff}, R_o ($T_{eff} \alpha \frac{1}{R_o}$) علاقة عكسية، وهذا واضح من العلاقة($T_{eff} \propto 1/\upsilon_{SC}$)، لان زيادة كتلة النيكل تعني زيادة قيمة كثافة المادة النجمية وبالتالي تناقص في نصف قطر النجم المولد للمستعرة العظمى يرافقه زيادة بالضغط الإشعاعي الذي يؤدي زيادته عادة الى تزايد في قيم T_{eff}.

اما فيما يخص نورانية (Luminosity) النجم تحت الدراسة الحاليةالمبينة في الشكل (5) يوضح لنا مدى تأثير أنصاف الأقطار الابتدائية (R_o) على نورانيةالنجم المنفجر كمستعرة عظمى ، اذ يوضح الشكل أن تناقص R_o يترافق مع زيادة قيم نورانية النجم المنفجر المتغيرة مع الزمن،وذلك لانه في انخفاض قيم نصف القطر الابتدائي R_o للنجم المولد للنجم المنفجر يؤدي الى تزايد في الضغط الإشعاعي (P) المولد لموجة الصدمة (Shock wave) التي بدورها تزيد من سرعة الكتلة المقذوفة نتيجة الانفجار.وان حصول زيادة في تسطح المنحني الضوئي للنورانية كلما كبر نصف قطر الانفجار أكد بان الانفجار الذي يعانيه النجم المولد للمستعرة العظمى هو دالة لنصف قطره الابتدائي قبل الانفجار .وان تأثير كتلة النيكل ^{56}Ni (M_{Ni}) الممتزجة مع كتلة المادة المقذوفة اثناء الانفجار التي بزيادتها تزداد نورانية النجم المنفجر وان ظهور الانحلال الاسي لنورانية النجم المنفجر كمستعرة عظمى أكد بأن المادة المقذوفة من النجم أثناء الانفجار قد امتزجت معها كتلة النيكل ^{56}Ni (M_{Ni}) عند انتقال موجة الصدمة (Shock Wave) من مركز النجم المنفجر إلى السطح، وأنها سرعان ما تعاني من انحلال إشعاعي وذلك لأنها نويات نشطة إشعاعيا (Radioactivity) وهذا ما كان دليلاً مباشراً على حدوث عمليات التركيب النووي داخل النجم قبل أن يعاني انفجاراً كمستعرة عظمى (Supernova).

من خلال الحل التحليلي للمنحنيات الضوئية للمستعرة العظمى (SN 1993J) للدراسة الحالية وجد أن افضل نموذج تحليلي حصل فيه تطابق بين قيم المنحني الضوئي المرصود ونتائج الحل التحليلي هو عندما تكون كتلة النجم الكلية المفترضة(M_{total} =10M_O)وبنصف قطر ابتدائي مقدر بـ (R_o=3.88x10^{15}cm) وبكتلة نيكل ^{56}Ni (0.1 M_O) ممتزجة ضمن كتلة المادة المقذوفة (6M_O) وبسرعة قياسية $(4x10^8 cm/\sec)\upsilon_{sc}$ ، وبالتالي كان افتراضاً موفقاً للحصول على افضل نموذج فيما يخص قيمة طاقة الانفجار(E_{SN}=1.0x10^{51}erg).

المصادر:-

Reference:-

1- Henny J.G.,(1983). "Supernovae and Supernovae Remnants" in Diffuse Matter inGalaxies,P.45,D.Reidel publishing company, Dordercht-Holland

2- Van Dyk S.D., Hamuy M. and Filippenko A.V., (1996),Astron.J.,111,2017.

3- Hamuy M. and P.A.Pinto, (1999),Astro.J.,117,1185.

4- Lewis J.R.,et al.,(1994),Mon.Not.R.Astron.Soc.266,L27-L39.

5- Ray A.,Singh K.P. and Sutaria F.K.,(1993),14,53-63.

6- Filippenko,A.V.(1993),IAUC,No.5731

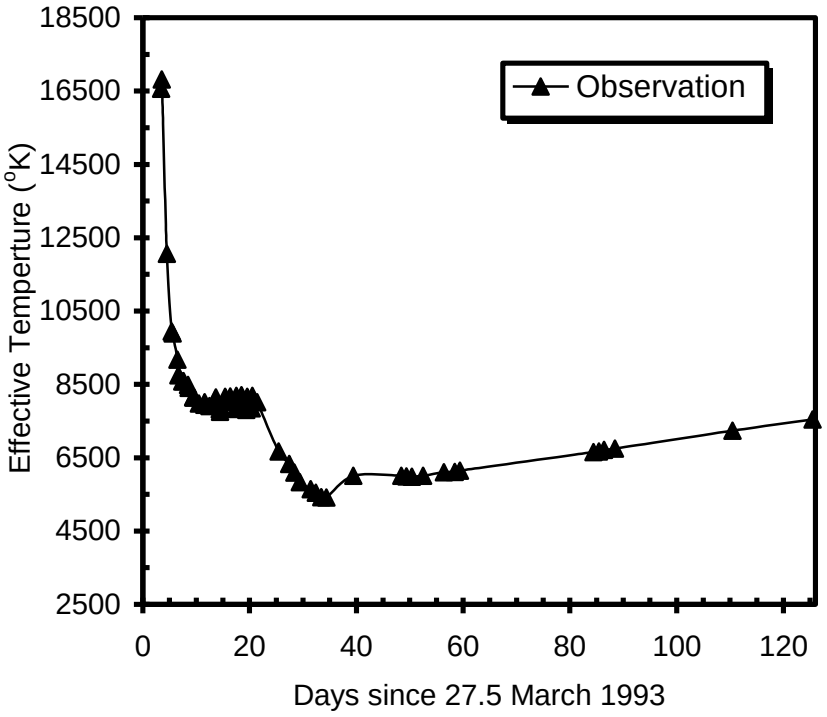
7- Gurugubelli U.K.,Sahu D.K.,Aupama G.C. and Chakradhari . N.K.,(2008), Bull.Astr.Soc.India,36,79-97.

8- Arentt W.D. ,(1980),Astrophys.J.,237,541.

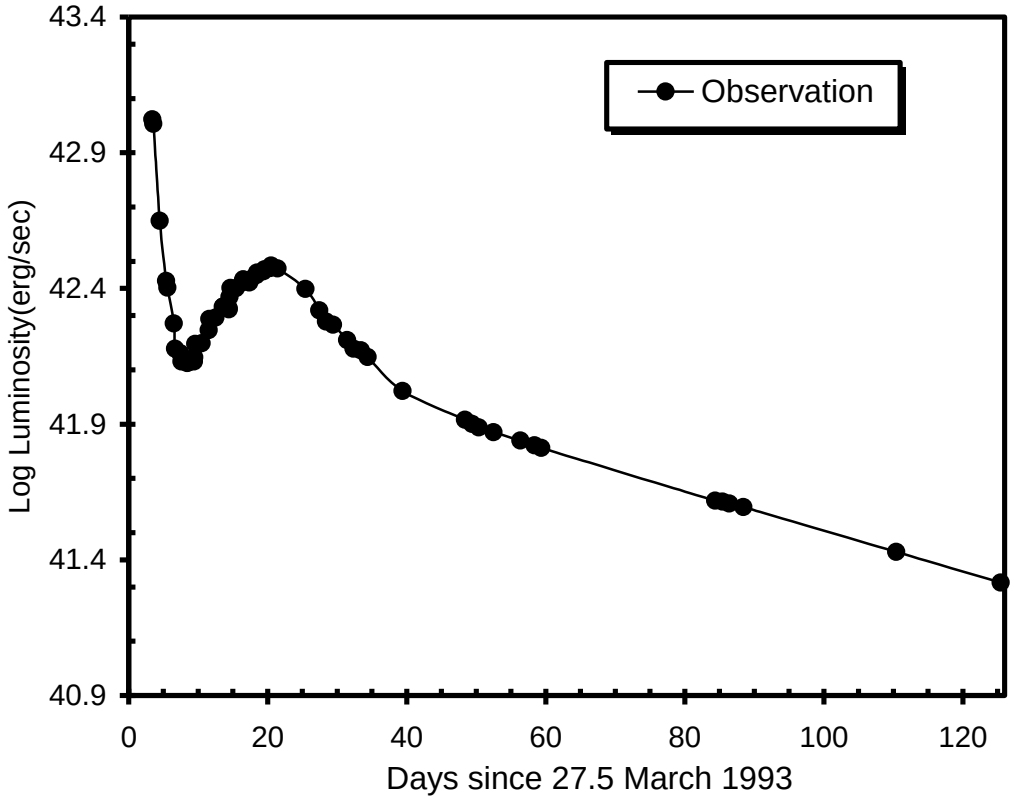
9- Arentt W.D., ,(1982), Astrophys.J.,253,785.

10- Arentt W.D., ,(1989).Astrophys.J.,343,834.

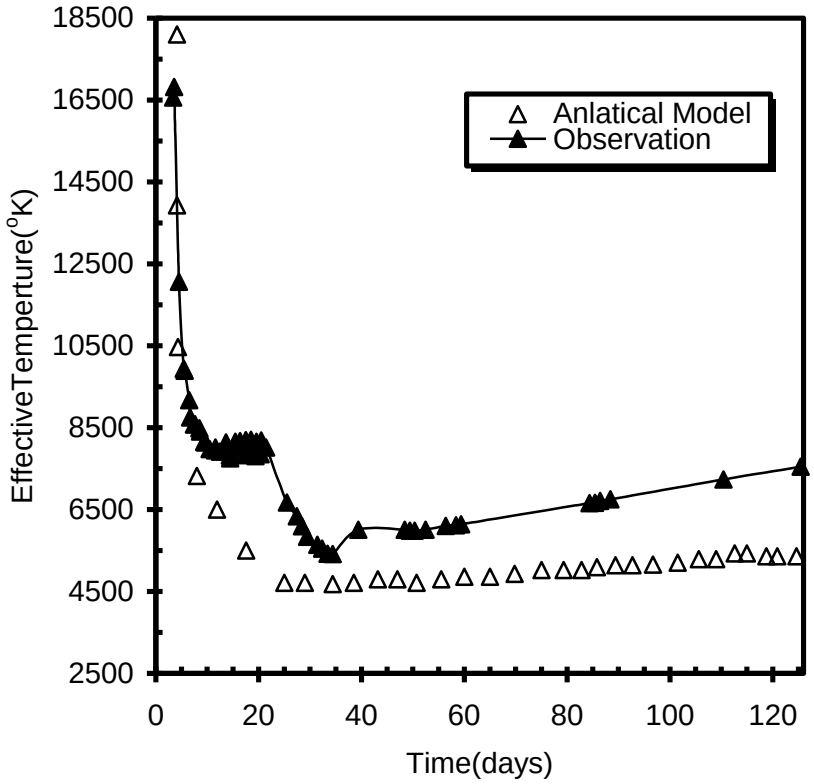
11- Falk S.W.and Arentt W.D.,(1977),Astrophys.J.Sup.Series,33,515.



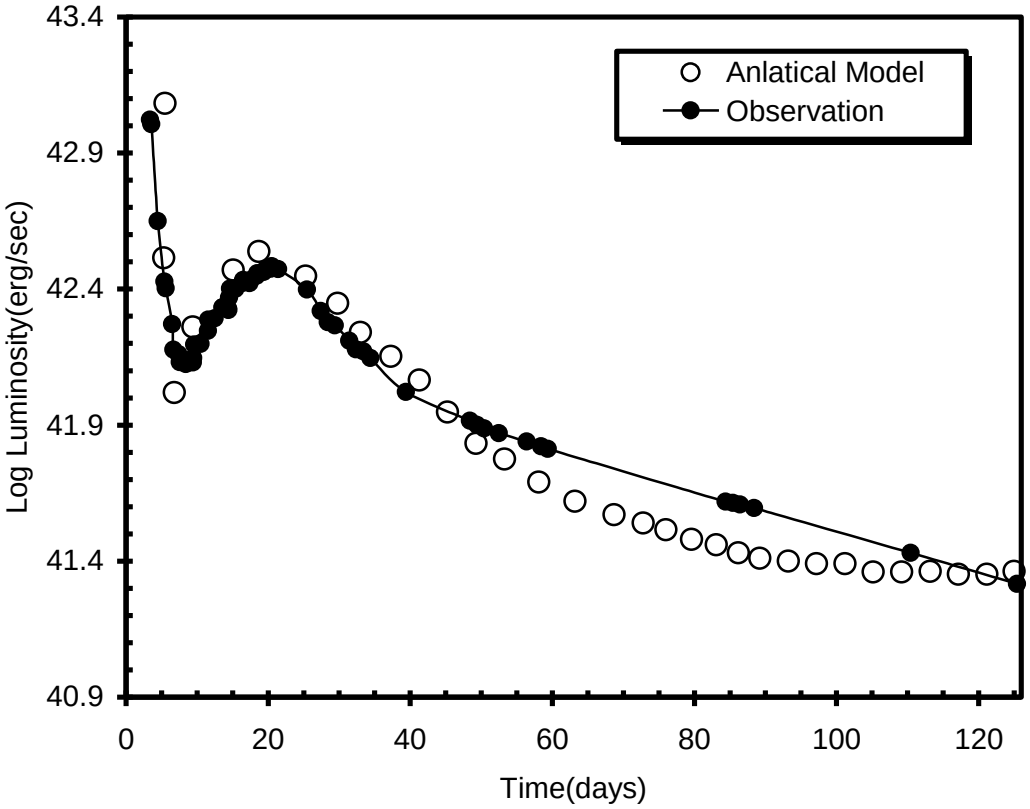
الشكل (2) تغير السلوك الزمني لدرجات الحرارة المؤثرة (Teff) منذ بداية انهيارقلب النجم المولد لـ (SN 1993J) وفقا لارصادات(JKT) [4] .



شكل (3) التغير الزمني للوغاريتم النورانية البولومترية بوحدات (erg sec –1) للنجم المولد لـ (SN 1993J) بداية انهياره إلى لحظه الانفجار وفقاً لارصادات (JKT) [4].



شكل (4) يوضح مقارنة بين نتائج النموذج التحليلي طبقاً للدراسة الحالية وقيم الارصادات (JKT)فيما يخص التغير الزمني لدرجات الحرارة الفعالة للنجم المنفجر كمستعرة عظمى(SN1993J).



شكل (5) يوضح مقارنة بين نتائج النموذج طبقاً للدراسة الحالية وقيم الارصادات (JKT) فيما يخص التغير الزمني للوغاريتم النورانية البولومترية للنجم المنفجر لمستعرة عظمى(SN1993J).