

الفصل الرابع

الخواص الفيزيائية للنجوم

النجم (Star) : هو كتلة ملتهبة من الغاز تشع ضوء وطاقة حرارية عالية جدا ناتجة من التفاعل النووي الاندماجي لذرات الهيدروجين مولدة غاز الهليوم ،والشمس هي نجم متوسط العمر والحجم وهناك المليارات من النجوم في الكون مكونة مجاميع تسمى مجرات وكل نجم دورة حياة تبدأ بالولادة وتنتهي بالموت.

أقدار النجوم: (Steller Magnitude) : وهي مقاييس لوغارتمية للمعان النجوم واللمعان يمثل مقدار الطاقة الضوئية الوائلة من النجم . إن النجوم الاكثر لمعانا تكون اقل قدراء والعكس صحيح وقد اعطيت مجموعة الارقام الصحيحة لممثل مقدار اللمعان ،إن العين المجردة لا تستطيع ان ترى النجم اذا كان قدره أقل من (+6) والأقدار عدة انواع هي:

1- الاقدار الظاهرية (Apperent mag.) : وهي مقاييس لوغارتمية للنجوم كما ترى من الارض ويقاس القدر الظاهري حسب قانون (فخنر) كما يلي:

$$m_* = \text{constant} - 2.5 \log_{10}(b_*)$$

m تمثل القدر الظاهري و b تمثل مقدار اللمعان. واذا كان لدينا نجمين فأن الفرق بين اقدارهما الظاهرية:

$$m_{*1} - m_{*2} = 2.5 \log(b_2/b_1)$$

ان الاقدار الظاهرية لا تعطي نتيجة صحيحة عن اللمعان الحقيقي للنجوم لأن بعد النجوم عن الارض يكون عاماً رئيسياً لقيمة اللمعان مثلاً أن لمعان النجم القطبي يفوق لمعان الشمس (1500) مرة ولكن قدره يساوي (+2.1) وقدر الشمس يساوي (-26.8) بسبب بعده الهائل المقارب (400L.y) لذلك اعتمد نظام آخر من الاقدار .

مثال (1): ثلاثة نجوم هي (A,B,C) حيث ($m_A = +12$) والنجم B المع من النجم A بمقدار (10000) مرّة أما النجم C فهو أخف من النجم A بمقدار (10000) فما اقدار النجمين (B,C)؟

الحل:

$$b_B/b_A = 10000$$

$$m_A - m_B = 2.5 \log b_B/b_A$$

$$+12 - m_B = 2.5 \log (10000)$$

$$+12 - m_B = 2.5 * 4$$

$$m_B = 12 - 10 = +2$$

$$b_C / b_A = 1/10000$$

$$m_A - m_C = 2.5 \log b_C / b_A$$

$$+12 - m_C = 2.5 \log (1/10000)$$

$$+12 - m_C = 2.5 * (-4)$$

$$m_C = +22$$

2- الاقدار المطلقة : (Absolute mag.)

هو القدر الظاهري للنجم عندما يكون على بعد (10pc) من الارض ويساوي:

$$M_* = m_* + 5 - 5 \log(r_{pc})$$

$$r_{pc} = 1/p''$$

$$M_* = m_* + 5 + 5 \log(p'')$$

(r_{pc}) البعد بالفرسخ الفلكي و (p'') زاوية اختلاف المنظر.

مثال(2): أوجد بعد النجوم التالية بوحدة الفرسخ الفلكي وزاوية اختلاف المنظر وحسب الجدول التالي:

star	m_*	M_*
A	10	5
B	5	10
C	13.5	15

$$1- A---- 5=10+5-5\log(r_{pc}) \rightarrow r_{pc}=100pc , p''=0.01$$

على الطالب. (B,C)

3- الاقدار البولومترية : (Bolemetric mag.)

وهي اقدار النجوم التي تشمل جميع الطاقة الاشعاعية الوائلة من النجم وتقاس بواسطة جهاز البولومتير ومن خارج الغلاف الجوي حسب العلاقة التالية:

$$M_{bol*} = m_{bol*} + 5 - 5 \log(r_{pc})$$

نورانية النجوم : (Steller Luminesity)

وهي عبارة عن الطاقة المنبعثة من النجم خلال وحدة الزمن وتقاس بوحدات (erg/sec) او (joul/sec). ويمكن حساب نورانية النجوم من قانون ستيفان-بولتزمان :

$$L_* = 4\pi \sigma R_*^2 T_{eff}^4$$

حيث ($\sigma = 5.67 \times 10^{-5} \text{ erg/cm}^2 \cdot \text{sec} \cdot \text{K}^4$) ، (R_*) نصف قطر النجم ، (T_{eff}) درجة الحرارة الفعالة. وتقاس نورانية النجوم بدلالة نورانية الشمس التي تساوي :

$$L_\odot = 3.8 \times 10^{26} \text{ watt} = 3.8 \times 10^{33} \text{ erg/sec}$$

وهناك علاقة رياضية بين النورانية والاقدار البولومترية للنجوم وهي:

$$M_{bol\odot} - M_{bol*} = 2.5 \log(L_*/L_\odot)$$

$$m_{bol\odot} - m_{bol*} = 2.5 \log(L_*/L_\odot)$$

مثال(1): نجم حرارته السطحية و اقداره البولومترية ($T_e=8700k$, $M_{bol}= +1.6$, $m_{bol}= +7.2$) أوجد:

- بعد النجم عن الشمس وزاوية اختلاف المنظر. 2- نورانية النجم . 3- نصف قطر النجم ، اذا علمت:

$$(6=5.67* 10^{-5}, L_\odot=3.8*10^{33}, M_{bol\odot}=4.8)$$

الحل:

$$M_{bol} = m_{bol} + 5 - 5 \log(r_{pc})$$

$$+1.6 = +7.2 + 5 - 5 \log(r_{pc})$$

$$r_{pc} = 131.5 \text{ pc}$$

$$p'' = 1/r_{pc} = 1/131.5 = 0.0076''$$

$$M_{bol\odot} - M_{bol} = 2.5 \log(L_*/L_\odot)$$

$$4.8 - 1.6 = 2.5 \log(L_*/L_\odot)$$

$$L_* = 74.3 * 10^{33} \text{ erg/sec}$$

$$L_* = 4\pi 6R_*^2 T e_*^4$$

$$R_* = (L_* / 4\pi 6 T e_*^4)^{1/2}$$

$$R_* = 3.5 * 10^{11} \text{ cm} = 1.9 R_\odot$$

مثال(2): نجم حرارته السطحية و اقداره البولومترية ($T_e=5000k$, $M_{bol}= +2.6$, $m_{bol}= +6.1$) أوجد:

- بعد النجم عن الشمس وزاوية اختلاف المنظر. 2- نورانية النجم . 3- نصف قطر النجم ، اذا علمت:

$$(6=5.67* 10^{-5}, L_\odot=3.8*10^{33}, M_{bol\odot}=4.8)$$

- واجب على الطالب.

علاقة الطاقة الوائلة من النجم (E_*) بـ اقداره البولومترية:

إذا كان النجم يبعد مسافة (r) عن الراصد يمكن استخراج مقدار الطاقة الوائلة من النجم خلال وحدة الزمن من وحدة المساحة باستخدام قانون التربيع العكسي وكما يلي:

$$E_* \propto L_*/r_*$$

$$E_* = L_*/4\pi r_* \quad \text{but } L_* = 4\pi 6R_*^2 T e_*^4$$

$$E_* = (R_*^2/r_*^2) 6 T e_*^4$$

ومن الشكل فأن قطر الزاوي للنجم بساوي:

$$a_* = 2R_*/r_*$$

وبالتعويض نحصل على :

$$E_* = 1/4 a_*^2 \sigma T e_*^4 \quad \text{---(1)} \quad E_\odot = 1/4 a_\odot^2 \sigma T e_\odot^4 \quad \text{---(2)}$$

بقسمة المعادلة (1) على (2) نحصل على:

$$E_*/E_\odot = (a_*/a_\odot)^2 (T e_*/T e_\odot)^4 \quad \text{---(A)}$$

$$M_{bol\odot} - M_{bol*} = 2.5 \log(L_*/L_\odot) \quad \text{---(3)}$$

$$M_{bol*} = m_{bol*} + 5 - 5 \log(r_*) \quad \text{---(4)}$$

$$L_* = E_* 4\pi r_*^2 \quad \text{---(5)}$$

بتتعويض المعادلتين (4,5) في (3) نحصل على

$$(m_{bol\odot} + 5 - 5 \log(r_\odot)) - (m_{bol*} + 5 - 5 \log(r_*)) = 2.5 \log(E_* 4\pi r_*^2 / E_\odot 4\pi r_\odot^2)$$

$$m_{bol\odot} - 5 \log(r_\odot) - m_{bol*} - 5 \log(r_*) = 2.5 \log(E_* r_*^2 / E_\odot r_\odot^2) \quad \text{---(B)}$$

بتتعويض المعادلة (A) في (B) ينتج:

$$m_{bol\odot} - m_{bol*} + 5 \log(r_*/r_\odot) = 5 \log(a_*/a_\odot) + 10 \log(T e_*/T e_\odot) + 5 \log(r_*/r_\odot)$$

$$m_{bol\odot} - m_{bol*} = 5 \log(a_*/a_\odot) + 10 \log(T e_*/T e_\odot)$$

مثال: نجم نسبة قطره الزاوي الى قطر الشمس الزاوي ($1/100000$) وقدره الظاهري ($+4$) ،أوجد درجة حرارته السطحية اذا علمت ان ($m_\odot = -26.7$, $T e_\odot = 6000 \text{ K}$).

الحل:

$$a_*/a_\odot = 1/100000 = 10^{-5}$$

$$m_{bol\odot} - m_{bol*} = 5 \log(a_*/a_\odot) + 10 \log(T e_*/T e_\odot)$$

$$-26.7 - 4 = 5 * (-5) + 10 \log(T e_*/T e_\odot)$$

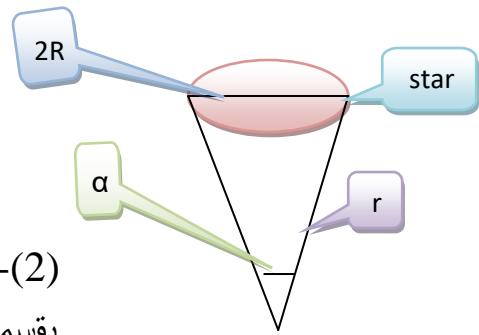
$$-30.7 + 25 = 10 \log(T e_*/T e_\odot)$$

$$\log(T e_*/T e_\odot) = -0.57$$

$$(T e_*/T e_\odot) = 10^{-0.57}$$

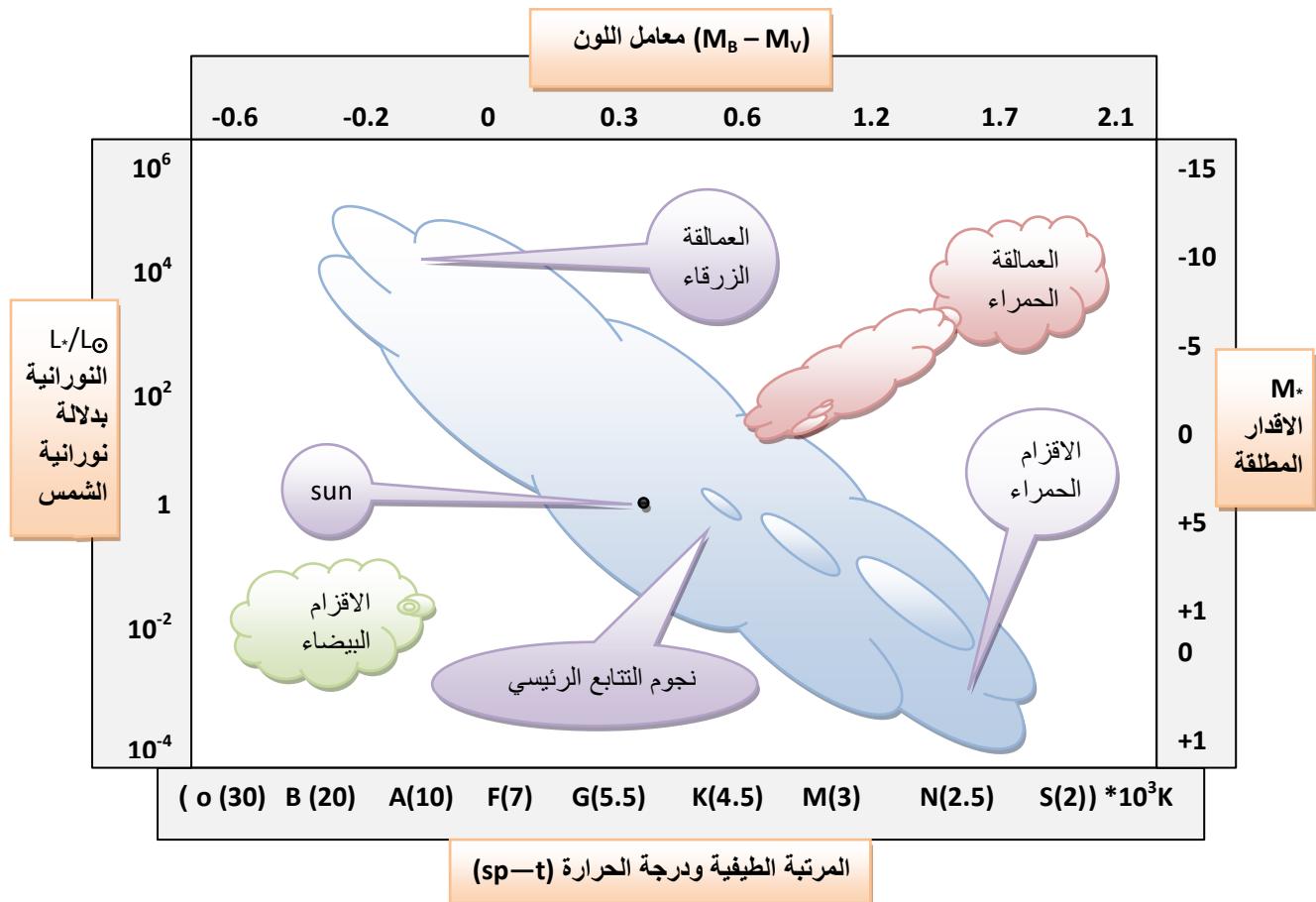
$$T e_* = 0.27 T e_\odot = 0.27 * 6000$$

$$\mathbf{T e_* = 1615 \text{ K}}$$



مخطط هيرتز سبرانك - رسن (H-R; Diagram)

في بداية القرن العشرين اكتشفت علاقة مهمة جداً في علم الفلك تخص خواص النجوم وهي علاقة بيانية تربط الاقدار المطلقة للنجوم مع مراتبها الطيفية وحرارتها ونورانيتها من قبل عالمين سميّت بأسميهما وهي :



من المخطط أعلاه نجد أن النجوم في الكون موزعة على ثلاثة مجاميع رئيسية تقربياً هي:

1- مجموعة التتابع الرئيسي (Main sequence stars)

2- مجموعة النجوم العملاقة (Giant stars)

3- مجموعة الأقزام البيضاء (White dwarfs)

هذه المجاميع تكون مختلفة عن بعضها في خواصها الفيزيائية مثل الكتلة والكثافة والحجم والحرارة وشدة اللمعان.

دورة حياة النجوم (Stellar Evolution) :

- 1- تولد النجوم من تجمع سحب من الغازات والأتربة الكونية في الفضاء وتبدأ بالانكماس والتقلص بفعل الجاذبية ينتج عن ذلك دوران هذه السحب حول نفسها وزيادة درجة حرارتها مكونة ما يسمى بالنجم الابتدائي .
- 2- عندما تصل درجة حرارة النجم الابتدائي إلى ($10^6 K$) تبدأ التفاعلات النووية في باطنه ويتحول إلى نجم نموذجي وينتج عن هذه التفاعلات طاقة على شكل ضوء وحرارة وعندما يتوقف تقلص النجم ، إن عملية التقلص تتناسب عكسياً مع كتلة الكرة الغازية .
- 3- التفاعلات النووية أعلى تتمثل بتحول الهيدروجين إلى هليوم وبعد استهلاك الهيدروجين يبدأ النجم بالتقلص مرة أخرى فيسبب ارتفاعاً أكثر في درجة الحرارة وعندما تبدأ عمليات الاحتراق الهيليوم عندها يتوقف التقلص مرة أخرى.
- 4- عند إحتراق كامل الهيليوم في باطن النجم فإنه يبدأ بالتقلص مرة أخرى بفعل الجاذبية ثم ينهاه ويتحول إلى قزم أبيض أو نجم نيوتروني أو ثقب أسود وقد ينفجر النجم مكوناً السديم الكوكبي .

الاقرام البيضاء (White dwarfs) :

هي نجوم صغيرة الحجم في مراحلها النهائية من التطور ولمعانها خافت وذات درجة حرارة وكثافة عالية جداً .

النجوم النيوترونية (Neutron stars) :

وهي نجوم صغيرة الحجم ذات كثافة عالية جداً تتحدد فيها الالكترونات مع البروتونات الذرية مكونة النيوترونات ، ان النجم النيوتروني الذي كتلته تعادل ثلاثة أمثال كتلة الشمس يكون نصف قطره يساوي (20km) تقريباً وسرعة الأفلات على سطحة تساوي ($1/3$) سرعة الضوء وتبلغ كثافته ($10^{15} gm/cm^3$) .

النجوم السوداء (الثقوب السوداء Blak Holes) :

اذا كانت كتلة النجم المنهاه أكبر من (3) كتلة شمسية فإنه يستمر بالانكماس ويحدث له انهيار تام ومتكملاً نحو المركز الباطني ويتحول إلى جرم معتم يسمى بالثقب الأسود لأنه يبتلع جميع المواد التي تقترب منه حتى الضوء الذي يصدر أو يقترب منه حيث يكون نصف قطره أقل من (10km) وكثافته لانهائية وسرعة الأفلات من على سطحه أعلى من سرعة الضوء وهذه النجوم لا يمكن مشاهدتها ولكن يمكن التحسس بجاذبيتها لما حولها من الأجسام .