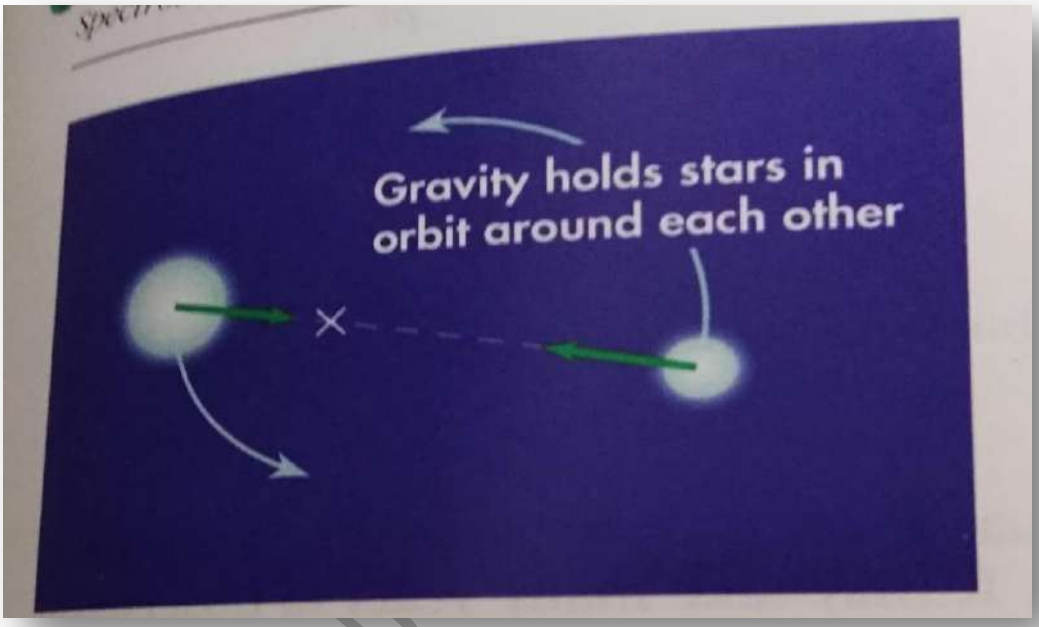
المحاضرة السّابعة /كتلةُ النّجوم

إعداد د. كوكب داود سلم

إنّ أغلبَ النّجومِ لا تسبحُ وحيدةً في الكون وإنّما تسبحُ برفقة نجمٍ آخر ؛ أي أنّ ذلك النّجمُ يشترك مع نجمٍ آخر بالمدار ذاته ويدوران حول بعضهما بفعل قوة الجاذبيّة بينهما (شكل 1).



ويُسمّي علماءُ الفلكِ هذا النّوع من الأزواج النّجمية بالنّجوم الثّنائيّة ؛ وعادةً تزوّدُ هذه النّجوم التي تتواجد وتدور وفق هذا النّظام الثّنائي (binary system) الفلكيين بمعلوماتٍ تمكنّهم من حساب كتلتيهما دون أن يلمسوا تلك النّجوم.

فقوّةُ الجاذبيّة بين جسمين تعتمد على كتلتيهما، كما أنّها تحددُ وتصفُ حركة النّجمِ في مداره، فلو تمكنّا من حسابِ هذه الحركة المرصودة ؛فسوف نجدُ الكتلة ؛حيث تعدُّ كتلة النّجمِ خاصيّة حرجة جدا لوصفِ بُنية النّجمِ وقدرهِ. كما أنّها تصف لنا مقدار ضغط الوزن داخل النّجمة المؤدي إلى توليد التّفاعل النّووي الذي يولد الحرارة والضّغط، وكذلك جهد الهيدروجين وكميته الدّاخلة في عملية التّفاعل النّووي اللازمة كي لاينهار النّجم بفعل الضّغط الدّاخلي لوزنه (قوة الجذب).

إنّ 40% من النّجوم تكون بشكل نظام ثنائي (Binary system) حيث تبعد كل نجمة عن رفيقتها في النّظام الثّنائي بأجزاء قليلة من الوحدة الفلكية الواحدة AU .

كما وتوجد أنظمة نجمية ثلاثية وأخرى رباعية وأخيرا تم اكتشاف الانظمة السّداسية .

حسابُ كتلةِ النّجوم الثّنائيّة:

يمكن حساب كتلة النّجمين الثّنائيين عن طريق معرفة حركتهماالمدارية بالاستفادة من قانون كبلر الثّالث الذي ينصّ (مربع زمن دوران كل كوكب حول الشّمس يتناسب مع مكعب بعده عن الشّمس) ، والذي يمكن كتابته بالصّيغة الآتية :

$$p^2 \propto a^3$$

ثمّ وجد نيوتن إنّه بالإمكان استخدام قانون كبلر مع أيِّ جسمين يدوران حول بعضهما بمدار واحد وكتلتهما M_A , M_B ويسلكان مدارا اهليليجيا .

$$(M_A + M_B)xp^2 = a^3$$

P: مدة الدّورة المداريّة ، مقدار الوحدة الفلكيّة

$(M_A + M_B)$: كتلة النّجمين بالكتلة الشّمسيّة.

هناك بعض النّجوم الثّنائيّة النّظام يمكن رؤيتها بالعين المجرّدة أو بواسطة تلسكوب بسيط يمكن أن نجد كتلتهما معا عن طريق الشّكل الاتي:

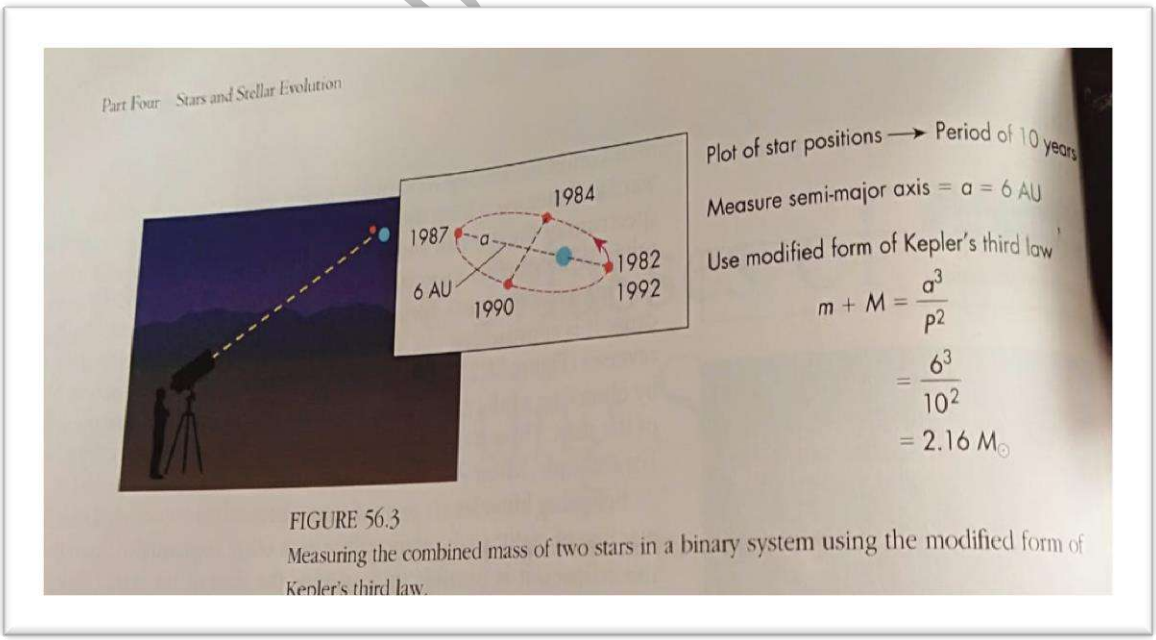


FIGURE 56.3
Measuring the combined mass of two stars in a binary system using the modified form of Kepler's third law.

حيث يرسم الرّاصدُ مدارا اهليليجيّا لحركة أحد النّجمين حول الآخر لمدة قد تصل لعشر سنوات وكذلك يمكن حساب المحور الشّبه الرّئيسي للمدار الاهليليجي عن طريق معرفة بعد النّجم عن الشّمس.

نقاط مسار النّجم : تمثل زمن الدّورة المدارية وتبلغ *10 years*

a يمثل المحور الشّبه الرّئيسي ومقداره *6UA*

$$M_A + M_B = \frac{a^3}{p^2}$$

$$M_A + M_B = \frac{6^2}{10^2} = 2.16 M_\odot$$

مثال:جد الكتلة المشتركة لنجمين زمن دورتهما المداريّة حول بعضهما كانت *68 years* وكان بعد المحور الشّبه رئيسي *20.6 AU*.

$$M_A + M_B = \frac{a^3}{p^2}$$

$$= \frac{20.6^3}{68^2} = 1.9\ M_\odot$$

مركزُ الكتلة :

إنّ قانون كبلر الثّالث يسمحُ لنا بمعرفة كتلة النّجمتين معا دون أن نعرف كتلة كلا منهما على حدة. لكن ، عند تحليل البيانات حول مدار النّجمتين تبيّن أنّه إذا كانت أحدى النّجمتين أكبر من الثّانية فإنّها سوف تدور ببطء حول المدار المشترك بينما ستتحرك النّجمة الثّانية بصورة أسرع .

هذا الأمر أدّى إلى نشوء مفهوم مركز الكتلة عند قياس كتلتي نجمتين مختلفتين في حجميهما اللذين يرتبطان بالعلاقة الآتية :

$$\frac{a_A}{a_B} = \frac{M_B}{M_A}$$

في نجم قنطورس تبين أنّ مدار النّجم A يبعد عن مركز الكتلتين بمقدار 0.7 مرة بقدر بعد النّجم B . أي أن

$$a_A = 0.7a_B$$

وبذلك سيكون

$$M_B=0.7M_A$$

فـإذا علمنا أنّ مجموع كتلتيهما:

$$M_A + M_B = 1.9M_\odot$$

فسوف نستطيع أن نجد كتلة كل نجم كالآتي :

بما أن

$$M_A + M_B = 1.9M_\odot$$

$$M_A + 0.7M_A = 1.9M_\odot$$

$$1.7M_A = 1.9M_\odot$$

$$M_A = \frac{1.9M_\odot}{1.7} = 1.1M_\odot$$

$$M_B = 1.9M_\odot - 1.1M_\odot = 0.8M_\odot$$

حركة النّجوم

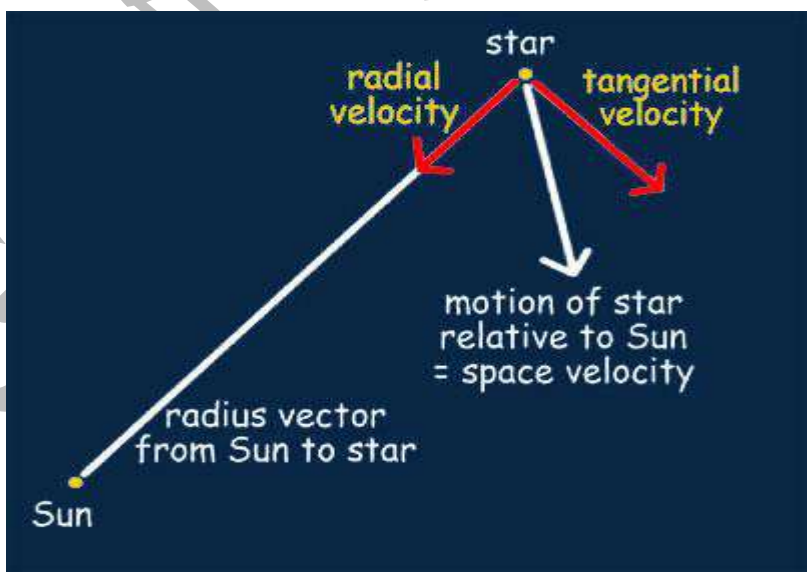
1- الحركة الحقيقة (الزّاوية)(Proper motion):

هي معدل تغير موضع النّجم بالنّسبة إلى النّجوم الخلفية في القبّة السّماوية وتقاس عادةً بالثّواني القوسيّة .

إنّ أكبر قيمة سجلت للحركة الزّاوية هي للنّجم بيرنارد حيث بلغت حركته الزّاوية 10.25 ثانية قوسيّة في العام الواحد وهذه القيمة العالية لحركته ناتجة من سرعته العالية بالنّسبة للشّمس ، حيث يبعد 1.8 فرسخا فلكيا، لكنّه يبعث طاقة تبلغ حوالي 0.001 من طاقة الشّمس. ومن الجدير بالذّكر إنّ أقل من 1% من النّجوم لها حركة زاوية لذلك فإنّ أغلب النّجوم تعتبر ثابتة الاتجاه.

2 – السّرعة الفضائيّة :

(space velocity)تسمّى حركة النّجم بالنّسبة للشّمس بالسّرعة الفضائية ، وتنقسم إلى سرعته النّصف قطرية (radial velocity) تجاه الشمس أو بعيدًا عنها ، وسرعته المماسيّة (tangential velocity) المتعامدة مع السرعة النّصف قطرية (في مستوى السّماء) كما هو موضح في الرسم البياني أدناه الذي يبين أنّ محصلة هاتين السّرعتين المتعامدتين تسمّى بسرعة النّجم الفضائية:



تتحرك معظم النّجوم بما في ذلك الشّمس ، في مساراتٍ (إهليليجيّة) بيضوية إلى حد ما حول مركز مجرتنا (درب التّبّانة) بسرعات تبلغ حوالي مئة وخمسين ميلاً في الثّانية. وعادة ما تكون حركاتها بالنّسبة لبعضها البعض من عشرة إلى خمسة عشر بالمئة فقط من حركاتها الكليّة ، أو من خمسة عشر إلى خمسة وعشرين ميلاً في

الثّانية ، أي يمكن تشبيهها بالسّيارات على الطّرق السّريعة؛ فعلى الرغم من أنّ السّيارات تتحرك بسرعة كبيرة بالنّسبة لمحيطها ، إلا أن حركاتها بطيئة بالنّسبة لبعضها البعض. ومع ذلك ، فإن بعض النّجوم تتحرك في اتجاه مختلف تمامًا عن جيرانها ، إلى الداخل أو إلى الخارج بشكل مباشر بالنّسبة إلى مركز المجرة. حتى لو كانت مثل هذه النجوم ذات سرعات إجمالية مماثلة لتلك الخاصة بجيرانها ، فإن اتجاه حركتها المختلف سيعطيها سرعات نسبية عالية جدًا ، وغالبًا ما تتجاوز المئتي ميل في الثّانية. يشار إلى هذه النجوم بالنّجوم عالية السّرعة.

قياس سرعة النّجوم:

لقياس السّرعة الفضائيّة لنجم ؛ نقيس كلاً من سرعته النّصف قطريّة وسرعته المماسيّة ، ثم نستخدم نظرية فيثاغورس لحساب سرعته الفضائيّة الكليّة .

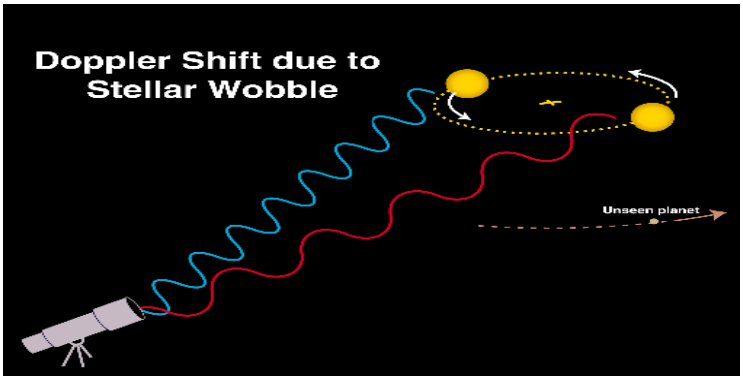
السّرعة النّصف قطرية(Radial velocity) :

يمكن قياس السّرعة النّصف قُطْريّة للنّجم بواسطة ظاهرة دوبلر النّاتجة عن تأثير حركة النّجم في طيفه الواصل لنا ، ويتم تحديد هذه السّرعة على الفور تقريبًا عن طريق قياس الأطوال الموجية لخطوط الإمتصاص في طيفها ، والتي يمكن تحقيقها بغض النّظر عن بعدها عن الشّمس ، بشرط أن يكون ساطعًا بدرجة كافية لمراقبة طيفه في المقام الأول. وبتطبيق القانون الاتي:

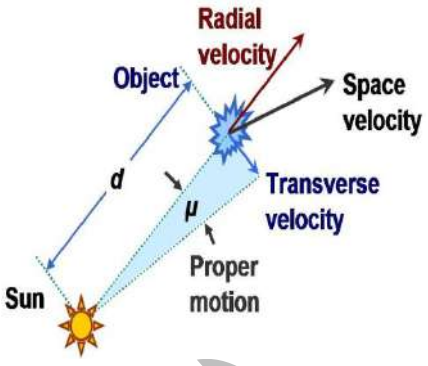
$$V_R = \frac{c\Delta\lambda}{\lambda}$$

C: سرعة الضّوء

وتعتبر موجبة عندما يكون النّجم مبتعدًا عن الشّمس، وسالبة عندما يكون النّجم مقتربا من الشّمس.



السّرعة المماسيّة:



يتطلب حساب السّرعة المماسية لنجم معرفة بعد النجم وحركته الزّاوية كالآتي:

$v_t=4.74\mu d$

الحركة الزّاوية: μ

المسافة بالفرسخ d :

v_t is the tangential velocity in km/sec

السّرعة المماسية.

V_t= 4.74 u/p≥

فتكون السّرعة المماسية هي الازاحة التي يقطعها النّجم عموديا على امتداد خط الرّؤية خلال وحدة الزّمن.

وبذلك فالسّرعة الفضائيّة مثلما ذكرنا هي محصلة مايقطعه النّجم خلال وحدة الزّمن (شكل 1)

وبتطبيق قانون فيثاغورس يمكن حساب سرعة النّجم الحقيقية Vفي الفضاء.

$$V^2 = V_R^2 + V_T^2$$

مثال: وجد أن الحركة الزّاوية لنجمٍ ما يقارب 3ثوانٍ قوسية ، وأنّه يبعد عن الشّمس بمقدار 2.11 فرسخا فلكيا. فإذا علمتَ أنّ سرعته النّصف قطرية تبلغ 40km/sec فما مقدار سرعته الفضائيّة؟

$d=2.11P_c$, u=3″.0 , V_R=40km/sec, V_T=?, V=?

نستخرج السّرعة المماسيّة

V_T= 4.74ud

=4.74 x 3″.0 x2.11=30km/sec

$V = \sqrt{40^2 + 30^2}$

V=50 Km/sec

مثال : أوجد السّرع المماسيّة (V_T) لكل من النّجمين الآتيين:

1- نجمٌ حركتُهُ الزّاوية ″0.01 وبعده 20 فرسخا فلكيا

2- نجمٌ حركته الزّاوية ″0.02 واختلاف المنظر0.002

الحل : (1)V_T= 4.74ud

=4.74x 0.01 x20=0.948Km/sec

(2) V_T= 4.74ud = 4.74 x(0.02/0.002)=47.4Km/sec

مثال:

ماهي السّرعة الحقيقية لنجمٍ يبعد 10فراسخ فلكية وسرعته نصف القطرية +8Km/sec ، وحركته الزّاوية 0.5ثانية قوسية

الجواب لدينا d=10, VR= +8, u=0.5

VT= 4.74 ud =

4.74 x0.5x 10=23.7 Km/sec

$V^2 = V_R^2 + V_T^2$

= 8^2+24^2

=64+576= 640=25.29Km/sec

د. كوكب البدري