

الفصل الأول

تاريخ علم الفلك والقبة السماوية

1-1 المقدمة

ما هو علم الفلك؟

يعتبر علم الفلك واحد من اقدم العلوم التي عرفها الانسان. يتناول هذا العلم دراسة كل الأجرام السماوية التي تقع خارج غلافنا الجوي منها القمر والشمس والكواكب والاجرام الهائلة في منظومتنا الشمسية (مثل المذنبات والشهب والنيازك والمادة بين الكواكب) هذا بالاضافة الى دراسة النجوم ، السدم، المادة ما بين النجوم والمجرات. ويتم دراسة هذه الأجرام من ناحية توزيعها في الفضاء، حركتها، خواصها الفيزيائية وتركيبها الكيميائي باستخدام علوم الرياضيات والفيزياء والكيمياء.

أهمية علم الفلك:

قديمًا:

لقد لعبت المعتقدات الدينية عند القدماء دورا مهما في الاهتمام بعلم الفلك وذلك لاتخاذهم الاجرام السماوية آلهة يعبدونها هذا بالاضافة الى انهم استخدموا علم الفلك في تحديد الوقت ومعرفة اوقات الأنواء وتغير الاحوال الجوية، كذلك التنبؤ بظاهرتي الخسوف والكسوف كما أنهم استخدموا مواقع النجوم في معرف اتجاه تنقلاتهم في البر والبحر.

في الوقت الحاضر تتلخص اهمية علم الفلك:

في تحقيق فهم ادق للطبيعة الفيزيائية للكون الذي نعيش فيه والتي من خلالها سوف يتم الإجابة على بعض التساؤلات الأزلية التي شغلت فكر الإنسان منذ بدء الخليقة هذه التساؤلات تخص تركيب هذا الكون وأبعاده، ساهم علم الفلك في تطوير العديد من النظريات الفيزيائية المختلفة، كما ساعد في تطوير العديد من الاجهزة والتكنولوجيات الحديثة. كذلك أهتم علم الفلك في استكشاف اعماق الفضاء وذلك من خلال اطلاق المركبات الفضائية لدراسة الكواكب السيارة والشمس والبيئة الفضائية المحيطة بنا، كما ان دراسة علم تؤدي الى تعميق الجانب الروحي لدى الانسان وذلك من خلال التفكير في خلق السموات والارض.

اهم فروع علم الفلك:

1- علم الفلك الموضعي أو ما يطلق عليه احيانا الفلك الكروي
يهتم بدراسة مواقع الاجرام السماوية واحداثياتها على القبة السماوية وايضا تتبع حركتها من يوم الى اخر او من عام الى عام اخر لتحديد مدارها او حركتها النسبية بالنسبة لبقية الاجرام السماوية .

2- الميكانيك السماوي Celestial Mechanics

ويهتم بدراسة حركة الاجرام السماوية والقوى التي تربط بين اجزاء المنظومات المختلفة

3- فيزياء الفلك Astrophysics

يختص هذا الفرع بتطبيق قوانين الفيزياء الحديثة على الدراسات الفلكية المختلفة.

4- علم الفلك النجمي Stellar Astronomy

يختص بدراسة النجوم حركتها وخواصها الفيزيائية (حجم، كتلة ، ضغط، حرارة، توليد الطاقة الضوئية) وتركيبها الكيميائي (تكوين العناصر الثقيلة ، الاطياف) كما يشمل هذا الفرع دراسة نشوء وتطور النجوم

5- علم الفلك المجري Galactic Astronomy

يقوم بدراسة انواع وطبيعة المجرات وتوزيعها في الكون

6- علم نشوء الكون Cosmology

يختص بدراسة الكون من ناحية تركيبه، حجمه، ابعاده وعمره ، كما يتناول وضع النماذج الكونية لتفسير نشوء وتطور هذا الكون.

هناك مجموعات فلكية تدرس ظواهر فلكية ضمن نافذة محددة من الطيف الكهرومغناطيسي تستمد اسمها من الاطوال الموجية التي تستخدمها في رصد ودراسة تلك الظواهر ومنها

الفرع	الاطوال الموجية
الفلك الراديوي	Radio Astronomy
علم الفلك تحت الحمراء	Infrared Astronomy
الفلك المرئي	Optical Astronomy
الفلك فوق البنفسجي	Ultraviolet Astronomy
الفلك السيني	X-ray Astronomy
فلك اشعة كاما	Gamma Astronomy

نظرة مبسطة للكون:

من الأولويات التي يجب التعرف عليها والتعامل معها في دراستنا لعلم الفلك هي الأجرام السماوية التي يتألف منها الكون وكذلك على أدوات القياس الأساسية والتي سوف نتعرف عليها في دراستنا لعلم الفلك خلال هذه السنة الدراسية لذلك علينا أن نتعرف على الكواكب , النجوم, والمجرات والسدم الغازية والأترية التي يتألف منها الكون. ومن هذه المكونات هي:

الذرة: وهي اللبنة الأساسية التي تتألف منها المواد، أبسط أنواع الذرات هي ذرة عنصر الهيدروجين والتي تتألف من بروتون واحد وإلكترون عدد العناصر المعروفة على الأرض هو 118 عنصر، أبعاد الذرة صغيرة جدا 10^{-10} متر إذا ما أردنا أن نقارن حجم الذرة بالنسبة تقاحة فأن حجم الذرة يساوي تقريبا حجم تقاحة بالنسبة للأرض.

الكوكب: جرم صغير يدور حول النجم الذي يقع في مجال جاذبه، الكواكب ليس باستطاعتها إنتاج طاقة ضوئية كما هو عليه بالنسبة إلى النجوم وإنما يعكس الضوء الساقط عليه من قبل النجم. قطره صغير مقارنة مع قطر النجم على سبيل المثال قطر الشمس يساوي تقريبا 110 مرة بقدر قطر الأرض أي أن حجم الشمس يساوي 1.3×10^6 مرة بقدر حجم الأرض.

النجم: كرة غازية (معظمه هيدروجين) متماسكة بفعل قوة الجذب. النجوم تشع الطاقة الضوئية التي تنتجها من خلال الاندماجات النووية التي تحصل في مركز النجم. الشمس هي نجمنا الذي يمدنا بأسباب الحياة على الكرة الأرضية

المجرة : تجمع كبير (من بلايين إلى تريليون) من النجوم وكميات من الغازات والأترية هذا التجمع يبقى محافظ على ارتباطه بواسطة ما يمتلكه من قوة جذب ذاتية. معدل المسافات البينية بين النجوم في المجرة تقريبا يساوي عدد محدود من السنين الضوئية لهذا لا تتصادم مع بعضها. المجرات لا تنهار ولا تتمدد لان نجومها في حركة مستمرة يكسب المجرة شكل محدد. مجرة درب التبانة هي مجرتنا التي تنتمي لها منظومتنا الشمسية, يوجد في هذه المجرة مئة بليون نجم وكذلك كميات كبيرة من الغازات والأترية.

الكون: هو الذي يحوي كل الأجرام السماوية التي ذكرت أعلاه وبأعداد كبيرة جدا بالاضافة الى اجرام سماوية اخرى سوف نتطرق إليها خلال دراستنا لفصول هذا المنهج.

أبعاد الكون :

لإعطاء فكرة بسيطة عن أبعاد الكون سنضع جدول يعبر عن مسافات لبعض ما ذكرناه من الأجرام السماوية في الفقرة السابقة والمسافات البينية لها بوحدات المتر (م) وكذلك بوحددة الزمن الذي يستغرقه الضوء لقطع تلك المسافات علما أن سرعة الضوء هي 300000 كم لكل ثانية، هذه الوحدات مهمة جدا في علم الفلك لكي تساعدنا على التعبير عن المسافات الكونية.

الزمن الذي يستغرقه الضوء لقطع هذه المسافة (تقريبي)	المسافة أو الحجم (تقريبي)	الجرم أو المسافة (تقريبي)
3 يوكتو ثانية (yocto= 10^{-24} sec)	10^{-15} متر	أبعاد النواة
0.3 اتو ثانية (atto= 10^{-18} sec)	10^{-10} متر	أبعاد الذرة
30 فيمتو ثانية (femto= 10^{-15} sec)	10^{-5} متر	أبعاد الخلية
3 نانو ثانية (nano= 10^{-9} sec)	10^0 متر	طول شخص
0.02 ثانية	10^5 متر	المسافة إلى مركز الأرض
8 دقائق	10^{11} متر	المسافة إلى الشمس
4 سنوات	10^{16} متر	المسافة لأقرب نجم منا
30000 سنة	10^{20} متر	المسافة إلى مركز مجرتنا
2 مليون سنة	10^{22} متر	المسافة لأقرب مجرة لنا
13.5 بليون سنة	10^{26} متر	حافة الكون (المتوقعة)

التقويم الكوني:

بالإضافة إلى ما ذكرناه حول أبعاد الكون نستطيع أن نتكلم عن عمر الكون وعمر الأشياء التي يتألف منها , أدناه جدول يعرض أعمار , طول فترة معينة , أو زمن إحداث موجودة في هذا الكون

العمر أو مدة الحدث (ثواني وسنين)	العمر أو مدة الحدث (ثواني)	جسم ما أو حدث
0.1 زيبتو ثانية (zepto= 10^{-21} sec)	1.0×10^{-22}	عمر الكوارك
10 فيمتو ثانية	1.0×10^{-14}	زمن ذبذبة الضوء المرئي
1 نانو ثانية	1.0×10^{-9}	دورة زمن الحاسوب
1 ثانية	1.0×10^0	ردة فعل الإنسان
11 دقيقة	6.6×10^2	عمر النيوترون
1 يوم	8.6×10^4	دوران الأرض حول نفسها
1 سنة	3.2×10^7	دوران الأرض حول الشمس
80 سنة	2.5×10^9	عمر الإنسان
10000 سنة	3.2×10^{11}	التاريخ المدون
4.5 بليون سنة	1.5×10^{17}	الأرض، الشمس
10^{10} بليون سنة	3.2×10^{17}	المجرة
13.5 بليون سنة	4.3×10^{17}	الكون

نلاحظ من الجدول السابق إن تتابع الأحداث في تاريخ الكون يعتقد بأنه يكون ضمن التسلسل التالي

- 1- نشوء الكون
- 2- نشوء المجرات ومن ضمنها مجرتنا
- 3- نشوء النجوم في المجرات ومن هذه النجوم هي شمسنا والمنظومة الشمسية
- 4- تطور الحياة على الكرة الأرضية
- 5- ظهور الإنسان على الكرة الأرضية.

ولإعطاء فكرة أوضح عن تطور الأحداث في الكون لتتصور أن عمر الكون الذي يقدر بـ 13.5 بليون سنة قد تم كبسه في سنة تقويمية واحدة، الجدول التالي يعرض أهم التواريخ التي مرا بها تطور الكون بوحدات افتراضية لسنة تقويمية واحدة.

التاريخ	بعض الأحداث المهمة
1 كانون الثاني الساعة 12:00 مساء	بدء نشوء الكون (The Big Bang)
شباط ؟	بدء نشوء مجرتنا درب التبانة
13 آب	بدء نشوء الشمس والمنظومة الشمسية
13 كانون الأول	ظهور الحياة اللاقارية على الأرض
25 كانون الأول	حقبة الديناصورات
29 كانون الأول	زوال الديناصورات من على الأرض
31 كانون الأول الساعة 08:14:00 مساء	ظهور الإنسان
31 كانون الأول الساعة 11:59:50 مساء	الأهرام المصرية
31 كانون الأول الساعة 11:59:56.64 مساء	ولادة النبي محمد عليه الصلاة والسلام
31 كانون الأول الساعة 11:59:58.978 مساء	ظهور العالم الفلكي كبلر
نهاية السنة التقويمية 2008	الآن

2-1 تاريخ علم الفلك

حضارة وادي الرافدين:

البابليون:

اهتم سكان ما بين النهرين وخاصة البابليون والكلدانين بمراقبة الأجرام السماوية وكان الدافع الرئيسي لهم هو اتخاذهم تلك الأجرام آلهة يقدسونها، الوثائق البابلية التي عثر عليها والتي ترجع إلى القرن السادس عشر قبل الميلاد تبين أن البابليون هم أول من طبق النظام الستيني في الحساب واستخدموا الساعة الشمسية والساعة المائية لقياس الوقت ليلا ونهار ولقد أبدع البابليون في رصد الكواكب والنجوم وكذلك تنبؤوا بظاهرتي الكسوف والخسوف ومكتشفين دورة الساروس وهي المدة الزمنية (18 سنة و11 يوم وثلاث اليوم) التي تعاد فيها ظاهرتي الخسوف والكسوف بنفس التسلسل والفترات الزمنية التي تفصل بينهما. كما أن البابليون أصدرت التقاويم الفلكية فكانت سنتهم 12 شهرا قمريا وقسموا الشهر إلى أربعة أسابيع ثم جعلوا أيام الأسبوع 7 أيام.

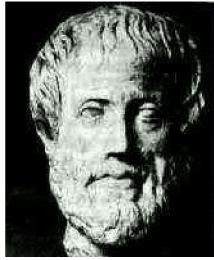
الكلدانيون: (625 ق.م) حسبوا أوقات الخسوف والكسوف وبيّنوا أن طول السنة هو 365 يوما و6 ساعات و15 دقيقة و41 ثانية أي أكثر من طول السنة الحقيقية ب 26 دقيقة و55 ثانية.

حضارة وادي النيل:

الفراعنة (ومنذ 3000 ق م) اهتموا في علم الفلك لاتخاذهم الشمس والقمر وبعض الكواكب السيارة آلهة يقدسونها ونظرا لحاجتهم للسيطرة على فيضان مياه نهر النيل، أدركوا أن الفيضان يتوافق وظهور نجم الشعرى اليمانية قبل شروق الشمس في أواخر شهر تموز (وذلك في 19 تموز) من كل عام. قسموا السنة إلى 360 يوما ثم أضافوا لها خمسة أيام سموها الأيام السماوية المقدسة. استخدم المصريون المزاويل الشمسية والمائية في معرفة الوقت.

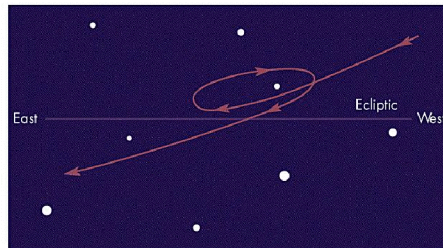
الحضارة الإغريقية (500 ق.م. إلى 200 م)

اهتم فلاسفة اليونان بعلم الفلك ووضعوا نظريات عديدة لتفسر الحركة اليومية للأجرام السماوية كالشمس والقمر والكواكب السيارة ومن أشهر فلاسفتهم الذين اهتموا بعلم الفلك.



أرسطو طاليس :

أقام الدليل على كروية الأرض واعتمد النظرية الكوكبية البدائية المعتمدة على مبدأ مركزية الأرض فقال أن الأرض تقع في مركز الكون فيما يكون كل من القمر، عطارد، الزهرة، الشمس، المريخ، المشتري، وزحل تدور على كرات أثرية شفافة متمركزة بعضها فوق بعض الآخر وقد أضاف أرسطو كرة ثامنة هي كرة النجوم الثابتة. هذه النظرية استطاعت أن تفسر الحركة اليومية لهذه الأجرام ولكنها عجزت عن تفسير الحركة التراجعية للكواكب السيارة انظر الشكل الاتي:



الشكل يوضح الحركة التراجعية لمسار كوكب على القبة السماوية

أرستارخوس

أول من اقترح مركزية الشمس وان الأرض وبقية الكواكب تدور حولها، هذه النظرية لم ترى النور لعدم وجود إثبات قاطع بأن الأرض تتحرك حول الشمس ولعدم تمكنهم من قياس التزيح النجمي (اختلاف المنظر).

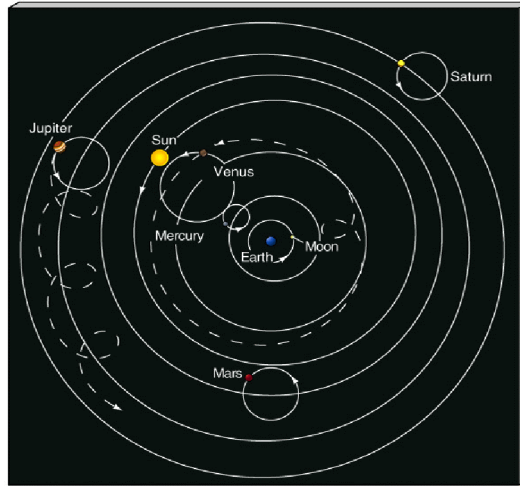
هيبارخس

طور النظرية الكوكبية وذلك بإدخال فلك التدوير لتفسير الحركة التراجعية للكواكب السيارة، اعتمد مركزية الأرض للكون ألا أن الكواكب جعلها تدور على أفلاك خاصة سميت أفلاك التدوير وان مركز تلك الأفلاك يدور حول الأرض على محيط دائرة كبيرة تدعى الدائرة الرئيسية.



بطليموس

ادخل بطليموس تعديلات معقدة على فلك التدوير لتفسير حركات الكواكب الغير منتظمة بأن جعل فلك التدوير يدور حول نقطة غير الأرض أي أن مركز الدائرة الرئيسية أصبحت نقطة غير الأرض. وتبلورة أرائه في كتابه المشهور المجسطي والذي ترجم إلى العربية واعتمده الفلكيون العرب المسلمين.



كون بطليموس

العرب والحضارة الإسلامية

* العرب كانوا في حاجة إلى معرفة مواقع النجوم في السماء ليهتدوا بها في ترحالهم. عرفوا كذلك السنة الشمسية والقمرية واعتمدوا النسيء (الكبس) بإضافة شهر ثالث عشر إلى السنة القمرية كل ثلاثة سنوات شمسية ليواكبوا الأشهر الشمسية.

* الحضارة الإسلامية إضافة الكثير إلى علم الفلك فقد اهتم العرب بحركة الشمس والقمر وذلك لتعين أوقات الصلاة وتحديد بداية الأشهر القمرية كما أنهم وضعوا الشروط الخاصة برؤية الهلال وأحوال الشفق وقام العرب بنقل وترجمة المؤلفات والجدول الفلكية للأمم التي سبقتهم ولم تقتصر المساهمات العربية على الدراسات النظرية بل قاموا بالأرصاء حيث قاسوا المسافة بين الكواكب السيارة والأرض باستخدام ظاهرة اختلاف المنظر وحسبوا محيط الأرض وعرفوا الكلف الشمسية. كذلك اكتشف العرب دوران الأرض حول نفسها وحول الشمس قبل كوبرنيكوس كما ضبطوا حركة أوج الشمس وارتباطها بتقهقر الاعتدالين، ولعل ما يلفت النظر أن أغلب أسماء النجوم المعروفة هي أسماء عربية فعلى سبيل المثال الغول Algorab, القائد Alkaid, الكاس Alkes, الدب Dubhe, لمزيد من هذا الموضوع انظر الملحق (4) في الكتاب المقرر.

علم الازياج : اشتهر العرب بعمل جداول فلكية والتي أطلق عليها علم الازياج وهي قياسات حسابية تعتمد على قوانين عددية تخص الكواكب السيارة عند حركتها في السماء بحيث يعرف مواضع الكواكب في مداراتها في أي وقت. ووضعت قوانين خاصة في معرفة الشهور والأيام والتواريخ .

الآلات الفلكية عند العرب:

- 1-الإسطرلاب: استخدم في قياس ارتفاع الأجرام السماوية وتحديد أوقات الصلاة ومعرفة مغيب الشفق وطلوع الفجر ومعرفة أوقات الليل والنهار ومعرفة القبلة في الليل والنهار .
 - 2-المزولة الشمسية: لقياس الوقت في النهار بصورة دقيقة وهي على أنواع منها الثابتة ومنها المتحركة, المزاول الثابتة أيضا إما تكون أفقية أو عمودية.
 - 3-ذات السمт والارتفاع: وهي إحدى الآلات التي استخدمت في قياس السمт وارتفاعه.
- ومن الآلات الأخرى التي صنعها أجدادنا العرب ذات الأوتار والحلقة الاعتدالية والمحلقة وذات الشعبتين وذات الجيب والربع المجيب والمقنطرات وغيرها من الآلات

من العلماء العرب المشهورين :

البتاني (317هـ-343هـ الموافق 929 م – 954 م)

حدد بدقة ميل مدار البروج عن دائرة الاستواء, قام بحساب طول السنة الشمسية وكان مقدار الخطأ في حسابه دقيقتين و23 ثانية, وحسب بعد الشمس عن مركز الأرض بـ11460 مرة بقدر قطر الأرض في الحضيض وأبطل نهائيا عقيدة بطليموس وهي ثبوت الأوج الشمسي.

ابوالوفاء البوزجاني(328هـ-378 هـ)

اهتم بالجبر وابتكر طرقا جديدة في المتثلثات ومنها حساب جيب الزاوية إلى ثمانية أرقام عشرية كما عمل جداول الظلال والعلاقات بين الأضلاع والزوايا في المتثلثات الكروية اكتشف إحدى المعادلات المتثلثية التي تبين مواقع القمر في السماء سماها معادلة السرعة.

البيروني(362هـ)

له مؤلفات عديدة في الطب والرياضيات والتاريخ والفلك

بن يونس(397 هـ)

اخترع الرقاص وطور عمل المزولة الشمسية (ذات الثقب).

المرصد الفلكية عند العرب

مرصد بني موسى بن شاكر :أنشئ هذا المرصد بعد وفاة المأمون

مرصد سامراء :أنشئ بعد تأسيس مدينة سامراء في خلافة المعتصم

المرصد الشرقي: أنشئ في عهد شرف الدولة بن عضد الدولة البويهية

مرصد بني الأعم :أنشئ في بغداد بعد وفاة المأمون

وأفرزت الحضارة الإسلامية في ذلك الوقت عدد كبير من الراصدين منهم إبراهيم بن حسب

الفزاري وهو أحد كبار فلكي المنصور والذي ترجم كتاب السند وهدى إلى العربية ومن

الراصدين في بغداد موسى بن شاكر والخوارزمي والحسن ابن محمد الطوسي...الخ.

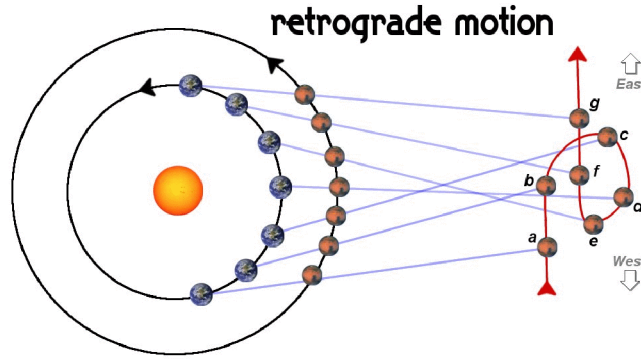
الفلك في عصر النهضة

في هذه الحقبة ظهر عدد من علماء الفلك الذين صاغوا القوانين والنظريات وابتكروا الأجهزة العلمية المختلفة التي ساهمت في وضع الأسس الصحيحة لعلم الفلك الحديث ومن هؤلاء



العالم الراهب البولندي نيكولاس كوبرنيكوس (1447م-1543م)

الذي تبني نظرية تركز الشمس أي أن الأرض والكواكب السيارة الأخرى تدور حول الشمس، استطاع أن يحدد المسافات النسبية بين الكواكب والشمس وسرعتها النسبية وزمن دورتها حول الشمس وبذلك استطاع أن يفسر الحركة التراجعية للكواكب Retrograde Motion في السماء على أنها نتيجة لاختلاف سرعة دوران كل من الكواكب والأرض في دورانهما حول الشمس انظر الشكل الاتي. السبب الذي جعل نظريته لم تلقى كل التأييد من قبل الفلكيين آنذاك هو اعتقاده بأن مدارات الكواكب دائرية . لقد بعثت آراء كوبرنيكوس نشاطا جديدا في علم الفلك فنبغ بعده عدد من علماء الفلك



الدانيماركي تاكوبرا هي (1546م-1601م)

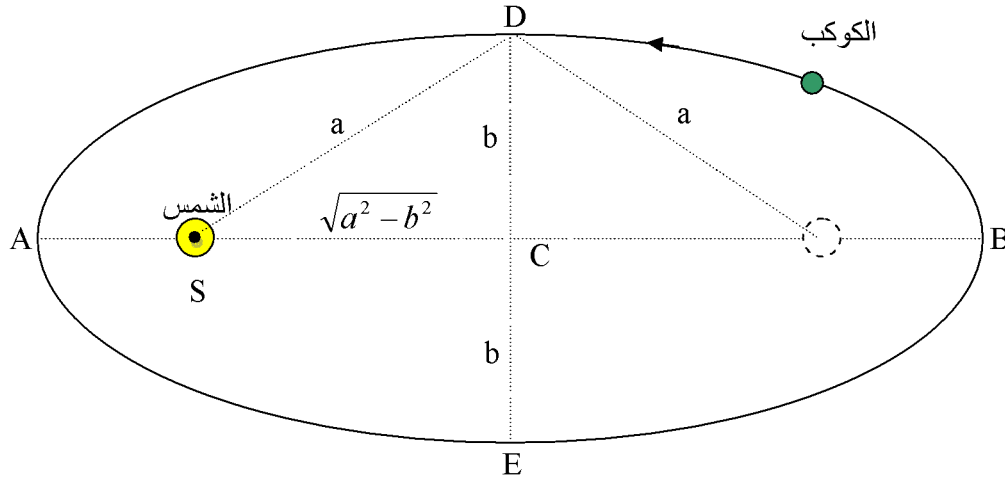
فلقد كان موهوبا في استنباط الآلات والوسائل التي تساعد في الرصد وتعتبر أرصاده التي دونها على مدى عشرين عام من الدقة مرجعا قيما لعلماء الفلك كما أن تسجيلاته لحركة المريخ مهدت الطريق لتلميذه الألماني يوهان كبلر لوضع نظريته المشهورة حول المجموعة الشمسية.



يوهان كبلر (1571م-1630م)

حلل أرصاد أستاذه براهي حول مدار المريخ وتوصل إلى أن مدار المريخ ليس دائريا بل اهليجاليا مغلقا ونتيجة لأبحاثه خرج بثلاثة قوانين مشهورة سميت باسمه:

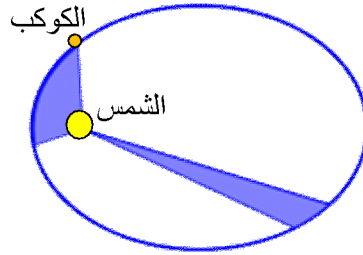
القانون الأول: جميع الكواكب السيارة تدور حول الشمس في مدارات قطع ناقص بحيث تقع الشمس في إحدى بؤرتيها.



الشكل (1-1) يمثل المسار الاهليلجي الذي يسلكه الكوكب حول الشمس
الشكل (1-1) يمثل المسار الاهليلجي (قطع ناقص) الذي يسلكه الكوكب حول الشمس (S) عندما يكون الكوكب في اقرب نقطة من الشمس (A) يدعى هذا الموضع حضيض الكوكب وعندما يكون الكوكب في ابعد نقطة من الشمس (B) يدعى هذه الموضع أوج الكوكب. المحور AB يمثل المحور الرئيسي ويساوي 2a, والمحور DE يمثل المحور الثانوي ويساوي 2b. يقاس مقدار تفلطح المدار بالشذوذ المركزي e الذي يمثل النسبة بين بعد البؤرة عن مركز المدار CS إلى نصف المحور الرئيسي CA ومقدار التفلطح يتراوح ما بين صفر (للدائرة) إلى الواحد (غاية التفلطح والذي يتمثل بالخط المستقيم)

$$e = \frac{CS}{CA} = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a} = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}$$

القانون الثاني: يمسح الخط الوهمي الواصل بين مركزي الكوكب والشمس أثناء دورانه مساحات متساوية في أزمن متساوية. لذلك فإن الكوكب يبطئ في حركته عندما يكون بعيدا عن الشمس حول موضع أوج الكوكب، ويسرع في حركته عندما يكون قريبا من الشمس حول موضع حضيض الكوكب.



الشكل يمثل قانون كبلر الثاني (قانون المساحات)

القانون الثالث: مربع زمن دوران كل كوكب حول الشمس p يتناسب مع مكعب نصف المحور الرئيسي لمدار الكوكب a.

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

$$p^2 = a^3$$

ويمكن ان يعطى رياضيا بالعلاقة
شرط أن يكون وحدة p زمن دورة الكوكب حول الشمس بالسنوات الأرضية
ووحدة نصف المحور الرئيسي a بالوحدات الفلكية



العالم الايطالي غاليليو غاليلي (1564-1643)

قام غاليليو بأبحاث تتعلق بحركة الأجسام الساقطة على سطح الأرض. في حالة إهمال مقاومة الهواء توصل إلى أن جميع الأجسام تسقط بتعجيل ثابت بغض النظر عن قيمة كتلتها. اخترع المرقب الفلكي (التلسكوب) عام 1609 ومن بين اكتشافاته المهمة هو أن للزهرة أطوارا تشبه أطوار القمر وهذا الدليل الذي اعتمده غاليليو غاليلي في دعم نظرية كوبرنيكوس في مركزية الشمس، وشاهد لأول مرة توابع المشتري الأربعة والتي سميت باسمه أيو، ويوروبا، وجانيميد، وكاليستو. شاهد البقع على سطح الشمس كما قدم غاليليو اكتشافا مثيرا حول الطريق الحلبي حيث بين أنه مؤلف من اعداد لا حصر من النجوم المنفردة.



العالم الانكليزي إسحاق نيوتن (1642-1727)

كان عالما متعدد المواهب هو اول من وضع اسس التفاضل والتكامل ، درس الضوء، صمم التلسكوب العاكس، وضع ثلاثة قوانين في الحركة اعتبرت أساس الميكانيك الكلاسيكي هذا بالإضافة إلى قانونه المشهور في الجاذبية: وهذه القوانين هي:

القانون الاول في الاستمرارية:

كل جسم يستمر في حالته من السكون أو الحركة بسرعة ثابتة ما لم تؤثر عليه قوة خارجية.

القانون الثاني:

يتناسب معدل التغير في كمية حركة أي جسم مع القوة المحدثه له، ويكون التغير في الحركة باتجاه خط عمل تلك القوة.

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d}{dt}(m\vec{v}) = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a}$$

حيث $\vec{a}$ هي تعجيل الجسم

القانون الثالث في الفعل ورد الفعل:

لكل فعل هناك دوما رد فعل يساويه في المقدار ويعاكسه في الاتجاه ويشترك معه في خط الفعل.

قانونه العام في الجاذبية:

كل كتلة في الكون تجذب أي كتلة أخرى بقوة تتناسب طرديا مع حاصل ضرب الكتلتين وعكسيا مع مربع البعد بين مركزيهما.

$$F = -G \frac{M_1 M_2}{r_{12}^2}$$

G ثابت الجاذبية العام

ومن خلال هذه القوانين استطاع نيوتن أن يشتق قوانين كبلر الثلاثة ويضعها بصيغة رياضية يسهل التعامل معها، كما هي مبينة ادناه:

$$r = \frac{\ell^2 / mk}{1 + e \cos(\theta)} \dots \text{ (where } \ell \text{ angular momentum, } m \text{ mass, } k = GM_{\odot} \text{)}$$

قانون كبلر الاول:

$M_{\odot}$ كتلة الشمس، e اختلاف المركز للمدار، θ اتجاه موضع الكوكب بالنسبة للمحور الرئيسي للمدار وهذه معادلة القطع المخروطي أي أن المسار يمكن أن يكون قطع زائد، قطع ناقص، قطع مكافئ يعتمد على مقدار e اكبر من واحد ، اقل من واحد، او تساوي واحد على التوالي وعندما تكون e تساوي صفر يصبح المدار دائري.

$$\frac{dA}{dt} = \frac{1}{2} r^2 \dot{\theta}$$

قانون كبلر الثاني (قانون المساحات)
 A المساحة التي يمسحها الكوكب
 r بعد الكوكب عن الشمس
 $\dot{\theta}$ السرعة الزاوية للكوكب

$$p^2 = \frac{4 \pi^2 a^3}{G (M_{\odot} + M_p)}$$

قانون كبلر الثالث:

G ثابت الجاذبية
 $M_{\odot}$ كتلة الشمس
 M_p كتلة الكوكب

a نصف المحور الرئيسي للمدار

لقد فتحت نظرية نيوتن هذه أفقا جديدة في علم الفلك فسار على نهجها علماء أوربيون مختلفون من أمثالهم العالم ادمون هالي الذي اكتشف مذنب هالي، والعالم وليم هيرشل الذي اكتشف الكوكب اورانوس وتولت الاكتشافات خلال تلك الحقبة ومنها اكتشاف الكوكب نبتون عام 1846.

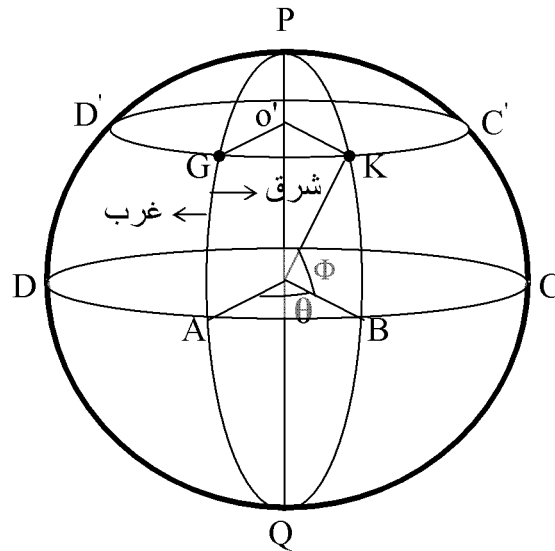
ثم بزغ القرن العشرين وظهرت في مطلع هذا القرن نظريتان أساسيتان الأولى نظرية التكميم التي وضعها ماكس بلانك عام 1900 وكذلك النظرية النسبية التي وضعها العالم ألبرت اينشتاين، أن هاتين النظريتين كان لهما الدور الكبير في التقدم العلمي والتطور التقني والذي انعكس بدوره على علم الفلك مما فتح أمام الفلكيين أفقا واسعة لدراسة الأجرام السماوية وأعماق الكون وذلك من خلال إطلاق الصواريخ والأقمار الصناعية والمركبات الفضائية هذا بالإضافة إلى إرسال العديد من المختبرات الفضائية لإجراء الدراسات عن مصادر الطاقة العالية وأخيرا مكوك الفضاء الذي فتح أبوابا جديدة في مجالات الرصد والنقل الفضائي.

3-1 هندسة الكرة

من المهام الأساسية في علم الفلك الكروي spherical Astronomy (أحد فروع علم الفلك) هي إيجاد الاتجاهات النسبية للأجرام السماوية كما يراها الراصد والتي تظهر وكأنها واقعة على السطح الداخلي لكرة هائلة يقع هو في مركزها وهذه الكرة تسمى الكرة السماوية (القبة السماوية) لذا سوف ندرس بعض خواص الكرة لأهميتها في تعيين مواقع الأجرام السماوية. من التعريفات الأساسية لهندسة الكرة هي:

1-الدائرة العظمى:

المستوي الذي يمر من مركز كرة يصنع دائرة مع سطحها هذه الدائرة تسمى الدائرة العظمى في الشكل (2-1) الدائرة العظمى هي DABC دائرة عظمى ولو كان قطر الكرة POQ عموديا على مستوي هذه الدائرة سميت النقطتان P و Q قطبي الدائرة ويقاس طول القوس على هذه الدائرة بمقدار الزاوية التي يصنعها مع مركز الكرة إذا فرضنا أن نصف قطر تلك الكرة يساوي واحد $R=1$ أي أن القوس $\theta = AB$ وعليه فأن طول القوس الذي يمثل نصف دائرة يساوي 180 درجة وربع الدائرة يساوي 90 درجة.....الخ.



الشكل (2-1)

2- الزاوية الكروية:

تسمى الزاوية المحصورة بين مستويي دائرتين عظيمتين بالزاوية الكروية، الزاوية θ زاوية كروية محصورة بين الدائرتين العظيمتين PAQ و PBQ.

3-الدائرة الصغيرة:

كل مستوي يقطع الكرة ولا يمر بمركزها يصنع مع سطح الكرة دائرة صغيرة انظر الشكل (2-1) الدائرة D'KGC' هي دائرة صغيرة.

التطبيقات على الكرة الأرضية:

لو افترضنا أن كوكب الأرض كروي الشكل كما هو موضح في الشكل (2-1)، الدائرة العظمى DABC تسمى الاستواء الأرضي والتي تقسم الكرة الأرضية إلى نصفين شمالي وجنوبي، والقطر PoQ المحور القطبي للكرة الأرضية (وهو محور دوران الأرض حول نفسها) ويمثل P القطب الشمالي و Q القطب الجنوبي وتسمى نصف الدائرة PAQ أو PBQ بدائرة الزوال ولقد اعتبر دائرة الزوال المار في مرصد كرينتش الملكي PGQ هو دائرة الزوال الأساسي (زواله صفر)، والدائرة العظمى خلاله تقطع الكرة الأرضية نصفين نصف الكرة الغربي ونصف الكرة شرقي.

لتعين موقع أي مدينة أو نقطة مثلاً K على سطح الكرة الأرضية نحتاج أولاً إلى معرفة دائرة الطول الجغرافي لذلك الموقع ويقاس بالقياس بالقياس الاستوائي AB بين زوال كرينتش PGQ ودائرة الزوال الموقع PKQ إما غرباً أو شرق كرينتش وثانياً يجب معرفة الموقع بالنسبة لدائرة الاستواء (التي تقسم الكرة الأرضية نصفين شمالي وجنوبي) ويقاس بالزاوية Φ التي يصنعها القوس KB مع مركز الكرة الأرضية وتسمى زاوية العرض أو دائرة العرض الجغرافي (انظر الشكل 2-1).

على سبيل المثال موقع مدينة الموصل على سطح الكرة الأرضية يتحدد بدائرة الطول الجغرافي $43^{\circ} 8'$ ش (شرق كرينتش)

دائرة العرض الجغرافي $36^{\circ} 20.23'$ ش (شمال دائرة الاستواء الأرضي).

4- المثلثات الكروية:

المثلث الكروي هو المثلث الذي تتشكل أضلاعه من أقواس دوائر عظمى. ففي الشكل (3-1) المثلث ABC أضلاعه AB, BC, AC هي أقواس من دوائر عظمى مرسومة على الكرة DBA, و مركز هذه الكرة هو o, تقاس هذه الأضلاع بالدرجات بدلالة الزوايا التي تقابلها مع مركز الكرة o إذا اعتبرنا أن نصف قطر الكرة DBA يساوي 1.

الضلع a يساوي الزاوية $\angle CoB$,

الضلع b يساوي الزاوية $\angle AoC$

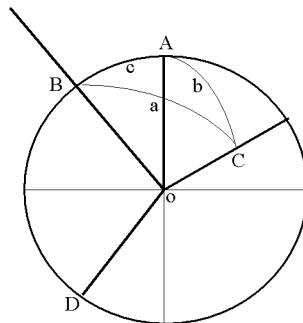
الضلع c يساوي الزاوية $\angle AoB$,

وللمثلث ثلاث زوايا كروية كل واحدة تقابل احد الأضلاع.

$A = \angle CAB$ والضلع المقابل لها a

$B = \angle CBA$ والضلع المقابل لها b

$C = \angle BCA$ والضلع المقابل لها c



الشكل (3-1) المثلث الكروي

من خواص المثلث الكروي
- مجموع أي ضلعين أكبر من الضلع الثالث
- مجموع الزوايا الثلاث للمثلث الكروي أكثر من 180 درجة
- أي زاوية منه تقل عن 180 درجة
من المعادلات الأساسية في موضوع المثلثات الكروية والتي تستخدم في الميكانيك السماوي هي
1- علاقات جيب تمام:

$$\begin{aligned}\cos(a) &= \cos(b)\cos(c) + \sin(b)\sin(c)\cos(A) \\ \cos(b) &= \cos(c)\cos(a) + \sin(a)\sin(c)\cos(B) \\ \cos(c) &= \cos(a)\cos(b) + \sin(a)\sin(b)\cos(C)\end{aligned}$$

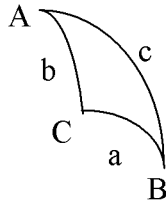
2- العلاقات الجيبية:

$$\frac{\sin(A)}{\sin(a)} = \frac{\sin(B)}{\sin(b)} = \frac{\sin(C)}{\sin(c)}$$

$$\begin{aligned}\sin a \cos B &= \cos b \sin c - \sin b \cos c \cos A \\ \cos a \cos C &= \sin a \cot b - \sin C \cot B\end{aligned}$$

3- وكذلك العلاقات التالية

مثال (1)



في المثلث الكروي ABC فإذا كان طول الضلع
c=50° والضلع b=30° والزاوية A=40° احسب طول
الضلع a

الحل:

نطبق قانون الجيب التمام للمثلثات الكروية

$$\begin{aligned}\cos(a) &= \cos(b)\cos(c) + \sin(b)\sin(c)\cos(A) \\ \cos(a) &= \cos(30^\circ)\cos(50^\circ) + \sin(30^\circ)\sin(50^\circ)\cos(40^\circ) \\ \cos(a) &= 0.55667 + 0.2462 \\ \cos(a) &= 0.80287\end{aligned}$$

$$\Rightarrow a = 36.5948^\circ$$

مثال (2)

باستخدام قوانين المثلثات الكروية احسب اتجاه مدينة مكة المكرمة بالنسبة الى مدينة الموصل اذا علمت ان الموقع الجغرافي لكل من مدينة الموصل ومكة المكرمة هي :

دائرة الطول الجغرافي λ

39.825° شرقاً

43.14689° شرقا

دائرة العرض الجغرافي ϕ

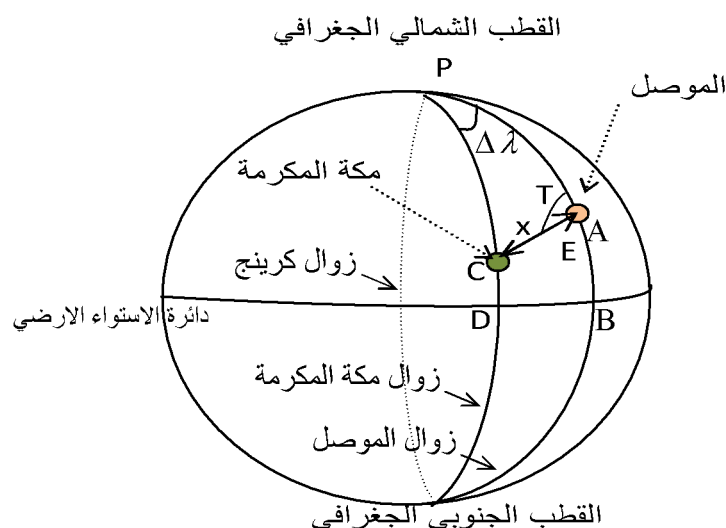
شمالا 21.421667°

شمالا 36.363216°

المدينة

مكة المكرمة

الموصل



الحل:

نرسم الكرة الأرضية ونحدد موقع مدينة مكة المكرمة والموصل بالنسبة إلى دائرة استواء الأرض وإلى دائرة

زوال کرینج کما هو مبين في الشكل اعلاه

طول القوس AB يساوي دائرة عرض الموصل

اِذن القوس PA یساوی $53.636784^\circ = 90 - 36.363216$

طول القوس CD يساوي دائرة عرض مكة المكرمة

68.578333 = 90-21.421667 PC یساوی

BD يمثل الفرق بين دوائر الطول لمدينة الموصل ومكة المكرمة ويساوي $\Delta\lambda = 3.32189^\circ$

نحسب طول الضلع x من المثلث الكروي PAC، الضلع PA معلوم، والزاوية المحصورة بين

الضلعين ٨٢

$$\cos(x) = \cos(PA)\cos(PC) + \sin(PA)\sin(PC)\cos(\Delta\lambda)$$

$$\cos(x) = \cos(53.636784)\cos(68.578333) + \sin(53.636784)\sin(68.578333)\cos(3.32189)$$

$$\cos(x) = 0.2165449 + 0.7483849 = 0.9649298 \Rightarrow x = \cos^{-1}(0.9649298) = 15.2189337^\circ$$

الان نطبق معادلة الجيب تمام على نفس المثلث الكروي لحساب الزاوية T

$$\cos(\text{PC}) = \cos(\text{PA})\cos(x) + \sin(\text{PA})\sin(x)\cos(\text{T})$$

$$\text{Cos}(68.578333)=\text{cos}(53.636784)\text{cos}(15.2189337)+$$

$$\sin(53.636784)\sin(15.2189337)\cos(T)$$

$$0.3652288=0.5721088+0.21139107 \cos(T)$$

$$\text{Cos}(T) = (0.3652288 - 0.5721088) / 0.21139107 = -0.97866$$

$$T = \cos^{-1}(-0.97866) = 168.1420544^\circ$$

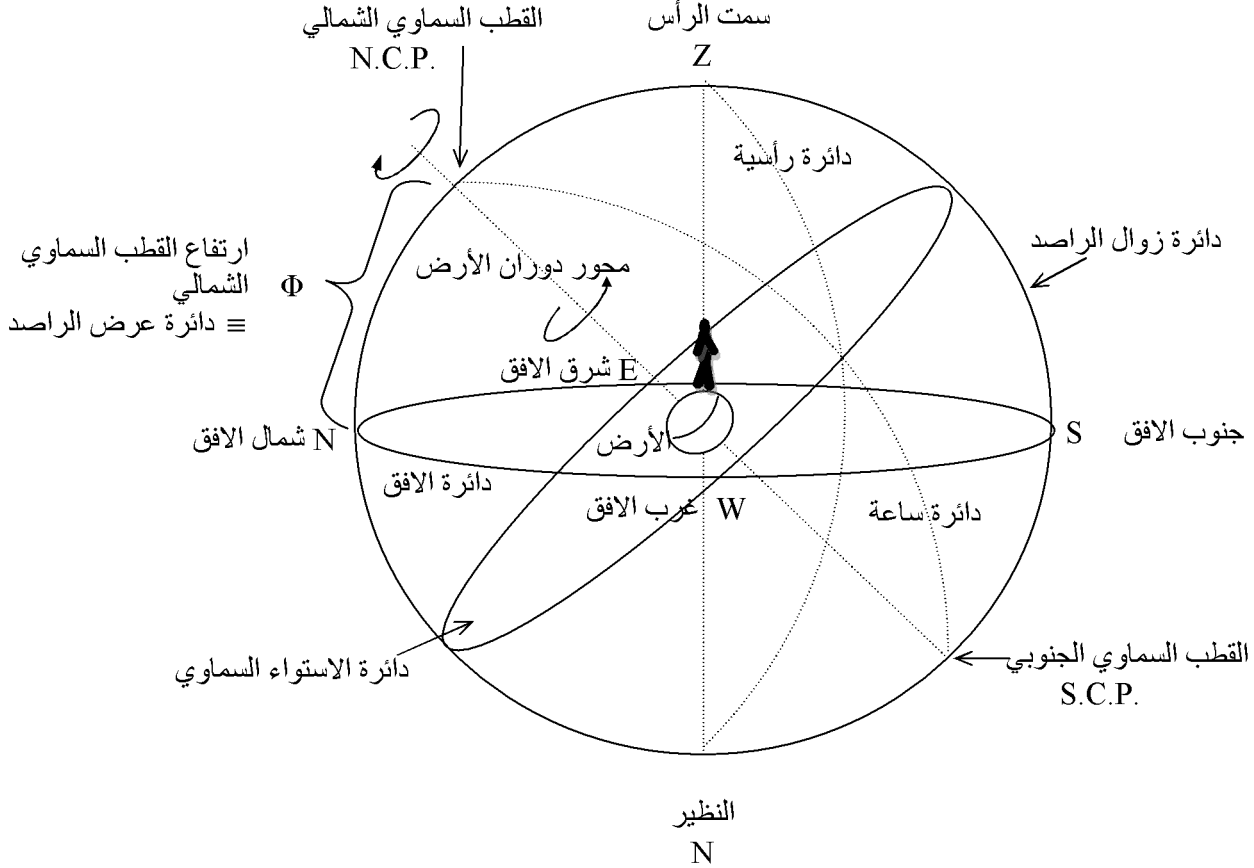
الزاوية E تساوى

$$E = 180 - 168.1420544 = 11.8579456^\circ$$

وهذه الزاوية تمثل اتجاه مدينة مكة المكرمة من نقطة الجنوب الجغرافي بالنسبة لمدينة الموصل

اما اتجاه مكة المكرمة من نقطة الشمال الجغرافي بالنسبة لمدينة الموصل يساوي $191.8579^{\circ}=180+E$

أجزاء القبة السماوية



الشكل (5-1) أجزاء القبة السماوية

أجزاء القبة السماوية:

سمت الرأس (Z) zenith

هي نقطة على القبة السماوية تقع عموديا فوق رأس الراصد .

المنظير (سمت القدم) Nadir N

هي النقطة الواقعة في النصف الجنوبي من القبة السماوية والتي تبعد عن سمت الرأس بزاوية قدرها 180 درجة (الخط الواصل بين سمت والمنظير يمر بمركز الكرة الأرضية)

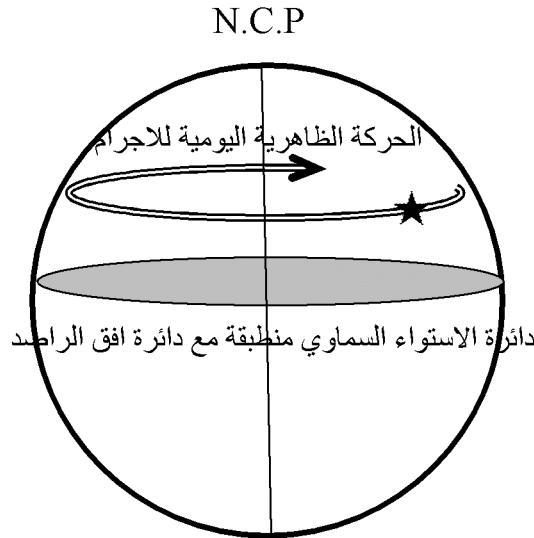
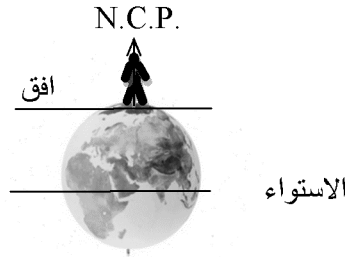
دائرة الأفق Horizon

امتداد مستوى أفق الراصد وتقاطعه مع القبة السماوية يعمل دائرة عظمى نطلق عليها دائرة الأفق هذه الدائرة تبعد 90° عن كل من سمت الرأس والمنظير. اوهي الدائرة العظمى الواقعة على سطح القبة السماوية والتي يكون قطباها سمت والمنظير، وهذا الدائرة تقسم القبة السماوية الى نصفين نصف يقع فوق افق الراصد (الجزء المرئي) والنصف الاخر يقع تحت مستوى افق الراصد.

19

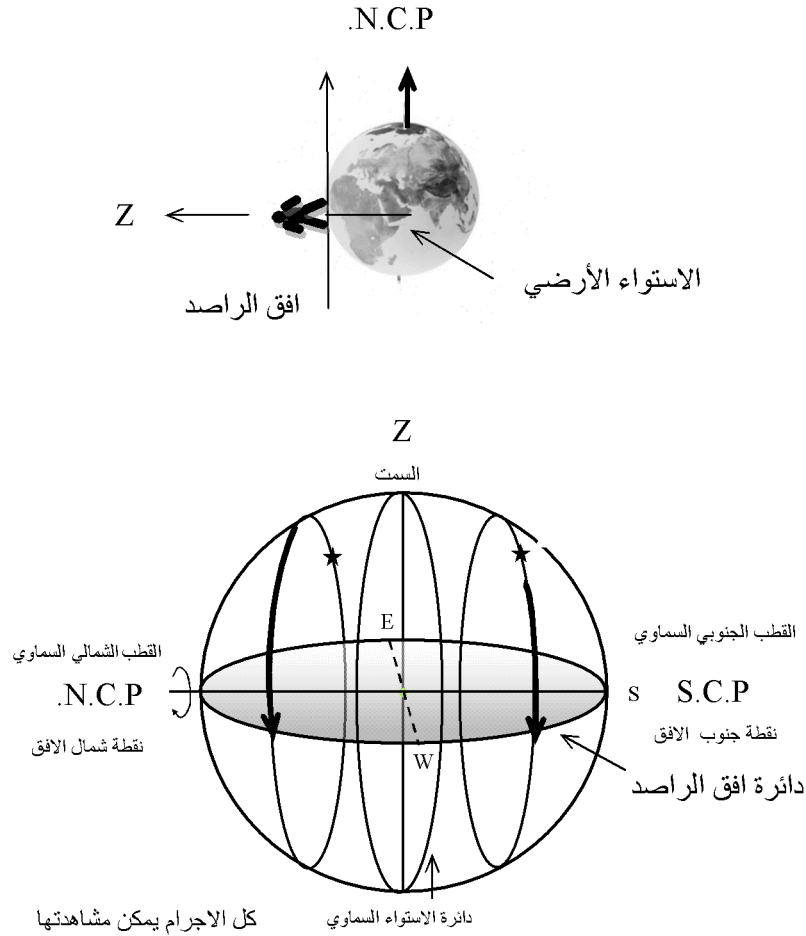
الحركة الظاهرية اليومية للقبة السماوية
الحركة الظاهرية للقبة السماوية تختلف باختلاف موقع الراصد على الكرة الأرضية والسبب هو أن أفق الراصد (المماس لسطح الكرة الأرضية عند موضع الراصد) يتغير حسب موقع الراصد على سطح الكرة الأرضية.

1- الراصد عند الأقطاب (دائرة العرض الجغرافي $\varphi = \pm 90^\circ$)
دائرة الأفق لهذا الراصد سوف تنطبق مع دائرة الاستواء السماوي للقبة السماوية لذلك فإن النجم القطبي سوف يظهر لهذا الراصد منطبقاً مع سمت أفق الراصد. أما بالنسبة لحركة القبة السماوية لهذا الراصد فستظهر الأجرام السماوية وكأنها تتحرك بدوائر توازي أفق الراصد أي أنها لا تشرق ولا تغرب الشكل (6.1-1) يوضح ذلك. المشاهد عند هذا الموضع يستطيع أن يشاهد نصف أجرام القبة السماوية، النصف الآخر من أجرام القبة السماوية سوف تقع تحت مستوي أفق الراصد.



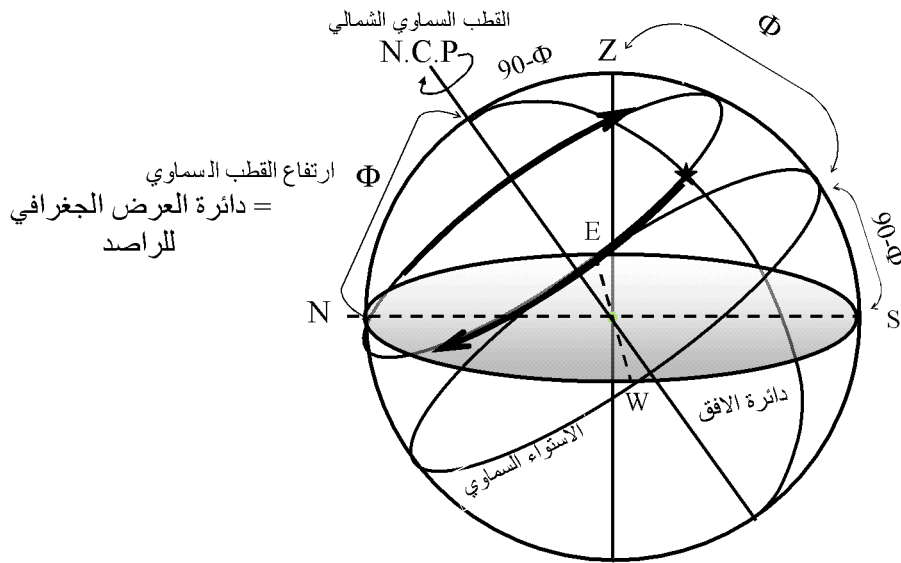
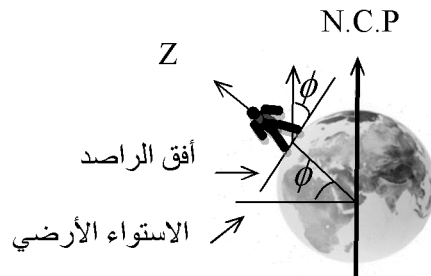
الشكل (6.1-1) القبة السماوية لمشاهد عند القطب الشمالي $\Phi = +90^\circ$
حركة الأجرام السماوية تعمل دوائر موازية لدائرة الاستواء السماوي المنطبقة مع أفق الراصد.

2- الراصد عند دائرة الاستواء الأرضي ($\phi = 0^\circ$)
دائرة أفق الراصد ستتعامد مع دائرة الاستواء الأرضي وبالتالي مع دائرة الاستواء السماوي لذلك فإن النجم القطبي سوف يقع في مستوى الأفق على امتداد شمال أفق الراصد بينما نقطة سمت الراصد سوف تقع على دائرة الاستواء السماوي. وعليه فإن الحركة الظاهرية للقبة السماوية تجعل الأجرام السماوية وكأنها تتحرك بدوائر عمودية على أفق الراصد أي أنها تشرق بصورة عمودية من جهة شرق الأفق وتغرب بشكل عمودي عند غرب الأفق. المشاهد عند هذا الموضع باستطاعته مشاهدة جميع أجرام القبة السماوية انظر الشكل(1-6.2)



الشكل(1-6.2) القبة السماوية لمشاهد عند دائرة استواء الأرضي ($\phi = 0^\circ$) الأجرام تتحرك ظاهرياً بدوائر عمودية على دائرة أفق الراصد ، القطب السماوي الشمالي يقع في مستوى أفق الراصد.

3- الراصد الذي يكون موضعه بين دائرة الاستواء الأرضي والقطبين ($0^\circ < \varphi < 90^\circ$) أن زاوية ارتفاع القطب السماوي الشمالي عن نقطة شمال دائرة الأفق تساوي زاوية العرض الجغرافي لموضع الراصد (φ) عن نقطة شمال دائرة الأفق (انظر الشكل (1-6.3)) أي أن دائرة الاستواء السماوي لهذا الموضع ترتفع بزاوية $90^\circ - \varphi$ عن نقطة جنوب الأفق وعليه فإن الحركة الظاهرية للأجرام السماوية سوف تعمل دوائر موازية لدائرة الاستواء السماوي أي أنها تشرق وتغرب بصورة مائلة. المشاهد عند هذا الموضع بإمكانه مشاهدة أكثر من نصف أجرام القبة السماوية. هناك مجموعة من النجوم القريبة من القطب السماوي الشمالي تبقى دائما فوق الأفق تدعى بنجوم circumpolar (نجوم الخسان)، ويوجد أجرام سماوية لا ترتفع فوق أفق الراصد (أي لا تشرق ولا تغرب) وموضع هذه الأجرام يكون بالقرب من القطب السماوي الجنوبي.



حركة الأجرام السماوية بالنسبة لراصد عند دائرة عرض Φ

الشكل (1-6.3) القبة السماوية لراصد عند دائرة العرض الجغرافي Φ النجم القطبي يرتفع بنفس زاوية دائرة العرض الجغرافي لموضع الراصد، الحركة الظاهرية للأجرام السماوية تعمل دوائر موازية لدائرة الاستواء السماوي

5-1 أنظمة الإحداثيات على القبة السماوية:

لتعين موضع الأجرام السماوية في السماء يستلزم أن يتوفر إحداثيان فقط وهذان الإحداثيان يختلفان من نظام إلى آخر، وفيما يلي أنظمة الإحداثيات المستخدمة في الأرصاد:-

(1) نظام الأفق Horizon system

الدائرة الأساسية لهذا النظام هي دائرة أفق المشاهد والنقاط الأساسية هي سمت الرأس ونقطة شمال الأفق.

الإحداثيان هما

(أ) الارتفاع الزاوي للجسم السماوي altitude

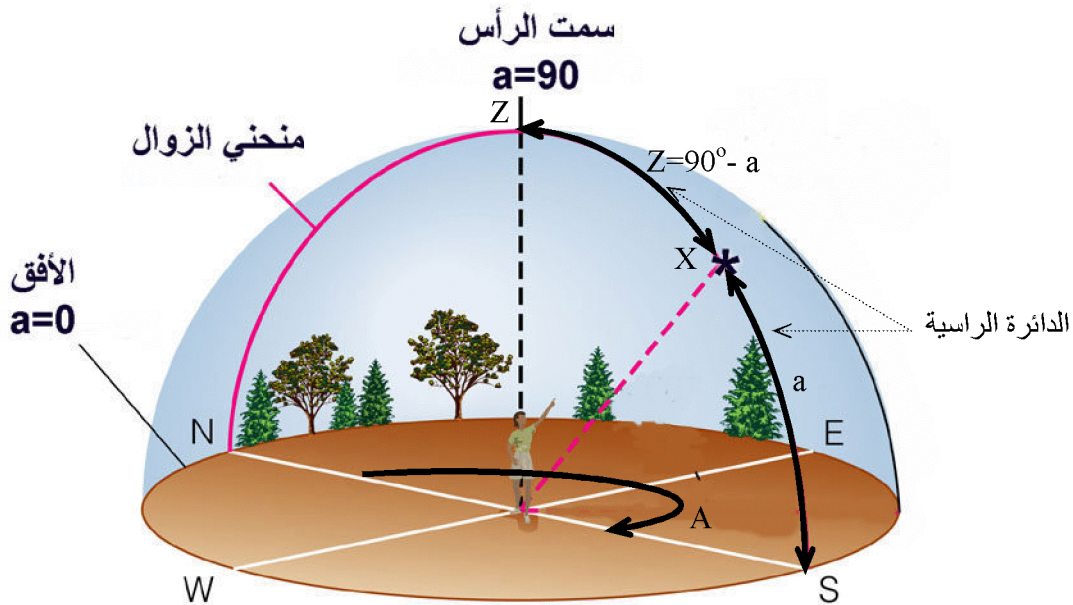
يرمز له بـ a وهو ارتفاع الجسم عن دائرة الأفق يقاس بالدرجات وأجزائها (الدقيقة القوسية، والثانية القوسية) $1^\circ \equiv 60' \equiv 3600''$ ويقاس على الدائرة الرأسية المارة بالجسم، تتغير قيم هذا الإحداثي ضمن المدى $90^\circ \geq a \geq 0^\circ$

وكبدل قد يستخدم إحداثي آخر يدعى البعد السمتي ويرمز له z ، البعد السمتي (z) هو عبارة عن البعد الزاوي للجسم عن سمت الرأس (ZX) ويساوي $z = 90^\circ - a$ لاحظ الشكل (7-1).

(ب) الاتجاه الأفقي Azimuth (A)

يرمز له بـ A ويتمثل بالإزاحة الزاوية المحصورة بين نقطة شمال الأفق والدائرة الرأسية المارة بالجسم ويقاس على دائرة أفق الراصد وباتجاه عقرب الساعة (شرقا)، يقاس بالدرجات وأجزائها وقيم هذا الإحداثي تقع ضمن المدى $0^\circ \leq A \leq 360^\circ$.

ملاحظة: هذه المجموعة من الإحداثيات تستخدم عادة في الأرصاد ولا تستخدم في عمل الجداول الفلكية لأن إحداثيات هذا النظام تتغير مع الزمن كما أنها تتغير بتغير موقع الراصد.

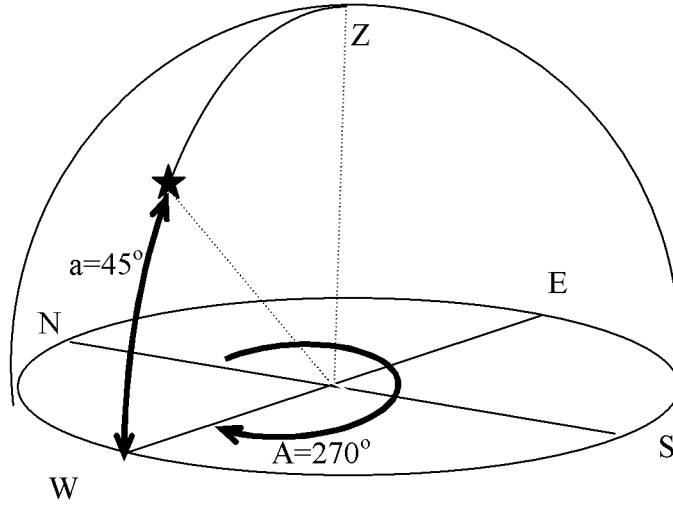


الشكل (7-1) الإحداثيات الأفقية

مثال (3)

حدد موقع جرم سماوي على القبة السماوية إحداثياته الأفقية هي: $a = 45^\circ$ ، $A = 270^\circ$
لحل هذا المثال أتبع الخطوات الآتية:

- 1- نرسم نصف قبة سماوية قاعدتها هي دائرة الافق.
- 2- نحدد موقع نقاط الاتجاه وسمت الرأس.
- 3- نحدد زاوية الاتجاه الافقي A (المعطاة في السؤال) على مستوي الافق كما مبين في الشكل
- 4- نرسم دائرة رأسية عند زاوية الاتجاه A
- 5- نحدد موقع الجرم السماوي على الدائرة الرأسية بالارتفاع الزاوي a المعطى في السؤال



(2) النظام الاستوائي Equatorial System

الدائرة الأساسية في هذا النظام هي دائرة الاستواء السماوي، والنقاط الأساسية في هذا النظام هي نقطتا القطبين السماويين الشمالي والجنوبي ونقطة الاعتدال الربيعي ويرمز لها بـ γ (وهي النقطة التي تمثل موقع الشمس على دائرة الاستواء السماوي في يوم 21 آذار).
احداثيات هذا النظام هي:

(أ) الميل (δ) Declination

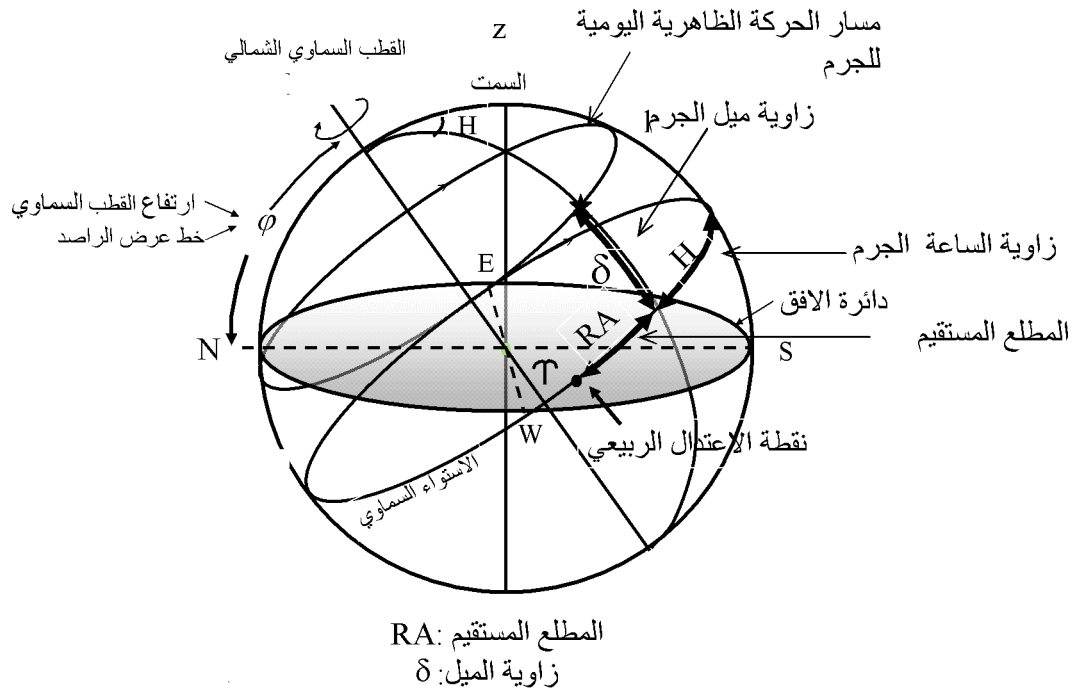
هو البعد الزاوي للجرم السماوي عن دائرة الاستواء السماوي ويقاس على دائرة الساعة المارة بالجرم السماوي ويكون الميل موجبا إذا كان الجرم يقع شمال دائرة الاستواء وساليا إذا كان موضع الجرم جنوب دائرة الاستواء. يرمز لهذا الاحداثي بـ δ ويقاس الميل بالدرجات وأجزائها وقيمها تقع ضمن المدى $-90^\circ \leq \delta \leq +90^\circ$ - انظر الشكل (8-1).

(ب) زاوية الساعة (H) Hour angle

يرمز لها بـ H وهي الإزاحة الزاوية المحصورة بين مستوي زوال الراصد ودائرة الساعة المارة بالجرم السماوي وتقاس على دائرة الاستواء السماوي، وحداتها عادة الساعة وأجزائها (الدقيقة الزمنية، والثانية الزمنية). $1^h = 60^m = 3600^s$.

(ج) المطلع المستقيم R.A. أو α Right Ascension يطلق على هذا الاحداثي بالمطلع المستقيم أو زاوية الصعود ويرمز لها بـ RA أو α وهي الإزاحة الزاوية المحصورة بين نقطة الاعتدال الربيعي ودائرة الساعة المارة بالجرم السماوي ويقاس هذا الاحداثي على دائرة الاستواء السماوي. إن وحدات المطلع المستقيم هي الساعة وأجزائها ويرتبط هذا الإحداثي بالزمن النجمي المحلي Lst يعرف الزمن النجمي المحلي بأنه زاوية الساعة لنقطة الاعتدال الربيعي أي أن $Lst = H_\gamma$ انظر الشكل (8-1) ويساوي أيضا مجموع زاوية الساعة للجرم H_* زائدا المطلع المستقيم له α_* أي أن $Lst = \alpha_* + H_*$.

خلال الحركة اليومية للسماء تبقى زاوية الميل والمطلع المستقيم لأي جرم سماوي ثابتة لا تتغير وذلك لان المسار اليومي الذي تسلكه الأجرام السماوية على القبة السماوية يتمثل بدوائر موازية لدائرة الاستواء السماوي فيحتفظ الجرم بنفس زاوية ميله خلال هذه الحركة كذلك بالنسبة للمطلع المستقيم فإن نقطة الاعتدال تتحرك مع القبة السماوية وبالتالي فإن احداثيات هذا النظام لا تتأثر بالحركة اليومية للقبة السماوية كما أنها لا تتغير بتغير موقع الراصد وعلى هذا الاساس فإن هذا النظام يستخدم في عمل الجداول الفلكية لتحديد مواضع الأجرام السماوية على القبة السماوية.

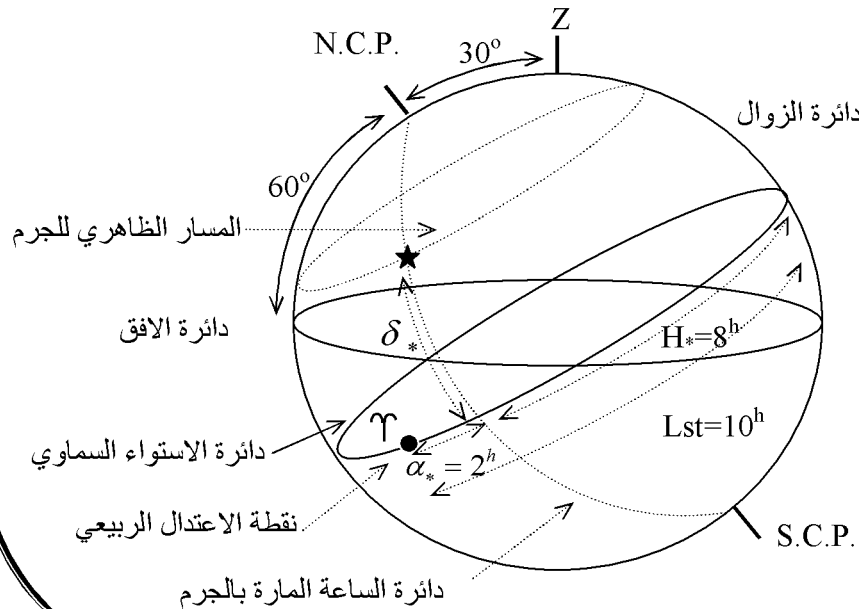


الشكل (8-1) الاحداثيات الاستوائية

مثال(4):

حدد موقع جرم سماوي على القبة السماوية إحداثياته الاستوائية هي $\delta_* = 40^\circ$: $\alpha_* = 2^h$ عند الزمن النجمي المحلي $Lst = 10^h$ لراصد عند دائرة العرض الجغرافي $\varphi = 60^\circ$ شمالاً ثم ارسم المسار الظاهري اليومي للجرم على القبة السماوية .
الحل:

- 1- نرسم القبة السماوية (والتي يمكن تمثيلها بدائرة على سطح الورقة)
- 2- نرسم دائرة افق الراصد ونحدد نقطة سمت الرأس Z
- 3- نحدد موقع N.C.P. على القبة السماوية (يرتفع بزاوية تساوي نفس دائرة العرض الجغرافي للراصد φ عن نقطة شمال الافق)، نضع الـ S.C.P. باتجاه 180° عن N.C.P.
- 4- نرسم دائرة الاستواء وهي الدائرة العظمى التي يكون قطباها N.C.P و S.C.P
- 5- نحدد موقع نقطة الاعتدال الربيعي Υ على دائرة الاستواء السماوي بزاوية ساعية تساوي الزمن النجمي المحلي Lst ($H_\gamma = Lst$)
- 6- نحدد موقع زاوية الساعة للجرم H_* على دائرة الاستواء السماوي.
- 7- نرسم دائرة الساعة H_*
- 8- نحدد موقع الجرم السماوي على دائرة الساعة بحيث يرتفع عن دائرة الاستواء السماوي بنفس زاوية ميل الجرم δ_*



(3) النظام البروجي Ecliptic system

الدائرة الأساسية في هذا النظام هي دائرة البروج وهي دائرة عظمى على القبة السماوية تمثل المسار الظاهري الذي تسلكه الشمس بالنسبة للنجوم الخلفية خلال سنة واحدة وتتقاطع مع دائرة الاستواء السماوي في نقطتين نقطة الاعتدال الربيعي ونقطة الاعتدال الخريفي وتميل عن دائرة الاستواء السماوي بزاوية $23^\circ 27'$ والنقاط الأساسية لهذا النظام هي نقطتا القطبين الشمالي والجنوبي لدائرة البروج ونقطة الاعتدال الربيعي.

إحداثيات النظام هي:

دائرة الطول السماوي (λ)

هو الإزاحة الزاوية المحصورة بين نقطة الاعتدال الربيعي ونقطة تقاطع الدائرة العظمى المارة بقطبي دائرة البروج والجرم السماوي وتقاس على دائرة البروج. وحداته الدرجة وأجزائها دائرة العرض السماوي (β)

هو البعد الزاوي للجرم السماوي عن دائرة البروج، ويقاس على الدائرة العظمى المارة بقطبي دائرة البروج والمارة بالجرم وحدات هذا الاحداثي الدرجات وأجزائها وتكون قيمتها موجبة إذا كان الجرم يقع شمال دائرة البروج وسالبة إذا كان الجرم يقع جنوب دائرة البروج. يستخدم هذا النظام عادة لمعرفة موقع الشمس (الذي يكون دائرة عرضها السماوي في هذا النظام يساوي دائما صفر) وكذلك موقع القمر والكواكب السيارة

(4) النظام المجري Galactic system

يستخدم هذا النظام لدراسة مجرتنا مجرة درب التبانة. الدائرة الأساسية في هذا النظام هي دائرة الاستواء المجري والنقاط الأساسية هي نقطتا القطبين الشمالي والجنوبي لدائرة الاستواء المجري.

إحداثيات النظام هي:

دائرة العرض المجري : هو البعد الزاوي للجرم السماوي عن دائرة الاستواء المجري، ويقاس على الدائرة العظمى المارة بقطبي دائرة الاستواء المجري والمارة بالجرم وحدات هذا الاحداثي الدرجات وأجزائها وتكون قيمتها موجبة إذا كان الجرم يقع شمال دائرة الاستواء المجري وسالبة إذا كان الجرم يقع جنوب دائرة الاستواء المجري.

دائرة الطول المجري: هو الإزاحة الزاوية المحصورة بين نقطة على دائرة الاستواء المجري (التي تمثل الاتجاه المفروض لمركز المجرة) وتقاطع الدائرة العظمى المارة بقطبي دائرة الاستواء المجري والجرم السماوي وتقاس على دائرة الاستواء المجري.

تحويل الإحداثيات الاستوائية إلى إحداثيات أفقية أو بالعكس

لتحويل الإحداثيات الاستوائية (δ, H) إلى إحداثيات أفقية (A, a) أو بالعكس تستخدم معادلات التحويل لهذين النظامين والتي يمكن اشتقاقهما من المثلث الكروي pZs المبين في الشكل (9-1)، الشكل يوضح موضع جرم سماوي s على القبة السماوية باستخدام النظام الاستوائي والنظام الأفقي حيث يمثل الضلع Zs البعد السمّي والضلّع ps يساوي $90^\circ - \delta$ أما الضلع الثالث pZ يمثل البعد بين نقطة السمّت والقطب السماوي الشمالي والذي يساوي $90^\circ - \phi$ (دائرة العرض الجغرافي للراصد)، الزاوية الكروية $pZs > A$ تساوي $360^\circ - A$ (الاتجاه الأفقي للجرم) والزاوية الكروية $Zps > H$ تساوي زاوية الساعة للجرم في تلك اللحظة.

بتطبيق قانون جيب تمام المثلثات الكروية مرتين على المثلث الكروي PsZ نحصل على معادلات التحويل من نظام الإحداثيات الاستوائية إلى الأفقية:

أولا نطبق قانون الجيب تمام على الضلع Zs

$$\cos(z) = \sin(\Phi)\sin(\delta) + \cos(\delta)\cos(\Phi)\cos(H) \dots\dots(1)$$

ثم نطبق القانون مرة ثانية على الضلع Ps

$$\sin(\delta) = \sin(\Phi)\cos(z) + \cos(\Phi)\sin(z)\cos(A)$$

و بصياغة المعادلة بالشكل التالي نحصل على المعادلة الثانية

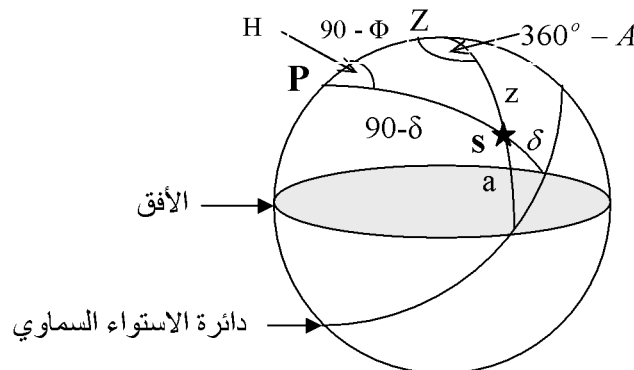
$$\Rightarrow \cos(A) = \frac{(\sin(\delta) - \sin(\phi)\cos(z))}{\cos(\phi)\sin(z)} \dots\dots(2)$$

لتحويل الإحداثيات الاستوائية إلى الأفقية نطبق المعادلتين أعلاه وبنفس التسلسل.

لتحويل الإحداثيات الأفقية إلى استوائية نطبق المعدلتين الآتيتين وبنفس التسلسل الآتي:

$$\sin(\delta) = \sin(\Phi)\cos(z) + \cos(\Phi)\sin(z)\cos(A) \dots\dots(1)$$

$$\cos(H) = \frac{(\cos(z) - \sin(\phi)\sin(\delta))}{\cos(\phi)\cos(\delta)} \dots\dots(2)$$



الشكل (9-1) يبين إحداثيات جرم سماوي في النظام الاستوائي والأفقي لراصد عند دائرة عرض جغرافي Φ ، z البعد السمّي للجرم السماوي، A زاوية الاتجاه الأفقي للجرم السماوي، δ زاوية ميل الجرم السماوي، H زاوية الساعة للجرم السماوي

لتحويل الوحدات الزمنية (ساعة، دقيقة زمنية، ثانية زمنية) الى وحدات قوسية (درجة، دقيقة قوسية، ثانية قوسية) وبالعكس نستخدم الجدول الاتي:

جدول تحويل الوحدات الزمنية إلى الوحدات القوسية او بالعكس

الوحدات القوسية ($^{\circ}$ درجة ، ' دقيقة قوسية ، " ثانية قوسية)	الوحدات الزمنية (h ساعة، m دقيقة زمنية، s ثانية زمنية)
360°	24^h
15°	1^h
1°	4^m
$15'$	1^m
$1'$	4^s
$15''$	1^s

مثال(5): حول الزاوية الساعية $20^h 45^m 30^s$ إلى الوحدات القوسية (درجة، دقيقة، وثانية قوسية).

الحل:

أولاً: تحول الثواني الزمنية الى ساعات وذلك بالقسمة على 3600 ، وتحول الدقائق الزمنية إلى ساعات بالقسمة على 60 ثم يجمع الناتج مع عدد الساعات الصحيحة

$$20^h + \left(\frac{45}{60}\right)^h + \left(\frac{30}{3600}\right)^h = 20.7583^h$$

ثانياً لتحويل الساعات إلى درجات نضرب المقدار في 15 انظر الجدول اعلاه.

$$20.7583 \text{ hour} \times 15 \frac{\text{deg}}{\text{hour}} = 311.375^{\circ}$$

الناتج يحوي على عدد صحيح من الدرجات وكسر الدرجة العدد الصحيح هو 311°

لتحويل الكسر العشري من الدرجات إلى دقائق قوسية نضرب الكسر $60 \times$

الناتج يتألف من عدد صحيح من الدقائق القوسية $22'$ وكسر الدقيقة

لتحويل الكسر العشري إلى ثواني قوسية نضرب الكسر $60 \times$

$$0.375 \times 60 = 22.5'$$

الناتج النهائي لتحويل الزاوية الساعية $20^h 45^m 30^s$ الى وحدات

قوسية هو $311^{\circ} 22' 30''$

مثال (6): تم رصد نجم ميله $\delta = 42^\circ 21' 15''$ شمالا في منطقة دائرة عرض 60°

شمالا، في وقت كانت زاوية الساعة $H = 8^h 16^m 42^s$ ، جد

1- الارتفاع الزاوي للنجم عن الأفق a

2- الاتجاه الأفقي للنجم A.

(ملاحظة: إذا كانت إشارة $\sin(H)$ موجبة فإن زاوية الاتجاه الأفقي الحقيقي هي

$$\varphi = 60^\circ \quad (A = 360 - A)$$

$$\delta = 42^\circ 21' 15'' = 42 + \frac{21}{60} + \frac{15}{3600}$$

الحل:

$$\delta = 42.354167^\circ$$

$$H = 8^h 16^m 42^s = 8 + \frac{16}{60} + \frac{42}{3600} = 8.27833^h \times 15$$

$$H = 124.175^\circ$$

من معادلات التحويل التي تربط النظامين الاستوائي والافقي نستنتج أولا قيمة z
البعد السمتي

$$\cos(z) = \sin(\Phi) \sin(\delta) + \cos(\delta) \cos(\Phi) \cos(H)$$

$$\cos(z) = \sin(60) \times \sin(42.354167) + \cos(42.354167) \times \cos(60) \times \cos(124.175)$$

$$\cos(z) = 0.3759$$

$$z = \cos^{-1}(0.3759)$$

$$z = 67.92$$

$$a = 90^\circ - z$$

$$a = 22.08^\circ$$

من معادلة التحويل الثانية نستنتج قيمة زاوية الاتجاه الأفقي A

$$\cos(A) = \frac{\sin(\delta) - \sin(\varphi) \cos(z)}{\cos(\varphi) \sin(z)}$$

$$\cos(A) = \frac{\sin(42.354167) - \sin(60) \cos(67.92)}{\cos(60) \sin(67.92)}$$

$$\cos(A) = 0.751$$

$$A = \cos^{-1}(0.751)$$

$$A = 41.28^\circ$$

$$\sin(H) > 0 \Rightarrow A = 360 - A = 318.72$$

ملاحظة: لكي تحصل على نتائج صحيحة أجري العمليات الحسابية بأخذ اربعة ارقام بعد الفاصلة لكل المعطيات اعلاه

6-1 الكوكبات النجمية Constellations

كل مجموعة من النجوم يربطها شكل معين, يسميه الفلكيون كوكبة نجمية أو تشكيلة نجمية. هذه الكوكبات تحمل أسماء حيوانات وبعضها أسماء أبطال أساطير أو أسماء أخرى, وقد ساعدت هذه التسميات في تسهيل مهمة الفلكيين الراصدين فالشكل (1-10) يبين كوكبتي الدب الكبير والدب الصغير كما تخيلها الاقدمون والشكل يبين كذلك موقع النجم القطبي بالنسبة لهاذين الكوكبتين, ومن الكوكبات النجمية المثيرة للاهتمام هي كوكبة الجبار وتدعى احيانا بالصياد وهي احدى الكوكبات النجمية التي تظهر في سماء فصل الشتاء تتألف هذه الكوكبة من اربعة نجوم واضحة تشكل فيما بينها شكلا رباعيا في وسط هذا الشكل تصطف ثلاثة نجوم على استقامة واحدة مكونة حزام الجبار النجم الواقع في الركن العلوي الايسر يدعى أبط الجوزاء Betelgeuse وهو من النجوم العملاقة قطره 400 مليون كيلومتر ويبعد عنا 250 سنة ضوئية والنجم الواقع في الركن السفلي الايمن من الشكل الرباعي يسمى رجل الجبار Rigel لاحظ الشكل (1-10 ب) قسمت نجوم القبة السماوية إلى 88 كوكبة نجمية لتغطي جميع أجزاء السماء مع تثبيت مواقعها وتنسيق الحدود المناسبة لها الشكل (1-10 ج) يوضح حدود بعض الكوكبات النجمية , وفيما يلي أهم الكوكبات النجمية التي تظهر خلال الفصول الاربعة في سماء النصف الشمالي للقبة السماوية:

كوكبات فصل الخريف :

الدلو, الفرس الأعظم, برج الحوت, المرأة المسلسلة, ذات الكرسي, فرساوس, الحمل

كوكبات فصل الشتاء:

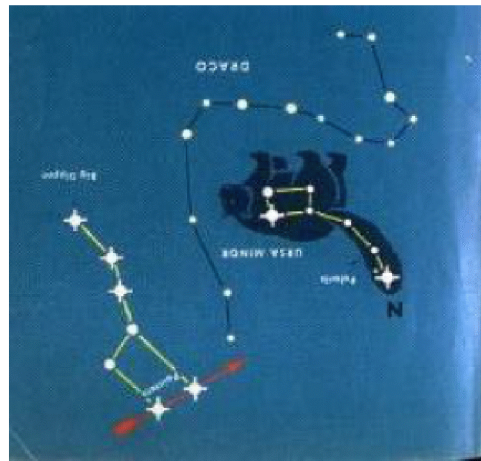
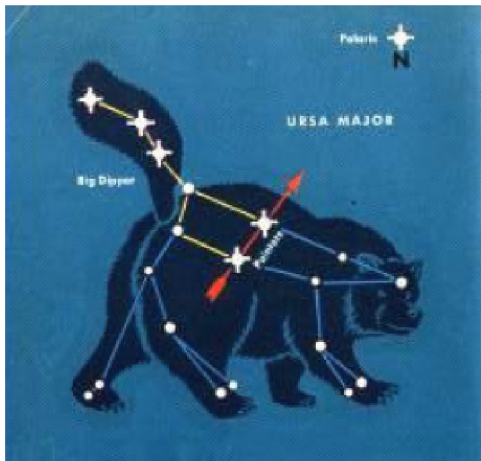
الجبار, الثور, ممسك الأعنة, الكلب الأكبر, الكلب الأصغر, الجوزاء, السرطان

كوكبات فصل الربيع:

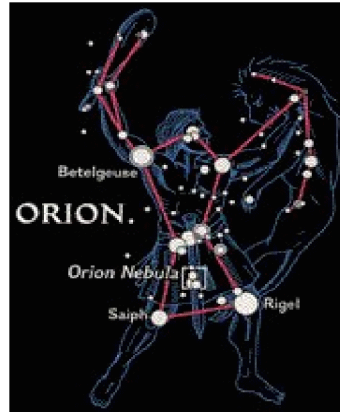
الأسد, الدب الأكبر, الدب الأصغر, العذراء, الميزان, الراعي, التاج

كوكبات فصل الصيف:

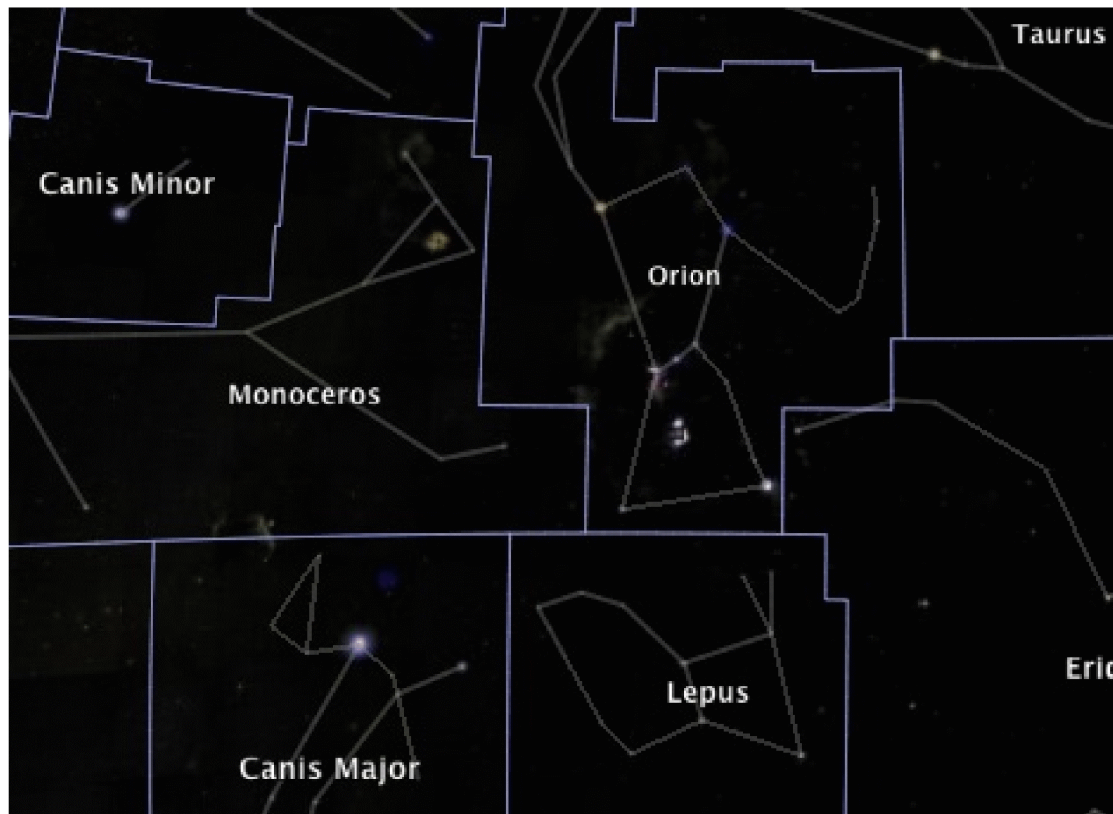
العقرب, الجاثي, الرامي (القوس), العقاب, السلياق (القيثارة), الجدي, الدجاجة الملحق (6) في الكتاب المقرر يعرض جميع أسماء الكوكبات النجمية المتفق عليها فلكيا.



الشكل (1-10أ) كوكبة الدب الكبير والدب الصغير



الشكل (10-1ب) كوكبة الجبار



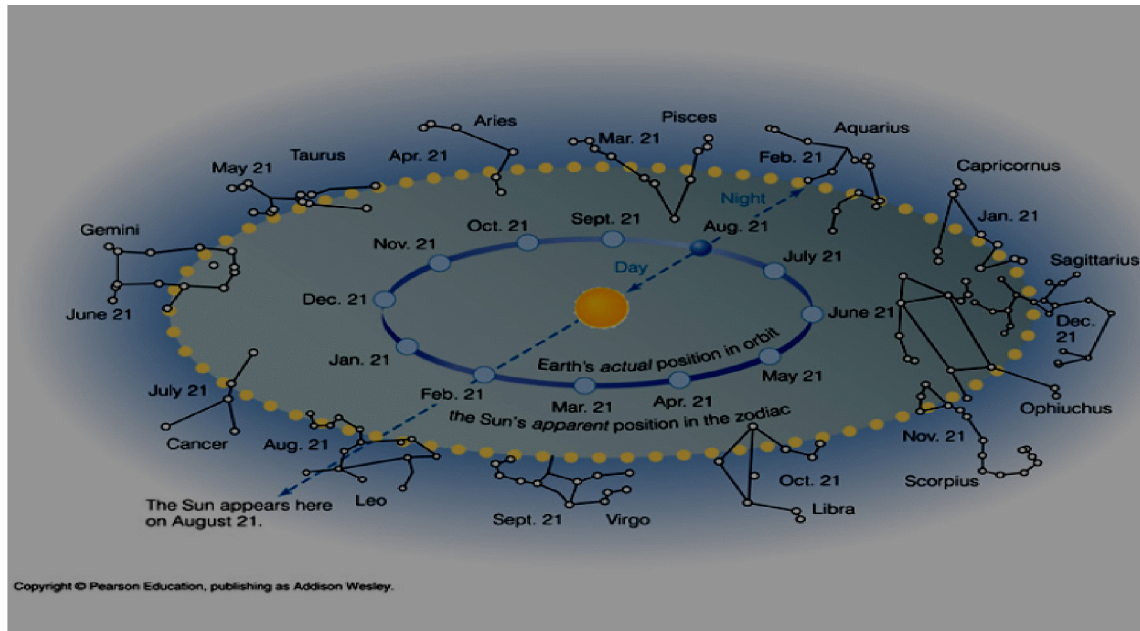
الشكل (10-1ج) حدود بعض الكوكبات النجمية
منها الجبار Orion، الكلب الصغير والكلب الكبير
Canis Major & Canis Minor، كوكبة الذئب
Lepus، وكوكبة الثور Taurus

7-1 منطقة البروج Zodiac ودائرة البروج Ecliptic أو الدائرة الكسوفية:

منطقة البروج هي النطاق أو الحزام الوهمي الذي توجد فيه الشمس وكواكبها، سمكه على القبة السماوية حوالي 18 درجة مقسم إلى اثنتي عشرة كوكبة نجمية كل كوكبة تدعى بالبرج وهي تمثل الكوكبات النجمية التي تقع خلف المسير الظاهري للشمس .

دائرة البروج أو الدائرة الكسوفية Ecliptic Circle وهي عبارة عن المسار الظاهري السنوي للشمس على القبة السماوية وتميل هذه الدائرة عن دائرة الاستواء السماوي بزاوية مقدارها $23^{\circ}27'$ وتتقاطع مع دائرة الاستواء السماوي في نقطتين نقطة الاعتدال الربيعي ونقطة الاعتدال الخريفي .

إن الأرض تدور حول الشمس دورة واحدة كل سنة، فعند انتقالها من موضع إلى آخر ، يخل إلينا وكأنما الشمس هي التي انتقلت من برج إلى آخر لاحظ الشكل (1-11). إن فترة الانتقال هذه تقارب 30 يوما وذلك كون أن الأرض تتحرك درجة واحدة في كل يوم وهذه الأبراج هي: الحمل، الثور، الجوزاء(التوأمان)، السرطان، الأسد، العذراء، الميزان، العقرب، القوس الجدي، الدلو والحوث وقد جمع هذه الأبراج في بيت من الشعر حمل الثور جوزة السرطان ورعى الليث سنبل الميزان رمى عقرب بقوس لجدي ونزح الدلو بركة الحيتان

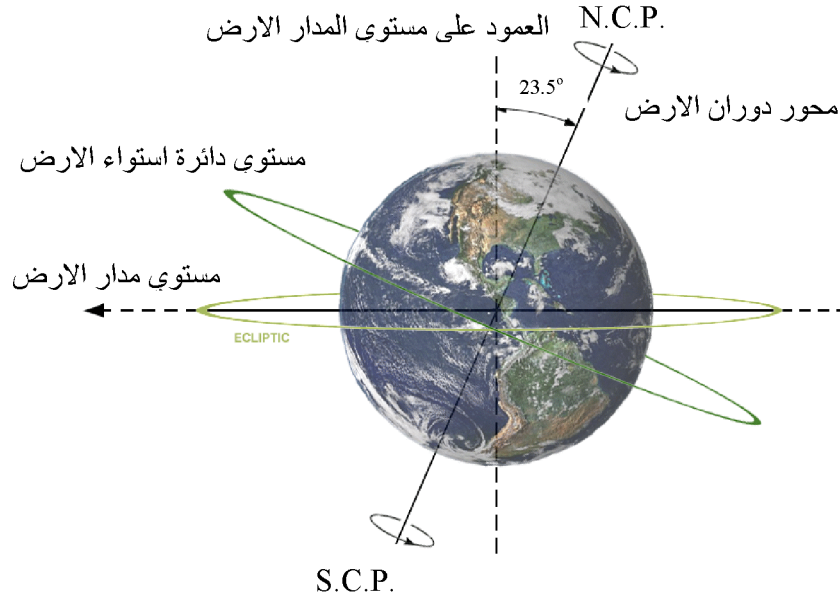


الشكل (1-11) المسار الظاهري للشمس على مدار السنة

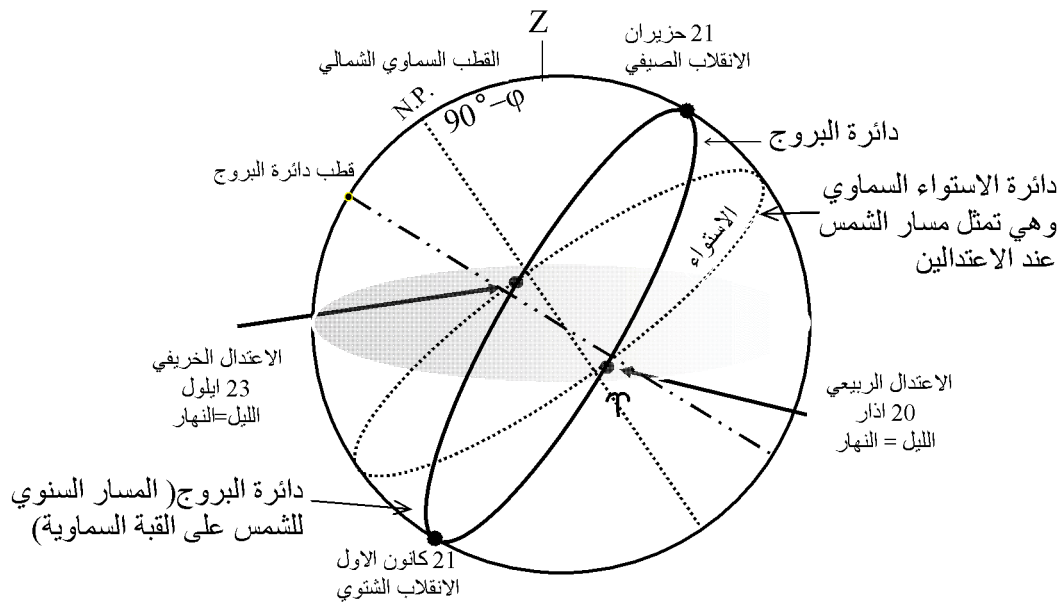
8-1 الفصول الفلكية الأربعة The Seasons

أن الفصول الفلكية الأربعة الشتاء، الربيع، الصيف والخريف ناشئة من دوران الأرض حول الشمس مرة كل عام وبسبب أن المحور الدوراني للكرة الأرضية يعمل زاوية مقدارها $23^{\circ}27'$ مع العمود المقام على المستوي الذي تدور فيه الأرض حول الشمس أي أن مستوي دوران الأرض حول الشمس يميل عن دائرة الاستواء السماوي بزاوية مقدارها $23^{\circ}27'$ انظر الشكل الاتي ، ونتيجة لهذا الميلان تبقى الشمس نصف عام تقريبا شمال دائرة الاستواء أي أن زاوية

ميل الشمس $\delta_\odot > 0$ والنصف الآخر من العام تقع الشمس جنوب دائرة الاستواء ($\delta_\odot < 0$)، لذا فإن دائرة البروج تتقاطع مع دائرة الاستواء السماوي في نقطتين نقطة الاعتدال الربيعي ونقطة الاعتدال الخريفي انظر الشكل (12-1)



الشكل يوضح ميلان محور دوران الارض بالنسبة الى مستوي مدار الارض حول الشمس



الشكل (12-1) يبين دائرة البروج ومواقع الاعتدالين والانقلابين

في 21 آذار تكون الشمس في نقطة الاعتدال الربيعي $\delta_\odot = 0$ ويكون اتجاه حركتها من أسفل دائرة الاستواء السماوي إلى أعلى دائرة الاستواء السماوي ويزداد ارتفاعها عن دائرة الاستواء

يوميًا حتى 21 حزيران لتصبح الشمس في نقطة الانقلاب الصيفي وبزاوية ميل تساوي $\delta_{\odot} = 23^{\circ}27'$ بعد هذا التاريخ تبدأ الشمس بالانخفاض التدريجي إلى أن تصل نقطة الاعتدال الخريفي على دائرة الاستواء السماوي ($\delta_{\odot} = 0$) في 23 أيلول بعد هذا التاريخ تنخفض الشمس

دون مستوي الاستواء السماوي وبشكل تدريجي لتصبح زاوية ميلها $\delta_{\odot} = -23^{\circ}27'$ في 21 كانون الأول هذا الموضع يسمى نقطة الانقلاب الشتوي بعد هذا الموضع يبدأ انخفاض الشمس بالنسبة إلى دائرة الاستواء السماوي يقل تدريجياً إلى 21 آذار لتعود الشمس إلى نقطة الاعتدال الربيعي وبهذا تكمل الشمس دورة كاملة بالنسبة إلى النجوم الخلفية، وعلى هذا الأساس قسمت دائرة البروج إلى أربعة أقسام تمثل فترات الفصول الأربعة

الربيع :

من الاعتدال الربيعي في 21 آذار-- إلى الانقلاب الصيفي في 21 حزيران

الصيف :

من الانقلاب الصيفي في 21 حزيران-- إلى الاعتدال الخريفي في 23 أيلول

الخريف :

من الاعتدال الخريفي في 23 أيلول -- إلى الانقلاب الشتوي في 21 كانون الأول

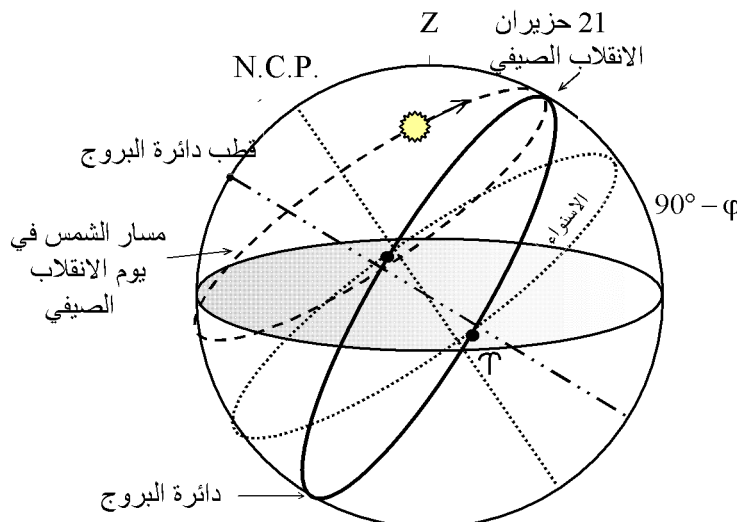
الشتاء :

من الانقلاب الشتوي في 21 كانون الأول – إلى الاعتدال الربيعي في 21 آذار.

طول فترة الليل والنهار :

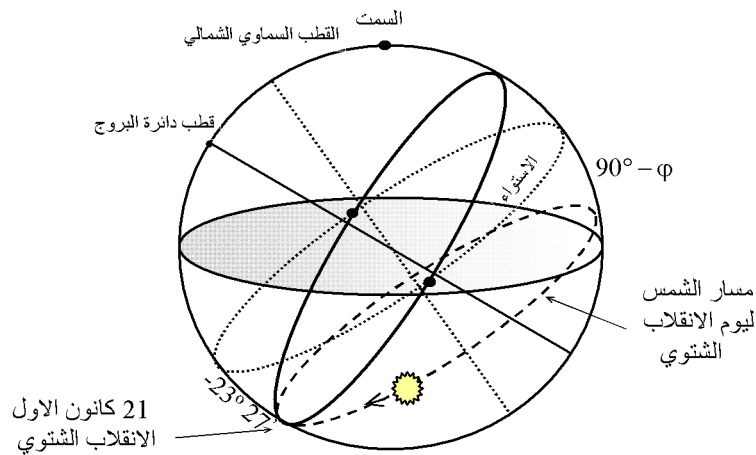
عندما تكون الشمس في نقطة الاعتدال الربيعي في 21 آذار تكون أشعة الشمس عمودية على دائرة الاستواء الأرضي وطول الليل يساوي طول فترة النهار لذلك اليوم وذلك كون أن مسار الشمس لهذا اليوم يتمثل بدائرة الاستواء السماوي نصف المسار فوق الأفق (النهار) والنصف الآخر تحت الأفق (الليل) انظر الشكل (12-1).

وباستمرار حركة الأرض في دورانها حول الشمس فإن النهار يزداد طولاً على حساب طول الليل والشمس يزداد ارتفاعها في السماء. في 21 حزيران تبلغ الشمس أقصى ارتفاع لها في السماء عند موضع الانقلاب الصيفي حيث تكون أشعة الشمس عمودية على مدار السرطان ($\Phi = 23^{\circ}27'$) ويكون النهار أطول ما يمكن والليل أقصر ما يمكن وبهذا التاريخ يبدأ فصل الصيف في النصف الشمالي للكرة الأرضية (وفصل الشتاء في النصف الجنوبي) الشكل (13-1) يبين مسار الشمس (الدائرة المنقطعة) لهذا اليوم على القبة السماوية الجزء الكبير من المسار يقع فوق دائرة الأفق (=النهار) الجزء المتبقي من المسار يقع تحت مستوى



الشكل (13-1) مسار الشمس في يوم الانقلاب الصيفي

بعد هذا التاريخ تبدأ فترة النهار بالنقصان ويأخذ الليل بالزيادة. في 21 أيلول عند الاعتدال الخريفي يتساوى طول كل من النهار والليل حيث تكون أشعة الشمس عمودية مرة أخرى على المناطق التي يمر فيها دائرة الاستواء ليبدأ بعد هذا اليوم فصل الخريف ويأخذ طول الليل بالزيادة على حساب طول النهار وتستمر هذه الحالة إلى 21 كانون الأول، حيث الانقلاب الشتوي وتكون أشعة الشمس تكون عمودية على مدار الجدي ($\Phi = -23^\circ 27'$) وطول النهار أقصر ما يمكن والليل أطول ما يمكن الشكل (1-14) يبين مسار الشمس (الدائرة المنقطعة) لهذا اليوم على القبة السماوية الجزء الكبير من المسار يقع تحت مستوى الأفق (=الليل) الجزء المتبقي من المسار يقع فوق مستوى الأفق (=النهار).

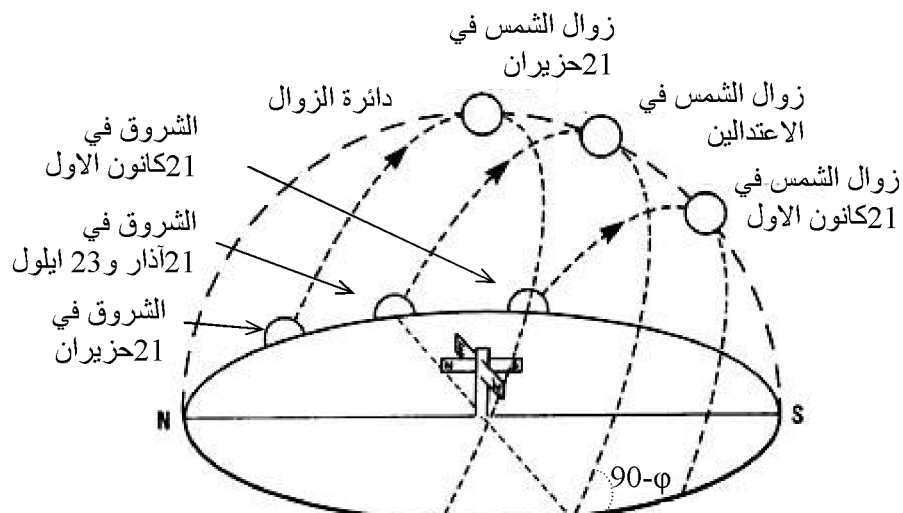


الشكل (1-14) مسار الشمس في يوم الانقلاب الشتوي

عند هذا التاريخ يبدأ فصل الشتاء في النصف الشمالي للكرة الأرضية (والصيف في النصف الجنوبي) بعد هذا التاريخ يبدأ الليل بالنقصان والنهار في الزيادة حتى 21 آذار نقطة الاعتدال الربيعي. أن موضع الانقلابين يحدد لنا ما نسماه بدائرة القطب الشمالي والجنوبي ($\Phi = \pm 66.5$)، عند الانقلاب الصيفي الشمس لا تغيب في ذلك اليوم عن دائرة القطب الشمالي شمال هذه الدائرة تزداد عدد الأيام التي لا تغيب فيها الشمس حتى أنها تستمر ستة أشهر عند القطب الشمال الجغرافي. بالنسبة إلى دائرة القطب الجنوبي ففي 21 حزيران (الانقلاب الصيفي) لا تشرق الشمس على الأماكن التي تمر بها هذه الدائرة جنوب هذه الدائرة عدد الأيام التي سوف لن تشرق فيها الشمس يزداد حتى أنها تصل إلى ستة أشهر عند القطب الجنوبي الجغرافي، عند الانقلاب الشتوي تنعكس هذه الحالة بالنسبة إلى دائرة القطب الشمالي والجنوبي.

موقع شروق وغروب الشمس:

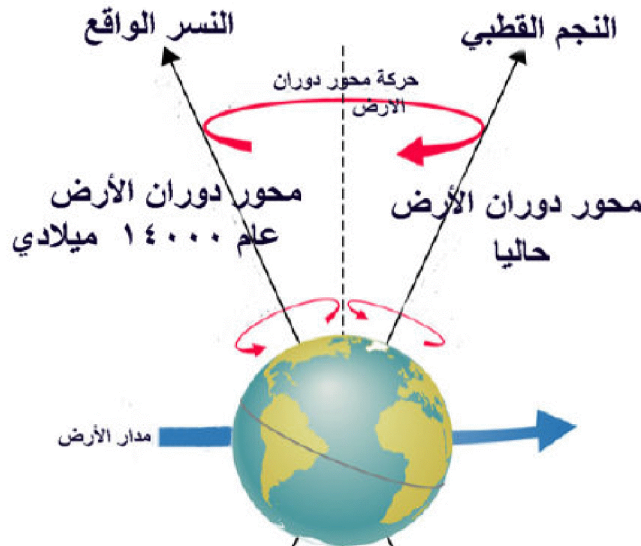
يتغير مواقع الشروق والغروب على مدار السنة ففي الاعتدال الربيعي 21 آذار تشرق الشمس من نقطة الشرق وتغرب في نقطة الغرب بعد هذا التاريخ يزحف كل من موضع الشروق والغروب إلى جهة شمال الشرق وشمال الغرب ويستمر هذا الزحف إلى 22 حزيران حيث تشرق الشمس من أقصى نقطة لها شمال الشرق وتغرب في أقصى نقطة لها شمال الغرب بعد هذا التاريخ تتراجع مواضع الشروق والغروب بالاتجاه المعاكس نحو نقطة الشرق ونقطة الغرب ففي 23 أيلول الاعتدال الخريفي تشرق الشمس من نقطة الشرق وتغرب في نقطة الغرب بعد الاعتدال الخريفي تزحف مواقع الشروق والغروب نحو جهة الجنوب ويستمر هذا التراجع إلى 21 كانون الأول (الانقلاب الشتوي) حيث تشرق الشمس من أقصى نقطة لها جنوب الشرق وتغرب في أقصى نقطة لها جنوب الغرب وهكذا تعمل مواضع الشروق والغروب دورة كاملة في السنة، عند دائرة العرض الجغرافي 40° المدى إلى تتغير فيه مواضع الشروق والغروب يمتد إلى 62 درجة تقريباً عند الاستواء يصل هذا المدى إلى 47 درجة.



9-1 الترنج والتمايد لمحور دوران الأرض Precession & Nutation

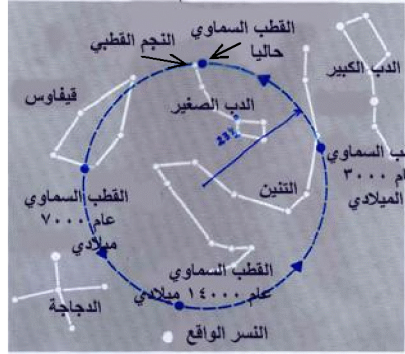
الترنج: أن اتجاه محور دوران الأرض يمتلك حركة مخروطية بطيئة في الفضاء هذا الحركة يطلق عليها بالطواف Precession هذه الحركة تجعل موقع القطب السماوي الشمالي N.C.P. يتحرك على القبة السماوية وهذه الحركة تتمثل بدائرة (قاعدة الحركة المخروطية) نصف قطرها $23^{\circ}27'$ ، مركز هذه الدائرة يمثل قطب دائرة البروج وان المدة الزمنية لإكمال هذه الدورة تعادل 25800 سنة الشكل (15-1) يوضح هذه الحركة.

سبب هذا الترنج هو أن الأرض غير كروية (مفلطحة) مما يؤدي إلى وجود تفاوت في جاذبية كل من الشمس والقمر وبقية الكواكب على الأرض وان هذه القوى تحاول جعل محورها عموديا على مستوي دائرة البروج لذلك فإن محصلة قوى الجاذبية وقوة دوران الأرض حول محورها تولد قوة عمودية على هذه التأثيرات مما يسبب ترنج لمحور دوران الأرض بحيث يجعله يتحرك حركة مخروطية بطيئة تؤدي إلى تغير بطيء لاتجاه محور دوران الأرض مع الزمن وبالتالي فإن القطب السماوي الشمالي سيغير موقعه على القبة السماوية.



الشكل (15-1) الحركة المخروطية لمحور

في الوقت الحاضر القطب السماوي الشمالي يقع على بعد اقل من درجة واحدة من النجم القطبي، في عام 14000 ميلادي سيكون موقع القطب الشمالي على بعد اقل من 5 درجة من النجم المسمى النسر الواقع. الشكل (16-1) يمثل المسار الدائري لحركة القطب السماوي الشمالي على القبة السماوية على مدى 25800 سنة.



الشكل (16-1) حركة القطب السماوي الشمالي

ونتيجة لتغير اتجاه محور دوران الأرض في السماء فإن دائرة الاستواء السماوي ستغير موقعها أيضا تبعاً لذلك فإن موقع نقطتي الاعتدال الربيعي والخريفي على القبة السماوية تتحرك بمقدار 50.26 ثانية قوسية لكل عام أي درجة واحدة كل 72 سنة تقريباً وهذا يعني أنها تكمل دورة كاملة (360 درجة) في 25800 سنة أن اتجاه هذه الحركة البطيئة يكون باتجاه الغرب ضمن دائرة البروج أي زحزحة تقهقرية ولهذا سميت هذه الحركة بتقهقر الاعتدالين. إن موقع نقطة الاعتدال الربيعي في الوقت الحاضر هو برج الحوت أي أن الموقع قد تغير عن ما كان عليه قبل 2150 سنة حيث كان موقعها في برج الحمل.

تغير اتجاه دائرة الاستواء السماوي على القبة السماوية سيؤدي إلى تغير طفيف في الاحداثيات الاستوائية للأجرام السماوية وعلى هذا الأساس يتم تصحيح الكتلوكات الخاصة بمواقع النجوم وبقية الأجرام كل خمسين سنة.

الطواف Precession تأثيره طفيف على الحياة اليومية للكرة الأرضية لكن على المدى البعيد يمكن أن يؤدي هذا الطواف إلى تغيرات مناخية واضحة ، بالنسبة لسكان نصف الكرة الأرضية الشمالي تكون الشمس في فصل الشتاء أقرب إلى الأرض (موضع الحضيض) مما هو عليه في فصل الصيف بعد 13000 سنة سيكون موقع الأرض في موقع الاوج عند فصل الشتاء وهذا مما سيجعل الشتاء أكثر برودة مما هو عليه الآن وقد تمر الأرض بعصر جليدي جديد.

الأبراج الفلكية :

البعض يتابعون ما يكتب عن الأبراج في الصحف والمجلات وذلك بسبب ارتباط الأبراج بتاريخ ميلادهم فالبرج الذي تقع فيه الشمس عند الولادة يقترن هذا البرج بالمولود فمثلاً إذا كان ميلاد شخص ما في 1 تموز فإن برجه حسب ما تدعيه الصحف والمجلات هو برج السرطان كون أن تاريخ ميلاده يقع بين 22 حزيران و22 تموز والشمس في هذه الفترة تقع في برج السرطان على أية حال هناك مشكلة وهي عندما ننظر إلى السماء في 1 تموز قبل شروق الشمس أو بعد غروبها نلاحظ الكوكبة النجمية التي تتواجد فيها الشمس هي برج الجوزاء وليس السرطان عودة إلى الصحف والمجلات فإن برج الجوزاء هو للمواليد الفترة من 22 أيار إلى 21 حزيران. لماذا هذا الاختلاف؟؟ السبب هو أن المنجمين يتعاملون مع القبة السماوية وأجزائها كما هي عليها قبل 2150 سنة عندما كانت نقطة الاعتدال الربيعي تقع في بداية برج الحمل ، الآن نقطة الاعتدال قد تراجع موقعها بمقدار برج كامل حيث أن موقعها الآن في برج الحوت وهكذا بالنسبة إلى

التمايد:

وهي حركة ثانوية لمحور دوران الأرض وهي ناتجة عن الجاذبية الصادرة من القمر نتيجة ميله البسيط (5 درجات) على مستوي مدار الأرض حول الشمس ونتيجة لهذه الجاذبية ورد فعل الأرض المقاومة لها يحدث تذبذب بسيط في مسير حركة محور دوران الأرض مدته 19 سنة، هذه الحركة لها علاقة وثيقة بدورة عقدي القمر الصاعدة والنازلة على دائرة البروج.

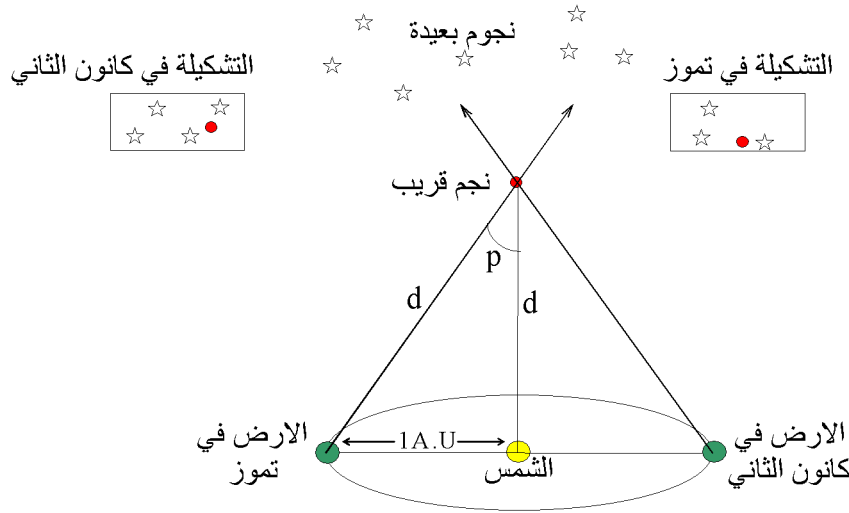
10-1 وحدات القياس الفلكية:

1-الوحدة الفلكية Astronomical Unit يرمز لها اختصارا (A.U) وهي معدل المسافة بين مركزي الشمس والأرض وتعادل 149.598 مليون كم. مدار الأرض حول الشمس هو مدار بيضوي ذات اختلاف مركزي صغير ($e = 0.017$) تبعد الأرض عن الشمس عند الحضيض 147.097 مليون كيلومتر بينما تكون المسافة عند الاوج 152.086 مليون كيلومتر لذلك فإن معدل البعد بين الأرض والشمس يساوي وحدة فلكية واحدة.

2-السنة الضوئية Light Year يرمز لها اختصارا (L.Y) وهي المسافة التي يقطعها الضوء في الفراغ خلال سنة واحدة . لحساب مقدار السنة الضوئية نطبق العلاقة الاتية
المسافة= السرعة x الزمن
السرعة هي سرعة الضوء وتساوي 300000 كم/ثانية ،
أما الزمن فهو سنة واحدة وبوحدات الثانية الزمنية السنة تساوي $60 \times 60 \times 24 \times 365$
$$L.Y = c \times t$$
$$L.Y = 300000 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60$$
$$L.Y = 9.45 \times 10^{12} \text{ Km}$$

3-الفرسخ الفلكي (البارسكس) Parsec ويرمز له اختصارا (P_c) وهي وحدة قياس فلكية لقياس مسافات الأجرام السماوية البعيدة وهي تعادل 3.26 سنة ضوئية
اللوص (اختلاف المنظر) Parallax
هو تغير موقع نجم ما بالنسبة إلى النجوم البعيدة كنتيجة لدوران الأرض حول الشمس يسمى هذا التغير باختلاف المنظر "p" وتقاس بالثواني القوسية. كلما كان الجرم السماوي اقرب كلما كانت زاوية اللوص اكبر ويمكن استخدام اللوص في قياس بعد النجوم القريبة من الأرض.

في الشكل (1-17) يحدد موقعين لراصد على مدار الأرض والمدة بينهما نصف عام وان قياس الزاوية "p" يعتمد على البعد بين الأرض والشمس (1A.U)



الشكل (1-17) اختلاف زاوية المنظر

من الشكل (1-17) يمكن استخراج بعد النجم (d) بدلالة زاوية اختلاف المنظر "p" التي يمتلكها النجم وذلك باستخدام العلاقة المعروفة (طول القوس = نصف القطر x الزاوية النصف قطرية التي تقابلها)، إذا اعتبرنا أن المسافة بين الأرض والشمس (1 AU) جزء من قوس دائرة نصف قطرها d (بعد النجم) والزاوية التي تقابل هذا القوس هي زاوية اختلاف المنظر "p" أي أن

$$1 AU = d \times p'' \times \frac{2\pi}{360 \times 60 \times 60}$$

$$d = \frac{360^\circ \times 60' \times 60'' / 2\pi}{p''} AU$$

$$d = \frac{206265}{p''} AU$$

هذه المعادلة تمثل بعد النجم d بالوحدات الفلكية

$$d = \frac{206265 \times 149.598 \times 10^6 km}{9.45 \times 10^{12} km} \frac{1}{p''} LY$$

لايجاد البعد بوحدات السنة الضوئية
نضرب بسط العلاقة السابقة بقيمة الوحدة الفلكية ثم
يقسم الناتج على مسافة السنة الضوئية

لذلك فإن بعد النجم d بالسنوات الضوئية

$$\Rightarrow d = \frac{3.26}{p''} LY$$

$$d = \frac{1}{p''} P_c$$

بعد النجم d بالفرسخ الفلكي (بارسكس)
يساوي مقلوب زاوية اختلاف المنظر التي يعملها ذلك النجم

وعلى ضوء العلاقة الأخيرة يمكن تعريف الفرسخ الفلكي (البارسكس) على انه المسافة التي يعمل فيها النجم زاوية اختلاف منظر قدرها ثانية قوسية واحدة ($P'' = 1$)

$$d = \frac{1}{1''} = 1 \text{ Pc}$$

$$d = \frac{3.26}{1''} = 32.6 \text{ LY} \quad \text{لذلك فإن الفرسخ الفلكي (البارسكس) Pc يساوي 3.26 LY}$$

$$d = \frac{206265}{1''} = 206265 \text{ AU} \quad \text{ويساوي 206265 وحدة فلكية}$$

مثال(7): وجد أن زاوية اختلاف المنظر لنجم معين هي 0.1 ثانية قوسية، فما بعد النجم بالوحدات التالية:

أ. الوحدة الفلكية

ب. السنة الضوئية

ج. الفرسخ الفلكي (البارسكس)

الحل:

أ) من العلاقة الآتية نجد البعد d بالوحدة الفلكية

$$d = \frac{206265}{P''} \text{ AU} \longrightarrow d = \frac{206265}{0.1} \text{ AU} \implies d = 2062650 \text{ AU}$$

ب) البعد d بوحدات السنين الضوئية نستخدم العلاقة الآتية

$$d = \frac{3.26}{P''} \text{ LY} \longrightarrow d = \frac{3.26}{0.1} \text{ LY}$$

ج) بعد النجم d بوحدات الفرسخ الفلكي (البارسكس) نطبق العلاقة الآتية

$$d = \frac{1}{P''} = \frac{1}{0.1} \text{ Pc} \longrightarrow d = 10 \text{ Pc}$$

اسئلة قصيرة

اختر الجواب الصحيح لكل مما يأتي:

- (1) في يوم 21 حزيران المسار الظاهري لحركة الشمس في السماء يتمثل بدائرة توازي دائرة الاستواء السماوي زاوية ميلها δ تساوي (أ) $23^\circ 27'$ (ب) $23^\circ 27' -$ (ج) صفر
- (2) المطلع المستقيم هو الإزاحة الزاوية المحصورة بين نقطة الاعتدال الربيعي ودائرة الساعة المارة بالجرم السماوي وتقاس على دائرة (أ) الأفق (ب) البروج (ج) الاستواء السماوي
- (3) أشعة الشمس تكون عمودية على منطقة الاستواء في (أ) الاعتدال الربيعي والخريفي (ب) الانقلاب الصيفي (ج) الانقلاب الشتوي
- (4) التمايد هي الحركة الثانوية (التذبذبية) لمحور دوران الأرض والتي مدتها 19 سنة سببها الجاذبية الصادرة من (أ) القمر (ب) الشمس (ج) الكواكب السيارة
- (5) الدائرة العظمى التي تقسم القبة السماوية إلى نصفين شرقي وغربي يطلق عليها (أ) دائرة البروج (ب) دائرة الزوال (ج) دائرة الاستواء السماوي
- (6) الموقع الجغرافي للراصد الذي يشاهد فيه الحركة الظاهرية للأجرام السماوية في السماء تتمثل بدوائر توازي دائرة افقه هو (أ) الاستواء الأرضي (ب) القطب الشمالي أو الجنوبي الجغرافي (ج) مدار السرطان (دائرة العرض الجغرافي $\varphi = 23^\circ 27'$)

(7) الارتفاع الزاوي لجرم سماوي عن دائرة الأفق يقاس على (أ) دائرة الساعة المارة بالجرم السماوي (ب) الدائرة الرأسية المارة بالجرم السماوي (ج) دائرة الاستواء

(8) ما يعادل الدقيقة الزمنية $1''$ في الوحدات القوسية هو (أ) 15° (ب) $15'$ (ج) $15''$

(9) اليوم الذي تشرق فيه الشمس من نقطة الشرق وتغرب في نقطة الغرب هو (أ) 21 حزيران (ب) 21 كانون الأول (ج) في 21 آذار و 23 أيلول

(10) يميل مستوى دائرة البروج عن دائرة الاستواء الأرضي بزاوية مقدارها (أ) $23^\circ 27'$ (ب) $23^\circ 27'$ (ج) $23^\circ 23'$

(11) يساوي ارتفاع النجم القطبي بالنسبة لأفق المشاهد عند مدار السرطان درجة، بينما يكون 90 درجة بالنسبة للمشاهد عند:
أ- 23.5 ، مدار الجدي ب- 66.5 ، القطب الشمالي ج- 90 ، الشمالي د- 23.5 ، القطب الشمالي

(12) يرى أحمد كل النجوم تتحرك حركة أفقية، بينما يراها محمد تتحرك حركة رأسية (أي عمودية). فأين يعيش كل من أحمد ومحمد:
أ- القطب الجنوبي ومدار السرطان
السرطان
ج- القطب الجنوبي وخط الاستواء
الجنوبي
د- القطب الشمالي والقطب

(13) اكتشفت مريم أن النجم القطبي موجود تقريبا عند القطب الشمالي السماوي فيحتمل أن تساوي زاوية ميله بالدرجات:
أ- 23.5 ب- 66.5 ج- 90
(14) يحين وقت الظهر عندما:

أ- تعبر الشمس دائرة الزوال ب- يكون ظل المشاهد أقصر ما يمكن
ج- تبلغ الشمس أقصى ارتفاع لها فوق أفق المشاهد د- كل الأجابات السابقة صحيحة

(15) زاوية اختلاف المنظر لنجم ما مقدارها 0.1 ثانية قوسية. من أي كوكب ستصبح زاوية اختلاف المنظر اكبر من 0.1 ثانية قوسية (أ) الزهرة (ب) المريخ (ج) لا تتغير قيمتها فهي لا تعتمد على الكوكب (د) الاجوبة السابقة جميعها غير صحيحة

(16) يرى راصد كل النجوم تتحرك حركة أفقية، بينما يراها آخر تتحرك حركة رأسية (أي عمودية). فأين يعيش كل من هذين الراصدين:

أ- القطب الجنوبي ومدار السرطان
الجنوبي
ج- القطب الشمالي وخط الاستواء
الشمالي

(17) الشهر القمري الأتتراني الشهر القمري النجمي:

- أ- أطول من ب- أقصر من ج- مساويا الى
- (18) النجم القطبي موجود تقريبا عند القطب الشمالي السماوي لذا فإن زاوية ميله بالدرجات تساوي تقريبا: أ- 23.5 ب- 66.5 ج- 90
- (19) زاوية ميل الشمس δ عند الاعتدالين هي: (1) $23^\circ 27'$ + (2) $23^\circ 27' -$ (3) 0.0 (4) $27^\circ 23' +$
- (20) الدائرة العظمى التي تبعد 90° عن القطب السماوي الشمالي هي (أ) دائرة البروج (ب) دائرة الزوال (ج) دائرة الافق (د) دائرة الاستواء السماوي.
- (21) في أي يوم تقع الشمس في دائرة الاستواء السماوي (أ) 21 كانون الاول (ب) 21 آذار و 21 ايلول (ج) 21 حزيران (د) كل الايام
- (22) الوحدة الفلكية (AU) هي معدل (أ) المسافة بين الارض والشمس (ب) المسافة بين الارض والقمر (ج) المسافة بين القمر والشمس (د) المسافة بين الشمس واقرن نجم
- (23) عند الانقلاب الشتوي تكون أشعة الشمس عمودية على (أ) مدار السرطان (ب) دائرة الاستواء الارضي (ج) مدار الجدي (د) دائرة القطب الجنوبي
- (24) الشمس ، القمر ، والكواكب السيارة تتواجد في السماء بالقرب (أ) دائرة الزوال (ب) دائرة الاستواء السماوي (ج) دائرة الافق (د) مستوى البروج

- (25) موقع الراصد الذي يشاهد جميع اجرام القبة السماوية على مدار السنة هو في (أ) القطب الشمالي الجغرافي (ب) دائرة الاستواء الارضي (ج) دائرة العرض الجغرافي 450 (د) جميع المواقع
- (26) كل عام تقطع الشمس دائرة الاستواء السماوي من الجنوب نحو شمال دائرة الاستواء في وقت (أ) الانقلاب الصيفي (ب) الانقلاب الشتوي (ج) الاعتدال الربيعي (د) الاعتدال الخريفي
- (27) ميل دائرة استواء كوكب الارض عن مستوي مدار الارض حول الشمس يساوي (أ) 23.5 درجة (ب) 5.2 درجة (ج) 90 درجة (د) 0.553 درجة
- (28) في يوم 21 حزيران ما هي دائرة العرض الجغرافي التي لا تغيب فيها الشمس في ذلك اليوم (أ) دائرة مدار السرطان (ب) دائرة مدار الجدي (ج) دائرة القطب الشمالي الجغرافي (د) دائرة القطب الجنوبي الجغرافي
- (29) المطلع المستقيم هو (أ) الازاحة الزاوية بين نقطة الاعتدال الربيعي وزاوية الساعة المارة بالجسم السماوي (ب) الازاحة الزاوية المحصورة بين دائرة زوال الراصد والراسية المارة بالجسم (ج) الازاحة الزاوية بين مستوي زوال الراصد ومستوي موقع الجسم السماوي .

- (30) النجم الذي يمتلك زاوية اختلاف منظر قدرها $p'' = 1$ ثانية قوسية يبعد عن (أ) سنة ضوئية واحدة (ب) وحدة فلكية واحدة (ج) فرسخ فلكي واحد.

- (31) تميل دائرة الاستواء الارضي عن مستوي مدار الارض حول الشمس بزاوية مقدارها (أ) $23^\circ 27'$ (ب) 90° (ج) $5^\circ 9'$.

- (32) يرى راصد كل النجوم تتحرك حركة رأسية (أي عمودية بالنسبة الى الافق) فأين يكون موقع الراصد على سطح الكرة الارضية:
أ- القطب الجنوبي ب- القطب الشمالي ج- خط الاستواء

- (33) لكي يحدد راصد مكان النجم القطبي بدقة فعليه الاستعانة بنجوم كوكبة:
أ- الجبار ب- الكلب الأكبر ج- الدب الأكبر
- (34) يتغير منظر الكوكبات النجمية على خلفية الكرة السماوية من فصل إلى آخر أثناء العام والسبب في ذلك هو: أ- حركة النجوم الحقيقية ب- حركة الأرض حول محورها ج- حركة الأرض حول الشمس
- (35) ارتفاع النجم القطبي بالنسبة لأفق مشاهد في مدينة الموصل يساوي تقريبا:
1- 23° 2- 90° 3- 36°
- (36) في بداية فصل الصيف تشرق الشمس من جهة:
أ- الشرق ب- شمال الشرق ج- جنوب الشرق
- (37) الارتفاع الزاوي لجرم سماوي عن دائرة أفق راصد يقاس على أ- دائرة الساعة المارة بالجرم السماوي ب- الدائرة الرأسية المارة بالجرم السماوي ج- دائرة الاستواء
- (38) في أي اتجاه ننظر الى القبة السماوية لرؤية احد الكواكب السيارة (أ) دائرة الاستواء السماوي (ب) دائرة زوال الراصد (ج) دائرة البروج
- (39) اذا كنت واقفا عند خط الاستواء الارضي ففي أي اتجاه تنتظر لرؤية النجم القطبي (أ) سمت الراس (ب) شمال الافق (ج) النظيف
- (40) في يوم 22 حزيران المسار الظاهري لحركة الشمس في السماء يتمثل بدائرة توازي دائرة الاستواء السماوي زاوية ميلها تساوي (أ) 23° 27' (ب) 23° 27' - (ج) صفر
- (41) المطلع المستقيم هو الإزاحة الزاوية المحصورة بين نقطة الاعتدال الربيعي ودائرة الساعة المارة بالجرم السماوي وتقاس على دائرة (أ) الأفق (ب) البروج (ج) الاستواء السماوي
- (42) أشعة الشمس تكون عمودي على منطقة الاستواء في (أ) الاعتدال الربيعي والخريفي (ب) الانقلاب الصيفي (ج) الانقلاب الشتوي
- (43) التمايد هي الحركة الثانوية (التذبذبية) لمحور دوران الأرض والتي مدتها 19 سنة سببها الجاذبية الصادرة من (أ) القمر (ب) الشمس (ج) الكواكب السيارة
- (44) النجم الذي له زاوية منظر مقدارها 0.5 ثانية قوسيه يبعد عنا مسافة مقدارها (أ) 6.52 سنة ضوئية (ب) 2.0 سنة ضوئية (ج) 412530 سنة ضوئية
- (45) الدائرة العظمى التي تقسم القبة السماوية إلى نصفين شرقي وغربي يطلق عليها (أ) دائرة البروج (ب) دائرة الزوال (ج) دائرة الاستواء السماوي
- (46) الموقع الجغرافي الذي يشاهد فيه الراصد الحركة الظاهرية للأجرام السماوية في السماء تتمثل بدوائر توازي دائرة افقه هو (أ) الاستواء الأرضي (ب) القطب الشمالي أو الجنوبي الجغرافي (ج) مدار السرطان (خط العرض الجغرافي $\phi = 23^\circ 27'$)
- (47) الارتفاع الزاوي لجرم سماوي عن دائرة الأفق يقاس على (أ) دائرة الساعة المارة بالجرم السماوي (ب) الدائرة الرأسية المارة بالجرم السماوي (ج) دائرة الاستواء

(48) ما يعادل الدقيقة الزمنية $1''$ في الوحدات القوسية هو (أ) 15° (ب) $15'$ (ج) $15''$

- (49) اليوم الذي تشرق فيه الشمس من نقطة الشرق وتغرب في نقطة الغرب هو (أ) 22 حزيران (ب) 22 كانون الأول (ج) في 21 آذار و 23 أيلول
- (50) الدائرة العظمى التي تقسم القبة السماوية إلى نصفين شرقي وغربي يطلق عليها (أ) دائرة البروج (ب) دائرة الزوال (ج) دائرة الاستواء السماوي
- (51) الارتفاع الزاوي لجرم سماوي عن دائرة الأفق يقاس على دائرة (أ) الساعة المارة بالجرم السماوي (ب) الاستواء (ج) الرأسية المارة بالجرم السماوي
- (52) يميل مستوى دائرة البروج عن دائرة الاستواء الأرضي بزاوية مقدارها (أ) $23^\circ 27'$ (ب) $23^\circ 27'$ (ج) $23^\circ 23'$

اسئلة الفصل الأول

- س1: ماهي اسهامات البابليين في علم الفلك؟
- س2: ماهي اسهامات العرب المسلمين في علم الفلك؟
- س3: ماهي نظرية كوبرنيكوس ؟ ولماذا لم تلقى التأييد انذاك؟
- س4: اذكر نص قوانين كبلر.
- س5: عرف كل ممايأتي:
- دائرة زوال الراصد، الدائرة الرأسية، زاوية الساعة، الكوكبات النجمية، نقطة الانقلاب الصيفي، السنة الضوئية، المزوالة الشمسية، الترنج، البعد السمتي.
- س6: حول الدرجة القوسية 60.7 الى وحدات زمنية (ساعة، دقيقة زمنية، ثانية زمنية).
- س7: اكتب معادلات التحويل من الاحداثيات الاستوائية الى الاحداثيات الافقية.
- س8: متى تكون زاوية الساعة لنجم ما تساوي صفر.
- س9: تكلم عن الحركة الظاهرية اليومية للقبة السماوية بالنسبة لراصد عند القطب الشمالي الجغرافي.
- س10: ما علاقة موقع القطب السماوي الشمالي بموضع الراصد على سطح الكرة الأرضية؟
- س11: ما الفرق بين دائرة البروج ومنطقة البروج.
- س12: لماذا يكون طول النهار في الصيف اطول مما هو في فصل الشتاء وضح اجابتك بالرسم.
- س13: ارسم القبة السماوية لراصد عند الخط العرض الجغرافي φ شمالا موضحا عليها دائرة الاستواء السماوي ودائرة البروج ومسار الشمس عند الاعتدالين والانقلابين
- س14: في يوم 21 آذار موضع الشمس على دائرة البروج يكون عند نقطة الاعتدال الربيعي ما تأثير هذا الموضع على (أ) طول فترة الليل والنهار (ب) موضع الشروق والغروب (ج) تعامد أشعة الشمس مع سطح الكرة الأرضية.

س15: احسب قيمة السنة الضوئية، الدقيقة الضوئية والساعة الضوئية.

$$d(A.U) = \frac{206265}{p''}$$

س16: ماذا تعبر العلاقة الرياضية الآتية

س17: ارسم الكرة الكونية لراصد عند دائرة العرض الجغرافي 36 شمالاً وعند الزمن النجمي المحلي 9h في يوم 22 حزيران ضع دائرة الأفق , دائرة الاستواء السماوي, نقاط الاتجاه وموقع الشمس على القبة السماوي إذا علمت أن الشمس في ذلك اليوم لها زاوية ميل 23°27' والمطلع المستقيم يساوي 6h.

س18 : المسافة السمتية لنجم قريب من القطب عند أعلى وأوطأ نقطة على دائرة زوال الراصد هي 13°16' و 47°18'26" احسب دائرة عرض الراصد وزاوية ميل النجم.

س19: احسب زاوية الساعة لنجم المطلع المستقيم له هو 15h 23m 10s إذا علمت بان الزمن النجمي المحلي هو 18h 40m 20s ؟

س20: احسب أعلى ارتفاع عن الأفق يمكن أن تصله الشمس على دائرة زوال راصد في مدينة الموصل (Φ=36.6) عند ظهر يوم 12 حزيران. كذلك احسب أوطأ ارتفاع عن الأفق في ظهيرة يوم 21 كانون الأول .

س21: احسب زاوية الاتجاه الأفقي (A) للشمس عند غروبها في يوم 2003/11/24 في مدينة الموصل (دائرة العرض الجغرافي Φ=36.33) علماً بان الإحداثيات الاستوائية للشمس عند الغروب لذلك اليوم هي المطلع المستقيم 15h59m26s , زاوية الميل 20°28'14" - عندما كان الزمن النجمي المحلي 20h 58m (ملاحظة: إذا كانت إشارة sin(H) موجبة فإن زاوية الاتجاه الأفقي الحقيقي هي (A=360-A)

س21: احسب زاوية الاتجاه الأفقي (A) لموقع الهلال (القمر الوليد) عند غروبه في يوم 2003/11/24 في مدينة الموصل علماً بان الإحداثيات الاستوائية للقمر عند الغروب لذلك اليوم هي المطلع المستقيم 16h32m48s , زاوية الميل 24°30'47" - عندما كان الزمن النجمي المحلي 21h14m22s

(ملاحظة: إذا كانت إشارة sin(H) موجبة فإن زاوية الاتجاه الأفقي الحقيقي هي (A=360-A) س22: اثبت أن الزمن الذي يستغرقه القطب السماوي الشمالي ليكمل دورة كاملة حول مركز قطب دائرة البروج هو 25800 سنة، وما معدل ما تقطعه نقطة الاعتدال بين برج وآخر في دائرة البروج؟ (ملاحظة: سرعة تفهقر الاعتدالين هو 50.26 ثانية قوسية لكل سنة.

س23: زاوية الميل لنجم ما δ = 33°23'08" هي فإذا رصد هذا النجم عند خط العرض الجغرافي 40 درجة شمالاً ووجد له زاوية ساعية تساوي H = 6h38m21s فما هو الارتفاع الزاوي للنجم عن الأفق وما مقدار زاوية الاتجاه الأفقي له.

س24: ارسم القبة السماوية لراصد عند دائرة العرض الجغرافي لمدينة الموصل (36° درجة شمالاً) موضحاً عليها دائرة أفق الراصد، دائرة الاستواء السماوي ودائرة البروج عند الزمن النجمي المحلي 6h ثم عين موضع الشمس على القبة السماوية ليوم 21 آذار (إذا علمت أن الإحداثيات الاستوائية للشمس في ذلك اليوم هي: زاوية الميل تساوي δ_☉ = 0° والمطلع المستقيم لها يساوي α_☉ = 0h)

س25: اشرح طريقة زاوية اختلاف المنظر في حساب بعد النجوم القريبة ثم اشتق العلاقة الرياضية التي تمثل بعد النجم بدلالة الوحدات الفلكية؟

- س26: في أي يوم من أيام السنة يكون موقع الشمس على القبة السماوية في نقطة الانقلاب الشتوي؟ ما مقدار زاوية ميل الشمس في هذا الوضع؟ ما هي دائرة العرض الجغرافي التي تكون فيها الشمس لذلك اليوم فوق سمت الرأس؟ ما هي المواضع التقريبية لشرق وغروب الشمس في ذلك اليوم؟ ما تأثير هذا الموقع على طول فترة الليل والنهار لراصد موقعه الجغرافي بين القطب الشمالي الجغرافي وخط الاستواء.
- س27: تكلم عن فصل الربيع موضحا مواضع الشمس على دائرة البروج خلال هذا الفصل وتأثير ذلك على (أ) زاوية ميل الشمس ، (ب) طول فترة النهار، (ج) مواضع شروق وغروب الشمس، (د) تعامد اشعة الشمس على سطح الكرة الأرضية
- س28 : ما تأثير ترنح محور دوران الأرض على نقاط الاعتدال الربيعي والخريفي اشرح ذلك

س29: ما الفرق بين دائرة البروج ومنطقة البروج اشرح ذلك؟

س30 : اشرح بالتفصيل نظام الاحداثي الافقي

س31 : ماذا نقصد بالدقيقة الضوئية؟ احسب قيمتها.

س32 : ماهي المزولة، عدد انواعها

س33: علل كل مما يأتي:

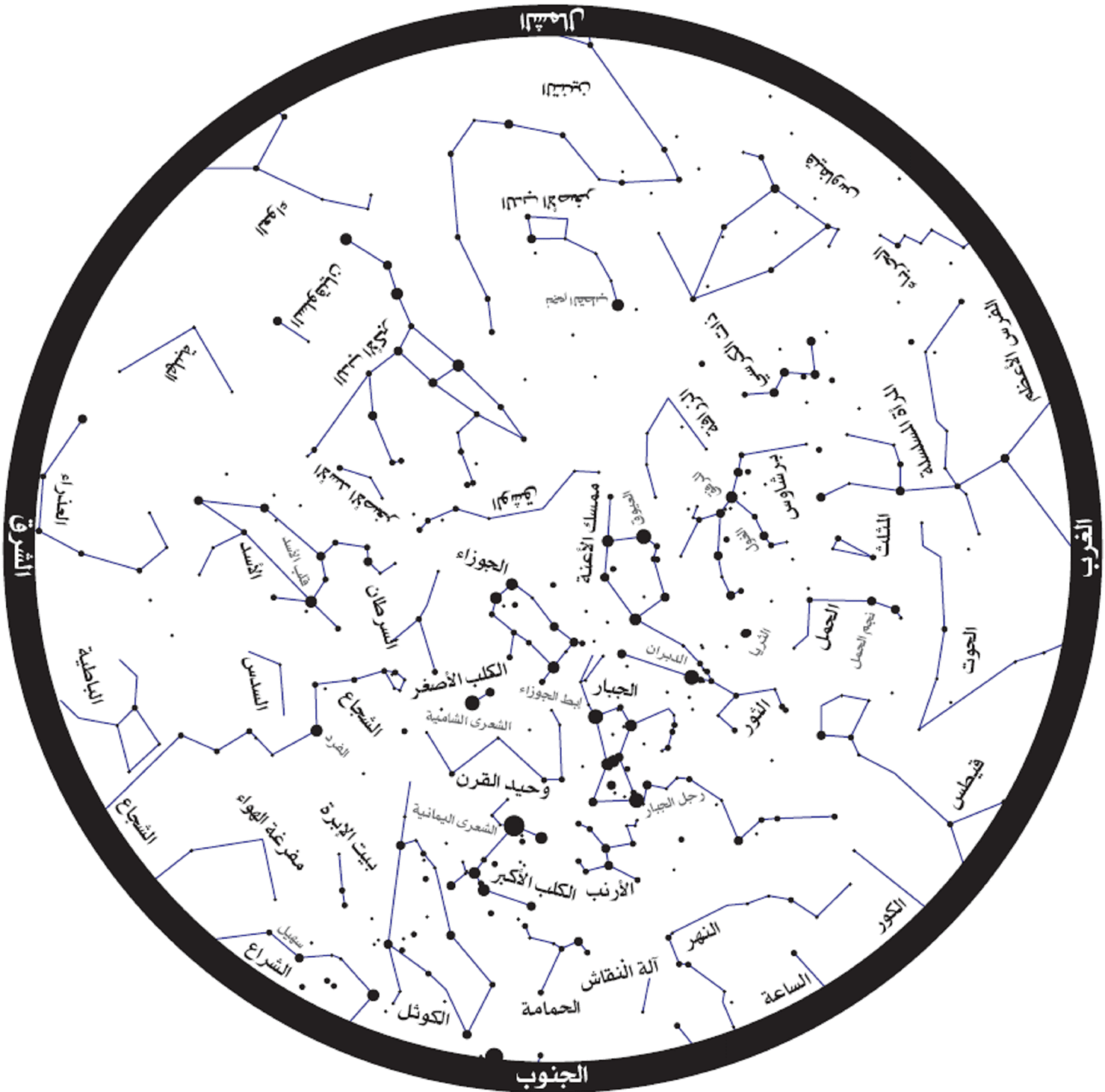
أ) حركة الاجرام السماوية من الشرق الى الغرب

ب) اهتمام العرب المسلمين بعلم الفلك

خارطة الكوكبات النجمية

تظهر صورة هذه الخرائط عند الساعة الثانية عشرة ليلاً من منتصف شهر كل شهر فإذا رغبت بمشاهدة السماء في الساعات الأولى من الليل فستحتاج إلى خرائط الأشهر القليلة السابقة أما إذا أردت المشاهدة في الساعات الأخيرة فستحتاج إلى خرائط الأشهر القليلة التالية. لكي تتطابق المشاهدة مع الخريطة انظر إلى الأفق الجنوبي ثم ارفع الخارطة عالياً فوق رأسك بحث تنطبق جهة الجنوب للخارطة مع اتجاه الجنوب عند خط الأفق بإمكانك الآن التعرف على أسماء الكوكبات النجمية والنجوم بدأً بالنجوم الساطعة.

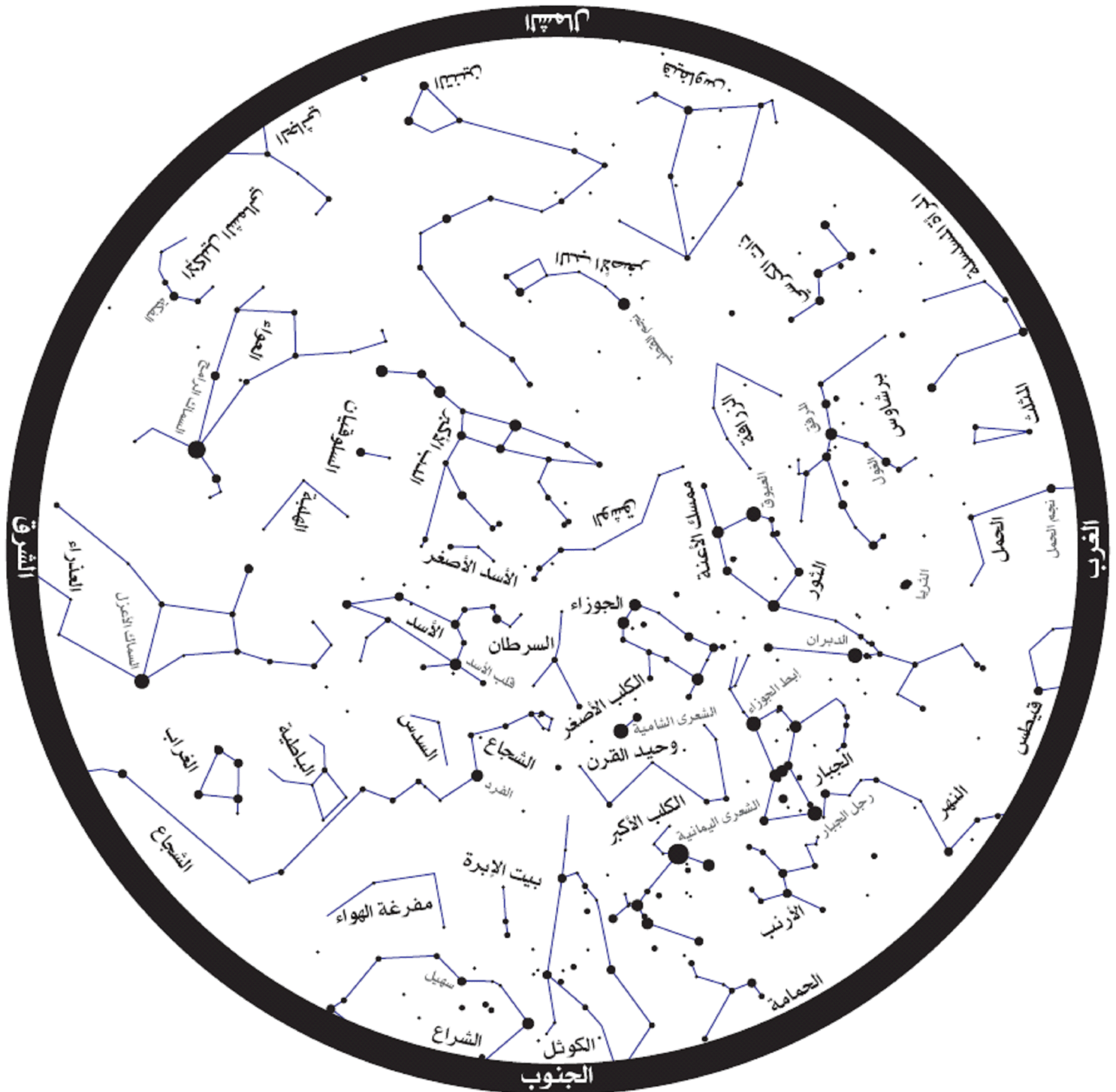
سماء شهر كانون الثاني



www.saaa-sy.org

Modified from: Redshift 4. Copyright © 1994-2000 Maris Multimedia, Ltd. and its licensors. All rights reserved.

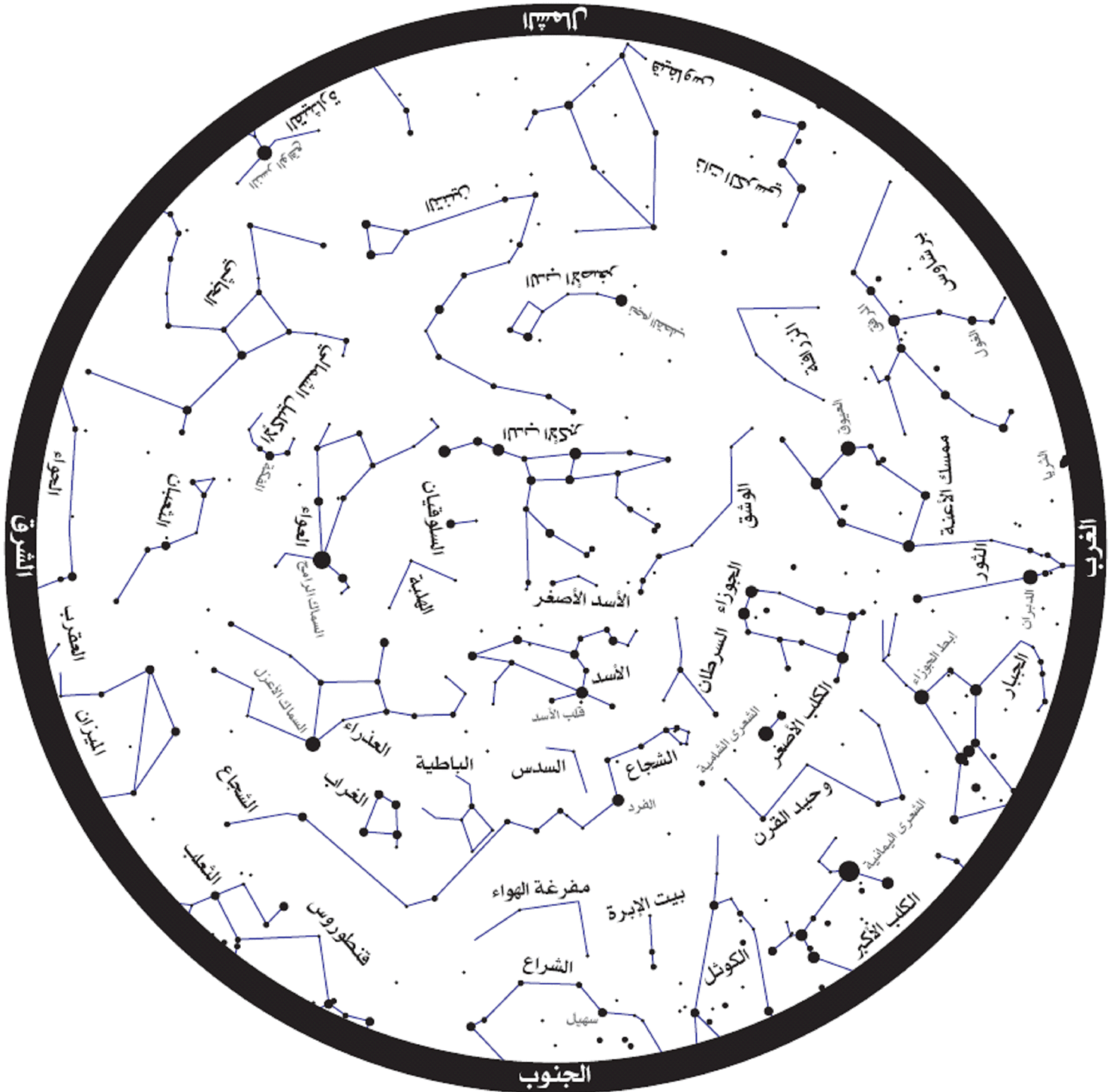
سماء شهر شباط



www.saaa-sy.org

Modified from: Redshift 4. Copyright © 1994-2000 Maris Multimedia, Ltd. and its licensors. All rights reserved.

سماء شهر آذار

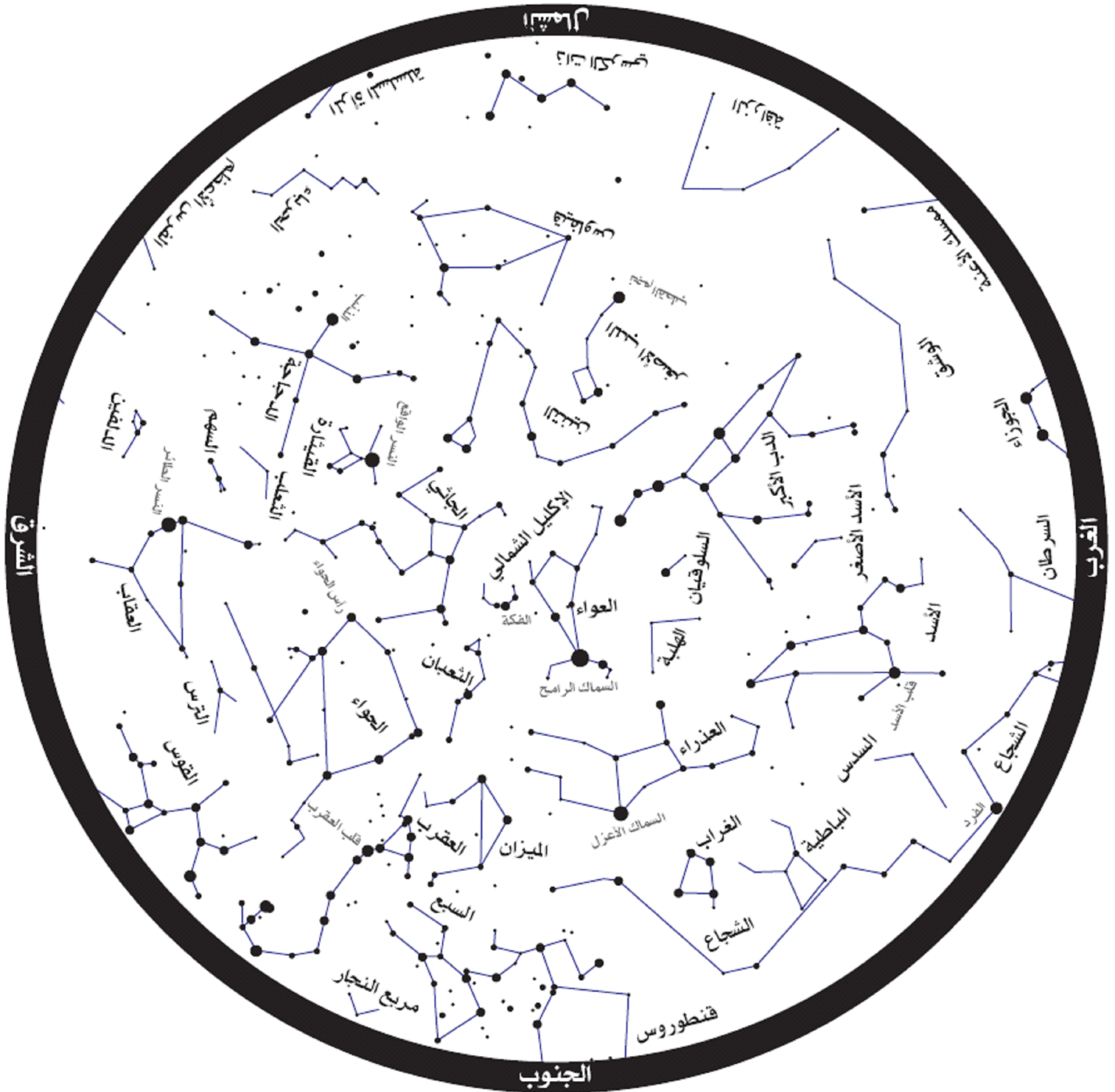


www.saaa-sy.org

Modified from: Redshift 4. Copyright © 1994-2000 Maris Multimedia, Ltd. and its licensors. All rights reserved.

54

سماء شهر أيار



www.saaa-sy.org

Modified from: Redshift 4. Copyright © 1994-2000 Maris Multimedia, Ltd. and its licensors. All rights reserved.

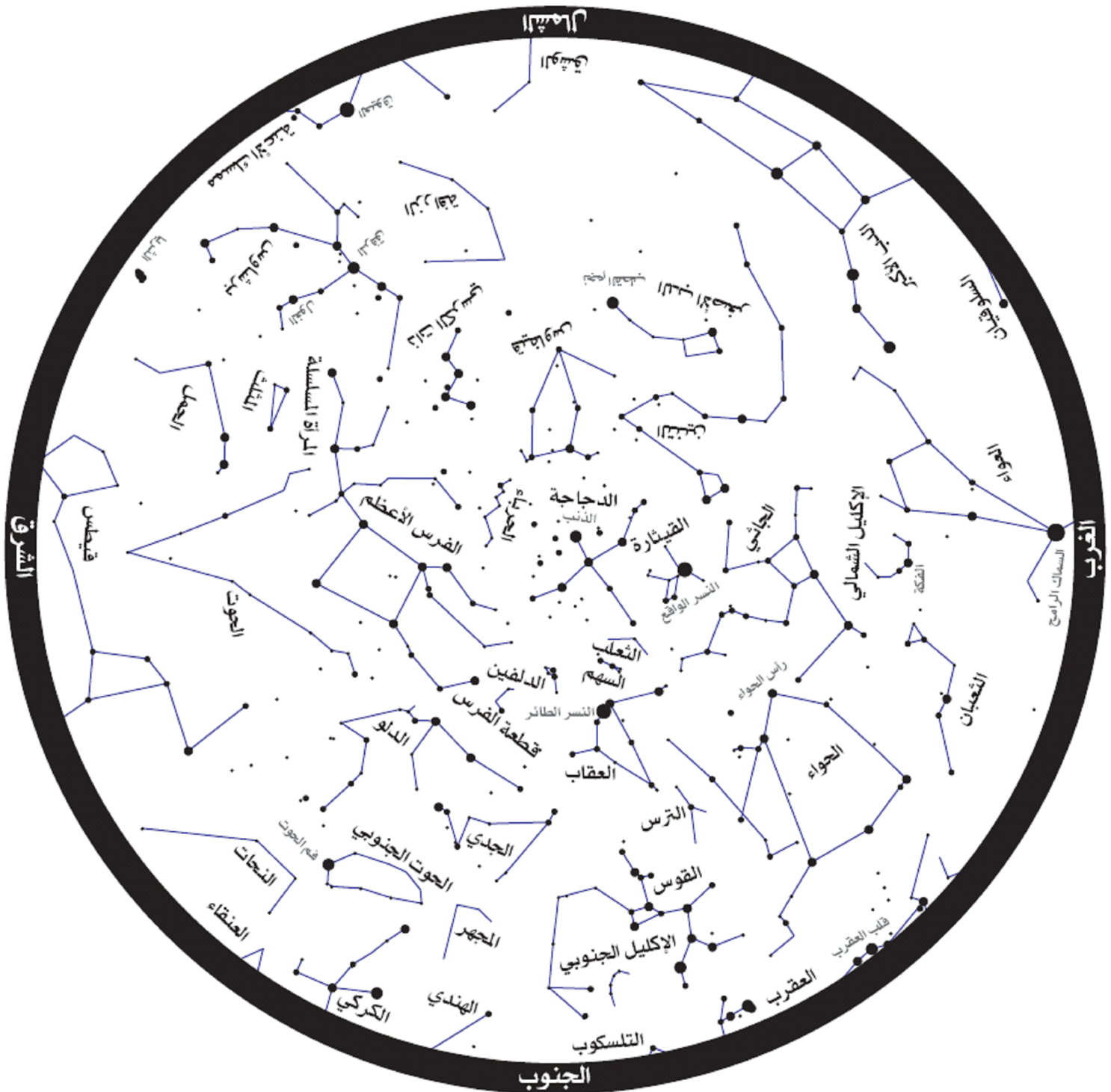
[illegible]

56

[illegible]

57

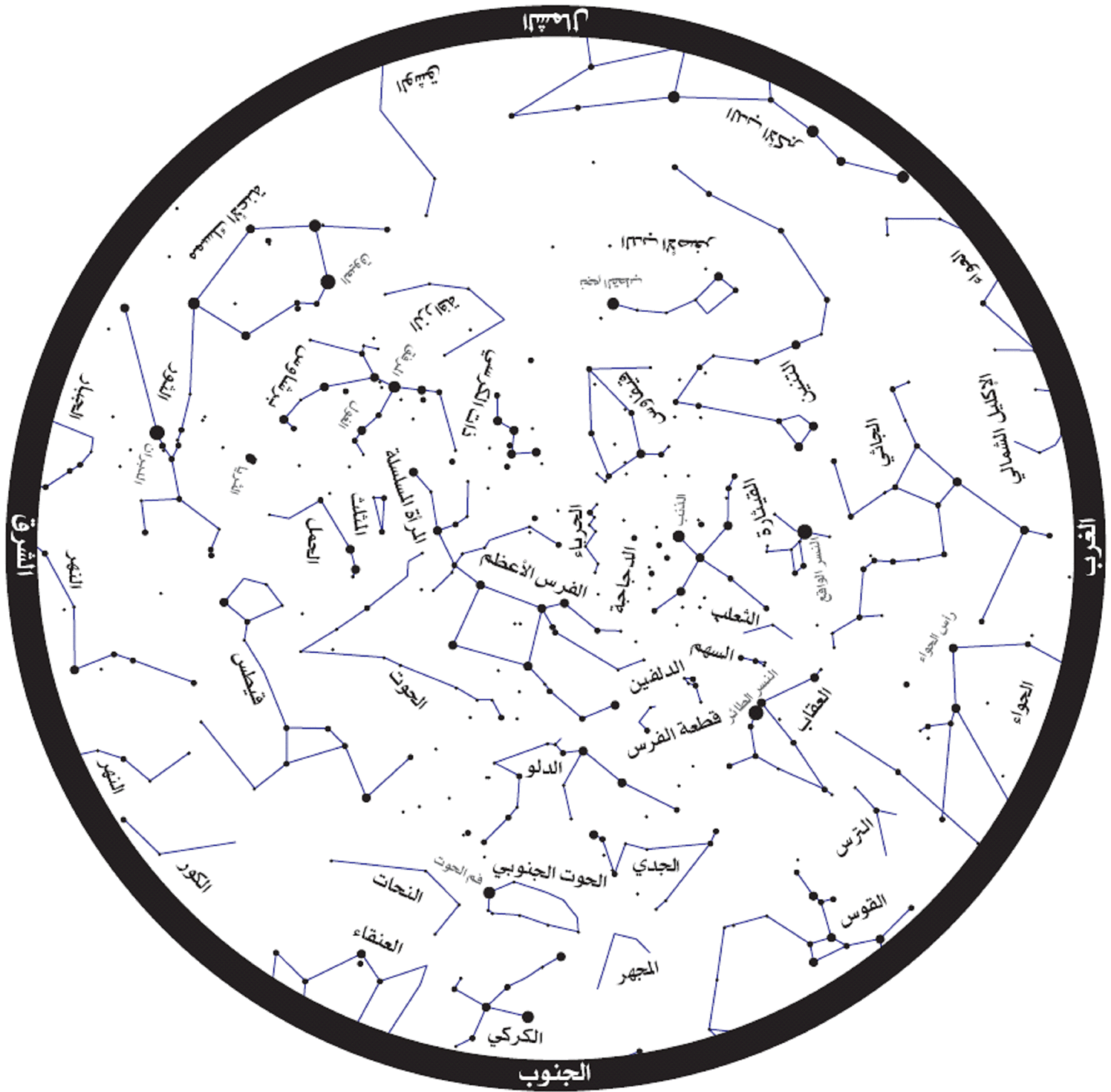
سماء شہر آب



www.saaa-sy.org

Modified from: Redshift 4. Copyright © 1994-2000 Maris Multimedia, Ltd. and its licensors. All rights reserved.

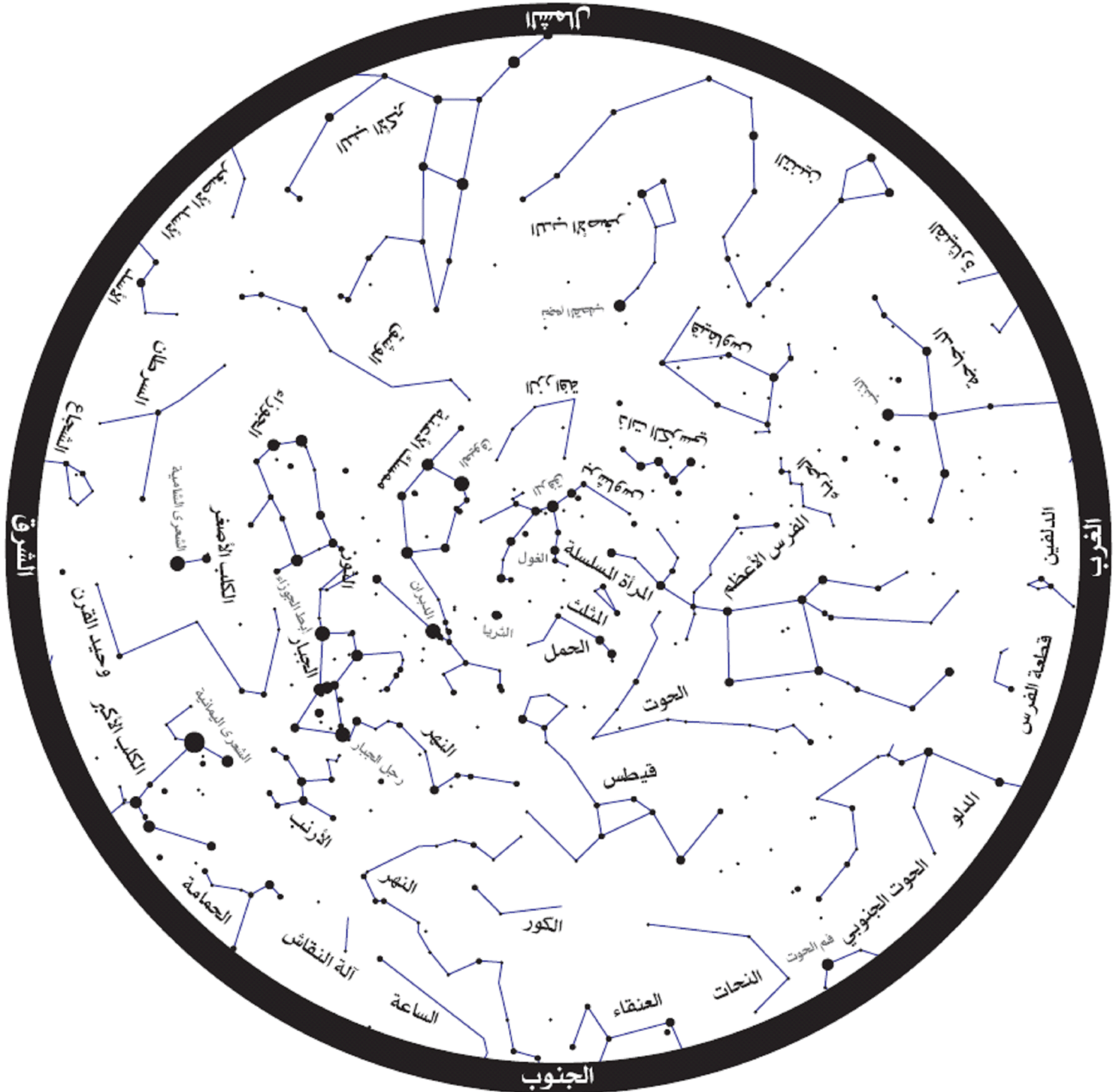
سماء شهر ايلول



www.saaa-sy.org

Modified from: Redshift 4. Copyright © 1994-2000 Maris Multimedia, Ltd. and its licensors. All rights reserved.

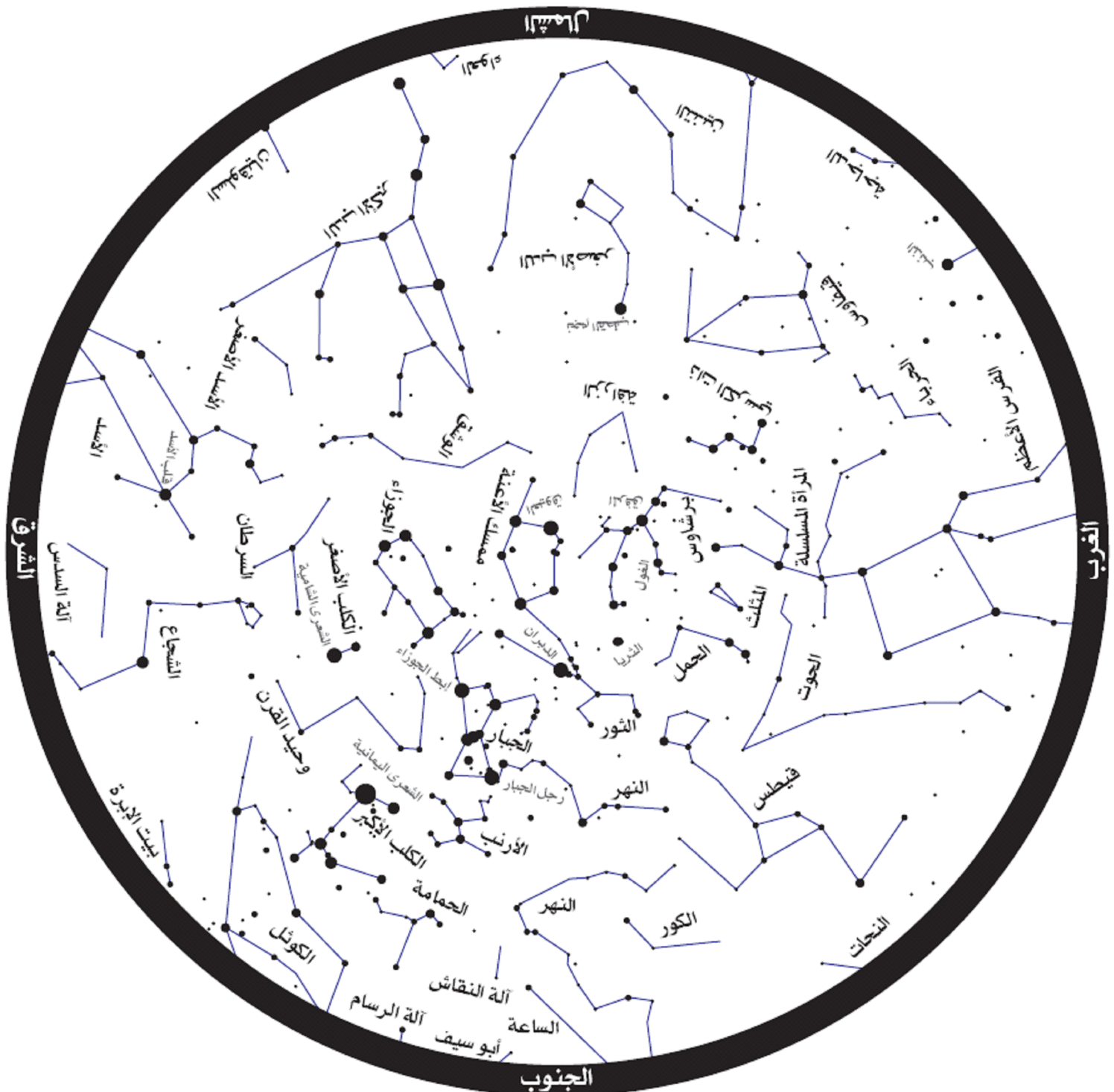
سما شهر تشرين الثاني



www.saaa-sy.org

Modified from: Redshift 4. Copyright © 1994-2000 Maris Multimedia, Ltd. and its licensors. All rights reserved.

سَمَاء شهر كانون الأول



www.saaa-sy.org

Modified from: Redshift 4. Copyright © 1994-2000 Maris Multimedia, Ltd. and its licensors. All rights reserved.

الفصل الثالث

الكواكب السيارة واصل المنظومة الشمسية

الدراسات الفلكية للكواكب السيارة:

تشتمل هذه الدراسات على قياس أقطار الكواكب، كتلتها، كثافتها، توابعها، دورتها المحورية والمدارية، معالم سطحها، نورانيته، درجة حرارة سطحها، غلافها الجوي والمجال المغناطيسي إن وجد. هذه القياسات تتم بواسطة أجهزة مايكرو متريّة، طيفية، فوتومترية أو إشعاعية تربط بالمراقب الفلكية أو تحمل على متن المركبات الفضائية، كما وتستخدم قوانين الفيزياء والفلك لتحليل وحساب بعض هذه الخواص.

قطر الكوكب:

يستخدم المايكروميتر لقياس قطر الكوكب بالثواني القوسية θ وبمعرفة بعد الكوكب r نستطيع أن نحصل على القطر الحقيقي D له باستخدام العلاقة الآتية

$$D = \frac{2\pi\theta''}{360^\circ \times 60 \times 60} r$$

كتلة الكوكب: M_p

إذا كان الكوكب يمتلك تابع يدور حوله يستخدم قانون كبلر الثالث

$$M_p + m = \frac{4\pi^2 r^3}{G p^2}$$

M_p كتلة الكوكب

m كتلة التابع

p مدة دورة التابع حول الكوكب

r نصف قطر مدار التابع (معدل بعد التابع)

أما إذا لم يكن للكوكب تابع كما هو الحال في عطارد والزهرة تحسب الكتلة من خلال مراقبة تأثيره على مدارات الكواكب أو المركبات الفضائية التي تمر بالقرب منه.

مدة دورة الكوكب حول نفسه:

تحسب المدة الدورانية لأي كوكب باستخدام أحد الطرق الآتية

مراقبة علامة مميزة على سطح الكوكب

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

استخدام ظاهرة دوبلر

التأثيرات الفيزيائية الناتجة من الحركة الدورانية.

لمعان الكوكب ودرجة حرارته :

نحصل على لمعان الكوكب من الأرصاد الفوتومترية، ويتغير اللمعان بتغير بعد الكوكب عن الشمس حسب علاقة التربيع العكسي.

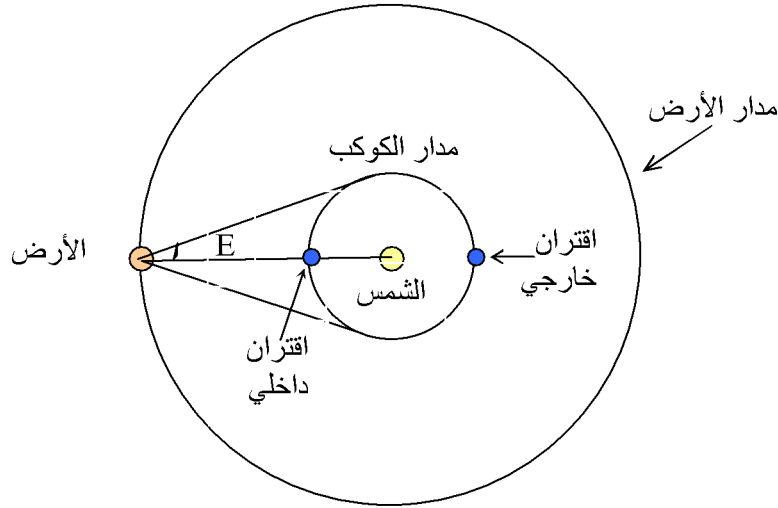
درجة حرارة الكوكب تحسب من الإشعاع الحراري للكوكب كونه جرم معتم يمتص جزء من الطاقة الشمسية التي تسقط عليه.

توابع الكوكب:

باستخدام المراقب الفلكية يمكن التعرف على أبعاد ومواقع الأقمار التي يمتلكها أي كوكب.

موقع الكوكب بالنسبة للشمس والأرض:

تعرف مواقع الكواكب بمقدار الزاوية التي يصنعها الخط الواصل بين الأرض والكوكب مع الخط الواصل بين الأرض والشمس، تسمى هذه الزاوية الاستطالة ويرمز لها بالحرف E

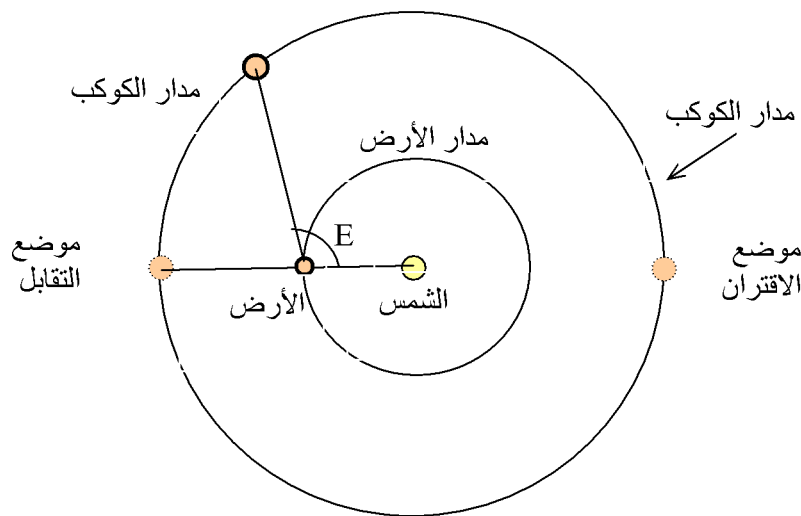


للكواكب الداخلية (عطارد والزهرة)

يقترب الكوكب بالشمس والأرض عندما تكون زاوية الاستطالة له تساوي صفر $E = 0$ (أي أن كل من الكوكب والشمس والأرض على خط مستقيم)، يوجد موضعين تكون فيه زاوية الاستطالة تساوي صفر، الموضع الذي يكون فيه الكوكب بين الأرض والشمس يسمى الاقتران الداخلي، أما عندما تكون الشمس بين الأرض والكوكب هذا الموضع يطلق عليه بالاقتران الخارجي.

الكواكب الخارجية

للكواكب الخارجية موضع واحد تكون فيه زاوية الاستطالة $E = 0$ يسمى بموضع الاقتران (الشمس تقع بين الكوكب والأرض) أما إذا كانت زاوية الاستطالة $E = 180^\circ$ فهذا الموضع يسمى التقابل (الأرض تقع بين الشمس والكوكب)



الدورة الاقترانية:

وهي الفترة الزمنية بين اقترانين (أو تقابلين) متتاليين للكوكب مع الأرض. توجد صيغتين مختلفتين لحساب الدورة الاقترانية للكواكب إحداها تستخدم للكواكب الداخلية والأخرى للكواكب الخارجية

$$P_c = \frac{P_p \times P_E}{P_E - P_p}$$

للكواكب الداخلية نستخدم العلاقة الاتية

P_p مدة الدورة المدارية للكوكب

P_E مدة الدورة المدارية للأرض

$$P_c = \frac{P_p \times P_E}{P_p - P_E}$$

أما للكواكب الخارجية فأن مدة الدورة الاقترانية P_c تحسب من العلاقة الاتية

الكواكب السيارة :

بعد أن تم استبعاد بلوتو من عائلة الكواكب السيارة أصبح لمنظومتنا الشمسية ثمانية كواكب وهذه الكواكب حسب بعدها عن الشمس هي عطارد، الزهرة، الأرض، المريخ، المشتري، زحل، أورانوس ونبتون. وتقسم إلى قسمين الكواكب الأرضية وهي كل من عطارد، الزهرة، الأرض والمريخ والكواكب العملاقة وهي المشتري، زحل أورانوس ونبتون. أدناه جدول يبين الخواص الفيزيائية وبعض الثوابت المدارية للكواكب السيارة.

جدول (1-3)

بعض الخواص الفيزيائية للكواكب السيارة

الكوكب	القطر		الكتلة (بدلالة كتلة الأرض)	معدل الكثافة (غم/سم ³)	جاذبية السطح (بدلالة g)	سرعة الافلات (كم/ثا)	عدد الاقمار والتوابع الطبيعية حتى عام 2007
	كيلومتر	بدلالة قطر الأرض					
عطارد	4878	0.38	0.055	5.4	0.38	4.3	لا يوجد
الزهرة	12112	0.95	0.82	5.2	0.91	10.3	لا يوجد
الأرض	12756	1	1	5.5	1	11.2	1
المريخ	6800	0.53	0.11	3.9	0.38	5.1	2
المشتري	143000	11.2	317.9	1.3	2.64	60	63
زحل	121000	9.5	95.2	0.7	1.13	35	60
أورانوس	47000	3.7	14.6	1.3	1.07	22	27
نبتون	45000	3.5	16.8	1.6	1.41	25	13

جدول (2-3)

بعض الثوابت المدارية للكواكب السيارة

زاوية ميل استواء الكوكب عن المدار (درجة)	الزمن الدوراني للكوكب	زاوية ميل مستوى المدار عن دائرة البروج (درجة)	الشذوذ المركزي للمدار	معدل السرعة المدارية (كم/ثا)	الزمن المداري	بعده عن الشمس		الكوكب
						بدلالة الوحدة الفلكية	كيلومتر (مليون)	
0	58.6 يوم	7	0.206	47.9	88 يوم	0.39	57.9	عطارد
0	243.0 يوم	3.4	0.007	35	225 يوم	0.72	108.2	الزهرة
23.45	23.9345 ساعة	0	0.017	29.8	365.2422 سنة	1	149.6	الأرض
25.1	24.62 ساعة	1.85	0.093	24.2	1.88 سنة	1.52	227.9	المريخ
3	9.83 ساعة	1.31	0.048	13.1	11.86 سنة	5.2	778.3	المشتري
27	10.25 ساعة	2.49	0.056	9.7	29.46 سنة	9.56	1427	زحل
98	10.75 ساعة	0.77	0.046	6.8	84.01 سنة	19.18	2870	أورانوس
29	16 ساعة	1.77	0.010	5.4	164.8 سنة	30.08	4497	نبتون

الكواكب الارضية



الكواكب الارضية
من اليسار الى اليمين
عطارد، الزهرة، الارض، والمريخ

عطارد

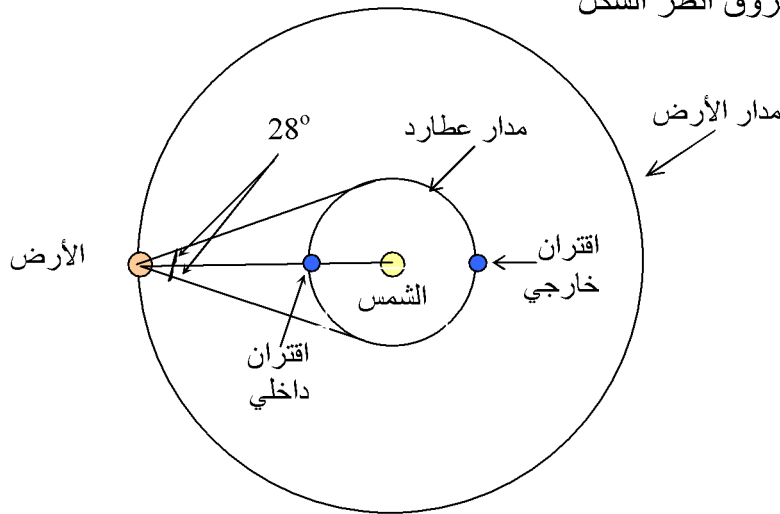
خواصه:

اقرب الكواكب السيارة إلى الشمس قطره 0.38 من قطر الأرض، كتلته 0.055 من كتلة الأرض، كثافته 5.4 غم/سم³، ونظرا لقربه من الشمس فهو أسرعها حركة حول الشمس سرعته المدارية تساوي 48 كم/ثانية، دورانه حول الشمس من الغرب إلى الشرق الزمن المداري له 88 يوم (الدورة النجمية). دورته الاقترانية حول الشمس 115.88 يوم، أما مدة دورانه حول محوره تساوي 58.6 يوم (من الغرب إلى الشرق) مداره بيضوي ذو شذوذ مركزي 0.206 ويميل مستوى مداره عن مستوي مدار الأرض حول الشمس زاوية مقدارها 7° تقريبا متوسط بعده عن الشمس 0.39 وحدة فلكية. درجة الحرارة السطحية تتغير بين 700 كلفن نهارا الى 100 كلفن ليلا (427°c نهارا الى 173°c- ليلا). الكوكب لا يمتلك أقمار.

حركته المدارية:

بسبب كون مداره يقع داخل مدار الأرض

(1) فترة رؤيته تكون قصيرة ومحددة، فأعظم زاوية استطالة له تساوي 28° شرق الشمس او غرب الشمس لذلك لا يمكن مشاهدته أكثر من ساعة واحدة و 52 دقيقة بعد غروب الشمس أو قبل الشروق انظر الشكل



(2) عندما يكون الكوكب عطارد في موضع الاقتران الداخلي (على الخط الذي يصل بين مركزي الأرض والشمس) يعبر الكوكب من أمام قرص الشمس ويظهر على شكل دائرة سوداء صغيرة تقطع قرص الشمس ببطء، إن فترة العبور هذه تحدث في أيار وتشيرين الأول ولكنها لا تحدث في كل عام بسبب أن مدار عطارد يميل على مستوى مدار الأرض بزاوية مقداره 7° .

(3) للكوكب عطارد أطوار شبيهة بالقمر (هلال، تربيع، بدر.....الخ).

الغلاف الجوي:

يملك الكوكب غلافا جويا رقيقا جدا بسبب صغر كتلته وقلة جاذبيته ونظرا لقربه من الشمس فإن درجة حرارته السطحية عالية كل هذه الاسباب تؤدي الى هروب جزيئات الغازات من مجال جاذبية الكوكب.

المجال المغناطيسي:

موجود ولكنه ضعيف ويعادل 1.1% من شدة المجال الأرضي

2- الزهرة

المع جرم سماوي بعد الشمس والقمر بسبب انعكاسيته العالية التي تبلغ 76% والناجمة عن غلافه الجوي السميك.

خواصه:

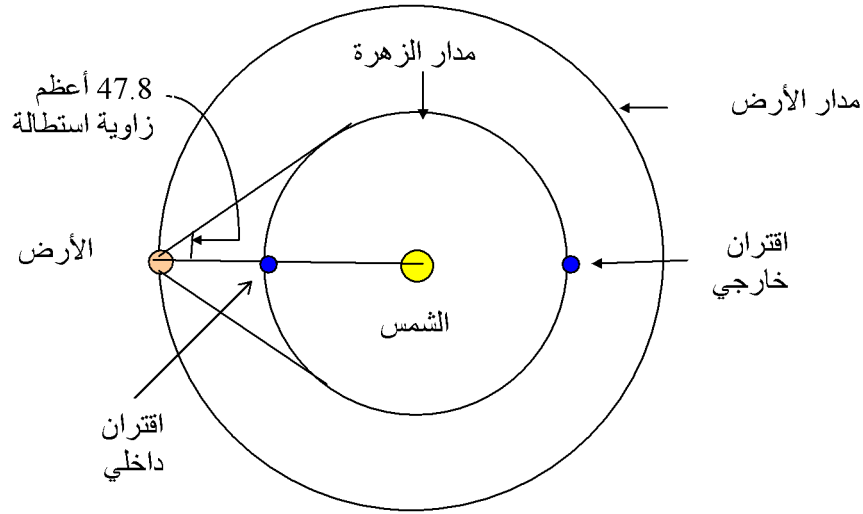
قطره الحقيقي 0.95 من قطر الأرض ، كتلته 0.82 من كتلة الأرض ومعدل كثافته 5.2 غم/سم³ ، متوسط بعده عن الشمس 0.72 وحدة فلكية مداره قريب جدا من الدائري، يميل مستوى مداره عن مستوي مدار الأرض 3.4 درجة، مدة دورته حول الشمس 225 يوم (الدورة النجمية) عكس عقرب الساعة من الغرب إلى الشرق ومعدل سرعته المدارية 35 كم/ثانية، أما دورته الاقترانية فهي 584 يوم. والزمن الدوراني حول محوره 243 يوم باتجاه عقرب الساعة من الشرق إلى الغرب أن اتجاه حركته المحورية يعاكس اتجاه الحركة المحورية للكواكب السيارة ويتفق هذا الاتجاه مع كوكب أورانوس . درجة الحرارة غلافه الجوي تتراوح من 240 كلفن للطبقات العليا الى 735 كلفن درجة حرارة عند السطح علما أن التفاوت في درجات الحرارة للسطح النهاري والليلي صغير.

لا يمتلك الكوكب أقمار تدور حوله

حركته المدارية:

بسبب كون مداره يقع داخل مدار الأرض

(1) عندما يكون الكوكب شرق الشمس فإنه يشاهد بعد الغروب ويدعى نجمة المساء ، أما إذا كان غرب الشمس فيشاهد قبل شرق الشمس ويدعى نجمة الصباح ولأن أعظم زاوية استطالة له غرب أو شرق الشمس تساوي 47.8 درجة لذلك يمكن مشاهدته لأكثر من ثلاث ساعات بعد غروب الشمس أو قبل الشروق انظر الشكل الاتي



(2) عندما يكون كوكب الزهرة في موضع الاقتران الداخلي يعبر من أمام قرص الشمس ويظهر على شكل دائرة سوداء صغيرة تقطع قرص الشمس ببطء بحيث أن مدة عبوره تستغرق حوالي ثمان ساعات على الأكثر هذا يعتمد على الموضع الذي يتم فيه العبور من قرص أمام الشمس، واحتمالية هذا العبور نادرة جدا بسبب ميل مدار الزهرة عن مستوي مدار الأرض حول الشمس.

(3) للزهرة أطوار شبيهة بالقمر (هلال، تربيع، بدر.....الخ).

الغلاف الجوي:

يمتلك كوكب الزهرة غلاف جوي سميك تزداد درجة الحرارة مع الهبوط في الغلاف الجوي نحو سطح الزهرة كما ويزداد الضغط الجوي بنفس الاتجاه أيضا، إذ يبلغ الضغط الجوي عند السطح حوالي 90 مرة من الضغط الجوي على سطح الأرض. يتكون الغلاف الجوي كيميائيا من الغازات التالية ثاني أكسيد الكربون بنسبة 96% تقريبا وغاز النتروجين بنسبة 3%، ويوجد بنسبة ضئيلة كل من ثاني أكسيد الكبريت، بخار الماء، الأرغون، والنيون. وتعزى ارتفاع درجة الحرارة السطحية إلى ظاهرة البيت الزجاجي حيث يمتص غلافه الجوي معظم الطاقة الشمسية التي تسقط عليه وبالتالي يتم تسخين سطحه إلى درجة معينة يبدأ عندها السطح بإشعاع موجات كهرومغناطيسية ضمن مجال الأشعة تحت الحمراء، هذه الأشعة تمتص من قبل غاز ثاني أكسيد الكربون ثم يشعها مرة ثانية إلى سطح الكوكب وهكذا تعاد هذه العملية بحيث يمنع غاز ثاني أكسيد الكربون من انطلاق هذا الإشعاع إلى الفضاء الخارجي.

المجال المغناطيسي:

ليس للزهرة مجال مغناطيسي ولهذا فإن الرياح الشمسية قد تصل إلى سطح الكوكب.

3- كوكب الأرض

الأرض تتميز عن بقية الكواكب بوجود حياة عاقلة بشرية عليها، خصها الله عز وجل بجملته من الخصائص لتكون مكانا صالحا للعيش خواصها الفيزيائية:

كتلتها 5.974×10^{24} كغم، نصف قطرها 6378 كم، معدل كثافتها 5.5 غم/سم³ (5.5 مرة بقدر كثافة الماء) علما بأن الصخور التي نشاهدها على السطح كثافتها تتراوح بين 2 إلى 3.5 مرة بقدر كثافة الماء، لذلك فإن التركيب الداخلي للأرض كثافته أعلى مما هو على السطح. سرعة الإفلات من جاذبية الأرض تساوي 11.2 كم/ثانية، أما الجاذبية السطحية عند مستوى سطح البحر تساوي 9.8 م/ثا².

مدارها شبه دائري ذو شذوذه المركزي 0.017، معدل بعدها عن الشمس وحدة فلكية واحدة وتعاود 149.598 مليون كم، تدور الأرض حول الشمس من الغرب إلى الشرق وان فترة دوران الأرض حول الشمس تساوي 365.2564 يوم شمسي هذه الدورة يطلق عليها الدورة النجمية لان قياسها يتم بالنسبة إلى نجم ثابت، اما مدة دوران الأرض حول الشمس بالنسبة لنقطة الاعتدال الربيعي يطلق عليها السنة المدارية ومقدارها 365.24219 يوم شمسي، وهذا الاختلاف في مدة الدوران ناشئ عن تقهقر الاعتدالين، معدل سرعتها المدارية حول الشمس 29.8 كم/ثا. تدور الأرض حول نفسها من الغرب إلى الشرق ومدة هذه الدورة تساوي $4.1^s 56^m 23^h$. الاستواء الأرضي يميل بزاوية مقدارها $23^\circ 27'$ عن المدار. معدل انعكاسية سطح الأرض يقارب 30% من الأشعة الكلية الساقطة عليه من الشمس. للأرض قمر واحد يدور حولها.

الغلاف الجوي الأرضي (الهواء)

الغازات الأساسية التي تشكل غلافنا الجوي هي النيتروجين (N_2 , 78%)، الأوكسجين (O_2 ، تقريبا 21%)، النسبة المتبقية والتي تمثل 1% تتألف من الأرجون (Ar، تقريبا 0.9~%)، غاز ثاني أوكسيد الكربون (CO_2 حوالي اقل من 0.03%)، وبخار الماء بكميات قليلة ويوجد أيضا اثر لبعض الغازات مثل الهيدروجين، غاز الاوزون، الميثان، اول اوكسيد الكربون، الهيليوم، غاز النيون. يتألف الغلاف الجوي الأرضي من أربع طبقات رئيسية هي التروبوسفير، الستراتوسفير، الايونوسفير، وطبقة الاكسوسفير. معظم تقلبات الطقس (رياح، غيوم، مطر، ضباب) تحدث ضمن طبقة التروبوسفير والتي تمتد حوالي 9.6 كم فوق سطح البحر. من أسباب ديمومة الحياة على هذا الكوكب هو الغلاف الجوي الذي يعمل على خزن الطاقة الشمسية الساقطة عليه ومنعها من التسرب عبر ظاهرة البيت الزجاجي، وبذلك يكون الفرق بين درجتي حرارة الليل والنهار على الأرض ضئيلة جدا، كما أن هذا الغلاف يعمل على حماية الكائنات الحية من خطر الأشعة فوق بنفسجية القادمة من الشمس.

المجال المغناطيسي الأرضي:

يشبه المجال المغناطيسي للأرض شكل المجال الناشئ عن قضيب مغناطيسي، محوره يميل عن محور دوران الأرض بزاوية 11° ، ويعود أصل هذا المجال إلى الحركة الدورانية لمنصهر الحديد المتأين والموجود في الجزء المركزي من الأرض، يمتد المجال المغناطيسي الأرضي إلى أعلى طبقات الغلاف الجو الأرضي، يعمل هذا المجال على منع الجسيمات المشحونة ذات الطاقات العالية القادمة من الشمس مثل البروتونات، الالكترونات، والميونات والتي تسمى بالرياح الشمسية من الوصول للأرض فيحرفها عن مسارها بفعل القوة المغناطيسية وبذلك يحمي الكائنات الحية من أخطارها.

4- المريخ

يظهر كوكب المريخ على هيئة قرص احمر وسبب هذا اللون يعود إلى وجود غبار اوكسيد الحديد المنتشر على سطحه.

خواصه

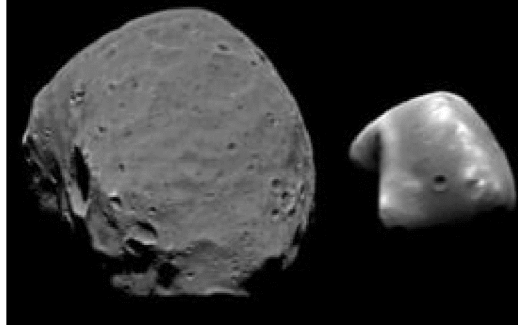
نصف قطره يقارب 50% من نصف قطر الأرض، كتلته 10% تقريبا من كتلة الأرض، معدل كثافته تساوي تقريبا 4 أمثال كثافة الماء. مداره حول الشمس اهليلجي شذوذه المركزي 0.093، متوسط بعده عن الشمس 1.52 وحدة فلكية، وفترة دورانه حول الشمس 687 يوم (عكس عقرب الساعة) سرعته المدارية 24 كم/ثانية، أما دورته الاقترانية فهي 780 يوم، مستوى مداره يميل بزاوية 1.9° عن الاكليتك، الزمن الدوراني حول محوره 24.62 ساعة (عكس عقارب الساعة). درجة حرارة سطح المريخ تتراوح ما بين 130 كلفن ليلا إلى 290 كلفن نهارا.

الغلاف الجوي

للمريخ غلاف جوي رقيق نسبيا بسبب هروب جزيئات غازاته لقلته جاذبيته، أما ضغطه الجوي يعادل 0.5% من الضغط الجوي الأرضي وهذا الضغط القليل يؤدي إلى غليان الماء إن وجد على سطحه وتبخره وهروب جزيئاته. غلافه الجوي شبيه بالغلاف الجوي لكوكب الزهرة يتألف من غاز ثاني اوكسيد الكربون بنسبة 95%، والنسبة المتبقية تتوزع لكل من النتروجين والأرغون. بسبب ميل محوره الدوراني عن مستوى مداره بزاوية 25.1 درجة فهو يتمتع بأربعة فصول، كما تغطي معظم سطح المريخ عادة سحب غبارية عملاقة سببها هو وجود رياح تؤدي إلى تعرية سطحه علما أن كثافة غلافه الجوي عند السطح لا تتجاوز 1% من مما هو على الأرض.

المجال المغناطيسي:

لا يوجد مجال مغناطيس للمريخ



اقمار كوكب المريخ ، فوبوس (يسار) وديموس (يمين)

أقماره:

للمريخ قمران صغيران اكتشفا عام 1877، هما فوبوس وديموس، يدوران حول الكوكب بنفس اتجاه حركة الكوكب حول الشمس أي من الغرب إلى الشرق، ولهما شكل غير منتظم معدل أنصاف أقطارهم بحدود عشرة كيلومترات. ولهذا يعتقد بأنهما كويكبات مأسورة من قبل المريخ. القمر فوبوس هو الأقرب إلى المريخ ، معدل بعده عن مركز المريخ 9377 كم ، طوله 22 كم ومدة دورانه 7.65 ساعة. أما القمر ديموس معدل بعده عن المريخ 23460 كم، معدل طوله 12.5 كم ومدة دورانه حول المريخ 30.3 ساعة.

الكواكب العملاقة



المشتري واقمار غاليليو الاربعة
(الصورة تبين حجم الاقمار الاربعة بالنسبة لكوكب المشتري)

5- كوكب المشتري

أكبر الكواكب العملاقة في مجموعتنا الشمسية، المشتري هو عملاق غازي ليس له سطح صلب كما هو بالنسبة للكواكب الأرضية، من الأرض يبدو المشتري للمشاهد بالعين المجردة كقرص أصفر وهو يأتي في الدرجة الثانية بعد الزهرة من حيث لمعانه، ويمكن مشاهدته ليلاً ولمدة ستة أشهر تقريباً في السنة. يتميز المشتري بأنه يبعث طاقة تبلغ 2.5 مرة بقدر الطاقة الساقطة عليه من الشمس

الخصائص الفيزيائية :

تبلغ كتلته 318 مرة بقدر كتلة الأرض، كتلة المشتري تعادل أكبر من ضعفين مجموع كتل الكواكب الأخرى، قطره تقريباً 11 مرة بقدر قطر الأرض حجمه 1331 مرة بقدر حجم الأرض، معدل كثافته 1.3 من كثافة الماء، للمشتري سرعة إفلات حوالي 57.5 كم/ثانية. مداره إهيليبي ذو شذوذ مركزي مقداره 0.048 ويميل عن الاكليبتيك بزاوية 1.31 درجة، مدة الدورة النجمية حول الشمس 11.86 سنة، سرعته المدارية 13 كم/ثانية، أما دورته الاقترانية فهي 398.9 يوم، الكوكب يدور حول محوره بزم من دوراني 9.83 ساعة عكس عقارب الساعة.

غلافه الجوي:

يمتاز سطح المشتري باحتوائه على (1) سحب مضيئة ملونة وحزم داكنة مرتبة على شكل أشرطة موازية إلى استواء الكوكب. (2) عاصفة جوية ضخمة في الطبقات العليا من جوه تعرف باسم البقعة الحمراء العظيمة، درجة حرارة الطبقات العليا من الغيوم منخفضة جداً تصل 130 كلفن. بسبب قوة جذبته الهائلة وامتلاكه سرعة إفلات عالية وانخفاض درجة حرارته احتفظ المشتري منذ وقت تكوينه على العناصر الأساسية التي تشكل منها غلافه الجوي يتألف وبشكل رئيسي من جزيئات الهيدروجين والهيليوم كذلك يحتوي وبنسب قليلة الميثان، أمونيا وبخار الماء.

المجال المغناطيسي: يمتلك المشتري مجال مغناطيسي تعادل شدته 10 أضعاف المجال المغناطيسي الأرضي، وهو مصدر الانبعاثات السنكروترونية الناتجة من حركة الإلكترونات السريعة في مجاله المغناطيسي.

أقماره :

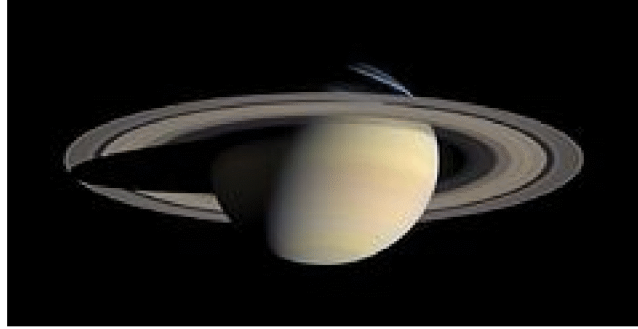
يمتلك المشتري وبقية الكواكب العملاق أنظمة أقمار كبيرة ومعقدة، عدد أقمار المشتري 63، 47 منها أقمار صغيرة (أنصاف أقطارها أقل من 10 كم) يعتقد بأنها كويكبات جذبت من قبل المشتري، أربعة أقمار كبيرة اكتشفها العالم غاليليو عام 1610 وسميت أقمار غاليليو هذه الأقمار حسب حجمها هي جانميد، كالستو، أيو و أوروبا الثلاثة الأولى حجمها أكبر من قمر الأرض. اثنين من أقمار غاليليو حضوا بعناية خاصة من قبل الفلكيين وهم

1- آيو
الاستكشافات التي قامت بها المركبتين الفضائيتين فويجر 1 و2 عام 1979 بينت أن للقمر آيو سطح بركاني نشيط وهو أكثر الأجرام نشاطا في منظومتنا الشمسية، وقد شوهد هيجان براكين على سطحه تذف حممها إلى ارتفاعات قد تصل إلى عدة مئات من الكيلومترات.

2- أوروبا
وهو الأصغر ضمن أقمار غاليلو ، كثافته 3 مرات كثافة الماء، سطحه لامع(ذو انعكاسية عالية) وناعم وهذا يدل على سطحه حديث التكوين، التحليل الدقيق للصور المأخوذة لسطحه تشير إلى أن سطحه يتكون من قشرة ثلجية يعتقد بأنها عائمة على محيط ، وهذا ما زاد احتمالية وجود حياة على هذا القمر.

الانبعاثات الكهرومغناطيسية للكوكب:

وجد أن المشتري يبعث طاقة حرارية 2.5 مرة أكثر من الطاقة التي يعكسها والقادمة من الشمس وتكون هذه الانبعاثات على نوعين النوع الأول هي انبعاثات حرارية من سطح الكوكب، الاعتقاد السائد هو أن هذه الانبعاثات ما هي إلا طاقة حرارية بدائية مخزونة في المشتري منذ تكوينه. النوع الثاني هي الانبعاثات السنكروترونية ضمن أطوال موجية ديسمترية ومترية.



الكوكب زحل

6- الكوكب زحل

ثاني اكبر كوكب من كواكب المجموعة الشمسية وهو ابعد كوكب عرفه الأقدمون ويمكن رؤيته بالعين المجردة كنقطة صفراء، يبعد عن الشمس أكثر من تسع مرات ونصف بعد الأرض عنها ومرتين قدر بعد المشتري عن الشمس يمتاز هذا الكوكب بالحلقات الساطعة التي تحيط به والتي يمكن مشاهدتها حتى من خلال المراقب الفلكية البسيطة. زحل يشبه إلى حد ما كوكب المشتري في كثير من الصفات، فهو عملاق غازي مكون بشكل رئيسي من الهيدروجين والهليوم مشابه لمكونات الشمس، يمتلك سرعة دوران عالية حول محوره كما هو الحال للمشتري وهذه الحركة الدورانية تجعله أكثر تفلطحاً عند الأقطاب.

خواصه الفيزيائية:

كثافته 95 مرة بقدر كتلة الأرض ، قطره تقريبا 10 مرة بقدر قطر الأرض، معدل كثافته 0.687 من كثافة الماء، سرعة الإفلات من جاذبيته تصل إلى 35.5 كم/ثانية. الشذوذ المركزي لمداره 0.0557، متوسط بعده عن الشمس 9.58 وحدة فلكية، المدة المدارية حول الشمس 29.657 سنة (الدورة النجمية) واتجاه حركته عكس عقرب الساعة ، معدل سرعته المدارية 9.69 كم/ثانية، أما دورته الاقترانية فهي 378 يوم . دائرة استوائه تميل بزاوية تقريبا 27 درجة عن مستوى مداره وهذا الميلان ينتج عنه الفصول الأربعة

الغلاف الجوي:

يتميز كوكب زحل بوجود غلاف جوي كثيف يتكون بالدرجة الأولى من الهيدروجين والهليوم ، ويمتاز غلافه الجوي بوجود حزم موازية إلى استوائه إلا أن التمايز بين هذه الحزم اقل بكثير مما هو عليه الحال في المشتري وذلك لانخفاض درجات الحرارة في غلافه الجوي.

درجة الحرارة السطحية:

نظرا لبعده الشديد من الشمس فإن معدل درجة حرارته السطحية واطئة جدا تقارب 100 كلفن، الكوكب زحل يشابه المشتري من حيث بثه للطاقة إلى الفضاء الخارجي والتي تقارب 2.5 مرة الطاقة التي يستلمها من الشمس.

المجال المغناطيسي:

مجاله المغناطيسي اكبر من المجال المغناطيسي الأرضي، كما أن محوره المغناطيسي منطبق على محوره الدوراني.

أقمار زحل:

لغاية عام 2007 تم اكتشاف 60 قمر للكوكب زحل زائد ثلاثة أقمار غير مؤكدة معظم هذه الاقمار صغيرة 34 منها اقطارها اقل من 10 كم، اكبر أقمار الكوكب زحل هو القمر تيتان، حجمه بقدر حجم القمر جانميد (اكبر أقمار المشتري) ، يتألف القمر من لب صخري محاط بطبقة جليدية. يتميز هذا القمر بامتلاكه غلاف جوي اكثر كثافتا من الغلاف الجوي الأرضي ويتألف بشكل رئيسي من الناتروجين يليه الأرغون والميثان، ويعتقد أن الانخفاض الشديد في درجات الحرارة هي السبب وراء احتفاظ هذا القمر بغلاف جوي، هذا الانخفاض في درجة الحرارة يجعل حركة الجزيئات الغازات التي يتألف منها جوه بطيئة جدا بحيث لا يمكن أن تفلت من جاذبيته. في عام 2005 هبطت بنجاح على سطحه المركبة الفضائية هايغنس وقد أرسلت إلى الأرض العديد من الصور لهذا القمر.

حلقات زحل:

لزحل سبعة حلقات مرتبة من الأقرب إلى الأبعد عن الكوكب E,G,F,A,B,C,D الحلقة الخارجية E تمتد إلى 480000 كم، الحلقة الداخلية D تمتد إلى 144000 كم من سطح الكوكب، يتخلل هذه الحلقات فجوات ، أشهر هذه الفجوات هي فاصل كاسيني وسميت بهذا الاسم نسبة إلى العالم الفلكي الايطالي كاسيني الذي كان أول من شاهد هذه الفجوة والتي تقع بين الحلقة A و الحلقة B. تتكون هذه الحلقات في الغالب من الجليد والصخور المغطاة بالجليد أحجامها صغيرة يتراوح أقطارها من بضعة سنتيمترات إلى بضعة أمتار، معدل سمك هذه الحلقات لا يتعدى 15 كم . مجموع الكتلة الكلية لمادة هذه الحلقات تقارب كتلة قمرنا

لذلك قدم علماء الفلك عدد من التفسيرات لظاهرة الحلقات ومن هذه التفسيرات ربما تكون جسيمات هذه الحلقات بقايا من الغيمة السديمية الأولى التي تشكلت منها المجموعة الشمسية ولم تتمكن هذه الجسيمات من إن تتجمع لتكوين قمر بسبب جاذبية الكوكب على مكونات الحلقات اكبر من جاذبية جزيئات الحلقات فيما بينها. التفسير الثاني (نظرية روش) أن هذه الحلقات ربما نتجت عن بقايا احد أقمار الكوكب والذي تواجد بالقرب من حدود روش (2.44 مرة من نصف قطر الكوكب) وبفعل قوة المد والجزر فقد تهشم هذا القمر إلى فتات متناثرة. تقع هذه الحلقات بموازاة دائرة استواء الكوكب والتي تميل بزاوية حوالي 27 درجة عن دائرة البروج (الاكليتك) وهي تعكس 60% من أشعة الشمس الساقطة عليها.

7- أورانوس

هو الكوكب السابع عن الشمس، ثالث الكوكب العملاقة، لا يرى بالعين المجردة إلا بصعوبة نظرا لبعده الشاسع. اكتشف عام 1771 من قبل العالم الفلكي وليم هرشل حيث ظهر له كقرص أزرق، وهذا اللون ناشئ عن وجود غاز الميثان في جوه. التركيب الداخلي للكوكب يختلف بعض الشيء عن كل من المشتري وزحل حيث أن جزء كبير من مادته مركزة في اللب الصخري.

خواصه الفيزيائية:

تبلغ كتلته 15 مرة تقريبا من كتلة الأرض، قطره 4 مرات قطر الأرض، كثافته 1.2 غم/سم³، سرعة الإفلات 21 كم/ثانية. الشذوذ المركزي للمدار 0.0472، معدل بعده عن الشمس حوالي 20 وحدة فلكية، مداره يميل بأقل من درجة عن الاكليبك، الزمن المداري للكوكب حول الشمس 84.01 سنة عكس عقرب الساعة مثل بقية الكواكب، سرعته المدارية 6.7 كم/ثانية، أما دورته الاقترانية 369.66 يوم، الزمن الدوراني حول المحور 16 ساعة باتجاه عقرب الساعة أي عكس بقية الكواكب كما هو الحال بالنسبة للحركة المحورية للزهرة. دائرة استوائه تميل بزاوية حوالي 98 درجة عن مستوى مداره (أي أن محور دورانه يميل ثمانية درجات تحت مستوى مداره). تبلغ درجة حرارة للطبقات الجوية العليا 95 كلفن.

الغلاف الجوي:

غلافه الجوي كثيف يتكون معظمه من الهيدروجين والهليوم وقليل من الامونيا والميثان ونظرا لانخفاض درجة الحرارة فإن الامونيا تكون في حالة انجماد.

المجال المغناطيسي:

تبلغ شدة مجاله المغناطيسي المجال المغناطيسي الأرضي، محوره المغناطيسي ينحرف بزاوية 55 درجة عن محور دورانه ولا يمر بمركز الكوكب.

أقمار أورانوس:

لكوكب أورانوس خمسة أقمار كبيرة معروفة و10 أقمار أخرى صغيرة، أكبر أقماره هو القمر تيتانا، هذه الأقمار تدور حول الكوكب باتجاه عقرب الساعة في مستوى موازي لدائرة استواء الكوكب وبنفس اتجاه الحركة المحورية للكوكب.

حلقات أورانوس

اكتشف في عام 1977 خمسة حلقات معتمدة تحيط بالكوكب وهذه الحلقات أكثر رقة وأقل اتساعا من حلقات زحل.

8 - نبتون

الكوكب الثامن في منظومتنا الشمسية وهو لا يرى بالعين المجردة. ويظهر من خلال التلسكوب على شكل قرص صغير ذو لون أزرق غامق. لقد تم التنبؤ بوجود هذا الكوكب قبل اكتشافه حيث لاحظ علماء الفلك وجود انحراف غريب في مدار الكوكب أورانوس مما حدا ببعض علماء الفلك إلى افتراض وجود كوكب ثامن يؤثر على الكوكب أورانوس وحددوا مكانه على وجه التقريب وبالفعل استطاع الفلكي الألماني يوهان جال من اكتشاف الكوكب عام 1846م. تركيبه مشابه إلى أورانوس باحتوائه على لب صخري يعتقد بأنه أكبر حجما وكتلتا من مما هو في أورانوس.

خواصه الفيزيائية:

كتلته 17 مرة من كتلة الأرض، قطره يقارب 4 مرات قطر الأرض، معدل كثافته 1.7 مرة من كثافة الماء. مداره شبه دائري، معدل بعده عن الشمس 30 وحدة فلكية، مستوى مداره يميل بأقل من درجتين عن الاكليبك، الزمن المداري حول الشمس يقارب 165 سنة عكس عقارب الساعة،

أما دورته الاقترانية فهي 367.5 يوم، معدل سرعته المدارية 5.5 كم/ثانية، وتبلغ فترة دورانه حول محوره 18 ساعة. دائرة استواء الكوكب تميل بزاوية 29 درجة عن مستوى مداره. **غلافه الجوي ودرجة حرارته:**

غلافه الجوي كثيف يتكون من الهيدروجين والهليوم ونسبة عالية من الامونيا والميثان والأخير هو السبب في إعطائه لونه الأزرق. وبسبب انخفاض درجة الحرارة والتي قد تصل إلى 50 كلفن (الطبقات الجوية العليا) فإن غاز الامونيا يكون في حالة متجمدة. **أقمار نبتون:**

كشفت المركبة الفضائية فويجر 2 عام 1989 أن لكوكب نبتون 8 أقمار ستة من هذه الأقمار صغيرة وتدور بالقرب من الكوكب بمدارات دائرية وقمران يدوران على مسافات بعيدة من الكوكب، وهذان القمران هما ترايتون و نيرايد ، القمر ترايتون حجمه يعادل حجم المريخ يمتلك غلاف جوي سميك يحتوي على غاز الميثان يدور حول نبتون مع عقارب الساعة ويكمل دورته في 6 أيام. أما القمر نيرايد فهو تابع صغير قطره 600 كم يدور حول نبتون عكس عقارب الساعة ويكمل دورته حول نبتون خلال سنة واحدة.

الكوكب بلوتو

منذ عام 1930 وحتى عام 2007 كان معروف لدى منظومتنا الشمسية تسعة كواكب سيارة، أبعدا وأغربها هو بلوتو الذي تم اكتشافه عام 1930 ومنذ ذلك التاريخ بدء الجدل حول بلوتو هل هو كوكب يمتلك صفات بقية الكواكب السيارة أم انه تابع تم أسره من قبل الشمس. في عام 2007 اتخذ الاتحاد الفلكي الدولي قراره بأغلبية الأصوات استبعاد بلوتو من عائلة الكواكب السيارة وبهذا القرار أصبح لمنظومتنا الشمسية ثمانية كواكب سيارة.

الأسباب التي دعت إلى استبعاد بلوتو عن عائلة الكواكب السيارة:

- 1-مداره يمتلك شذوذ مركزي كبير يبلغ 0.25 تقريبا، وعندما يكون بلوتو في موضع الحضيض فإنه يتوغل داخل مدار نبتون
- 2-كتلته صغيرة جدا بالنسبة للكواكب الخارجية (العلاقة) وقد دلت القياسات بأنها تتناقص باستمرار
- 3-مستوى مداره يميل بزاوية مقداره 17 درجة تقريبا عن الاكليبتيك وهي اكبر زاوية ميلان لجميع الكواكب السيارة
- 4-مدار الكوكب اكبر ب 25% من مدار الكوكب الذي يسبقه في التسلسل (أي أن بعده لا يخضع لقاعدة بود)
- 5-يمتلك بلوتو سطح صلب مشابه تقريبا إلى توابع المشتري وكتلته مقاربة إلى كتلة القمر ترايتون الذي يدور حول نبتون مما حدا بالبعض إلى الاعتقاد بأنه كان قمرا له.

قاعدة بود:

اكتشف العالم الألماني بود عام 1772 أن مواقع كواكب منظومتنا الشمسية تتبع نظام خاص وهو عبارة عن سلسلة من الأعداد التجريبية التي تحدد بشكل مقبول بعد هذه الكواكب هذا النظام عرف باسم قاعدة بود.

0, 3, 6, 12, 24, 48,.....

السلسلة هي

4, 7, 10, 16, 28, 52,.....

يضاف للسلسلة الرقم 4

0.4, 0.7, 1.0, 1.6, 2.8, 5.2,.....

وبقسمة السلسلة على الرقم 10 فإن اعداد السلسلة سوف

تمثل ابعاد الكواكب السيارة بالوحدات الفلكية. ويمكن تحديد هذه السلسلة حسب العلاقة التالية

$$d = 0.3 \times (2)^n + 0.4$$

حيث d بعد الكوكب مقاسا بدلالة الوحدات الفلكية، n قيمها كما يلي لعطارد $n = -\infty$ ، للزهرة $n = 0$ ، للأرض $n = 1$ ، للمريخ $n = 2$ ، للكويكبات $n = 3$ ، للمشتري $n = 4$ ، لزحل $n = 5$ ، لأورانوس $n = 6$ ، ولنبتون $n = 7$.

وحسب هذه القاعدة توقع علماء الفلك بوجود كوكب بين المريخ والمشتري هذه الفرضية تحققت عام 1801 عندما عثر على جرم صغير على بعد 2.8 وحدة فلكية وبعد هذا التاريخ توالى الاستكشافات بوجود عدد كبير من هذه الأجرام أطلق عليها فيما بعد بالكويكبات. وقد تم اكتشاف أورانوس ونبتون على ضوء هذه القاعدة أيضا، ومن الجدير بالذكر أن أبعاد أقمار المشتري وزحل تتبع قاعدة بود.

التسلسل حسب قاعدة بود	أسم الكوكب	قيم n (قاعدة بود)	البعد التقريبي (قاعدة بود) بدلالة الوحدات الفلكية	البعد الحقيقي بالوحدات الفلكية
1	عطارد	$n = -\infty$	0.4	0.39
2	الزهرة	0	0.7	0.72
3	الأرض	1	1	1
4	المريخ	2	1.6	1.52
5	الكويكبات	3	2.8	2.8
6	المشتري	4	5.2	5.2
7	زحل	5	10	9.52
8	أورانوس	6	19.6	19.81
9	نبتون	7	38.8	30.60
10	الكوكب التاسع الافتراضي	8	77.2	?
11	الكوكب العاشر الافتراضي	9	154	?
12	الكوكب الحادي عشر الافتراضي	10	307.6	?

الكويكبات (النجمات) Asteroids

هي أجرام سماوية صغيرة الحجم صخرية التركيب ليس لها شكل محدد، عددها يقدر حوالي 30 ألف كويكب، أكبر هذه الكويكبات سيرس قطره 1000 كم ثم يليه بالاس الذي يبلغ قطره 590 كم، 250 من هذه الكويكبات أقطارها بحدود 100 كم ، والبقية أقطارها أقل من 100 كم وقد تصل الى أقل من 1 كم. تنتشر معظم هذه الكويكبات بين مداري كوكب المريخ والمشتري وعلى مسافة تمتد من 2.1 الى 3.3 وحدة فلكية، ومنطقة انتشارها يطلق عليه حزام الكويكبات. توزيعها ضمن حزام الكويكبات غير منتظم يتخلله فجوات تدعى فجوات كيرك وود (Kirkwood) نسبة للعالم الذي اكتشفها Kirkwood، والسبب وراء هذه الفجوات هي أن الكويكبات التي لها مدة دورة

حول الشمس تساوي $\frac{1}{2}$ ، $\frac{1}{3}$ ، $\frac{1}{4}$ ،.... من مدة الزمن المداري للمشتري فبعد 2 ، 3 ، 4 دورة لهذه الكويكبات حول الشمس سوف يحصل تقابل لهذه الكويكبات مع كوكب المشتري وبمرور الزمن ستؤثر جاذبية المشتري على هذه الكويكبات مما يجعلها تنحرف عن هذا المدار لتترك فجوات خالية من أي كويكب. بالإضافة إلى الكويكبات المنتشرة ضمن حزام الكويكبات يوجد مجموعة من الكويكبات تشارك كوكب المشتري في مداره تدعى نجيمات طروادة عددها حوالي 150 كويكب. توجد ثلاثة مجاميع من الكويكبات مداراتها تتقاطع مع مدار الأرض وهذه المجاميع هي مجموعة أبولو Apollo ، اتين Aten ، وآمور Amor، وضع 200 كويكب من هذه المجاميع تحت المراقبة نظرا لخطورتها واحتمال تصادمها بالأرض خلال الـ 30 مليون سنة القادمة أقطار هذه الكويكبات أقل من 40 كم.

أصل الكويكبات:

كان الاعتقاد السائد لدى علماء الفلك بأن أصل الكويكبات هو بقايا لكوكب ونتيجة لقوة المد والجزر الذي تعرض لها من المشتري فقد تفتت هذا الكوكب إلى شظايا صغيرة مكونا الكويكبات،

هذه الفرضية استبعدت للأسباب الآتية

- 1-المجموع الكلي لكتل الكويكبات يقل 10% من كتلة القمر.
 - 2-من الصعب جدا العثور على آلية معقولة باستطاعتها أن تؤدي إلى تفتت كوكب
 - 3-من خلال التحليل الدقيق للنيازك الساقطة على الأرض والتي هي أصلا من حزام الكويكبات لا تشير مواد هذه النيازك بأنها كانت في أعماق جرم بحجم كوكب.
- الرأي السائد الآن هو أن حزام الكويكبات يمثل بقايا السديم الذي تشكلت منه المنظومة الشمسية والذي منع من تشكيل كوكب وذلك بتأثير جاذبية المشتري

الضوء البروجي Zodical Light

أن فضاء ما بين الكواكب يحتوي على كميات وافرة جدا من جسيمات ترابية، معدل أقطارها يبلغ حوالي 1 مايكرون (10^{-6} م) ، الانعكاسات الحاصلة لأشعة الشمس من على سطح هذه الجسيمات تشكل ما نسميه الضوء البروجي وهو ضوء ضبابي خافت يظهر في السماء قبل شروق الشمس أو بعد الغروب بوقت قد يتجاوز بضع ساعات شكله مخروطي قاعدته عند الأفق ورأسه في السماء في الصباح نطلق عليه بالفجر الكاذب.



موقع نيزك أريزونا

الشهب والنيازك Meteors and Meteorites

تقصف الأرض باستمرار بأجرام سماوية صغيرة تمثل حطام المنظومة الشمسية أصل هذه الأجرام هو الكويكبات ، المذنبات، الأتربة السائبة في فضاء ما بين الكواكب وحتى الكواكب السيارة يمكن اعتبارها مصدر لهذه الأجرام نتيجة الاصطدامات التي تتعرض لها حيث تتطاير منها أجزاء صغيرة إلى الفضاء الخارجي. عند وقوع هذه الكتل الكتل السماوية في مجال جذب الأرض تدخل الغلاف الجوي للأرض بسرعة عالية تؤدي إلى احتراقها وتطاير جسيماتها مولدة ذيل متوهج ، عندما تحترق هذه الكتل بشكل متكامل يطلق عليها الشهب Meteors كتل هذه الأجرام بحدود 1 غرام ، أما إذا كانت الكتلة كبيرة فسوف تتباطأ في حركتها خلال عبورها الغلاف الجوي الأرضي مما يؤدي إلى أن الطبقة الخارجية تنصهر جزئياً ومكوناتها الداخلية تبقى سليمة، الجزء المتبقي والذي يسقط على الأرض يطلق عليه بالنيازك Meteorites أي أن النيازك تمثل الأجزاء الساقطة من الكتل السماوية على الأرض أما الشهب فهي الكتل السماوية التي تحترق في الغلاف الجوي. تتعرض الأرض يومياً إلى العديد من الشهب التي قد يتجاوز عددها حول الكرة الأرضية المليون وهذا العدد يتضاعف عشرات المرات عندما تتعرض الأرض لزخات الشهب، إن أعداد الشهب والنيازك التي تسقط على الأرض سنوياً تختلف باختلاف كتلتها.

أكثر من بليون شهاب كتلته بحدود 1 غم يسقط على الأرض سنوياً
تقريباً 1000 نيزك كتلته بحدود 1 طن يسقط على الأرض سنوياً
تقريباً نيزك واحد كتلته ~ 100 طن يسقط على الأرض سنوياً

أنواع الشهب

1- المنتظمة

(أ) زخات الشهب المنتشرة على طول مدار المذنب المنحل ، تظهر هذه الزخات بأوقات محددة سنوياً

(ب) زخات الشهب المتجمعة في موضع واحد من مدار المذنب المنحل، تظهر هذه الزخات من الشهب بشكل دوري ولكن ليست سنوياً

2- غير المنتظمة

زخات هذه الشهب تظهر بأشكال وأزمان مختلفة

أنواع النيازك:

1-النيازك الحديدية نسبتها بالنسبة لأنواع النيازك الساقطة تساوي تقريباً 4% وهي تتألف من سبيكة (النيكل والحديد) مشابهة إلى تركيب باطن الأرض.

2-النيازك الحديدية الصخرية نسبتها 1% من النيازك الساقطة

3-النيازك الصخرية نسبتها 95%

تركيب النوعين الأخيرين من النيازك يشبه تركيب قشرة الأرض مما يشير إلى أن مادة النيازك تشبه مواد الكرة الأرضية.

النيازك الصخرية بدورها تنقسم إلى ثلاثة أنواع هي:

(أ) الكوندرائيت الكربونية : وهي نادرة فهي تحتوي على الهيدروكربونات والاملاح المائية ومركبات عضوية اخرى وتكون مسامية والفحص المجهرى لبعضها يظهر تراكيب خلوية
(ب) الكوندرائيت
(ج) الاكوندرائيت
الفوائد العلمية لدراسة النيازك:

- 1- تقدير أعمارها والتي تمثل عمر المنظومة الشمسية
- 2- لمعرفة العناصر التي تحتويها وهذا يساعدنا على معرفة العناصر التي تتواجد في منظومتنا الشمسية.
- 3- البحث عن المواد العضوية خارج الكرة الأرضية
- 4- البعض من هذه النيازك تمتلك مدارات لها زاوية ميل كبيرة عن مستوي مدار الارض حول الشمس، دراسة مثل هذه المدارات يساعد علماء الفلك على وضع نظرية متكاملة لنشوء المنظومة الشمسية.



مذنب

المذنبات Comets

هي أجرام سماوية لها رأس غازي كبير على شكل غيمة تحيط بنواة صخرية صغيرة وللمذنب ذيل طويل ينمو من تطاير مادة الرأس بتأثير ضغط الإشعاع والرياح الشمسية عند اقترابها من الشمس. مدارات القسم الأكبر منها اهليلجية ذات شذوذ مركزي عالي تدور حول الشمس بفترات زمنية تصل إلى عشرات السنين، والنادر منها له مدار من القطع الزائد (أي أنها تشاهد لمرة واحدة فقط).

تركيب المذنبات:

عندما يكون المذنب بعيدا عن الشمس فإنه لا يرى لصغر حجمه ولأن تركيبه في تلك المواضع عبارة عن نواة صغيرة. ولكن عند اقتراب المذنب من الشمس تتشكل له الذؤابة (رأس المذنب) وكذلك الذيل، لذلك يمكن تميز ثلاثة مناطق للمذنب وهي:

- 1- النواة: تتألف النواة من جسيمات صخرية ومعنوية قطرها لا يتجاوز بضعة كيلومترات وهي مغطاة بالجليد المائي وجليد لأنواع عديدة من الغازات مثل ثاني اوكسيد الكربون والميثان والامونيا يحتوي هذا الجليد على أتربة وغبار ولهذا يطلق عليها أحيانا بكرة الثلج المتسخة.
- 2- الذؤابة: عندما يصل المذنب في مداره حول الشمس على أبعاد كوكب المريخ تتأثر نواة المذنب بالإشعاع الشمس فتتبخر الغازات المتجمدة لتكون غيمة كروية الشكل تقريبا أبعادها

يتراوح بين 1000 إلى 100000 كم ، تدل الدراسات الطيفية لرأس المذنب باحتوائه على جزيئات بسيطة (H_2O , C_2 , C_3 , CH , CN , CO , N_2) وعلى جزيئات معقدة (H_2 , CH_4 , NH_3 , CO_2)

- 3- الذيل: يتكون الذيل عند اقتراب المذنب كثيرا من الشمس حيث يتبخر جزء كبير من طبقاته الخارجية بفعل الضغط الإشعاعي الشمس والرياح الشمسية ونتيجة ذلك تندفع المواد المنحلة من غلافه الخارجي بعيدا عن النواة بالاتجاه المعاكس للشمس مكونة ذيل يمتد في الفضاء إلى ملايين الكيلومترات، وقد يكون للمذنب ذيلان هما

أ- الذيل المستقيم الأيوني
يتكون هذا النوع من الذيل نتيجة تصادم الرياح الشمسية مع الذرات والجزيئات صغيرة الكتلة المتواجدة في الذؤابة فتتفصل عنها الكترونات وتصبح في حالة تأين فتتأثر بالمجال المغناطيسي للشمس مندفعة إلى الخلف وممتدة إلى ملايين الكيلومترات، ويكون شكله مستقيم.

ب- الذيل المنحني الغباري:
ويتألف من جسيمات غبارية من مادة السيليكات، يتكون نتيجة تصادم الفوتونات الضوئية (الإشعاع الشمسي) مع الغبار في الذؤابة فتدفعه بقوة إلى الخلف مكونا الذيل المنحني.

أنواع المذنبات:

تقسم المذنبات بصورة عامة إلى قسمين

1- مذنبات الفترة الطويلة

هذا النوع من المذنبات يمتلك مدارات ذات قطع مكافئ لذلك لا يمكن مشاهدتها أكثر من مرة واحدة عند مرورها بالقرب من الشمس.

2- مذنبات الفترة القصيرة:

مدارات هذا النوع من المذنبات من نوع القطع الناقص تقع الشمس في احدي البؤرتين مدة دورتها قصيرة ويمكن مشاهدتها عدة مرات مثال على ذلك مذنب هالي مدة دورته حول الشمس 76 سنة تقريبا آخر مشاهدة لهذا المذنب كانت في نيسان عام 1986.

أصل المنظومة الشمسية:

لقد وضعت العديد من الفرضيات التي تبحث عن أصل المنظومة الشمسية وكيفية نشوئها. البعض منها اندثر كلياً لأنها ضعيفة البرهان والبعض الآخر لازال في طور البحث والتفسير ولكي تكون النظرية متكاملة عليها أن تفسر الخواص العامة التي تمتاز بها منظومتنا الشمسية. والتي يمكن تلخيصها بما يلي:

الخواص العامة لمنظومتنا الشمسية:

1- تتألف منظومتنا الشمسية من الشمس، الكواكب السيارة التي تدور حولها، الكويكبات المتمركزة في الحزام الكويكبي بين المريخ والمشتري، الأقمار التابعة لبعض الكواكب، الشهب والنيازك، المذنبات، هذا بالإضافة إلى الأتربة والغازات المنتشرة بين الكواكب.

2- الكواكب السيارة في منظومتنا الشمسية موزعة في فواصل منتظمة، هذا الانتظام في التوزيع يعبر عنه بواسطة قاعدة بود

3- الحركة المدارية للكواكب السيارة منتظمة تدور حول الشمس عكس عقارب الساعة من الغرب إلى الشرق بنفس اتجاه حركة الشمس حول نفسها، كذلك تدور الكواكب السيارة حول نفسها بنفس الاتجاه ما عدا كوكبي الزهرة وأورانوس

4- مدارات الكواكب السيارة تقع في مستوى واحد تقريبا، عدا الكوكب عطارد لمداره زاوية ميل تصل إلى 7 درجات عن الاكليبتيك. معظم مدارات الكواكب لها شكل دائري تقريبا، مدارات التوابع تقع تقريبا في المستويات الاستوائية لكواكبها والغالبية العظمى تدور في

مداراتها بنفس اتجاه دوران الكواكب حول محورها. ويستثنى من ذلك القمر الأرضي مستوى مداره يميل عن دائرة البروج وتابع الكوكب نبتون القمر تريتون الذي يدور باتجاه عقرب الساعة

5- أعمار كل من الشمس والأرض والقمر والنيازك متقاربة جدا.

6- الزخم الزاوي في منظومتنا الشمسية يتوزع بشكل رئيسي على الكواكب السيارة وبالأخص الكواكب العملاقة حيث أن الزخم الزاوي للشمس يقدر 2% من الزخم الزاوي الكلي للمنظومة، للمشتري وحده يملك 60% من الزخم الزاوي الكلي. واغلب باقي الزخم يتوزع بين زحل وأورانوس ونبتون .

7-بالنسبة إلى التركيب الكيميائي لإفراد المنظومة الشمسية فقد وجد أن الهيدروجين والهليوم تشكل العناصر الأساسية التي تتألف منها الشمس وكذلك كل من المشتري وزحل، وبكميات قليلة من نفس العناصر في كل من أورانوس ونبتون. أما تركيب الكواكب الأرضية والنيازك والقمر فإن العناصر الثقيلة هي التي تكون لها نسبة مئوية كبيرة مثل السليكون، الأوكسجين، الحديد، النيكل، الكالسيوم والصوديوم.

بعض الفرضيات المهمة التي وضعت لتفسير نشوء المنظومة الشمسية:

فرضية ديكارتز: وضعت عام 1644 وهي فرضية قدمت لتفسير أصل المنظومة من السديم الغازي.

فرضية بوفون: وضعت عام 1750 فسرت هذه الفرضية نشوء المنظومة على اثر اصطدام مذنب بالشمس. استبعدت هذه الفرضية بعد ما تبين أن المذنب جرم صغير.

فرضية شامبرلن ومولتن: في عام 1900 اجري تعديل على نظرية بوفون حيث استبدل المذنب بنجم كبير. هذه الفرضية أيضا استبعدت بعد أن تبين أن نسبة الاصطدام بين النجوم ضعيفة جدا.

فرضية جينز وجيفرز: هذه الفرضية مشابهة لفرضية بوفون السابقة إلا أنها تفترض اقتراب نجم بدل التصادم مع الشمس.

فرضية هنري رسل: هذه الفرضية تنص على أن الشمس ربما كانت في أول الأمر نجم في منظومة ثنائية، انفجر النجم الثنائي مولدا الكواكب السيارة وتوابعها.

الفرضية السديمية: في عام 1796 نشر العالم الفرنسي لابلاس هذه الفرضية والتي تنص على أن منظومتنا الشمسية تشكلت من سديم غازي وهي مقبولة لدى شريحة واسعة من علماء الفلك. وعلى أساسها تم تفسير ولادة النجوم من الغازات والأترية السائبة في فضاء ما بين النجوم.

يقول الله تعالى في كتابه العزيز:

أَوَلَمْ يَرِ الَّذِينَ كَفَرُوا أَنَّ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضَ كَانَتَا رَتْقًا فَفَتَقْنَاهُمَا وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ أَفَلَا يُؤْمِنُونَ (الانبياء:30)

تأمل عظمة الاعجاز العلمي للقرآن حين اشار الى أن السموات والارض كانتا رتقا أي شيئا واحدا متصل الاجزاء قبل انفصالهما.

نموذج مصغر للمنظومة الشمسية

لو مثلنا الشمس بكرة قطرها 1 متر فإن الارض حسب هذا المقياس سيكون قطرها 0.9 سم أي أن حجمها بقدر حبة البازلاء وتقع على بعد 107.5 متر من الشمس وسيبدو القمر بقدر حبة السمسم على بعد 27 سم تقريبا من الارض ، ويقع اقرب كوكب إليها وهو عطارد على بعد 41 متر وكوكب الزهرة على بعد 77.8 متر وكوكب المريخ على بعد 163.8 متر أما كوكب المشتري فأنة سيكون على بعد 559.5 متر وحجمه بقدر حجم حبة البطيخة ثم زحل على بعد 1 كم تقريبا والكوكب أروانوس على بعد 2 كم تقريبا اما الكوكب نبتون وهو الابعد في منظومتنا الشمسية فسيكون على بعد 3.3 كيلومتر من الشمس وحجمه بقدر حبة الطماطة. وهكذا ستبدو المنظومة الشمسية مليئة بالفراغ.

اسئلة قصيرة

س1: سرعة دوران كوكب عطارد حول الشمس من سرعة دوران كوكب المشتري حول الشمس وسنة عطارد من سنة المشتري

ويوم عطارد من يوم المشتري :

أ – اكبر ، أصغر ، أكبر ب – أكبر ، أكبر ، أكبر ج – أصغر ، أصغر ، أصغر د – أصغر ، أكبر ، أصغر

س2: سرعة دوران كوكب عطارد حول الشمس من سرعة دوران كوكب المشتري حول الشمس وسنة عطارد من سنة المشتري ويوم عطارد من يوم المشتري :

أ – اكبر ، أصغر ، أكبر ب – أكبر ، أكبر ، أكبر ج – أصغر ، أكبر ، أصغر

س3: افرض أن كوكب ما يدور حول الشمس بمدار دائري نصف قطره يساوي 2.8 وحدة فلكية ما مقدار (أ) مدة دورته المدارية (ب) مدة دورته الاقترانية؟

س4: (أ) أي الكواكب السيارة يمتلك اكبر (1) زمن دوراني حول نفسه (2) زاوية ميل لمستوي مدار الكوكب عن دائرة البروج (3) جاذبية سطحية.

(ب) لماذا لا تحدث ظاهرة عبور الكوكب عطارد امام قرص الشمس في كل دورة للكوكب حول الشمس؟

س5: اذا علمت أن مدة دورة كوكب الزهرة حول الشمس 225 يوم احسب : (أ) بعده عن الشمس. (ب) دورته الاقترانية

س6: الكوكب الذي يمتلك اكبر زمن دوراني حول نفسه هو (أ) الارض (ب) الزهرة (ج) عطارد.

س7: جميع الكواكب السيارة تدور حول نفسها عكس عقرب الساعة اي من الغرب الى الشرق بنفس اتجاه دوران الشمس حول نفسها عدا كوكبي (أ) المشتري وزحل (ب) زحل و أورانوس (ج) الزهرة و أورانوس

س8: أي من الكواكب السيارة سرعته المدارية اكبر ما يمكن (1) المشتري (2) عطارد (3) الارض

أسئلة الفصل الثالث

- س1 : اشرح الحركة المدارية لكل من كوكبي عطارد والزهرة .
س2 : اكتب ما تعرفه عن الغلاف الجوي لكوكب الزهرة .
س3 : علل سبب وصول الرياح الشمسية الى سطح كوكب الزهرة؟
س4 : اشرح اقمار كوكب المريخ.
س5 : كوكب المشتري يمتاز باحتوائه على كميات كبيرة من العناصر الاساسية منذ تكوين المنظومة الشمسية ، علل ذلك؟
س6 : اشرح الانبعاثات الكهرومغناطيسية من كوكب المشتري.
س7 : اذكر اسماء اكبر اربعة اقمار لكوكب المشتري؟ أي الاقمار اكثر اثارة ولماذا؟
س8 : اكتب ما تعرفه عن حلقات زحل.
س9 : قارن بين حلقات زحل وأورانوس.
س10 : أي الكواكب يمتلك أكبر (1) كتلة (2) مدة دورة (3) سرعة مدارية (4) عدد من الأقمار (5) شذوذ مركزي للمدار (6) زاوية ميل لمستوي مداره عن دائرة البروج (7) زمن دوراني حول نفسه (8) زاوية ميل استواء الكوكب عن مداره
س11 : ما هو نوع الغاز الذي يشكل اكبر نسبة في جو كل من الكواكب السيارة التالية وما هي نسبته المئوية: (1) الزهرة (2) الأرض (3) المشتري
س12 : إذا علمت أن المدة المدارية لكوكب المريخ تساوي 1.88 سنة احسب المدة الاقترانية لهذا الكوكب
س13 : استخدم الصيغة الرياضية لقاعدة بود في حساب البعد التقريبي لكل كوكب في منظومتنا الشمسية .
س14 : ما هي الأسباب التي دعت الاتحاد العالمي للفلك إلى استبعاد الكوكب بلوتو من عائلة الكواكب السيارة؟
س15 : كيف تم اكتشاف الكويكبات الصغيرة؟ ما هي القاعدة التي استخدمت لذلك اشرحها.
س16 : ما هي مصادر الشهب عددها فقط؟
س17 : عدد انواع الشهب وقارن بينها.
س18 : ما هي الفوائد العلمية لدراسة النيازك؟
س19 : عدد انواع المذنبات و اشرحها؟
س20 : ما هي الخواص العامة التي تمتاز بها منظومتنا الشمسية؟
س21 : إذا علمت أن مدة دورة الكوكب عطارد حول الشمس تساوي 88 يوم فما هو بعده عن الشمس.
س22 : لماذا تمتلك مجموعة النجوم من نوع العمالقة والعمالقة العظمى نورانية اعلى من نورانية اشمس على الرغم من أن درجة حرارتها السطحية اقل مما هي عليه في الشمس؟
س23 : استخدم الصيغة الرياضية لقاعدة بود في حساب البعد التقريبي لكل كوكب في منظومتنا الشمسية.
س24 : ما هو الغاز الذي يشكل اكبر نسبة في الغلاف الجوي للكواكب السيارة الآتية وما هي نسبته المئوية : (1) الزهرة (2) الأرض (3) المشتري
س25 : (أ) ما المقصود بالشهب المنتظمة وغير المنتظمة ؟
(ب) اذكر الأسباب التي أدت إلى استبعاد الفرضية التي تقول بأن أصل الكويكبات هو من بقايا كوكب

الفصل الخامس

المنظومات الثنائية والمتغيرات النجمية

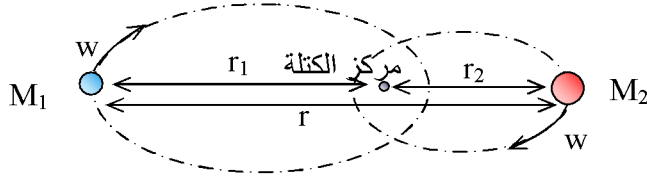
مقدمة:

تتألف المجرة من عدد هائل من النجوم ومن كميات كبيرة من الغازات والأتربة في فضاء ما بين النجوم. وتكون هذه النجوم مفردة أو ثنائية أو متعددة أو تكون على شكل تجمعات تدعى بالعناقيد النجمية. من هذه النجوم ما يكون ثابت النورانية ومنها ما يكون متغير، التغير في النورانية يمكن ان يكون تغيرا ذاتيا في النجوم وفي البعض الآخر التغير في النورانية يكون هندسيا.

النجوم الثنائية Binary stars

النجم الثنائي يتمثل بنجمين متقاربين ومرتبطين ببعضهما بواسطة الجاذبية المشتركة، وهذه القوة تؤدي الى دورانهما حول مركز ثقلهما المشترك. أن هذا الارتباط لا يقتصر على نجمين بل هناك أنظمة تحوي بين ثلاث الى سبع نجوم وربما في ظروف أخرى على آلاف النجوم فما زاد على نجمين فهو نظام متعدد النجوم. تتم دراسة النجوم الثنائية بوسائل مختلفة تعتمد على طبيعة النجم الثنائي فهناك دراسات بصرية، راديوية، طيفية أو إشعاعية (فوتومترية). هذا بالإضافة الى استخدام القوانين الفيزيائية لاستخراج بعض خواصها. فمثلا يمكن استخدام قانون كبلر الثالث لاستخراج مجموع كتلتي نجمين في منظومة ثنائية بدلالة كتلة الشمس.

وفيما يلي اشتقاق قانون كبلر الثالث باستخدام قوانين نيوتن.



نفرض ان r_1 و r_2 تمثل بعد النجمين عن مركز كتلة المنظومة ، w السرعة الزاوية لكل من النجمين و p يمثل الزمن الدوراني للنجمين حول مركز ثقلهما و r يمثل المسافة بين مركز كتلتي النجمين.

$$r = r_1 + r_2 \quad \dots\dots\dots(1-5)$$

$$r_1 M_1 = r_2 M_2 \quad \dots\dots\dots(2-5)$$

من مفهوم مركز الكتلة فأنا

or

$$M_1 v_1 = M_2 v_2$$

$$r_1 = \frac{M_2}{M_1 + M_2} r \quad \dots\dots\dots(3-5)$$

ومن المعادلتين اعلاه نجد ان

باستخدام قانون نيوتن في الجاذبية وقانون نيوتن الثاني في الحركة نجد ان

$$F = G \frac{M_1 M_2}{r^2} = M_1 \frac{v_1^2}{r_1} \quad \dots\dots\dots(4-5)$$

وبتحويل السرعة الخطية الى السرعة الزاوية ($v_1 = w r_1$) نجد ان

$$G \frac{M_1 M_2}{r^2} = M_1 w^2 r_1 \quad \dots\dots\dots(5-5)$$

وبالتعويض عن السرعة الزاوية بالزمن الدوراني

$$w = \frac{2\pi}{p}$$

$$G \frac{M_2}{r^2} = \frac{4\pi^2}{p^2} r_1 \quad \dots\dots\dots(6-5)$$

نستنتج

ومن المعادلة (3-5) نحصل على

$$G \frac{M_2}{r^2} = \frac{4\pi^2}{p^2} \frac{M_2}{M_1 + M_2} r$$

$$p^2 = \frac{4\pi^2 r^3}{G(M_1 + M_2)}$$

$$\text{or } M_1 + M_2 = \frac{4\pi^2 r^3}{Gp^2} \quad \dots\dots\dots(7-5)$$

إذا طبقنا المعادلة (7-5) على منظومة الأرض والشمس فالمعادلة اعلاه تصبح

$$M_{\odot} + M_E = \frac{4\pi^2 (1Au)^3}{G p_E^2} \dots\dots\dots(8-5)$$

حيث p_E مدة دوران الأرض حول الشمس ومقدارها 1 سنة، $M_{\odot}$ كتلة الشمس، Au يمثل نصف المحور الرئيسي لمدار الأرض ويساوي وحدة فلكية واحدة، M_E كتلة الأرض (وهي صغيرة بالنسبة للشمس لذلك تهمل من المعادلة (8-5) فتصبح العلاقة كالآتي

$$M_{\odot} = \frac{4\pi^2 Au^3}{G p_E^2} \dots\dots\dots(8-5)$$

$$\frac{M_1 + M_2}{M_{\odot}} = \left(\frac{r}{Au} \right)^3 \frac{1}{P^2 / P_E^2}$$

وبقسمة المعادلتين (7-5) و (8-5) نحصل على المعادلة

إذا عوضنا عن p_E بمقدار سنة واحدة و Au بمقدار 1 وحدة فلكية فالمعادلة اعلاه يمكن كتابتها بالشكل التالي

$$M_1 + M_2 = \frac{r^3}{p^2} M_{\odot} \quad \dots\dots\dots(9-5)$$

المسافة بين النجمين r (بالوحدات الفلكية) ومدة دورة حول مركز كتلة المنظومة p (بالسنين)

مثال:

وجد أن البعد بين نجمي ثنائي الشعري اليمانية يبلغ 20 وحدة فلكية ومدته الدورانية 50 سنة ، فإذا علمت أن كتلة النجم الابتدائي تبلغ 3.0 مرة بقدر كتلة النجم الثانوي ، فما مقدار كتلة كل نجم بدلالة كتلة الشمس؟

$$M_1 + M_2 = \frac{r^3}{p^2} M_{\odot}$$

$$M_1 + M_2 = \frac{20^3}{50^2} M_{\odot}$$

$$M_1 + M_2 = \frac{8000}{2500} M_{\odot}$$

$$M_1 + M_2 = 3.2 M_{\odot} \dots\dots\dots (1)$$

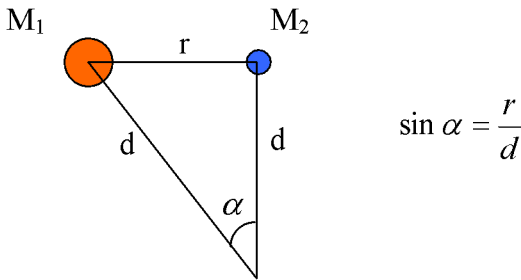
$$M_1 = 3.0 M_2 \dots\dots\dots (2)$$

ومن حل المعادلتين (1) و(2) نجد

$$M_2 = \frac{3.2}{4} M_{\odot} = 0.8 M_{\odot}$$

$$M_1 = 3.0 M_{\odot} = 2.4 M_{\odot}$$

الفلكيين يفضلون استخدام البعد الزاوي بين النجمين بدل المسافة r لذلك فالمعادلة (5-9) يمكن اعادة كتابتها بدلالة البعد الزاوي وزاوية اختلاف المنظر للثنائي ولتوضيح ذلك نفرض أن البعد الزاوي بين النجمين يساوي α وأن زاوية اختلاف المنظر للنجم الثنائي هو p'' فمن الشكل التالي نحصل على



وبما أن α صغيرة جداً فإن

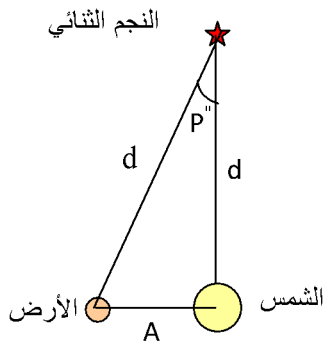
$$\alpha = \frac{r}{d} \dots\dots\dots (10-5)$$

وبالنسبة لقياس زاوية اختلاف المنظر نلاحظ من الشكل الثاني أن

$$\sin p'' = \frac{Au}{d}$$

وبما أن p'' صغيرة جداً فإن

$$p'' = \frac{Au}{d} \dots\dots\dots (11-5)$$



ومن المعادلتين (10-5) و (11-5) نحصل على $\frac{r}{\alpha} = \frac{Au}{p''}$

لذا فإن $\frac{r}{Au} = \frac{\alpha}{p''} \dots\dots\dots(12-5)$

وبالتعويض في المعادلة (9-5) نحصل على الصيغة الثانية لمعادلة حساب كتلة الثنائي

$$M_1 + M_2 = \left(\frac{\alpha}{p''} \right)^3 \frac{M_{\odot}}{p^2} \dots\dots\dots(13-5)$$

α = البعد الزاوي بين النجمين (بالثانية القوسية)
 p'' = زاوية اختلاف المنظر للنجم الثنائي (بالثانية القوسية)
 p = مدة الدورة للنجم الثنائي (بالسنيين)
 $M_{\odot}$ = كتلة الشمس

مثال:

افرض أن النسبة بين السرعة النصف قطرية لنجمين في ثنائي تساوي $\frac{1}{4}$ وزاوية اختلاف المنظر 0.05 ثانية قوسيه، اوجد كتلة كل نجم في هذا الثنائي بدلالة كتلة الشمس مع العلم بأن البعد الزاوي بينهما يبلغ 2 ثانية قوسيه ومدة دورته 100 سنة.

$$M_1 + M_2 = \left(\frac{\alpha}{p''} \right)^3 \frac{M_{\odot}}{p^2}$$

$$M_1 + M_2 = \left(\frac{2}{0.05} \right)^3 \frac{M_{\odot}}{100^2}$$

$$M_1 + M_2 = \frac{64000}{10000} M_{\odot} = 6.4 M_{\odot} \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{M_2}{M_1} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{1}{4} \dots\dots\dots(2) \Rightarrow M_1 = 4M_2$$

ومن حل المعادلتين (1) و (2) نجد أن

$$M_2 + 4M_2 = 6.4 M_{\odot}$$

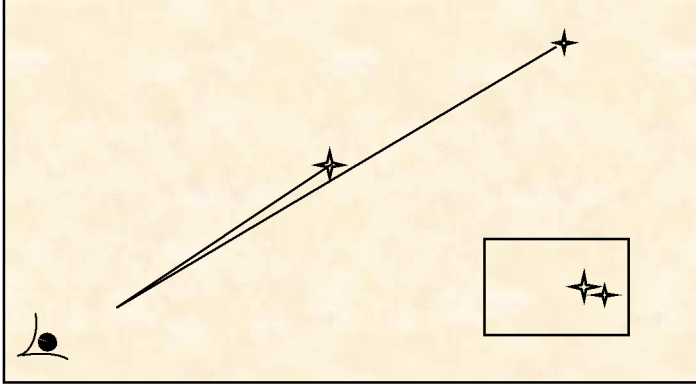
$$M_2 = \frac{6.4}{5} M_{\odot} = 1.28 M_{\odot}$$

$$\Rightarrow M_1 = 4 \times M_2 = 5.12 M_{\odot}$$

انواع النجوم الثنائية:

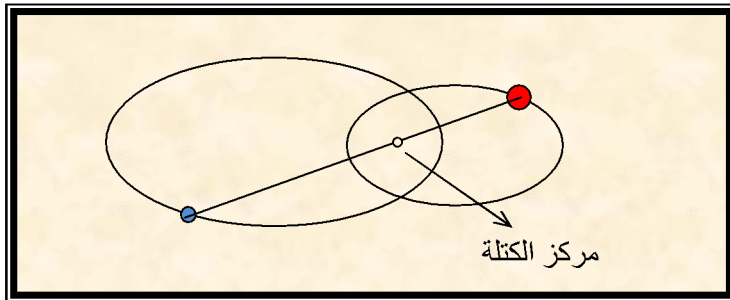
1- الثنائيات الظاهرية (الوهمية) Optical Binaries

النجمين في هذا النوع من الثنائي متقاربين ظاهريا وذلك لتقارب خطي الابصار لهما ، أي انهما يختلفان في بعدهما عن الراصد لذلك لا يوجد أي ارتباط فيزيائي بين النجمين



2- الثنائيات البصرية الحقيقية (المرئية) Visual Binaries

النجمين متقاربين ومرتبطين بقوة جذب متبادلة مما يجعلهما يدوران حول مركز الكتلة المشترك كما في الشكل (3-5)



الشكل (3-5) يمثل حركة نجمين من مجموعة ثنائية حول مركز الكتلة المشترك

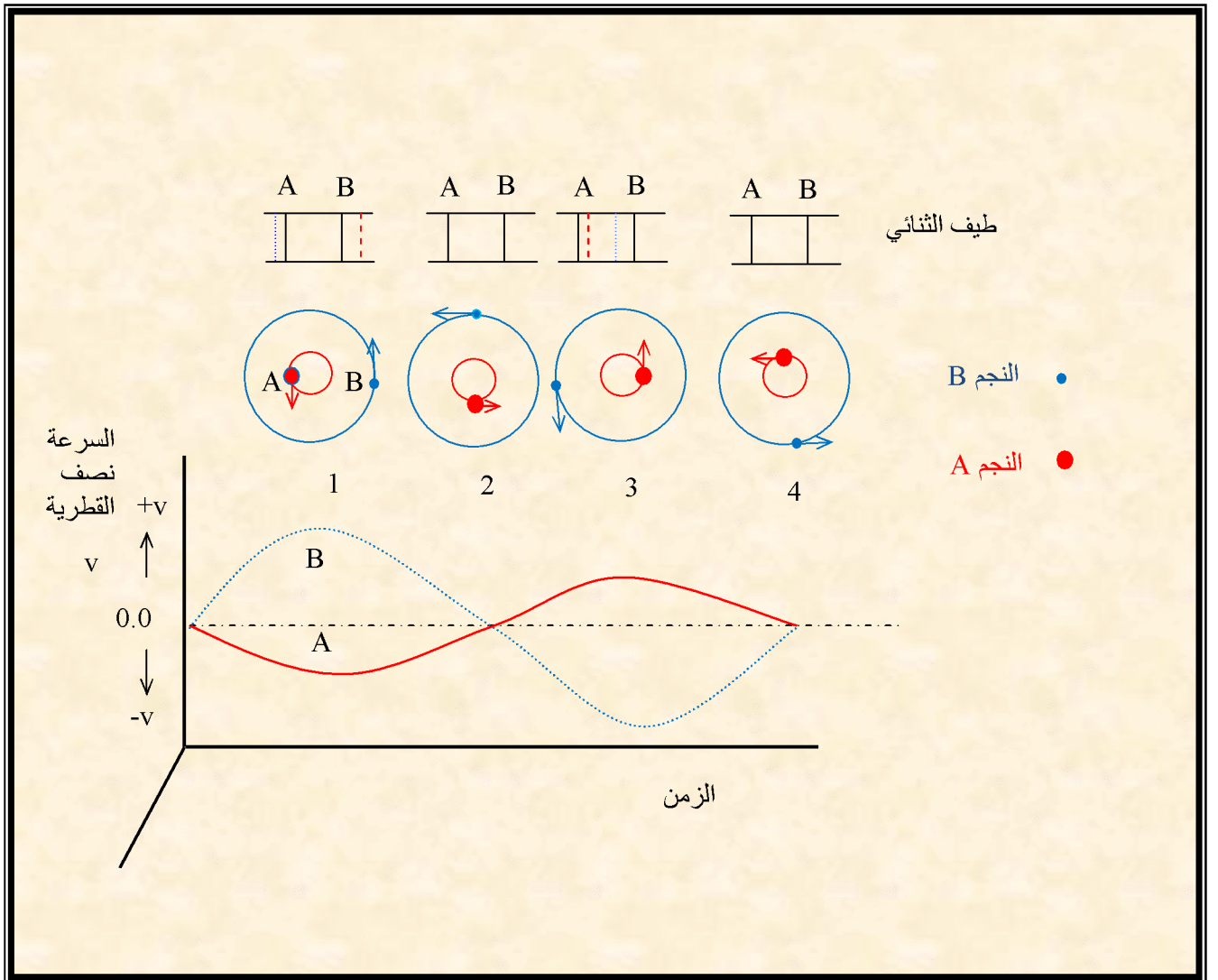
البعد بين النجمين يسمح رويتهما منفصلين بالتلسكوب وفي بعض الاحيان بالعين المجردة كما هو الحال بالنسبة للثنائي المنزر والسهى في كوكبة الدب الكبير.

3- الثنائيات الطيفية Spectroscopic Binaries

عندما يكون النجمان قريبان جدا من بعضهما فأنه من الصعب تحليلهما تلسكوبيا الى نجمين منفصلين، لذلك يستخدم التحليل الطيفي لدراسة هذا النوع من الثنائيات، فإذا افترضنا أن الثنائي يدوران في مدار دائري حول مركز الكتلة المشترك وان الأرض تقع في مستوي مدارهما (أي أن مستوي مدارهما في مستوي البصر) فيأتي وضع يكون احد النجمين مقتربا من الراصد والاخر مبتعدا عنه حينئذ تزداد خطوط الطيف للنجم المقترب نحو الازرق وتزداد خطوط الطيف للنجم المبتعد نحو الاحمر طبقا لظاهرة دوبلر وعند قياس مقدار هذه الازاحات لهذه الخطوط كدالة للزمن نستطيع ان نحصل على منحني السرعة نصف قطرية لكلا النجمين كذلك

يمكننا حساب المدة الدورانية للثنائي p وبالتالي يمكن حساب البعد بين النجمين ($r=r_A+r_B$) وذلك باستخدام المعادلة $V = \frac{2\pi r}{p}$ لكلا النجمين. لاحظ الشكل (4-5) والذي يمثل ثنائي يتألف

من نجمين A و B بحيث تكون كتلة A اكبر من كتلة B لنفرض أن كتلتيهما M_A و M_B وبُعديهما عن مركز ثقلهما r_A و r_B وأن السرعة نصف قطرية لهما V_A و V_B لذلك فالنسبة بين الكتلتين تساوي النسبة بين سرعتيهما النصف قطرية وباستخدام المعادلة (4-5) والمعادلة (9-5) نستطيع ان نحسب كتلة كل نجم في الثنائي

$$\frac{M_A}{M_B} = \frac{V_B}{V_A} = \frac{r_B}{r_A} \dots\dots\dots (4-5)$$


الشكل (4-5) يوضح منحنى السرعة نصف قطرية لثنائي طيفي

4- الثنائيات الفلكية Astronomical Binaries

الثنائي الفلكي يتألف من نجمين احدهما غير مرئي بسبب خفوت لمعانه ويعتقد العلماء أن النجم الخافت قد يكون كوكبا لذلك لا يمكن رؤيته مطلقا. ويستدل على وجوده من خلال تأثيره على حركة النجم المرئي.

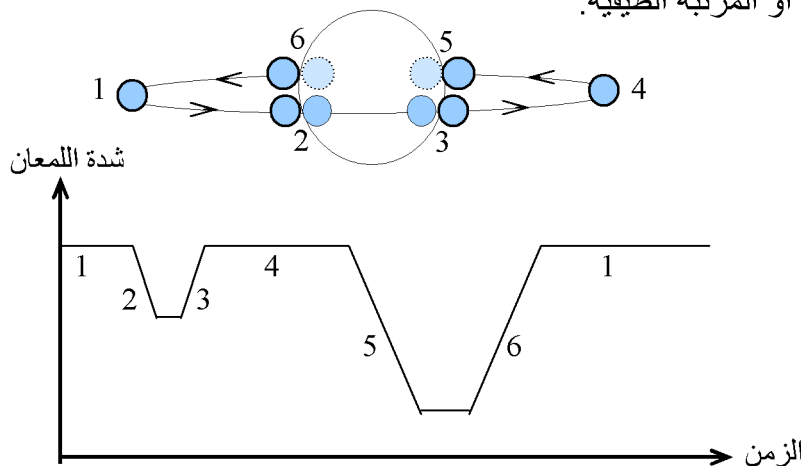
5- الثنائيات الكسوفية Eclipsing Binaries

في النظام الثنائي قد يحدث خلال دوران نجمين حول مركز الكتلة المشترك أن يمر احد النجمين امام النجم الاخر فيحجب النجم الثاني ضوء النجم الاول عن الراصد (أي تحدث عملية كسوف للنجم الاول) وبالتالي يتناقص الاشعاع الكلي للثنائي وهذه الظاهرة تحدث للثنائيات التي يتفق مستوى مداريهما مع اتجاه خط البصر.

أن ظاهرة كسوف أحد النجمين بواسطة النجم الاخر تتمثل عادة بمنحني ضوئي.

المنحني الضوئي (Light Curve) للثنائيات الكسوفية:

المنحني الضوئي للثنائيات الكسوفية يمثل التغير الزمني لشدة لمعان الثنائي ولتوضيح شكل المنحني الضوئي نفرض أن ثنائيا كسوفيا يتألف من نجمين احدهما صغير الحجم شديد السطوع والاخر كبير الحجم خافت، ولنفرض أن زاوية ميل المدار تساوي 90° والتي تمثل الزاوية المحصورة بين العمود المقام على مستوى المدار وخط الابصار أي أن مدار النجم الصغير حول النجم الكبير يقع باتجاه خط البصر. انظر الشكل (5-5) في الموضع رقم (1) الضوء الذي يصل الى الأرض يمثل شدة اللمعان الكلية للثنائي ويساوي مجموع شدة لمعاني النجمين والذي نطلق عليه باللمعان الأعظم، وعندما يمر النجم الصغير اللامع امام النجم الكبير الخافت يبدأ الكسوف الجزئي حيث تبدأ كمية الضوء التي تصل الى الارض بالنقصان تدريجيا كما في الموضع (2) الى ان تصل الى نهايتها الصغرى عندما يصبح النجم اللامع امام النجم الخافت ويدعى هذا الانخفاض بالكسوف الثانوي وبعد مضي مدة من الزمن على دوران النجم الصغير يبدأ زوال الاحتجاب والتدرج في الموضع (3) وبالتالي تزداد كمية الضوء التي تصل الى الراصد وعند زوال الاحتجاب بشكل كامل يعود لمعان الثنائي الى قيمته القصوى (اللمعان الاعظم) كما هو في الموضع (4)، وعند مرور النجم اللامع خلف النجم الخافت تبدأ شدة اللمعان الثنائي بالنقصان التدريجي الموضع (5) الى ان يختفي النجم اللامع وراء النجم الخافت عندها تقل شدة اللمعان الكلية بمقدار لمعان النجم اللامع ويدعى هذا الانخفاض بالكسوف الاساسي أو الابتدائي. وبعد مضي مدة من الزمن يبدأ ظهور النجم اللامع من وراء النجم الخافت الموضع (6) وبعد زوال الاحتجاب يعود اللمعان الى نهايته العظمى وهكذا تستمر عملية الكسوف بانتظام ففي كل دورة يحدث تقعران في المنحني الضوئي الكسوف الثانوي والكسوف الابتدائي، حجم التقعر الحاصل في المنحني يعتمد على حجم النجمين وعلى شدة لمعانهما او المرتبة الطيفية.



الشكل (5-5) يمثل منحني ضوئي لنجم ثنائي

العوامل المؤثرة على شكل المنحني الضوئي

1. شكل النجمين (كروي، بيضوي)
2. شكل المدار
3. زاوية ميل المدار عن خط الابصار
4. الخواص الفيزيائية للنجمين

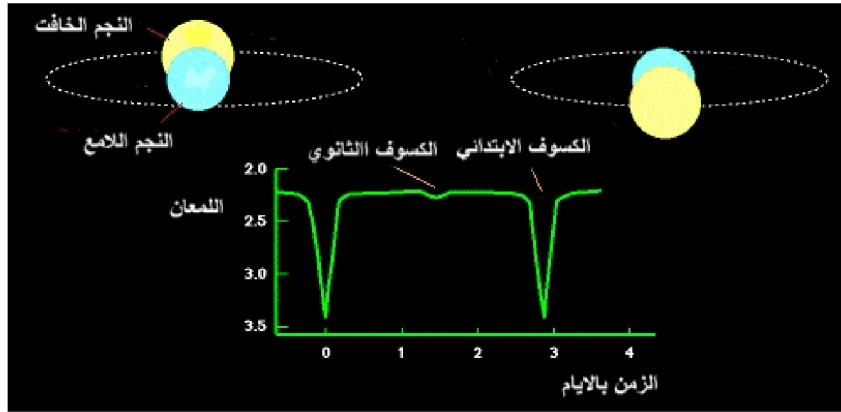
فوائد المنحني الضوئي للثنائيات الكسوفية:

1. حساب انصاف الأقطار النسبية لنجمي الثنائي، والنورانية النسبية، ونسبة كتليهما وكذلك الشذوذ المركزي لمداريهما
2. حساب زاوية ميل المدار والتي تمثل الزاوية المحصورة بين العمود على مستوى مدار الثنائي ومستوى خط الابصار.
3. حساب مقدار تغير الشكل الكروي لنجمي الثنائي وذلك بسبب تأثير قوة الجذب المتبادلة بين النجمين
4. معرفة مقدار تغير نورانية النجم من مركز النجم الى الحافة الخارجية وذلك باستخراج ما يسمى بمعامل عتومة الحافة والذي تتغير قيمته بين الصفر والواحد (صفر للنجوم التي تمتلك نورانية منتظمة وثابتة)
5. معرفة مقدار الانعكاسية التي يمتلكها كلا النجمين.

بعض انواع الثنائيات الكسوفية

1. ثنائيات طائفة الغول Algol Eclipsing Binaries

مدة دورتها قصيرة تعد بالأيام وتكون مداراتها شبه دائرية، النجم الثانوي (الأقل لمعانا) ببيضوي والنجم اللامع (الابتدائي) كروي. النجم الابتدائي مقارنتا مع النجم الثانوي، اصغر حجما، اكبر كتلة، اكثر نورانية ، اعلى حرارة ومن المرتبة الطيفية B_3 الى B_9 ومن مجموعة التابع الرئيسي. النجم الثانوي من مجموعة النجوم العملاقة الحمراء ومن المرتبة الطيفية K الى M الكسوف الابتدائي للمنحنى الضوئي كبير وواضح، أما الكسوف الثانوي فيكون ضئيل انظر الشكل (5-6).



الشكل (5-6) المنحنى الضوئي لثنائي الغول

2. ثنائيات طائفة بيتا القيثارة β Lyrae Eclipsing Binaries

المسافة بين النجمين صغيرة ، شكل النجمين بيضاويين بسبب الجاذبية المتبادلة، كلا النجمان في تلامس فيزيائي بحيث يحدث تبادل المادة بينهما. النجمين من مجموعة التابع الرئيسي، النجم الابتدائي من المرتبة الطيفية B_9 لامع جدا وساخن، والخافت (النجم الثانوي) من المرتبة الطيفية F ، ونظرا لحدوث انتقال للمادة بين النجمين فإن بعض المواد الغازية تنتقل الى الفضاء مكونة حلقات تتمدد الى الخارج وتبقى ملازمة للمنظومة الثنائية وتدور حولها انظر الشكل (5-7).

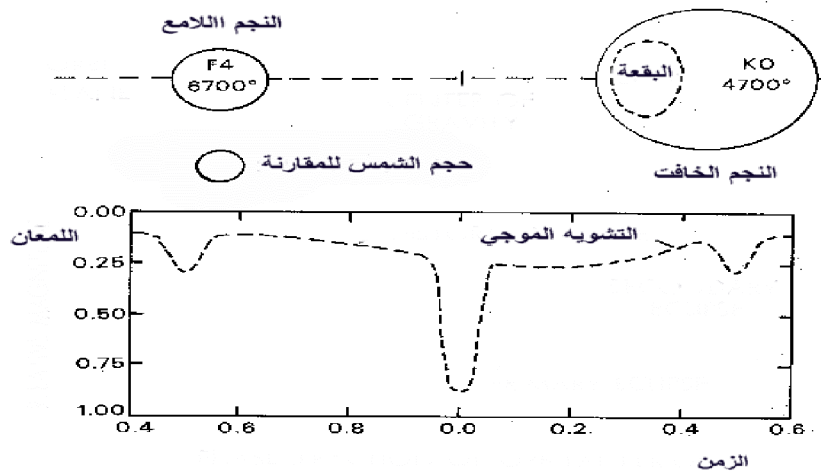


الشكل (5-7) ثنائي بيتا القيثارة

3. ثنائيات طائفة الدب الكبير W Ursa Majors Eclipsing Binaries
النجمان متقاربان جدا ومتماسان، شكلهما بيضوي، يوجد انتقال للمادة بين النجمين، مدة دورتهما اقل من يوم واحد وتتراوح ما بين 6 ساعة الى 12 ساعة. المرتبة الطيفية للثنائي بين المرتبة الطيفية F و G.
المنحني الضوئي لهذا الثنائي يمتاز بوضوح كلا الكسوفين الثانوي والابتدائي .

4. ثنائيات الأشعة السينية وأشعة كما x-ray and γ -ray Eclipsing Binaries
يتكون هذا الثنائي من نجمين النجم الابتدائي (النجم البصري) هو النجم الكبير اما النجم الثانوي فيكون صغير جدا يعتقد انه من النجوم المنهارة ويحتمل ان يكون قزم ابيض، او نجم نيتروني او ثقب اسود ويطلق عليه اسم نجم الاشعاع السيني. تنبعث الاشعة السينية واشعة كما من خلال عملية تعجيل وتسخين المواد الغازية الساقطة من النجم الابتدائي على النجم الثانوي. يمتاز هذا الثنائي بإشعاعه العالي المتغير بشكل منتظم وبفترات زمنية قصيرة جدا تتراوح بين اجزاء الثانية والخمسة دقائق. توجد انواع اخرى من هذه الثنائيات ذات اطوار غريبة مثل مستعرات الاشعة السينية التي يحدث فيها انفجار مفاجئ مصحوبا بزيادة في شدة لمعانها خلال يوم او يومين يصل فيها اللمعان الى ذروته العظمى ومن ثم يتناقص تدريجيا ليعود الثنائي الى لمعانه الاول خلال فترة طويلة تقارب الاشهر.
المنحني الضوئي لهذا الثنائي يمتاز باحتوائه على تقعر كسوفي واحد خلال الدورة الواحدة والسبب في ذلك كون ان النجم الثانوي هو من النجوم المنهارة (صغيرة الحجم).

5. ثنائيات كلاب الصياد RS Canes Venatici (رس)
يتألف هذا الثنائي من نجمين منفصلين لهما خواص مماثلة تقريبا للشمس المرتبة الطيفية للنجم الابتدائي تتراوح بين G و F وللنجم الثانوي بين K و G ، مدة الدورة تتراوح بين اليوم الواحد والاسبوعين. ما يميز هذا الثنائي هو:
أ. وجود تقعر موجي في المنحني الضوئي وهذا التقعر متغير في السعة والموقع مع مرور الزمن ويعتقد انه ناتج عن وجود بقع نجمية على سطح احد النجمين
ب. وجود انبعاثات سينية وراديوية يعتقد أن لها صلة بالفعاليات السطحية للنجم



الشكل (5-8) يمثل المنحني الضوئي لثنائيات كلاب الصياد

النجوم المتغيرة Variable stars

هي النجوم التي يتغير لمعانها بالنسبة لمشاهد من الأرض، مصطلح النجوم المتغيرة يشمل نوعين من النجوم المتغيرة، النجوم التي يكون فيها تغير اللمعان ناشئ عن عوامل خارجية كما هو الحال في الثنائيات الكسوفية والتي تدعى بالمتغيرات العرضية (أو بالمتغيرات الهندسية)، أما النجوم التي يكون فيها تغير اللمعان حقيقيا فتدعى بالمتغيرات الحقيقية فهي التي يكون فيها التغير ذاتيا له علاقة بصورة أساسية في حجم ودرجة حرارة النجم المتغير. وهذه الأخيرة تقسم أحيانا إلى مجموعتين وهي: المتغيرات النابضة والمتغيرات المضطربة أو البركانية.

المتغيرات النابضة Pulsating Variables

وهي نجوم يتغير سطوعها الظاهري من قيمة عظمى إلى قيمة صغرى بشكل دوري منتظم نتيجة التمدد والتقلص الذي يحصل في حجم النجم، وربما يكون السبب في التمدد والتقلص هو عدم توفر الاتزان بين قوى الجاذبية المؤثرة في الغلاف الجوي للنجم مع ضغط الغازات الساخنة القادمة من باطن النجم. وفيما يلي ملخص لبعض أنواع هذا النوع من المتغيرات.

1. المتغيرات القيفاوية Cepheid Variables

نجوم هذه المجموعة صفراء اللون تنتمي إلى مجموعة العمالقة والعمالقة العظمى ومرتبتهما الطيفية G , F ، أقدارها تتغير بمعدل قدر ضوئي واحد وتتغير أطرافها بصورة متزامنة مع تغيراتها الدورية وتتراوح مدتها الدورية بين يوم واحد إلى 50 يوما. من الفوائد المهمة التي تم اكتشافها لهذا النوع من المتغيرات هو وجود علاقة بين مدة الدورة والنورانية أي أن القيفاويات المتساوية في مدة الدورة متساوية في نورانيتها فمثلا إذا استطعنا قياس بعد أحد نجوم من المتغيرات القيفاوية والذي له مدة دورة على سبيل المثال 10 أيام فسيكون بمقدورنا حساب قدره المطلق ونورانيته الحقيقية وعليه فإنه يمكن تقدير بعد أي قيفاوي يمتلك نفس مدة الدورة (10 أيام). هذه الخاصية مكنة الفلكيين من استخدام هذه المتغيرات في قياس المسافات النجمية.

2- متغيرات القيثارة (RR Lyra Variables)

وهي نجوم قديمة جدا (stellar population II) نجومها من مجموعة النجوم العمالقة ، ألوانها بين الزرقاء والبيضاء وقسم قليل منها صفراء اللون، مدة دورتها قصيرة تتراوح بين ساعة واحدة إلى عشرين ساعة. تتغير أقدارها بين 2 قدر ضوئي إلى 0.5 قدر ضوئي، مرتبتهما الطيفية تتغير بين A عندما تظهر في أعظم نورانية و F في أقل نورانية. تمتلك أغلب هذه المتغيرات نفس القدر المطلق والذي يبلغ مقداره 0.5 لذلك يستفاد من هذه الخاصية في حساب بعد هذه المتغيرات وكذلك في قياس المسافات النجمية. وغالبا ما تظهر هذه النجوم على شكل عناقيد نجمية كروية لذلك تسمى أحيانا بالمتغيرات العنقودية والعدد القليل منها تكون منعزلة.

3- المتغيرات طويلة الدورة Long – Period Variables

نجومها من مجموعة النجوم العمالقة والعمالقة العظمى حمراء اللون ومن المرتبة الطيفية M مدة دورتها سنة تقريبا، أشهر نجوم هذه المجموعة النجم المسمى اعجوبة قيطس Mira-ceti. وهو من العمالقة الحمراء والذي يعاني تغيرا في لمعانه بمقدار 7 قدر ضوئي حيث يتغير اللمعان من القدر الضوئي الثاني إلى القدر التاسع خلال 11 شهرا ويصاحب هذا التغير في اللمعان تغير في المرتبة الطيفية بين المرتبة الطيفية M6 إلى M9 .

المتغيرات المضطربة أو البركانية Eruptive Variables

1- النجوم المتأججة أو المتألقة Flare stars

وهي نجوم باردة خافتة تنتمي الى مجموعة التابع الرئيسي مراتبها الطيفية عادة من نوع M وفي بعض الاحيان من نوع K عددها قليل، تولد بعض التأججات الموضعية على سطحها خلال فترات زمنية قصيرة تقدر بالثواني وتحدث هذه التأججات بشكل مفاجئ مصحوبة بزيادة في الاشعاع الضوئي والراديوي مع انبعاث طاقة حرارية عالية هذا التغير يصاحبه زيادة في اللمعان بمقدار 2 قدر ضوئي ثم تعود هذه النجوم الى وضعها الاصلي بعد 10 الى 20 دقيقة، يعتقد أن ظاهرة التأجج هذه ربما تنتج من بعض البقع السطحية ذات الدرجات الحرارية العالية، القسم الاعظم من هذه المتغيرات ينتمي الى ثنائيات نجمية.

2- المستعرات (نوبا) Nova

نجوم تمتاز بزيادة مفاجئة لنورانيته بسبب انفجار يحصل في النجم يؤدي الى تشتت الغلاف الغازي وتنفذ خلال هذه العملية كمية قليلة من كتلتها بحيث تزداد شدة لمعانها بمقدار يتراوح بين 1 الى 15 قدرا تقريبا خلال يومين او بضعة اسابيع الى ان تصل ذروتها في اللمعان ثم تنكمش وتعود الى وضعها الاصلي خلال فترة تقارب الاشهر (بالنسبة للمستعرات السريعة) وقد تعود الى وضعها الاصلي خلال فترة تصل الى عدد من السنين (بالنسبة للمستعرات البطيئة). يعتقد أن هذه النجوم تقع في منظومات ثنائية يحدث فيها انتقال للمادة من النجم الابتدائي البصري الى النجم الثانوي القزم الابيض وهذه العملية تؤدي الى ارتفاع درجات الحرارة السطحية للنجم الثانوي مما يسبب حدوث الانفجار، هذه الانفجار قد يتكرر في نفس النجم على فترات زمنية غير محددة.

3- المستعرات العظمى (سوبر نوبا) Supernova

في هذا النوع من المتغيرات النجمية يحدث انفجار هائل يؤدي الى تمزيق النجم وهي نجوم ذات كتل عالية في مراحلها النهائية من التطور يحدث الانفجار نتيجة تكس عنصر الحديد وزيادة درجة حرارة مركز النجم مما يؤدي الى حدوث انفجار عنيف محطما النجم تاركا وراءه مركزا كرويا صلبا (نجم نيتروني او ثقب اسود) وغلافا غازيا ممتدا بسرعة كبيرة جدا محيطا بالمركز الكروي الصلب يسمى بقايا الانفجار (السديم السرطاني) انظر الشكل الاتي. هذا الانفجار يؤدي الى زيادة مفاجئة في اللمعان بمقدار مئات الملايين من المرات عما كان عليه النجم بحيث يصل القدر المطلق للنجم الى اكثر من 15.0 - قدر ضوئي.

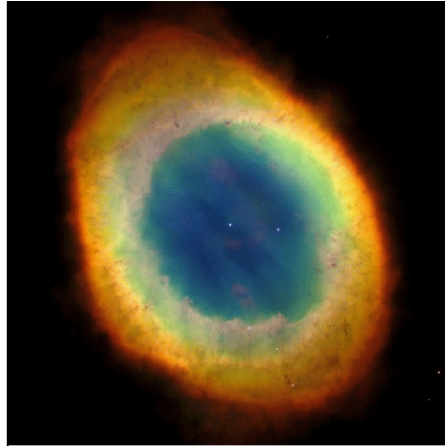


الشكل (5-9) السديم السرطاني والذي يمثل بقايا انفجار سوبر نوبا في برج الثور

منذ عام 1936 تم اكتشاف أكثر من 400 سوبر نوبا في المجرات الخارجية أما السوبر نوبا التي تم توثيقها عبر الإلفين سنة الماضية في مجرتنا مجرة درب التبانة هي 8 حدثت في الاعوام 1604، 1572، 1181، 1054، 1006، 393، 386، 185 يوجد نوع من هذه يسمى المستعرات العظمى نوع Ia (supernova Ia) هذا النوع من السوبرنوبا في نجوم الأقزام البيضاء وفي المنظومات الثنائية حيث يحصل انتقال للكتلة من النجم البصري الى القزم ابيض وعندما تزداد كتلة القزم عن حد جاندراسيكار يحصل انفجار يمزق القزم الابيض هذا النوع من السوبر نوبا يمتلك ذروة موحدة من اللمعان مما جعل استخدام هذا السوبر نوبا كشمعة معيارية في قياس المسافات للمجرات البعيدة

4-السدن الكوكبية Planetary Nebulae

هي نجوم من العملاقة الحمراء كتلتها مقاربة لكتلة الشمس استنفذت وقودها النووي وتهاوى الجزء المركزي مخلفا نواة حارة ونتيجة هذا الانكماش سيتحرر كميات كبيرة من الطاقة الحرارية نحو الطبقات الخارجية من غلاف النجم مما يؤدي الى تأينها وتمددتها نحو الخارج بسرعة بطيئة، ليشكل سديم حلقي يحيط بالجزء المركزي المنهار. لقد اظهرت الدراسات الفلكية بأن درجة حرارة الجزء المركزي تبلغ احيانا ما يقارب 200000 كلفن ويكون الغلاف الغازي ذا قطر يعادل أكثر من 20000 وحدة فلكية ومن امثلة هذا السديم هو السديم الحلقي في كوكبة القيثارة انظر الشكل الاتي:



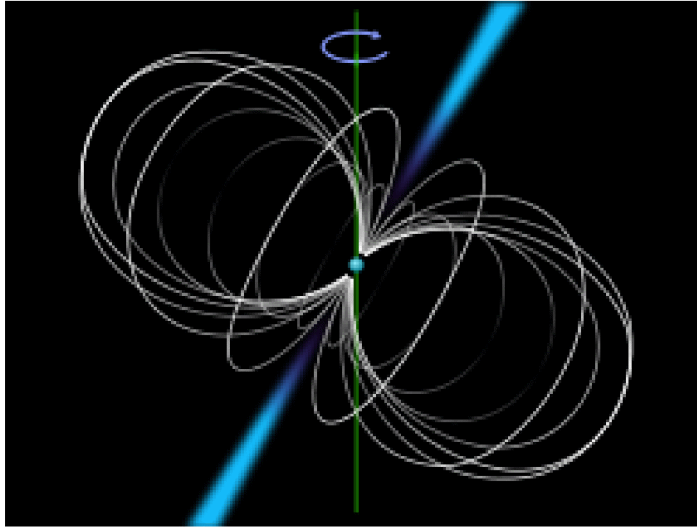
الشكل (10-5) يمثل السديم الحلقي في كوكبة القيثارة، الجزء المركزي المنهار يظهر كنقطة مضيئة في مركز السديم

5- نجوم الثور T-Tauri stars

المراتب الطيفية لنجومها تتراوح بين G و M ، موضعها يقع قليلا فوق نجوم التتابع الرئيسي لمخطط H-R، تظهر دائما انبعاثات مفاجئة وسريعة ولكن غير منتظمة بحيث يزداد لمعانها بضع اقدار ضوئية بالإضافة الى انها مرتبطة دائما بالغازات والأتربة السائبة مابين النجوم، يعتقد انها نجوم ذات كتل واطنة غير متكاملة الانكماش وهي في بداية عمليات اندماج الهيدروجين أي انها في طريقها الى التكوين لذلك فهي تعتبر من النجوم البركانية المهمة.

الناضضات أو الخافقات ،البلسارات (Pulsars) حديثا يطلق عليها بالمطارق الكونية (Cosmic hammers)

هي نجوم نيترونية تدور حول نفسها بسرعة كبيرة ، ونظرا لامتلاكها حقل مغناطيسي قوي وكثيف (يقدر بـ 10^{12} مرة المجال المغناطيسي الارضي) وسرعة دوران عالية ينبعث منها حزمة مخروطية ضيقة من الاشعة الكهرومغناطيسية ذات الاطوال الموجية الراديوية وباتجاه المحور المغناطيسي للنجم هذه الانبعاثات لا تشاهد من على سطح الارض إلا في الحالة التي يكون فيها اتجاه إحدى الحزمتين المخروطية باتجاه الكرة الأرضية. لذلك ونتيجة للدوران السريع الذي تملكه هذه النجوم سوف تظهر هذه الانبعاثات على شكل ومضات سريعة ومن هذه الظاهرة استمدت هذه النجوم تسميتها بالبلسار (pulsar). الزمن الدوري لهذه الناضضات يعتمد على زمن دوران النجم حول نفسه والتي وجدت بأنها تتراوح أزمانها الدورية ما بين 1.5 ملي ثانية الى 8.5 ثانية



الشكل (11-5) نجم نيتروني يحيط به مجاله المغناطيسي كما يوضح الشكل الحزمة المخروطية المنبعثة منه وباتجاه مجاله المغناطيسي

ولقد لاحظ علماء الفلك بأن الزمن الدوري للنبضات يزداد بمعدل 10^{-8} ثانية/سنة مما يؤكد أن دوران هذه البلسارات حول نفسها يتباطأ. أول نجم نابض (بلسار) اكتشفت عام 1967 من قبل J. Bell & A. Hewish في انكلتري وبعد ذلك توالى الاكتشافات للعديد منها، أشهرها هو النجم النابض الموجود في سديم السرطان (برج الثور) والذي هو بقايا انفجار سوبر نوبا ويطلق عليه بالنابض السرطاني والذي يمتاز بمدته الدورانية القصيرة والبالغة 0.033 ثانية. هذا النابض يبعث طاقة هائلة وهو يبعد عنا 2000 فرسخ فلكي (~ 5000 سنة ضوئية)، شوهد انفجار هذا السوبر نوبا من قبل الصينيين في 11 تموز عام 1054م.

يوجد في المجرة نوع آخر من النجوم النابضة والتي هي نوابض الاشعة السينية (x-ray pulsars) تبعث هذه النوابض طاقة هائلة من طيف الاشعة السينية يفسر علماء الفلك هذا النوع من الانبعاثات الى أن هذه النجوم تمثل احد افراد منظومة ثنائية تتألف من نجمين متقاربين يحصل بينهما انتقال للمادة ونتيجة قوة الجذب الهائلة التي يمتلكها النجم النيتروني تندفع الغازات من النجم البصري نحو النجم النيتروني بسرعة هائلة مما يؤدي الى ارتفاع درجة حرارتها وتوهجها ويكون نتيجة ذلك انبعاث نبضات سريعة من الاشعة السينية بالإضافة الى الامواج الراديوية والضوء المرئي.

اسئلة الفصل الخامس

س1: نجم ثنائي بصري كتلة نجميه M_1 و M_2 وزمن دورتيهما حول مركز ثقلهما المشترك T وان البعد الزاوي بين النجمين α وزاوية اختلاف المنظر للثنائي p'' والسرعة النصف قطرية لكل نجم هي v_1 و v_2 فاثبت ان

$$M_1 = \frac{v_2}{v_1 + v_2} \left(\frac{\alpha''}{p''} \right)^3 \frac{M_O}{T^2}$$

س2: اثبت ان مجموع كتلتي نجمين في منظومة ثنائية هي $M_1 + M_2 = \left(\frac{\alpha}{p''} \right)^3 \frac{M_O}{P^2}$

علما ان α البعد الزاوي بين النجمين، p'' زاوية اختلاف المنظر، p مدة الدورة الواحدة و M_O كتلة الشمس.

س3: وجد ان البعد بين نجمي ثنائي يبلغ 5 وحدة فلكية ومدة الدورة تبلغ 5 سنة فإذا علمت أن كتلة احد النجمين 3 اضعاف كتلة النجم الاخر، فما مقدار كتلة كل منهما بدلالة كتلة الشمس؟
س4: وجد ان البعد بين نجمي ثنائي يبلغ 10 وحدة فلكية ومدته الدورانية 20 سنة فإذا علمت أن كتلة النجم الثانوي يساوي 0.75 مرة بقدر كتلة النجم الابتدائي، فما مقدار كتلة كل نجم بدلالة كتلة الشمس؟

س5: مجموع كتلتي نجم ثنائي هي $10M_O$ ما مقدار الزمن الدوراني حول مركز ثقلهما المشترك اذا علمت ان زاوية اختلاف المنظر لهما $0.37''$ والبعد الزاوي بين النجمين $3.7''$ ؟
س6: عدد انواع النجوم الثنائية وشرح واحدة منها.

س7: ماهي فوائد دراسة وتحليل المنحني الضوئي للثنائيات الكسوفية؟

س8: عدد انواع الطوائف النجمية للثنائيات الكسوفية

س9: في المنحنيات الضوئية للثنائيات الكسوفية نلاحظ تقعرين عادة ما سبب ذلك؟ اشرحها بالتفصيل وعلى ماذا تعتمد مساحة هذه التقعرات ؟

س10: ما هي الخواص الفيزيائية لثنائيات طائفة بيتا القيثارة.

س11: نشاهد في المنحني الضوئي لثنائي طائفة الاشعة السينية واشعة كاما الكسوفية وجود تقعر كسوفي واحد خلال دورة واحدة، علل ذلك.

س12: قارن بين ثنائيات طائفة الغول وطائفة الدب الكبير

س13: عدد أنواع المتغيرات النجمية النابضة وشرح واحدة منها.

س14: ماهي المتغيرات البركانية ؟ عددها وشرح واحدة منها.

س15: ما سبب التغيرات الضوئية الحاصلة في كل ممن يأتي؟ السدم الكوكبية، المتغيرات القيفاوية، النجوم النابضة (البلسارات) ، الثنائيات الكسوفية

س16: قارن بين المتغيرات النابضة من نوع القيفاوية ونوع القيثارة(رر).

س17: قارن بين المستعرات والمستعرات العظمى.

س18: (أ) ما مقدار المسافة بين نجمين في منظومة ثنائية إذا علمت أن مجموع كتلتي الثنائي تساوي 4 اضعاف كتلة الشمس وأن مدة دورة الثنائي حول مركز ثقلهما تساوي 50 سنة؟
(ب) ما المقصود بالمستعرات العظمى ؟ وما سبب حدوثها؟

اسئلة قصيرة

- 1) أن سبب التغيرات الضوئية في الثنائيات الكسوفية هو: (أ) التمدد والتقلص الذي يحصل لنجوم الثنائي (ب) الكسوف المتتابع لنجمي الثنائي (ج) لحدوث انفجارات تمزق الثنائي النجمي .
- 2) النابضات هي نجوم منهارة من نوع (أ) اقزام بيضاء (ب) نجوم نيترونية (ج) ثقوب سوداء.
- 3) نجوم المتغيرات القيفاوية من نوع العملاقة والعملاقة العظمى لون نجومها (أ) حمراء (ب) زرقاء وبيضاء (ج) اصفر.
- 4) النابضات هي نجوم منهارة من نوع :
(أ) قزم ابيض (ب) ثقب اسود (ج) نجم نيتروني (د) قزم أحمر

الفصل الرابع

الخواص الفيزيائية والقياسات الأساسية للنجوم

مقدمة:

يقول احد الحكماء أن "التأمل في النجوم علاج للهموم" لأننا سوف نشعر بضالة عالمنا وتفاهة همومنا بالنسبة لهذا الكون الفسيح فنحن البشر نعيش على سطح كوكب يدور حول الشمس وما الشمس إلا نجم من بين بلايين النجوم التي تنتمي الى مجرتنا مجرة درب التبانة وما مجرتنا سوى مجرة من بين بلايين المجرات في هذا الكون الذي ننمي اليه.

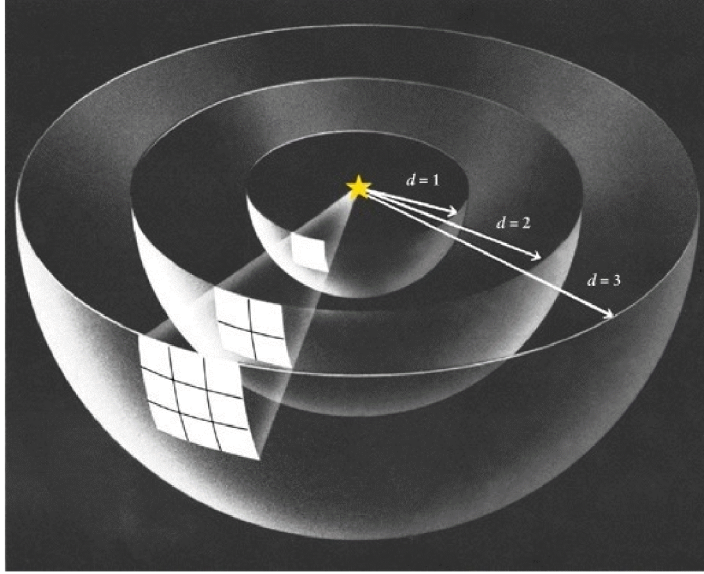
النجم هو عبارة عن كتلة متوهجة من الغازات له القدرة على توليد الطاقة الضوئية من خلال الاندماجات النووية التي تحدث في مركزه، وما الشمس إلا نجم متوسط الحجم والعمر بالمقارنة مع بلايين النجوم الموجودة في مجرتنا (مجرة درب التبانة). يستطيع الفلكيون الحصول على كثير من المعلومات التي تتعلق بخصائص النجوم عن طريق التحليل الطيفي للضوء النجمي الذي يصلنا إلى الأرض والذي من خلاله يمكن الحصول على درجة الحرارة السطحية للنجم والتركيب الكيميائي له وغلافه الجوي ومجاله المغناطيسي وعن لونه ولمعانه وقربه وبعده.

لمعان النجوم

مقدار الطاقة المنبعثة من النجم في الثانية الواحدة يسمى بنوارنية النجم L_* وتُقاس النوارنية بوحدة الواط، على الرغم من أن نوارنية النجوم عالية جدا تظهر النجوم خافتة في السماء والسبب هو بعدها الشاسع عن الأرض. ففي الوقت الذي تصل فيه طاقة النجم إلى الأرض فإن نوارنية النجم سوف تنتشر على مساحة كرة $(4\pi d_*^2)$ نصف قطرها يساوي بعد النجم عن الأرض d_* . لذلك فإن شدة السطوع الظاهري للنجم والذي نطلق عليه اللمعان b_* (المجموع الكلي للطاقة الضوئية الواصلة من النجم) تعكس في وقت واحد نوارنيته الحقيقية L_* وبعده d_* من خلال العلاقة التالية (قانون التربيع العكسي) التي توضح العلاقة بين اللمعان الظاهري ونوارنية النجم وبعده عن الراصد.

$$b_* = \frac{L_*}{4\pi d_*^2} \quad (b_* \text{ لمعان النجم ، } d_* \text{ بعد النجم عن الارض، } L_* \text{ نوارنية النجم})$$

ففي الشكل التالي اذا اعتبرنا أن اللمعان يساوي واحد عند المسافة $d_1=1$ فسوف تصبح قيمة اللمعان $\frac{1}{4}$ عند المسافة $d_2=2$ وتساوي $\frac{1}{9}$ عند المسافة $d_3=3$ وهكذا يتضح أن اللمعان يتناسب تناسبا عكسيا مع مربع البعد.



أقدار النجوم : stellar Magnitudes

الأقدار الظاهرية : Apparent Magnitude (m)

القدر الضوئي هو مقياس لوغاريتمي لشدة لمعان النجوم، فالعين البشرية لا تستجيب للتغيرات الخطية لللمعان إنما استجابتها لوغاريتمية حيث ان العين لا تستطيع ان تميز تغير في اللمعان اقل من 2.5 لذلك يعبر عن اللمعان الظاهري b^* للنجم بالأقدار الظاهرية m^* . صنفت النجوم قديما بحيث تكون النجوم الأكثر لمعانا اقل قدرا ويرجع هذا التقسيم إلى زمن الإغريق، فلقد قسموا لمعان حوالي 1000 نجم مرئي إلى ستة أقدار، حيث صنف أكثر النجوم سطوعا وعددها عشرون نجما في المرتبة الأولى أو القدر الأول ($m = +1$)، وصنف الخمسون نجما التي تليها في درجة السطوع الظاهري في المرتبة الثانية أو القدر الثاني ($m = +2$)، وهكذا إلى القدر الظاهري السادس الذي شمل بضع مئات من النجوم المتبقية والتي تكاد ترى بالعين المجردة والتي سميت بنجوم المرتبة السادسة ($m = +6$). النجوم اللامعة تقابل أقدار نجمية ذات ارقام صغيرة أما النجوم الخافتة فتقابل أقدار نجمية ذات ارقام كبيرة. واستمر العمل بنظام الأقدار النجمية حتى اليوم بعد ادخل عليه الفلكيون بعض التحسينات على طريقة قياس الأقدار ومقاديرها. في عام 1859 م اكتشف العالم فيخنر علاقة ما بين القدر النجمي الظاهري (m) ولمعان النجم (b) حيث c كمية ثابتة تمثل المقياس الصفري لهذه الأقدار.

$$m = c - 2.512 \log_{10} b \dots \dots (1-4)$$

$$m = c - 2.5 \log_{10} b \dots \dots (1-4)$$

وللسهولة تكتب العلاقة بالشكل التالي

إذا فرضنا الأقدار الظاهرية لنجمين m_1 و m_2 ولمعانهما الظاهرية b_1 و b_2 فعند استخدام المعادلة (4-1) وطرح القدر الظاهري للنجم الأول من القدر الظاهري للنجم الثاني نحصل على

$$m_2 - m_1 = 2.5 \log_{10} \frac{b_1}{b_2} \dots \dots \dots (2 - 4)$$

$$\log_{10} \frac{b_1}{b_2} = 0.4 (m_2 - m_1) \dots \dots \dots (3 - 4)$$

$$\frac{b_1}{b_2} = 10^{0.4 (m_2 - m_1)} \dots \dots \dots (4 - 4)$$

or

$$\frac{b_1}{b_2} = 2.5^{(m_2 - m_1)}$$

الجدول الآتي :

يوضح الفرق بين الاقدار الظاهرية لنجمين ونسبة لمعانهما الظاهرية $\frac{b_0}{b_*}$

$m_* - m_0$	-1	0	1	2.5	5	10	20
$\frac{b_0}{b_*}$	0.4	1	2.5	10	100	10000	10^8

من هذا الجدول يتضح أن النجوم التي يكون لمعانها الظاهري اقوي من لمعان نجوم القدر الصفري ($m=0$) بمقدار 2.5 فتدعى بنجوم القدر الأول السالب ($m=-1$)، من النجوم اللامعة في السماء النجم الشعري اليمانية له قدر نجمي ظاهري ($m = -1.47$) وعلى نفس المقياس القمر عندما يكون بدرا فقدره الظاهري ($m = -12$) أما الشمس فقدرها الظاهري $m = -26.7$ اي ان لمعان الشمس الى لمعان نجم من القدر الصفري يساوي $\frac{b_{\odot}}{b_0} = 10^{11}$.

أن النجوم التي يكون لمعانها الظاهري اقل من اللمعان الظاهري لنجوم القدر الصفري بمقدار 2.5 تدعى بنجوم القدر الاول ($m=1$)، اما النجوم التي يكون لمعانها اقل من اللمعان الظاهري لنجوم القدر الصفري بمقدار 100 مرة تدعى بنجوم القدر الخامس ($m=5$). اقل النجوم سطوعا والتي يمكن رصدها بالتلسكوبات الكبيرة فهي من القدر الضوئي الـ الثاني والثلاثون ($m = +32$) وعليه فإن نسبة لمعان الشمس الى لمعان هذا النجم تبلغ 10^{23} .

بما أن نظام الأقدار النجمية اعتمد العين البشرية كأساس في القياس لذا يجب اخذ بنظر الاعتبار المسألتين الآتيتين

1- في قياس الأقدار الظاهرية اعتمد طاقة الأطوال الموجية المرئية فقط، علما بأن النجوم تبعث طاقة ضوئية بجميع الأطوال الموجية للطيف الكهرومغناطيسي

2- العين البشرية تعمل ضمن مدى واسع من الإضاءة (من ضوء الشمس المباشر (الساطع) وحتى ظلمة الليل (الدامس)) وهي لا تستجيب للتغيرات الخطية للإضاءة وإنما استجابتها تكون لوغارتمية. أي إن العين لا تستطيع أن تميز تغير في السطوع اقل من 2.5

مثال:

احسب نسبة اللعان الظاهري للشمس بالنسبة الى النجم الشعري اليمانية اذا علمت أن القدر الظاهري لكل من الشمس والشعري اليمانية على التوالي هي $m_* = -1.47$, $m_{\odot} = -26.7$ ؟

$$m_* - m_{\odot} = 2.5 \log \left(\frac{b_{\odot}}{b_*} \right)$$

$$\frac{b_{\odot}}{b_*} = 10^{0.4(m_* - m_{\odot})} = 10^{0.4(-1.47 + 26.7)}$$

$$= 10^{10}$$

الأقدار المطلقة : M Absolute Magnitude

إذا أردنا دراسة الخصائص الذاتية للنجوم (أي المطلقة) فلا بد في هذه الحالة من تحويل شدة اللعان الظاهرية b_* إلى مطلقة ومن اجل ذلك يجب أن نعرف بعد النجم. فإذا اعتبرنا أن جميع النجوم تقع على مسافة واحدة من الأرض، فالاختلاف في اللعان في هذه الحالة يعود إلى اختلاف نورانية النجوم L_* لان عامل المسافة قد تم إلغاؤه وعلى هذا الأساس اتفق علماء الفلك على مصطلح القدر المطلق وهو **القدر الظاهري للنجم عندما يكون على بعد 10 بارسك (أي 32.6 سنة ضوئية)**، يجب أن نتذكر أن هذا القدر لا يمكن قياسه عمليا للنجم ولكن بالإمكان حسابه من قدره الظاهري وبعد النجم عن الأرض. فالقدر الظاهري للشمس والذي يساوي 26.7- بسبب قربها الشديد من الارض عندما توضع على بعد 10 بارسك سيهبط القدر الظاهري لها الى 4.8+(القدر المطلق للشمس) أي سوف تصبح نجما خافتا في سماننا الليلية. وعندما نقارن اللعان الظاهري للشمس مع النجم الشعري اليمانية ذو القدر الظاهري 1.47- (والذي يبعد عنا 8.6 سنة ضوئية) يتبين أن لمعانها الظاهري يبلغ حوالي 10000000000 مرة من لمعان الشعري اليمانية كما يبدو لنا ولكن عندما نضع الشمس والشعري اليمانية على بعد 10 بارسك يتضح أن الشعري اليمانية ألمع من الشمس بـ 25 مرة حيث أن قدره الظاهري على بعد 10 بارسك (قدره المطلق) سيهبط الى القيمة 1.42+ والشمس سيكون لها قدر مطلق 4.8+ ومن هذه القيم يتضح أن الشعري اليمانية ألمع من الشمس.

العلاقة بين القدر المطلق والقدر الظاهري:

نفرض نجم معين نورانيته هي L_* و d_* تمثل البعد بين النجم والراصد مقاسا بوحدة البارسك باستخدام قانون التربيع العكسي فإن لمعانه b_*

$$b_* = \frac{L_*}{4 \pi d_*^2} \dots \dots \dots (5-4)$$

يساوي

أما لمعانه عندما يكون على بعد 10 بارسك فهو

$$b_{10} = \frac{L_*}{4 \pi 10^2} \dots \dots \dots (6-4)$$

باستخدام المعادلة (2-4) فإن الفرق بين القدر المطلق

والقدر الظاهري يساوي (القدر المطلق = القدر الظاهري على بعد 10 بارسك)

$$M_* - m_* = 2.5 \log_{10} \frac{b_*}{b_{10}} \dots \dots \dots (7-4)$$

وبالتعويض عن اللعان b_* و b_{10} في المعادلة (7-4) نحصل على

$$M_* = m_* + 5 - 5 \log_{10} d_* \dots \dots \dots (8-4)$$

حيث M_* القدر المطلق

m_* القدر الظاهري، d_* بعد النجم عن الراصد مقاسا بوحدة البارسك

ويمكن وضع العلاقة (8-4) بدلالة زاوية اختلاف المنظر (حيث $p'' = \frac{1}{d_*}$) لتصبح

$$M_* = m_* + 5 + 5 \log_{10} p'' \dots \dots \dots (9-4)$$

العلاقة بالشكل التالي

مثال: اذا علمت أن القدر الظاهري للشمس يساوي -26.7 ، فأوجد القدر المطلق للشمس $M_{\odot}$.

الحل: بعد النجم d يجب ان تكون وحدته بالبارسك p_c ، الشمس تبعد عن الارض بـ $150 \times 10^6 \text{ km}$ ولتحويله الى وحدات البارسك نتبع الخطوات الاتية

$$M_{\odot} = m_{\odot} + 5 - 5 \log d_{\odot}$$

$$1 p_c = 3.26 LY$$

$$= 3.26 LY \times 9.45 \times 10^{12} \text{ km} / LY$$

$$= 3 \times 10^{13} \text{ km}$$

$$\therefore d_{\odot} = \frac{150 \times 10^6 \text{ km}}{3 \times 10^{13} \text{ km} / p_c} = 5 \times 10^{-6} p_c$$

$$\therefore M_{\odot} = -26.7 + 5 - 5 \log d_{\odot}$$

$$\Rightarrow M_{\odot} = +4.8^m$$

معامل البعد Distance Modulus : $m_* - M_*$

لما كان القدر المطلق يعبر عن نورانية النجم الحقيقية عندما يكون على بعد 10 بارسك (فرسخ فلكي) والقدر الظاهري يعتمد على نورانية النجم وبعده عن الأرض لذلك يعتبر الفرق بين القدر المطلق والقدر الظاهري لنجم ما مقياس لبعد ذلك النجم انظر العلاقة الآتية

$$M_* - m_* = 5 - 5 \log_{10} d_*$$

$$m_* - M_* = 5 \log_{10} \frac{d_*}{10} \dots \dots (10 - 4)$$

معامل اللون Color index : CI

تعتمد أقدار النجوم على ألوانها وعلى نظام الأطوال الموجية المستخدم في القياسات الفوتومترية، فمن هذه الأنظمة نظام (UBV) والذي يعطي أقدارا في المنطقة فوق بنفسجية U ومنطقة اللون الأزرق B والمنطقة المرئية V ويشار الى نوع المرشح بحرف صغير يلحق برمز القدر الضوئي مثال M_V, m_V . الفرق بين قديرين لمرشحين مختلفين يشكل مقياسا للون النجم ويدعى بمعامل اللون

$$CI = m_B - m_V = M_B - M_V$$

or

$$CI = m_U - m_B = M_U - M_B$$

فمثلا النجم الأزرق يبدو أكثر لمعانا من خلال المرشحات الزرقاء مما هو عليه خلال المرشحات الصفراء ولهذا يكون قيمة معامل اللون $M_B - M_V$ هذا النجم سالبة أما إذا كان النجم احمر فأن القيمة الجبرية تكون موجبة لذلك فأن معامل اللون هو مقياس أو دليل لون النجم ومن ثم يمكن معرفة درجة الحرارة السطحية للنجم من خلال تطبيق قانون فين. وقد تم الاتفاق على وضع الأقدار M_U, M_B, M_V متساوية عند درجة الحرارة 10000 كلفن أي أن معامل اللون عند هذه الدرجة يساوي صفر، وعليه تتراوح القيمة الجبرية لمعامل اللون من -0.4 للنجوم الزرقاء إلى أكثر من +2 للنجوم الحمراء.

الأقدار البولومترية أو المضرمية أو الإشعاعية m_{bol} أو M_{bol} :

الأقدار الظاهرية والمطلقة تمثل أقدار النجوم عند حزمة معينة من الأطوال الموجية لذلك فهي لا تشمل كافة طاقات الأطوال الموجية المنبعثة من النجوم، لهذا فمن الضروري استخدام أقدار تعبر عن الإشعاع الكلي المنبعث من النجوم (النورانية) هذا النوع من الأقدار يطلق عليه الأقدار البولومترية وهي تقاس بواسطة أجهزة حساسة لجميع الأطوال الموجية هذه الاجهزة توضع على متن مركبات فضائية تدور حول الأرض خارج الغلاف الجوي وذلك لتلافي امتصاص الغلاف الجوي لبعض الأطوال الموجية وخاصة للنجوم التي درجة حرارتها أعلى من الشمس أو التي هي ابرد من الشمس.

نورانية النجوم L_* : stellar Luminosity

تعرف نورانية النجم أو السطوع الحقيقي بأنها كمية الطاقة الضوئية الكلية المنبعثة من سطح النجم خلال وحدة الزمن وتقاس بوحدات أرك/ثانية، جول/ثانية، واط، أو بدلالة نورانية الشمس (حيث أن $L_{\odot} = 3.79 \times 10^{26} W$)، وتختلف نورانية النجوم فهي تتراوح بين $10^{-4} L_{\odot}$ إلى $10^6 L_{\odot}$. تعتمد النورانية على المساحة السطحية للنجم (أي على نصف قطره R_*) ومقدار الإشعاع المنبعث من وحدة المساحة (والذي يعتمد على درجة الحرارة السطحية لذلك النجم T_*). وبتطبيق قانون ستيفان وبورتزمان ومعرفة المساحة السطحية للنجم نستطيع أن نحسب النورانية وذلك بضرب كمية الطاقة الضوئية المنبعثة من مربع وحدة المساحة السطحية للنجم (σT_{e*}^4) في المساحة السطحية للنجم حيث

$$L_* = (4\pi R_*^2) \sigma T_*^4 \dots\dots\dots(11-4)$$

وللتخلص من الثوابت نقسم المعادلة اعلاه على نورانية الشمس فتصبح معاملات المعادلة من نورانية ونصف قطر ودرجة حرارة بدلالة معاملات الشمس أي أن

$$\frac{L_*}{L_{\odot}} = \left(\frac{R_*}{R_{\odot}}\right)^2 \left(\frac{T_{e*}}{T_{\odot}}\right)^4 \dots\dots\dots(12-4)$$

علاقة النورانية L_* بالأقدار المضرمية المطلقة M_{bol} :

القدر المضرمي المطلق هو مقياس مباشر للنورانية لذلك يمكن استخدام أي منهما محل الآخر ، فمن معرفة أحدهما يمكن استنتاج الآخر حسب العلاقة التالية

$$M_{bol\odot} - M_{bol*} = 2.5 \log\left(\frac{L_*}{L_{\odot}}\right) \dots\dots\dots(13-4)$$

حيث $M_{bol\odot}$ القدر البولومتري للشمس ($M_{bol\odot} = 4.8$) ، M_{bol*} القدر البولومتري للنجم، $L_{\odot}$ نورانية الشمس، L_* نورانية النجم
والمعادلة اعلاه يمكن اعادة صياغتها بالشكل التالي

$$\frac{L_*}{L_{\odot}} = 10^{0.4(M_{bol\odot} - M_{bol*})} \dots\dots\dots(14-4)$$

تمرين:

$$M_{bol\odot} - M_{bol*} = 2.5 \log \left(\frac{L_*}{L_{\odot}} \right) \dots \dots \dots (13-4)$$

اشتق العلاقة (13-4)

مثال: وجد أن درجة الحرارة السطحية لنجم ما واقداره الضوئية كما يلي:

$$m_* = 10, M_* = +1.5, T_{e*} = 10000 K$$

احسب: (1) بعد النجم عن الارض، (2) شدة نورانيته بدلالة نورانية الشمس (3) نصف قطر النجم بدلالة نصف قطر الشمس

ملاحظة: القدر البولومتري المطلق للشمس $M_{bol\odot} = +4.8$ ودرجة الحرارة السطحية للشمس تساوي $T_{e\odot} = 6000 K$

$$M_* = m_* + 5 - 5 \log d_*$$

$$1.5 = 10 + 5 - 5 \log d_*$$

$$\Rightarrow d_* = 501.187 p_c$$

الحل:

$$\frac{L_*}{L_{\odot}} = 10^{0.4(M_{bol\odot} - M_*)} \quad (1)$$

$$\frac{L_*}{L_{\odot}} = 10^{0.4(4.8 - 1.5)} = 10^{1.32} = 20.89 \quad (2)$$

$$\frac{L_*}{L_{\odot}} = \left(\frac{R_*}{R_{\odot}} \right)^2 \left(\frac{T_{e*}}{T_{e\odot}} \right)^4 \Rightarrow \frac{R_*}{R_{\odot}} = \sqrt{\frac{L_*}{L_{\odot}}} \left(\frac{T_{e\odot}}{T_{e*}} \right)^2 = \sqrt{20.89} \times \left(\frac{6000}{10000} \right)^2 = 1.645$$

(3) علاقة الاقدار البولومترية بقطر النجم ودرجة حرارته السطحية :

أ) القدر البولومتري المطلق
من العلاقتين (12-4) و (13-4) نجد أن

$$M_{bol\odot} - M_{bol*} = 2.5 \log \left[\left(\frac{R_*}{R_{\odot}} \right)^2 \left(\frac{T_{e*}}{T_{e\odot}} \right)^4 \right] \dots \dots \dots (15-4)$$

والتي يمكن وضعها بالصيغة التالية

$$M_{bol\odot} - M_{bol*} = 5 \log \left(\frac{R_*}{R_{\odot}} \right) + 10 \log \left(\frac{T_{e*}}{T_{e\odot}} \right) \dots \dots \dots (16-4)$$

ب) القدر البولومتري الظاهري

إذا كان النجم يبعد مسافة d_* عن الراصد فيمكن حساب لمعان النجم من قانون التربيع العكسي

$$b_* = \frac{L_*}{4 \pi d_*^2} \dots \dots \dots (13-4)$$

$$b_* = \frac{R_*^2 \sigma T_*^4}{d_*^2} \dots \dots \dots (14-4)$$

وباستخدام (11-4) نحصل على القطر الزاوي لأي نجم يمكن إيجاده من العلاقة المثلثية الآتية:

$$\alpha_* = \frac{2R_*}{d_*} \dots \dots \dots (15-4)$$

وبالتعويض في المعادلة (13-4) نحصل على

$$b_* = \frac{1}{4} \alpha_*^2 \sigma T_*^4 \dots \dots \dots (16-4)$$

وبالنسبة للشمس

$$b_{\odot} = \frac{1}{4} \alpha_{\odot}^2 \sigma T_{\odot}^4 \dots \dots \dots (17-4)$$

وبقسمة المعادلتين أعلاه نحصل على لمعان النجم بالنسبة إلى الشمس

$$\frac{b_*}{b_{\odot}} = \left(\frac{\alpha_*}{\alpha_{\odot}} \right)^2 \left(\frac{T_{e*}}{T_{e\odot}} \right)^4 \dots \dots \dots (18-4)$$

وبتطبيق المعادلة (2-4) نحصل على

$$m_{bol\odot} - m_{bol*} = 5 \log \left(\frac{\alpha_*}{\alpha_{\odot}} \right) + 10 \log \left(\frac{T_{e*}}{T_{e\odot}} \right) \dots \dots (19-4)$$

مثال: قيس القطر الزاوي لنجم معين فوجد بأنه يساوي 10^{-5} من القطر الزاوي للشمس فإذا علمت أن القدر المظرمي الظاهري للنجم يعادل +4.0 فما مقدار درجة الحرارة السطحية للنجم؟
(ملاحظة: القدر المظرمي الظاهري للشمس -26.7 ودرجة حرارتها السطحية 6000 كلفن)

$$m_{bol \odot} - m_{bol *} = 5 \log \left(\frac{\alpha_*}{\alpha_{\odot}} \right) + 10 \log \left(\frac{T_{e*}}{T_{e\odot}} \right)$$

$$-26.7 - 4 = 5 \log (10^{-5}) + 10 \log \left(\frac{T_{e*}}{T_{\odot}} \right)$$

$$-30.7 = -25 + 10 \log \left(\frac{T_{e*}}{6000} \right) \Rightarrow \log \left(\frac{T_{e*}}{6000} \right) = -0.57$$

$$T_{e*} = 10^{-0.57} \times 6000 = 0.27 \times 6000 = 1615 \text{ K}$$

ألوان النجوم: stellar color

قانون بلانك الذي يصف طاقة الإشعاع المنبعثة من جسم اسود عند درجة حرارة معينة يطبق وبصورة تقريبية على كل من الشمس وبقية النجوم، من خلال هذا المنحني نستطيع أن نحدد لون النجم باعتبار أن ذروة الانبعاث لإشعاعه تحدث ضمن طول موجي محدد. من خلال مطابقة توزيع طاقة النجم الإشعاعية مع منحنيات بلانك عند درجات حرارة مختلفة أو بتطبيق قانون فين نستطيع أن نحصل على لون النجم.

درجة الحرارة السطحية للنجوم: stellar temperature

تختلف النجوم في درجات حرارتها السطحية ولذلك فهي تختلف في ألوانها ودرجة سطوعها. درجة الحرارة السطحية للنجوم الحمراء تساوي تقريبا 3500 كلفن بينما النجوم الصفراء درجة حرارة سطوحها تساوي تقريبا 6000 كلفن أما النجوم البيضاء فتصل حوالي 10000 كلفن بينما تصل حرارة النجوم الزرقاء الى أكثر من 20000 كلفن. يتم قياس درجة الحرارة السطحية للنجوم بالطرق التالية:

- 1- بقياس منحنى الإشعاع للنجم ومقارنته مع منحنيات بلانك
- 2- من قياس الطول الموجي لذروة الانبعاث وبتطبيق قانون فين
- 3- من معرفة لون النجم
- 4- من قياس معامل اللون للنجم
- 5- من معرفة المرتبة الطيفية للنجم
- 6- من معرفة نورانية النجم ونصف قطره

حركة النجوم: Stellar Motion

النجوم ليست ثابتة في أماكنها كما تبدو لنا ظاهرياً في السماء ولكنها تتحرك بسرعات عالية لا ندركها نظراً لبعدها السحيق عنا، فبينما تبعد الشمس عنا تقريباً 8 دقائق ضوئية والتي تعادل حوالي 150×10^6 كم فإن اقرب النجوم إلينا بعد الشمس ويدعى ألفا قنطورس يبعد عنا 4.3 سنة ضوئية أي أنه يبعد عنا بمسافة 4.5×10^{13} كم وهناك نجوم في مجرتنا تبعد عنا آلاف السنين الضوئية أما نجوم المجرات الأخرى فهي تقع على بعد بلايين السنين الضوئية. وصدق الله العظيم بقوله تعالى: **فَلَا أُقْسِمُ بِمَوَاقِعِ النُّجُومِ (75) وَإِنَّهُ لَقَسَمٌ لَوْ تَعْلَمُونَ عَظِيمٌ (76)** (صدق الله العظيم ، سورة الواقعة)، وهذا ما يجعل شكل الأبراج ثابتاً لألف السنين. للنجوم حركات ظاهرية غير حقيقية ناشئة عن حركة المشاهد نفسه والتي تنتج من دوران الأرض حول نفسها، الحركة المدارية للأرض حول الشمس، وكذلك التغيرات الطفيفة على اتجاه محور دوران الأرض، هذه الحركات الظاهرية ليس لها علاقة بالحركة الحقيقية للنجوم، ولذلك يجب أن تطرح هذه الحركات من الازاحات الكلية للنجوم.

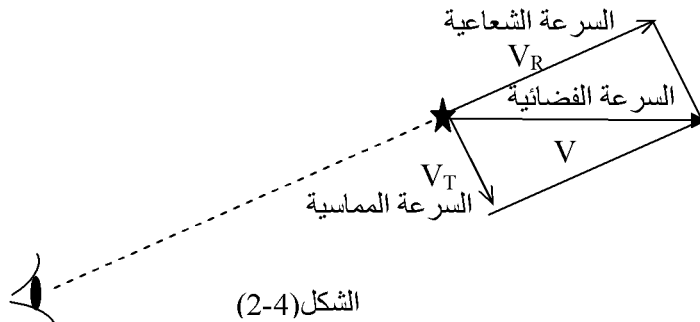
الحركة الزاوية (السرعة الزاوية) μ proper motion

وهي معدل تغير موضع النجم بالنسبة إلى النجوم الخلفية في القبة السماوية وتقاس عادة بالثواني القوسية لكل سنة. يمكن الحصول على هذه الحركة من مقارنة الصور الفوتوغرافية التي تؤخذ للنجم على مدى عشرات السنين ومنها يحسب معدل الحركة الزاوية للعام الواحد. أغلب النجوم التي نشاهدها في السماء تبدو اتجاهها ثابتاً لا يتغير في السماء، تقريباً 1% من نجوم القبة السماوية لها حركة زاوية. أكبر قيمة سجلت لهذه الحركة للنجم برنارد (ثاني اقرب نجم لمنظومتنا الشمسية) حيث بلغت حركته الزاوية 10.25 ثانية قوسية في العام.

السرعة الفضائية ($\vec{V}$) Space Velocity

وهي تمثل السرعة الكلية الحقيقية للنجم في الفضاء بالنسبة للشمس وتقاس بوحدات الكيلومتر في الثانية، تتألف هذه السرعة من مركبتين مركبة السرعة النصف قطرية (V_R) (الشعاعية) ومركبة السرعة المماسية (V_T) انظر الشكل (2-4). لذلك فإن السرعة الفضائية تساوي

$$V = \sqrt{V_R^2 + V_T^2} \dots\dots\dots (20-4)$$



السرعة النصف قطرية (V_R): Radial Velocity

وهي تمثل الازاحة التي يقطعها النجم مبتعدا أو مقتربا عن الراصد او الشمس خلال الثانية الواحدة ويطلق عليها احيانا بالسرعة الشعاعية وتقاس بوحدات الكم/ثانية، وهي تمثل إحدى مركبات السرعة الفضائية على امتداد خط الرؤيا واتجاهها نحو الراصد أو بعيدا عن الراصد ، يمكن حسابها من تحليل الطيف النجمي وباستخدام ظاهرة دوبلر التي تنص على الأطوال الموجية لخطوط الطيف الصادرة من مصدر ضوئي مقترب تكون اقل مما هي عليه وتزاح نحو الأزرق أما إذا كان المصدر متحركا مبتعدا عن المشاهد

فأن خطوط طيفه سوف تزاح نحو الأحمر. وتحسب قيمة هذه السرعة من العلاقة التالية

$$V_R = c \frac{\Delta\lambda}{\lambda_o} \dots\dots\dots (21-4)$$

حيث $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_o$ التغير في الطول الموجي تكون موجبة إذا كان المصدر مبتعدا وسالبة إذا كان المصدر مقتربا ،
 λ_o الطول الموجي الحقيقي للخط الطيفي
 λ الطول الموجي للخط الطيفي مقاسا من قبل الراصد
 c سرعة الضوء

أكبر سرعة نصف قطرية وجدت لنجم في النصف الجنوبي للعبة السماوية هي 547 كم/ثانية

السرعة المماسية (V_T): Tangential Velocity

وهي الازاحة التي يقطعها النجم عموديا على امتداد خط الرؤية خلال الثانية الواحدة وتسمى احيانا بالسرعة المستعرضة، وهي المركبة الثانية للسرعة الفضائية واتجاهها عمودي على امتداد خط الرؤيا وتقاس بوحدات كم/ثانية. لا يمكن إيجاد قيمة هذه المركبة بشكل مباشر بل نحصل عليها من معرفتنا للسرعة الزاوية للنجم وبعده عنا وباستخدام العلاقة الآتية

$$V_T = \frac{\mu d_*}{6.51 \times 10^{12}} \dots\dots\dots (22-4)$$

(d_* بعد النجم عن الشمس بالكيلومتر، μ السرعة الزاوية ثانية قوسية/سنة)

أما إذا كان بعد النجم d_* بوحدات البارسك (الفرسخ الفلكي) فإن العلاقة أعلاه تصبح بالشكل التالي

$$V_T = 4.74 \mu d_*$$

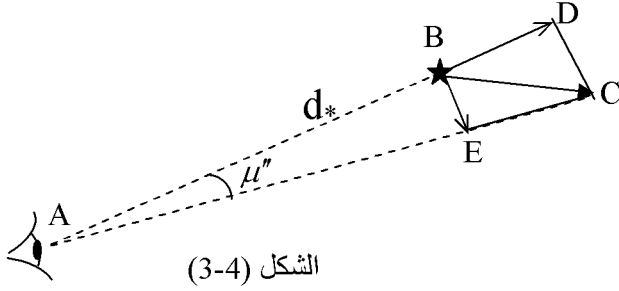
or

ويمكن كتابة العلاقة بدلالة زاوية اختلاف المنظر

$$V_T = 4.74 \frac{\mu}{p''} \dots\dots\dots (23-4)$$

حيث أن $d_* = \frac{1}{p''}$

اشتقاق علاقة معادلة السرعة المماسية للنجم المعادلة (22-4) :



افرض أن نجما ما يبعد مسافة d_* كم عن راصد وباتجاه المبين $\vec{AB}$ كما هو موضح في الشكل (3-4) إذا كانت ازاحة النجم هي $\vec{BC}$ خلال سنة واحدة (t) فسوف يظهر النجم بالاتجاه الجديد $\vec{AC}$ بالنسبة للراصد بحيث يصنع زاوية μ'' مع الاتجاه الابتدائي والتي تمثل السرعة الزاوية للنجم. السرعة لمماسية تساوي حاصل قسمة الازحة العمودية التي قطعها النجم بالنسبة لخط الرؤيا BE على الفترة الزمنية t والتي تساوي سنة واحدة

$$V_T = \frac{BE}{t} \dots \dots \dots (24-4)$$

وبما أن المسافات النجمية كبيرة جدا فإن الازحة $\vec{BE}$ يمكن اعتبارها جزء من قوس دائرة نصف قطرها d_* لذلك فإن

$$\frac{BE}{2\pi d_*} = \frac{\mu''}{360 \times 60 \times 60} \dots \dots \dots (25-4)$$

ومن المعادلتين (24-4) و (25-4) نجد أن المسافة BE تساوي

$$BE = \frac{2 \pi \mu'' d_*}{360 \times 3600} = V_T t$$

وبالتعويض عن قيم الزمن $t =$ سنة واحدة والتي تساوي 3.15×10^7 ثانية لذلك فإن السرعة المماسية بوحدات كم/ثانية تساوي

$$V_T = \frac{2\pi \mu'' d_*}{360 \times 3600 \times (3.15 \times 10^7)} = \frac{\mu'' d_*}{6.51 \times 10^{12}} \dots \dots \dots (26-4)$$

العوامل المؤثرة على قياسات السرعة النجمية:

تتطلب قياس السرعة النجمية دقة عالية، معظم هذه القياسات تتم من قبل راصد على سطح الأرض لذلك فعند حساب الحركات الحقيقية للنجوم ينبغي الأخذ بنظر الاعتبار التصحيحات الناشئة عن حركة الراصد وتأثيرات الغلاف الجوي والتي نلخصها كما يلي:

- 1- حركة الأرض المحورية
- 2- حركة الأرض المدارية التي تسبب ظاهرة زيغان الضوء وظاهرة التزيح لمواقع النجوم القريبة
- 3- حركة المنظومة الشمسية بين النجوم
- 4- ظواهر الانكسارات الضوئية في الغلاف الجوي
- 5- التغيرات الطفيفة لاتجاه محور دوران الأرض حول نفسها

قياس أقطار النجوم:

تختلف النجوم في حجمها منها نجوم صغيرة بالنسبة للشمس أقطارها قد تصل إلى 1% تقريبا من قطر الشمس وتدعى بالنجوم القزمية أما النجوم التي أحجامها كبيرة بالنسبة إلى الشمس والتي أقطارها تصل إلى بضع مئات المرات من قطر الشمس فتدعى بالعمالقة بالرغم من كل هذه الأحجام الكبيرة فإن النجوم تظهر في التلسكوبات البصرية كنقاط ضوئية ليس لها أقطار واضحة يمكن قياسها. توجد طرق عديدة لاستخراج أقطار النجوم منها

الطرق المباشرة :

1- طريقة مقياس التداخل الضوئي

باستخدام هذه الطريقة يمكن الحصول

على القطر الزاوي للنجم α_* ومن معرفة

بعد النجم d_* يحسب القطر الحقيقي له

(القطر الحقيقي = القطر الزاوي $\times$ بعد النجم).

يتألف جهاز التداخل من مرأتين

A و D تتحركان أفقيا معا إلى الداخل

أو الخارج على قضيب معدني يوضع أمام

العدسة الشيئية للتلسكوب بينما المرأتان B و C

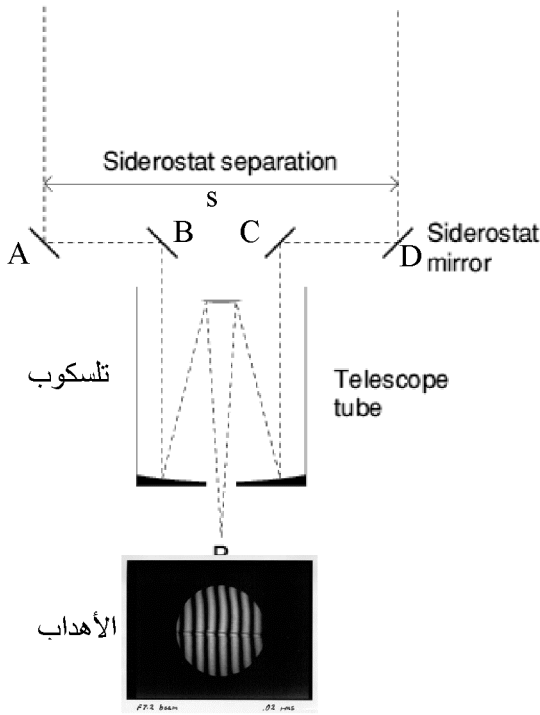
ثابتتان انظر الشكل (4-4) عندما يسقط ضوء

النجم على التلسكوب يسقط جزء من ضوء

النجم على المرآة A وجزء الآخر على المرآة D فينعكس الضوء إلى

المرأتين B و C ومن هاتين المرأتين يتحول الشعاعان إلى التلسكوب فتظهر

صورة النجم على هيئة قرص دائري فيه أهداب مظلمة وأهداب مضيئة



وبتحريك المرآتين D و A تدريجياً يلاحظ اختفاء الأهداب المظلمة والمضيئة عند هذه اللحظة تقاس المسافة الفاصلة بين المرآتين A و D ولتكن s سم وبتطبيق العلاقة الآتية يمكن حساب القطر الزاوي للنجم

$$\alpha = \frac{1.22\lambda}{s} \dots\dots\dots (27-4)$$

تستخدم هذه الطريقة لحساب القطر الزاوي للنجوم القريبة والكبيرة الحجم، وكذلك يمكن استخدامها في إيجاد البعد الزاوي بين نجمين في منظومة ثنائية.

2- مقياس تداخل الشدة:

تستخدم لقياس الاقطار الزاوية لنجوم صغيرة وبعيدة والتي قد تصل اقطارها الى 2×10^{-4} من الثانية القوسية يستخدم لهذه الطريقة تلسكوبين بصريين كبيرين يحويل الضوء القادم من النجم في كل من التلسكوبين الى تيار كهربائي ومن ثم يتم دراسة الضوضاء كدالة للمسافة بين التلسكوبين وعلى ضوء هذه الدراسة يحسب قطر النجم .

الطرق غير المباشرة:

- 1- باستخدام قانون ستيفان - بولتزمان
إذا كانت نورانية النجم ودرجة حرارته السطحية معلومة نطبق قانون ستيفان - بولتزمان

$$R_* = \sqrt{\frac{L_*}{\pi\sigma}} \times \frac{1}{2T_{e*}^2} \dots\dots\dots (28-4)$$

وبدلالة نصف قطر الشمس يمكن كتابة العلاقة (28-4) بالشكل التالي

$$\frac{R_*}{R_{\odot}} = \sqrt{\frac{L_*}{L_{\odot}}} \times \left(\frac{T_{e\odot}}{T_{e*}}\right)^2 \dots\dots\dots (29-4)$$

2- طريقة الخسوف النجمي

في النجوم الثنائية يحصل خسوف نجمي بحيث يمر نجم أمام النجم الآخر مما يؤدي إلى حدوث ظاهرة الخسوف النجمي، من خلال تحليل المنحني الضوئي للثنائي ومعرفة منحنيات السرعة النصف قطرية لهما يمكن الحصول على الأقطار الحقيقية للنجمين.

- 3- باستخدام علاقة الاقدار البولومترية (الظاهرية والمطلقة) مع درجة الحرارة السطحية للنجم المعادلات (16-4) و (19-4)

كتلة النجوم وكثافتها:

تتفاوت النجوم في كتلتها كما هو عليه الحال بالنسبة لإحجامها، لا يوجد طريقة مباشرة لا يجاد كتلة النجوم بل يمكن إيجادها بطرق غير مباشرة منها

1- إذا كان للنجم كوكب يدور حوله (كما هو الحال للشمس) تحسب كتلته

$$M_* + M_p = \frac{4\pi^2 r^3}{G p^2} \dots\dots\dots (30-4)$$

M_* كتلة النجم

M_p كتلة الكوكب وهي صغيرة مقارنة بكتلة النجم لذلك تهمل في الحساب

r معدل بعد النجم عن الكوكب

P الزمن الدوراني للكوكب حول النجم

G ثابت الجاذبية العام = 6.667×10^{-8} داي ن سم² / غم²

2- في حالة النجوم الثنائية يمكن استخدام قانون كبلر الثالث بصيغته الآتية

$$m_1 + m_2 = \frac{a^3}{p^2} \dots\dots\dots (31-4)$$

حيث يمثل الطرف الأيسر للعلاقة أعلاه مجموع كتلتي النجمين بدلالة كتلة الشمس، p زمن دورة احد النجمين حول مركز المنظومة الثنائية (بوحدهات السنين) و a متوسط المسافة بين النجمين (بالوحدهات الفلكية)، ولحساب كتلة كل نجم في المنظومة يستلزم معرفة السرعة النصف قطرية لكل نجم أو بعد كل نجم عن مركز كتلة المنظومة حيث أن

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{V_2}{V_1} \dots\dots\dots (32-4)$$

r_1 بعد النجم الاول عن مركز كتلة المنظومة

r_2 بعد النجم الاول عن مركز كتلة المنظومة

V_1 السرعة نصف قطرية للنجم الاول

V_2 السرعة نصف قطرية للنجم الاول

وبحل المعادلتين السابقتين يمكن حساب كتلة كل نجم في المنظومة.

3- إذا كان النجم منفردا يمكن استخدام علاقة كتلة النجوم بنورانيته معظم النجوم المعروفة تنطبق عليها هذه العلاقة.

$$\frac{L_*}{L_\odot} = \left(\frac{M_*}{M_\odot} \right)^{3.5}$$

$$\frac{M_*}{M_\odot} = \left(\frac{L_*}{L_\odot} \right)^{1/3.5} \dots\dots\dots (33-4)$$

قياس بعد النجوم d_* :

بعض نجوم مجرتنا قريبة من الأرض حيث يحتاج الضوء المنبعث منها لبضع سنوات حتى يصل إلى الأرض أما البعض الآخر من النجوم فهي بعيدة جدا قد يحتاج الضوء المنبعث منها إلى بضع عشرات الألوف من السنين حتى يصل إلينا هذا فيما يخص نجوم مجرتنا مجرة درب التبانة أما فيما يخص نجوم المجرات الأخرى فبعدها يفوق الخيال. توجد طرق عديدة متسلسلة في قياس بعد النجوم البعض منها يستخدم لقياس بعد النجوم القريبة والبعض الآخر لقياس بعد النجوم الأبعد ثم الأبعد وهكذا، ومن هذه الطرق.

1. طريقة التزيح النجمي (زاوية اختلاف المنظر p'')

ما يحدد هذه الطريقة في حساب بعد النجوم هو اجهزة القياسات لزاوية التزيح وتأثير الغلاف الجوي على القياسات واعتماد مدار الارض حول الشمس كأساس في قياس هذه الزاوي ، اقل زاوية تزيح سجلت باستخدام التلسكوبات البصرية هي 0.01 ثانية قوسية أي أن هذه الطريقة تستطيع حساب بعد النجوم التي يكون بعدها بحدود 100 بارسك ($d_* = \frac{1}{p''}$).

القمر الصناعي هيبارخوس

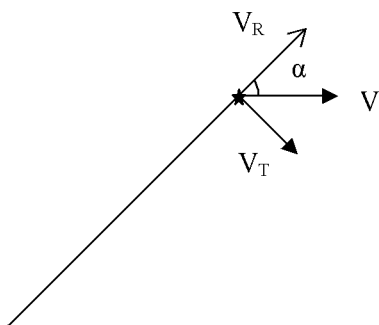
والذي يدور خارج الغلاف الجوي الأرضي بإمكانه قياس زاوية اختلاف المنظر بحدود 0.001 ثانية قوسية وهذا أدى إلى قياس بعد النجوم التي تقع على مسافات 1000 بارسك تقريبا. هذه الطريقة تعتبر من أهم الطرق في قياس بعد النجوم لأنها تعتمد طريقة هندسية ودقة قياساتها مقبولة. معظم الوسائل الأخرى لقياس بعد النجوم في الفلك تعتمد بشكل اساسي على البعد الذي تم حسابه بهذه الطريقة.

2. حركة النجوم: يمكن تقدير بعد النجوم وذلك بواسطة حساب الحركة الزاوية لتلك النجوم

3. قانون التربيع العكسي: اللمعان الظاهري لأي نجم b يعتمد على نورانية ذلك النجم L_* وبعده d_* ، هناك طرق عديدة يمكن من خلالها معرفة نورانية النجم وبتطبيق قانون التربيع العكسي نحصل على بعد النجم

$$b_* = \frac{L_*}{4\pi d_*^2}$$

4. حركة العناقيد النجمية: في حالات خاصة يمكن معرفة اتجاه حركة النجوم الفردية في العنقود فعند تحليل الحركة الظاهرية واستخراج السرعة النصف قطرية لهذه النجوم تعطينا فكرة عن بعد العناقيد النجمية.



$$V_R = V \cos \alpha$$

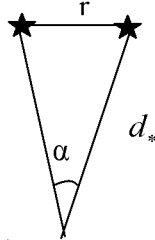
$$V_T = V \sin \alpha = 4.74 \mu d_*$$

$$d_* = \frac{V \sin \alpha}{4.74 \mu} \dots \dots \dots (34 - 4)$$

5. اختلاف المنظر الحركي: في حالة النجوم الثنائية يمكن استخدام قانون كبلر الثالث لمعرفة البعد بين النجمين r ($m_1+m_2=r^3/p^2$) ومن خلال الرصد إذا ما تم قياس البعد الزاوي للنجمين (التزيح الحركي للثنائي) عند ذلك يمكن حساب بعد النجمين

$$\sin \alpha = \frac{r}{d_*} \approx \alpha$$

$$d_* = \frac{r}{\alpha}$$



6. بعض خطوط الامتصاص في اطياف النجوم ترتبط بالغازات المنتشرة ما بين النجوم وان كمية الضوء الذي يمتص من قبل المادة ما بين النجوم تعطينا فكرة عن كتلة الغازات الموجودة في طريق الأشعة القادمة ومن خلال معرفة كثافة هذه الغازات يمكن الحصول على بعد النجم.

7. الحركة الدورانية للنجوم حول مركز المجرة: جميع النجوم في مجرتنا وبضمنها الشمس تدور حول مركز المجرة هذه الحركة الدورانية تجعل بعض النجوم تقترب منا والبعض يبتعد عنا لذلك فأن قياسات السرعة النصف قطرية للنجوم يعطينا فكرة عن بعدها وذلك من خلال العلاقة التي وضعها العالم الفلكي اورات

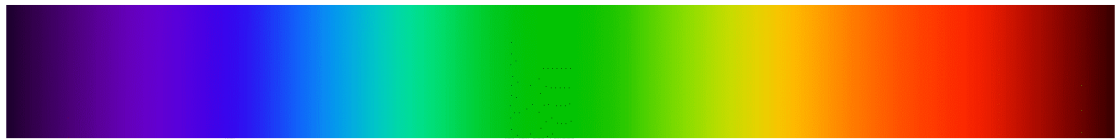
$$V_R = d_* A \sin(2L)$$

(Oort)

(A ثابت ويساوي 18 كم/ثانية , L خط الطول المجري للنجم، d* بعد النجم)

أطياف النجوم (تصنيف هارفرد):

ينبعث من سطح النجوم طيف غني بعدد كبير من الخطوط والتي تغطي تقريبا كل الطيف الكهرومغناطيسي وبسبب كثافة الغاز العالية في النجم فأن الالكترونات المثارة تؤدي إلى توسيع الخط الطيفي جاعلة إياه على شكل حزمة عريضة من اللون ونتيجة ذلك فقد تتداخل الخطوط الطيفية المتجاورة مع بعضها وتتدمج لتشكل طيف مستمر ينبعث من سطح النجم وهذا هو شكل الطيف المنبعث من سطح النجم (طبقة الفوتوسفير).



الطيف المستمر

ونتيجة لوجود غلاف جوي للنجم ذات درجات حرارة منخفضة نسبيا والذي يحتوي على نفس العناصر التي يتألف منها النجم ولكن بكثافة اقل فلا بد للطيف المستمر أن يمر من خلاله وعليه فأن ذرات ذلك الغلاف ستقوم بامتصاص بعض الأطوال

الموجية من الطيف المستمر مسببة انتقال بعض الكتروناتها من مستويات طاقة متدنية إلى مستويات أعلى وعليه تظهر خطوط امتصاص قاتمة موزعة على الطيف الكهرومغناطيسي المنبعث من النجم، خطوط الامتصاص هذه تعتمد على نوع العنصر المتوفر في الغلاف الجوي للنجم وكذلك على درجة حرارة الغاز وكثافته.

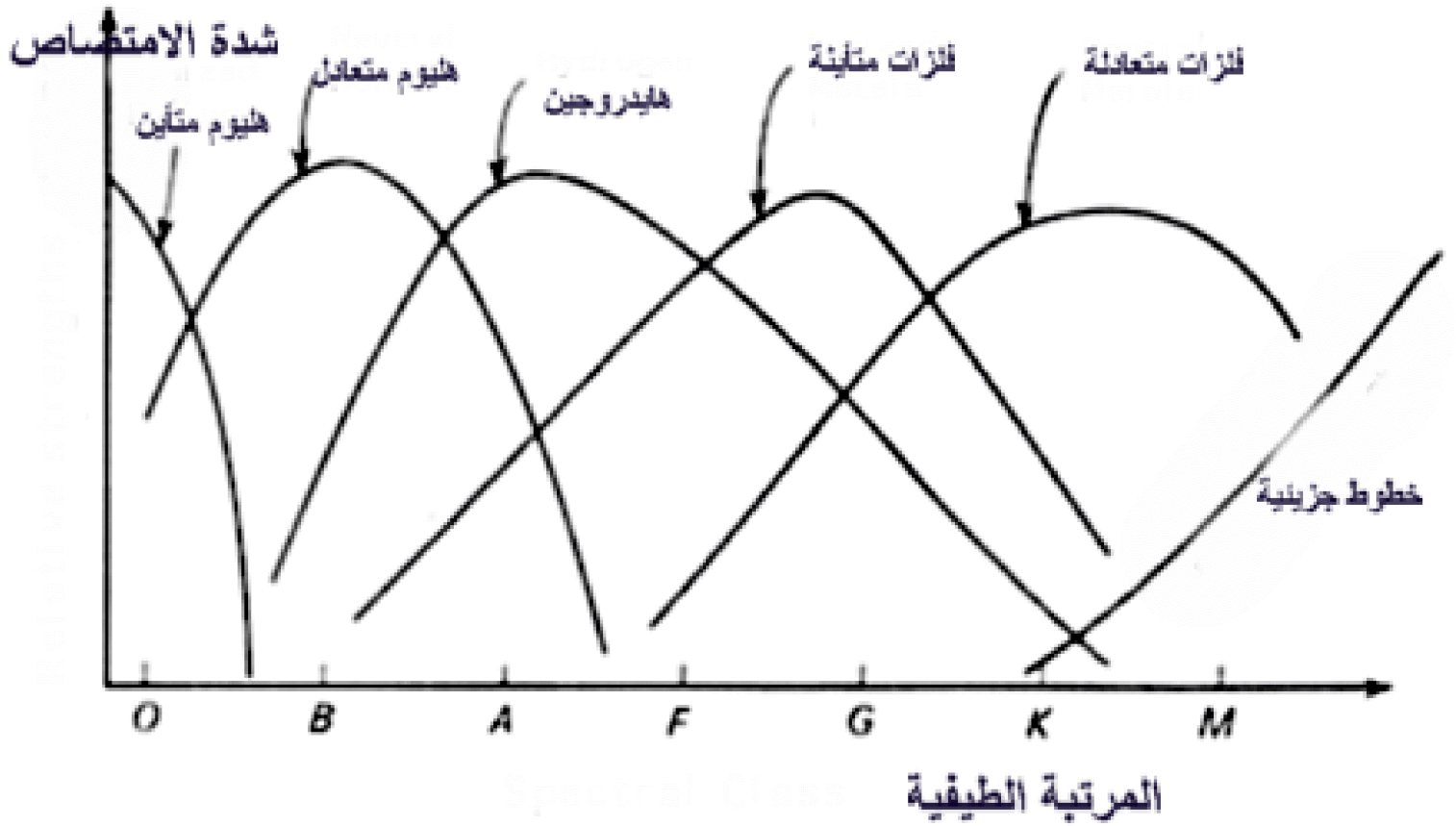


الطيف المستمر للشمس يتخلله خطوط امتصاص

فمثلا غاز الهيدروجين عندما يكون عند درجة حرارة بحدود 3000 كلفن فإن معظم ذراته تكون تقريبا متعادلة في حالته الأرضية وعليه فإن الانتقالات المسموح بها هي تلك التي تحتاج إلى امتصاص فوتونات فوق بنفسجية لكي ينتقل الإلكترون من المستويات الأرضية إلى مستويات إثارة أعلى لذلك سوف تظهر خطوط الامتصاص في سلسلة ليمان (خطوط هذه السلسلة تقع ضمن الأطوال الموجية غير المرئية) أما فيما يخص خطوط امتصاص سلسلة بالمر المرئية (انتقالات الإلكترونات لهذه السلسلة تحدث بين المستوى المثار الأول إلى مستويات مثارة عليا) تكون ضعيفة عند هذه الدرجة، عندما تكون درجة حرارة الغلاف الجوي للنجم بحدود 6000 كلفن فإن عدد أكبر من ذرات الهيدروجين ستكون في مستويات مثارة بسبب التصادم فيما بينها لذلك سوف تظهر خطوط الامتصاص في سلسلة بالمر بشكل واضح، وعند درجة حرارة 10000 كلفن فإن خطوط الامتصاص لسلسلة بالمر ستكون أشد وضحا لان معظم ذرات الهيدروجين ستكون في الحالة المثارة الأولى، في الدرجات الحرارة العالية 20000 كلفن فإن ذرات الهيدروجين سوف تتأين وبالتالي فإن خطوط الامتصاص الهيدروجين ستكون ضعيفة (انظر الشكل (4-5 و 4-6)). نلاحظ من الشكلين أن خطوط الامتصاص لسلسلة بالمر ($H_\delta, H_\gamma, H_\beta, H_\alpha$) تكون شديدة الوضوح في المرتبة الطيفية A وتكون ضعيفة في المراتب الطيفية O, B وتخفي في المراتب الطيفية M, K وهكذا فقد اتفق العلماء على تصنيف النجوم إلى مراتب حسب نوعها الطيفي واستخدمت الحروف الأبجدية الانكليزية للتمييز بينها. هذه المراتب متسلسلة تبعا لنقصان درجة الحرارة وألوانها والتي يطلق عليها بالتتابع الطيفي وهي $O B A F G K M (R N S)$ كل حرف منها يدل على مجموعة معينة متميزة بطيف خطي خاص بها، وقد قسمت كل مرتبة طيفية إلى عشرة أقسام تبدأ من الصفر وتنتهي بالرقم تسعة فمثلا المرتبة الطيفية G تقسم إلى $G0, G1, G2 \dots \dots \dots, G9$ وهكذا بالنسبة لبقية المراتب، الشمس مثلا تنتمي إلى المجموعة الطيفية G2، يطلق على هذا التصنيف بتصنيف هارفرد وقد تم اضافة ثلاثة مراتب طيفية إلى هذا التصنيف وهي R, N, S ، النجوم من نوع (R, N) تحتوي على الكربون بنسبة وافرة بينما نجوم المرتبة (S) فتحتوي على عنصر الزركونيوم بنسبة وافرة. والجدول الآتي يبين أهم المميزات لكل مرتبة

المراتب الطيفية للنجوم المنظورة

المرتبة الطيفية	اللون	درجة الحرارة السطحية (كلفن)	خطوط الامتصاص البارزة	أمثلة على النجوم المعروفة لهذه المراتبة
O	ازرق	> 25000	هليوم متأين، خطوط بالمر الهيدروجينية ضعيفة جدا، خطوط متعددة التآين لذرات O, N, C	نجم R في كوكبة قيفاوس
B	ازرق - ابيض	$11000 < T \leq 25000$	هليوم متعادل، خطوط بالمر الهيدروجينية أقوى من المراتبة الطيفية O	رجل الجبار والسمك الأعزل
A	ابيض	$7500 < T \leq 11000$	خطوط بالمر الهيدروجينية براقة جدا	الشعرى اليمانية
F	ابيض مصفر	$6000 < T \leq 7500$	خطوط الفلزات المتأينة وخاصة الكالسيوم المتأين (CaII)، خطوط بالمر الهيدروجينية متوسطة الشدة	النجم القطبي
G	اصفر	$5000 < T \leq 6000$	خطوط الـ (CaII) قوية، خطوط بالمر الهيدروجينية ضعيفة	الشمس
K	برتقالي	$3500 < T \leq 5000$	خطوط الفلزات المتعادلة خطوط امتصاص جزيئية CH, CN	الدبران
M	احمر	< 3500	خطوط الامتصاص الجزيئية قوية وخاصة titanium dioxide (TiO2)	منكب الجوزاء



الشكل (5-4) يمثل شدة خطوط الامتصاص للمراتب الطيفية

علاقة كتلة النجوم (M) بنورانيته (L):

وجد من الدراسات التي أنجزت على كتلة النجوم ونورانيته بأن هناك علاقة قوية بين كتلة النجوم ونورانيته، هذه العلاقة تدعى علاقة الكتلة والنورانية. من الشكل (7-4) يتبين أن أي زيادة في الكتلة تؤدي إلى زيادة كبيرة في النورانية، فمثلاً نجم كتلته ضعف كتلة الشمس فإن الطاقة الضوئية التي يشعها 11 مرة أكبر من الطاقة الضوئية التي تشعها الشمس. وهذه العلاقة هي

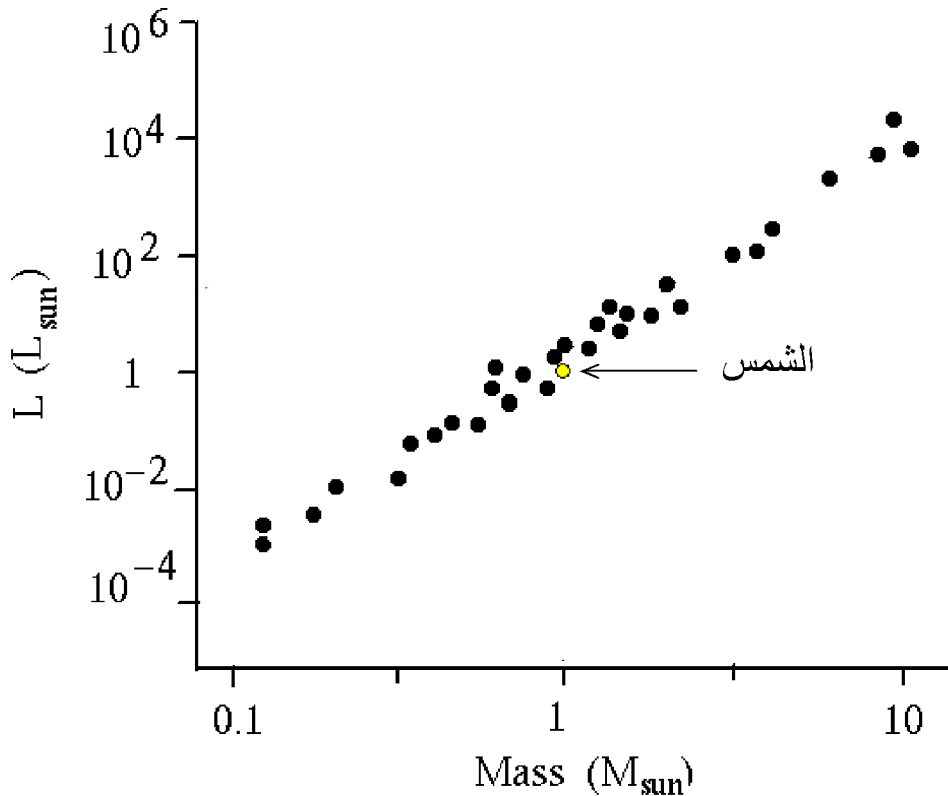
$$L \propto M^{3.5}$$

OR

$$\frac{L_*}{L_{\odot}} = \left(\frac{M_*}{M_{\odot}}\right)^{3.5} \dots\dots\dots (35-4)$$

حيث L_* نورانية النجم، M_* كتلة النجم
 $L_{\odot}$ نورانية الشمس، $M_{\odot}$ كتلة الشمس

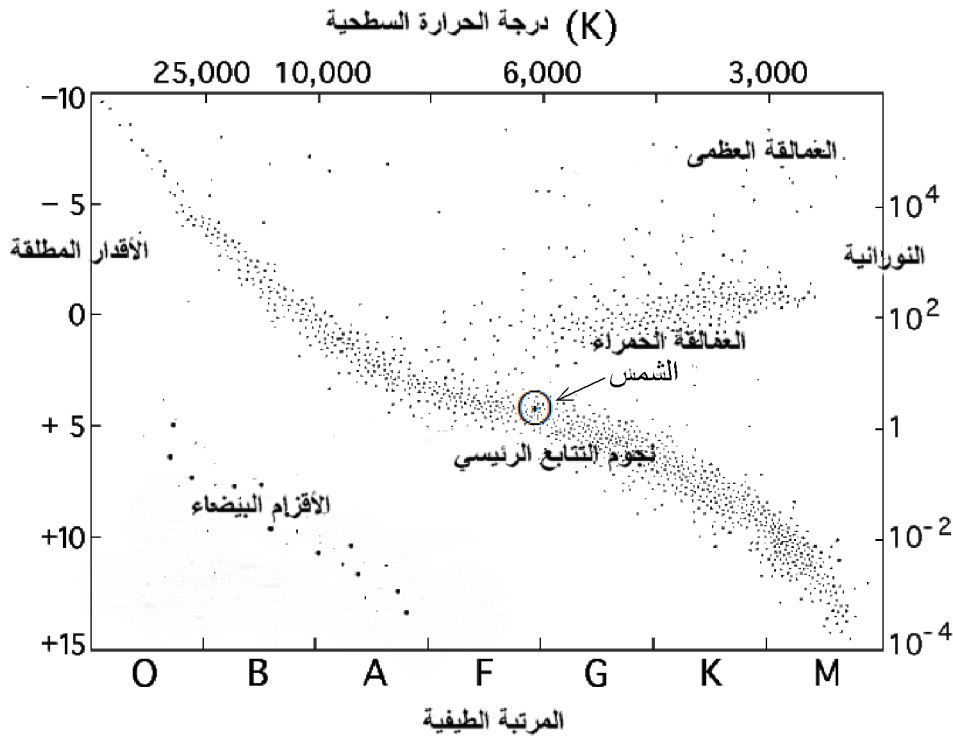
توجد أعداد قليلة من النجوم لا تخضع لهذه العلاقة مثل مجموعة النجوم العملاقة ومجموعة الأقزام.



الشكل (7-4) علاقة كتلة النجوم بنورانيته

مخطط هيرتزسبرانك_رسل (مخطط H-R):

إحدى أكثر الطرق المفيدة لتصنيف النجوم هي في وضعهم على رسم بياني يمثل علاقة النورانية (أو القدر المطلق) بالمرتبة الطيفية (أو درجة الحرارة السطحية) هذا المخطط أطلق عليه مخطط هيرتزسبرانك - رسل نسبة إلى مكتشفيه كل من العالم الفلكي الدانمركي هيرتزسبرانك والأمريكي هنري رسل. في هذا المخطط وجد أن النجوم تميل للتواجد في مناطق محددة، 90% من النجوم تقع على طول حزمة واضحة المعالم تمتد من أعلى اليسار في الشكل إلى أدنى اليمين وتعرف هذه النجوم بنجوم التتابع الرئيسي وشمسنا واحدة من هذه المجموعة، يظهر عدد قليل من النجوم المضيفة (درجة حرارته السطحية منخفضة ونورانيته كبيرة) مما يدل على امتلاكها مساحة سطحية كبيرة تعرف باسم العمالق الحمراء والبعض من هذه النجوم كبيرة جدا تدعى العمالق العظمى وتشغل موضع في المخطط أعلى من موضع العمالق الحمراء. ويوجد في الطرف السفلي الأيسر من المخطط مجموعة من النجوم (درجة حرارتها السطحية عالية ونورانيته قليلة) مما يدل على امتلاكها حجم صغير وتعرف بنجوم الأقزام البيضاء رغم أنها ليست جميعها بيضاء اللون.



الشكل (8-4) مخطط H-R

لذلك فإن توزيع النجوم في هذا المخطط يمكن وضعها عادة في ثلاث مجاميع رئيسية هي:

- 1- مجموعة نجوم التتابع الرئيسي Main- sequence stars
 - 2- مجموعة النجوم العملاقة Giant Stars
 - 3- مجموعة نجوم الأقزام البيضاء White Dwarfs
- وفيما يلي خواص كل مجموعة من هذه المجاميع النجمية:

(1) مجموعة نجوم التتابع الرئيسي Main- sequence stars

- أ- نجومها تخضع لعلاقة الكتلة والنورانية ($L_* \propto M_*^{3.5}$)
 - ب- كتل نجومها واقعة ضمن الحدود التالية $0.1M_{\odot} < M_* < 40M_{\odot}$
 - ت- نورانية نجومها واقعة ضمن الحدود التالية $0.0008L_{\odot} < L_* < 500000L_{\odot}$
 - ث- أنصاف أقطارها $0.1R_{\odot} < R_* < 18R_{\odot}$
 - ج- درجة حرارتها السطحية تتراوح بين $3000K < T_* < 38000K$
 - ح- كثافتها تتراوح بين $0.01\rho_{water} < \rho_* < 10\rho_{water}$
 - خ- العمر $3.4 \times 10^{12} yrs < \tau < 2 \times 10^{12} yrs$
- الخواص اعلاه تشمل المراتب الطيفية $O_5 - M_8$ ، ومن أمثال هذه النجوم الشمس، السماك الأعزل، قلب الأسد، والشعرى اليمانية هذه المجموعة (التتابع الرئيسي) تصنف إلى ثلاث أقسام ثانوية
- أ. العملاقة الزرقاء وتشمل نجوم التتابع الرئيسي التي تقع في الجزء العلوي من الجهة اليسرى، نجومها ساخنة جدا وذات نورانية عالية جدا، مثل نجم رجل الجبار.
- ب. الأقزام الحمراء وتقع في الجهة اليمنى من المخطط في الجزء الأسفل من نجوم التتابع الرئيسي نجومها باردة نسبيا درجة حرارتها السطحية اقل من 3500 كلفن أما ألوانها فهو الأحمر.
- ج. نجوم الجزء الوسطي من مجموعة التتابع الرئيسي وهي نجوم نموذجية مثل الشمس وهذه بدورها تقسم إلى قسمين النجوم التي تقع فوق الشمس في المخطط، نجومها اكبر حجما وأكثر حرارة واكبر كتلة واقل كثافة، والقسم الآخر يقع أسفل الشمس في المخطط نجومها اصغر حجما واقل لمعانا وحرارة وكتلة وأكثر كثافة من الشمس.

(2) مجموعة النجوم العملاقة والعمالقة العظمى Giant and supergiant Stars

- تقع هذه المجموعة من النجوم في الجهة اليمنى العليا من المخطط، أهم ميزاتها
- أ- نجومها لا تتفق مع علاقة الكتلة والنورانية
 - ب- لونها بين البرتقالي والاحمر وقليل منها لونها اصفر.
 - ت- كثافتها واطئة جدا حيث تصل الى جزء من المليون من كثافة الماء
 - ث- شدة لمعانها عالية جدا.
- نجوم العملاقة

حجمها كبير اقطارها تتراوح بين 10 الى 100 مرة بقدر قطر الشمس. نورانية نجومها واقعة ضمن الحدود التالية $1000L_{\odot} < L_* < 10L_{\odot}$ ، كتلتها مساوية او اكبر قليلا من كتلة الشمس ومن هذه النجوم السماك الرامح وقلب العقرب.

العمالقة العظمى

نجومها تشغل موقع أعلى من موقع العمالقة نورانيتيها $10^6 L_{\odot} < L_* < 30000L_{\odot}$ نجومها تمتاز بضخامتها الفائقة $1000R_{\odot} \approx R_* < 50R_{\odot}$ ، كتلتها $10M_{\odot} < M_* < 70M_{\odot}$ وكثافتها متناهية في الصغر ولونها احمر مثل نجم إبط الجوزاء.

(3) مجموعة نجوم الأقزام البيضاء White Dwarfs

- تقع نجوم هذه المجموعة في الجهة اليسرى السفلى من المخطط ومن ميزاتها
- أ- نجومها لا تتفق مع علاقة الكتلة والنورانية.
 - ب- معدل كتلتها مقارب كتلة الشمس أو أكثر بقليل
 - ت- لون اغلبها ازرق مائل إلى الأبيض.
 - ث- نجومها صغيرة الحجم معدل أقطارها 1% من قطر الشمس
 - ج- كثافتها عالية جدا قد تبلغ حوالي مليون مرة بقدر كثافة الماء (1طن/سم³).
 - ح- شدة لمعانها خافت.

مخطط H-R وعلاقته بحجم النجم (نصف قطر النجم):

درجة الحرارة السطحية للنجم تحدد مقدار الطاقة التي تنبعث من وحدة المساحة السطحية للنجم لذلك فإن نورانية النجم (الطاقة الكلية المنبعثة من النجم خلال وحدة الزمن) تعتمد على عاملين درجة الحرارة السطحية والمساحة السطحية له (حجمه أو نصف قطره) فإذا ما تم تثبيت نصف القطر وحاولنا أن نجد العلاقة بين النورانية ودرجة الحرارة السطحية لأمكننا الحصول على مقياس جديد لمخطط H-R نستطيع من خلاله معرفة حجم (أو نصف قطر النجم) من خلال معرفة موقع النجم في مخطط H-R. لاشتقاق علاقة النورانية بدرجة الحرارة عند ثبوت نصف القطر نتبع الخطوات التالية:

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

$$\frac{L_*}{L_{\odot}} = \left(\frac{R_*}{R_{\odot}}\right)^2 \left(\frac{T_{e*}}{T_{e\odot}}\right)^4$$

وبدلالة نورانية الشمس

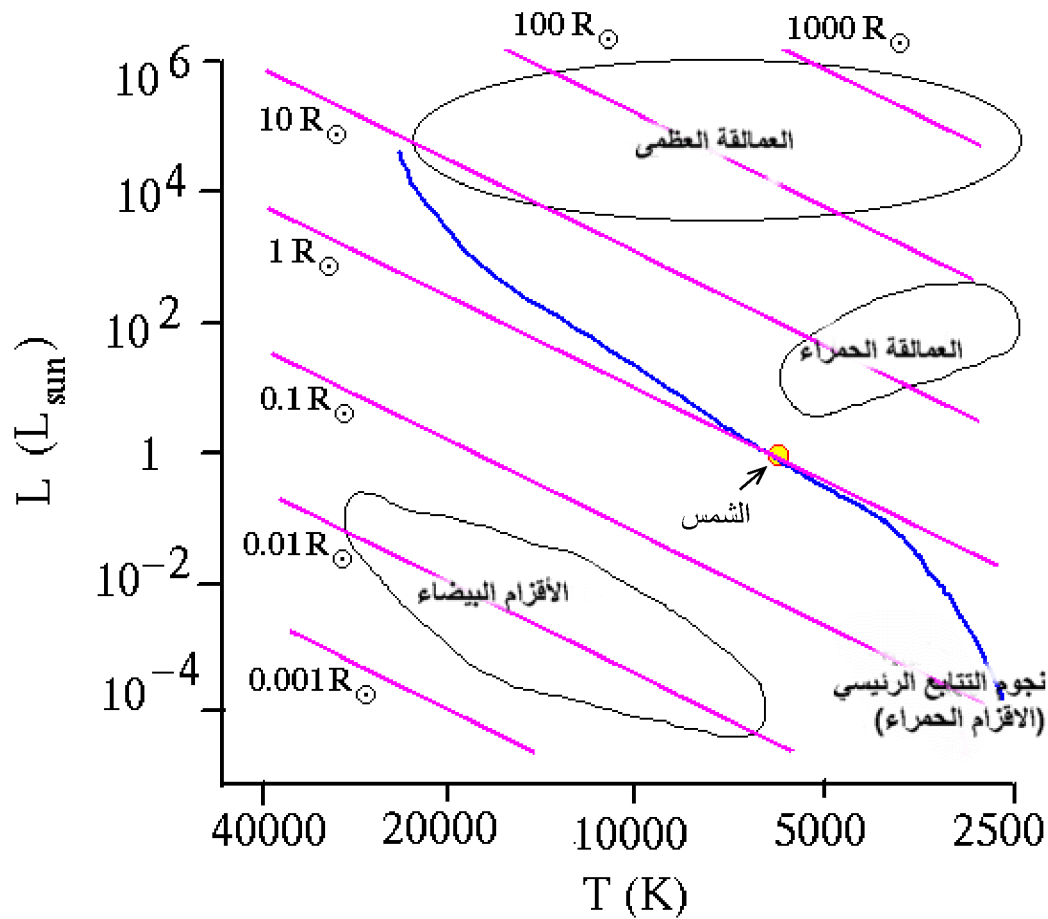
وعند اخذ لوغاريتم الطرفين نحصل على

$$\log \frac{L_*}{L_{\odot}} = 4 \log \frac{T_{e*}}{T_{e\odot}} + 2 \log \frac{R_*}{R_{\odot}} \dots (36-4)$$

المعادلة (36-4) هي معادلة خط مستقيم ميله يساوي 4 ($y = 4x + c$) حيث

$$c = 2 \log \frac{R_*}{R_{\odot}} \text{ والثابت } x = \log \frac{T_{e*}}{T_{e\odot}}, y = \log \frac{L_*}{L_{\odot}}$$

لذا فعند رسم هذه العلاقة على مخطط H-R لقيم مختلفة للثابت c نجد ان المخطط يمكن ان يساعدنا على معرفة حجم النجم من خلال موقع النجم على المخطط.



الشكل (9-4) مخطط H-R لانصاف اقطار النجوم

ومن التطبيقات الأخرى لمخطط H-R هو ايجاد بعد العناقيد النجمية ويستخدم مخطط H-R كوسيلة في دراسة دورة حياة النجوم.

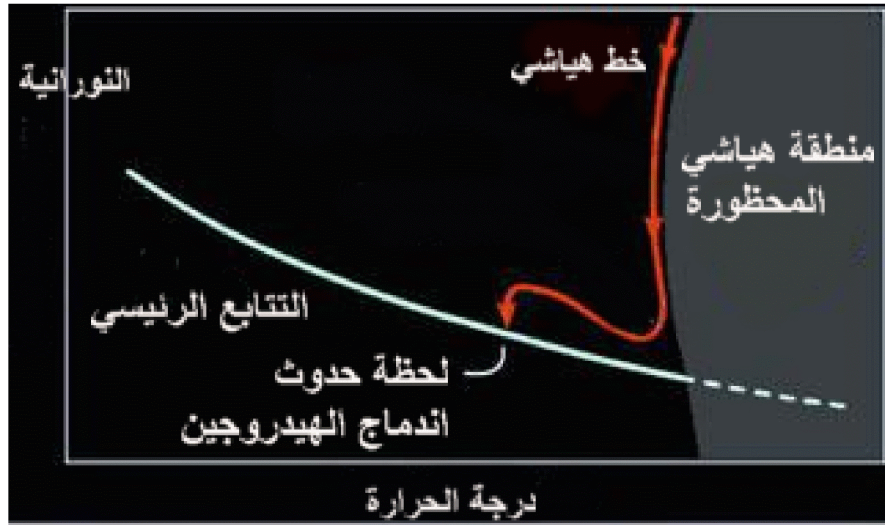
دورة حياة النجوم:

لما كانت النجوم تبعث طاقة ضوئية هائلة وباستمرار فلا بد من أن مادة النجوم في تناقص مستمر حسب معادلة اينشتاين وبالتالي لابد إن يكون لهذه النجوم نهاية، وقد يدلنا اختلاف حجمها (العلاقة، العادية، والقزمية) ودرجة حرارتها السطحية على أن هذه النجوم هي ليست أجرام مختلفة تماما عن بعضها بل تمثل مراحل التطور النجمي التي يمر بها النجم. فهو يولد ويمر بمراحل مختلفة مرحلة التتابع الرئيسي (مرحلة الشباب والاستقرار)، العملاقة الحمراء (مرحلة الشيخوخة) ثم مرحلة النقرم (الموت). والانتقال من مرحلة إلى مرحلة يتطلب ملايين السنين لذلك فإن دراسة مراحل التطور النجمي تتطلب استخدام القوانين الفيزيائية وبعض النظريات العلمية لتفسير هذا التطور هذا وقد اعتمد علماء الفلك وسائل علمية تم الحصول عليها من الأرصاد في مطابقة هذه الفرضيات ومن هذه الوسائل مخطط H-R البياني.

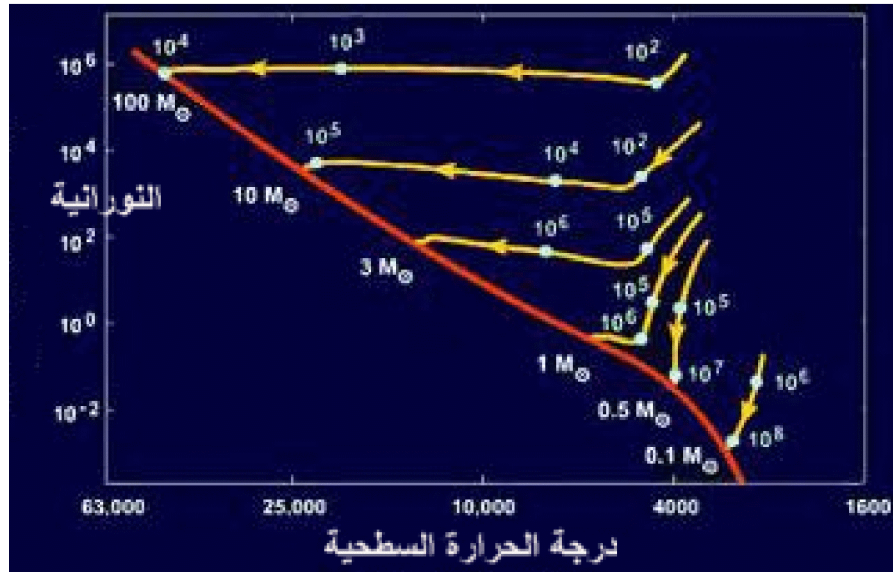
مرحلة التكوين والولادة (النجم البدائي) Protostar

يوجد في المجرة بالإضافة إلى النجوم الغازات والأتربة الكونية والتي يكون جزء كبير منها على شكل سحب عملاقة أقطارها عشرات السنين الضوئية يطلق عليها السدم الغازية وفيها يبدأ النجم بالتكوين من سحابة غازية معظمها هيدروجين وقليل من الهيليوم، تبلغ درجة حرارة الغاز حوالي 20 كلفن حيث تنكمش تدريجيا بفعل قوى الجاذبية الذاتية أو نتيجة تعرضها إلى موجات رجة (مصدرها ربما انفجار نجم) أو ربما نتيجة مرور السديم الغازي في منطقة تداخل وتضاغط لمكونات المجرة مما يؤدي ذلك إلى انكماش السديم وقد يمتلك السديم حركة دورانية حول نفسه وباستمرار عملية الانكماش ترتفع درجة حرارة السحابة نتيجة تحول طاقة الوضع التجاذبية (الطاقة الكامنة) لمكوناتها إلى حرارة وخلال هذه العملية تزداد الكثافة وتزداد سرعته الدورانية حول نفسه أيضا وعندما تصل الكثافة إلى حوالي 10^{-16} كغم/م³ (بالنسبة لسحابة بقدر كتلة الشمس تقريبا) ويصل القطر إلى حوالي 10^{15} متر ودرجة حرارته حوالي 1500 كلفن تدعى السحابة في هذه المرحلة بالنجم البدائي ويشغل النجم الأولي حيزا علويا إلى اليمين من مخطط H-R تنبعث من النجم البدائي عند هذه الدرجة اشعة تحت الحمراء واشعاعات راديوية. حسب نظرية العالم الفلكي الياباني هياشي يكون النجم الأولي غير مستقر ومع استمرار انكماشه تدريجيا لا ترتفع درجة حرارته السطحية مباشرة لذلك تقل نورانيته مع بقاء مرتبته الطيفية ثابتة ويظهر مساره على مخطط H-R خلال هذه المرحلة على شكل خط عمودي إلى الأسفل يدعى خط هياشي ويستمر الانكماش إلى أن يصل إلى مرحلة تبدأ عندها الاندماجات النووية في قلب النجم حيث يتوقف عندها الانكماش وتبدء مرحلة التوازن بين ضغط الإشعاع وقوة الانكماش ويكون موضع النجم في مخطط H-R عند مجموعة التتابع الرئيسي عندها يقف الانكماش ويبدأ النجم مرحلة جديدة مرحلة الاستقرار وهذا ينطبق على النجوم ذات الكتل الصغيرة مقارنة بكتلة الشمس أما للنجوم التي كتلتها مساوية أو أكبر من كتلة الشمس فإن مسارها يظهر على شكل مسار عمودي للأسفل ثم لايلبث أن ينحرف نحو اليسار أفقيا قبل وصله إلى التتابع الرئيسي حيث تزداد درجة حرارته السطحية وتتغير

مرتبتها الطيفية وتستغرق زمنا اقل مما تحتاجه النجوم صغيرة الكتلة، فالنجم الذي تزيد كتلته على كتلة الشمس بكثير تبلغ مرحلة النقص مئات الألوف من السنين، والنجوم التي كتلتها تقارب كتلة الشمس فإن زمن النقص حتى تصل إلى التتابع الرئيسي يقدر بملايين السنين أما السحابة الغازية التي كتلتها اصغر بكثير من كتلة الشمس فتحتاج إلى مئات الملايين من السنين حتى تصل التتابع الرئيسي. الشكل (4-11) يوضح خط هياشي الذي يسلكه نجم بدائي (كتلته تساوي تقريبا كتلة الشمس) للوصول الى التتابع الرئيسي والشكل (4-11) يوضح مسارات نقص النجوم ذات الكتل المختلفة وزمن تقلصها للوصول الى التتابع الرئيسي، فعلى سبيل المثال النجوم التي كتلتها تساوي $100M_{\odot}$ زمن تقلصها تقريبا 10^4 سنة اما النجوم التي كتلتها $0.1M_{\odot}$ فإن زمن تقلصها قد يصل الى 10^8 سنة اي 100 مليون سنة انظر الشكل 4-11.



الشكل (4-10) خط هياشي



الشكل (4-11) مسارات النجوم البدائية ذات الكتل المختلفة نحو التتابع الرئيسي

مرحلة التتابع الرئيسي Main Sequence Stars

تبدأ هذه المرحلة عند لحظة حدوث الاندماجات النووية لنوى ذرات الهيدروجين وتحولها إلى هليوم حيث يتوقف الانكماش بفعل الطاقة الحرارية المتولدة من عملية الاندماج النووي وعندها يكون النجم مستقرا ويطلق على هذه المرحلة مرحلة العمر الصفري للتتابع الرئيسي أو مرحلة الحالة المستقرة ، لاحظنا من الفقرة السابقة أن كتلة النجم البدائي هي التي تحدد الموضع الذي سوف يشغله النجم على التتابع الرئيسي وبالتالي تحدد مرتبته الطيفية فمثلا النجوم ذات الكتل العالية تصبح من نوع المرتبة الطيفية O أو B ويكون موقعها في الجزء العلوي من الجهة اليسرى لمخطط H-R ، أما النجوم التي كتلتها مساوية إلى كتلة الشمس فتصبح من نوع المرتبة الطيفية G والنجوم الكتل الواطئة فتكون من المرتبة الطيفية M وتكون خافتة حمراء درجة حرارتها السطحية واطئة. تبقى النجوم في هذه المرحلة حتى يتم استهلاك عشرة في المائة من وقود الهيدروجين داخل النجم بعدها تبدأ مرحلة جديدة مرحلة الشيخوخة.

مدة بقاء النجم في مرحلة التتابع الرئيسي (~عمر النجم التقريبي):

النجوم تبعث إشعاعها إلى الفضاء على شكل طاقة هائلة وان مصدر هذه الطاقة هو عمليات الاندماج النووي الذي يحصل في باطن النجم، في هذه المرحلة يتحول جزء صغير من الهيدروجين في عملية الاندماج إلى طاقة حسب معادلة اينشتاين

$$\text{الطاقة المتحررة (E)} = \text{فرق الكتلة لعملية الاندماج (m)} \times \text{مربع سرعة الضوء (c}^2\text{)}$$

والجزء الأكبر منه يتحول إلى هيليوم (لكل 1 غرام من الهيدروجين الذي يدخل عملية الاندماج النووي 0.0071 غرام منه يتحول إلى طاقة والبقية أي 0.9929 من الغرام يتحول إلى هيليوم) لذلك فإن مصدر هذه الطاقة الهائلة سوف لا يستمر إلى ما لانهاية فسوف يأتي وقت ينفذ فيه وقود عملية الاندماج النووي وهذا الوقت يمثل المراحل النهائية لعمر النجم. أن كمية الهيدروجين التي تتحول إلى طاقة يمكن حسابها من معادلة اينشتاين $E = mc^2$ حيث أن الشمس تبعث إلى الفضاء الخارجي في كل ثانية كمية من الطاقة (النورانية) تساوي $L_{\odot} = 3.8 \times 10^{26} \text{ watt}$ وحسب معادلة اينشتاين فإن كتلة الهيدروجين التي تتحول إلى طاقة في الثانية الواحدة هي

$$m_{H \rightarrow \text{energy}} = \frac{E}{c^2} = \frac{L_{\odot}}{c^2} = \frac{3.8 \times 10^{26}}{(3 \times 10^8)^2} \approx 4.2 \times 10^{12} \text{ gm} = 4.2 \times 10^6 \text{ tons} \dots \dots (37-4)$$

$$m_{H \rightarrow He} = \frac{m_{H \rightarrow \text{Energy}}}{0.0071} = 6 \times 10^{14} \text{ gm} = 6 \times 10^8 \text{ tons} \dots \dots (38-4)$$

وبنفس الوقت فإن كمية الهيدروجين التي تتحول إلى هيليوم في الثانية الواحدة تساوي أي أن 604.2×10^6 طن من الهيدروجين يتحول إلى هيليوم وطاقة في الثانية الواحدة.

وعلى هذا الأساس فإن عمر النجوم تعتمد على كتلتها أي أن عمر النجم يتناسب تناسبا طرديا مع الكتلة، لكن استهلاك الكتلة يعتمد على النورانية كلما كانت نورانية النجم كبيرة فإن معدل تحويل الكتلة إلى طاقة تكون اكبر لذلك فإن عمر النجوم يتناسب تناسبا طرديا مع الكتلة وعكسيا مع النورانية وعلى هذا الأساس يمكن وضع علاقة مبسطة لعمر النجوم τ_*

$$\tau_* \propto \frac{M_*}{L_*} \dots\dots\dots (39-4)$$

اذا استخدمنا علاقة الكتلة بالنورانية لنجوم التتابع الرئيسي ($L_* \propto M_*^{3.5}$) وعوضنا عن النورانية بدلالة الكتلة فإن المعادلة اعلاه تصبح بالشكل الاتي

$$\tau_* \propto M_*^{-2.5} \dots\dots\dots (40-4)$$

والتي يمكن كتابتها بدلالة الشمس فتصبح

$$\frac{\tau_*}{\tau_{\odot}} = \left(\frac{M_*}{M_{\odot}}\right)^{-2.5} \dots\dots\dots (40-4)$$

وهذه المعادلة تفسر لنا وجود عدد قليل من النجوم ذات الكتل العالية (ذات النورانية العالية) وعدد كبير من نجوم ذات الكتل الواطئة (الخافتة) في المجرة، لان عمر الأولى قصير جدا والثانية عمرها طويل جدا. فالنجوم ذات الكتل الكبيرة مقارنة مع الشمس مدة بقائها على التتابع الرئيسي لايتجاوز عشرات الملايين من السنين والنجوم التي كتلتها صغيرة جدا بالمقارنة مع الشمس مدة بقائها تقارب بضع مئات البلايين من السنين انظر الشكل (4-12).

مدة بقاء النجم في هذه المرحلة يمكن ان نعبر عنه بعمر النجم التقريبي لان النجم يبقى في هذه المرحلة ما يقارب 90% من مدة حياة النجم.

لتقدير عمر الشمس نتبع الخطوات الآتية:

كتلة الشمس الكلية $1.99 \times 10^{33} \text{ gm}$

نفرض أن الكتلة الفعالة من الهيدروجين (التي تتحول إلى هليوم وطاقة على مدى تواجد الشمس على التتابع الرئيسي) تساوي 10% من الكتلة الكلية للشمس

$$0.1 \times 1.99 \times 10^{33} \text{ gm}$$

الكتلة الكلية المتحولة الى الطاقة من الشمس وعلى مدى تواجدها في مرحلة

$$0.0071 \times 0.1 \times 1.99 \times 10^{33} \text{ gm}$$

التتابع الرئيسي هي:

الطاقة الكلية المتحررة من الشمس خلال مدة تواجدها في مرحلة التتابع الرئيسي

$$0.0071 \times 0.1 \times 1.99 \times 10^{33} \times (3 \times 10^{10})^2 \quad \text{هي (بتطبيق معادلة انيشتاين } E = mc^2 \text{)}$$

لذا فإن مدة بقاء الشمس في مرحلة التتابع الرئيسي يمكن تقديره من حاصل قسمة الطاقة الكلية المتحررة من الشمس (خلال مدة تواجدها في هذه المرحلة) على مقدار ما تبعثه الشمس من طاقة خلال الثانية الواحدة (والتي تساوي نورانية الشمس $L_{\odot} = 3.8 \times 10^{33} \text{ erg}$)

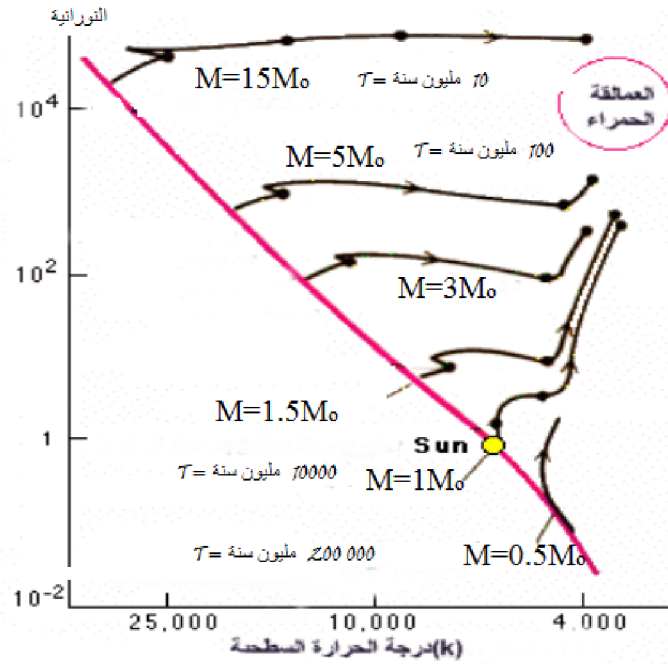
$$\tau_{\odot} = \frac{0.0071 \times 0.1 \times 1.99 \times 10^{33} \times (3 \times 10^{10})^2}{3.8 \times 10^{33}} \approx 3.35 \times 10^{17} \text{ sec}$$

$$\approx 10^{10} \text{ years}$$

لذلك فإن المدة الزمنية التي تحتاجها الشمس لكي تستنفذ جميع الطاقة المتحررة من الشمس تساوي 10^{10} سنة، انقضى من هذه المدة 4.5 بليون سنة والمتبقي 5.5 بليون سنة أخرى. بعدها تترك الشمس مرحلة التتابع الرئيسي الى مرحلة العمالقة.

مرحلة النجوم العمالقة العملاقة العظمى Giant and Super Gaint stars

عندما يستنفذ الوقود الهيدروجيني في جوف النجم تتوقف عملية الاندماج النووي في باطن النجم فلا يعود هنالك مصدر للطاقة عندها يبدأ الجوف بالانكماش التدريجي بسبب قوة الجذب الذاتية وعليه تزداد درجة حرارة الباطن مما يساعد على اندماج الهيدروجين في غلاف النجم خارج منطقة الجوف وبالتالي تؤدي هذه الاندماجات مع الطاقة المتحررة من عملية انكماش جوف النجم إلى تمدد النجم إلى مئات المرات عما كان عليه وهذا التمدد سيؤدي إلى انخفاض درجة حرارته السطحية عند هذه اللحظة سوف يترك النجم موضع التتابع الرئيسي ويتحرك موضع النجم بخط رأسي إلى الأعلى وإلى اليمين من نقطة إقلاعه من التتابع الرئيسي وتدعى النقطة التي يتقلص فيها الجوف المركزي ويتمدد فيها الأغلفة الخارجية للنجم بنقطة التحول Turn off point، تمدد النجم سوف يؤدي إلى انخفاض درجة الحرارة السطحية له وبالتالي فإن لون النجم (أو مرتبته الطيفية) ستتغير إلى اللون الأحمر أو البرتقالي. على الرغم من انخفاض درجة الحرارة السطحية فإن النورانية سوف تزداد بسبب التمدد لزيادة المساحة السطحية للنجم لذلك سيشغل النجم موضع نجوم العمالقة الحمراء أو العمالقة العظمى، كتلة النجم هي التي تحدد الموضع الذي سيشغله النجم في المخطط عند هذه المرحلة انظر الشكل (4-12).



الشكل (4-12) يمثل مسار مرحلة العملاقة والعملاقة العظمى

لنجوم مختلفة الكتلة كما يبين عمر النجم على التتابع الرئيسي

ويتوقع العلماء أن تتحول الشمس مثل بقية النجوم الأخرى إلى نجم عملاق أحمر في مرحلة لاحقة من عمرها وعندها ستسطع بقوة أكبر بحيث أن مياه المحيطات ستتبخر وتتصهر صخور الأرض وستنتهي الحياة من على الأرض وسيصبح قطرها 50 ضعفاً، وقد أشار القرآن الكريم إلى هذه الصورة التي سوف تمر فيها الشمس في قوله تعالى " إِذَا الشَّمْسُ كُوِّرَتْ * وَإِذَا النُّجُومُ انْكَدَرَتْ * (التكوير 1-2) ، وَإِذَا الْبِحَارُ سُجِّرَتْ * (التكوير 6) . (المصدر: الكون والاعجاز العلمي للدكتور منصور محمد حسب النبي). ونتيجة لانكماش جوف النجم وارتفاع درجة حرارته إلى عشرات الملايين من الدرجات المطلقة يبدأ الهليوم بالاندماج (عندما تصل درجة حرارة الجوف إلى 100 مليون كلفن) لتكوين الكربون حيث يؤمن ذلك للنجم جولة أخرى فيتمدد مرة أخرى ويظهر كعملاق أحمر من جديد (انظر الشكل 4-15)، في النجوم التي كتلتها أكبر بكثير من الشمس يمر النجم بعدة أطوار من التمدد والتقلص وبالتالي يمكن لاندماجات نووية إضافية أن تنتج الأوكسجين والنيون والمغنسيوم وعناصر أخرى إلى أن تبلغ الوزن الذري للحديد حيث تتوقف كافة عمليات الاندماج النووي التي تحدث في باطن النجوم، وفي بعض الحالات تختتم مرحلة العملاقة الحمراء بحادث كارثي حيث ينفجر النجم مكوناً النופا أو السوبر نופا. أما النجوم التي كتلتها مقاربة إلى كتلة الشمس فإن عنصر الكربون هو آخر العناصر التي تتشكل في قلوب مثل هذه النجوم والسبب هو أن كتلة الجوف المنهارة سوف لا ترفع درجة حرارة الجوف إلى الدرجة التي عندها يندمج الكربون (علماً أن الكربون يندمج عند تصل درجة الحرارة إلى 600 مليون كلفن).

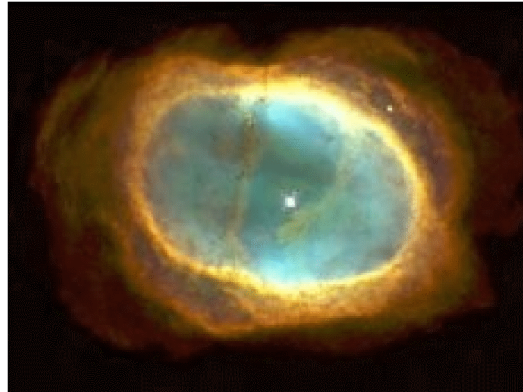
النجوم المتغيرة الاضاءة:

في مرحلة العمالقمة معظم النجوم تتحول إلى نجوم متغيرة الإضاءة تدعى Variable Stars ، وسبب ذلك يعود الى أن النجم لم يصل الى حالة الاتزان الهيدروستاتيكي بين قوة الجذب المؤثرة للداخل على الاغلفة الخارجية والضغط الداخلي للغاز، تتمثل هذه المرحلة التطورية من حياة النجم على مخطط H-R بمسارات أفقية نحو اليسار حيث تصل إلى منطقة تقع ما بين العمالقمة وخط التتابع الرئيسي وتدعى منطقة عدم الاستقرار، النجوم في هذه المرحلة أما أن تصبح نجوم نابضة بشكل دوري لفترة محددة من الزمن ومن ثم تتحول إلى نجوم من نوع السدم الكوكبية التي يتمدد فيها غلاف النجم تاركا الجزء المركزي المنهار والذي ينتهي كقزم ابيض، أو أن تصبح من نوع نجوم المتفجرة مثل النوبا والسوبر نوبا حيث تشتت مكونات النجم نحو الفضاء الخارجي تاركا الجزء المركزي والذي ينهار بدوره إلى نجم نيوتروني.

مرحلة النجوم المنهارة : Collapsed Stars

بعد أن ينفذ الوقود النووي في جوف النجم ويتوقف إنتاج الطاقة النووية يحدث انهيار لمنطقة جوف النجم ليتحول النجم اما الى قزم ابيض او نجم نيوتروني او الثقب الأسود والذي يحدد شكل نهاية النجم هو الكتلة المتبقية من النجم المنهار. النجوم التي تكون كتلتها النهائية مقاربة لكتلة الشمس:

عند نفاد الهليوم في جوف النجم وتحوله إلى كاربون يحصل انهيار تجاذبي جديد ينتج عنه ارتفاع حرارة الجوف وتسريع لحدوث اندماج الهليوم في الغلاف المحيط بالجوف هذا بالإضافة الى وجود غلاف الى الخارج تستمر فيه عملية اندماج الهيدروجين وتحوله إلى هليوم أن حرارة وضغط الجوف لهذه النجوم سوف لن تكون كافية لاندماج الكربون ويزداد عند ذلك عدم استقرار النجم وتفلت منه أقسامه الخارجية مكونة سديم كوكبي (انظر الشكل (4-13)) في حين يتخلف الجزء المركزي من النجم والذي ينقلص تدريجيا تحت تأثير قوى الجاذبية الذاتية إلى أن يحدث الاتزان الهيدروستاتيكي بين قوة الجاذبية وقوة المقاومة الناشئة عن ضغط الالكترونات المنحلة فيصبح النجم قزما ابيض.



الشكل (4-13) سديم كوكبي

نظرية جاندراسكار والأطوار النهائية للنجوم:

النجوم المنهارة التي كتلتها النهائية اقل من $1.4M_{\odot}$:
وضع عالم الفيزياء الفلكي الهندي جاندراسكار نظرية تصف كيفية انهيار النجوم التي استهلكت وقودها النووي تحت تأثير قوى الجاذبية الذاتية. حيث تقترب الذرات من بعضها البعض وتتراص حتى لايتوفر فراغ مناسب لمدارات الالكترونات حول النواة وتدعى المادة في هذه الحالة بالغاز الالكتروني المنحل حيث تتوزع الالكترونات في الفراغات المحيطة بالانوية بانتظام وكذلك تترتب الانوية كما في البلورات الصلبة وكنتيجة للانهيار تزداد الكثافة بشكل تدريجي الى أن يتوقف الانهيار عندما يتساوى ضغط الالكترونات المنحلة مع ضغط قوة الجاذبية (غاز الالكترونات المنحلة سيخضع عند هذه المرحلة لقوانين فيزياء الكم حيث يولد غاز الالكترونات المنحل ضغطا داخليا يوقف فيه عملية الانهيار) وهذا لا يتم إلا اذا كانت كتلة النجم المنهار اقل من $1.4M_{\odot}$ ويدعى هذا الشرط بغاية جاندراسكار حيث تستقر اوضاع النجم الديناميكية وتدعى بالنجوم القزمية البيضاء والتي تصل كثافتها الى مليون مرة بقدر كثافة الماء (أي تقريبا واحد طن لكل سم³)، وقد وجد العالم جاندراسكار نظريا انه كلما كانت كتلة القزم الابيض عالية كلما تقلصت الى حجوم اصغروقام بوضع علاقة بين الكتلة ونصف القطر فالأقزام التي كتلتها تساوي $1.2M_{\odot}$ تنقلص انصاف اقطارها الى 0.005 من نصف قطر الشمس كما أن اكبر كتلة تبلغها هذه النجوم (الأقزام البيضاء) هي $1.4M_{\odot}$ حيث ينقلص قطر النجم المنهار عند هذه الكتلة الى ما يقارب الصفر.

النجوم المنهارة التي كتلتها النهائية: $1.4M_{\odot} \leq M \leq 3.4M_{\odot}$:
فإن الانكماش والانهيار التجاذبي يستمر فيها لان ضغط غاز الالكترونات المنحل لا يستطيع مقاومة الانهيار الجذبي عندها تتحد الالكترونات السائبة مع النوى وتلتحم مع البروتونات فتتحول الى نيوترونات وتزداد الكثافة النجمية الى ان تصل الى 10^{17} كغم/م³ (بلايين الاطنان لكل سم³) عندها فأغاز النيوترونات سيخضع لقوانين فيزياء الكم ويصبح منحلا حيث يولد غاز النيوترونات المنحل ضغطا داخليا يوقف فيه عملية الانهيار ويكون عندها نجما نيوترونيا مستقرا ، وبذلك فأغزل هذه النجوم المنهارة سوف تنقلص الى حجوم صغيرة بحدود عشرات الكيلومترات. اكبر كتلة تصلها هذه النجوم المنهارة لتشكيل نجم نيوتروني هي حوالي 3.4 كتلة الشمس.

النجوم المنهارة التي كتلتها النهائية للنجم اكبر من 3.4 كتلة الشمس:
فإن عملية الانكماش والتكدس تستمر وتصبح الكثافة غير معرفة ويصغر حجم النجم تدريجيا الى أن يصبح غير معرف ويصبح الجرم معتما لان حتى الضوء لا يستطيع الإفلات من قوة جذبهِ ويطلق عليه اسم الثقب الاسود.

الثقوب السوداء: Black hole

الثقوب السوداء هي نجوم استهلكت وقودها النووي وتهاوت على نفسها بفعل الجاذبية وتراكت مادتها تراكما شديدا مما يجعل جاذبيته تزداد زيادة هائلة لدرجة أن الثقب الاسود لا يكتفي بضغط مادته في جوفه بل أنه يستطيع أن يبتلع أي جرم يقترب منه ومهما كان حجمه، حتى الضوء لا يستطيع أن يفلت من جاذبيته فقد يصل الى مرحلة تكون سرعة الافلات مساوية الى سرعة الضوء لذلك فإن الضوء يفقد جميع طاقته لاجل الصراع ضد قوة جاذبيته فيستحيل خروجه من مجال جذب الثقب الاسود ولهذا لا يمكن رصد الثقوب السوداء بشكل مباشر لانه جرم معتم لا ينبعث منه أي ضوء، ولكن يستدل عليه من خلال التحسس بجاذبيتها على الاجرام القريبة منها. أي جرم سماوي ذو كتلة معينة يمكن أن يصل حدود الثقوب السوداء من حيث الخواص الفيزيائية اذا انكمش هذا الجرم الى نصف قطر الجذبي الحرج والذي يدعى بنصف قطر شوارز جايلد , ويحسب من المعادلة التالية

$$r_s = \frac{2MG}{c^2} \dots\dots\dots(41-4)$$

حيث r_s نصف قطر شوارز جايلد أي الازاحة بين مركز الثقب الاسود والنقطة التي تصبح فيها سرعة الافلات مساوية الى سرعة الضوء.

G ثابت الجاذبية $6.672 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg}.\text{sec}^2$

c سرعة الضوء $3 \times 10^8 \text{ m/sec}$

M كتلة الثقب الاسود.

ولو فرضنا أن نجما كتلته تعادل كتلة الشمس فبالإمكان استخراج نصف قطر شوارز جايلد

$$r_{s\odot} = \frac{2 \times 6.672 \times 10^{-11} \times 1.99 \times 10^{30}}{(3 \times 10^8)^2} = 3 \times 10^3 \text{ meter} = 3 \text{ km}$$

المعادلة (41-4) يمكن اعادة كتابتها بالصيغة التالية

$$\frac{r_{s*}}{r_{s\odot}} = \frac{M_*}{M_{\odot}}$$

$$r_{s*} = \left(\frac{M_*}{M_{\odot}} \right) r_{s\odot} \dots\dots\dots(42 - 4)$$

$$r_{s*} = 3 \times \left(\frac{M_*}{M_{\odot}} \right)$$

أي أن قيمة نصف قطر شوارز جايلد بالكيلومترات تعادل تقريبا ثلاث مرات قيمة كتلة الثقب الاسود اذا قيست بدلالة كتلة الشمس. بما أن الضوء لا يمكنه الهروب من الثقوب السوداء لذلك اذا وقع أي جرم ضمن حدود نصف قطر شوارز جايلد فلا يمكنه الإفلات ولا يمكن مشاهدته مطلقا لان الضوء لا يمكنه الخروج من تلك الحدود ولذا يطلق على هذه الحدود احيانا أفق الحدث ولقد نتصور أن الثقب الاسود وحدوده مشابهة الى حد ما شافطة فراغ كونية (أو مكنسة كونية) تشفط جميع المواد التي حولها فهل الثقب الاسود هو النجم الثاقب الذي ورد ذكره في القرآن الكريم في قوله تعالى: **وَالسَّمَاءِ وَالطَّارِقِ * وَمَا أَدْرَاكَ مَا الطَّارِقُ * النَّجْمُ الثَّاقِبُ * (الطارق 1-3).** الذي

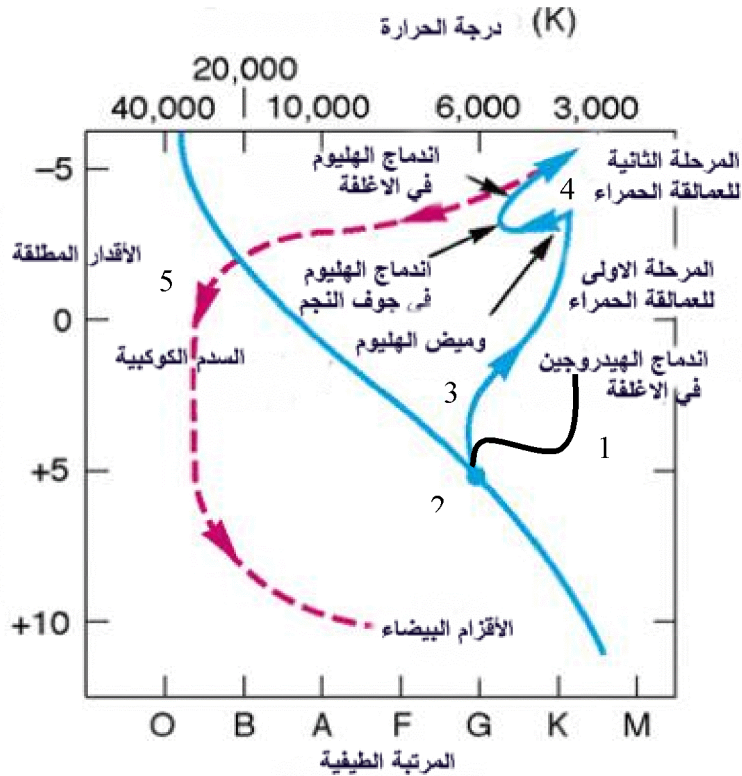
يثقب الفضاء الكوني وذلك بشطفه وابتلاعه كل ما يصادفه في طريقه فيخلف نفقا خاليا من المادة والطاقة وكأنه يثقب الفضاء فعلا. (المصدر: الكون والاعجاز العلمي للدكتور منصور محمد حسب النبي), الثقوب السوداء لها القدرة بسبب جاذبيتها الهائلة على جعل النجوم الكبيرة التي تدور حولها وقد تغير شكل النجم الكروي الى شكل ببيضوي وأن الطرف المدبب من النجم يكون باتجاه الثقب الاسود ومن هذا الطرف تهوي جزء من مادة النجم نحو الثقب الاسود بسرعة عالية مسببة انبعاثات سينية وهي في طريقها نحو الهوة (انظر الشكل (4-14) السحابة التي لا تشبع ولا تمتلي ولا تعلن عن وجودها فهذه الهوة هي القبر السماوي المعروف بالثقب الاسود. وهذه احد الطرق الغير مباشرة والتي من خلالها يستدل على الثقوب السوداء, ففي عام 1971 اعلن علماء الفلك اكتشاف اول ثقب اسود في السماء وهو الدجاجة س-1 (Cygnus x-1) ومنذ ذلك الحين توالى اكتشافات الثقوب السوداء.



الشكل(4-14) منظومة ثنائية احد اجرامها ثقب اسود

خلاصة دورة حياة الشمس المحتملة حسب الدراسات النظرية للتطور النجمي:

- 1- نشأة الشمس من سحب البلازما التي تكثفت وكونت الشمس وكواكبها وأن مقدار المادة التي تكونت منها الشمس كانت كافية بأن تضع الشمس في مرحلة التتابع الرئيسي.
- 2- من المحتمل أن تستمر عمليات الاندماج النووي (تحويل الهيدروجين الى هيليوم) الى حوالي 10 بلايين سنة.
- 3- بعد توقف عملية الاندماج النووي ينهار الجزء المركزي للشمس ونتيجة لارتفاع درجة حرارة الجوف المنهار يبدأ الاندماج النووي للهيدروجين في الغلاف المحيط بالجوف المنهار يتمدد الجزء الخارجي للشمس وتنخفض درجة الحرارة السطحية وتزداد النورانية
- 4- مع ارتفاع درجة حرارة الجوف المنهار الى 100 مليون كلفن يبدأ اندماج الهليوم في الجوف ويتحول الى كاربون لتتخذ بعد ذلك الشمس موقع اخر في مجموعة النجوم العملاقة الحمراء على مخطط الـ H-R بعد نفاذ الهيليوم ينهار جوف الشمس ويبدء تحول الهيليوم في الغلاف المحيط بالجوف الى كاربون ويستمر تحول الهيدروجين الى هيليوم في الغلاف الثاني.
- 5- يتمدد الغلاف الخارجي للشمس ويفصل عن الجزء المركز وتتحول الشمس الى ما يعرف بالسديم الكوكبي.
- 6- اما الجزء المركزي فسيستمر بالانكماش الى مرحلة الاقزام البيضاء وعندها يكون حجمه مساويا الى حجم الأرض تقريبا.



الشكل (4-15) يوضح مراحل تطور الشمس

اسئلة الفصل الرابع

- س1) اذا كانت لمعان نجم يساوي 10 اضعاف لمعان نجم ثاني وكان النجم اللامع بقدر ظاهري مقداره +2.5 ، فما هو القدر الظاهري للنجم الخافت؟ (ج: $m = 5^m$)
- س2) نجمان القدر الظاهري لاول +6 وللنجم الثاني +1 اوجد نسبة لمعانهما؟ (ج: 100)
- س3) اشتق علاقة تربط الاقدار المطلقة والظاهرية بالمسافة.
- س4) اذا علمت بأن القدر الظاهري للشمس ضمن الاطوال الموجية المرئية يبلغ -26.6 اوجد القدر المطلق لها. (ج: +4.8)
- س5) القدر المضمري الظاهري لنجم يبلغ 1.57 وزاوية اختلاف المنظر 0.014 ثانية قوسية اوجد (أ) القدر المضمري المطلق
(ب) نورانية النجم بدلالة نورانية الشمس $\frac{L_*}{L_{\odot}}$
- (ج) درجة حرارته السطحية اذا كان قطر النجم يعادل قطر الشمس
(ج: أ- 2.7 - ب- 1000 ج- 33740 K)
- س6) اظهرت الحسابات الفلكية بأن درجة حرارة نجم واقداره المضمري المطلقة والظاهرية هي كالآتي: $T_{e*} = 10000K$, $M_{bol} = +1.5$, $m_{bol} = +6.5$
احسب (أ) بعد النجم عن الراصد (ب) نورانية النجم L_* بدلالة نورانية الشمس $L_{\odot}$
(ج) نصف قطره R_* بدلالة نصف قطر الشمس $R_{\odot}$
(ج: أ- 100 pc ب- 20.9 ج- 1.65)
- س7) قيس القطر الزاوي لنجم معين بجهاز مقياس التداخل وقد وجد بأنه يبلغ 10^{-5} من القطر الزاوي للشمس فإذا علمت أن القدر المضمري الظاهري للنجم يعادل +4 اقدار ضوئية ، فما مقدار درجة الحرارة السطحية للنجم ؟ مع العلم إن القدر المضمري البولومتري للشمس (-26.7) ودرجة حرارته السطحية 6000 ك. (ج: 1615K)
- س8) ماهي السرعة الحقيقية لنجم يبعد 10 فرسخ فلكي وسرعته نصف القطرية 8 كم/ثا وحركته الزاوية 0.5 ثانية قوسية؟ (ج: 25 km/sec)
- س9) نجم نورانيته تساوي 64 ضعف نورانية الشمس ودرجة حرارته السطحية تساوي 12000 كلفن احسب نصف قطر ذلك النجم بدلالة نصف قطر الشمس. (ج: $R_* = 2R_{\odot}$)
- س10) اكتب ما تعرفه عن المراتب الطيفية للنجوم، ثم بين لون ودرجة الحرارة السطحية واهم خط طيفي مميز لكل مرتبة طيفية.
- س11) ماهي العلاقة التي تربط كتلة النجوم بنورانيتهما؟ اي من المجموعات النجمية تخضع لهذه العلاقة؟

- س12) ارسم مخطط H-R وبين إلى أي مجموعة تنتمي النجوم التالية
- (1) نجم مرتبته الطيفية M9 وقدره المطلق -9.0
- (2) نجم مرتبته الطيفية B5 وقدره المطلق +10.0
- س13) ما مقدار كتلة الهيدروجين التي تتحول إلى طاقة في مركز الشمس في الثانية الواحدة؟
- س14) ان مخطط H-R عبر عن علاقة الاقدار المطلقة للنجوم ومراتبها الطيفية وقد صنفنا الى ثلاث مجاميع نسبة الى موقعها في المخطط ارسم هذا المخطط واذكر خواص كل مجموعة من هذه المجاميع النجمية.
- س15) احد انواع النجوم المنهارة هي الاقزام البيضاء ماهي خصائص هذه النجوم؟ ثم اذكر النظرية التي وضعها العالم جاندراسيخار بخصوص انهيارها.
- س16) اكتب ما تعرفه عن الثقوب السوداء, ثم اشتق المعادلة اللازمة لاستخراج نصف القطر الحرج (نصف قطر شوارز جايلد).
- س17) احسب نصف قطر شوارز جايلد لنجم كتلته تعادل ثلاث اضعاف كتلة الشمس.
- س18) ما هي المراحل التي نتوقع ان تمر بها الشمس اثناء تطورها .
- س19) وجد أن القطر الزاوي لنجم معين يساوي 10^{-5} من القطر الزاوي للشمس فإذا علمت أن القدر المظرمي الظاهري للنجم يساوي +4.0 فما مقدار درجة الحرارة السطحية للنجم؟
- س20) اذكر ثلاثة طرق لقياس كتلة النجوم.
- س21) تكلم عن نظرية جاندراسكار والأطوار النهائية للنجوم
- س22) كيف تفسر وجود خطوط امتصاص وانبعاث في اطياف النجوم

اسئلة قصيرة

- س1: أي من هذه النجوم يكون آخر مرحلة من مراحل تطورها ثقب اسود. نجم كتلته ؟ (1) 0.5 كتلة الشمس (2) 1 كتلة الشمس (3) 5 إضعاف كتلة الشمس (4) 1.4 كتلة الشمس
- س2: في مخطط الـ H-R معظم نجوم مجرتنا تتواجد في مجموعة (1) التتابع الرئيسي (2) الأقزام البيضاء (3) العملاقة (4) العملاقة العظمى
- س3: الشمس هو نجم من مجموعة التتابع الرئيسي ومن المرتبة الطيفية (1) O (2) G (3) K (4) M
- س4: الخاصية الفيزيائية المسببة للون النجم هي (1) تركيبه الكيميائي (2) درجة حرارته السطحية (3) بعده (4) كتلته
- س5: أي عنصر هو الأكثر وفرة في تركيب النجوم:
- (1) الحديد (2) الهيدروجين (3) الأوكسجين (4) الهليوم
- س6: ما مقدار اكبر كتلة تمتلكها نجوم الأقزام البيضاء :
- (1) 10 إضعاف كتلة الشمس (2) 3 إضعاف كتلة الشمس (3) 1.4 كتلة الشمس (4) أقل من كتلة الشمس
- س7: خطوط الامتصاص البارزة في طيف نجوم المرتبة الطيفية A هي:
- (1) الكالسيوم المتأين (2) الهليوم المتعادل (3) الهليوم المتأين (4) بالمر الهيدروجينية .
- س8: الاقدار المطلقة هي اقدار ظاهرية للأجرام السماوية عندما تكون هذه الاجرام على بعد مقداره (أ) 10 فرسخ فلكي (بارسكس) (ب) 10 سنة ضوئية (ج) 10 وحد فلكية.
- س9: خط الامتصاص البارز في طيف نجوم المرتبة الطيفية O هو (أ) الكالسيوم المتأين (ب) الهليوم المتعادل (ج) الهليوم المتأين .
- س10: العلاقة المعروفة بين نورانية النجوم وكتلتها $(L_* \propto M_*^{3.5})$ تنطبق على مجموعة نجوم (أ) التتابع الرئيسي (ب) العملاقة (ج) الاقزام البيضاء.

الفصل السادس

المجرات

مجرتنا Our Galaxy

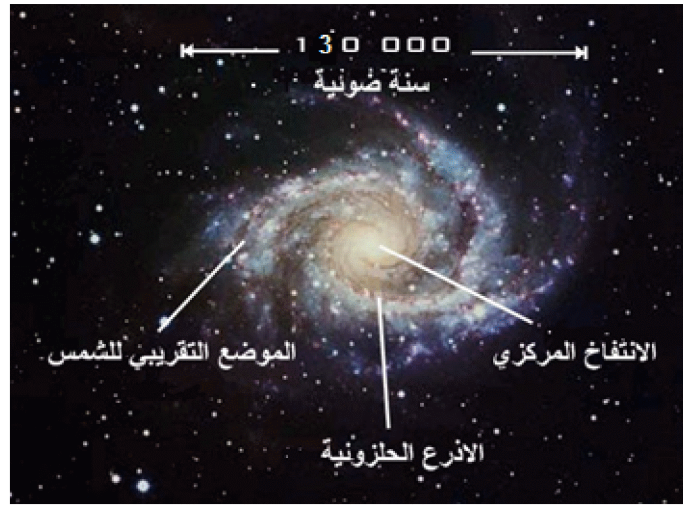
الطريق الحليبي (The Milky Way)، او درب التبانة في الليالي الصيفية الغير قمرية وبعيدا عن ضوء المدينة بإمكان سكان نصف الكرة الشمالية أن يشاهدوا في السماء حزاما من الضوء الخافت المتقطع، وعندما تكون كوكبة الدجاجة Cygnus عموديا فوق رأس الراصد يمتد الطريق الحليبي من شمال شرقي الأفق إلى جنوب غربي الأفق مارا بكوكبة ذات الكرسي وكوكبة قيفاوس وكوكبة الدجاجة حيث ينقسم إلى جزئين الجزء الشرقي أكثر لمعانا وأكثر عرضا من الجزء الغربي ويوجد بين الجزئين الغربي والشرقي شق معتم يدعى بالشق العظيم الذي يحوي على السحب الغازية والأترية الكونية والتي تحول دون رؤية النجوم في تلك المنطقة، ويظهر أكثر أجزاء هذا الحزام سطوعا وكثافتا قرب برج القوس والعقرب. الإغريق القدماء أطلقوا عليه الطريق الحليبي حيث بدأ لهم مثل حليب سكب عبر السماء ، كلمة Galaxy مشتقة من اللغة الإغريقية ومعناها الحليب galacto ومن هذا المعنى اخذ الاسم لمجرتنا Galaxy. في القرن السابع عشر عندما اخترع الراهب الايطالي غاليليو التلسكوب تبين له من خلال التلسكوب بأن الطريق الحليبي يتألف من ملايين النجوم الخافتة والكثيفة جدا والتي لا يمكن مشاهدتها كنجوم منفردة، لذلك تبدو لنا وكأنها سحابة في السماء. من خلال الدراسات التي تناولها علماء الفلك منذ القرن الثامن عشر وحتى القرن العشرون أصبحت الصورة لدينا عن الطريق الحليبي أكثر واضحا من أن هذا الحزام المكثف من النجوم والغازات ما هو إلا ذراع من اذرع مجرتنا مجرة درب التبانة انظر الشكل (1-6).



الشكل(1-6) الطريق الحليبي

تركيب مجرة درب التبانة

لأننا نعيش على الأرض التي هي جزء من منظومتنا الشمسية وبسبب وقوع الشمس داخل المجرة (درب التبانة) لذلك لا نستطيع أن نرى شكل مجرتنا من الخارج وبالتالي لجيء علماء الفلك إلى استخدام صور فوتوغرافية لمجرات بعيدة عنا لتساعدنا على تخيل صورة لمجرتنا من الخارج بالمقارنة مع المجرات الأخرى. الشكل (2-6) مخطط يوضح المنظر الجانبي والعمودي لمجرة تشبه مجرتنا. المنظر الجانبي تبدو لنا المجرة كعدسة محدبة الوجهين محاطة بعناقيد نجمية كروية الشكل موزعة حول مركز المجرة بشكل منتظم (انظر الشكل 3-6)، أما إذا نظرنا إلى المجرة من أعلى لأسفل فستظهر المجرة على شكل قرص مستوي يحتوي على أذرع حلزونية براقية لذلك يتضح من هذا الشكل أن مجرتنا هي من نوع المجرات الحلزونية والتي تتألف من الأجزاء التالية:



الشكل (2-6) (أ) منظر عمودي لمجرة حلزونية



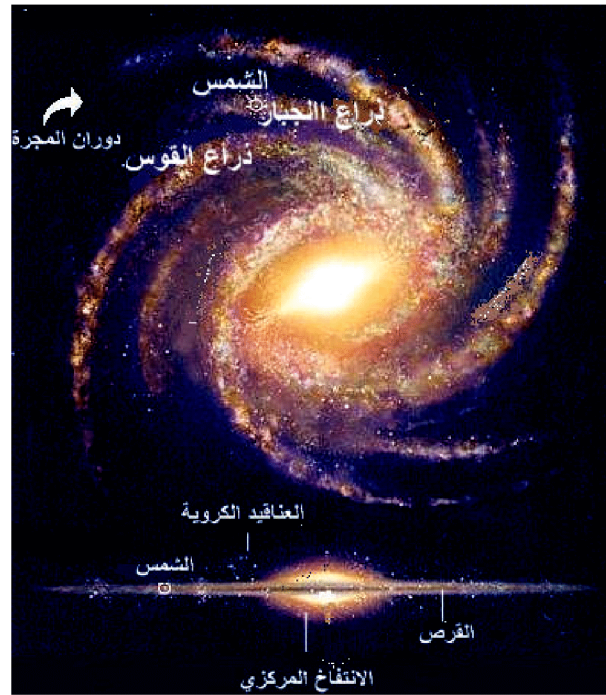
الشكل (2-6) (ب) منظر جانبي لمجرة حلزونية

(1) الانتفاخ المركزي The Bulge

وهو عبارة عن انتفاخ شبه كروي قطره حوالي 6000 بارسك ويمتد فوق وأسفل القرص. تتمركز فيه نجوم قديمة التكوين وذلك كون أن السدم الغازية والغبارية والأترية الكونية قليلة جدا في هذا الجزء من المجرة (المادة الأولية لولادة النجوم). ونظرا لاحتجاب الانتفاخ المركزي خلف السدم الغازية والغبارية المعتمدة الموجودة بكثرة في قرص المجرة يقوم الفلكيون بدراستها من خلال رصد الإشعاعات السينية، الراديوية، أو الأشعة تحت الحمراء الصادرة منها.

(2) القرص The Disk

يتألف القرص بشكل أساسي من نجوم لامعة حديثة التكوين ومن المرتبة الطيفية O و B وكذلك يحتوي على كميات كبيرة من السدم الغازية والغبارية والتي تعتبر الحاضنة الأساسية لولادة النجوم. يظهر وبشكل بارز في القرص الأذرع الحلزونية وهي مناطق ترتفع فيها كثافة مكونات القرص من نجوم وغازات وأترية وتمتد من الجزء المركزي وتأخذ الشكل الحلزوني، سمك القرص يبلغ حوالي 2000 بارسك وقطره حوالي 40000 بارسك أي ما يعادل ~ 130000 سنة ضوئية. تقع شمسنا على الجزء الداخلي من ذراع يطلق عليه ذراع الجبار انظر الشكل (3-6)، وتبعد مسافة ~ 8500 بارسك (~ 28000 سنة ضوئية) من مركز المجرة.



الشكل (3-6) مخطط يوضح موقع الشمس في مجرتنا درب التبانة

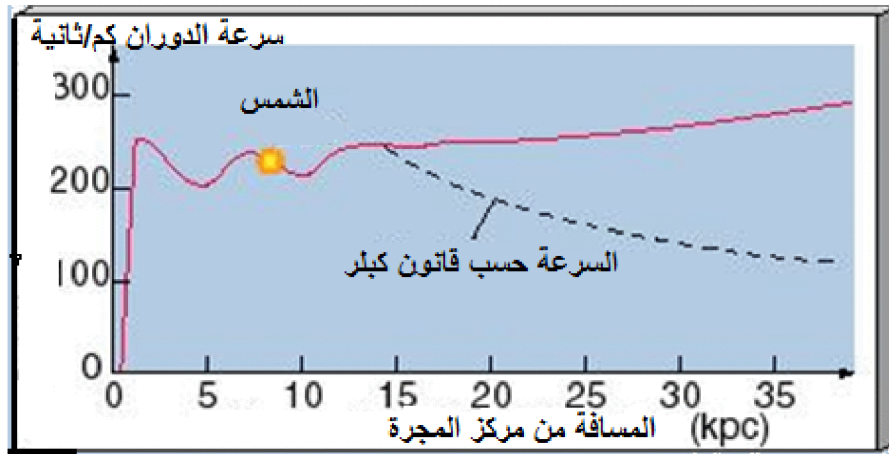
(3) الهالة Halo

وهي المنطقة المحيطة بكل من الانتفاخ المركزي والقرص ولمسافات بعيدة جدا تأخذ شكل كروي، تتكون بشكل أساسي من العناقيد النجمية الكروية كما تحتوي على القليل من السدم الغازية والأترية الكونية. نجومها قديمة التكوين.

دوران مجرتنا Galactic Rotation

تدور مجرتنا حول محور يصنع زاوية قائمة مع القرص المجري، وأن سبب تسطحها هو سرعتها الكبيرة في الدوران ، فقد بينت أبحاث الفلكي الهولندي أورت عام 1927 أن جميع نجوم المجرة تدور حول مركز المجرة. نجوم الجزء المركزي تدور حول مركز المجرة بطريقة تشبه دوران الجسم الصلب حيث تزداد سرعة النجوم كلما زاد بعدها عن مركز المجرة لثبوت السرعة الزاوية لهذا الجزء من المجرة، الشكل (4-6) يوضح السرعات المدارية لنجوم مجرتنا كدالة لبعدها عن مركز المجرة. هذا المنحني يبين أن سرعة دوران النجوم في الحدود الخارجية في المجرات الحلزونية لا يتوافق مع قانون كبلر الثالث (والذي تكون فيه سرعة الأجرام الدائرة في أفلاكها تتناسب تناسبا عكسيا مع الجذر التربيعي للمسافة من مركز الكتلة المسببة لدوران هذه الأجرام $V \propto 1/\sqrt{r}$) كما كان متوقعا فبدلا من تباطؤ السرعات الدورانية للنجوم البعيدة

عن مركز المجرة فالمنحني يبين أن السرعات الدورانية لجميع هذه النجوم تبقى ثابتة تقريبا وهذا يدل على أن توزيع الكتلة في المجرة لا يقل مع ابتعادنا عن مركز المجرة بل يزداد بشكل مذهل وصولا إلى الأطراف الخارجية للمجرة أي أن حدود المجرة لا تقف عند حدود النجوم المرئية بل تتعداها إلى أماكن خالية تماما من النجوم مما حدا بعلماء الفلك إلى طرح فكرة وجود المادة الداكنة والتي هي الآن موضع نقاش ساخن في الوسط العلمي لأنها تعتبر لغز محير ومحل أبحاث مستمرة في علم الفلك لتحديد هوية هذه المادة.



الشكل (4-6) منحنى السرعة المدارية لنجوم مجرة درب التبانة

أظهرت الدراسات الفلكية بأن الشمس وتوابعها تدور بسرعة 220 كم/ثانية حول مركز المجرة وباتجاه كوكبة الدجاجة وتستغرق مدة الدورة حوالي 240 مليون سنة وتدعى هذه الدورة بالدورة الكونية ومدتها تدعى السنة المجرية وبما أن الشمس تكونت قبل 5000 مليون سنة تقريبا لذلك أكملت الشمس 20 دورة حول مركز المجرة منذ بداية تكوينها.

كتلة المجرة:

يمكن حساب الكتلة التقريبية للمجرة وذلك من خلال تطبيق قانون كبلر الثالث على دوران الشمس حول مركز المجرة ، في هذه الحالة نعتبر كتلة المجرة المسببة لدوران الشمس هي الكتلة التي تقع داخل مدار الشمس، هذه الكتلة في الحقيقة لا تشمل جميع محتويات المجرة لأن مادة المجرة من نجوم وغازات والتي تقع خارج مدار الشمس لم تؤخذ في الحساب وبالتالي فإن كتلة المجرة المحسوبة من قانون كبلر الثالث هي أقل من القيمة الحقيقية لكتلة المجرة. وفيما يلي الخطوات اللازمة لذلك:

$$M_G + M_\odot = \left(\frac{r}{Au} \right)^3 \frac{M_\odot}{p^2} \dots \dots \dots (6-1)$$

M_G كتلة المجرة التقريبية
 $M_\odot$ كتلة الشمس

r بعد الشمس عن مركز المجرة والذي يبلغ 28000 سنة ضوئية وهو يعادل 1.8×10^9 Au وحدة فلكية

P مدة دورة الشمس حول مركز المجرة والتي يمكن استخراج قيمتها كما يلي :

$$p = \frac{2\pi r}{V} \dots \dots \dots (6-2)$$

V سرعة دوران الشمس حول مركز الشمس والتي تبلغ 220 كم/ ثانية

$$p = \frac{2 \times 3.14 \times 28000 \text{ Ly} \times 9.45 \times 10^{12} \text{ km/Ly}}{220 \text{ (km/sec)} \times 3 \times 10^7 \text{ sec}} = 240 \times 10^6 \text{ years}$$

ويمكن إهمال كتلة الشمس من الطرف الأيسر لمعادلة (6-1) لنحصل على

$$M_G = \left(\frac{1.8 \times 10^9 \text{ Au}}{1 \text{ Au}} \right)^3 \frac{M_\odot}{(240 \times 10^6)^2} \approx 10^{11} M_{sun}$$

أي أن كتلة المجرة التقريبية تعادل حوالي مئة بليون مرة بقدر كتلة الشمس وبعبارة أخرى فإن المجرة تحتوي على 10^{11} نجم بقدر كتلة الشمس تقريبا.
هذه القيمة تقريبية لأننا أهملنا جزء من كتلة المجرة الواقع خارج مدار الشمس. لذلك يمكن الحصول على نتيجة اقرب إلى القيمة الحقيقية وذلك باستخدام أجرام أبعد من الشمس، يقدر علماء الفلك من خلال هذه الدراسات بأن كتلة مجرتنا تساوي تقريبا 10^{12} مرة بقدر كتلة الشمس.

التجمهرات النجمية Stellar populations

لقد قسمت نجوم المجرة في عام 1944 إلى مجموعتين استنادا إلى التركيب الكيميائي ومعدل أعمارها ومناطق تواجدتها وكذلك استنادا إلى حركتها. المجموعة الأولى سميت بالتجمهرات الأولى Population I التي تشمل نجوم حديثة التكوين أعمارها تتراوح من مليون إلى عدد من البلايين من السنين، لونها أزرق تتواجد في منطقة القرص وتمتلك مدارات دائرية حول مركز المجرة وتقع هذه المدارات في مستوي قرص المجرة، تركيبها يشبه تركيب الشمس مع وجود عناصر ثقيلة (مثل الكربون، النتروجين والأوكسجين) قد تصل إلى نسبة 3% تقريبا من كتلتها. المجموعة الثانية أطلق عليها التجمهرات الثانية Population II نجومها حمراء اللون قديمة التكوين أعمارها تقارب 10^{10} سنة تتواجد في الانتفاخ المركزي والهالة، مداراتها اهليلجية ويميل مستوي مدارها عن مستوي قرص المجرة، نسبة العناصر الثقيلة قليلة تتراوح بين 0.03% إلى 0.003% من كتلة نجومها وهذه النسبة أقل من 100 مرة عما هي عليه في الشمس،

لوحظ أن هذا التقسيم غير كاف فاستحدث لكل جبهة نجمية شعبتين أطلق عليها المفردة والوسطية، وهذه الشعبات هي:

- (1) الجبهة الهالية الثانية (الجبهة الثانية المفردة) Halo population II
تظم هذه المجموعة نجوم قديمة التكوين جدا، تتواجد هذه النجوم عادة في منطقة الهالة.
- (2) الجبهة الثانية الوسطية Intermediate population II
تتواجد هذه النجوم عادة في الجزء المركزي من المجرة وكذلك في الأجزاء السفلى من الهالة المجرية.
- (3) الجبهة القرصية Disk population
تتواجد هذه المجموعة النجمية في الأذرع الحلزونية للمجرة وجزء قليل منها في الجزء المركزي، الشمس هي أحد أنواعها.
- (4) الجبهة الأولى الوسطية Intermediate population I
تتواجد هذه المجموعة النجمية في المستوي المجري (الأذرع الحلزونية) نجومها أكبر كتلة وأكثر حرارة من الشمس.
- (5) الجبهة الأولى المفردة Extreme population I
تعتبر هذه المجموعة النجمية أحدث أنواع النجوم تكويناً، تتواجد في الأذرع الحلزونية وقد لوحظ بأنها مرتبطة بالسدم الغازية.

اتجاه
زيادة
العمر

اتجاه
زيادة
العناصر
الثقيلة

العناقيد النجمية: Star Clusters

في المجرة نشاهد نجوم منفردة مثل الشمس ومنظومات نجمية ثنائية مثل ثنائي الغول كما يوجد في المجرة أنظمة نجمية متعددة (لاتزيد نجومها عن ستة نجوم)، إضافة إلى ذلك يوجد مجموعات نجمية قد يصل عددها إلى المئات متماسكة مع بعضها البعض بواسطة الجاذبية، يطلق على هذه المجاميع النجمية بالعناقيد النجمية، نجوم العنقود الواحد تكون متماثلة بالعمر والتركيب الكيميائي كونها تشكلت من سديم غازي واحد.

توجد في مجرتنا آلاف من هذه العناقيد موزعة بعضها في الأذرع الحلزونية والبعض الآخر في الهالة وتكون على نوعين: العناقيد المفتوحة والعناقيد الكروية، وفيما يلي ملخص لخواص كل نوع:

(1) العناقيد المفتوحة Open Clusters

لأن بعض هذه العناقيد قريبة منا لذلك تظهر نجومها متباعدة نوعاً ما ولهذا فإنها تسمى بالعناقيد المفتوحة، تنتشر هذه العناقيد في مستوى المجرة وبالأخص في الأذرع الحلزونية ولهذا كان يطلق عليها بالعناقيد المجرية Galactic clusters، يتراوح عدد نجومها من بضع عشرات إلى بضع مئات من النجوم، معظمها نجوم لامعة ذات أعمار قصيرة ومن المرتبة الطيفية O, B وهي نجوم حديثة التكوين من الجبهة النجمية الأولى، يتراوح قطر هذه العناقيد من 7 إلى 20 سنة ضوئية، أفضل مثال لهذه العناقيد عنقود الثريا (الأخوات السبع Pleiades) والذي يتألف من 500 نجم سبعة منها يمكن رؤيتها بالعين المجردة وهي تقع ضمن سديم كبير من سدم الانعكاس كما هو مبين في الشكل (5-6).



الشكل (5-6) عنقود الثريا (الأخوات السبع Pleiades)

(2) العناقيد الكروية (المغلقة) Globular Cluster

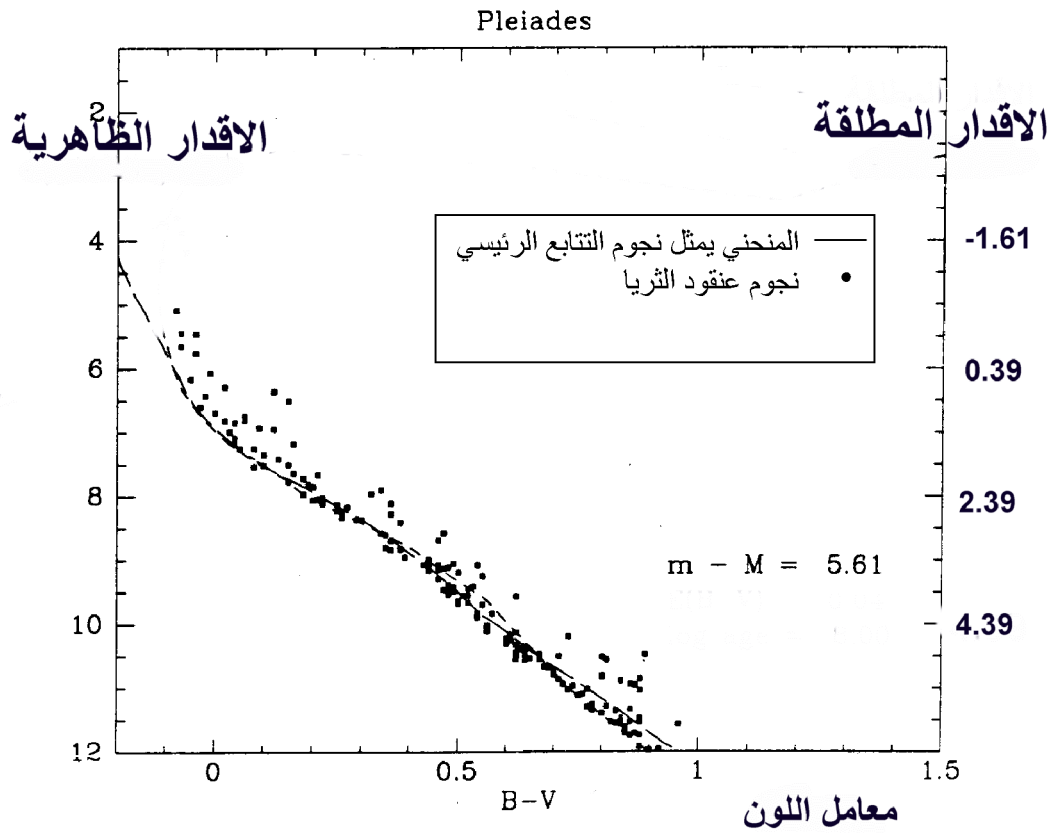
وهي عناقيد نجمية كروية الشكل منتشرة في الهالة ومنطقة الانتفاخ المركزي تكون عادة أكبر حجماً من العناقيد المفتوحة قطرها يتراوح بين 40 إلى 160 سنة ضوئية نجومها أكثر كثافة وأكثر عدداً من نجوم العناقيد المفتوحة ويتراوح عددها بين 10^5 إلى 10^6 نجم في كل عنقود. نجومها من الجبهة النجمية الثانية أي أنها نجوم قديمة التكوين مداراتها اهليلجية حول مركز المجرة. ومن أشهر هذه العناقيد العنقود الكروي أوميكا قنطورس والذي يمكن مشاهدته بالعين المجردة انظر الشكل (6-6)



الشكل (6-6) العنقود الكروي أوميكا قنطورس

قياس بعد العناقيد النجمية

يمكن استخدام مخطط H-R لايجاد بعد العناقيد النجمية وذلك بتعين موقع نجوم العنقود المراد استخراج بعده على المخطط الذي يتمثل بالأقذار الظاهرية (m_*) لنجومه ومراتبها الطيفية ثم نطابق هذا المخطط بأخر يحتوي على نجوم التتابع الرئيسي والمرسوم باستخدام الأقذار المطلقة M_* والمراتب الطيفية وبعد ذلك نطابق المخططين ونعين الفرق بين الأقذار الظاهرية والأقذار المطلقة ($m_* - M_*$) والذي تكون قيمته ثابتة ويسمى معامل المسافة ومن استخدام المعادلة $m_* - M_* = -5 + 5 \log(d_*)$ يتم حساب بعد العنقود النجمي d_* . الشكل (6-7) يبين مخطط لعامل المسافة لعنقود الثريا حيث تمثل النقاط مواضع نجوم العنقود التي عينت باستخدام أقذارها الظاهرية ومرتبتيها الطيفية أما المنحني الخطي فيمثل نجوم التتابع الرئيسي الذي رسم باستخدام الأقذار المطلقة والمرتبة الطيفية لنجوم التتابع الرئيسي من المخطط نلاحظ أن $m_* - M_* = 5.61$ وبتطبيق المعادلة اعلاه نجد أن بعد العنقود يساوي $d_* = 132.43$ فرسخ فلكي.



الشكل (6-7) مخطط HR لعنقود الثريا مبينا معامل المسافة

السدم ووسط ما بين النجوم

تحتوي المجرة على مكونات أخرى غير النجوم التي تكلمنا عنها , وهذه المكونات تتألف من المادة المنتشرة ما بين النجوم و التي هي الغازات و العوالق الترابية الهائلة . و تشمل حوالي 12% إلى 15% من كتلة المجرة أغلبها متجمع في تشكيلات كونية مشابهة إلى سحب ضخمة جدا تدعى بالسدم Nebulae. و فيما يلي سنتكلم باختصار عن ثلاثة أنواع من هذه السدم وكذلك عن بعض الغازات و المركبات الجزيئية في فضاء ما بين النجوم :

(1) سدم الانبعاث Emission Nebulae

تتميز هذه السدم برقتها المتناهية في الكثافة وضخامتها في الحجم و نورانيتها العالية نسبيا . إضافة إلى أن غازاتها في حالة توهج لذلك فإن أطياها تحتوي على خطوط انبعاث، أطياف سدم الانبعاث تحتوي على خطوط انبعاثية من غازات الهيدروجين و الهليوم و الأوكسجين المتأينة وكذلك خطوط انبعاث لبعض الغازات الأخرى , علما أن الهيدروجين أكثر وفرة من الغازات الأخرى. تقسم سدم الانبعاث الى ثلاثة أنواع ثانوية وهذه الانواع هي:

مناطق HII:

تتألف هذه السدم من غاز الهيدروجين المتأين بواسطة الأشعة فوق البنفسجية ذات الطاقة العالية والتي يكون مصدرها نجوم العملاقة الزرقاء ذات المرتب الطيفية بين O و B₁. هذه السدم تعرف بمناطق HII (الهيدروجين المتأين يتمثل بالرمز HII) . ومن أمثلة سدم الانبعاث السديم الهائل في كوكبة الجبار والذي يطلق عليه سديم الجبار وهو من نوع مناطق HII انظر الشكل (6-8).



الشكل (6-8) سديم الجبار

السدم الكوكبية:

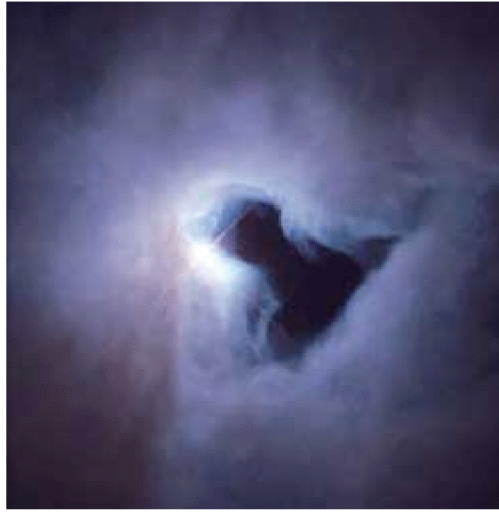
في نهاية حياة بعض النجوم وخلال مرحلة العملاقة الحمراء تقذف الطبقات الخارجية للنجم بواسطة الرياح النجمية العالية، المتولدة من خلال الاندماجات النووية السريعة التي تحدث في جوف النجم (على سبيل المثال flashing helium) وبانفصالها عن الجزء المركزي المنهار تتأين غازاتها بالأشعة فوق بنفسجية التي تنبعث من مركز النجم فتصبح غازاتها متوهجة. انظر الشكل (5-10) والذي يمثل السديم الحلقي في كوكبة القيثارة.

السدم السرطانية:

وهي بقايا المستعرات العظمى غازاتها متوهجة ولكن التوهج ناتج من التسخين الحاصل بواسطة موجات الرجة التي تنتج من حدوث ظاهرة السوبرنوف. انظر الشكل (5-9) والذي يمثل سديم السرطان وهو بقايا انفجار سوبرنوف في برج الثور.

(2) سدم الانعكاس Reflection Nebulae

تكون هذه السدم عادة محيطة بنجوم اقل حرارة من نجوم المرتبة الطيفية B_1 ولهذا فإن طيف هذه السدم لا يحتوي على خطوط انبعاث لان نجومها ليست ساخنة بدرجة تكفي لتأيين الغاز, وعليه فإن طيف هذه السدم يمثل طيف النجم المتواجد في السديم, تحدث عمليات الانعكاس بسبب وجود الدقائق الغبارية على الرغم من أن الغبار يمثل نسبة قليلة من مادة السديم. (في سدم الانبعاث يحصل بعض عمليات الانعكاس الضوئي لان التركيب الكيميائي لكل من سديم الانبعاث و السديم العاكس متماثلان تقريبا). تعكس سدم الانعكاس الضوء الساقط على دقائق الغبار الموجود فيها لذلك يكون طيفها مشابهة إلى طيف نجومها و ليس طيف العناصر الموجودة في السديم. فطيف سدم الانعكاس يمتلك خطوط امتصاص و طيف مستمرولا وجود لخطوط انبعاث. ومن الأمثلة على هذه السديم سديم الانعكاس في كوكبة الجبار الشكل (6-9).



الشكل (6-9) سديم الانعكاس في كوكبة الجبار

(3) السدم الداكنة Dark Nebulae

هي السحب التي تحجب ضوء النجوم البعيدة مكونة ما لاحظته الفلكيون الأوائل فجوات في السماء , لأنها تتألف من غازات رقيقة مع كميات كبيرة من التراب الكوني المعتم و هو العنصر المسبب غالبا في احتجاب ضوء النجوم الواقعة خلفه. إن هذه السدم مشابهة إلى سدم الانبعاث والانعكاس تقريبا من ناحية الخواص الفيزيائية غير أنها لا تحتوي على نجوم تضيئها . فمثلا السديم المسمى رأس الحصان في كوكبة الجبار انظر الشكل (6-10) هو من السدم الداكنة , وقد سمي بهذا الاسم لأنه يشبه إلى حد كبير رأس الحصان , و يظهر بارزا وواضحا عند النظر إليه بواسطة المرقب الفلكي , بسبب وجود سديم لامع خلفه . و كذلك السديم الخيطي في كوكبة الدجاجة هو احد السدم الداكنة .

ويعتبر ضوء أي نجم قريب منها غير كاف لجعلها لامعة فلماذا يتم الكشف عن هذا النوع من السدم عن طريق امتصاصها لضوء الأجرام الواقعة خلفها , سواء كانت نجوما أو سدما لامعة . وكذلك يمكن الكشف عنها بدلالة عدد النجوم التي تظهر على الصور الفوتوغرافية . فإذا كان عدد النجوم في مساحة قطرها دقيقة قوسيه واحدة اقل من العدد المحتمل إحصائها دل ذلك وجود سديم داكن.



الشكل (10-6) سديم رأس
الحصان وهو من السدم
الداكنة

(4) المادة ما بين النجوم:

ينتشر في فضاء المجرة (ما بين النجوم) وسط مادي غير كثيف من الغازات والأتربة الكونية والذي يظهر أحيانا في القرص المجري وبين الأذرع الحلزونية وتبلغ متوسط كثافته حوالى جسيم واحد لكل سم³ (في السدم الكثيفة الباردة تصل الكثافة الى 10⁶ جسيم لكل سم³ وفي السدم الرقيقة الساخنة قد تصل الكثافة الى 10⁻⁴ ايون لكل سم³، مقارنة مع الكثافة العددية للماء والتي تساوي 10²² لكل سم³) تشكل الغازات حوالى 99% من المادة ما بين النجوم والأتربة (أو الغبار) يمثل حوالى 1%.

إن هاتين المادتين لهما فعاليات فيزيائية مختلفة فالغازات تمتص وتبث الأشعة في ظروف خاصة تتولد فيها خطوط الطيف البراقة أو المعتمدة أما الذرات الغبارية فإنها لا تولد خطوطا في الطيف بل تؤدي الى زيادة تشتت الضوء هذه العملية تؤدي الى جعل لمعان النجوم أكثر خفوتا مما هي في الواقع وذلك بسبب حجبها لجزء من الضوء المنبعث من النجم إضافة أن عملية التشتيت للموجات القصيرة من الضوء يجعل أن تلك النجوم تصبح أكثر احمرارا، (وهذا هو السبب في ظهور الشمس حمراء أثناء غروبها أو شروقها). جسيمات الغبار تتألف عادة من الكربون المشابه إلى مادة الكرافيت وكذلك من دقائق الحديد وكاربيد السيلكون والسيليكا والغاز المجمد. أما التركيب الكيميائي للغاز الموجودة في وسط ما بين النجوم فهو يتألف من غاز الهيدروجين بشكل اساس ويليه الهليوم وكميات قليلة من الاوكسجين والنيتروجين وبخار الماء واول اوكسيد الكربون والعديد من الجزيئات الغازية. غاز الهيدروجين يكون عادة على نوعين الهيدروجين المتأين والهيدروجين المتعادل .

(1) الهيدروجين المتأين (منطقة HII)

إن النجوم الساخنة ذوات المرتبة الطيفية B, O تؤين غاز الهيدروجين بواسطة إشعاعها فوق البنفسجي وإن مناطق هذه الغازات تدعى منطقة HII إن امتصاص الهيدروجين لفوتونات الأشعة فوق البنفسجية المنبعثة من النجوم الساخنة تؤدي إلى انفصال الإلكترونات من ذراتها وبهذا يتأين غاز الهيدروجين وتصبح هذه الإلكترونات حرة خلال لحظات قصيرة وبعدها تقتنص من قبل نويات بعض ذرات الهيدروجين غير المستقرة وعندها يتحرك الإلكترون في مستويات طاقة مختلفة مؤديا انبعاث فوتونات تولد طيف الأشعة الكهرومغناطيسية لخطوط معينة أكثرها سلسلة بالمر (أهمها سلسلة ألفا بالمر الحمراء) ولهذا تظهر مناطق HII عادة حمراء اللون بالإضافة الى وجود الألوان الصفراء أو الخضراء الناتجة من خطوط الانبعاث لعناصر أخرى مثل الاوكسجين أو النيتروجين .

(2) الهيدروجين المتعادل (منطقة HI)

وهو غاز بارد غير مرئي لعدم وجود نجم ساخن بالقرب منه أو أن كميات الأشعة فوق البنفسجية المنبعثة من نجم قريب غير كافية لتأين ذرات الغاز لذلك يبقى بارداً و متعادلاً , و تدعى مثل هذه المناطق بمناطق HI.

هذا الغاز يبعث طيف راديوي ذي طول موجي مقداره 21 سنتيمتر، تم اكتشاف هذا الخط الطيفي في عام 1951. سبب هذا الانبعاث هو أن لكل من الإلكترون و البروتون في ذرة الهيدروجين مجال مغناطيسي خاص به ناتج من البرم المغزلي لكل منهما . ومن الممكن أن يكون البرم المغزلي لكل منهما نفس الاتجاه أو في اتجاهين مختلفين . و عندما ينعكس برم الإلكترون من اتجاه إلى آخر سيحصل تغير طفيف في الطاقة , هذا التغير في الطاقة يسبب انبعاث فوتون بتردد قدره 1420.4 ميكا هيرتز أو بطول موجي قدره 21 سم ، يتواجد قرابة ثلاثة أرباع الهيدروجين في وسط ما بين النجوم في حالة الطاقة العالية أي أن البرمان متوازيين . والباقي في وضع طاقة أوطأ (البرمان متعاكسان). الانتقال من حالة البرم المتوازي إلى البرم المتعاكس عملية نادرة و يتم ذلك بالتصادم أحياناً، وتحدث هذه العملية مرة كل 400 سنة بين ذرتين و مع ذلك فإن وفرة الهيدروجين في الفضاء يجعل ذلك ممكناً بحيث يمكن التحسس بخط 21 سم من جميع الاتجاهات . و يمكن رصد هذا الخط لحالتي الامتصاص و الانبعاث. ويرصد هذا الخط الطيفي فبالمكان دراسة توزيع هذا الغاز في المجرة بواسطة التلسكوبات الراديوية عما أن الموجات الراديوية تستطيع أن تتفد خلال الدقائق الترابية الموجودة ما بين النجوم دون أن تعاني امتصاصاً ذا قيمة.

كيمياء ما بين النجوم

لقد اكتشف علماء الفلك الراديوي عام 1963 مركبات كيميائية عديدة تتضمن بعض المركبات العضوية في الأطوال الموجية السنتمترية و المليمترية في المناطق الباردة من سحب ما بين النجوم. أكثر من 100 نوعاً من الجزيئات تم التعرف عليها لحد الان منها جزيئات الهيدروكسيل و الماء وأول اوكسيد الكربون و السايروجين و الفورمالديهايد . يعتقد علماء الكيمياء الحيوية احتمالية وجود علاقة بين الجزيئات ما بين النجوم و عمليات تكوين الحياة . فلقد لاحظ علماء الفلك أن جزيئات الفورمالديهايد و الامونيا موجودة في العديد من سحب ما بين النجوم وقد اثبتت التجارب انه عندما توجد هاتان الجزيئتان تحت ظروف مناسبة من حرارة و اشعاع فوق بنفسجي تحدث تفاعلات كيميائية تؤدي إلى توليد الأحماض الأمينية والتي تشكل بداية السلسلة الطويلة في مراحل بناء الخلية الحية .

المجرات الخارجية:

تعتبر مجرتنا مجرة درب التبانة واحدة من عدد لا يحصى من المجرات المنتشرة في الكون اقرب المجرات الى مجرتنا والتي يمكن مشاهدتها بالعين المجردة مجرة المرأة المسلسلة (M31) والتي تقع على بعد 2 مليون سنة ضوئية تظهر كبقعة مشوشة خافتة وسحابتي ماجلان التي تشاهد من النصف الجنوبي للكرة الارضية وتقع على بعد 55 كيلوبارسك، باستخدام التلسكوب تمكن الفلكيون من اكتشاف اعداد هائلة من المجرات وفي مختلف الاتجاهات على القبة السماوي، احجامها تتراوح من مجرات قزمية عدد نجومها حوالي 10 مليون نجم الى مجرات عملاقة عدد نجومها يصل الى تريليون نجم (10^{12}). عدد المجرات التي يتوقع رصدها في الكون اكثر من 170 بليون مجرة (1.7×10^{11})، اقطارها تتراوح من 1000 الى 100000 بارسك والمسافات البينية بين هذه المجرات يتراوح من مليون بارسك الى ميكا بارسك. الفضاء بين المجرات مملوء بغاز غير كثيف معدل كثافته قد تصل الى ذرة واحدة لكل متر مربع. تتواجد المجرات في تجمعات مجرية تسمى بالعناقيد المجرية والتي هي جزء من عناقيد أكبر تسمى الحشد المجري الفائق والذي هو الآن أكبر تركيب في الكون، مع أن بعض العلماء يقترحون أن الحشد المجري الفائق لربما هي جزء من تركيب أكبر يسمى النسيج الكوني، يوجد اشارة في القرآن الكريم حول وصف

السما بالنسيج المتقن صناعته في قوله تعالى ﴿وَالسَّمَاءِ ذَاتِ الْحُبُكِ﴾ (الذاريات ٧).

تصنيف المجرات:

تصنيف المجرات هو نظام استخدمه علماء الفلك لتقسيم المجرات في مجموعات على أسس مختلفة ومن هذه الاسس الشكل المرئي للمجرة. يوجد الان عدة انظمة تستخدم لتصنيف المجرات وفقا للشكل أشهرها تسلسل هابل والذي وضعه إدوين هابل Edwin Hubble عام 1925 وتوسع هذا التصنيف لاحقا من قبل جيرار دي فوكليير Gérard de Vaucouleurs وآلان سانديج Allan Sandage.

تصنيف هابل للمجرات :

صنف هابل المجرات الى ثلاثة أنواع تبعا للشكل الذي تتخذه المجرة وهي:-
مجرات اهليلجية ومجرات حلزونية ومجرات شاذة ، اضيف الى هذه الانواع الثلاثة نوع اخر من المجرات شكلها ثنائي التحذب يطلق عليها مجرات ثنائية التحذب وعليه اصبح تصنيف هابل كالآتي :

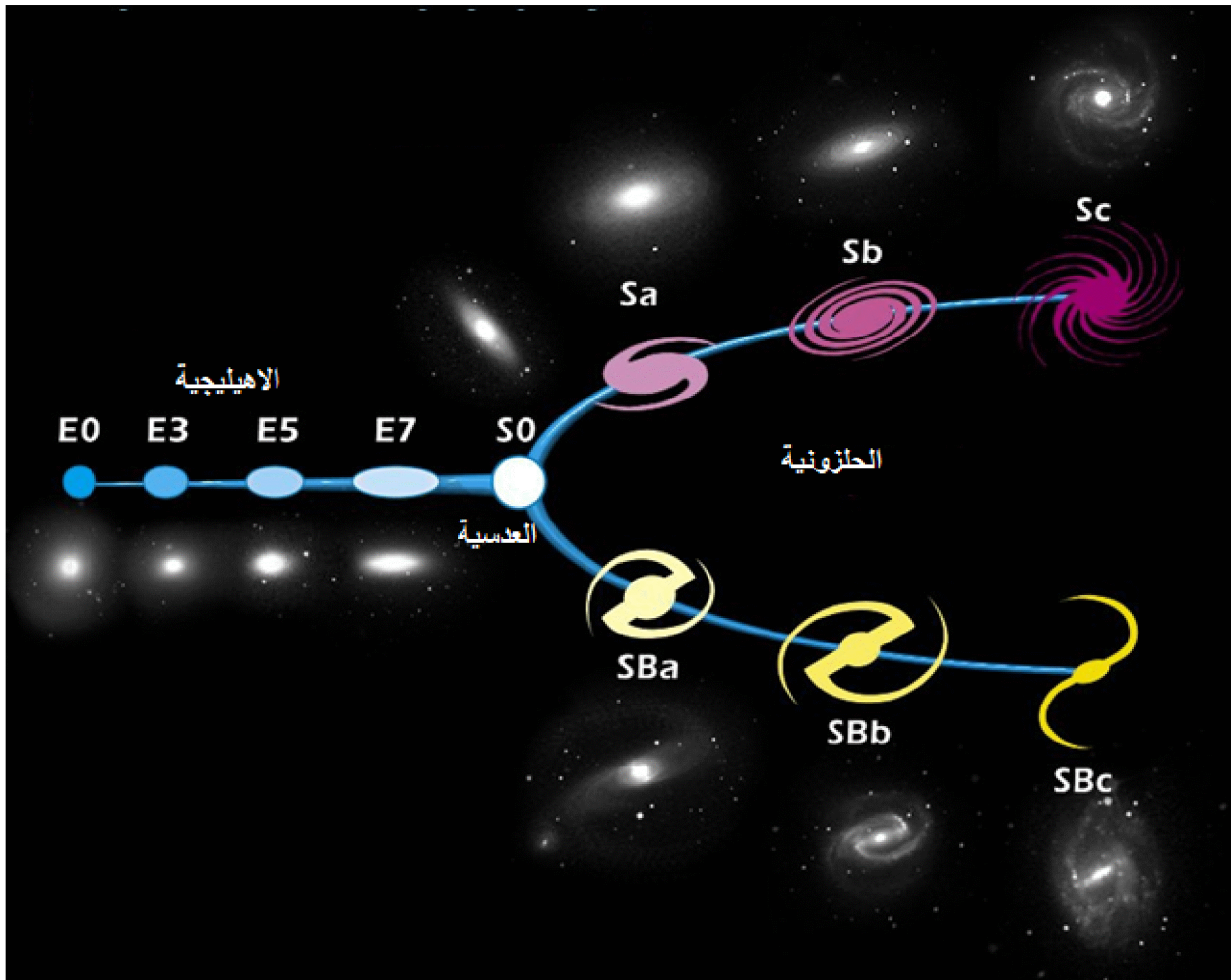
- (1) المجرات الاهليلجية (البيضاضوية) Elliptical galaxies
- (2) المجرات الحلزونية (اللولبية) Spiral galaxies
- (3) المجرات ثنائية التحذب (العدسية) Lenticular galaxies
- (4) المجرات الغير منتظمة (الشاذة) Irregular galaxies

(1) المجرات الاهليجية Elliptical galaxies

وهي تتخذ شكلا اهليجيا بيضاويا، يعتقد ان هذه المجرات اكتسبت هذا الشكل من خلال الحركة العشوائية لنجومها وقد تتدرج بالشكل من الكرة الى الشكل الاهليجي الشديد التفلطح وتعرف اشكال هذه المجرات بالحرف (E) المتبوع برقم (n) لتحديد شدة التفلطح والتي تتراوح قيمه من الصفر الى 7 وتحدد قيمته لاقرب عدد صحيح حسب النسبة بين طول المحور الثانوي (b) للمقطع الاهليجي للمجرة الى طول المحور الرئيسي (a) للمقطع

$$n = 10 \left(1 - \frac{b}{a} \right)$$

فمثلا المجرة E0 تكون المجرة كروية الشكل وتتدرج درجة اهليجية هذه المجرات من E0 ، E1 ، E2 ،.....، الى E7 لاحظ الشكل الاتي :



الشكل (11-6) تصنيف هابل للمجرات

(2) المجرات الحلزونية Spiral galaxies

تمتاز هذه المجرات بامتلاكها انتفاخ مركزي وقرص يحوي على اذرع حلزونية الشكل هذا بالاضافة الى وجود هالة تحيط بالقرص والانتفاخ المركزي، مجرتنا مجرة درب التبانة من هذا النوع من المجرات. ولقد صنف المجرات الحلزونية اولا حسب شكل النواة :

أ) المجرات الحلزونية العادية Norma spiral galaxies (S)

ويرمز لهذا النوع من المجرات الحلزونية بـ (S) حيث يكون شكل النواة (الانتفاخ المركزي) على شكل قطع ناقص.

ب) المجرات الحلزونية القضيبيية Barred spiral galaxies (SB)

ويرمز لها بـ (SB) وهي تشبه المجرة الحلزونية العادية غير ان الازرع الحلزونية تمتد من نهاية تركيز لتجمع كبير من النجوم يأخذ شكل قضيب مركزي يمر بنواة المجرة. ولقد صنف المجرات الحلزونية العادية (S) والقضيبيية (SB) الى ثلاثة اصناف ثانوية استنادا الى درجة التفاف الازرع الحلزونية وشدة وضوح نواة المجرة وهذه الاصناف هي:

SBa Sa (وهي المجرات الحلزونية التي تكون فيها الازرع الحلزونية

شديدة الالتفاف والنواة كبيرة)

SBb Sb (التفاف الازرع الحلزونية متوسط وحجم النواة ايضا متوسطة)

SBc Sc (الازرع الحلزونية مفتوحة والنواة صغيرة)

(3) المجرات العدسية Lenticular galaxies (SO)

تتميز هذه النوع من المجرات بان شكلها يكون وسطا ما بين المجرات الاهليجية والحلزونية وذلك بامتلاكها قرص بدون اذرع حلزونية. هذه المجرات تصنف الى ايضا الى ثلاثة اصناف استنادا الى وجود او غياب التركيب القضيبي المركزي

SAO المجرات العدسية بدون قضيب

SBO المجرات التي تمتلك قضيب مركزي كثيف

SABO المجرات التي يكون فيها القضيب المركزي ضعيف وهذا النوع يقع في

مرحلة متوسطة بين الـ SAO و الـ SABO

(4) المجرات الشاذة Irregular galaxies (Irr)

المجرة الشاذة هي مجرة تظهر بشكل عشوائي غير منتظم وليس لها شكل معين أن هذه المجرات قد تشكل حوالي ربع المجرات المنظورة في الكون، كان الاعتقاد السائد في منتصف القرن الماضي أن هذه المجرات كانت إما مجرات حلزونية او إهليلجية لكن عوامل الجذب شوه المجرة لتظهر بهذا الشكل، في الوقت الحاضر يعتقد علماء الفلك أن هذه الاجرام هي مجرات في مرحلة التكوين.

تصنف المجرات الشاذة الى:

المجرات الشاذة Irr-I

وهي التي يظهر لديها بعض التراكيب لكن ليست كافية لضمها على نحو واضح في سلسلة هابل.

المجرات الشاذة Irr-II

وهي التي لا يظهر عليها أي تركيب يمكن وضعها في سلسلة هابل.

نسب اشكال المجرات في الكون:

ماهي النسبة التي يشكلها كل نوع من هذه المجرات؟ الاجابة على هذا السؤال يتقبل اكثر من اجابة وذلك حسب اختيار عينة المجرات ففي العنقود المجري المحلي (المجرات القريبة لمجرتنا مجرة درب التبانة) نجد ان المجرات الخافتة من نوع المجرات القزمية والشاذة هي الاكثر نسبة من المجرات الاخرى، هذه المجرات الخافتة تصبح غير مرئية لنا في اعماق الكون المجرات اللامعة هي التي يمكن رصدها لذا فإن المجرات الحلزونية تشكل 80% من المجرات المرصودة.

مكونات المجرات:

لوحظ منذ بداية تصنيف هابل أن المجرات الاهليجية والحلزونية والشاذة تختلف في مكوناتها فقد لوحظ أن المجرات الحلزونية تحتوي على نجوم حديثة التكوين وقديمة التكوين (Pop I , Pop II) بينما تكون معظم نجوم المجرات الاهليجية قديمة التكوين حمراء اللون (PopII) ، هذا الاختلاف في نوع النجوم في كل من المجرات الحلزونية والاهليجية يعود لاختلاف نسبة الكميات الغازية والأتربة المتوفرة في كلى النوعين من المجرات، فقد لوحظ ان المجرات الحلزونية تحوي على سدم غازية وأتربة تشكل تقريبا 15% من كتلتها ولهذا السبب نشاهد وجود نجوم حديثة التكوين زرقاء اللون (Pop I) من جهة اخرى فإن المجرات الاهليجية قد لا تحوي على قدر كافي من السدم الغازية والأتربة لتكوين نجوم حديثة التكوين، الارصاد الحديثة عند الاطوال الموجية السينية تشير الى وجود غازات ذات كثافة قليلة جدا ولكن بدرجات حرارة عالية قد تصل الى 10^7 كلفن عند هذه الدرجات العالية لا يتوقع أن تتشكل نجوم جديدة في المجرات الاهليجية ، مع هذا قد لا نفاجئ من امكانية رصد نجوم حديثة التكوين في المجرات الاهليجية . على عكس المجرات الاهليجية ففي المجرات الشاذة تتواجد النجوم الزرقاء حديثة التكوين وبوفرة وذلك لوجود كميات كبيرة من الغازات والأتربة والتي قد تصل الى 50% من كتلة المجرات ولهذا يتوقع علماء الفلك أن هذه المجرات هي حديثة التكوين ولم تستنفذ غازاتها في تكوين النجوم. بالاضافة لوجود اختلاف في مكونات المجرات نوع S , E و Irr فإن هذه الانواع الثلاثة تختلف في عدد من الخصائص الفيزيائية منها الكتلة والحجم، فعلى سبيل المثال المجرات الاهليجية لها مدى واسع من الحجم والتي تتراوح من مجرات عملاقة (كتلتها قد تساوي 100 ضعف كتلة مجرة درب التبانة) الى مجرات قزمية كتلتها بحدود كتلة عنقود نجمي كروي (10^7 نجم).

تكوين المجرات :

التنوع في اشكال المجرات ونسب تواجدتها وما تحتويه من نجوم ومادة ما بين النجوم وكذلك توزيع المجرات ونسب تواجدتها في اعماق الكون يتطلب تفسير من قبل علماء الفلك، الجزء الاكبر من بحوث علم الفلك اليوم تحاول الاجابة على مثل هذه الاستفسارات. بوجود تلسكوب هابل الفضائي اصبح من الممكن للفلكيين ان يرصدوا مجرات حديثة التكوين وهذا سيساعدهم في بناء نموذج رياضي لتفسير ميكانيكية تشكيل هذه المجرات ومراحل تطورها. تقترح النظرية السديمية ان المجرة تشكلت من سحابة غازية عملاقة انكمشت على نفسها تحت تأثير ثقافتها الجذبي حتى تكون لها قرص مجري بعد فترة طويلة وباستمرار انكماش هذه السحابة المجرية (جنين المجرة) تتكون نجوم تمر في مرحلة تطورها فاذا كانت هذه النجوم ذات كتل كبيرة فسوف يكون عمرها قليل نسبيا مع بقية النجوم لتنفجر مولدة سوبرنوفيا في اخر مراحل تطورها وبقيتها هذا الانفجار الذي يتكون من عناصر ثقيلة سيتوزع في سديم غازي سيشكل فيما بعد نجوم جديدة من الجيل الثاني تحتوي على بعض العناصر الثقيلة وكذلك قد يتم تشكيل كواكب تابعة لتلك النجوم كل هذه العمليات قد تحدث اثناء انكماش السديم الغازي المجري لتشكيل المجرة. يشير الباحثين ان المجرات التي تم رصدها باستخدام تلسكوب هابل الفضائي في اعماق الكون (والتي تعتبر من الجيل الاول للمجرات التي تشكلت في الكون) احجامها صغيرة جدا مقارنة مع مجرتنا مجرة درب التبانة هذا بالاضافة الى أن عددها كثير مقارنة مع المجرات الاعتيادية. السؤال لماذا اختفت مثل هذه المجرات؟ هل اصبحت خافتة نتيجة استهلاك غازاتها في تشكيل نجومها أم انها اندمجت نتيجة تصادمها لتشكيل مجرات اكبر حجما؟

الخصائص الفيزيائية للمجرات:

للتعرف على تركيب ومكونات المجرات ولتعيين خواصها الأساسية مثل: الحجم، الكتلة، والنورانية لابد من معرفة بعد المجرات

قياس المسافات إلى المجرات: Galactic distance

كان الاعتقاد السائد قبل سنة 1920 أن المجرات هي عبارة عن سدم حلزونية واقعة في مجرتنا مجرة درب التبانة، هذه الصورة تغيرت بعد العديد من الدراسات التي تناولت تحديد المسافات لهذه السدم الحلزونية وتبين ان هذه السدم ما هي إلا مجرات تقع خارج مجرتنا. الان يوجد طريقتين رئيسيتين في حساب المسافات الى المجرات الاخرى:

الطريقة الاولى

اعتمدت النجوم القيفاوية (وهي من المتغيرات النابضة) والذي يعتبر واحدا من الشموع المعيارية لقياس المسافات للمجرات القريبة، وكما هو معروف لدينا فأن لهذه النوع من المتغيرات له علاقة مهمة بين مدة الدورة ونورانية النجم، فالقيفاويات المتساوية في مدة دورتها متساوية في نورانيتها كذلك، و باستخدام

تلسكوب هابل الفضائي أصبح بل الإمكان رصد هذه النجوم في مجرات أبعد. حيث أن القيفاويات تمتلك نورانية تقدر بـ 100 الى 30000 مرة بقدر نورانية الشمس فهي براقه بشكل كافي بحيث يمكن تمييزها في المجرات البعيدة. هذا بالإضافة الى التغير الذي يطرى على لمعانها نتيجة تغيراتها الدورية المنتظمة مما يسهل رصدها في تلك المجرات.

مثال:

رصد نجم قيفاوي في مجرة خارجية ووجد ان لمعانه اخفت بـ 10^8 من قيفاوي اخر يقع في مجرة درب التبانة له نفس مدة الدورة ويبعد عنا 1000 سنة ضوئية. فما بعد المجرة الخارجية؟

الحل: بتطبيق قانون التربيع العكسي على القيفاوي الذي يقع في مجرتنا وعلى القيفاوي الذي يقع في المجرة المراد حساب بعدها وبما أن القيفاويان متساويان في مدة الدورة فأن نورانيتها متساوية ايضا. افرض أن b_g, d_g و b_M, d_M تمثل بعد ولمعان القيفاويان في المجرة الاهليجية g وفي مجرتنا مجرة درب التبانة M

$$b_M = \frac{L}{4\pi^2 d_M^2} \quad b_g = \frac{L}{4\pi^2 d_g^2}$$

$$\frac{b_M}{b_g} = \left(\frac{d_g}{d_M} \right)^2$$

$$d_g = d_M \times \left(\frac{b_M}{b_g} \right)^{1/2}$$

$$\Rightarrow d_g = 1000 \times (10^8)^{1/2} = 10^7 \text{ Ly}$$

الطريقة الثانية:

رصد نوع من السوبرنوفات يطلق سوبرنوفات Ia (Type Ia supernova) والذي يمثل انفجار نجم من نوع الاقزام البيضاء، يحدث هذا الانفجار عندما يكون الاقزم الابيض واقع في منظومة ثنائية يحدث فيها انتقال للكتلة من النجم البصري الى القزم الابيض وعندما تتعدى كتلة القزم حد جاندارسيخار ستولد هذه الكتلة ضغط اضافي على جوف النجم مما يؤدي الى ارتفاع درجة حرارة الجوف وقد تصل الى الحد الذي يندمج فيه الكربون محررا طاقة هائلة في فترة زمنية قصيرة تؤدي الى عملية انفجار النجم وتمزقه.

هذه الفئة من النجوم المتفجرة (السوبرنوفات) تنتج لمعان متماثل الذروة بسبب الكتلة الموحدة للاقزام البيضاء لهذا السبب استخدم هذا النوع من السوبرنوفات كشمعة معيارية لقياس المسافات البعيدة في الكون و باستخدام هذه المعلومة يمكن استنتاج مسافاتنا.. ولأن المستعرات العظمى تطلق كميات هائلة من الإشعاع، فإن الفلكيين يمكنهم رصدها وهي على بعد 5 بليون سنة ضوئية، وهي مسافة تساوي نصف قطر الكون المرئي.

قياس قطر المجرة:

يستخدم الفلكيين في قياس قطر مجرة نفس الاسلوب الذي تم مناقشته في الفصل الثاني لقياس قطر الشمس والقمر، وعليه فإن القطر الحقيقي يحسب من العلاقة الآتية:

$$D = \frac{2\pi d \alpha}{360}$$



D القطر الحقيقي للمجرة

d بعد المجرة

α القطر الزاوي للمجرة بوحدات الدرجة

وقد بينت الدراسات ان اقطار المجرات تتراوح من (1 الى 100) كيلوبارسك وتدعى اصغر المجرات الاهيليجية بالمجرات الاهيليجية القزمة (Dwarf Ellipticals) على عكس المجرات القزمة يوجد مجرات اهيليجية عملاقة يقدر قطرها حوالى 0.5 مليون سنة ضوئية

مثال: لقياس قطر مجرة الاندروميديا M31 التي تجاور مجرتنا مجرة درب التبانة ، وجد ان القطر الزاوي لمجرة الاندروميديا يساوي 3.167 درجة فأذا علمت انها تبعد عنا 778000 بارسك فما مقدار قطر الحقيقي لهذه المجرة ؟

$$D = \frac{2\pi d \alpha}{360}$$

$$D = \frac{2\pi \times 778000 \times 3.167}{360}$$

$$D \cong 43000 \text{ pc}$$



مجرة الاندروميديا

قياس كتل المجرات:

(1) الطريقة المدارية:

للمدارات الدائرية:

إذا اعتبرنا بأن المجرة تتمثل بالتوزيع الكروي المتماثل للكتلة فإن بالإمكان حساب كتلة مجرة داخل كرة نصف قطر r يمكن اعتبار الكتلة ضمن r تتمركز في مركز المجرة وبتطبيق قانون

$$\frac{GMm}{r^2} = \frac{mv^2}{r} \Rightarrow M = \frac{v^2 r}{G}$$

قانون نيوتن في الجاذبية العامة

$$M_g + M_* = \left(\frac{r}{Au} \right)^3 \frac{M_{\odot}}{p^2}$$

وفي حالة المدارات الاهليلجية يطبق قانون كبلر الثالث

على سبيل المثال فإذا تم رصد عنقود نجمي يقع على حافة المجرة فإن بالإمكان معرفة بعده عن مركز المجرة (r) وذلك من معرفة القطر الحقيقي للمجرة.

نجد السرعة الدورانية v للعنقود حول مركز المجرة من التحليل الطيفي وبالتالي يمكن حساب مدة الدورة p التي يكمل فيها العنقود دورته حول مركز المجرة

$$\left(p = \frac{2\pi r}{v} \right).$$

ان عملية قياس السرعة الدورانية تتم بواسطة الانزياح دوبلري

للخطوط الطيفية وقد تستخدم الارصاد الراديوية في حساب السرعة الدورانية وذلك لعدم تأثرها بعمليات الامتصاص التي تؤثر على الارصاد الفوتومترية. وقد اعتاد الفلكيين على قياس السرعة الدورانية لمواضع متعددة من مركز المجرة وحتى الحافات الخارجية للحصول على منحنى السرعة الدورانية. بالنسبة الى المجرات الاهليلجية التي تمتلك سرعة دوران بطيئة يستخدم تشتت السرعة في حساب كتلة المجرة.

(2) طريقة النورانية:

باستخدام نسبة الكتلة الى بالنورانية: $\frac{M}{L}$

هذه الطريقة تعتمد حساب النورانية الكلية للمجرة (L_T) ومن ثم يتم حساب مقدار الكتلة من ضرب النورانية الكلية بنسبة الكتلة الى النورانية الخاصة بنوع المجرة

$$M = \frac{M}{L} \times L_T$$

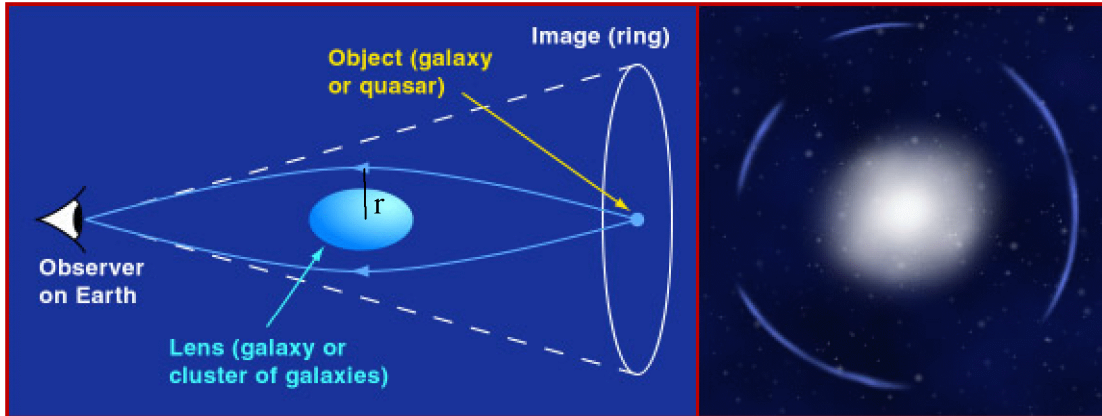
المراد حساب كتلتها.

(3) طريقة العدسات الجذبية:

العدسات الجذبية هي احد الطرق لحساب كتلة مجرة، كتلة عنقود مجري. الكتل الكبيرة جدا تشوه فضاء الزمكان (space-time) وهذا يعني ان الضوء المنبعث من مصدر ضوئي يقع وراء هذه الكتلة سوف يعاني انحراف بسبب هذا التشوه ، ان مقدار زاوية الانحراف يمكن قياسها بسهولة وعليه فإن كتلة المجرة او العنقود تحسب من العلاقة التالية

$$\alpha = \frac{4 G M}{r c^2}$$

علما أن
G ثابت الجاذبية
r المسافة التي يبعد بها الاشعاع الضوئي عن مركز المجرة وهو يعبر عن نصف قطر المجرة تقريبا
c سرعة الضوء



(4) طريقة فيريال Virial therom

تستخدم هذه الطريقة في قياس كتلة المجرات الاهليجية او العناقيد المجرية. مبدء هذه النظرية يعتمد على ان المنظومة المراد قياس كتلتها معزولة وفي حالة توازن تقريبي. المجرات في العنقود(او النجوم في المجرات الاهليجية) سينطبق عليها نظرية الفيريال التي تتمثل بالعلاقة التالية شرط ان كثافة توزيع اجرام المنظومة لايتغير مع الزمن.

$$2K + U = 0$$

K الطاقة الحركية الكلية للمنظومة

U الطاقة الكامنة الكلية للمنظومة

$$K = \sum_i m_i v_i^2 / 2$$

$$2K = M \langle v^2 \rangle = 3 \sigma_r^2 M_{cl}$$

اذا كانت سرعة الاجرام لاعلاقة لها بالكتلة فان $\langle v^2 \rangle = 3 \sigma^2$ تشتت السرعة
الطاقة الكامنة الكلية للمنظومة U تساوي مجموع الطاقات الكامنة من كل زوج من الاجرام عند المواضع r_i, r_j لذا فان

$$U = \sum_{i,j} \frac{-G m_i m_j}{|r_i - r_j|}$$

ايضا نفترض ان المسافات البينة بين الاجرام لاتعتمد على الكتلة اذن

$$U = -\frac{GM_{cl}^2}{R_{ef}}$$

R_{ef} يمثل متوسط المرجح للمسافات الفاصلة بين الاجرام وبالتالي يمكن ان يمثل مدى سعة المنظومة.

وعليه فان كتلة المنظومة المجرية

$$M_{cl} = \frac{3R_{ef}\sigma_r^2}{G}$$

قيمة R_e يمكن ايجادها ببساطة من حساب عدد المجرات كدالة للمسافة .

على الرغم من الاخطاء التي قد تحصل جراء هذه القياسات ألا ان هذه الطرق مقبولة في الحصول على الكتلة الكلية للمنظومة هذه الطرق تؤكد على وجود المادة السوداء(المادة المظلمة) في المنظومات المجرية ، كما ان الدراسات الحديثة بينت ان للمجرات هالة كبيرة تحتوي على مادة مجرية غير منظورة قد تصل الى اضعاف الكتلة المرئية للمجرة.

نورانية و ألوان المجرات:

من معرفة القدر الظاهري المرئي للمجرة وبعدها نستطيع ان نجد القدر المطلق ومن ثم حساب نورانيتها بدلالة نورانية الشمس راجع العلاقات التي ورد ذكرها في الفصل الرابع، وبشكل عام وجد العلماء بأن نورانية المجرات الاهليجية تتراوح من 10^6 الى 10^{12} مرة بقدر نورانية الشمس اما بالنسبة الى المجرات الحلزونية فان نورانيتها تتراوح من 10^{10} الى 10^{12} ضعف نورانية الشمس. من خلال المرشحات يتبين ان المجرات الاهليجية تكون اكثر احمرارا من المجرات الحلزونية وهذا يدل على ان معظم نجوم المجرات الاهليجية من الجبهة النجمية الثانية قديمة التكوين حمراء اللون، اما المجرات الحلزونية فانها تمتلك تدرج لوني من الاحمر عند الانتفاخ المركزي الى اقل احمرارا في منطقة القرص (الاذرع الحلزونية) لوجود نجوم حديثة التكون زرقاء اللون في الاذرع الحلزونية.

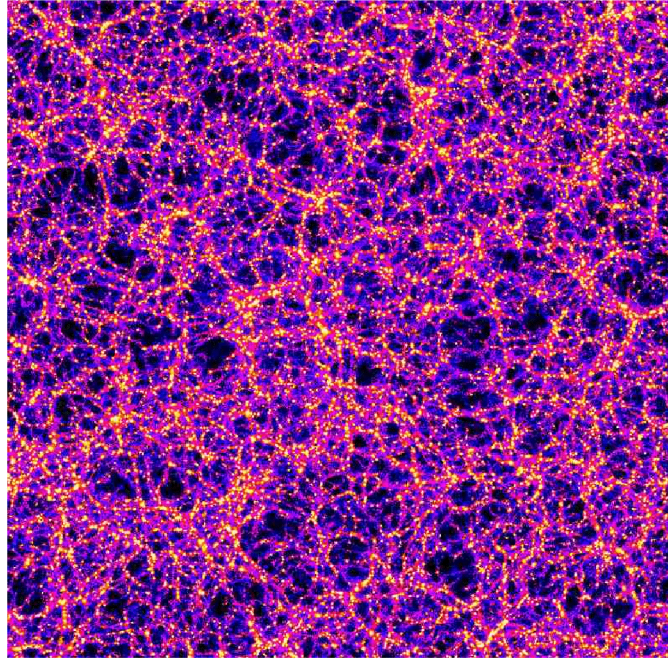
العناقيد المجرية:

العناقيد المجرية تتألف من عدد كبير من المجرات قد تصل الى عدة آلاف من المجرات تجمعت وحافظت على ترابطها بفعل قوة الجذب المتبادلة بينها . وفي هذه العناقيد لاحظ العلماء أن التسارع فيما بينهم كبير جدا ولكي تبقى مرتبطة في العنقود لابد من وجود كتلة إضافية مخفية، أو قوة جذب إضافية إضافة إلى جاذبية المجرات المرئية والتي تبدو غير كافية لكبح التسارع الكبير الذي تمتلكه المجرات في العنقود وبالفعل فقد كشفت الدراسات الحديثة بالأشعة السينية وجود كميات كبيرة للغاز بين المجرات والذي يعرف بالوسط ما بين المجرات Intergalactic medium. هذا الغاز المتداخل بين المجرات ضمن العنقود يشع طاقة قوية جدا من أشعة اكس، بدرجة حرارة تبلغ ملايين من الدرجة مئوية. وإن الكتلة الكلية للغاز أعظم بكثير من تلك الموجودة لدى المجرات وهي التي قد تفسر عدم تمزيق وبعثرة مكونات العنقود نتيجة التسارع الكبير للمجرات.

بعض العناقيد المجرية تتألف من عدد محدود من المجرات التي قد لا تتجاوز 50 مجرة يطلق عليها بالعناقيد المجرية الفقيرة (Poor clusters of galaxies) كتل هذه العناقيد صغيرة وقوة جذبها صغير بالمقارنة مع العناقيد المجرية الغنية (rich clusters of galaxies) والتي تتألف من عدد كبير من المجرات يتراوح من بضع مئات الى آلاف المجرات وبسبب كتلتها الكبيرة فهي تمتلك قوة جذب كبيرة تجعل غالبية مجراتها تتواجد في الجزء المركزي من العنقود، احيانا تتواجد في مركز العنقود المجري الغني مجرة اهليلجية عملاقة ويكون قطر العنقود المجري بحدود مليون بارسك (Mpc).

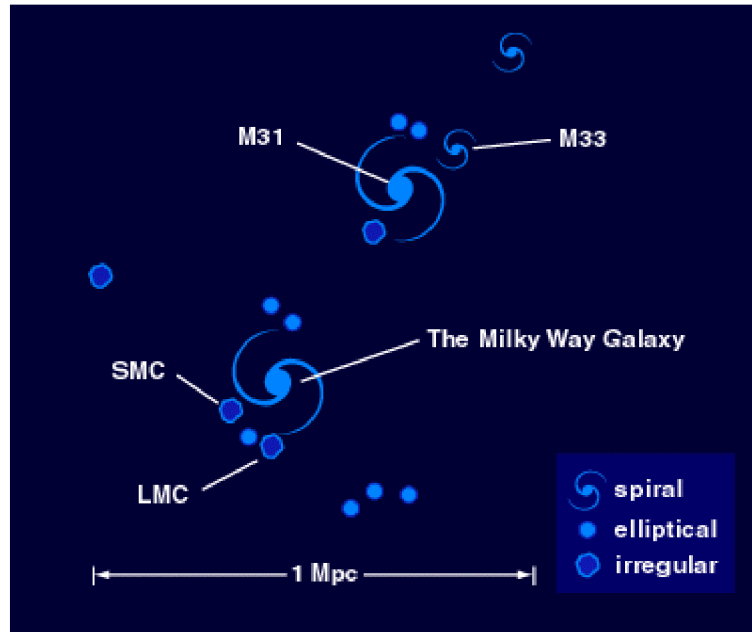
الحشد المجري الفائق: Supperclusters

ظاهرة التجمعات بين المجرات لا تنتهي مع المجرات في العنقود الواحد، عشرات الى بضع مئات العناقيد المجرية تتجاذب فيما بينها لتشكل حشد مجري فائق، قوة الجذب المتبادلة بينهم تجعلهم مرتبطين مع بعضهم في تشكيلات خيطية قد تصل الى مئات الملايين من السنين الضوئية وبين هذه الخيوط فضاء كبير شبه خالي من المجرات قد يصل الى عشرات الملايين من السنين الضوئية.



الشكل يوضح التشكيلات الخيطية التي تربط الحشود المجرية الفائقة

المجموعة المحلية من المجرات: (Local Group of galaxies (LG) مجرتنا مرة درب التبانة تقع في عنقود نجمي فقير نطلق عليه التجمع المحلي من المجرات يتألف من 30 مجرة تقريبا منها مجرة الاندروميديا (M31) وغيمني ماجلان الكبرى (LMC) والصغرى مركز (SMC)، وتحتوي مجموعتنا كذلك على مجرة حلزونية صغيرة ومجرتين اهليجيتين وعدد من المجرات القزمية والغير منتظمة، قطر المجموعة يصل 3 مليون سنة ضوئية وتعتبر من العناقيد المجرية الفقيرة



الشكل (6-13) يمثل مجموعتنا المحلية من المجرات وموقع مجرتنا (درب التبانة)

مجموعتنا المحلية مع بعض العناقيد المجرية القريبة مثل عنقود العذراء تشكل الحشد المحلي الفائق (LSC) Local supercluster (LSC) الشكل (6-14) يوضح موقع مجموعتنا المحلية في LSC والذي يتمثل مجموعات المجرية قريبة من مجموعتنا المحلية.



الشكل (6-14) يبين موقع مجموعتنا المحلية وبعض المجموعات المجرية التي تشكل العنقود المحلي الفائق LSC

تشير الدراسات الحديثة حول حركة المجموعات المجرية ضمن LSC أن عنقود العذراء الذي يمتلك كتلة هائلة يعمل على إبطاء سرعة تباعد مجموعتنا المحلية عنه ومن ثم سوف يقوم بجذب المجموعة المحلية نحو مركز العنقود لذلك فمن المحتمل أن التجمع المحلي سيسقط أخيرا ويندمج مع عنقود العذراء.

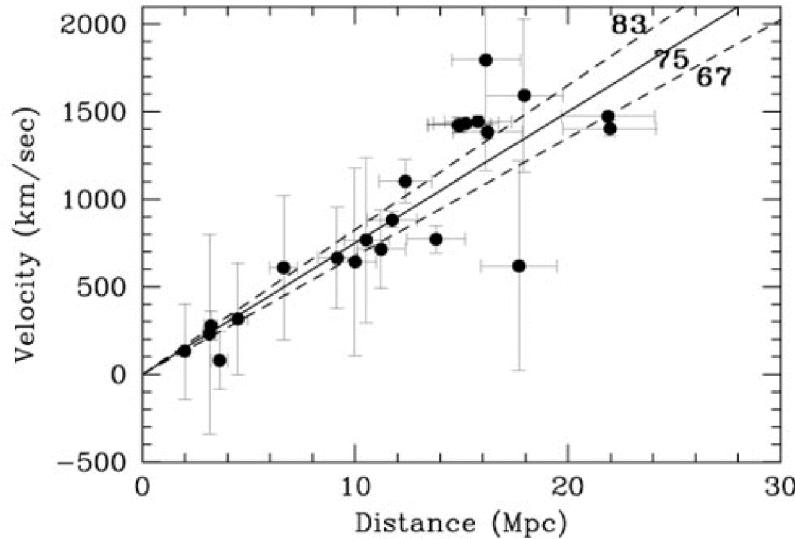
الزحزحة نحو الاحمر وقانون هابل :

في عام 1920 اكتشف ادوين هابل ان طيف المجرات (طيف المجرة يمثل طيف جميع نجومها مجتمعة) يمتلك زحزحة نحو الاحمر أي ان جميع هذه المجرات تبتعد عنا. من خلال ما وفرته الدراسات السابقة في حساب بعد المجرات ومن تحليله لطيف عدد من هذه المجرات وحساب السرعة النصف قطرية (سرعة الابتعاد) للمجرات تمكن هابل ان يتوصل الى علاقته المشهورة (انظر الشكل 2-6) التي يطلق عليها ب قانون هابل

$$V = Hd$$

V سرعة ابتعاد المجرة تقاس بوحدات الكيلومتر / ثانية
 d تمثل بعد المجرة بدلالة (ميكابارسك (Mpc)،
 H يعبر عن معدل تمدد الكون الذي أصبح معروفا فيما بعد بثابت هابل

لقد وجد هابل قيمة هذا الثابت بـ 500 كيلومتر لكل ثانية لكل مليون بارسك (100 km/sec.Mpc)،
الطرق العلمية الحديثة في قياس المسافات الى المجرات وباستخدام تلسكوب هابل
فأن القيمة الحالية المصححة لثابت هابل تساوي 75 كيلومتر لكل ثانية لكل مليون بارسك (75km/sec.Mpc).



الشكل (6-12) علاقة سرعة ابتعاد المجرات مع بعدها عنا

مثال:

إذا تبين من خلال تحليل طيف مجرة خارجية انها تمتلك زحزحة نحو الاحمر z بمقدار $z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = 0.01$ فما هو بعدها عنا؟ الحل :

$$z = \frac{v}{c} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \quad \text{نحسب السرعة نصف قطرية للمجرة من العلاقة}$$

$$V = c \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = 300000 \times 0.01 = 3000 \text{ kml sec}$$

$$V = Hd \Rightarrow d = \frac{V}{H} = \frac{3000}{75} = 40 \text{ Mpc}$$

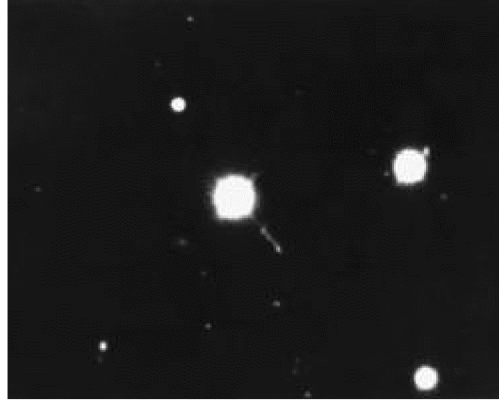
$$= 40 \text{ Mpc} \times 3.26 \cong 130 \text{ Mly}$$

الكويزرات : A quasi-stellar radio source ("quasar")

وهي من الاجرام السماوية المهمة ، فعند رصدها بالضوء المرئي تظهر كنجوم صغيرة خافتة ، لكن عند الاطوال الموجية الراديوية وتحت الحمراء تظهر كاجرام براقة ومن هذه الخاصية اشتق اسم الكويزر والمؤخوذ من اسم المصادر الراديوية شبه النجمية Quasi stellar radio . طيف هذه الاجرام يظهر زحزحة كبيرة نحو الاحمر تدل على انها بعيدة جدا لذلك فأن مقدار ما تبعثه من طاقة يفوق الطاقة الكلية المنبعثة من اي مجرة فعالة قريبة منا، لذا فهي اكثر الاجرام السماوية انتاجا للطاقة. الكويزرات ربما هي منطقة مضغوطة وسط مجرة فائقة الكتلة تحيط ثقب اسود ذو كتلة كبيرة يقع في مركز مجرة فنية حجمه من 10 الى 10000 مرة نصف قطر شوارز جايلد للثقب الاسود وهو مدعوم من قرص التنامي حول الثقب الاسود. اول كويزر مكتشف هو 3C48 قدره الضوئي 16 والذي تبلغ سرعته 37% من

$$z = \frac{v}{c} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \quad \text{سرعة الضوء اي ان زحزحته نحو الاحمر تساوي 37\%}$$

c سرعة الضوء، v سرعة حركة الجرم



ولقد اكتشف ان لبعض الكويزرات زحزحة نحو الاحمر z اكبر من واحد فعلى سبيل المثال وجد ان للكويزر OQ172 زحزحة تساوي 3.53 في مثل هذا المقدار

$$z = \frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \sqrt{\frac{1 + \beta}{1 - \beta}} - 1 \quad \text{من الزحزحة نطبق الصيغة النسبية للزحزحة}$$

حيث أن $\beta = \frac{v}{c}$ ، لذلك فإن β للكويزر اعلاه تساوي 0.907 أي ان هذا الكويزر يبتعد عنا بسرعة تساوي 272000 كم/ثانية

عدد الكويزرات المعروفة الان اكثر من 200000 لها زحزحة حمراء (z) بين 0.056 الى 7.085 وبتطبيق قانون هابل لهذا المدى من الزحزحة يتبين أن الكويزرات تبعد عنا بمسافات من 200 مليون الى 28 بليون سنة ضوئية.

خواص الكويزرات:

- 1- تشبه النجوم ظاهريا و احيانا ترافقها مصادر راديوية
- 2- خطوط طيف انبعاث واسعة
- 3- زحزحة نحو الاحمر كبيرة لخطوط الطيف
- 4- نورانية متغيرة

أسئلة الفصل السادس

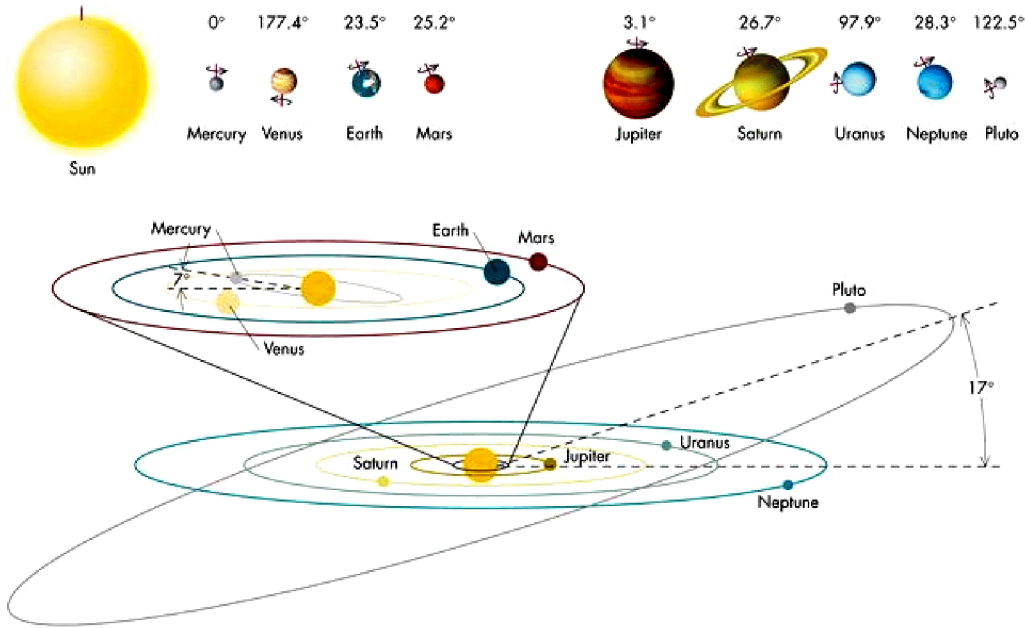
- س1: ارسم مقطعا جانبيا وعموديا لشكل مجرتنا وعين موقع الشمس عليه.
س2: احسب بشكل تقريبي مقدار كتلة مجرتنا درب التبانة.
س3: تكلم عن الجمهرة النجمية في المجرة
س4: قارن بين العناقيد النجمية الكروية والعناقيد النجمية المفتوحة .
س5: افرض أن بعض العناقيد النجمية الكروية تصنع في حركتها حول مركز المجرة
المجرة مدارات من القطع الناقص. فإذا كان معدل بعدها عن مركز المجرة
يقارب 10000 بارسك، فما مقدار مدة دورتها حول مركز الشمس (افرض أن
كتلة المجرة تساوي 100000 مليون كتلة الشمس
س6: ما المقصود بمعامل المسافة للعناقيد النجمية
س7: لقد وجد أن معامل المسافة للعنقود النجمي الثريا يبلغ 5.5 فما بعد هذا
العنقود؟
س8: قارن بين كل مما يأتي
1- سدم الانبعاث و سدم الانعكاس
2- سدم الانبعاث و السدم الداكنة
3- مناطق الهيدروجين المتأين والهيدروجين المتعادل
س9: ما المقصود بخط الطيف الراديوي ذي الطول الموجي 21 سم وما
أهميته؟
س10: تكلم عن المادة ما بين النجوم
س11: تدور الشمس حول مركز بمدار نصف قطره 28000 سنة ضوئية، فإذا علمت أن
زمن دورة الشمس حول مركز المجرة يساوي 240×10^6 سنة احسب القيمة التقريبية
لكتلة مجرتنا مجرة درب التبانة.
س12: (أ) اذكر تصنيف هابل للمجرات وتكلم عن نوع واحد من المجرات.
(ب) وجد ان سرعة ابتعاد مجرة يساوي 2000 كم/ثانية فما مقدار الزحزحة الحمراء في
طيف هذه المجرة وما هو بعدها عنا؟

الفصل الثاني

منظومتنا الشمسية (الشمس والقمر)

منظومتنا الشمسية:

تعد الشمس نجما متوسطا بالمقارنة مع بلايين النجوم الموجودة في مجرتنا مجرة درب التبانة فهي متوسطة في الحجم، الكتلة والعمر. إن شمسنا في حركتها الدورانية حول مركز المجرة تصاحبها مجموعة من الاجرام السماوية الأخرى هذه العائلة الواحدة نطلق عليها المنظومة الشمسية. تتألف منظومتنا الشمسية من الأجرام السماوية التالية (1) الشمس (2) الكواكب (3) الكويكبات (4) الأقمار (5) المذنبات (6) الشهب والنيازك (7) غازات وأتربة سائبة.



الشكل (1-2) الكواكب السيارة ومداراتها حول الشمس، المخطط يوضح ميلان مستوي مدارات الكواكب بالنسبة لدائرة البروج وكذلك ميلان محور دوران الكواكب حول نفسها بالنسبة لمستوى مداراتها.

الشمس: هي الجرم الأساسي في المنظومة وهي التي تحتضن كل مكونات المنظومة الشمسية لما تمتلكه من قوة جذب هائلة تجعل هذه الأجرام تدور حولها حيث أن الشمس تمتلك كتلة تساوي 99.8% من مجموع كتلة المنظومة وهذا يعني أن نسبة كتلة بقية الأجرام مجتمعة لا تتجاوز 0.2% من الكتلة الكلية للمنظومة.

الكواكب السيارة: وهي أجرام سماوية معتمدة تشاهد في السماء بواسطة ضوء الشمس الذي ينعكس من على سطحها وهي ثمانية كواكب وهذه الكواكب حسب تسلسلها من حيث بعدها عن الشمس هي عطارد، الزهرة، الأرض، المريخ، المشتري، زحل، أورانوس، نبتون (في الفترة الأخيرة أعلن الاتحاد العالمي للفلك عن استبعاد الكوكب بلوتو عن عائلة الكواكب السيارة لأسباب سوف نتطرق إليها لاحقا). انظر الشكل (1-2)

تقسم الكواكب عادة إلى قسمين الكواكب الأرضية وتشمل عطارد، الزهرة، الأرض، والمريخ هذه الكواكب هي أجرام صلبة تتشابه في كثافتها وتركيبها لكنها تختلف في الأحوال الطبيعية لسطحها أما الكواكب العملاقة والتي تشمل المشتري، زحل، أورانوس، نبتون، كثافتها عادة ربع كثافة الكواكب الأرضية لها طبقت سطحية باردة. الجدول (1-2) يعرض الثوابت المدارية والفيزيائية للكواكب السيارة

الكويكبات الصغيرة (النجميات): وهي أجرام سماوية صغيرة تقدر بآلاف أغلبها صخري التركيب غير منتظم الشكل تدور حول الشمس بين مداري المريخ والمشتري معظم هذه الكويكبات أقطارها أقل من 8 كم هناك 200 كويكب يقطر يتجاوز 100 كم أكبر هذه الأجرام هما سيرس قطره 992 كم وبالأس قطره 504 كم، 200 من هذه الكويكبات التي أقطارها بحدود 1 كم مدارتهم تتقاطع مع مدار الأرض لذا فإن تصادم واحد من هذه الكويكبات بالأرض سوف يحدث كارثة هائلة على الأرض ويعتقد أن سبب اختفاء الديناصورات هو حدوث مثل هذا النوع من التصادم.

الأقمار: هي أجرام صغيرة تدور حول بعض الكواكب السيارة أعدادها بدأ يزداد باضطراب وخاصة لكوكبي المشتري وزحل نتيجة الاستكشافات التي قامت بها العديد من المركبات الفضائية التي تناولت دراسة منظومتنا الشمسية حيث بلغ عدد الأقمار المكتشفة للمشتري حتى الآن 63 و 47 قمر لزحل، أورانوس يمتلك 18 قمرا، نبتون 8 بينما الأرض تمتلك 1 قمر والمريخ 2.

المذنبات: وهي أجرام سماوية أقطارها ما بين 15-30 كم تتألف من غازات متجمدة وكميات من القطع الجليدية المختلطة بالأتربة والمواد النيزكية ولهذا يطلق عليها بالكتلة المتسخة مداراتها تكون بيضوية ذات شذوذ مركزي كبير ترتبط فعاليات هذه المذنبات بالإشعاعات الشمسية والدقائق المشحونة المنبعثة من الشمس ومدى قربها وبعدها من الشمس حيث تظهر هذه الأجرام في السماء عند اقترابها من الشمس وكأنها نجم ذو ذنب مضي

الشهب والنيازك: وهي أجرام سماوية أغلبها ذا حجم صغير جدا يقارب حجم حبات الرمل والبعض الآخر كبير الحجم جدا، عند مرورها خلال جو الأرض ونتيجة الاحتكاك مع جسيمات الهواء فإن جزء منها أو جميع أجزائها يحترق في الجو، التي تحترق بشكل كلي في الجو نطلق عليها الشهب والتي يكون احتراقها جزئيا وتصل إلى سطح الأرض تدعى بالنيازك، يتساقط عدد كبير من هذه الأجرام على الأرض يوميا، واعداد هذه الشهب والنيازك التي تسقط على سطح الأرض تتناسب مع كتلتها فمثلا بليون من الشهب ذو كتلة بحدود 1 غرام تدخل الغلاف الجوي للأرض سنويا، وحوالي 1000 نيزك كتلته 1 طن وحوالي 1 نيزك ذو كتلة 100 طن يضرب سطح الأرض سنويا.

الجدول (1-2) الخواص الفيزيائية والثابت المدارية للكواكب السيارة

(الكواكب الأرضية)

عطارد	الزهرة	الأرض	المريخ	
0.055	0.82	1	0.11	الكتلة بدلالة كتلة الأرض
0.38	0.95	1	0.53	القطر بدلالة قطر الأرض
5.4	5.2	5.5	3.9	كثافة (غم/سم ³)
400	730	280	210	معدل درجة حرارة السطح (كلفن)
0.06	0.65	0.37	0.15	الانعكاسية
0.39	0.72	1	1.52	نصف قطر المدار (بالوحدة الفلكية) AU
87.97	224.7	365.25	687.0	مدة الدورة المدارية (يوم)
7.00	3.39	0.0	1.85	زاوية ميل المدار عن دائرة البروج (°)
0.206	0.007	0.017	0.093	الشذوذ المركزي للمدار
58.65	243.02	1.00	1.03	الزمن الدوراني (يوم)
2	177	23.5	25.2	زاوية ميل محور الدوران (°) عن العمود المقام على مستوي المدار

(الكواكب العملاقة)

المشتري	زحل	أورانوس	نبتون	
318	95.5	14.6	16.8	الكتلة بدلالة كتلة الأرض
11.2	9.5	3.7	3.5	القطر بدلالة قطر الأرض
1.3	0.7	1.3	1.6	كثافة (غم/سم ³)
0.52	0.47	0.51	0.41	الانعكاسية
5.2	9.56	19.18	30.08	نصف قطر المدار (بالوحدة الفلكية)
11.86	29.46	84.01	164.8	مدة الدورة المدارية (سنة)
1.31	2.49	0.77	1.77	ميل المدار عن دائرة البروج (°)
0.048	0.056	0.046	0.01	الشذوذ المركزي للمدار
0.41	0.44	0.72	0.67	الزمن الدوراني (يوم)
3.1	26.7	97.9	28.3	زاوية ميل محور الدوران (°)

الشمس The sun

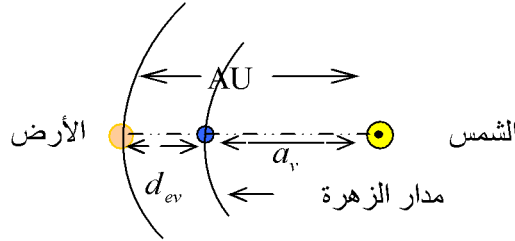
الشمس هي إحدى النجوم النموذجية من بين بلايين النجوم في مجرتنا ونظرا لقربها تظهر لنا على شكل قرص غازي بدلا من نقطة مضيئة في السماء وهي المصدر الرئيسي للطاقة التي تحفظ الحياة على الأرض إن هذه الطاقة تنشأ عرصيا من الاندماج النووي الذي يحصل في باطن الشمس حيث تندمج نوى ذرات الهيدروجين لتشكيل نواة ذرة الهليوم.

الخواص الفيزيائية للشمس

فيما يلي ملخص عن هذه الخواص وكيفية حسابها

معدل المسافة من الأرض: 149.598×10^6 كيلومتر (A.U)

والتي تعرف بالوحدة الفلكية ، من الطرق التي يمكن استخدامها في إيجاد مقدار الوحدة الفلكية هي إرسال واستقبال نبضات رادارية إلى كوكب الزهرة لحساب اقرب مسافة لكوكب الزهرة من الأرض d_{ev} ومن خلال تطبيق قانون كبلر الثالث $\tau^2 \propto a^3$ على كل من الأرض والزهرة نستنتج قيمة الوحدة الفلكية حيث إن مدة دورة كل من الأرض والزهرة معلوم. كما هو مبين في العلاقات الآتية،



الشكل (2-2) يبين موقع كوكب الزهرة عند اقرب مسافة للأرض

$$\frac{\tau_e}{\tau_v} = \frac{a_e^3}{a_v^3}$$

$$\frac{\tau_e^2}{\tau_v^2} = \left(\frac{A.U}{a_v}\right)^3 = \left(\frac{A.U}{A.U - d_{ev}}\right)^3$$

$$\Rightarrow A.U = \frac{d_{ev}}{\left(1 - \tau_e / \tau_v\right)^{-2/3}}$$

قيم τ_e ، τ_v ، d_{ev} تؤخذ من الارصاد ومنها يتم حساب الـ AU

كتلة الشمس $M_{\odot} = 2 \times 10^{33}$ غم

الطريقة الأولى:

من معلوماتنا حول مدة دوران الأرض حول الشمس وحجم هذا المدار نستطيع أن نحسب كتلة الشمس وذلك بتطبيق قانون كبلر الثالث

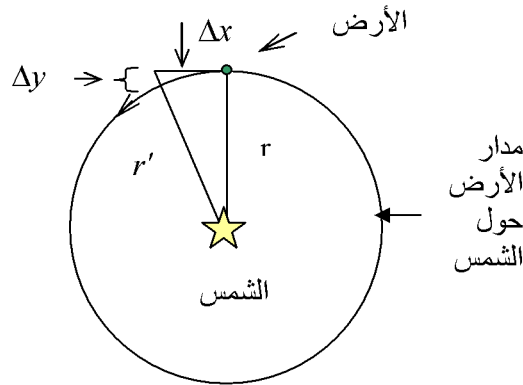
$$M_{\odot} + M_E = \frac{4\pi^2 r^3}{G p^2}$$

M_E كتلة الأرض (5.98×10^{24} كغم) وهي صغيرة مقارنة بكتلة الشمس لذلك تهمل في الحساب، r معدل بعد الشمس عن الأرض (الوحدة الفلكية (Au) وتساوي 149.598×10^6 كيلومتر، P الزمن الدوراني للأرض حول الشمس ويساوي سنة واحدة $\equiv 31.56$ مليون ثانية، G ثابت الجاذبية العام $= 6.667 \times 10^{-8}$ دايين سم²/غم²

$$M_{\odot} \cong \frac{4 \times (3.14)^2 \times (149.598 \times 10^6 \times 10^5 \text{ cm})^3}{6.667 \times 10^{-8} \times (31.56 \times 10^6)^2} = 1.99 \times 10^{33} \text{ gm}$$

الطريقة الثانية:

نستخدم قانون نيوتن في الجاذبية ومعادلات الحركة الخطية على دوران الأرض حول الشمس نفترض أن الأرض تتحرك بشكل حر ومن دون تأثير لقوة جذب الشمس عليها. خلال ثانية واحدة سوف تقطع إزاحة خطية مقدارها Δx ، ولنفرض أن Δy يمثل مقدار انحراف الأرض عن مسارها الحر، بوجود قوة جذب الشمس لذا سوف تسقط الأرض نحو الشمس بمقدار Δy لتعود إلى مدارها الحقيقي. من خلال تطبيق معادلات الحركة الخطية وقانون نيوتن في الجاذبية نستطيع أن نحسب مقدار كتلة الشمس كما هو مبين في العلاقات الآتية (انظر الشكل (2-3))



الشكل (2-3) مخطط لحركة الأرض حول الشمس يوضح فيه مقدار الإزاحة والانحراف (في حالة عدم وجود تأثير لجذب الشمس خلال وحدة زمنية) عن المدار الحقيقي

السرعة الزاوية للأرض حول الشمس w (rad/sec) تساوي

$$\omega = \frac{2\pi}{365 \times 24 \times 60 \times 60 \text{ sec}} = 2.99 \times 10^{-7}$$

الإزاحة الخطية Δx خلال ثانية واحدة

$$\Delta x = r \dot{\theta} t = r w \times 1 \text{ sec} = r w$$

$$r' = \sqrt{r^2 + r^2 w^2}$$

r' بعد أرض عن الشمس بعد مرور 1 ثانية

$$\Delta y = r' - r = r(\sqrt{1 + \omega^2} - 1)$$

Δy مقدار انحراف الأرض عن مسارها الحقيقي بالثانية الواحدة

$$\Delta y = 0.2965156 \text{ cm}$$

$$\Delta y = \frac{1}{2} a t^2 = \frac{1}{2} \frac{GM_{\odot}}{r^2} \quad (t = 1 \text{ sec}) \quad (a = \frac{F}{M_e} = \frac{GM_{\odot}}{r^2})$$

بوجود قوة جذب الشمس تسقط الأرض بمقدار Δy لتعود إلى مدارها الحقيقي خلال وحدة زمنية مقدارها 1 ثانية

$$M_{\odot} = \frac{2 \Delta y r^2}{G}$$

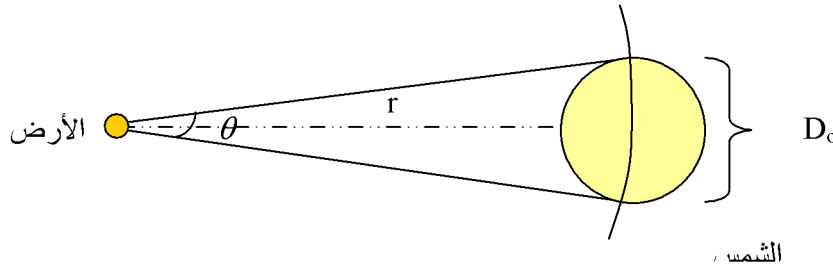
$$M_{\odot} = \frac{2 \times 0.2965156 \times (149.598 \times 10^6 \times 10^5)^2}{6.667 \times 10^{-8}} = 1.99 \times 10^{33} \text{ gm}$$

نصف قطر الشمس: (7×10^8 متر أو 700000 كم)
من معرفة القطر الزاوي للشمس في السماء ومقدار الوحدة الفلكية يمكن حساب قطر الشمس

القطر الحقيقي D	=	القطر الزاوي θ
محيط دائرة المنظور		360°

باستخدام العلاقة الآتية:

القطر الزاوي للشمس لراصد من على سطح الكرة الأرضية يساوي 0.533 درجة وباستخدام العلاقة الآتية نحسب مقدار القطر الحقيقي للشمس (انظر الشكل (4-2))



الشكل (4-2) القطر الحقيقي والقطر الزاوي للشمس ، r معدل بعد الارض عن الشمس ويساوي وحدة فلكية

$$D_o = \frac{2\pi\theta}{360^\circ} r = \frac{2\pi \times 0.533}{360} 149.598 \times 10^6 = 1.39165 \times 10^6 \text{ km}$$

$$R_\odot = \frac{D_o}{2} = 695825 \text{ km}$$

معدل كثافة الشمس: 1.4 غم/سم³ (1.4 مرة بقدر كثافة الماء)
تتغير كثافة الشمس من المركز إلى الحافة الخارجية حيث تكون الكثافة في المركز عالية جدا
مقارنتا مع الطبقات الخارجية للشمس. لحساب معدل كثافة الشمس نقسم كتلة الشمس (1.99×10^{33} غرام) على الحجم. حجم الشمس يمكن حسابه من نصف قطر الشمس $R_\odot$

$$\rho_\odot = \frac{M_\odot}{4/3\pi R_\odot^3}$$

الجاذبية السطحية وسرعة الإفلات:

لحساب معدل الجاذبية السطحية للشمس نستخدم قانون نيوتن الثاني $F = m a$. في هذه الحالة نفرض أن جسيم ما كتلته m موضوع على سطح الشمس فالتعجيل الذي يتعرض له يساوي

$$a = \frac{F}{m}$$

$$a = \frac{GM_\odot}{R_\odot^2} = 269 \text{ m/sec}^2$$

مقدار الجاذبية السطحية للشمس تعادل تقريبا 28 مرة
الجاذبية السطحية للأرض

يتحرر الجسم من مجال الجاذبية اذا انطلق بسرعة معينة نطلق عليها سرعة الافلات ويمكن ايجاد سرعة الافلات وذلك باعطاء الجسم طاقة حركية مساوية لطاقته الكامنة في ذلك المجال في مجال جذب الشمس فان سرعة الافلات تساوي

$$\frac{1}{2} m v^2 = \frac{GM_{\odot} m}{R_{\odot}}$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 G M_{\odot}}{R_{\odot}}} = 620 \times 10^3 \text{ m/sec}$$

حيث $M_{\odot}$ كتلة الشمس وان $R_{\odot}$ هو نصف قطر الشمس و G ثابت الجاذبية العام

مدة الحركة المحورية: 25 يوم عند الاستواء الشمسي
إن دوران الشمس حول محورها لا يشابه دوران الجسم الصلب حيث تختلف سرعة دورانها باختلاف دوائر العرض ويتراوح الزمن الدوراني لها بين 25 يوم عند الاستواء إلى 35 يوم عند الأقطاب وتدعى هذه الظاهرة بالدوران التفاضلي ويمكن حسابها من مراقبة مدة دوران البقع الشمسية أو من خلال حساب السرعة النسبية V لطرفي حافة قرص الشمس باستخدام ظاهرة دوبلر والتي حددت قيمتها عند الاستواء بـ 2 km/sec لذا فان مدة الحركة المحورية

$$p = \frac{2\pi R_{\odot}}{V} \quad \text{يمكن حسابها من العلاقة الآتية}$$

الثابت الشمسي: $C_{\odot}$ (1.39×10^3 واط/م²)
كمية الطاقة الشمسية الواقعة عموديا على وحدة المساحة الأفقية خلال وحدة الزمن خارج الغلاف الجوي الأرضي وعلى مسافة من الشمس تساوي معدل بعد الأرض عن الشمس

$$C_{\odot} = \frac{L_{\odot}}{4\pi(Au)^2} = \frac{3.8 \times 10^{26}}{4\pi(149.598 \times 10^9)^2} \approx 1.39 \times 10^3 \text{ watt } l \text{ m}^2$$

يسمى بالثابت الشمسي.

نورانية الشمس $L_{\odot}$: $3.8 \cdot 10^{26}$ (واط)
تعرف نورانية النجم بأنها كمية الطاقة الضوئية الكلية المنبعثة من سطح النجم خلال وحدة الزمن وتقاس بوحدات أرك/ثانية، جول/ثانية، واط. وبتطبيق قانون ستيفان - بولتزمان ومعرفة المساحة السطحية للشمس نستطيع أن نحسب

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

$$L_{\odot} = 4\pi(6.955 \cdot 10^{10})^2 \cdot 5.67 \cdot 10^{-5} (6000)^4$$

$$\Rightarrow L_{\odot} \cong 3.8 \cdot 10^{33} \text{ erg/sec}$$

المعادلة اعلاه تمثل ضرب كمية الطاقة الضوئية المنبعثة من مربع وحدة المساحة السطحية للنجم (σT_{e*}^4) في المساحة السطحية للنجم ($4\pi R^2$) ، σ ثابت ستيفان للإشعاع وتبلغ قيمته $5.7 \times 10^{-5} \text{ erg/cm}^2 \cdot k^4$

ويمكن الحصول على نورانية الشمس من الارصاد:
من خلال الرصد نحصل على قيمة الثابت الشمسي وبالتالي نستطيع ان نحسب مقدار الطاقة الكلية التي تنبعث من الشمس في الثانية الواحدة (النورانية) وذلك بضرب قيمة الثابت الشمسي في المساحة السطحية لكرة نصف قطرها يساوي البعد بين الأرض والشمس
($r = Au = 149.598 \times 10^9 \text{ meter}$)

$$L_{\odot} = 4\pi(Au)^2 \times 1.39 \times 10^3 \text{ watt}$$

$$\Rightarrow L_{\odot} \cong 3.8 \times 10^{26} \text{ watt}$$

درجة الحرارة السطحية : 6000 k (كلفن)

توجد طرق عديدة لحساب درجة الحرارة السطحية للشمس منها

(1) قانون ستيفان - بولتزمان

كمية الطاقة الإشعاعية المنبعثة خلال وحدة الزمن من وحدة مساحة سطحية للجسم المشع E
تتناسب طردياً مع القوة الرابعة لدرجة الحرارة السطحية المطلقة للمشع
 $E = \sigma T^4$
 σ ثابت ستيفان - بولتزمان ويعادل $5.67 \times 10^{-8} \text{ ارك/سم}^2 \text{ ثانية ك}^4$
T درجة الحرارة السطحية

$$T = \left(\frac{E}{\sigma}\right)^{1/4}$$

لذا فإن درجة الحرارة السطحية تساوي

لحساب قيمة E نستخدم العلاقة الاتية حيث أن الطاقة الكلية المنبعثة من الشمس خلال وحدة الزمن تساوي $3.8 \times 10^{33} \text{ ارك/ثانية وبما أن المساحة السطحية للشمس تعادل } 6.1 \times 10^{22} \text{ سم}^2$

$$E = \frac{\text{الطاقة الكلية المنبعثة من الشمس}}{\text{المساحة السطحية للشمس}}$$

$$E = \frac{3.8 \times 10^{33} \text{ erg / sec}}{6.1 \times 10^{22} \text{ cm}^2} = 6.23 \times 10^{10} \text{ erg / cm}^2 \text{ sec}$$

وبتطبيق قانون ستيفان_ بولتزمان فإن درجة الحرارة السطحية للشمس تساوي

$$T = \left(\frac{6.23 \times 10^{10}}{5.67 \times 10^{-5}}\right)^{1/4} = 5750 \text{ k}$$

يطلق على هذه الدرجة بدرجة الحرارة السطحية الفعالة للشمس T_{eff} لانها تعبر عن معدل درجة الحرارة على سطح الشمس

(2) قانون بلانك للإشعاع :

يصف هذا القانون طاقة الأطوال الموجية وتوزيعها للإشعاع الكهرومغناطيسي المنبعثة من سطوح الأجسام المشعة ذات درجات الحرارة المختلفة ويطبق بالضبط على حالة الجسم الأسود

$$E(\lambda, T) = \frac{2 h c^2 / \lambda^5}{(e^{hc / \lambda kT} - 1)}$$

h ثابت بلانك , k ثابت بولتزمان , و c سرعة الضوء

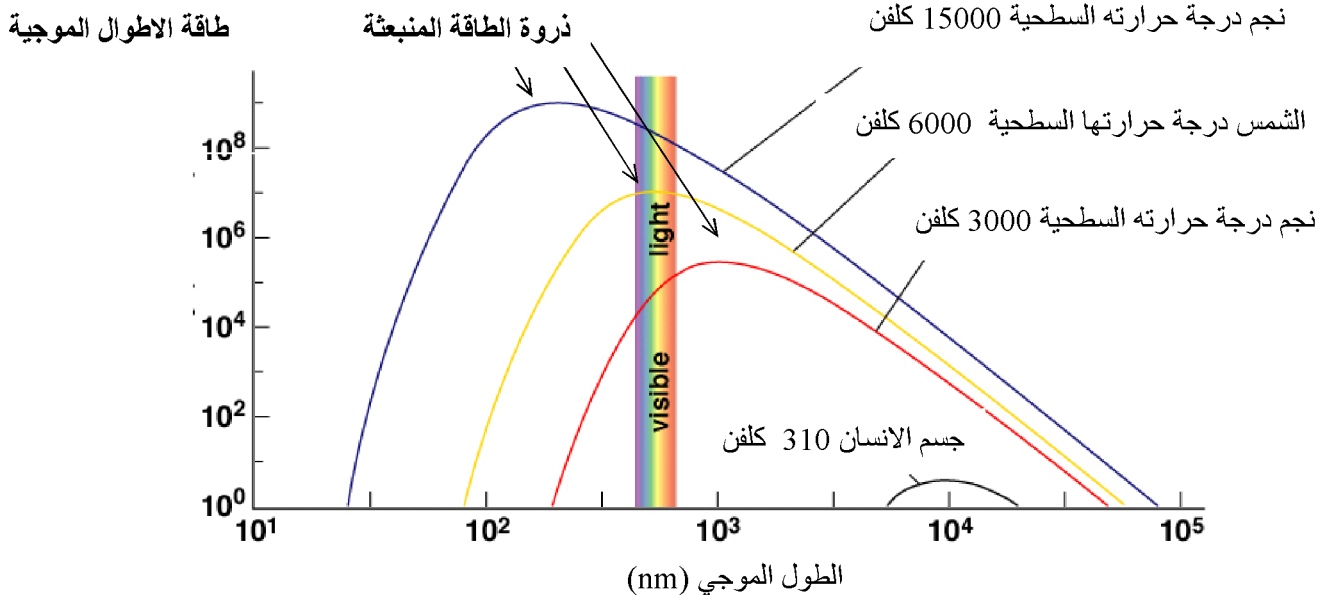
هذا القانون يمكن تطبيقه بصورة تقريبية على الشمس والنجوم أي أن هذه الأجرام يمكن اعتبارها مشابهة للجسم الأسود. الشكل (2-4) يوضح بعض منحنيات الطاقة لأجسام مشعة ذات درجات حرارة مختلفة ومن هذا الشكل نلاحظ مايلي:-

(أ) زيادة درجة الحرارة المشع تزيد من كمية الإشعاع الكلي المنبعث (التي تتمثل بالمساحة أسفل المنحني) والتي سبق ورودها في قانون ستيفان - بولتزمان E

$$E(T) = \int_0^{\infty} E(\lambda, T) d\lambda = \sigma T^4$$

(ب) زيادة درجة حرارة المشع تجعل الطول الموجي لذروة الطاقة المنبعثة λ_{max} يتحرك في اتجاه الأطوال الموجية القصيرة من الأحمر - البرتقالي - الأصفر - الأخضر - الأزرق - فوق البنفسجية وعليه فأن لون النجم يعتمد على درجة حرارته .

عند مقارنة أرساد طاقة الأطوال الموجية المنبعثة الشمس مع منحنيات بلانك لأجسام مشعة ذات درجات حرارة مختلفة يتضح أن منحنى المشع الذي درجة حرارته 6000 كلفن يطابق تقريبا منحنى طاقة الاطوال الموجية (الاشعة الكهرومغناطيسية) المنبعثة للشمس .



الشكل (2-4) منحنيات بلانك لنجوم ذات درجات حرارة سطحية مختلفة

(3) قانون فين :

الطول الموجي لذروة الطاقة المنبعثة $\lambda_{\max}$ من مشع مثالي يتناسب تناسبا عكسيا مع درجات

$$\lambda_{\max} = \frac{a}{T} \quad \text{الحرارة المطلقة للمشح } T$$

حيث a ثابت مقداره 0.28969 سم. ك و $\lambda_{\max}$ الطول الموجي بوحدة السنتيمتر
بالنسبة للإشعاع الشمسي فهو يعادل 4700 انكستروم أي 4.7×10^{-5} سم لذا فإن

$$T_c = \frac{0.28969}{4.7 \times 10^{-5}} = 6166 \text{ K}$$

وتسمى T_c بدرجة الحرارة اللونية وهي أعلى من T_{eff} لعدم تأثرها بالامتصاص في جو الشمس.

التركيب الكيميائي للشمس: 71% هيدروجين 27% هليوم 2% بقية العناصر
هذه النسب يتم حسابها من الطيف الشمسي .

العمر: 4.5 بليون سنة

النظرية السديمية التي تتناول دراسة نشوء المنظومة الشمسية مبنية على أساس أن الشمس
وبقية اجرام المنظومة تشكلت من سديم غازي واحد وهذا يعني أن الشمس والكواكب السيارة
وتوابعها تشكلت في نفس الفترة الزمنية لذلك فالتحليل الإشعاعي للصخور القديمة (من القمر أو
الأرض) يحدد عمر الشمس.

التركيب البنائي للشمس

يتألف التركيب البنائي للشمس من جزئين رئيسيين:

1- الطبقات الداخلية

(أ) منطقة اللب (core)

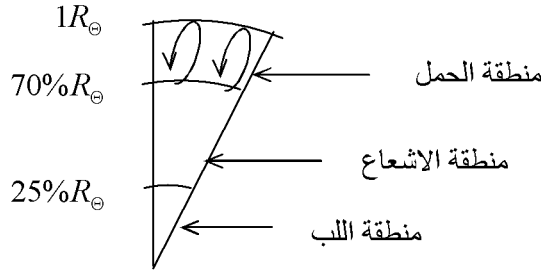
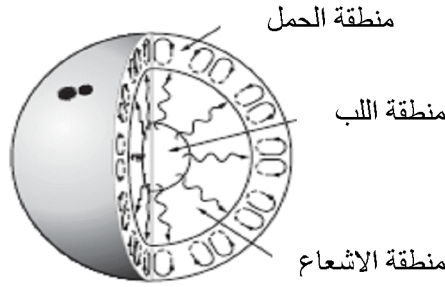
النواة المركزية للشمس تمتد هذه المنطقة لتشمل تقريبا 25% من نصف قطر الشمس، كثافة
الغازات فيها قد تصل إلى 150 غم/سم³، وتبلغ درجة حرارتها بحدود 17 مليون كلفن لذلك
ففي هذه المنطقة تحدث تفاعلات نووية حيث يندمج نوى ذرات الهيدروجين لتكوين نوى ذرات
الهليوم وتصبح هذه التفاعلات تحرير كمية كبيرة من الطاقة تؤدي إلى ارتفاع الضغط
الإشعاعي بحيث يتعادل مع قوة الجذب الثقالي ولهذا السبب تكون الشمس في حالة توازن

(ب) منطقة الإشعاع Radiative Zone

تمتد هذه المنطقة تقريبا من منطوق اللب إلى حدود الـ 70% من نصف قطر الشمس وهذه الطبقة
تتألف من غازات باردة نسبيا وكثافتها أقل من منطقة اللب وبذلك تعمل على عزل اللب والحفاظ
على حرارته حيث تؤدي إلى نقل الطاقة المتحررة من الاندماجات النووية إلى منطقة الحمل
بواسطة الإشعاع . تتغير كثافة الغازات في هذه المنطقة من 34 غم/سم³ عند حافتها الداخلية
لتصل 0.01 غم/سم³ عند حافتها الخارجية.

(ج) منطقة الحمل Conductive Zone

سمك هذه الطبقة يشمل تقريبا 30% من نصف قطر الشمس وتمتد لتصل إلى الحافة الخارجية
لقرص الشمس في هذه المنطقة تنتقل الحرارة إلى الأجزاء الخارجية بواسطة تيارات الحمل



الشكل (2-5) تركيب الشمس

2- الطبقات الخارجية (جو الشمس)

يتألف جو الشمس من ثلاثة طبقات مرتبة من الداخل نحو الخارج

(أ) الفوتوسفير (Photosphere)

الطبقة الضوئية (المرئية) وهي التي يمكن مشاهدتها بالعين المجردة تتألف من طبقة غازية رقيقة سمكها اقل من 0.1% من نصف قطر الشمس، كثافتها بحدود 10^{-8} غم/سم³. منها ينطلق الضوء المرئي وفيها يتشكل ما يعرف بالطيف الشمسي الذي يتألف من الطيف المستمر الذي مصدره الطبقة التي تقع تحت الفوتوسفير وخطوط طيف الامتصاص التي تتكون في الأجزاء الباردة من الفوتوسفير. تتغير درجة حرارة هذه الطبقة من 6800 كلفن عند عمق 260 كم إلى 4500 عند السطح لذا فإن معدل درجة حرارة هذه الطبقة يساوي تقريبا 6000 كلفن. في طبقة الفوتوسفير تتحول الغازات من غازات ذات نفوذية عالية في أعلى الطبقة إلى غازات غير شفافة بحيث لا نرى ما تحتها وهذا التحول يحدث في مدى صغير لا يتجاوز 1000 كم مما يظهر أن لها سطح صلب. عندما ننظر إلى سطح الشمس بواسطة مرقب فلكي تظهر لنا ثلاثة ميزات لهذه الطبقة

عتومة الحافة، البقع الشمسية، البقع البراقة

(ب) الكروموسفير (Chromosphere)

الغازات في هذه الطبقة اقل كثافة من طبقة الفوتوسفير ولهذا السبب لا ينبعث من هذه منها سوى القليل من الضوء ولذلك فإن طبقة الكروموسفير معتمدة بعض الشيء ويمكن مشاهدتها على شكل طبقة خفيفة حمرة تحيط قرص الشمس أثناء الكسوف، هذا الاحمرار ناتج من تألق غاز الهيدروجين (انتقالات بالمر). تمتد هذه الطبقة إلى ارتفاع 1200 كم فوق الفوتوسفير وتزداد درجة حرارتها من 4500 إلى 100000 كلفن

(ج) الإكليل (Corona)

وهي الطبقة الخارجية التي تحيط كل من الكروموسفير والفوتوسفير وهي طبقة ليس لها شكل منتظم وتمتد إلى ملايين الكيلومترات كثافتها ضئيلة جدا قد تصل إلى 10 ذرات في سم³

وهذه الكثافة أفضل من أي فراغ يمكن الحصول عليه تكنولوجيا ، معظم ضوء هذه الطبقة ينشئ من طبقة الفوتوسفير بعض خطوط الانبعاث في طيف الشمس تنشأ من هذه الطبقة، هذه الانبعاثات تبين أن غازات الإكليل ذات درجة حرارة عالية قد تصل إلى مليون كلفن سبب هذا الارتفاع في درجات الحرارة لهذه الطبقة عن طبقة الكروموسفير والفوتوسفير الداخلية هو حدوث ما يسمى بموجات الرجة التي تنشأ من الفورانات الغازية في طبقات جو الشمس الداخلية والتي تضرب منطقة الإكليل .

الظواهر السطحية للشمس

عندما ننظر إلى سطح الشمس بواسطة مراقب فلكية جيدة نشاهد العديد من الظواهر السطحية التي تعكس النشاط الشمسي ومن هذه الظواهر

(1) البقع الشمسية أو الكلف الشمسي :

البقع الشمسية هي مناطق داكنة دائرية الشكل تظهر بأحجام مختلفة على سطح الشمس وتشغل هذه البقع في أوج نشاطها 2% من القرص المرئي للشمس . البقع هي ليست ظواهر دائمية الصغيرة منها (قطرها بضع آلاف الكيلومترات) قد تظهر لبعض ساعات فقط بينما البقع الكبيرة الحجم (قطرها عشرات آلاف من الكيلومترات) قد تدوم لشهور وباستمرار تظهر بقع جديدة مقابل بقع قديمة تختفي. تبدأ هذه الظاهرة بظهور عدد قليل من البقع الشمسية عند خطوط العرض $35^{\circ} \pm$ ومن ثم يزداد عددها الى ان يصل اقصى قيمة له عند المناطق القريبة من استواء الشمس في مدة اربع سنوات ثم يهبط هذا العدد بالتدريج الى اقل قيمة له في مدة سبعة سنوات اخرى وعليه فإن مدة دورة هذه الظاهرة تساوي 11 سنة، حاليا نحن في الدورة 23 منذ بدء تسجيل عدد البقع الشمسية في سنة 1650. في بداية القرن الماضي تبين أن البقع الشمسية تتواجد في المناطق ذات الكثافة العالية للمجال المغناطيسي (عشرة أضعاف المعدل)، وهذا السبب وراء ظهور البقع الشمسية داكنة (أي أن درجة حرارتها أوطأ من محيطها) حيث أن قوة المجال المغناطيسي تقمع تيارات الحمل القادمة من منطقة الحمل مما يؤدي إلى انخفاض درجة حرارتها مقارنة مع المناطق المحيطة بها.

(2) الشعيلات الشمسية، الصياخد والندف:

هي سحب غازية وهاجة في طبقة الكروموسفير ، تظهر عادة قبل البقع الشمسية وتبقى مدة طويلة بعد اختفاء الكلف الشمسي.

(3) الشواظ الشمسي :

بقع صغيرة تظهر بصورة فجائية في المناطق المجاورة للكلف الشمسي ، يمكن ملاحظتها بصورة واضحة عند حافات القرص الشمسي على هيئة لهب صغير لأتليث أن تختفي في طبقة الكروموسفير. خلال حدوث الشواظ الشمسي تنبعث كميات هائلة من الطاقة على هيئة أشعة فوق بنفسجية وموجات راديوية إضافة إلى انطلاق دقائق مشحونة وبسرعة عالية جدا.

(4) التآججات اللامعة:

هي فورانات غازية هائجة اغلبها من غاز الهيدروجين المنبعث من السطح وتصاب الكلف الشمسي ، وهي تظهر على هيئة السنة مدببة حمراء اللون ترتفع خلال هيجانها إلى آلاف الكيلومترات.

(5) القتائل السوداء :

ظواهر شمسية مشابهة للتآججات اللامعة ولكنها تظهر على شكل خيوط معتمة سوداء اللون على سطح الشمس وترتبط بظواهر الكلف الشمسي.

الإشعاعات والرياح الشمسية

تنبعث من الشمس انبعاثات كهرومغناطيسية ضمن أطوال موجية مختلفة وإشعاعات أيونية (رياح شمسية) تتألف من غازات وسحب رقيقة مشحونة كهربائياً.

مميزات الأشعة الكهرومغناطيسية

- 1- تسير بخطوط مستقيمة وبسرعة الضوء
- 2- تؤثر على نصف الكرة الأرضية المواجه للشمس
- 3- الأشعة السينية مصدرها طبقة الإكليل
- 4- الأشعة فوق بنفسجية تصدر عن الاضطرابات الشمسية وهي المسؤولة عن تكوين الطبقة الأيونية في الغلاف الجوي الأرضي
- 5- الإشعاعات الراديوية تنبعث على ثلاثة أنواع
(أ) انبعاثات راديوية نبضية ضمن الأطوال الموجية المليمتريّة مصدرها البلازما المقذوفة من المناطق المحيطة بالبقع الشمسية مدة انبعاثها يستمر لبضع دقائق.
(ب) انبعاثات راديوية مترية تنبعث بشكل مستمر لفترة تتراوح بين عدة ساعات إلى بضعة أيام تتولد من تصادم موجات البلازما المتحركة والمجالات المغناطيسية.
(ج) انبعاثات راديوية سنتمترية وتستمر لبضعة أسابيع وتكون مرتبطة بفعاليات البقع الشمسية

مميزات الرياح الشمسية:

- 1- تسير بسرعة بطيئة ويتغير اتجاهها حسب المجال المغناطيسي أي أنها لا تسير بخطوط مستقيمة.
- 2- لا تؤثر على الجزء الأرضي المواجه للشمس لانحراف مسارها بوجود المجال المغناطيسي.
- 3- تأثيرها على جو الأرض قصير لعدم ملائمة الوضع المناسب للأرض مع مناطق المضطربة على سطح الشمس، العواصف المغناطيسية تشد في الاعتدالين وذلك لأن خط استواء الشمس يكون على أقصاه.
- 4- هذه الأشعة تسبب ظاهرة الشفق القطبي.

الطاقة الشمسية:

تتولد الطاقة الشمسية في باطن الشمس (حيث درجات الحرارة العالية والضغط الهائل) من عمليات الاندماج النووي الذي يحصل لنوى الهيدروجين لتشكل نواة الهليوم، في النجوم التي لا تزيد كتلتها عن كتلة الشمس تحدث عملية الاندماج النووي للهيدروجين بدون عامل مساعد وهذه الطريقة يطلق عليها دورة البروتون - البروتون، أما في النجوم ذات الكتل الكبيرة تحدث عملية الاندماج النووي للهيدروجين بمساعدة الكربون، النيتروجين والأكسجين (C, N, O) كعوامل مساعدة في التفاعل وهذه الطريقة يطلق عليها دورة CNO .

دورة البروتون - البروتون

بروتون + بروتون —————> ديوتيريوم + فوتون
بروتون + بروتون —————> ديوتيريوم + فوتون
ديوتيريوم + بروتون —————> هيليوم خفيف + فوتون
ديوتيريوم + بروتون —————> هيليوم خفيف + فوتون
هيليوم خفيف + هيليوم خفيف —————> هيليوم 2 + فوتون

خلال هذه الدورة نلاحظ اشتراك ستة بروتونات في عملية الاندماج لنحصل في النهاية على نواة هليوم ثقيل زائدا بروتونين وكميات كبيرة جدا من الطاقة اي ان اربع بروتونات اندمجت فعليا في تكوين نواة الهليوم . كتلة النوى الأربعة لذرات الهيدروجين (البروتونات) الداخلة في عملية الاندماج اكبر ب 0.7% من نواة الهليوم هذا الفرق في الكتلة هو الذي يتحول إلى طاقة حسب علاقة التكافؤ بين الطاقة والكتلة التي وجدها ألبرت اينشتاين $E = mc^2$ ، وبما أن الطاقة

المتحررة من الشمس في الثانية الواحدة تساوي $L_{\odot} = 3.8 \times 10^{33} \text{ erg/sec}$

لذلك فإن 4.2×10^6 طن من الهيدروجين يتحول إلى طاقة في الثانية الواحدة

$$m_{H \rightarrow \text{energy}} = \frac{L_{\odot}}{c^2} = \frac{3.8 \times 10^{33}}{(3 \times 10^8)^2} \approx 4.2 \times 10^{12} \text{ gm} \approx 4.2 \times 10^6 \text{ tons}$$

أما كمية الهيدروجين الذي يتحول إلى هيليوم في الثانية الواحدة يساوي

$$m_{H \rightarrow He} = \frac{m_H}{0.0071} = \frac{4.2 \times 10^6}{0.0071} \approx 6.0 \times 10^8 \text{ tons}$$

هذا يعني أن 6.0×10^8 طن من الهيدروجين يتحول إلى هيليوم في الثانية الواحدة. هذه الكميات الهائلة من الهيدروجين التي تتحول إلى هيليوم سوف لن تستمر إلى ما لانهاية سوف يأتي الوقت الذي ينضب فيه الوقود (الهيدروجين) عندها سيحصل تغير كبير على الخواص الفيزيائية للشمس.

القمر The Moon

القمر هو التابع الوحيد لكوكب الأرض وهو يدور حول الأرض وبنفس الوقت تدور كل من الأرض والقمر حول الشمس وهو أقرب الأجرام السماوية إلينا. لقد تجمع لدى علماء الفلك معلومات كثيرة عن هذا الجرم من خلال الدراسات الفلكية والأرصاد الأرضية والفضائية.

الخواص الفيزيائية للقمر

فيما يلي ملخص عن هذه الخواص وكيفية حسابها

قياس بعد القمر عن الأرض: (معدل بعد القمر عن الأرض 384400 كم)

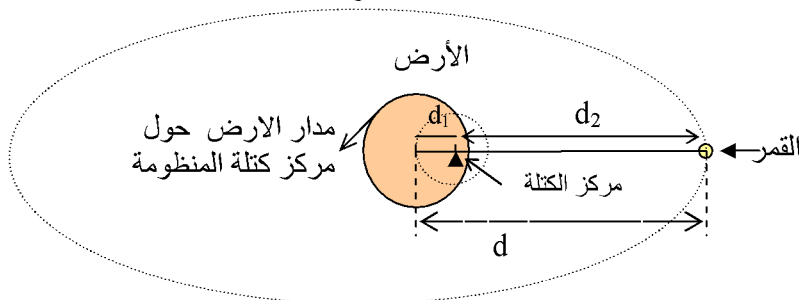
توجد ثلاثة طرق لقياس بعد القمر عن الأرض

- 1- طريقة قياس زاوية اختلاف المنظر للقمر بالنسبة للنجوم البعيدة من على موقعين مختلفين على سطح الأرض.
 - 2- طريقة الرادار ترسل الموجات الرادارية إلى القمر ثم يتم استلامها بعد انعكاسها من سطح القمر، من خلال معرفة زمن ذهاب وإياب الموجات الرادارية نستطيع أن نحصل على بعد القمر آنذاك من خلال العلاقة (المسافة = السرعة × الزمن) في هذه الحالة الزمن يساوي نصف زمن الذهاب والإياب والسرعة هي سرعة الضوء. مقدار الخطأ في هذه الطريقة يقارب كيلومتر واحد.
 - 3- باستخدام أشعة الليزر هذه الطريقة تستخدم الأجهزة الحساسة التي وضعت من قبل رواد فضاء المركبة الفضائية أبولو على سطح القمر، في هذه الطريقة الخطأ في حساب البعد لا يتجاوز 10 سم.
- مدار القمر حول الأرض شكله اهليلجي أي أن بعد القمر عن الأرض يتغير باستمرار بين موضع الحضيض والابوج لذا فإن معدل بعد القمر عن الأرض يساوي 384400 كم
- كتلة القمر:**

نتيجة وجود قوة جذب متبادلة بين الأرض والقمر فإن هذه القوة تجعل القمر يدور حول مركز كتلة الأرض والقمر وبنفس الوقت فإن تأثير جذب القمر للأرض يجعل الأرض تدور حول مركز الكتلة (مركز كتلة الأرض والقمر يقع داخل قشرة الأرض وعلى بعد 4670 كم من مركز كتلة الأرض). نظرا إلى صغر كتلة القمر مقارنة مع كتلة الأرض فإن مدار القمر حول مركز الكتلة أكبر بكثير من مدار الأرض حول مركز المنظومة انظر الشكل (2-6).

يمكن استخراج كتلة القمر من دراسة حركة القمر والأرض بالنسبة إلى مركز كتلة منظومة الأرض والقمر، ويمكن تمثيل هذه الحركة بالشكل الآتي،

مدار القمر حول مركز
كتلة المنظومة



الشكل (2-6) يبين منظومة كل من الأرض والقمر

ومن قياس الإزاحات الشهرية التي يمكن ملاحظتها للقمر والأرض وجد أن

$$d_1 = 4670.7 \text{ km}$$

معدل بعد القمر عن الأرض يساوي 384400 كم

$$d = 384400 \text{ km}$$

$$d_2 = d - d_1 = 379729.3 \text{ km}$$

وبتطبيق العلاقة $m_1 r_1 = m_2 r_2$ على كل من القمر والأرض علما أن r_1 و r_2 يمثلان البعد عن مركز الكتلة لذا فإن

$$M_E d_1 = M_m d_2$$

M_E و M_m تمثلان كتلة الأرض والقمر على التوالي

$$\frac{M_m}{M_E} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{4670.7}{379729.3} = \frac{1}{81.3}$$

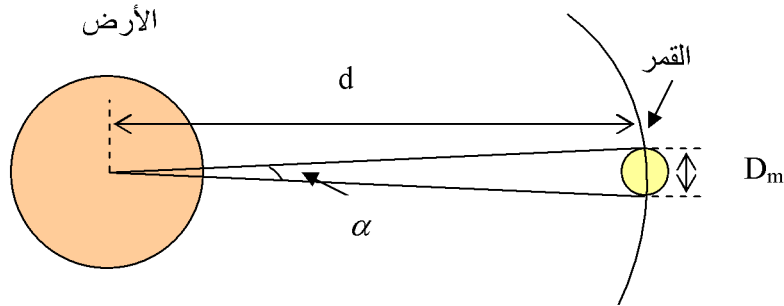
كتلة الأرض $M_E = 5.98 \times 10^{27} \text{ gm}$ إذن فإن كتلة القمر تساوي

$$M_m = \frac{M_E}{81.3} = \frac{5.98 \times 10^{27}}{81.3} = 7.35 \times 10^{25} \text{ gm}$$

قطر القمر: (D_m)

من معرفة القطر الزاوي للقمر في السماء α° ومعدل بعده عن الأرض يمكن حساب قطر القمر حسب العلاقة الآتية

القطر الحقيقي D_m	القطر الزاوي α
محيط دائرة المنظور $2\pi d$	360°



الشكل (7-2) حساب القطر الحقيقي للقمر

$$D_m = \frac{2\pi d}{360^\circ} \alpha = \frac{2\pi \times 384400}{360} 0.518 = 3475.3 \text{ km}$$

D_m قطر القمر

α القطر الزاوي للقمر (0.518 درجة)

d بعد القمر عن الأرض (384400 كم)

معدل الكثافة

كشف التحليل الزلزالي أن القمر يتألف من ثلاث طبقات أساسية هي القشرة، الوشاح ، واللب وهذه الطبقات تختلف في سمكها ومكوناتها لذا فإن معدل كثافة القمر يمكن استنتاجه من العلاقة الآتية

$$\rho_m = \frac{7.35 \times 10^{25}}{\frac{4}{3}\pi(1738 \times 10^5)^3} = 3.34 \text{ gm/cm}^3$$

الكثافة = الكتلة / الحجم

معدل الجاذبية السطحية للقمر

لحساب معدل جاذبية القمر السطحية نستخدم قانون نيوتن الثاني $F = m a$ (الذي ينص على أن تعجيل جسيم يتناسب تناسبا طرديا مع محصلة القوى الخارجية المؤثرة عليه وعكسيا مع كتلته وينتجه التعجيل باتجاه المحصلة). في هذه الحالة نفرض أن جسيم ما كتلته m موضوع على سطح القمر فالتعجيل الذي يتعرض له يساوي

$$a = \frac{\vec{F}}{m} = \frac{GM_m m / R^2}{m} = \frac{GM_m}{R^2}$$

$$a = \frac{6.67 \times 10^{-8} \times 7.35 \times 10^{25}}{(1738 \times 10^5)^2} = 162.3 \text{ cm/sec}^2$$

هذا المقدار يساوي $\frac{1}{6}$ التعجيل الأرض (980 سم/ثانية²)

سرعة الإفلات

لكي يفلت أي جسيم من سطح جسم كروي (مثل القمر) عليه أن يكتسب طاقة حركية تساوي بالحد الأدنى طاقته الكامنة. فبالنسبة للقمر تكون سرعة إفلات الجسيم هي

$$v = \left(\frac{2GM_m}{R_m} \right)^{1/2}$$

$$v = \left(\frac{2 \times 6.67 \times 10^{-8} \times 7.35 \times 10^{25}}{1738 \times 10^5} \right)^{1/2} = 2.38 \text{ km/sec}$$

الغلاف الجوي للقمر

ليس للقمر غلاف جوي (لا اثر لوجود غيوم ، رياح، أمطار وتلوج) حيث أثبتت الدراسات المباشرة للعينات التي جلبها رواد الفضاء خلو سطح القمر من الماء بعض الفلكيين يتوقع وجوده تحت الصخور.

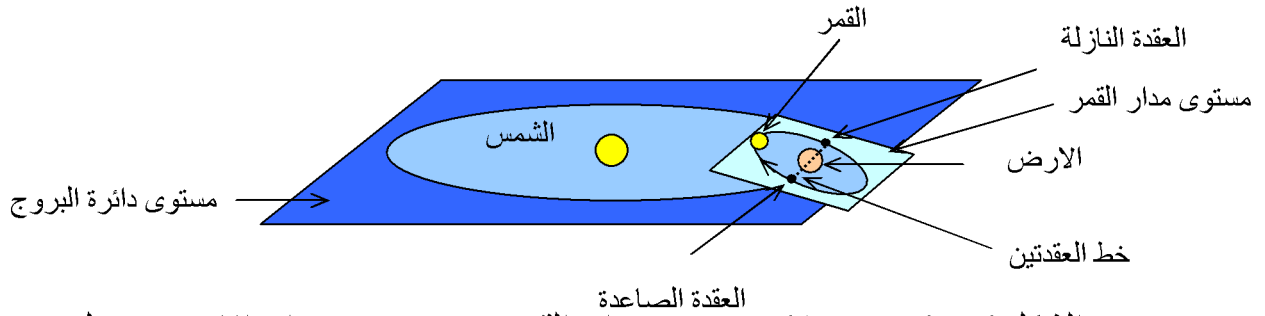
أما درجة حرارة سطح القمر تتراوح بين 130°C نهارا و -173°C ليلا.

الانعكاسية

إن انعكاسية سطح القمر وجدت أنها تقارب 7% من كمية ضوء الشمس الساقطة عليه أي انه جرم معتم يمتص 93% من الأشعة الساقطة عليه.

مدار القمر وتقهقر العقدتين

للقمر مدار اهليلجي ذو شذوذ مركزي (0.055) صغير ومتغير. في موضع الحضيض يبعد القمر عن الأرض 363104 كم وبعد اسبوعين تقريباً يكون على بعد 405696 كم في موضع الأوج معدل بعد القمر عن الأرض يساوي 384400 كم. يميل مستوى مداره عن مستوى مستوى مدار الأرض حول الشمس (الدائرة الكسوفية) بزاوية تتغير من $4^\circ 57'$ إلى $5^\circ 20'$ بسبب تأثير كل من جاذبية الشمس والأرض، معدل هذا الميلان يساوي $5^\circ 9'$ وبسبب هذا الميلان فإن القمر يقضي نصف دورته فوق مستوى دائرة البروج والنصف الثاني أسفل مستوى دائرة البروج لذا يتقاطع مدار القمر بمستوى دائرة البروج في نقطتين يطلق عليها العقدة الصاعدة والعقدة النازلة استناداً إلى اتجاه حركة القمر بالنسبة لمستوى مدار الأرض والخط الذي يصل بين العقدتين يدعى بخط العقدتين. إن موضع العقدتين غير ثابت في المستوي حيث انهما يتحركان حركة تقهقرية ضمن مستوى الدائرة الكسوفية (البروج) باتجاه معاكس لاتجاه حركة الشمس وبمعدل 19 درجة تقريباً لكل سنة شمسية مما يعني أن العقدتين تعودان إلى الموقعين نفسيهما كل 18.6 سنة شمسية.



الشكل (2-8) يبين ميلان مستوى مدار القمر عن مستوى مدار الأرض حول الشمس (الأكليبتك)

مدة دورة القمر حول الأرض

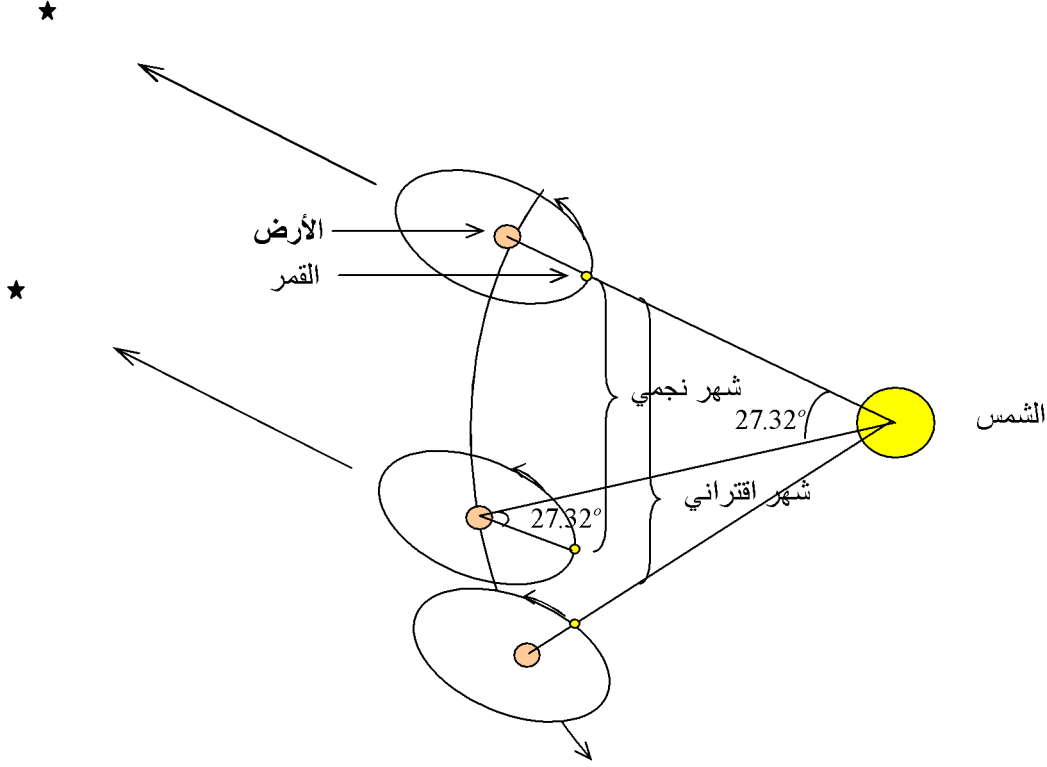
إن مقدار مدة دورة القمر حول الأرض ثابت بالنسبة إلى نقطة في الملا نهاية ، على سبيل المثال نجم بعيد ، أما إذا اعتمد في حساب هذه المدة نقطة مرجعية تمتلك حركة طفيفة في الفضاء فإن مدة دورة القمر ستتأثر حسب النقطة المرجعية المختارة. وقد تم اعتماد أكثر من نقطة مرجعية في حساب مدة الدورة القمر وعلى هذا الأساس تم تصنيف الدورات الشهرية للقمر وهي كما يلي:

1- الدورة النجمية: هذه الدورة تقاس بالنسبة لنجم بعيد مدتها 27.32166 يوم في نفس هذه الفترة يكون القمر قد اكمل دورة واحدة حول محوره ولهذا السبب نلاحظ وجهاً واحداً من القمر.

2- الدورة الاقترانية: هذه الدورة تقاس بالنسبة لموضع الاقتران بالشمس (المحاق ، عندما يكون القمر بين الأرض والشمس وعلى الخط الواصل بين مركزيهما) مدتها 29.53 يوم انظر الشكل (2-9)، وهي المدة الزمنية بين موضعين متتابعين للقمر في المحاق. وهي اكبر من الدورة النجمية والسبب هو أن الأرض تتحرك في مدارها وبمعدل درجة واحدة يومياً، فخلال 27.32 يوم (الدورة النجمية) تكون الأرض قطعت 27.32 درجة تقريباً على دائرة البروج وخلال هذه الفترة فإن القمر قد اكمل دورته النجمية انظر الشكل (2-9) ولكي يكمل القمر الدورة الاقترانية يحتاج القمر أن يقطع 27.32 درجة في مداره ليحصل

الاقتران بالشمس (وضع المحاق)، وبما أن القمر يتحرك يومياً $(\frac{360^\circ}{27.32} \approx 13)$ 13 درجة

شرقاً بالنسبة للنجوم البعيدة أو 12 درجة بالنسبة للشمس لذا يحتاج القمر يومين إضافيين تقريباً لكي يكمل دورته الاقترانية .



الشكل (2-9) يوضح الفرق بين الدورة النجمية والدورة الاقترانية

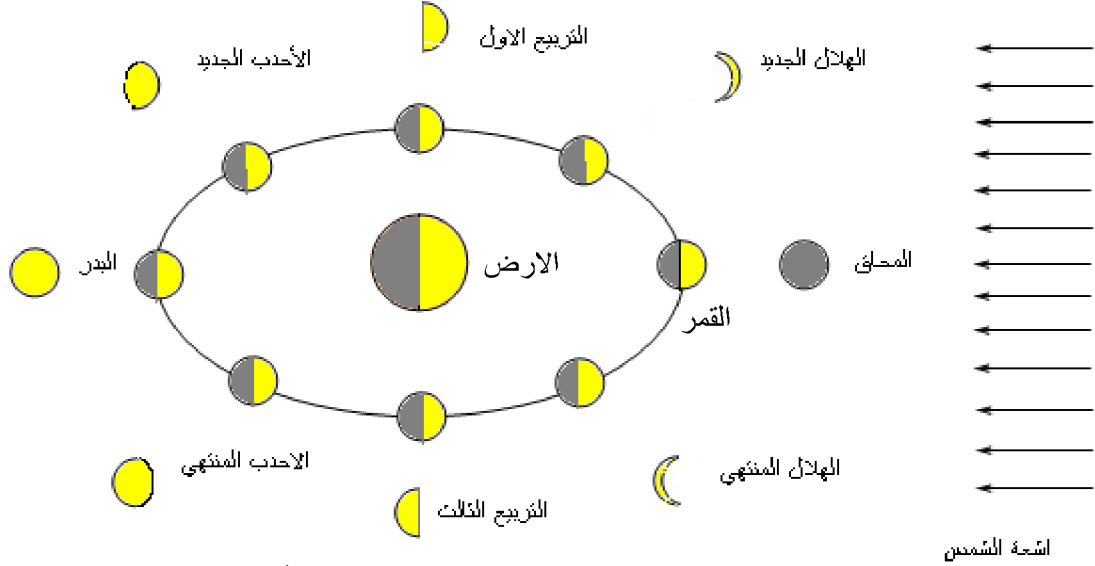
3- الدورة المدارية: تقاس بالنسبة إلى نقطة الاعتدال الربيعي مدتها 27.32158 يوم، وهي اقصر من الدورة النجمية السبب هو أن نقطة الاعتدال تمتلك حركة تفهقرية مقداره 50.26 ثانية قوسية لكل سنة.

4- الدورة الحضيضية: تقاس هذه الدورة بالنسبة نقطة الأوج أو الحضيض لمدار القمر ومدتها 27.5546 يوم وسبب اختلاف هذه الدورة عن الدورة النجمية هو أن مدار القمر يمتلك طواف مدته 8.85 سنة.

5- الدورة التنينية (العقدية): تقاس هذه الدورة بالنسبة إحدى العقدتين الصاعدة أو النازلة مدتها 27.2122 يوم وسبب الاختلاف يعود إلى أن هاتين العقدتين تمتلكان حركة تفهقرية تقريباً 19 درجة سنوياً.

أوجه القمر خلال دورته الاقترانية:

خلال الشهر الاقتراني يمر القمر بأطوار مختلفة ناشئة عن الموقع النسبي للقمر من الأرض والشمس هذه الاطوار ممكن اختزالها إلى ثمانية مراحل

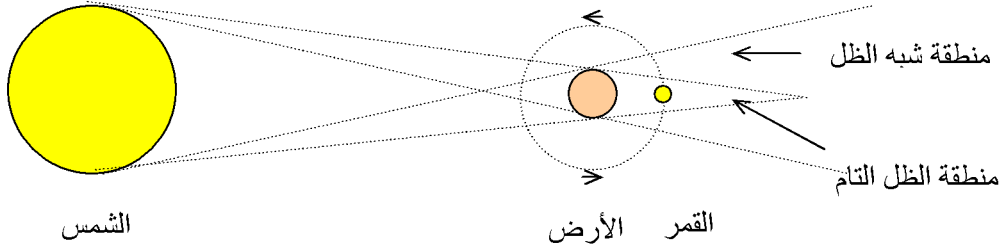


الشكل (2-10) اطوار القمر

- 1- المحاق يكون موضع القمر بين الأرض والشمس وعلى الخط الذي يصل بين الأرض والشمس ويكون وجهه المظلم مواجه الأرض لذلك لا يمكن مشاهدته في هذا الموضع
- 2- القمر الوليد حال خروج القمر من موضع المحاق يشاهد القمر في هذا الطور على شكل هلال رفيع يأخذ شكل مقلوب الحرف C في اللغة الانكليزية، يظهر الهلال في الجهة الغربية من السماء بعد مغيب الشمس.
- 3- التربيع الأول بعد حوالي أسبوع واحد يصبح نصف القمر مضاء ويأخذ شكل الحرف D في اللغة الانكليزية.
- 4- الأحدب الجديد بعد طور التربيع الأول يظهر القمر على شكل قرص دائري مضئ ناقص من الطرف الأيسر.
- 5- طور البدر بعد مرور أسبوعين من موضع المحاق يظهر القمر على شكل قرص دائري مضاء، يشرق عند غروب الشمس ويغرب عند شروق الشمس.
- 6- الأحدب المنتهي بعد طور البدر يبدأ قرص القمر الدائري بالتقلص من الطرف الأيمن
- 7- التربيع الأخير بعد أسبوع من طور البدر يصبح نصف القمر مضاء ويأخذ شكل مقلوب الحرف D في اللغة الانكليزية.
- 8- الهلال القديم بعد طور التربيع الأخير تستمر إضاءة القمر بالتضاؤل إلى أن يصبح شكله هلال ويأخذ شكل الحرف C في اللغة الانكليزية، يظهر هذا الهلال في الجهة الشرقية من السماء قبل شروق الشمس.

ظاهرتا الخسوف والكسوف: الخسوف

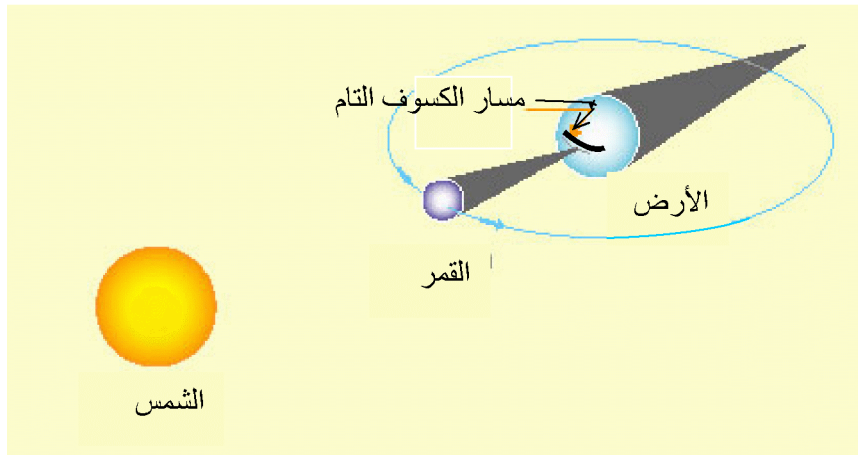
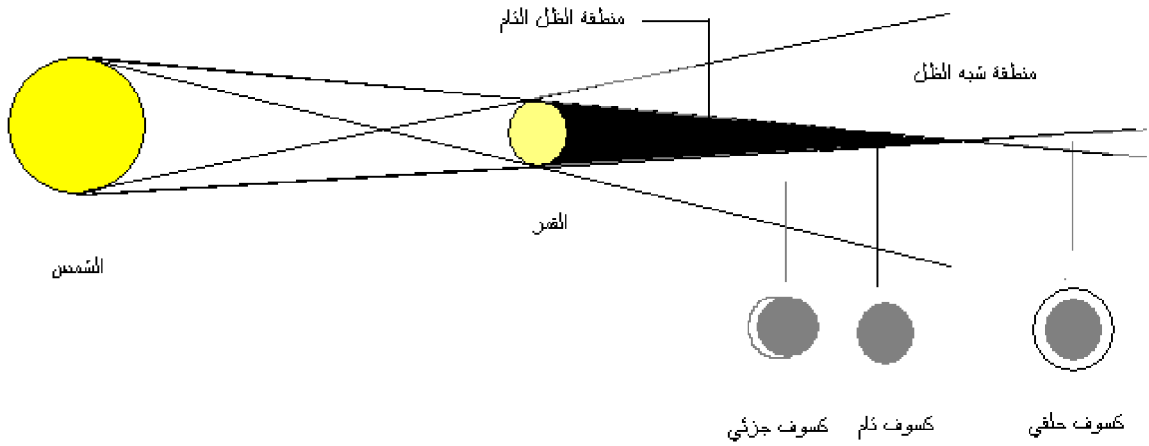
يحدث الخسوف عندما يقع القمر في ظل الأرض وهو في طور البدر وقريب من إحدى العقدتين هذه الظاهرة لا تحدث في كل شهر قمري والسبب هو أن مدار القمر يميل بزاوية 5 درجات عن مستوى دائرة الكسوف هذه الظاهرة قد تحدث مرتين في السنة. يكون الخسوف كلياً إذا وقع القمر في منطقة الظل التام للأرض ويحدث الخسوف الجزئي إذا تحرك القمر في منطقة شبه الظل انظر الشكل (2-11). طول المخروطي الظلي للأرض يبلغ 1380000 كم سمكه عند معدل بعد القمر يساوي 9200 كم لذا يحتاج القمر لـ 3 ساعات لعبور منطقة الظل التام.



الشكل (2-11) مخطط خسوف القمر

الكسوف

تحدث ظاهرة الكسوف عندما يكون القمر في موضع المحاق وقريب من إحدى العقدتين، في هذه الحالة يحدث ظل القمر المخروطي بقعة مظلمة على سطح الكرة الأرضية يشاهد من خلالها ظاهرة كسوف الشمس، خارج هذه البقعة يشاهد فيها الراصد كسوف جزئي. طول الظل المخروطي للقمر يبلغ 371000 كم تقريباً ومعدل بعد القمر عن سطح الأرض هو 384400 كم لذا فقد لا يصل ظل القمر المخروطي إلى سطح الأرض، إذا لامس سطح الأرض فسوف يشكل بقعة مظلمة نصف قطرها لا يتجاوز 270 كم، الراصد الذي يقع ضمن هذه البقعة سوف يشاهد كسوف تام للشمس خارج هذا الموقع سيشاهد الراصد كسوف جزئي، في الحالة التي يكون فيها القمر قريب من موضع الأوج (أي على مسافة بعيدة من الأرض) فإن ظل القمر المخروطي لا يصل إلى سطح الأرض وبالتالي يحصل ما نسميه الكسوف الحلقى أي أن القمر لا يحجب قرص الشمس كلياً بل يترك حلقة رفيعة مضاءة من الشمس. نتيجتنا لدوران الأرض حول نفسها وحركة القمر في مداره الكسوف التام عند موضع معين سوف لا يستغرق أكثر من 7 دقائق و40 ثانية حيث أن هذه البقعة سوف تتحرك شرقاً على سطح الكرة الأرضية محدثاً شريطاً طوله قد يصل 10000 كم تقريباً ومعدل سمكه 170 كم سكان الكرة الأرضية ضمن هذا الشرط هم الذين سيشاهدون الكسوف التام خارج هذا الشريط وبحود 3000 كم عن مسار الكسوف سيشاهدون كسوف جزئي.



الشكل (2-13) المخطط يبين مسار الكسوف التام على سطح الكرة الأرضية

الفرق بين الكسوف والخسوف

- 1- يتم الكسوف عندما يكون القمر وليدا (هلالا). أما الخسوف فيتم عندما يكون القمر بدر
- 2- يحدث الخسوف الشكل (2-12) مخطط يوضح نوع الكسوف الكرة الأرضية، أما الكسوف يحدث ضيقة معدل عرضه 170 كم يقطعها المخروط الظلي للقمر على سطح الكرة الأرضية انظر الشكل اعلاه
- 3- مدة الخسوف الكلي تتجاوز ساعتين في حين أن الكسوف الكلي لا يستغرق أكثر من 7.5 دقيقة

الأهمية العلمية لدراسة الكسوف

- 1- دراسة جو الشمس
- 2- للبحث عن احتمال وجود كوكب بالقرب من الشمس ، أو مذنب في وضع الحضيض
- 3- دراسة حركة الشمس والقمر بدقة
- 4- إثبات نبوءة اينشتاين حول انحاء الضوء عند مروره بالقرب من جرم ثقيل كالشمس

أسئلة قصيرة

1. الشهر القمري الأتتراني الشهر القمري النجمي :
أ- أطول من ب- أقصر من ج- مساويا الى د- 2.
- إذا تواجد القمر فوق الأفق طوال الليل ففي أي طور يكون القمر:
أ- المحاق ب- البدر ج- التربييع الأول د- التربييع الثالث
3. إذا كنت تتابع إحدى ظواهر الكسوف الكلي للشمس، فماذا ستشاهد على الترتيب:
أ- كسوف كلي – كسوف جزئي – كسوف كلي
ب- كسوف حلقي – كسوف جزئي – كسوف كلي
ج- كسوف جزئي – كسوف حلقي – كسوف كلي
د- كسوف جزئي – كسوف كلي – كسوف جزئي
4. يتحرك القمر طوال الشهر..... بالنسبة لنجوم السماء.
أ- شرقا دائما ب- غربا دائما ج- شرقا وغربا د- يبقى ثابت
5. إذا وقع الراصد في منطقة شبه ظل القمر على الأرض فسيرى ظاهرة:
أ- كسوف كلي ب- كسوف جزئي ج- خسوف جزئي د- خسوف شبه ظلي
6. تحدث ظاهرة الخسوف عندما يكون القمر في طور ، بينما تحدث ظاهرة الكسوف عندما يكون القمر في طور.....:
- أ- المحاق، التربييع الأول ب- البدر، التربييع الثالث ج- البدر، المحاق د- المحاق، البدر
7. لكي نرصد هلال الشهر الجديد فعلى أن نتأكد من:
أ- غروب القمر بعد غروب الشمس
ب- غروب القمر قبل غروب الشمس
ج- شروق القمر قبل شروق الشمس
د- كل الأجابات السابقة صحيحة
8. إذا حدثت ظاهرة كسوف للشمس في 15 نوفمبر فمن المستحيل أن يرى هذه الظاهرة من يعيش عند:
أ- القطب الشمالي ب- مدار السرطان ج- خط الأستواء د- القطب الجنوبي
9. خسوف القمر لا يحدث في كل شهر قمري وذلك : (أ) لان طول المخروط الضوئي للأرض قصير لا يصل الى سطح القمر لان القمر يقع في بالاتجاه المعاكس لظل الخروطي للأرض (ج) لان مدار القمر يميل بزاوية عن مستوي البروج (د) الخسوف القمري يحدث في كل شهر قمري ولكن توجد صعوبة في مشاهدته
10. قمر صناعي حجمه الزاوي 1 درجة فاذا ابتعد القمر ثلاثة اضعاف المسافة التي كان عليها ما مقدار قطره الزاوي الجديد (أ) 3 درجة (ب) 20 دقيقة قوسية (ج) 3 دقيقة قوسية (د) 33 ثانية قوسية
11. اذا كان موضع راصد على سطح الارض في منطقة شبه ظل القمر فسيرى ظاهرة
أ- خسوف كلي ب- كسوف جزئي ج- خسوف جزئي

12. تقريبا كلّ الكتلة في نظامنا الشمسي تتواجد في (1) الكواكب السيارة (2) الشمس (3) بالتساوي بين الشمس والكواكب (4) الكواكب والمذنبات والنيازك

13. تظهر البقع الشمسية داكنة بسبب:
(1) شدة حرارتها مقارنة مع باقي الكروموسفير (2) شدة حرارتها مقارنة مع باقي الفوتوسفير

14. لا تتساوى مدة الدورة النجمية والاقترانية للقمر ، السبب هو (1) حركة الأرض في مدارها (2) ميل مدار القمر عن دائرة البروج (3) أن مدار القمر اهليلجي (4) أن العقدتين الصاعدة والنازلة تمتلك حركة تقهقرية

15. الاشعة السينية الصادرة من الشمس مصدرها (أ) طبقة الفوتوسفير

(ب) طبقة الكروموسفير (ج) طبقة الاكليل.

16. الطور الاخير من اطوار وجه القمر يطلق عليه الهلال المنتهي (أو القديم) يأخذ شكل الحرف C يظهر هذا الطور (أ) في الجهة الشرقية من السماء قبل الشروق (ب) في الجهة الشرقية من السماء بعد شروق الشمس (ج) في الجهة الغربية من السماء بعد الغروب .

17. مدة الدورة النجمية للقمر حول الارض تساوي (أ) 27.32 يوم (ب) 29.53 يوم (ج) 30 يوم.

18. اذا غابت الشمس عند الساعة السادسة مساءً وغاب القمر عند الثانية عشرة ليلاً في أي طور يكون القمر (1) البدر (2) التربيعة الاول (3) التربيعة الاخير

19. يتشكل الطيف المستمر للشمس في طبقة (1) الاكليل (2) الكروموسفير (3) الفوتوسفير

أسئلة الفصل الثاني

- س1: ما المقصود بكل مما يأتي: قانون بلانك, قانون فين, تقهقر العقدتين, الدورة الاقترانية للقمر, التربيع الأول.
- س2: إذا علمت أن معدل درجة الحرارة السطحية الفعالة للشمس 5760 كلفن احسب أ- الفيض الكلي الذي ينبعث من وحدة المساحة ب- نورانية الشمس.
- س3: إذا علمت أن قطر الشمس يبلغ 1.5 مليون كم تقريبا فما هو قطرها الزاوي الذي سوف تظهر عليه في السماء.
- س4: ما هي الأجزاء الأساسية التي يتألف منها جو الشمس ؟ أكتب ما تعرفه عن كل جزء باختصار
- س5: ما هي الظواهر السطحية التي يمكن ملاحظتها للشمس عددها فقط؟
- س6: احسب الجاذبية السطحية وسرعة الإفلات من على سطح الشمس .
- س7: إذا علمت أن معدل بعد الأرض عن الشمس يساوي وحدة فلكية واحدة ومدة دورتها المدارية حول الشمس تساوي سنة واحدة فما مقدار كتلة الشمس؟
- س8: إذا علمت أن معدل درجة الحرارة السطحية للشمس هي 5760 كلفن احسب أ- كمية الطاقة الإشعاعية المنبعثة خلال وحدة الزمن من وحدة المساحة الشمس ب- نورانية الشمس ج- الثابت الشمسي
- س9: القطر الزاوي للقمر في السماء يعادل 0.518 درجة ما هو مقدار قطر القمر الحقيقي بوحدات الكيلومتر إذا علمت أن بعد القمر عن الأرض يساوي 384404 كيلومتر؟
- س10: تكلم عن أوجه القمر خلال دورته الاقترانية.
- س11: ما هو الشهر النجمي؟ ما هو الشهر الاقتراني؟ لماذا يختلفان؟
- س12: إذا علمت أن مركز ثقل الأرض والقمر يقع على بعد 4617.6 كم من مركز الأرض عندما يكون البعد بين مركزي الأرض والقمر 382160 كم. فما هي النسبة بين كتلة الأرض والقمر؟
- س13: ما هو الفرق بين الكسوف والخسوف؟
- س14: ما هي الأهمية العلمية لدراسة الكسوفات.
- س15: (أ) احسب طول الظل المخروطي للقمر عند كسوف الشمس ، افرض أن معدل بعد القمر عن الأرض يساوي 384440 كم . (ب) احسب طول الظل المخروطي للأرض.
- س16: لماذا تكون الشمس صفراء اللون؟ إذا انخفضت درجة الحرارة السطحية للشمس فكيف سيبدو لونها؟
- س17: (أ) ما المقصود بالثابت الشمسي؟ باستخدام هذا الثابت احسب نورانية الشمس . (ب) ما الفرق بين طور القمر في موضع الهلال الجديد (الوليد) والهلال القديم خلال دورته الاقترانية؟
- س18: يمتلك القمر ظل مخروطي الشكل قاعدته الجهة المظلمة من سطح القمر وقمته تمتد بالاتجاه المعاكس للشمس. ما مقدار طول هذا الظل المخروطي عندما تكون المسافة بين القمر والشمس تساوي 149.235×10^6 كم .
- س19: ما مقدار كتلة القمر إذا علمت سرعة الإفلات من سطحه تساوي 2.38 كم/ثانية
- س20: احسب مقدار القطر الزاوي للأرض بالنسبة لرائد فضاء من على سطح القمر؟
- س21: نجم درجة حرارته السطحية 2500 كلفن ما مقدار الطول الموجي الذي عنده يبعث النجم اعظم طاقة؟ كيف يظهر لون النجم في السماء

- س22: احسب بعد القمر الذي يجب أن يكون عليه لكي يحجب بشكل تام قرص الشمس أثناء الكسوف.
- س23: اذا علمت أن كمية الطاقة الاشعاعية المنبعثة خلال وحدة الزمن من وحدة المساحة السطحية للشمس يساوي 6.23×10^{10} ارك/سم². ثانية ، أحسب الطاقة الكلية المنبعثة من الشمس.
- س24: اشرح الطبقات الداخلية لتركيب الشمس.
- س25: خلال الدورة الاقترانية للقمر ما الفرق بين أوجه القمر عند التربيع الاول والتربيع الأخير
- س26: احسب قيمة الثابت الشمسي
- س27: ماهي الطرق المستخدمة في قياس بعد القمر
- س28: اذكر الاسباب التي تؤدي الى الانبعاثات الكهرومغناطيسية الاتية من الشمس
أ. الاشعة السينية
ب. الاشعاعات فوق البنفسجية
ج. الاشعاعات الراديوية
- س29: اذا علمت أن معدل بعد القمر عن الارض يساوي 378000 برهن أن طول ظل القمر عند كسوف الشمس يقارب 371000 كم
احسب مقدار كتلة الارض (انظر فقرة الثوابت في آخر الاسئلة)