كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الرابعة

المادة : فيزياء الفلك

المحاضرة : مقرر/نظري/

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

الفصل الأول
تاريخ علم الفلك

مقدمة:

لاشك وأن بديع خلق السموات والأرض وما يكتنفهما من أسرار، كان ومازال مثار اهتمام الإنسان العاقل، الإنسان الذي امتلك حجتي الفكر والإدراك وصولاً للمعرفة. ذاك المخلوق المهيأ للتربع على عرش الملكوت. قال تعالى "إني جاعل في الأرض خليفةً"، المسلح بحواسه، القادر على اكتساب الخبرة والمعرفة ونقلها بالتواصل مع بني جنسه، القادر على ترويض المخلوقات الأخرى، وتسخير بعضها لخدمته. نراه طوراً يصيب وأطواراً يخيب، مُجيّراً إخفاقه لقدرات خفية جعل منها آلهةً يقدم لها القرابين، ويصنع لها التماثيل والأوابد، وينسج لها خياله الخصب الأساطير والملاحم الزاخرة بالبطولات والحكم. حقاً أيها الإنسان أنت آية الخالق في خلقه ما أعظمك ؟.

لقد قام الإنسان - على مر العصور - بتدوين معارفه التي استقاها من واقعه، وشيد الحضارات، واستبدل الآلهة القديمة (التي أفشيت أسرارها) بأخرى مازالت مجهولة.

فالشمس وعظمة ضيائها المبهر صارت آية نهاره الذي جعلته مبصراً يسعى فيه متلمساً أسباب رزقه وعيشه.

والقمر وسحر نوره صار آية ليله الذي يسكن إليه، ويحتسب فيه أيامه وشهوره وسنيه، ويتغزل الشعار بجماله وأنسه.

والنار المقدسة عند الهنود التي مازالت موقدة حتى وقتنا هذا. والنيل العظيم الذي يُغرق فيضه، ويُهلك غيضه.

والريح العاصفة وما يرافقها من رعود قاصفة، تحمل السحاب الماطر وتبشر بخير وافر، وتنذر ربان البحار بشر مستطار. وظواهر خسوف القمر وكسوف الشمس وسقوط النيازك وعبور المذنبات، جميعها كانت نُذر شؤم أحيطت بهالة من القدسية، ونُسبت لأرواح وأشباح خفية، تتحكم فيها لتعبر من خلالها على السطوة والقدرة، وعلى الرضا والقبول، أو السخط المرفق غالباً - حسب المعتقدات - بحلول الكوارث (زلازل مدمرة، فيضانات تُغرق الزرع والضرع، قحط يولد مجاعة، حروب، أمراض وأوبئة كالطاعون.....).

طبعاً، لم تكن هذه المشاهدات علامة فارقة لحدثٍ محددٍ بعينه، ولا يوجد أي رابط بينها، بل هي مظاهر طبيعية في دورة الحياة والكون. بيدَ أن رصد الإنسان لتواتر تكرار حدوثها وتعاقُبها على مر العصور، ونظراً لجهله بمصدرها، جعله يقرِن بينها ويربط هذا بذاك، فقام بِردّها لقوىً خفية حاكمة تستطيع فعل ما يعجز الإنسان عن فعله، فقدسها وجعل منها آلهة تتمتع بحواس بشرية مرهفة، فسعى لمُرضاتها ودرءِ شرورها، وتهيّبها خشية غضبها، فهرع يقدم لرموزها المشيدة الأضاحي والنذور. (كان قدماء المصريين يقدمون للنيل عند مفيضه أجمل فتاة في البلاد).

أهمية علم الفلك في الحياة:

كان لعلم الفلك Astronomy الذي اقترن بالتنجيم (قراءة الطالع) النصيب الأوفر في التاريخ المدون لكافة الحضارات القديمة، ومازال حتى عصرنا الراهن يتبوأ المنزلة الرفيعة بين العلوم. لذلك فقد اختلط عند الإنسان علم الواقع بالخرافة، والحقيقة بالأسطورة، والإدراك الواعي بالبدائية والسذاجة.

يمكن تعريف علم الفلك بأنه العلم الذي يدرس الكون Universe منذ اللحظات الأولى لنشوئه مروراً بشبابه وصولاً إلى شيخوخته واللحظات الأخيرة عند احتضاره. وحسب ما ورد في الموسوعة الحديثة هو علم يدرس نشأة وتطور وتوزع المادة (بحالاتها المختلفة) في الكون. وحيث أن المادة العلمية مستمدة من المشاهدات العينية لحركة الأجرام والأجسام (مجرات ونجوم وكواكب ومذنبات وشهب....) في القبة السماوية Celestial bodies، فقد ولّدت السماء البعيدة الموغلة عمقاً واتساعاً في وجدان الإنسان (الذي لم يجد لنهايتها حدوداً أو تخوماً واضحة) الشعور بالرهبة والخوف فذهب لعبادتها وتقديسها. لا شك إنه صنع صانع أتقن كل شيء صنعه ، إنه الله، فسبحان الله أحسن الخالقين (لقد ورد ذكر السماء في القرآن الكريم في 120 آية وذكر السماوات في 190 آية).

يمكن ربط علم الفلك بحياة الإنسان بتسليط الضوء على النقاط التالية:

- تحديد المواقع والاتجاهات على الأرض (اليابسة والبحر)، الشمس في النهار، والقمر والنجوم في الليل. ويتم ذلك بمن خلال معرفة اتجاهها وقياس زاوية الارتفاع الظاهرية للنجم عن مستوي الأفق. مما يساعد في الملاحة البرية والبحرية.
- ضبط الزمن: من خلال النظر لمواضع الحركة الظاهرية للشمس في القبة السماوية نهاراً، بدءاً من لحظة شروقها إلى لحظة غروبها، فصنعوا المزاول الشمسية. وبالنظر ليلاً لأماكن النجوم (القطب الشمالي، والشعرى اليماني "سهيل" جنوباً)، ومكان القمر (بأطواره المختلفة، خلال الشهر القمري).
- تحديد مواعيد الحراثة والحصاد وفصول السنة ومواسم الأمطار والأنواء. فوضع البابليون جداول بهذا الصدد. وكذلك الأمر بالنسبة للمصريين القدماء في تحديد أوقات فيضان النيل.
- تطور العلوم: علم الحركة الذي يدرس حركات النجوم والأفلاك باستخدام العلوم الرياضية كالمعادلات التفاضلية

والتحليل والتبولوجيا. وفي عصرنا الحالي علم الميكانيك السماوي الذي أسسه العالم الفرنسي بوانكاريه.
وفي تقدم الفيزياء النووية من خلال الكشف عن تفاعلات الاندماج النووي التي تستهلك الهيدروجين كوقود للنجوم وتحويله إلى هليوم. ومازالت البحوث جارية للتمكن من تحقيق هذا التفاعل على الأرض، باعتباره من أنظف التفاعلات النووية، ويبشر كوقود بديل عن الوقود الأحفوري، أو المحطات الذرية والنووية التي تهدد مخلفاتها الخطيرة الإنسان والبيئة.
وفي تطور علوم الفضاء، من خلال دراسة تركيب السحب والسدم الفاصلة بين النجوم، تلك الدراسات التي أودت لإرسال أول قمر صناعي عام ١٩٧٥م. وكذلك رصد النيازك والمذنبات التي قد يتقاطع مسارها مع مسار الأرض لتفادي الكارثة التي حلت بها وأدت لانقراض الديناصورات.

فروع علم الفلك: يتفرع علم الفلك إلى:

الفيزياء الفلكية: Astrophysics
ويدرس حركة الأجرام ومساراتها وبعضاً من خواصها الفيزيائية (شدة الإضاءة، والكثافة، ودرجة الحرارة) إضافةً لتركيبها الكيميائي.

الفلك النجمي: Stellar astronomy
ويدرس تطور النجوم في مجراتها وخواصها وتركيبها وحركتها.

علم الكواكب: Planetary science
ويدرس الكواكب السيارة حول النجوم وفي مقدمتها كواكب المجموعة الشمسية.

علم الفضاء: Cosmology
ويدرس المناطق الممتدة بين النجوم.

علم الفلك الإشعاعي: Radio astronomy
وهي الوسيلة الوحيدة التي تمكننا من دراسة النجوم عن بُعد. وذلك من خلال دراسة طيف الأشعة الصادر عنها. (المرئية، وما تحت الحمراء، وما فوق البنفسجية، وأشعة إكس، وأشعة الخلفية الكونية)

علم الفلك عند الشعوب:

علم الفلك عند قدماء المصريين (الفراعنة):

- آمن قدماء المصريين منذ ٣٠٠٠ سنة ق م بإله سرمدي لم يلد ولم يولد، واتخذوا من الشمس رمزاً للإله رع مصدر القوة والنماء ويرمز لها بدائرة تتوسطها نقطة ◉. والإله ست إله الشر المسبب للزلازل والكسوف والخسوف.
- واتفقوا على وجهة النظر الفلسفية القائلة: أن ظروف الزمان (الحاضر مُشتق من الماضي، والمستقبل مُشتق من الحاضر).
- كما أطلقوا بعض التسميات الخاصة بالتجمعات النجمية والكواكب السيارة التالية:
التجمعات النجمية المعبرة عن الأبراج (الدلو – جزيرة الألفنتين، الحوت – إسنا، الحمل – طيبة).
والكواكب السيارة القريبة من الأرض (المريخ – أبولونيوس، المشتري – أرمنث، الزهرة – دندرة).
- اتخذوا السنة النجمية وحدة لقياس الزمن، وهي مكونة من ٣٦٥ يوم وربع اليوم. مقسمة على ١٢ شهر بمعدل ٣٠ يوم للشهر الواحد، يضاف خمسة أيام أسموها أيام النسيء يقيمون فيها أعيادهم احتفاءً بقدوم السنة الجديدة.
واعتبروا ظاهرة الشروق الاحتراقي Helical rising لنجم الشعرى اليماني قبل شروق الشمس مباشرةً بداية السنة النجمية. وزينوا أسقف معابدهم بصور البروج المعروفة لديهم.
- صمموا المسلات كمزاول شمسية لقياس الزمن.
- حددوا اتجاه الشرق يوم الانقلاب الصيفي (٢١ حزيران) والتزموا بتحديد الجهات الأربع في تشييد مبانيهم ومعابدهم ومدافنهم (الأهرامات). وقد لوحظ في أحد الأهرامات وجود ثقب يمتد إلى أحد القبور لايدخله شعاع الشمس إلا مرة واحدة في السنة.
- إنشاء مدرسة الإسكندرية الفلكية: ضمت المدرسة مرصداً لرصد الأجرام السماوية واشتغل به الكثير من علماء الفلك والرياضيات ومن إنجازاتها:
١- الأرض كروية كما اعتقد بها العالم إرستاركس، والشمس مركز الكون وليست الأرض.
٢- قياس مواقع النجوم. وتفسير الظواهر الفلكية مثل كتاب المجسطي لبطليموس.
٣- قياس محيط الأرض: وتم ذلك على النحو التالي:

قام إيراتوسذينس Eratosthenes (**أرسطرخوس**) خلال فترة حياته ٢٧٦ – ١٩٤ ق م (قبل الميلاد) بقياس زاوية
ميل أشعة الشمس المتوازية، الساقطة عمودياً على بئر في قرية سيين بجوار مدينة أسوان المصرية B الموضحة بالشكل ( ) فوجدها، $\theta_B = 0^o$ (حيث يكون ظل الشخص تحت قدميه مباشرةً)، وذلك في يوم

الانقلاب الصيفي الواقع في ٢١ حزيران، وبنفس الوقت، أو في العام التالي بذات التوقيت، قام بقياس زاوية ميل الأشعة الشمسية الساقطة على مسلة الإسكندرية A فوجدها، $\theta_A \approx 7{,}2^o$. وهي نفسها الزاوية المركزية المقابلة لطول قوس الأرض الواصل بين المنطقتين $\overset{\frown}{AB}$. وبعد قياسه للمسافة AB بين المدينتين البالغة $AB = 878\ km$. وبإجراء حسبة التناسب التالية:

طول قوس الأرض الواصل بين المنطقتين $\overset{\frown}{AB}$ ..... يوافق الزاوية $\theta_{AB} \approx 7{,}2^o$.

طول محيط الأرض $\ell = 2\pi r$ ..... يوافق الزاوية $\theta_\ell \approx 360^o$.

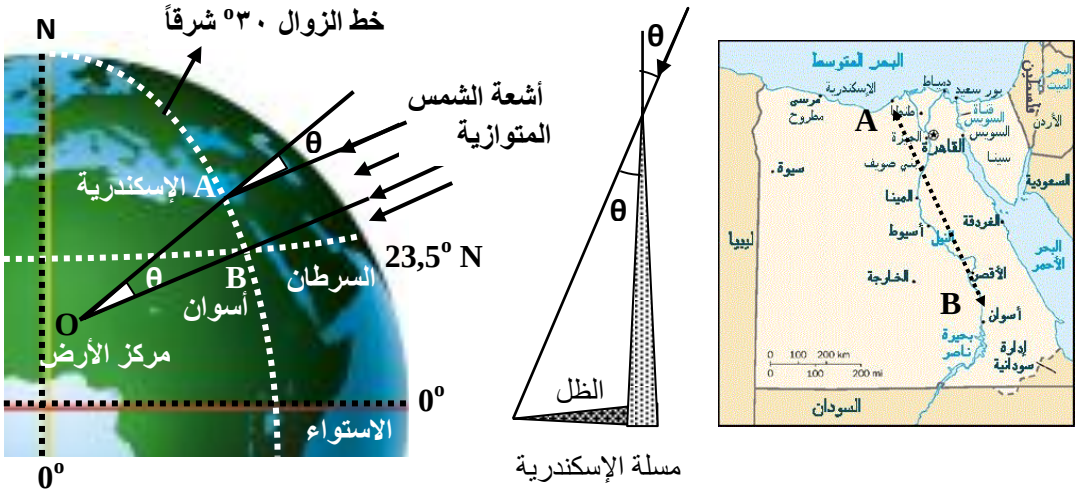
$$\ell = \frac{360}{7{,}2} \times 878 = 50 \times 878 = 43900\ km$$

فيكون نصف قطر الأرض

$$r = \frac{\ell}{2\pi} = \frac{43900\ km}{2 \times 3{,}14} \approx 6990\ km$$

تُعطي القياسات الدقيقة الحديثة لمتوسط نصف قطر الأرض $r \approx 6378\ km$

فيكون محيطها الحقيقي $\ell = 2\pi r \approx 40053\ km$



شكل ( )

تصورات المصريين:

اعتقد قدماء المصريين بأن الأرض مستطيلة الشكل يتوسطها نهر النيل الذي ينبع من نهر أعظم يجري حولها. وتسبح فوقه النجوم (الآلهة). والسماء ترتكز على جبال بأركان الكون الأربعة وتتدلى منها هذه النجوم.

لهذا كان الإله رع يسير حول الأرض باستمرار. ليواجه الثعبان أبوبي (رمز قوى الظلام الشريرة) حتى يصبحا خلف الجبال الغربية التي ترفع السماء. وهناك يُهزم رع ويسقط، فيحل الظلام. وفي الصباح ينتصر رع على هذه القوى الشريرة ويستيقظ من جهة الشرق. بينما يسير حورس إله القمر بقاربه ليطوف حول العالم. وكان القمر بمثابة إحدى عيني حورس. فيلاحقه أعداؤه ليفقئوا هذه العين وإلقائها في النيل وينجحوا مجتمعين في هذه المهمة فيظلم القمر. لكن الإله رع يهب لنجدة عين حورس (القمر) ويعيدها لحورس.

وفي إحدى الرسومات يصور المصريون السماء على أنها بقرة عظيمة، حُليت بطنها بالنجوم، وتحتها يقف الإله شو (اله الفضاء) ويرفعها بذراعيه.

كما تصوروا الشمس كعجل ذهبي، يولد في الصباح من رحم بقرة السماء، ويكبر خلال النهار إلى أن يصبح ثورا في المساء، فيلقح أمه لكي تلد شمساً جديدة في الصباح التالي.

وتصوروها أيضا بأنها جُعل (حشرة) يدفع الشمس نحو السماء، كما يفعل الجعل بدحرجة كرة من الروث أمامه.

وتصوروها أيضا بأنها امرأة لها طفل يكبر خلال النهار، وفي المساء يصير كهلاً ويختفي بعد الغروب في العالم السفلي.

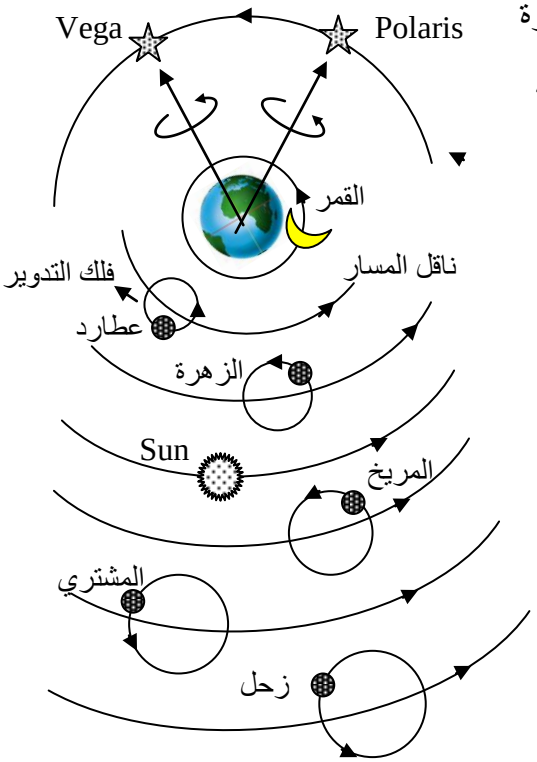
<u>علم الفلك عند اليونانيين (الإغريق):</u>

أولاً: في المرحلة المبكرة:

- ابتكر اليونانيون مفهوم الكرة السماوية Celestial sphere (القبة السماوية المحيطة بالأرض وتسبح فيها الأفلاك)
- فسروا ظواهر شروق وغروب الشمس والكواكب على أساس دوران الكرة السماوية.

- قالوا بأن النجوم في النهار موجودة لكن ضوء الشمس يحجبها عن الأرض Geia (بالإغريقية).
- عرّفوا الحركة السنوية للشمس بمقدار درجة واحدة كل يوم باتجاه الشرق.
- قدّروا ميل الدائرة الكسوفية على دائرة الاستواء بدقة كبيرة $23,5^{o}$.
- فرقوا بين النجوم والكواكب واعتبروا الشمس والقمر من الكواكب.

ثانياً: في المرحلة المتأخرة (وكان علماؤها من علماء مدرسة الإسكندرية)
- أقاموا مرصداً على جزيرة رودس. وتعرفوا على الكثير من الأبراج وأسموها بأسماء الحيوانات.
- عملوا جداول اشتملت على ٨٥٠ نجماً وحددوا مواقعها في الكرة السماوية.
- توصل هيباركوس إلى ظاهرة ترنح قطب الكرة السماوية، وهذه الظاهرة معروفة حالياً، حيث يرسم امتداد محور دوران الأرض دائرة صغرى على الكرة السماوية تكتمل كل ٢٦٠٠٠ سنة. وعليه سيحل بعد ١٣٠٠٠ سنة نجم النسر ڤيجا Vega كنجم للقطب الشمالي بدلاً من نجم القطب الشمالي الحالي Polaris. كما هو موضح بالشكل ( ).



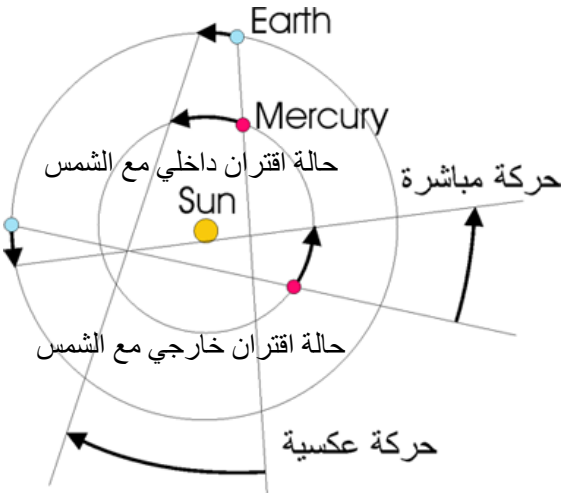
منظومة مركزية الأرض البطلمية

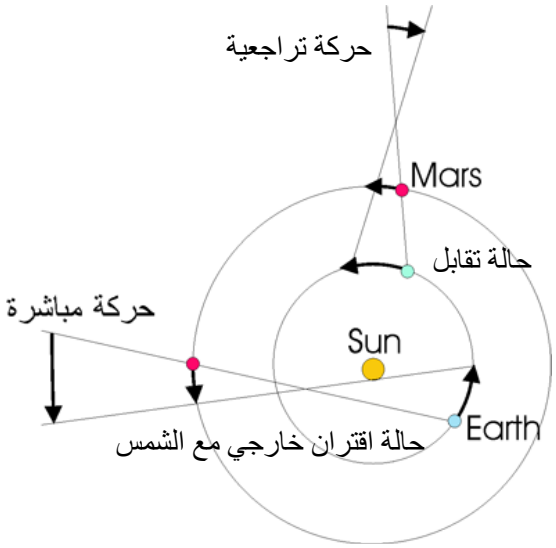
شكل ( )

كما لاحظ (هيباركوس) - انطلاقاً من اعتبار الأرض في مركز الكون - عدم انتظام سرعة الشمس خلال فصول السنة في حركتها على فلك التدوير Elicycle، لذلك اقترح فكرة التدوير، التي تعني أن الكوكب يدور في فلك دائري خاص به، حيث يتحرك مركزه حركة منتظمة على محيط فلك التدوير كما هو موضح بالشكل ( ). فقدروا طول السنة الشمسية بخطأ مهمل قدره ٦ دقائق عما هو عليه الآن.
وأيد فيما بعد بطليموس فكرته بمركزية الأرض.

تفسيره للحركة التراجعية للكواكب Retrograde motion.

يمكن ملاحظة الحركة التراجعية للكواكب السيارة (داخلية أو خارجية) عند مراقبتها اليومية من الأرض وهي تتحرك حول الشمس، بعكس عقارب الساعة. كما بالشكل ( ).
حيث تكون سرعة الكوكب الواقع في مسار داخلي أكبر منها لكوكب يقع في مسار خارجي (بالنسبة للأرض).
فمن أجل كوكب خارجي كالمريخ مثلاً: تُلاحظ حركته التراجعية عندما يكون في حالة تقابل مع الشمس بالنسبة للأرض.
وتُلاحظ حركته المباشرة عندما يكون في حالة اقتران مع الشمس.
ومن أجل كوكب داخلي كعطارد أو الزهرة مثلاً: تُلاحظ حركته التراجعية عندما يكون في حالة اقتران داخلي مع الشمس. وتُلاحظ حركته المباشرة عندما يكون في حالة اقتران خارجي مع الشمس.





وكنتيجة: نحصل على الحركة التراجعية (العكسية) عندما يكون الكوكبان بجهة واحدة بالنسبة للشمس.
ونحصل على الحركة المباشرة عندما يكون الكوكبان بجهتين مختلفتين بالنسبة للشمس.

أقدار النجوم: Magnitudes

صنف هيباركوس (Hipparchus) الإغريقي (في القرن الثاني ق م) النجوم حسب درجة لمعانها (السطوع أو البريق)، أو ما يسمى الآن بأقدار النجوم Magnitude أو مراتب اللمعان Brightnes classes، حيث يكون ألمعها من القدر ((1)) وأخفتها لمعاناً من القدر ((6)). أما دون ذلك فلا يُرى بالعين المجردة. وهو ما يعرف الآن بالقدر الظاهري Apparent magnitude، وهذا طبعاً يتعلق بحجمها وبعدها عن الأرض ودرجة حرارتها واتجاه حركتها.

القدر الظاهري: Apparent magnitude

في أواسط القرن ١٩ وتحديداً في عام ١٨٥٦ أعاد العالم نورمان بوغسن Norman pogson تصنيف النجوم حسب لمعانها. حيث اعتبر أن لمعان (بريق) نجم من القدر ((1)) أشد بـ ١٠٠ مرة من لمعان نجم من القَدر ((6)).

أي أن الطاقة التي يشعها نجم من القدر ((1)) تساوي ١٠٠ مرة الطاقة التي يشعها نجم من القدر ((6)).

نلاحظ أن الرقم ١٠٠ يخص فرق في القدر الظاهري مقداره ٥ أقدار، أي $\Delta = ((6)) - ((1)) = 5$

لحساب نسبة لمعان نجمين فرق قدرهما يساوي الواحد نفرض لمعان النجم ذو القدر ((6)) هو x فيكون لمعان النجم ذو القدر ((1)) هو 100 x، ونكتب ما يلي:

الأقدار ((-)): ((1)) , ((2)) , ((3)) , ((4)) , ((5)) , ((6))

اللمعان γ: $n^5x= 100\,x$, n^4x , n^3x , n^2x , n^1x , n^0x

$$n^5 x = 100\,x \quad \Rightarrow \quad \boxed{n = \sqrt[5]{100} \approx 2{,}512}$$

ومنه نجد نسبة لمعان نجمين فرق قدرهما يساوي الواحد $\Delta = 1$:

$$\frac{\gamma^{((1))}}{\gamma^{((2))}} = \frac{\gamma^{((2))}}{\gamma^{((3))}} = \frac{\gamma^{((3))}}{\gamma^{((4))}} = \frac{\gamma^{((4))}}{\gamma^{((5))}} = \frac{\gamma^{((5))}}{\gamma^{((6))}} = n^1 = n^{\Delta} \approx 2{,}512 \quad \Leftrightarrow \quad \frac{\gamma^{((2))}}{\gamma^{((1))}} = \frac{1}{2{,}512}$$

لذا يمكن أن نكتب: " نسبة لمعان نجمين فرق قدرهما يساوي قدر واحد بالشكل التالي ":

$$\delta^{((\Delta=1))} = \frac{\gamma^{((2))}}{\gamma^{((1))}} = \frac{1}{2{,}512} \quad \Leftrightarrow \quad \delta^{((\Delta=1))} = 1:2{,}512$$

ومن أجل نجمين فرق قدرهما $\Delta = 2$: نأخذ على سبيل المثال القدرين ((4)) و ((6)) فيكون لمعان النجم من القدر ((4)) بدلالة لمعان النجم من القدر ((6)) هو:

$$\gamma^{((4))} = n^2\, x = (2.512)^2\, x \approx 6x = 6\gamma^{((6))}$$

وبدلالة فرق القدر: أي نسبة النجم الألمع إلى الأقل لمعان $= (2.512)^{\Delta}$

$$\frac{\gamma^{((4))}}{\gamma^{((6))}} = (2.512)^2 \approx 6 \quad \Leftrightarrow \quad \frac{\gamma^{((6))}}{\gamma^{((4))}} \approx \frac{1}{6} \quad \Leftrightarrow \quad \delta^{((\Delta=2))} = 1:6$$

ومن أجل نجمين فرق قدرهما $\Delta = 3$: نأخذ على سبيل المثال القدرين ((3)) و ((6)) فيكون لمعان النجم من القدر ((3)) بدلالة لمعان النجم من القدر ((6)) هو:

$$\gamma^{((3))} = n^3\, x = (2.512)^3\, x \approx 16x = 16\gamma^{((6))}$$

وبدلالة فرق القدر نجد: $\delta^{((\Delta=3))} = 1:16$

وبنفس الأسلوب نجد أن نسبة لمعان نجمين فرق قدرهما $\Delta = 4$ نأخذ القدرين ((2)) و ((6)) فنجد:

$$\frac{\gamma^{((2))}}{\gamma^{((6))}} = n^4 x = (2{,}512)^4\, x \approx 40 \quad \Leftrightarrow \quad \delta^{((\Delta=4))} = 1:40$$

ويمكن التأكد من نسبة القدرين ((1)) و ((6)) حيث $\Delta = 5$

$$\frac{\gamma^{((1))}}{\gamma^{((6))}} = n^5 x = (2{,}512)^5\, x \approx 100 \quad \Leftrightarrow \quad \delta^{((\Delta=5))} = 1:100$$

سؤال: أوجد نسبة لمعان نجمين فرق قدرهما $\Delta = 0{,}5$ و $\Delta = 10$ و $\Delta = 20$

الحل:

$$\frac{\gamma^{((0{,}5))}}{\gamma^{((1))}} = n^{0{,}5} = \sqrt{2{,}512} \approx 1{,}6 \quad \Leftrightarrow \quad \delta^{((\Delta=0{,}5))} = 1:1{,}6$$

$$\frac{\gamma^{((1))}}{\gamma^{((11))}} = n^{10} = (2{,}512)^{10} \approx 10000 \quad \Leftrightarrow \quad \delta^{((\Delta=10))} = 1:10^4$$

$$\frac{\gamma^{((1))}}{\gamma^{((21))}} = n^{20} = (2{,}512)^{20} \approx 10^8 \quad \Leftrightarrow \quad \delta^{((\Delta=20))} = 1:10^8$$

يمكن سرد النتائج السابقة في الجدول التالي:

فرق القدر	نسبة اللمعان (السطوع)	فرق القدر	نسبة اللمعان (السطوع)
0,5	1:1,6	4	1:40
1	1:2,512	5	1:100
2	1:6	10	$1:10^4$
3	1:16	20	$1:10^8$

وفي العموم: يمكن التعبير عن نسبة اللمعان (السطوع) الظاهري للنجوم بدلالة فرق قدرها الظاهري بالعلاقة الرياضية البسيطة التالية:

$$\Delta = 2{,}512\ Log_{10}\delta \approx 2{,}5 Log_{10}\frac{\gamma^{((x))}}{\gamma^{((y))}} \quad \Rightarrow \quad Log_{10}\frac{\gamma^{((x))}}{\gamma^{((y))}} \approx \frac{\Delta}{2{,}5} \approx 0{,}4\Delta \quad \Rightarrow \quad \frac{\gamma^{((x))}}{\gamma^{((y))}} = (10)^{0{,}4\Delta} \approx (2{,}512)^{\Delta}$$

حيث $x < y$ (كقيمة عددية) أي أن نسبة لمعان نجمين فرق قدرهما الظاهري $\Delta = 3$ هو:

$$\gamma^{((x=1))} = (2{,}512)^{\Delta=3}\gamma^{((y=4))} = 16\gamma^{((y=4))} \quad \Leftrightarrow \quad \delta = \frac{\gamma^{((y=4))}}{\gamma^{((x=1))}} = \frac{1}{16}$$

وللعلم تستطيع العين السليمة تمييز نجم من القدر ((6,5)) في ليلةٍ صافية وحالكة (لا مقمرة)، في حين يستطيع تلسكوب هابل مشاهدة نجم من القدر ((23))، أي أن النجم أخفت بـ ١٠٠ مليون مرة من أي نجم تستطيع العين المجردة رؤيته (تمييزه).

ونظراً لوجود نجوم يفوق قدرها الظاهري القدر ((1)) فقد تم إدخال القدر صفر والقدر السالب.

بهدف المعايرة: تم التوجه في البداية إلى نجم القطب لاعتباره من القدر صفر، لكن عدم انتظام لمعانه (على مر الفصول) صرفَ النظر عنه، واتُّخذ نجم النسر الواقع Vega في كوكبة القيثارة Lyra بقدر ظاهري صفر.

فمثلاً نجم الشعرى اليمانية Sirius هو ألمع نجوم السماء، وقدره الظاهري يساوي ((-1,4))، وهو تقريباً ألمع بـ ١٠ مرات من أي نجم من القدر ((1)). فيكون قدر الشمس ((-26,7)) ، وقدر الزهرة ((-4,3)).

القدر المطلق: Absalute magnitude

في الحقيقة لا يعبر القدر الظاهري للنجم عن كمية الطاقة التي يشعها، لأن هذا المقياس غير متعلق بقربه أو بُعده عن الأرض، فعلى سبيل المثال يمكنك رؤية نجوم بعيدة ذات لمعان أشد من تلك القريبة، بالمقابل وإن تساوى لمعان نجمين فهذا لا يعني أنهما بنفس القدر، وأنهما على مسافة واحدة من الأرض، وذلك بسبب اختلاف طبيعة الأوساط البينية (الفاصلة)، من غبار كوني وسدم وغازات إلى ما هنالك.

وبغية التصنيف الصحيح لدرجة اللمعان الحقيقي True brightness قام الفلكيون بابتداع فكرة القدر المطلق، وتقضي هذه الفكرة بأن تُجرى القياسات على كل نجم وذلك بوضعه منفرداً (نظرياً) عند مسافة قياسية من الأرض تعادل ١٠ فراسخ نجمية (32,7 Ly).

قدري الشمس الظاهري والمطلق:

نفرض $\Delta = M - m$ حيث $m \equiv ((x))$ القدر الظاهري للشمس على مسافة $d^{E-s} = 1Au \approx 5\times10^{-6}\ pc$ و M قدرها المطلق على مسافة 10 pc فراسخ نجمية.

$$\frac{\gamma^{((sun))}_{1Au}}{\gamma^{((sun))}_{10Pc}} = n^{\Delta} = n^{(M-m_S)} = (2{,}512)^{(M-m_S)} \ \Rightarrow \ (M-m_S)\,Log\,(2{,}512) = Log\,(\frac{\gamma^{((sun))}_{1Au}}{\gamma^{((sun))}_{10Pc}})$$

$$\Rightarrow\ 0{,}4(M-m_S) = Log\,(\frac{\gamma^{((sun))}_{1Au}}{\gamma^{((sun))}_{10Pc}}) \Rightarrow\ (M-m_S) = \frac{10}{4}Log\,(\frac{\gamma^{((sun))}_{1Au}}{\gamma^{((sun))}_{10Pc}}) = 2{,}5Log\,(\frac{\gamma^{((sun))}_{1Au}}{\gamma^{((sun))}_{10Pc}}) \qquad (*)$$

وبما أن اللمعان يتناسب عكساً مع مربع البعد X^2

$$\frac{\gamma^{((sun))}_{1Au}}{\gamma^{((sun))}_{10Pc}} = (\frac{X^{((sun))}_{10Pc}}{X^{((sun))}_{1Au}})^2$$

بالتعويض في (*)

$$(M-m_S) = 2{,}5Log\,(\frac{X^{((sun))}_{10Pc}}{X^{((sun))}_{1Au}})^2 = 5Log\,\frac{X^{((sun))}_{10Pc}}{X^{((sun))}_{1Au}} = 5Log\,\frac{10\,pc}{5\times10^{-6}\,pc}$$

$$(M-m_S) = 5[Log\,(10) - Log\,(5\times10^{-6})]$$

$$(m_S - M) = 5[Log\,(5\times10^{-6} - Log\,(10)] = 5[-5{,}3-1)] = -26{,}6-5$$

بالمطابقة نجد أن القدر الظاهري للشمس $m_S = -26{,}6$ وقدرها المطلق $M = 5$

وبما أن الشمس ذات القدر الظاهري ((-26,7)) ألمع نجوم السماء، فإنها وفقاً للقدر المطلق من أخفت النجوم المرئية بالعين المجردة، حيث يبلغ قدرها المطلق الدرجة ((5)) كما هو موضح في الجدول التالي:

اسم النجم عربي ولاتيني	الزمن	اسم الكوكبة (البرج) عربي ولاتيني	المسافة (السنة الضوئية Ly)	القدر الظاهري	القدر المطلق
الشمس Sun	8^m	-	16×10^{-6}	- 26,7	٥
القمر Moon	$1{,}3^{Sec}$	-		- 12,6	
الزهرة Venus	$2{,}3^m$	-		- 4,4	
الشعرى اليمانية Sirius		الكلب الأكبر Canis Major	8,70	- 1,4	1,5
سهيل Canopus		السفينة Carina		- 0,62	
رجل الظلمان Alpha Centauri- A		قنطورس Centaurus		- 0,28	
السماك الرامح Arcturus		العواء Bootes	36	- 0,05	- 0,3
النسر الواقع Vega		القيثارة Lyra	27	0,0	0,5
العيوق Capella		ممسك الأعنة Auriga		0,08	
الرجل Rigel		الجبار Orion	800	0,18	
الشعرى الشامية Procyon		الكلب الأصغر Canis Minor		0,40	
آخر النهر Achernar		النهر Eradinus		0,45	
منكب الجوزاء Betelgeuse		الجبار Orion	520	0,8	- 5,5
بروكسيما سنتوري Proxima Centauri		قنطورس Centaurus	4,22		
ألفا سينتوري Alpha Centauri-B		قنطورس Centaurus	4,39	- 0,01	4,34
النسر الطائر		**Altair**	15,7	0,77	2,3
قلب العقرب			520	0,1	- 5,4
ذنب الدجاجة Deneb			1600	1,3	- 6,9
برنارد Barnard		الحواء Ophiuchus	5,94		
وولف Wolf		الأسد	7,8		
لالند Lalande		الدب الأكبر Ursa Major	8,31		

<u>علم الفلك في الصين:</u>

- نظموا تقويماً يرجع إلى القرنين ١٤ و ١٣ ق م. وقدروا طول السنة بـ ٣٦٥ يوم وربع اليوم.
- أعدّ الفلكي "شيه شن" قائمة بـ ٨٠٠ نجم. ودونوا سجلات للمذنبات الزائرة والنيازك والشهب تعود للعام ٧٠٠ ق م.
- رصدوا البقع الشمسية، وتعرفوا على النجوم البراقة. واكتشفوا النجوم المنفجرة (النوڤا الكبرى Super nova)، في مجموعة الثور سنة ١٠٥٤ بعد الميلاد.

تصورات الصينيين:

اعتبر الصينيون الأرض عربة ضخمة أركانها أعمدة ترفع مظلة (السماء) والصين تقع في وسطها ويجري النهر السماوي (النهر الأصفر) من خلال عجلات العربة ويقوم السيد الأعلى المهيمن على أقدار السماء والأرض بملازمة نجم القطب الشمالي بينما يقوم التنين بافتراس الشمس والقمر.

وفي القرن الثاني ق.م. وضع الفلكي الصيني(هياهونج) نظرية السماء الكروية حيث قال أن الكون بيضة والأرض صفارها و قبة السماء الزرقاء بياضها.

<u>علم الفلك عند البابليين والآشوريين والسومريين والكلدانيين:</u>

يعود سبب اهتمام البابليين والآشوريين بعلم الفلك إلى عبادتهم للكواكب.

- عرفوا الطول النسبي للسنة وذلك لعدة قرون قبل الميلاد، فاعتمدوا تقويماً قمرياً من ١٢ شهراً، وحيث أن طول الشهر القمري 29,5 يوم يكون طول السنة القمرية ٣٥٤ يوم وهو يقل عن طول السنة الشمسية بـ ١١ يوم، ولتصحيح الخطأ كانوا يضيفون الشهر الثالث عشر من حين لآخر لأحد السنوات (السنة الكبيسة).
- يُروى أن ملوك بابل كانوا يتجنبون الفصل في أمور الدولة في اليوم السابع والرابع عشر من كل شهر، وكذلك اليهود لايعملون أيام السبت. ثم انتقل عُرف العطلة في اليوم السابع إلى الكنيسة المسيحية، وشاع إلى وقتنا هذا.
- صنعوا مزاول شمسية دقيقة لقياس الزمن.

تصورات البابليون:

اعتبروا أن المحيطات تسند الأرض والسماء، وأن الأرض كتلة جوفاء تطفو فوق تلك المحيطات وفي مركزها تقع مملكة الأموات. لهذا أله البابليون الشمس والقمر. فغالبا ما تصورت الحضارات القديمة أنهما يعبران قبة السماء فوق

عربات تدخل من بوابة مشرق الشمس وتخرج من بوابة مغربها. وهذه مفاهيم بنيت علي أساسها اتجاهات المعابد الجنائزية.
تصور السومريون أن الأرض هضبة مرتفعة تعلوها القبة السماوية.
اعتقد الكلدانيون بوجود علاقة بين حركات النجوم والشمس والقمر الخاضعة لمشيئة الآلهة وقدر الإنسان. فوضعوا تقويماً للبروج وربطوا بين التنجيم والفلك.

علم الفلك عند بقية الشعوب:

اعتقد هنود آسيا القدماء بأن الأرض عبارة عن قوقعة تحملها أربعة أفيال عملاقة تقف على ظهر سلحفاة. وهذا يعني أنهم كانوا يشعرون بكروية الأرض ولهذا اختاروا القوقعة.
واعتقد الهنود الحمر بوجوب سهر أميراتهن الصغيرات على استمرارية إيقاد المشاعل ليلاً، ليأتي طائر الكونكورد (رسول السماء) ويأخذ المشاعل ويضيء الشمس من جديد.
أما الروس فاعتقدوا أن الأرض عبارة عن قرص يطفو على الماء تحمله ثلاث حيتان عظيمة.
هذا وقد اعتقدت بعض المجتمعات في إفريقيا أن الشمس تسقط كل ليلة عند الأفق الغربي إلى العالم السفلي، فتدفعها الفيلة للأعلى ثانية لتضيء الأرض من جديد، وتتابع هذه الحركة يوميا.

علم الفلك عند العرب والمسلمين:

عُرف علم الفلك في البادية العربية بعلم الهيئة، وهذه التسمية ناتجة عن اهتماماتهم بهيئة النجوم، ومواقعها في القبة السماوية، ومواعيد شروقها وغروبها، فصنعوا الآلة الفلكية المعروفة باسم الإسطرلاب Astrolabe (مرآة النجوم)، للاستدلال على الاتجاهات. وللإسطرلاب أشكال متعددة منها:

١- الكروي (تجسيداً للقبة السماوية الكروية).
٢- المسطح (ويمثل مسقط القبة السماوية على المستوي).
٣- قضيب قصير (ويمثل المسقط الخطي للمستوي على أحد المحاور).

وفي أوائل القرن التاسع، أي في عهد الخليفة المأمون، عندما كانت الحضارة الإسلامية في أوجها، تم تشييد مرصدين أحدهما في بغداد والأخر في دمشق وكانا - في ذلك الوقت - الوحيدين في العالم.
وفي عام ٩٦٤ صدر كتاب " النجوم الثابتة " للفلكي الفارسي الأصل عبد الرحمن الصوفي.

بعض علماء الفلك المسلمين:

١- محمد بن جابر البتاني:
أنشأ مرصداً في إنطاكية بسوريا، ووضع أزياجاً (جداول) على شكل تقاويم لحركة الكواكب والنجوم. وطور الآلات الفلكية المستخدمة في عصره، وتمكن من حساب أبعد مسافة بين الأرض والشمس، وبالتالي طول السنة الشمسية بخطأ مهمل بلغ دقيقتين و٢٢ ثانية. وحسب ميل دائرة البروج على مدار الأرض بفارق عن الحسابات الحالية لا يتجاوز ٤ دقائق. وكان أول من استخدم المثلث المتساوي الساقين في حساب ارتفاع الشمس أو بُعدها عن نقطة ما.
له عدة مؤلفات تُرجمت إلى عدة لغات.
٢- ابن يونس المصري (علي بن عبد الرحمن الصدفي):
ألف "الزيج الحاكمي" وجمع فيه أغلب اقترانات الكواكب، ورصد كسوف الشمس وخسوف القمر عام ٣٨٦ هـ.
وصحح ميل دائرة البروج، وزاوية اختلاف المنظر للشمس.
وكان أول من اخترع اللغارتم والنواس (البندول أو الرقاص) لمعرفة الوقت أثناء رصده للكواكب.
٣- محمد بن أحمد البيروني:
ألف كتاباً يُعتبر موسوعة في علم الهيئة. وبرهن حقائق علمية عديدة تتعلق بمساحة الأرض ونسبتها للقمر والشمس.
وأن الشمس مركز الكون، واستخدم التفاضل في حساب أبعد نقطة عن الشمس تصلها الأرض. وحسب نصف قطر الأرض ومحيطها.
كرمته أكاديمية العلوم السوفيتية بأن طبعت كتاباً فلكياً عنونته باسمه. وكذلك أكاديمية العلوم الفلكية الهندية.
وفيما يلي نستعرض جدولاً بأسماء النجوم المعروفة بأسمائها العربية ومازالت محتفظة بتسمياتها حتى الآن:

النجم	الاسم بالإنكليزي	النجم	الاسم بالإنكليزي	النجم	الاسم بالإنكليزي	النجم	الاسم بالإنكليزي
الطائر	Altair	بنات نعش	Benet nash	القائد	Alkaid	الغراب	Algorab
الذنب	Deneb	إبط الجوزاء	Betel geze	سهيل	Souhail	الكأس	Alkas
فم الحوت	Famalhout	ذنب الجدي	Deneb algedi	الغول	Ajgol	ظهر	Dahir
قوس	Kaus	سبيكة	Spica	ثعبان	Thuban	سيف	Saif

اليوم

أهم ما في هذا العلم بالذات - علم الفلك - هو تمكنه خلال مدة قصيرة من نسخ كل جذوره السابقة.. لاشك أننا نهتم بعلم الفلك الصيني، وعلم الفلك الكلداني وغيرها.. لكن اهتمامنا به إنما يقع في سياق تاريخي بمعظمه، أما علم الفلك اليوم

فلا يسمى مصرياً ولا أمريكيا ولا أوربياً، بل هو (علم الفلك) وكل تلك الفرضيات عن قرن الثور أو ناب الفيل زالت تماماً من السياق العلمي.
لم يصل علم الفلك طبعاً، إلى معلومات يقينية عن كل شي، لكنه بكل تأكيد تجاوز ونسخ كل الخرافات التي كانت مسلمات في الماضي، وأخذ منها الحقائق فقط.
في القرن العشرين، تم تقسيم علم الفلك لقسمين، علم الفلك النظري وعلم رصد الفلك.
انشغل قدماء الفلكيين بالفضاء المحيط بالأرض منذ آلاف السنين. فلاحظوا نقطاً مضيئة تتجول بين النجوم في السماء فأطلقوا عليها الكواكب السيارة. وأطلقوا عليها أسماء رومانية هي:

- Mercury (عطارد) ومعناه بالرومانية رسول الآلهة.
- Venus (الزهرة) ومعناها بالرومانية إله الحب والجمال.
- Mars (المريخ) ومعناه إله الحرب.
- Jupiter (المشتري) ومعناه ملك الآلهة.
- Saturn (زحل) ومعناه أبو جوبتر وإله الزراعة.

لاحظ الفلكيون القدماء الكويكبات والشهب التي لها ذيل متوهج وهي تتهاوي. وأطلق عليها العرب النجمة أم ذيل .
وكان القدماء يعتقدون أن الأرض مركز الكون. وكل النجوم بما فيها الشمس تدور حولها. لكن كوبرنيكوس في القرن ١٦ أثبت بما لا يدع مجالاً للشك أن الأرض والكواكب في مجموعتنا الشمسية تدور في محيطاتها حول الشمس. ولم يصدقه علماء الفلك حتي جاء نيوتن ووضع قوانين الحركة.
تبدو لنا الأرض مكاناً جميلاً وكبيراً. بيد أن كوكب المشتري أثقل منها بـ ٣١٧ مرة و كوكب زحل يكبرها وزنا بـ ٩٥ مرة. ورغم كبر هذه الكواكب نجد أن الشمس تضم وحدها ٩٩،٩٨% من كتلة المجموعة الشمسية. وحجم الشمس يعادل مليون مرة حجم الكرة الأرضية. وبعد إختراع التلسكوب (المقراب) اكتشفت ثلاثة كواكب في المجموعة الشمسية. هي أورانوس (عام ١٧٨١) و نبتون (عام ١٨٦٤) وبلوتو (عام ١٩٣٠)، كما اكتشفت آلاف من الأجسام الصغيرة الحجم كالمذنبات والكويكبات.

<u>وحدات القياس الأساسية في علم الفلك:</u>

تفقد وحدات القياس الأرضية (المتر m، الكيلوغرام kg، الثانية S، الكلفن k^o) معناها عند التعامل مع الأبعاد الفلكية. وبما أن الفارق المميز هو اتساع المسافات، فقد قام الفلكيون باستنباط وحدات قياس مسافة جديدة، وأبقوا على وحدات القياس الأخرى شريطة اتخاذ مضاعفات أسية لها.

١- الوحدة الفلكية: Astromic unit (Au)

هي متوسط المسافة (خلال فصول السنة) بين الأرض والشمس وتساوي تقريباً ١٥٠ مليون كيلو متر.

٢- السنة الضوئية: Light year (Ly)

وهي المسافة التي يقطعها الضوء خلال سنة كاملة علماً أن سرعة الضوء في الفراغ $c = 3\times10^8\ m/s$

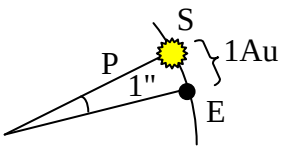
$$1Ly = 365\times24\times60\times60\times3\times10^8 = 9{,}4608\times10^{15}\ m \approx 9{,}46\times10^{12}\ km$$

وبالتقريب $1Ly \sim 10^{13}\ km$ أي يمكن القول أن السنة الضوئية تساوي تقريباً عشرة آلاف مليار كيلو متر.
وبالوحدات الفلكية

$$1Ly = 9{,}46\times10^{12}/150\times10^6 \approx 63\times10^3\ Au$$

٣- الفرسخ النجمي: Parsec (Pc)

وهو المسافة التي يرى منها راصد الزاوية بين الشمس والأرض (1Au) مساوية لثانية قوسية واحدة ("1).
وبكلام آخر: هو نصف قطر الدائرة التي تعادل ثانيتها القوسية وحدة فلكية واحدة. كما هو موضح بالشكل ( ).
نحسب قيمة Pc من العلاقة $\ell = R\theta$ شريطة أن تقدر θ بالراديان



شكل ( )

حيث $\ell = 1Au$ و $R = Pc$ و $\theta = 1"$
نوجد قيمة θ بالراديان من خلال التناسب التالي:
زاوية كامل الدائرة $360^o\times60'\times60" = 1296000"$ تعادل $2\pi\ rad$
الزاوية "1 ..... تعادل $\theta\ rad$

$$\theta\ rad = 2\times3{,}14\ rad/1296000" \approx 4{,}848\times10^{-6} rad$$

بالتعويض نجد: $R = \ell/\theta \Leftrightarrow Pc = 1Au/4{,}848\times10^{-6} rad \approx 0{,}206264\times10^6 \approx 206\times10^3\ Au$
نوجد قيمة الفرسخ بالسنة الضوئية والكيلومتر

$$1Pc \approx 206\,Ly/63 \approx 3{,}27\ Ly \approx 3{,}27\times9{,}46\times10^{12}\ km \approx 31\times10^{12}\ km$$

تعريف بالأجرام السماوية:

نسوق فيما يلي مجموعة من التعاريف كما يوضحها الشكل ( ).

- الشهب: Meteors هي دقائق صغيرة من المادة تسبح في الفضاء. وعند اختراقها للغلاف الجوي الأرضي تحترق وتتناثر قبل وصولها للأرض. وتبدو على شكل سهم وامض يدوم ثوان فقط.
- النيازك: Meteorites هي كتل مادية صلبة تسبح في الفضاء. وعند اختراقها للغلاف الجوي الأرضي تحترق جزئياً، ويبقى منها اللب الذي يسبب ارتطامه بالأرض دوي انفجار هائل وأضرار مادية جسيمة.
- المذنبات: Comet هي أجرام كبيرة الحجم تدور في مدارات خاصة بها. يتكون المذنب من لب معدني تكسوه طبقة جليدية من النشادر والميثان. وعند اقترابها من الشمس مسافة تقارب 3Au يبدأ الجرم بالتسخين فتنطلق الأبخرة من غطاءه الجليدي مشكلةً ذيلاً طويلاً من الغبار والأبخرة. يمتد الذيل آلاف الكيلومترات، ويمكن رؤيته بفعل انعكاس الأشعة الشمسية عنه.

  ولابد هنا من الإشارة إلى أن امتداد الذيل المتشكل يكون خلف الجرم أثناء اقترابه من الشمس، وأمامه عند ابتعاده عنها. أي بجهة تدفق الرياح الشمسية الصادرة عن الشمس. وأن الليالي الحافلة بتساقط الشهب دلالة على أن الأرض في هذه الأثناء تكون في حالة عبور لمسار المذنب، فتتساقط مخلفاته من غبار ودقائق مادية صغيرة على شكل شهب. يعود منشأ المذنبات إلى سحابة أورت.
- الكويكبات: Asteroids هي أجرام صغيرة متفاوتة الحجم ومختلفة الشكل، يبلغ عددها عشرات الألوف، أصغر بكثير من الكواكب، اكتشفت عام ١٨٠١ م، ويقع معظمها في منطقة حزام كوبر الكائن بين كوكبي المريخ والمشتري الذي يبعد عن الشمس بين $Au[4-2]$. يُعتبر اجتيازها مسألة تقف عندها وكالات الفضاء عند التخطيط لغزو الفضاء الخارجي. تكمل دورتها بين ٤ و ٦ سنوات. أكبرها سايرس (قطره ٨٠٠ كيلومتر).
- القمر: Moon هو أقرب الأجرام إلى الأرض ويُعتبر تابعها الوحيد، يدور حولها في مسار شبه دائري من الغرب إلى الشرق، ويكمل دورته خلال 29,5 يوم (الشهر القمري). يُشاهد من الأرض في أطوار مختلفة (هلال، بدر، هلال) وذلك تبعاً لزاوية رؤية جزء السطح المعرض لأشعة الشمس.
- الكواكب: Planets هي أجرام كبيرة، متفاوتة الحجم، كروية الشكل، بريقها ناتج عن انعكاس ضوء الشمس عن سطوحها، تُدعى الكواكب السيارة وهي حسب بعدها عن الشمس (عطارد، الزهرة، الأرض، المريخ، المشتري، زُحل، أورانوس، نبتون، بلوتو). لكلٍ منها مساره الخاص به، تُشاهد من الأرض في القبة السماوية موزعة على قوس ممتدة من الشرق إلى الغرب.
- النجوم: Stars هي شموس مضيئةَ بذاتها (أجرام غازية ملتهبة ينبعث منها الضوء والحرارة)، تبدو كنقاطٍ براقة مختلفة الألوان والأقدار، وذلك بسبب تباين بعدها عن الأرض واختلاف كلٍ من درجة حرارتها واتجاهات حركتها.
- السدم: Nebulas هي عبارة عن سحب غازية تملأ الفضاء الفاصل بين النجوم، وهي في الغالب مشاريع فاشلة لنجوم لم تتكون، أو بقايا نجم منفجر(السوبر نوفا).
- المجرات: Galaxies هي تجمع لعشرات الملايين من النجوم في منطقة فلكية محددة، وتعتبر الوحدة الأساسية لبناء الكون. تبدو بأشكال مختلفة (حلزونية، إهليلجية، غير منتظمة)، مثال مجرة ماجلان التي تبعد عن مجرتنا درب التبانة (الطريق اللبني) بحدود ١٥٠ ألف سنة ضوئية، ومجرة المرأة المتسلسلة (الأندروميدا) التي تبعد عنا مسافة 2,3 مليون سنة ضوئية.

علم الفلك الحديث:

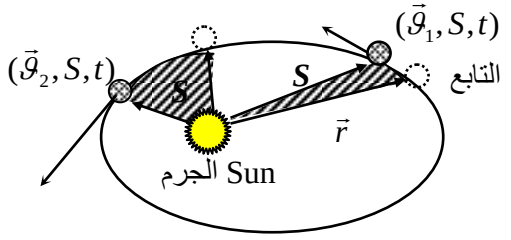
لم يكن علم الفلك وليد ليلةٍ وضحاها، بل كان نتيجة قرون من الحضارة الإنسانية التي تراكم فيها كم هائل من المعلومات الممجوجة بالخرافات والأساطير. ولم تكن تصورات بطليموس في القرن الثاني قبل الميلاد عن الأرض الساكنة التي تقع في مركز الكون وتدور حولها النجوم والكواكب بما فيها الشمس والقمر الرواية الحقيقية لنشأة الكون وتطوره. ولم ولن تكن يوماً أقاويل المنجمين بحلول الشمس والقمر أو الكواكب السيارة الأخرى (مهيبة الطالع) في دائرة البروج إلا محض خيال زائف لا يمت للحقيقة بصلة.

شهد القرن الخامس عشر البداية العلمية الحقيقية لعلم الفلك على يد مجموعة من العلماء نذكر منهم:

١- **البولوني نيكولاس كوبرنيكوس**: [١٤٧٣ – ١٥٤٣] م، قال بأن الشمس ثابتة في مركز الكون، والأرض وبقية الكواكب تدور حولها وفق مسارات دائرية منتظمة، الأمر الذي أوقعه بحسابات خاطئة غير منسجمة مع الواقع.

٢- **الدانماركي تايكو براهي:** [١٥٤١ – ١٦٠١] م، توصل بعد ٢٠ عاماً من الرصد والمتابعة بأن كافة الكواكب عدا الأرض تدور حول الشمس فيما تدور الشمس وتوابعها حول الأرض. أي أنه لم يقتنع بفكرة كوبرنيكوس.

٣- الألماني جوهانز كبلر: [١٥٧١ – ١٦٣٠] م، كان يعمل مساعداً لـ تايكو براهي في مرصده. وبعد فشل معلمه قام بوضع نموذج المسار الإهليلجي بدلاً من الدائري أثناء دراسته لمسار كوكب المريخ حيث اعتبر أن الشمس تقع في إحدى بؤرتيه (محرقيه)، فحصل على نتائج متفقة مع نتائج الأرصاد الفلكية. ثم عمم هذا النموذج على كافة الكواكب.
وضع كبلر ثلاث قوانين في حركة الكواكب. عرفت باسمه



شكل ( )

قانون كبلر الأول: يتعلق بأشكال مدارات التوابع، وينص على أن:
" يتحرك التابع حول الجرم في مدار إهليلجي بحيث يقع الجرم في إحدى بؤرتيه ". كما بالشكل ( )
قانون كبلر الثاني: (قانون السطوح) وينص على ما يلي:
" يتحرك التابع في مداره بحيث يمسح الخط الوهمي الواصل بينه وبين الجرم مساحات متساوية خلال أزمنة متساوية ".
وبعبارة أخرى: " المساحات التي يمسحها نصف القطر الشعاعي r خلال أزمنة متساوية تكون متساوية ".
نتيجة: سرعة التابع حول الجرم متغيرة، فسرعته تزداد عندما يقترب منه وتقل عندما يبتعد عنه. حسب العلاقة:

$$r_1 \vartheta_1 = r_2 \vartheta_2 = ... = r_n \vartheta_n = cte$$

قانون كبلر الثالث: يتعلق بالزمن الدوري T (الزمن اللازم للتابع كي يكمل دورة كاملة حول الجرم).
وينص على أن: " دور التابع متناسب طرداً مع الجذر التربيعي لمكعب نصف القطر الكبير a^3 " وفق العلاقة.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{a^3}{\mu}}$$

حيث $\mu = GM$ ثابتة غوص. وتتعلق بثابتة التناسب الكوني $G = 6{,}67\times10^{-11}\, Nm^2/kg^2$ وكتلة الجرم M.
فإذا كان التابع هو الأرض أو أي كوكب آخر يدور حول الشمس ذات الكتلة $M_S \approx 2\times10^{30}\, kg$ فإن ثابتة غوص تأخذ القيمة $\mu_S = GM_S = 13{,}34\times10^{19}\, m^3/S^2$. وإذا كان التابع هو القمر أو أي قمر صناعي يدور حول الأرض ذات الكتلة $M_E \approx 6\times10^{24}\, kg$ فتأخذ الثابتة القيمة $\mu_E = GM_E = 4\times10^{14}\, m^3/S^2$
ملاحظة: غالباً ما يتم اعتبار المسارات شبه دائرية، وفي هذه الحالة يُستبدل a بمجموع نصف قطر الجرم R وارتفاع التابع عن سطحه h، أي $a = R + h$. وتصبح العلاقة السابقة بالشكل التالي:

$$\boxed{T = 2\pi\sqrt{\frac{(R+h)^3}{GM}}}$$

مثال: احسب الزمن اللازم كي تنجز الأرض دورة كاملة حول الشمس (طول السنة الأرضية).
علماً أن كتلة الشمس $M_S \approx 2\times10^{30}\, kg$ و $a = R + h \approx 150\times10^9\ m$ و $G = 6{,}67\times10^{-11}\, Nm^2/kg^2$

$$T_E = 2\pi\sqrt{\frac{(150\times10^9)^3}{6{,}67\times10^{-11}\times2\times10^{30}}} = 6{,}28\times\sqrt{\frac{3375000}{13{,}34}}\times10^4 \approx 3158\times10^4\ s$$

$$T_E \approx \frac{3158\times10^4\ s}{(1^d\times24^h\times60^m\times60^S)\, s/day} = \frac{3158\times10^4\ s}{86400\ s/day} \approx 365{,}25\ day$$

٤- الإيطالي غاليليو غاليلي: [١٥٦٤ – ١٦٤٢]، أكد نظرية كوبرنيكوس، وأول من استخدم التلسكوب (المقراب).
٥- الإنكليزي إسحاق نيوتن: [١٦٤٣ – ١٧٢٧]، أكد نظرية كوبرنيكوس، ووضع قوانين الحركة الثلاثة المعروفة، واكتشف قانون الجاذبية.
القانون الأول (مبدأ العطالة): " إذا انعدمت فجأة محصلة القوى الخارجية المؤثرة في جسم ، فإنه يبقى ساكناً إذا كان في الأصل ساكناً ، أو يتابع حركته بحركة مستقيمة منتظمة إذا كان في الأصل متحركاً ".
القانون الثاني: " محصلة القوى المؤثرة في جسم تساوي حاصل جداء كتلة الجسم في تسارع مركز عطالته ".
القانون الثالث (مبدأ تساوي الفعل ورد الفعل): " لكل فعل رد فعل مساوٍ له بالقيمة المطلقة ويعاكسه بالاتجاه ".
قانون نيوتن في الجاذبية: تؤثر قوة الجاذبية آنياً على أي جسمين لهما كتلة.
" تنشأ بين أي كتلتين m و M تفصلهما مسافة r قوة جذب متناسبة طرداً مع جداء الكتلتين وعكساً مع مربع البعد بينهما ". وفق العلاقة:

$$F_g = G\frac{mM}{r^2}$$

حيث $G = 6{,}67\times10^{-11}\, Nm^2/kg^2$ ثابتة التناسب الكوني
نتيجة: يمكننا معرفة تسارع جاذبية أي كوكب عند سطحه بمعرفة كتلته M ونصف قطره r (باعتباره كروي

الشكل). وذلك بمساواة قوة الجذب المتبادلة بينه وبين واحدة الكتل $m = 1\,kg$ الموجودة على سطحه.
أو بمساواة قانون نيوتن الثاني مع قانون نيوتن في الجاذبية حيث يكون تسارع الجسم مساوياً لتسارع جاذبية الكوكب على السطح $a = g_{Pla}$

$$F = m\,g_{pla} = F_g = G\frac{mM}{r^2} \;\Rightarrow\; \boxed{g_{pla} = G\frac{M}{r^2}}$$

نتيجة: تنخفض قيمة تسارع جاذبية الكوكب كلما ابتعدنا عنه إلى أن تنعدم في اللانهاية. وعند ارتفاع h عن السطح، أي على مسافة من مركزه $x = r + h$ تصبح قيمة الجاذبية $g_x = G\frac{M}{(r+h)^2} = G\frac{M}{x^2}$

وبما أن تسارع الجاذبية على السطح $g_r = G\frac{M}{r^2}$ نجد بنسبة العلاقتين

$$\frac{g_x}{g_r} = \frac{r^2}{x^2} \qquad \Leftrightarrow \qquad g_x = \frac{r^2}{x^2}\,g_r$$

مثال: احسب تسارع جذب الأرض للقمر. علماً أن $r_E \approx 6400\ km$ و $x_{E-L} \approx 383\times10^3\ km$ و $g_E \approx 10\ m/s^2$

$$g_x = \frac{r_E^2}{x_{E-L}^2}\,g_E \approx \frac{4\times10^7}{147\times10^9}\times10 \approx 2{,}7\times10^{-3}\ m/s^2 = 2{,}7\ mm/s^2$$

طريقة ثانية: (تسارع الجذب المركزي) علماً أن $T_L = 27{,}3\,day = 2{,}36\times10^6\ s$ و $x_{E-L} \approx 383\times10^3\ km$

$$a_N = \frac{\upsilon^2}{x_{E-L}} = \frac{(2\pi x_{E-L}/T)^2}{x_{E-L}} = \frac{4\pi^2 x_{E-L}}{T^2} \approx \frac{39{,}48\times383\times10^6}{(2{,}36\times10^6)^2} \approx \frac{1{,}5\times10^{10}}{5{,}57\times10^{12}} \approx 2{,}7\times10^{-3}\ m/s^2$$

نستنتج أن: (تسارع جذب الأرض للقمر = تسارع الجذب المركزي للقمر)
وهي النتيجة التي أكدت مزاعم نيوتن وبددت شكوكه في صحة القانون الأساسي في التحريك.

مثال: احسب تسارع جذب الشمس للأرض. علماً أن $r_S \approx 7\times10^5\ km$ و $x_{S-E} \approx 15\times10^7\ km$ و $g_S \approx 274\ m/s^2$

$$g_x = \frac{r_S^2}{x_{S-E}^2}\,g_S \approx \frac{(7\times10^5)^2}{(15\times10^7)^2}\times274 \approx 60\times10^{-4}\ m/s^2 \approx 6\ mm/s^2$$

تسارع الجذب المركزي للأرض علماً أن $T_E = 365{,}25\,day = 315576\times10^2\ s$ و $x_{S-E} \approx 15\times10^7\ km$

$$a_N = \frac{\upsilon^2}{x_{S-E}} = \frac{(2\pi x_{S-E}/T)^2}{x_{S-E}} = \frac{4\pi^2 x_{S-E}}{T^2} \approx \frac{39{,}48\times15\times10^{10}}{(315576\times10^2)^2} \approx 60\times10^{-4}\ m/s^2$$

ملاحظة: لمعرفة كتلة كوكب كروي الشكل نصف قطره r، وحجمه $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ يجب معرفة كتلته الحجمية

$\rho = M/V$ وبالتالي: $M = \rho V = \rho\frac{4}{3}\pi r^3 \approx 4{,}2\,\rho r^3$

لذا يمكننا استخدام الصيغة التالية (بدلالة الكتلته الحجمية ونصف القطر).

$$g_{pla} = G\frac{M}{r^2} = \frac{4\pi}{3}G\rho r \approx 4{,}19\times6{,}67\times10^{-11}\rho r \approx 28\times10^{-11}\rho r \quad (m/s^2)$$

مثال: احسب كثافة الأرض بدلالة $g_E \approx 9{,}8\ m/s^2$ ، و $G = 6{,}67\times10^{-11}\ Nm^2/kg^2$ و $r_E \approx 6400\ km$.

الحل: لدينا $g_E = G\frac{M_E}{r_E^2} \Rightarrow M_E = \frac{g_E r_E^2}{G}$ و $V_E = \frac{4}{3}\pi r_E^3$. بالتعويض في عبارة الكثافة $\rho_E = \frac{M_E}{V_E}$

$$\rho_E = \frac{g_E r_E^2/G}{4\pi r_E^3/3} = \frac{3}{4\pi}\frac{g_E}{G r_E} = \frac{3}{4\times3{,}14}\,\frac{9{,}8}{6{,}67\times10^{-11}\times6370\times10^3} = 5{,}5\times10^3\ kg/m^3$$

ملاحظة: لمعرفة كتلة كوكب كروي الشكل بدلالة كتلة كوكب آخر (الأرض مثلاً) نجري التناسب التالي:

$$\frac{M_{Pla}}{M_E} = \frac{\rho_{Pla}V_{Pla}}{\rho_E V_E} = \frac{\rho_{Pla}r^3{}_{Pla}}{\rho_E r^3{}_E} = \frac{\rho_{Pla}}{\rho_E}\left(\frac{r_{Pla}}{r_E}\right)^3$$

لمعرفة تسارع جاذبية كوكب بدلالة تسارع جاذبية كوكب آخر (الأرض مثلاً) نجري التناسب التالي:

$$\frac{g_{pla}}{g_E} = \frac{M_{pla}}{M_E}\left(\frac{r_E}{r_{pla}}\right)^2 = \frac{\rho_{pla}\,r_{pla}}{\rho_E\,r_E}$$

مثال: احسب مستعيناً بالمعطيات الواردة في الجدول أدناه كتلة وتسارع جاذبية الأجرام السماوية التالية ثم قارنها بكتلة الأرض M_E وتسارع جاذبيتها g_E

الكوكب	$r\ (m)$	$\rho\ (kg/m^3)$	$M\ (kg)$	$M_{Pla}\ (M_E)$	$g\ (m/s^2)$	$g_{Pla}\ (g_E)$
الأرض	$6{,}4\times10^6$	5500	6×10^{24}	-	9,85	-
القمر	$1{,}7\times10^6$	3700	$7{,}6\times10^{22}$	$1/81=0{,}012$	1,76	$1/6=0{,}17$
الشمس	7×10^8	1400 للسطح	2×10^{30}	33×10^4	274	28
عطارد						
الزهرة						
المريخ						
المشتري						
زحل						
أورانوس						
نبتون						

ولابد هنا من التفريق بين الكتلة والوزن

فالكتلة: مقدار ثابت لا تتغير بتغير المكان (طالما بقيت سرعتها في الحدود الكلاسيكية، أي سرعتها ϑ أقل بكثير من سرعة الضوء $c=3\times10^8\ m/s$)، وهي بمثابة البصمة الخاصة للجسم.

أما الوزن: فيعبر عن قوة جذب الكوكب للجسم الواقع عليه.

<u>مركز العطالة:</u> إن وجود جسمين ساكنين m_1 و m_2 في الفراغ تفصل بينهما مسافة r، يؤدي بالضرورة (وفقاً لقانون نيوتن في الجاذبية) لنشوء قوة تجاذب كتلوي فيما بينهما. فيتحرك الجسمان (تحت تأثير هذه القوة) على المستقيم الواصل بين مركزي كتلتيهما ليلتقيا في نقطة C تدعى مركز عطالة الجملة (مركز كتلتهما المشترك Center of mass) كما هو موضح في الشكل ( ). طبعاً قوتي التجاذب المطبقتين على الجسمين متساويتين بالقيمة المطلقة ومتعاكستين بالاتجاه، فيتحرك كل منهما باتجاه الآخر بتسارع يساوي تسارع جذب الآخر له.

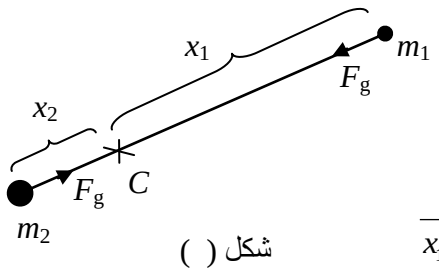
يمكن إيجاد قيمة تسارع الحركة لكلا الجسمين بتطبيق قانون نيوتن الثاني

$$m_1a_1=G\frac{m_1m_2}{r^2}\ \Rightarrow\ a_1=G\frac{m_2}{r^2}$$

وبنفس الأسلوب نجد أن $a_2=G\frac{m_1}{r^2}$، فإذا فرضنا أن $m_2>m_1$، فإننا نلاحظ بالمقارنة بين التسارعين أن $a_2>a_1$، وعليه فإن المسافة x_1 التي يقطعها الجسم m_1 ستكون أكبر من المسافة x_2 التي يقطعها الجسم m_2.

نوجد نسبة المسافات المقطوعة خلال نفس الزمن t من المعادلة الزمنية للحركة $x_1=\frac{1}{2}a_1t^2$ و $x_2=\frac{1}{2}a_2t^2$ فتكون

$$\frac{x_1}{x_2}=\frac{a_1}{a_2}=\frac{m_2}{m_1}\ \Leftrightarrow\ x_1m_1=x_2m_2$$



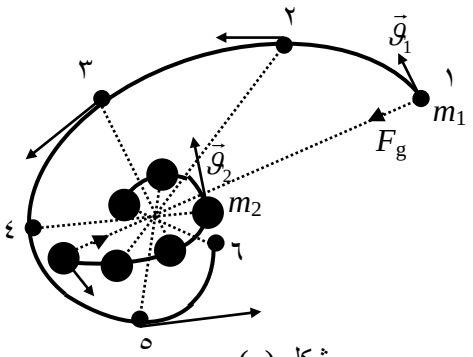
شكل ( )

أي أن نسبة المسافات المقطوعة تساوي عكس نسبة الكتل.

وبدلالة المسافة بينهما $r=x_1+x_2$ نجد:

$$\frac{x_1}{x_1+x_2}=\frac{m_2}{m_1+m_2}\ \Leftrightarrow\ x_1=\frac{m_2}{m_1+m_2}r\ \ \wp\ \ x_2=\frac{m_1}{m_1+m_2}r$$

وإذا كان أحد الجسمين أو كليهما في حالة حركة انسحابية بسرعة محددة $\vec{\vartheta}$ تحت تأثير عزم العطالة، فستعمل قوة التجاذب الكتلية على تغيير اتجاه السرعة ليتحرك الجسمان حركة دورانية حول مركز العطالة المشترك C كما هو موضح في الشكل ( ).



شكل ( )

يلاحظ أن الجسمان يدوران باتجاه واحد، ويبقيا في حالة تقابل قطري بالنسبة للمركز إلى أن يتلامسا (يتصادما).

ونقول بأن الجملة تدور حول مركز العطالة المشترك C تحت تأثير عزم العطالة الدوراني.

مثال: أوجد مركز العطالة الدوراني المشترك C لجملة الأرض والقمر.

ثم لجملة الأرض والشمس. علماً أن: $r_{E-M} \approx 383\times10^3\ km$ و $r_{S-E} \approx 15\times10^7\ km$ و $m_M \approx 7{,}3\times10^{22}\ kg$ و $m_E \approx 6\times10^{24}\ kg$ و $m_S \approx 2\times10^{30}\ kg$

الحل: من أجل جملة الأرض والقمر: نوجد بعد المركز عن الأرض

$$x_{E-C} = \frac{m_L}{m_L + m_E} r_{E-M} = \frac{7{,}3\times10^{22}}{0{,}073\times10^{24} + 6\times10^{24}} \times 383\times10^3 = \frac{7{,}3\times10^{22}}{6{,}073\times10^{24}} \times 383\times10^3 \approx 4604\ km$$

بمقارنة هذا البعد مع نصف قطر الأرض $R_E \approx 6400\ km$ نلاحظ وقوع المركز داخل الأرض، وبالتالي فإن الأرض والقمر تدوران حول مركز عطالتهما المشترك C الواقع داخل الأرض. ونقول مجازاً أن القمر يدور حول الأرض، لأن الحركة الدورانية لمركز الأرض حول C تكون غير ملحوظة كما هو الحال بالنسبة للقمر.

ومن أجل جملة الأرض والشمس: نوجد بعد المركز عن الشمس

$$x_{S-C} = \frac{m_E}{m_E + m_S} r_{S-E} = \frac{6\times10^{24}}{6\times10^{-6}\times10^{30} + 2\times10^{30}} \times 15\times10^7 = \frac{6\times10^{24}}{2{,}000006\times10^{30}} \times 15\times10^7 \approx 450\ km$$

بمقارنة هذا البعد مع نصف قطر الشمس $R_S \approx 7\times10^5\ km$ نلاحظ وقوع المركز داخل الشمس.

ونقول أن الأرض تدور حول الشمس، لنفس السبب السابق

مفهوم نقطة اللاعودة: هي النقطة الواقعة على الخط الواصل بين جرمين والتي يتساوى فيها تسارع جذبهما. فمثلاً عند تنظيم رحلة استكشافية نحو الشمس، تصل المركبة الفضائية إلى النقطة P الواقعة على الخط الواصل بين الأرض والشمس، التي يكون فيها تسارع جذب الجرمين للمركبة واحد. وتصبح المركبة بعد هذه النقطة خاضعة لجاذبية الشمس، فتتحرك المركبة نحو الشمس دون الحاجة لقوة دفع. كما في الشكل ( ).

يمكن حساب بعد هذه النقطة عن الأرض بطريقتين كما يلي:

أولاً: بدلالة كتلة الجرمين

$$g_E(x) = g_S(y) \ \Rightarrow\ G\frac{M_E}{x^2} = G\frac{M_S}{y^2} \ \Rightarrow\ x = \frac{\sqrt{M_E}}{\sqrt{M_E} + \sqrt{M_S}}(x+y)$$

مثال: جملة الأرض والشمس. $x + y \approx 15\times10^7\ km$ و $M_E \approx 6\times10^{24}\ kg$ و $M_S \approx 2\times10^{30}\ kg$

$$x = \frac{\sqrt{M_E}}{\sqrt{M_E} + \sqrt{M_S}}(x+y) = \frac{\sqrt{6\times10^{24}}}{\sqrt{6\times10^{24}} + \sqrt{2\times10^{30}}} \times 15\times10^7 \approx \frac{2{,}45\times10^{12}}{2{,}45\times10^{12} + 1{,}4\times10^{15}} \times 15\times10^7$$

$$x \approx \frac{2{,}45\times10^{12}}{0{,}00245\times10^{15} + 1{,}4\times10^{15}} \times 15\times10^7 \approx \frac{2{,}45\times10^{12}}{1{,}40245\times10^{15}} \times 15\times10^7 \approx 262\times10^3\ km$$

ثانياً: بدلالة نصف قطر الجرمين وتسارع جاذبيته عند السطح

$$g_E(x) = g_S(y) \ \Rightarrow\ \frac{r_E^2}{x^2}\, g_{Eo} = \frac{r_S^2}{y^2}\, g_{So} \ \Rightarrow\ \frac{x^2}{y^2} = \frac{g_{Eo}}{g_{So}}\frac{r_E^2}{r_S^2} \ \Rightarrow\ x = \frac{r_E\sqrt{g_{Eo}}}{r_E\sqrt{g_{Eo}} + r_S\sqrt{g_{So}}}(x+y)$$

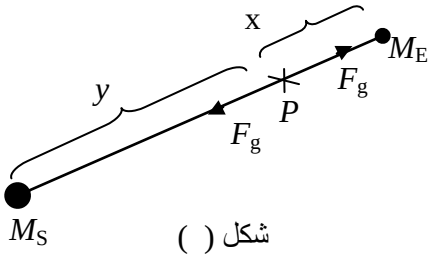
مثال: جملة الأرض والشمس. $x + y \approx 15\times10^7\ km$، ونصف قطر الأرض $r_E \approx 6400\ km$، ونصف قطر الشمس $r_S \approx 7\times10^5\ km$، وتسارع جذب الأرض عند سطحها $g_{Eo} \approx 10\ m/s^2$، وتسارع جذب الشمس عند سطحها $g_{So} \approx 274\ m/s^2$.

$$x = \frac{r_E\sqrt{g_{Eo}}}{r_E\sqrt{g_{Eo}} + r_S\sqrt{g_{So}}}(x+y) = \frac{6400\sqrt{10}}{6400\sqrt{10} + 7\times10^5\sqrt{274}} \times 15\times10^7 \approx \frac{3\times10^{12}}{0{,}20238\times10^5 + 116\times10^5}$$

$$x \approx \frac{3\times10^{12}}{116{,}2\times10^5} \approx 258\times10^3\ km$$

بالمقارنة بين النتيجتين نجد أن بُعد هذه النقطة عن الأرض بالتقريب $x \approx 260\times10^3\ km$، وهي تقع بين الأرض والقمر الذي يبعد مسافة $r_{E-M} \approx 383\times10^3\ km$. وهي في العموم مقدار مهمل بالمقارنة مع بُعد الأرض عن الشمس البالغ $x + y \approx 150\times10^6\ km$ (يهمل الربع مليون بالمقارنة مع ١٥٠ مليون).

ويكون تسارع جذب الأرض والشمس للمركبة متساوي ونحسبه كما يلي:



$$g_E(x) = G\frac{M_E}{x^2} = 6{,}67\times10^{-11}\times\frac{6\times10^{24}}{(260\times10^6\ m)^2} = \frac{40\times10^{13}}{676\times10^{14}} \approx 6\ \ mm/s^2$$

$$g_S(y) = G\frac{M_S}{y^2} = 6{,}67\times10^{-11}\times\frac{2\times10^{30}}{(15\times10^{10}\ m)^2} = \frac{13{,}3\times10^{19}}{225\times10^{20}} \approx 6\ \ mm/s^2$$

شكل ( )

السرعة الزاوية: ω

بما أن الأرض تدور حول نفسها كل ٢٤ ساعة، يمكن حساب سرعتها الزاوية الدورانية ω_E من العلاقة:

$$\omega_E = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\times3{,}14}{24^h\times60^m\times60^S} = \frac{6{,}28}{86400} \approx 7{,}3\times10^{-5}\ rad/s$$

وهي قيمة ثابتة على مدى العام. (أي أنها لاتختلف باختلاف موقع الأرض على المدار).

ويمكن إيجاد هذه القيمة بطريقة أخرى وذلك انطلاقاً من معرفة معدل الدوران البالغ 15^o درجة كل ساعة زمن، حيث نقوم بالتحويل إلى راديان حسب الصيغة المعروفة (كل ٣٦٠ درجة تقابل 2π . وكل ١٥ درجة تقابل x) فنجد:

$$\omega_E = \frac{\alpha(rad)}{T} = \frac{2\times3{,}14\times15^O}{360^o\times60^m\times60^S} = \frac{94}{1296}\times10^{-3} \approx 7{,}3\times10^{-5}\ rad/s$$

أما السرعة الزاوية لدوران الأرض حول الشمس (تدور الأرض حول الشمس كل 365,25 يوم (سنة أرضية)

$$\omega_{ES} = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\times3{,}14}{365{,}25^d\times24^h\times60^m\times60^S} = \frac{6{,}28}{31557600} \approx 2\times10^{-7}\ rad/s$$

نتيجة: النسبة $\omega_E/\omega_{ES} = 7{,}3\times10^{-5}/2\times10^{-7} = 365$ تشير لعدد أيام السنة.

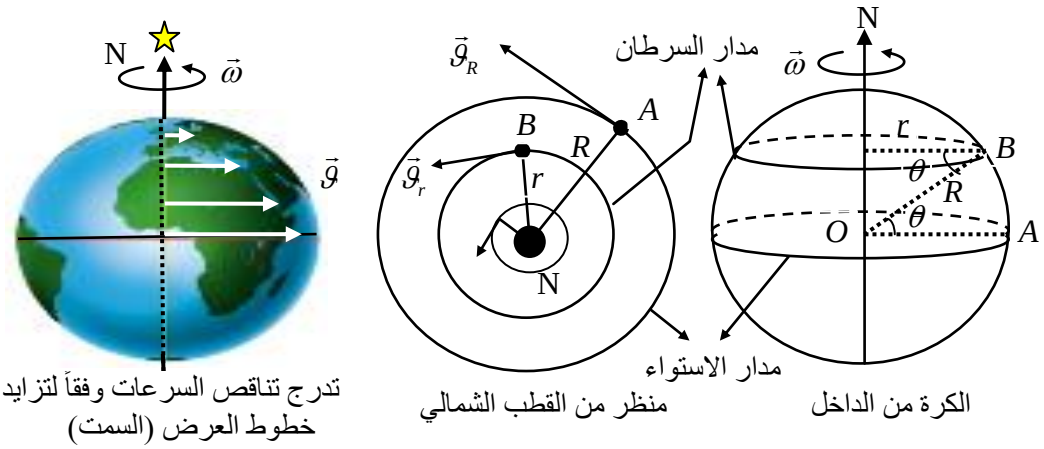
ملاحظة: طول اليوم القمري يساوي طول سنته. أي يدور حول نفسه خلال زمن دورانه حول الأرض البالغ 27 يوم أرضي و ٧ ساعات و ٤٣ ثانية (شهر قمري). وبالتقريب 27,3 يوم. فتكون السرعة الزاوية لدوران القمر حول نفسه و حول الأرض متساويتان $\omega_M = \omega_{ME}$

$$\omega_M = \omega_{ME} = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\times3{,}14}{27{,}3^d\times24^h\times60^m\times60^S} \approx \frac{6{,}28}{2358720} \approx 2{,}66\times10^{-6}\ rad/s$$

السرعة المحيطية:

هي السرعة الخطية التي تكتسبها نقاط السطح بفعل دوران الأرض حول نفسها. وهي تختلف باختلاف موقعها على خطوط العرض كما هو موضح في الشكل ( ). وتحسب من العلاقة $\vec{\vartheta} = \vec{\omega}\wedge\vec{r}$ ، وبما أن $\vec{\omega}\perp\vec{r}$ نجد: $\vartheta = \omega r$ حيث r نصف قطر دائرة العرض. وبالنظر للشكل ( ) يمكن استنتاج العبارة العامة للسرعة المحيطية لنقاط أي خط عرض محدد بسمت زاوي θ

$$\boxed{\vartheta = \omega r = \omega R Cos\,\theta}$$



شكل ( )

من أجل نقطة ما مثل A على مدار الاستواء حيث $\theta = 0^o$ نجد:

$$\vartheta = \omega R = 7{,}3\times10^{-5}\ rad/s\times6{,}4\times10^6\ m \approx 467\ \ m/s$$

ومن أجل نقطة ما مثل B على مدار السرطان حيث $\theta = 23{,}5^o$ نجد:

$$\vartheta = \omega R Cos\,\theta = 467\times0{,}917 \approx 428\ \ m/s$$

يُلاحظ أن هذه السرعة كبيرة جداً، فهي تعادل مرة ونصف تقريباً سرعة الصوت في الهواء البالغة بحدود $340\ m/s$.
ويلاحظ تناقص قيمة هذه السرعة كلما ابتعدنا عن خط الاستواء باتجاه القطبين إلى أن تنعدم فيهما (تصبح $\theta = 90^o$).

السرعة المدارية: Orbital velocity (السرعة الكونية الأولى ϑ_{Orb})

هي السرعة الابتدائية التي يجب تزويد التابع m بها، ليتحرك على المدار المحدد (حول الجرم M_p) دون أن يحيد عنه. يبقى التابع على المدار طالما كانت قوة الطرد المركزية مساوية لقوة الجذب الكتلي. وفق العلاقة:

$$m\frac{\vartheta_{Orb}^2}{R_{Orb}} = G\frac{m\,M_p}{R_{Orb}^2} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\vartheta_{Orb} = \sqrt{\frac{GM_p}{R_{Orb}}} \quad ; R_{Orb} = R_p + h}$$

مثال: يحلق قمر صناعي في مدار دائري ثابت على ارتفاع $h = 1000\ km$ عن سطح الأرض. احسب سرعته المدارية. ثم احسب دوره بطريقتين. علماً أن $R_E \approx 6400\ km$ و $G = 6{,}67\times10^{-11}\ Nm^2/kg^2$ و $M_E \approx 6\times10^{24}\ kg$

الحل: لدينا $R_{Orb} = R_E + h = 7400\ km = 74\times10^5\ m$

$$\vartheta_{Orb} = \sqrt{\frac{GM_E}{R_{Orb}}} = \sqrt{\frac{6{,}67\times10^{-11}\times6\times10^{24}}{74\times10^5}} \approx 7354\ m/s$$

وهي السرعة الدنيا التي يجب أن يحلق بها القمر الصناعي لكي يبقى في المدار.

حساب الدور، طريقة ١: من كبلر $T = 2\pi\sqrt{\frac{R_{Orb}^3}{GM_E}} = 6{,}28\sqrt{\frac{(74\times10^5)^3}{6{,}67\times10^{-11}\times6\times10^{24}}} \approx 6319{,}3\ s$

طريقة ٢: $T = \frac{2\pi R_{Orb}}{\vartheta_{Orb}} = \frac{6{,}28\times74\times10^5}{7354} \approx 6319{,}3\ s$

سرعة الإفلات: Escape velocity (السرعة الكونية الثانية ϑ_{Esc})

هي السرعة الابتدائية التي يجب تزويد التابع m بها، كي تتغلب طاقته الحركية $E_k = \frac{1}{2}m\vartheta_{Esc}^2$ على الطاقة الكامنة للمدار U بحيث يستطيع الإفلات (الهروب) من جاذبية الجرم. كما بالشكل ( ) الموضح في فقرة المقذوفات والتوابع الأرضية التالي. نحسب الطاقة الكامنة للمدار بإجراء التكامل التالي (العمل = - تغير الطاقة الكامنة)

$$U = -\int F_g\,dR = -\int G\frac{mM}{R_{Orb}^2}dR = G\frac{mM}{R_{Orb}}$$

$$\frac{1}{2}m\vartheta_{Esc}^2 = G\frac{mM}{R_{Orb}} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\vartheta_{Esc} = \sqrt{\frac{2GM}{R_{Orb}}} = \sqrt{2}\,\vartheta_{Orb} \quad ; R_{Orb} = r_E + h}$$

مثال: ما هي الطاقة الكامنة للأرض على سطحها باعتبار المركز هو المرجع. حيث $m = 1\ kg$ و $R_{Ear} \approx 6400\ km$

$$U = G\frac{mM_E}{R_E} = \frac{6{,}67\times10^{-11}\times1\times6\times10^{24}}{64\times10^5} \approx 63\times10^6\ J \approx 63\ MJ$$

طريقة ثانية: اعتماداً على قانون انحفاظ الطاقة الكلية "مجموع أعمال قوى الاحتكاك = تغير الطاقة الكلية".

$$\sum W_r = \Delta E = \Delta K + \Delta U = 0 \quad \text{(لا توجد قوى احتكاك)}$$

$$K_2 - K_1 = U_1 - U_2$$

$$\frac{1}{2}m\vartheta_f^2 - \frac{1}{2}m\vartheta_i^2 = G\frac{m\,M}{R_{Orb\,i}} - G\frac{m\,M}{R_{Orb\,f}}$$

$$\vartheta_f^2 - \vartheta_i^2 = 2GM\left(\frac{1}{R_{Orb\,i}} - \frac{1}{R_{Orb\,f}}\right)$$

فإذا اعتبرنا أن الإطلاق يتم من سطح الأرض $(R_{Orb\,i} = R_E)$ وسرعة الإطلاق الابتدائية هي سرعة الإفلات $\vartheta_i = \vartheta_{Esc}$، وأن المدار النهائي الذي يصله التابع يكون بعيد جداً بحيث نهمل عنده تأثير الجاذبية الأرضية $(R_{Orb\,f} = \infty)$، والسرعة النهائية تصبح معدومة $\vartheta_f = 0$. فنجد بالتعويض

$$\vartheta_{Esc} = \sqrt{\frac{2GM_E}{R_E}} = \sqrt{2}\,\vartheta_{Orb}$$

نتيجة: تتناسب سرعتي التابع m (المدارية ϑ_{Orb} والإفلات ϑ_{Esc}) طرداً مع كتلة الجرم M وعكساً مع نصف قطر المدار R_{Orb}، ولا علاقة لكتلته m بهما.

استنتاج قانون كبلر الثالث:

طريقة ١: عندما ينفذ التابع مساراً دائرياً حول الكوكب الذي كتلته M_p، فهو يقطع مسافة $2\pi R_{Orb}$ خلال زمن T.

$$T=\frac{2\pi R_{Orb}}{\vartheta_{Orb}}=2\pi R_{Orb}\sqrt{\frac{R_{Orb}}{GM_p}} \quad \Rightarrow \quad T=2\pi\sqrt{\frac{R_{Orb}^3}{GM_p}} \quad ; R_{Orb}=r_p+h$$

طريقة ٢:

يبقى التابع على المدار طالما كانت قوة الطرد المركزية مساوية لقوة الجذب الكتلي. وفق العلاقة:

$$m\frac{\vartheta_{Orb}^2}{R_{Orb}}=G\frac{mM_p}{R_{Orb}^2} \Rightarrow \vartheta_{Orb}^2=G\frac{M_p}{R_{Orb}} \Rightarrow \frac{4\pi^2R_{Orb}^2}{T^2}=G\frac{M_p}{R_{Orb}} \Rightarrow T=2\pi\sqrt{\frac{R_{Orb}^3}{GM_p}}$$

نتيجة هامة: بتربيع طرفي قانون كبلر نحصل على التناسب التالي الثابت من أجل كافة توابع الكوكب M_p

$$\frac{T^2}{R_{Orb}^3}=\frac{4\pi^2}{GM_p}=cte$$

فمن أجل الأقمار الصناعية (التوابع الأرضية) $\frac{T^2}{R_{Orb}^3}=\frac{4\pi^2}{GM_E}=\frac{39{,}48}{6{,}67\times10^{-11}\times6\times10^{24}}\approx0{,}9865\times10^{-13}\ s^2/m^3$

ومن أجل الكواكب (التوابع الشمسية) $\frac{T^2}{R_{Orb}^3}=\frac{4\pi^2}{GM_S}=\frac{39{,}48}{6{,}67\times10^{-11}\times2\times10^{30}}\approx2{,}96\times10^{-19}\ s^2/m^3$

الأقمار الصناعية (المقذوفات والتوابع الأرضية):

شَهد القرن الحادي والعشرين ثورتين كانتا إلى أمدٍ قريب حلماً يراود الكثيرين من أهل العلم والمعرفة. وهما ثورة غزو الفضاء التي كللتها بنجاحٍ منقطع النظير ثورة المعلوماتية والاتصالات. حيث تم وضع الأقمار الصناعية والتلسكوبات في مدارات خاصة حول الأرض. وجرى العمل على سبر أغوار الكون.

فقد تحقق حلم الإنسان في غزو الفضاء على يد رائد الفضاء الروسي يوري غاغارين في ١٢ / ٤ / ١٩٦١ م الذي حلق في الفضاء بصاروخ ڤاستوك (الشرق) لمدة ١٠٨ دقائق، قام خلالها بالدوران حول الأرض لمرة واحدة. وعند الهبوط انفصلت القُمرة (الكبسولة المصفحة) عن جسم الصاروخ حاملةً داخلها الرائد. لتسقط كقذيفة جوية بسرعة مساوية لسرعة الصاروخ، وعند اختراقها الغلاف الجوي شبت النار من حولها بفعل الاحتكاك، وبمساعدة المظلات وصلت القُمرة والصاروخ إلى الأرض.

وضع الروس مركبة الفضاء (مير) في المدار واستخدموها في إجراء البحوث والتجارب التي تتطلب انعدام للوزن. طور الروس والأمريكان نظام الإقلاع والهبوط خلال الخمسين سنة الماضية واستخدموا مكوك الفضاء لنقل الرواد والمؤن بين الأرض والمركبة التي استبدلت حالياً بالمركبة الدولية.

تلعب الأقمار الصناعية Sattelites دوراً هاماً ورياديا في حياة الإنسان المعاصر، وأضحت أكثر من حاجة أساسية على صعيد الأفراد والمؤسسات والدول. ولكلٍ منها مداره وارتفاعه واتجاه الدوران الخاص به. منها الذي يدور في مداره بانتظام، ومنها الثابت فوق نقطة محددة على الأرض.

تدعى المأهولة منها مركبات فضائية. تُطلق من الأرض إلى المدار بواسطة صواريخ بسرعة إفلات $11{,}2\ km/s$.

وهي عبارة عن قُمرات مجهزة بألواح شمسية للتزود بالطاقة مباشرة من الشمس التي قلما تغيب عنها، وبأنظمة ملاحة مؤتمتة عالية الدقة ومعدات اتصال للتحكم والتوجيه من قبل مستثمريها على الأرض.

كما تُزود بأجهزة خاصة بالمهام الموكلة إليها، وسميت أقمار نسبة للقمر الطبيعي Moon من حيث التبعية للأرض. وهي ذات أغراض عديدة، نذكر منها:

استكشافية: تدور حول الأرض وفق مسارات موازية لخطوط الطول من الشمال إلى الجنوب، وتطير فوق القطبين على ارتفاعات منخفضة تصل إلى $500\ km$. منها: المخصص لوضع خرائط جغرافية (تضاريس سطحية وثروات باطنية)، أو لدراسة المناخ وتقلبات الطقس، كالقمرين الأمريكي Land sat والفرنسي Spot. أو لتصوير الفضاء (هابل Hubble، وسبيتزر)، كما توجد مركبات (سفن فضائية) تجوب الفضاء لدراسة كواكب ومذنبات النظام الشمسي مثل (بايونير، ڤوياجر، ڤايكنغ)

حربية: لأغراض الدفاع والهجوم والتجسس، (برنامج حرب النجوم الأمريكي الذي أطلقه رولاند ريغان).

خدمات: في الاتصالات، مثل القمران العربيان (عربسات) و (نايل سات)، والأجنبيان (يوتل سات) و (هوت بيرد).

وفيما يلي نستعرض آلية إيصال المقذوفات إلى المدار المستقر، وكيف يتحول هذا المقذوف لتابع يدور في فلك دائري أو إهليلجي، أو يتحول لمقذوف فضائي كما هو موضح في الشكل ( ).

يتم إيصال المقذوف (التابع الأرضي) إلى المدار (المسار المحدد للتابع) بواسطة صاروخ يُطلق من سطح الأرض بسرعة ابتدائية ϑ_o^E شاقولياً نحو الأعلى تساوي سرعة الإفلات من الأرض عند سطحها (من المدار اللصيق بسطحها) $\vartheta_o^E = \vartheta_{Esc}^E \approx 11{,}2\ km/s$.

يُراعى في اللحظات الأولى بعد الإطلاق توجيه الصاروخ نحو الشرق بغية الإفادة مما يلي:

أولاً: من زخم الأرض (كمية حركتها $\vec{P} = M_E \vec{\vartheta}$) حيث يكتسب الصاروخ قوة دفع مضافة ناتجة عن دوران الأرض حول نفسها (من الغرب نحو الشرق) بسرعة محيطية تزيد عن $400\ m/s$.

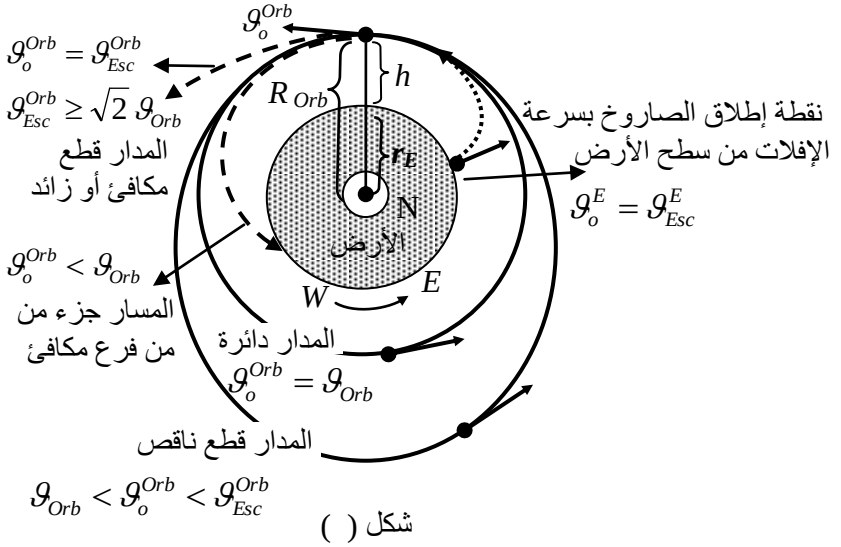
ثانياً: للوصول الآمن للمدار المطلوب، حيث يلجه (يدخله) بزاوية حادة، ويستقر فيه. الأمر الذي يسمح بإطلاق المقذوف (التابع) بسرعة ابتدائية مدارية ϑ_o^{Orb} (من المدار و مماسية له) تحدد نوع المسار المطلوب.

ثالثاً: إن عدم إمالة الصاروخ عن الشاقول أثناء إقلاعه (عدم توجيهه نحو الشرق) يعني أنه سيتابع صعوده (قذف شاقولي) إلى أن ينتهي وقوده، ثم يعود ليسقط على الأرض في نفس نقطة الإطلاق (سقوط حر).

إذن عند الوصول إلى المدار المناسب يتم إطلاق التابع بسرعة ابتدائية مماسية للمدار ϑ_o^{Orb}.

وبالنظر إلى العلاقات السابقة والشكل ( ) يمكن ملاحظة ما يلي:

- إذا كانت $\vartheta_o^{Orb} = \vartheta_{Orb}$ يتحرك المقذوف m على المدار كتابع أرضي ويرسم مسار دائري.
- إذا كانت $\vartheta_o^{Orb} < \vartheta_{Orb}$ يعود المقذوف ليسقط على الأرض (وفق مسار جزء من قطع مكافئ).
- وإذا كانت $\vartheta_o^{Orb} = \vartheta_{Esc}^{Orb} \geq \sqrt{2}\,\vartheta_{Orb}$ يغادر المقذوف المدار ولن يعود تابعاً للأرض ويتحرك باتجاه الكون البعيد كقذيفة فضائية (وفق مسار جزء من قطع مكافئ أو زائد).
- إذا كانت $\vartheta_{Orb} < \vartheta_o^{Orb} < \vartheta_{Esc}^{Orb}$ يبقى المقذوف تابعاً أرضياً ويكون مساره على شكل قطع ناقص.



شكل ( )

مثال: احسب السرعة المدارية ϑ_{Orb}، وسرعة الإفلات ϑ_{Esc}، والزمن الدوري T، لكلٍ مما يلي: للأرض حول الشمس، ثم للقمر Moon حول الأرض، ثم لقمر صناعي satellite يدور حول الأرض في مدار ارتفاعه $h \approx 1200\ km$. علماً أن: $R_{Orb}^{E-S} \approx 150\times10^9\ m$، و $R_{Orb}^{M-E} \approx 383\times10^6\ m$، وثابتة التناسب الكوني $G = 6{,}67\times10^{-11}\ Nm^2/kg^2$، و $M_E \approx 6\times10^{24}\ kg$ و $M_S \approx 2\times10^{30}\ kg$، (تؤخذ المسارات دائرية).

ثم ناقش حالة القمر الصناعي المتزامن الدوران مع الأرض (الذي يبقى فوق نقطة محددة من سطح الأرض).

الحل: الأرض: السرعة المدارية للأرض باعتبارها تابع شمسي يتحرك حول جرم الشمس M_S وفق مسار دائري:

$$\vartheta_{Orb}^{E-S} = \sqrt{\frac{GM_S}{R_{Orb}^{E-S}}} = \sqrt{\frac{6{,}67\times10^{-11}\times2\times10^{30}}{150\times10^9}} \approx 29821\ m/s \approx 30\ km/s \approx 108000\ km/h$$

ويمكن حسابها بطريقة ثانية:

$$\vartheta_{Orb}^{E-S} = \frac{2\pi R_{Orb}^{E-S}}{T} \approx \frac{6{,}28\times150\times10^9}{365{,}25^d\times24^h\times60^m\times60^S} \approx \frac{942\times10^9}{31557600} \approx 29850\ m/s \approx 30\ km/s$$

وعلى هذا فإن الأرض تقطع في اليوم الواحد مسافة

$$\ell = 30\ km/s \times (24^h \times 60^m \times 60^S) \approx 2{,}6 \times 10^6\ km$$

وهي مسافة تتسع لـ ٢٠٠ كرة أرضية. باعتبار أن نصف قطر الأرض $r_E \approx 6400\ km$:

$$2{,}6 \times 10^6\ km / 2r_E \approx (2{,}6 \times 10^6\ km)/(2 \times 6400\ km) \approx 200$$

فيكون عدد الكرات الأرضية التي تملأ مسارها حول الشمس $200 \times 365^{day} \approx 73000$

أو بالشكل $(2\pi\, R_{Orb}^{E-S} / 2r_E) = (6{,}28 \times 150 \times 10^6\ km / 2 \times 6400\ km) \approx 73600$

أما السرعة التي يجب أن تمتلكها الأرض للتمكن من الإفلات من جاذبية الشمس ϑ_{Esc}

$$\vartheta_{Esc}^{E} = \sqrt{2}\, \vartheta_{Orb}^{E-S} = 30\sqrt{2} \approx 42{,}4\ km/s$$

والزمن الدوري: (السنة الأرضية) باستخدام قانون كبلر الثالث

$$T_E = 2\pi \sqrt{\frac{R_{Orb(E-S)}^3}{GM_S}} = 6{,}28 \sqrt{\frac{(150 \times 10^9)^3}{6.67 \times 10^{-11} \times 2 \times 10^{30}}} = 3158{,}77 \times 10^4\ Sec = \frac{3158{,}77 \times 10^4\ Sec}{1^d \times 24^h \times 60^m \times 60^S} \approx 365{,}6\ day$$

القمر Moon : السرعة المدارية للقمر حول جرم الأرض M_E:

$$\vartheta_{Orb}^{M-E} = \sqrt{\frac{GM_E}{R_{Orb}^{M-E}}} = \sqrt{\frac{6{,}67 \times 10^{-11} \times 6 \times 10^{24}}{383 \times 10^6}} \approx 1022\ m/s \approx 1\ km/s$$

ويمكن حسابها بطريقة ثانية:

$$\vartheta_{Orb}^{M-E} = \frac{2\pi\, R_{Orb}^{M-E}}{T} \approx \frac{6{,}28 \times 383 \times 10^6}{27{,}3^d \times 24^h \times 60^m \times 60^S} \approx \frac{942 \times 10^9}{31557600} \approx 1020\ m/s \approx 1\ km/s$$

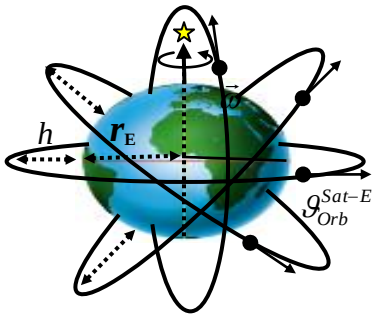
أما سرعة إفلات القمر من مداره حول الأرض ϑ_{Esc}^{M}

$$\vartheta_{Esc}^{M} = \sqrt{2}\, \vartheta_{Orb}^{M-E} \approx 1\sqrt{2} \approx 1{,}4\ km/s$$

والزمن الدوري: (السنة القمرية = شهر الأرض القمري) باستخدام قانون كبلر الثالث

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{R_{Orb(M-E)}^3}{GM_E}} = 6{,}28 \sqrt{\frac{(383 \times 10^6)^3}{6.67 \times 10^{-11} \times 6 \times 10^{24}}}$$

$$\approx 2353000\ Sec = \frac{2353000\ Sec}{1^d \times 24^h \times 60^m \times 60^S} \approx 27{,}23\ day$$



شكل ( )

القمر الصناعي satellite

نحسب نصف قطر مدار القمر الصناعي حول الأرض

$$R_{Orb}^{Sat-E} = r_E + h \approx 6400\ km + 1200\ km = 7600\ km = 76 \times 10^5\ m$$

فتكون السرعة المدارية للقمر الصناعي حول جرم الأرض M_E:

$$\vartheta_{Orb}^{Sat-E} = \sqrt{\frac{GM_E}{R_{Orb}^{Sat-E}}} = \sqrt{\frac{6{,}67 \times 10^{-11} \times 6 \times 10^{24}}{76 \times 10^5}} \approx 7250\ m/s \approx 7{,}25\ km/s$$

سرعة إفلات القمر الصناعي من المدار ϑ_{Esc}^{Sat}

$$\vartheta_{Esc}^{Sat} = \sqrt{2}\, \vartheta_{Orb}^{Sat-E} \approx 7{,}25\sqrt{2} \approx 10{,}25\ km/s$$

أما سرعة إفلات القمر الصناعي من الأرض (لحظة إطلاقه) ϑ_{Esc}^{E}

$$\vartheta_{Esc}^{E} = \sqrt{\frac{2GM_E}{r_E}} \approx \sqrt{\frac{2 \times 6{,}67 \times 10^{-11} \times 6 \times 10^{24}}{6{,}4 \times 10^6}} \approx 11{,}2 \times 10^3\ m/s \approx 11{,}2\ km/s$$

الزمن الدوري للقمر الصناعي: (باستخدام قانون كبلر الثالث)

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{R_{Orb(Sat-E)}^3}{GM_E}} = 6{,}28 \sqrt{\frac{(76 \times 10^5)^3}{6.67 \times 10^{-11} \times 6 \times 10^{24}}} \approx 6577\ Sec = \frac{6577\ Sec}{1^h \times 60^m \times 60^S} \approx 1{,}83\ h$$

أي أن القمر الصناعي الموضوع في مدار ارتفاعه $h \approx 1200\ km$ يدور حول الأرض ١٣ مرة في اليوم.

بالنسبة للقمر الصناعي المتزامن الدوران مع الأرض (يبقى فوق نقطة محددة على سطح الأرض). فإنه من الواضح أن القمر يجب أن يكون في مدار تتساوى فيه السرعة المدارية مع السرعة المحيطية كما بالشكل ( ).

$$\vartheta_{Orb}^{Sat-E} = \omega_E \, R_{Orb}^{Sat-E} \, Cos\,\theta = \sqrt{\frac{GM_E}{R_{Orb}^{Sat-E}}}$$

بتربيع الطرفين، وأخذ الجذر التكعيبي للطرفين نجد:

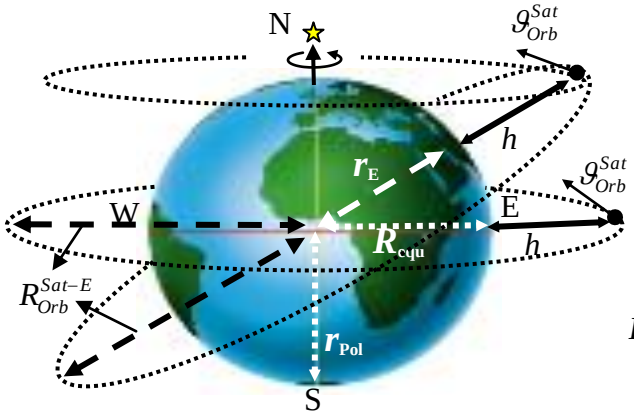
$$R_{Orb}^{Sat-E} = \sqrt[3]{\frac{GM_E}{\omega_E^2 \, Cos^2\,\theta}}$$

وبالتعويض عن ω_E بقيمتها المحسوبة سابقاً:

$$\omega_E \approx 7{,}3\times10^{-5}\ rad/s$$

$$R_{Orb}^{Sat-E} = \sqrt[3]{\frac{6{,}67\times10^{-11}\times6\times10^{24}}{(7{,}3\times10^{-5})^2 Cos^2\,\theta}} \approx \frac{42190\times10^3}{\sqrt[3]{Cos^2\,\theta}}\ m$$

$$= \frac{42190}{\sqrt[3]{Cos^2\,\theta}}\ km = \frac{42190}{(Cos\,\theta)^{2/3}}\ km$$



شكل ( )

وبما أن $R_{Orb}^{Sat-E} = r_E + h \approx 6400\ km + h$ بالتعويض نحصل على الارتفاع $h = R_{Orb}^{Sat-E} - 6400\ km$

$$h = [\frac{42190}{\sqrt[3]{Cos^2\,\theta}} - 6400]\,km$$

أما سرعته في هذا المدار فتكون مساوية للسرعة المحيطية

$$\vartheta_{Orb}^{Sat-E} = \omega_E \, R_{Orb}^{Sat-E} \, Cos\,\theta = 7{,}3\times10^{-5}\times\frac{42190}{(Cos\,\theta)^{2/3}} Cos\,\theta = 307987\times10^{-5}\times(Cos\,\theta)^{1/3}\ \ km/s$$

أما زمنه الدوري فيجب أن يساوي دور نقطة من محيط الأرض $(24\ h)$

$$T = \frac{2\pi R_{Lat}}{\vartheta_{Orb}^{Sat}} = \frac{2\pi R_{Orb}^{Sat-E} Cos\,\theta}{\omega_E \, R_{Orb}^{Sat-E} \, Cos\,\theta} = \frac{2\pi}{\omega_E}$$

حيث $R_{Lat} = R_{Orb}^{Sat-E} Cos\,\theta$ نصف قطر دائرة عرض المدار $R_{Latitud}$

فمثلاً المدار الواقع فوق استواء الأرض $(\theta = 0^o)$ يبلغ ارتفاعه $h = [42190 - 6400] = 35790\ km$

و سرعته في هذا المدار تكون مساوية للسرعة المحيطية وتساوي $\vartheta_{Orb}^{Sat-E} = 307987\times10^{-5} \approx 3{,}08\ km/s$

أما دوره فيجب أن يساوي دور نقطة من محيط الأرض $(24\ h)$ أي: $T = 2\pi/\omega_E = 24\ h$

أما بالنسبة للمدار الواقع فوق مدار السرطان $(\theta = 23{,}5^o)$، فيبلغ ارتفاعه $h \approx [\frac{42190}{0{,}944} - 6400] \approx 38297\ km$

و سرعته في هذا المدار تكون مساوية للسرعة المحيطية وتساوي

$$\vartheta_{Orb}^{Sat-E} = 307987\times10^{-5}\times(Cos\,\theta)^{1/3}\ \ km/s \approx 3\ km/s$$

ودوره يساوي أيضاً دور نقطة من محيط الأرض $(24\ h)$ أي: $T = 2\pi/\omega_E = 24\ h$

ملاحظة: نظرا لعدم انتظام كروية الأرض، المتمثل بتفلطحها عند خط الاستواء، وانبعاج نصفها الشمالي (نصفها الجنوبي أكبر من الشمالي)، يجب أخذ نصف قطر الأرض الحقيقي عند النقطة التي يتم التحليق المتزامن فوقها. يبلغ نصف قطر الأرض عند خط الاستواء $r_{equ} \approx 6378\ km$ وعند القطبين $r_{Pol} \approx 6357\ km$، أي بفارق $21\ km$، وفي المتوسط يكون $r_E \approx 6371\ km$ (المتوسط هنا مأخوذ لعدة نقاط على السطح).

علاقة سرعة إفلات الجزيئات بدرجة حرارة سطح الجرم:

يستطيع الجرم الاحتفاظ بغلافه الغازي طالما بقيت الطاقة الحركية للجزيئات أقل من طاقتها الحرارية.

وعندما تتساوى الطاقتان تبدأ الجزيئات بالهروب والإفلات من سطحه وفق العلاقة:

$$\frac{1}{2} m \vartheta_{Nat}^2 = \frac{3}{2} K T_{Nat} \quad \Leftrightarrow \quad \frac{1}{2} m \vartheta_{Esc}^2 = \frac{3}{2} K T_{Esc}$$

حيث m كتلة الذرة أو الجزيء و ϑ_{Esc} سرعة الإفلات، و T_{Esc} درجة حرارة الإفلات من سطح الجرم، و $K = 1{,}38\times10^{-23}\ J/k^o$ ثابتة بولتزمان. والرمز Nat يشير للحالة الطبيعية $Natural$.

مثال: احسب سرعة الإفلات من مدار نصف قطره يساوي نصف قطر الجرم، ثم احسب درجة حرارة سطح هذا الجرم الكفيلة بإفلات ذرة الهيدروجين منه (هروبها عنه). وذلك من أجل الأجرام (الشمس، الأرض، القمر).

علماً أن: كتلة ذرة الهيدروجين $m_H = 1{,}67\times10^{-27}\ kg$ و ثابتة بولتزمان $K = 1{,}38\times10^{-23}\ J/k^o$.

و $M_{Sun} = 2\times10^{30}\ kg$ و $r_{Sun} = 7\times10^{8}\ m$ و $M_E = 6\times10^{24}\ kg$ و $r_E = 6{,}4\times10^{6}\ m$

و $M_{MO} = 7{,}6\times10^{22}\ kg$ و $r_{MO} = 1738\times10^{3}\ m$ و $G = 6{,}67\times10^{-11}\ Nm^2/kg^2$

- علل لماذا يوجد لبعض هذه الأجرام غلاف جوي في حين لا يوجد لبعضها الآخر كالقمر مثلاً،

علماً أن درجة حرارة السطح الطبيعية (للشمس $T^S_{Nat} = 6000\ k^o$ ، وللأرض $T^E_{Nat} = 300\ k^o$، ودرجة حرارة الجانب المضاء من سطح القمر $T^M_{Nat} = 400\ k^o$).

الحل: <u>الشمس:</u> نحسب في البداية سرعة الإفلات من المدار (اللصيق بالسطح)

$$\vartheta^{Sun}_{Esc} = \sqrt{\frac{2GM_{Sun}}{r_{Sun}}} = \sqrt{\frac{2\times6{,}67\times10^{-11}\times2\times10^{30}}{7\times10^{8}}} \approx 617\times10^{3}\ m/s$$

فتكون درجة حرارة سطح الشمس اللازمة لإفلات ذرة الهيدروجين منه (هروبها عنه).

$$T^{Sun}_{Esc} = \frac{m\vartheta^2_{Esc}}{3K} = \frac{1{,}67\times10^{-27}\times(617\times10^{3})^2}{3\times1{,}38\times10^{-23}} \approx 153563\times10^{2} \approx 15\times10^{6}\ k^o$$

تشير النتيجة إلى كون درجة حرارة السطح الطبيعية $T^S_{Nat} = 6000\ k^o$ أقل بكثير من درجة حرارة الإفلات.

نحسب السرعة الطبيعية لذرات الهيدروجين عند درجة حرارة السطح الطبيعية $T^S_{Nat} = 6000\ k^o$ فنجد:

$$\vartheta^{Sun}_{Nat} = \sqrt{\frac{3KT^{Sun}_{Nat}}{m_H}} = \sqrt{\frac{3\times1{,}38\times10^{-23}\times6\times10^{3}}{1{,}67\times10^{-27}}} \approx 12{,}2\times10^{3}\ m/s$$

بما أن $\vartheta^{Sun}_{Nat} << \vartheta^{Sun}_{Esc}$ فإن الشمس تحتفظ بغلاف جوي.

<u>الأرض:</u> نحسب في البداية سرعة الإفلات من المدار (اللصيق بالسطح)

$$\vartheta^{E}_{Esc} = \sqrt{\frac{2GM_{E}}{r_{E}}} = \sqrt{\frac{2\times6{,}67\times10^{-11}\times6\times10^{24}}{6{,}4\times10^{6}}} \approx 11{,}2\times10^{3}\ m/s$$

فتكون درجة حرارة سطح الأرض اللازمة لإفلات ذرة الهيدروجين عنه (هروبها منه).

$$T^{E}_{Esc} = \frac{m\vartheta^2_{Esc}}{3K} = \frac{1{,}67\times10^{-27}\times(11{,}2\times10^{3})^2}{3\times1{,}38\times10^{-23}} \approx 50{,}6\times10^{2} \approx 5060\ k^o$$

نحسب السرعة الطبيعية لذرات الهيدروجين عند درجة حرارة السطح الطبيعية $T^E_{Nat} = 300\ k^o$ فنجد:

$$\vartheta^{E}_{Nat} = \sqrt{\frac{3KT^{E}_{Nat}}{m_H}} = \sqrt{\frac{3\times1{,}38\times10^{-23}\times3\times10^{2}}{1{,}67\times10^{-27}}} \approx 2700\ m/s$$

بما أن $\vartheta^{E}_{Nat} << \vartheta^{En}_{Esc}$ فإن الأرض تحتفظ بغلاف جوي.

<u>القمر:</u> نحسب في البداية سرعة الإفلات من المدار (اللصيق بالسطح)

$$\vartheta^{M}_{Esc} = \sqrt{\frac{2GM_{M}}{r_{M}}} = \sqrt{\frac{2\times6{,}67\times10^{-11}\times7{,}6\times10^{22}}{1738\times10^{3}}} \approx 2400\ m/s$$

وهي السرعة التي تنطلق بها مركبات الاستكشاف الصغيرة (المسابر) التي تحط على سطح القمر للعودة إلى المركبة الفضائية الأم الجاثمة في مدار القمر ومن ثم العودة للأرض.

فتكون درجة حرارة سطح القمر اللازمة لإفلات ذرة الهيدروجين عنه (هروبها منه).

$$T^{M}_{Esc} = \frac{m\vartheta^2_{Esc}}{3K} = \frac{1{,}67\times10^{-27}\times(2{,}4\times10^{3})^2}{3\times1{,}38\times10^{-23}} \approx 230\ k^o$$

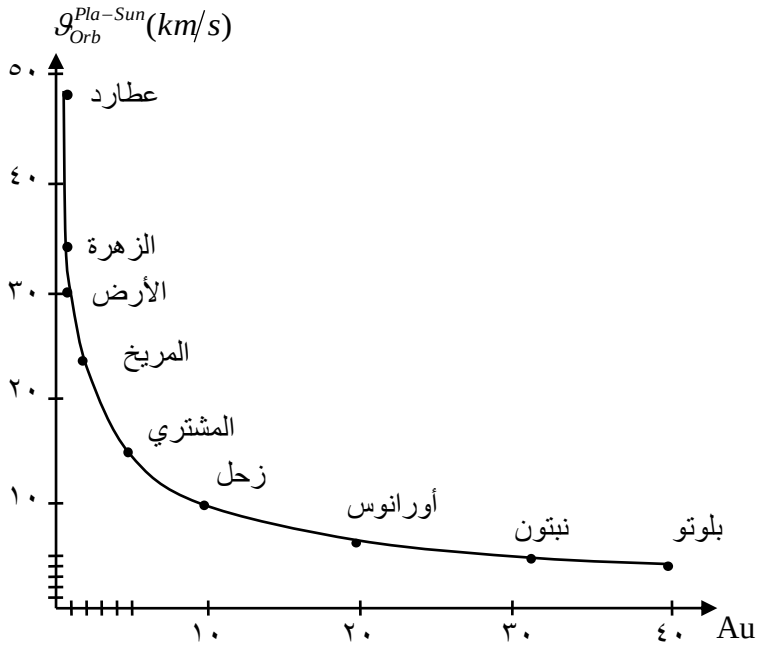
نحسب السرعة الطبيعية لذرات الهيدروجين عند درجة حرارة السطح الطبيعية $T^M_{Nat} \approx 400\ k^o$ فنجد:

$$\vartheta^{M}_{Nat} = \sqrt{\frac{3KT^{M}_{Nat}}{m_H}} = \sqrt{\frac{3\times1{,}38\times10^{-23}\times4\times10^{2}}{1{,}67\times10^{-27}}} \approx 3100\ m/s$$

بما أن $\vartheta^{M}_{Nat} >> \vartheta^{M}_{Esc}$ فإن القمر لا يحتفظ بغلاف جوي.

ملاحظة: مخطط بياني لسرعات الكواكب المدارية حول الشمس

فهي تتناقص كلما ابتعد الكوكب عن الشمس.



مخطط بياني يوضح علاقة التناسب العكسي بين السرعة المدارية للكواكب مقدرة بـ (km/s) مع الجذر التربيعي لبعده عن الشمس مقدراً بالوحدات الفلكية Au

شكل ( )

الفصل الثاني
كرة الأرض وكرة السماء
The terrestrial and Celestial sphere

مقدمة:

لقد بدأ علم الفلك الكروي منذ القرن الثاني ق م بعد أن وضع عالم الفلك الصيني هياهونج نظرية السماء الكروية. حيث قال أن الكون بيضة والأرض صفارها وقبة السماء الزرقاء بياضها.

فالقبة السماوية Celestial Sphere هي ذلك الجزء من السطح الكروي المستند على محيط الأفق المنظور، وتتحرك عليه الشمس والقمر حركة ظاهرية وفق مسارات محددة من الشرق باتجاه الغرب بعكس الحركة الحقيقية للأرض، وتزينه النجوم المتناثرة على السطح في كافة الاتجاهات.

وبكلام آخر: تُحيط كرة السماء بالأرض الثابتة (من وجهة نظر مركزية الأرض) فتدور حولها حاملةً معها الشمس والقمر وبقية النجوم، وباستمرار الدوران يحدث الغروب تحت الأفق، ثم تُعيد رفعها لتشرق فوق الأفق من جديد.

لدراسة الحركة الظاهرية (كما يراها الإنسان من سطح الأرض) لابد من تعريف جملة إسناد مناسبة نستطيع من خلالها التعرف على مواضع حركة الأجرام السماوية ومساراتها وسرعها. وجملة الإحداثيات الكروية هي الجملة المناسبة (وفقاً لهذا التصور). وفيما يلي نسوق بعض المفاهيم الخاصة بهذه المنظومة كما هو موضح في الشكل (1).

- الكرة Sphere:

١)- هي مجسم لشكل هندسي ابتعدت كافة نقاط سطحه عن المركز o بُعداً واحداً يُدعى نصف القطر R.

مثل $OA = OB = OP = OQ = R$

٢)- هي المحل الهندسي لنقاط السطح الناتجة عن دوران نصف دائرتها العظمى، عندما تدور حول قطرها بزاوية 360^o. مثل نصفي الدائرتين CPQD و AGPB

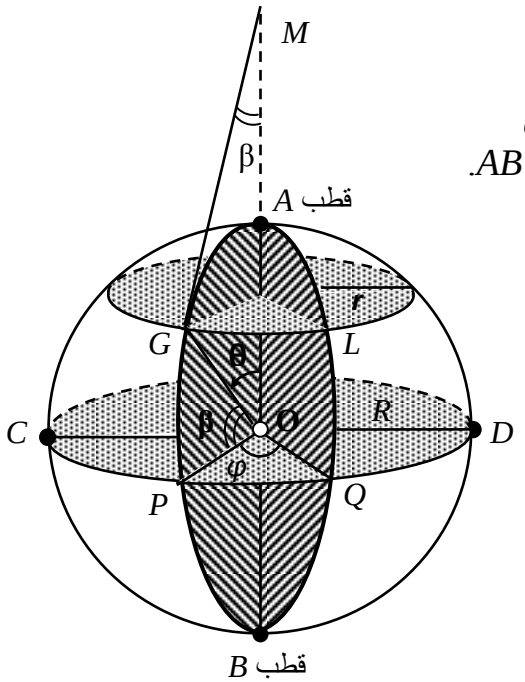
- قطر الكرة $2R$: هو القطعة المستقيمة AB الواصلة بين نقطتين من سطحها مروراً بالمركز o. وقيمته تساوي واحدة الأطوال.
- قطبي الكرة: هما أي نقطتين مثل (A و B) أو (C و D) من سطح الكرة متناظرتين بالنسبة للمركز o .
- الدائرة العظمى R: ١)- هي الدائرة المولدة للكرة، مثل الدائرة التي قطرها CD.

٢)- هي المحل الهندسي لنقاط تقاطع سطح الكرة مع أي مستوي مار بمركزها.

تُدعى الدوائر العظمى (ذات المستويات الشاقولية) المارة بالقطبين A و B بدوائر الزوال.

تم تقسيم الكرة لـ ١٨٠ دائرة زوال (دائرة طول Longitude circle)، وهي توافق 360 خط طول. حيث يمثل خط الطول نصف محيط الدائرة العظمى، أي ذلك القوس المنطبق على السطح والواصل بين القطبين.

تُدعى الدوائر (ذات المستوي الأفقي) بدوائر العرض Latitude circle. وتدعى دائرة العرض العظمى بدائرة الاستواء Equator وتأخذ التدريج 0^o. كما تم تقسيم الكرة لـ ١٨٠ دائرة عرض ٩٠ منها تقع شمال دائرة الاستواء و ٩٠ دائرة جنوبها.



شكل (1)

- تُقاس الزاوية φ بين دائرتين عُظميين في كرة واحدة بطريقتين:

- بقياس الزاوية الكائنة بين الفصلين المشتركين OP و OQ الناتجين عن تقاطع مستوييهما مع المستوي العمودي على فصلهما المشترك AB.
- بقياس طول القوس PQ مقدراً بالزوايا القطرية، بتطبيق العلاقة $PQ = R\varphi$ شريطة أن تُقدر φ بالراديان.

وللعلم محيط الدائرة يساوي 2π راديان، حيث $\pi = 3{,}14\ rad$.

- الدائرة الصغرى r: هي المحل الهندسي لنقاط تقاطع سطح الكرة مع أي مستوي لا يمر بمركزها. ويكون نصف قطرها $r < R$ دوماً.
- المثلث الكروي: هو مثلث أضلاعه أقواس على سطح كرة، وينتج عن تقاطع ثلاث دوائر عظمى.
- الهلال الكروي APBQA: هو جزء سطح الكرة المحصور بين نصفي دائرتين عظميين. ويمكن اشتقاق علاقة مساحته من علاقة مساحة سطح الكرة $S_O = 4\pi R^2$ الذي يمكن كتابته بالشكل: $S_O = 2(2\pi)R^2$ حيث أن الزاوية 2π هي زاوية الدائرة العظمى ونكتبه بالشكل: $S_0 = 2\varphi R^2$ شريطة أن تُقدر زاوية الهلال φ بالراديان.

ويمكن البرهان بطريقة ثانية:
بمكاملة عبارة عنصر السطح الكروي $d\vec{S}_r = R^2 \sin\theta\, d\theta\, d\varphi\, \vec{u}_r$

$$S_0 = \iint dS_r = R^2 \int_0^{\pi} \sin\theta\, d\theta \int d\varphi = 2\varphi R^2$$

حيث θ هنا هي الزاوية بين AB ونصف القطر OG.

- الزاوية المجسمة Ω: هي الزاوية التي يُرى من خلالها عنصر السطح الكروي $d\vec{S}_r = R^2 \sin\theta\, d\theta\, d\varphi\, \vec{u}_r$.

حيث يكون $\vec{R} // d\vec{S}$ و r ثابت. وتقدر بالستيراديان Sr وتعطى بالعلاقة:

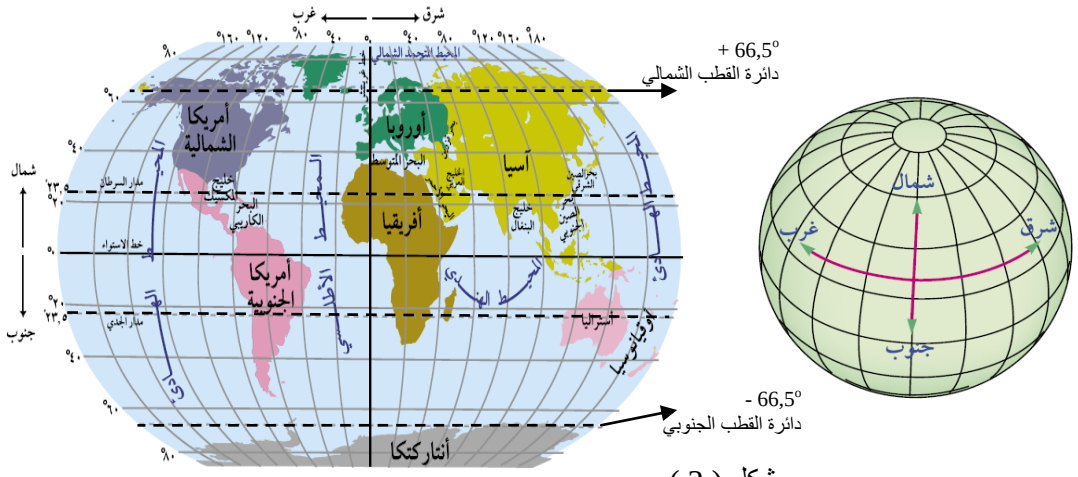
$$\Omega = \oiint_S \frac{\vec{r}\, d\vec{S}}{r^3} = \frac{1}{r^2} \oiint_S r^2 \sin\theta\, d\theta\, d\varphi \;\Rightarrow\; \boxed{\Omega = \int \sin\theta\, d\theta \int d\varphi}$$

- زاوية السمت β: هي الزاوية المحصورة بين المماس للكرة في النقطة G المراد معرفة سمتها وبين امتداد المحور القطبي BA اللذان يتقاطعان في M. وبعبارة أخرى هي الزاوية التي تحدد ارتفاع أو انخفاض النقطة G (دائرة العرض التي تنتمي إليها النقطة) عن مستوي دائرة الاستواء. وتقاس إما بالتدريج الزاوي أو القَطري (الموافق لطول القوس PG).

يتحدد الارتفاع بين الزاوية 0^o عند دائرة الاستواء والزاوية 90^o + عند القطب A (الشمالي).
و يتحدد الانخفاض بين الزاوية 0^o عند دائرة الاستواء والزاوية 90^o - عند القطب B (الجنوبي).

الكرة الأرضية: Spherical earth، (The terrestrial sphere)

لتحديد المواقع على سطح الأرض، قام علماء الجغرافيا قبل ٢٠٠ عام (بعد التأكد من كرويتها) بتحديد موقعي القطبين الجغرافيين الشمالي والجنوبي The northern and southern geographic poles، واعتبروا المحور المار بهما محور دوران الأرض حول نفسها axis، واتخذوا اتجاهاً له نجم القطب الشمالي North star (Polaris).
وهنا لابد من التنويه إلى الفرق بين القطبين الشماليين الجغرافي والمغناطيسي The northern magnetic pole الذي يميل بزاوية ١٢ درجة تقريباً نحو الشرق عن الجغرافي.
كما قاموا بتحديد دائرة استواء الأرض Equator، باعتبارها دائرة العرض العظمى التي تقسم الكرة الأرضية إلى نصفين، شمالي، وجنوبي، ويكون محور دوران الأرض محوراً لها (عمودي على مستويها ومار بمركزها).
وأعطوها الرقم صفر. واستفادوا منها في تقسيم الكرة الأرضية إلى ١٨٠ دائرة طول عظمى متقاطعة في القطبين، أي ٣٦٠ نصف دائرة عظمى، تسمى الواحدة منها على الخارطة الجغرافية خط طول، (يمر بكل درجة من درجات دائرة الاستواء خط طول). واتفقوا على اعتبار خط الطول المار بمدينة غرينتش في المملكة المتحدة (بريطانيا) مبدءاً للقياس، وأعطوه التدريجين صفر و ٣٦٠. ثم يبدأ التدريج وفق نظام التصاعد اليميني (درجة درجة نحو الشرق).
وإذا أخذنا بعين الاعتبار دوران الأرض حول نفسها خلال ٢٤ ساعة، فإن الأرض تدور بمعدل ١٥ درجة في الساعة الواحدة، أو درجة واحدة كل ٤ دقائق. لذا يعمد الجغرافيون عند وضع الخرائط على تثبيت خطوط الطول الزمنية فقط، أي ٢٤ خط طول (بعدد ساعات اليوم)، بدءاً من الصفر أو ٢٤ عند غرينتش ثم ساعة ساعة نحو الشرق، وذلك لسهولة حساب الفروق الزمنية بين منطقة وأخرى (المناطق الواقعة على نفس خط الطول تكون بتوقيت واحد). أي أن الشمس تُشرق على خط الطول الزمني n الواقع شرق أوغرب غرينتش (الذي ترتيبه n بالساعات) قبل ساعة من شروقها على خط الطول (n-1)، ويؤخذ بهذه الحالة الترقيم ٢٤ عند غرينتش.
كما قاموا بتقسيم كلاً من نصفي الكرة الشمالي والجنوبي إلى ٩٠ دائرة صغرى. تسمى الواحدة منها على الخارطة الجغرافية خط عرض. مستويات هذه الدوائر متوازية وتوازي مستوي دائرة استواء الأرض التي تأخذ التدريج صفر، بفارق درجة واحدة بين دائرتي عرض متعاقبتين. ويكون نصف قطر دائرتي نقطتي القطبين معدوم.
يتم التمييز بين خطوط عرض نصفي الكرة بوضع الرمز N للدلالة على شمال خط الاستواء و S للدلالة على جنوبه.
يدعى التدريج الموافق لخط عرض محدد سمت خط العرض (زاوية ارتفاعه شمال خط الاستواء أو انخفاضه جنوب خط الاستواء).
وبهذا التقسيم تتشكل شبكة مربعات قوسية، طول ضلع كل منها يساوي درجة قوسية واحدة. ولمزيد من الدقة في تحديد الموقع يتم تقسيم الدرجة لـ ٦٠ دقيقة، والدقيقة لـ ٦٠ ثانية.
يتحدد موضع نقطة ما على الخارطة الجغرافية بدلالة إحداثيتي خطي الطول Longitude والعرض Declination (Latitude) بالشكل التالي M(Long , Lat). كما هو موضح في الشكل (2).
تمرين: خذ خارطة جغرافية وضع عليها مقياس رسم دقيق وثبتت عليها خطوط الطول الزمنية وسمت دوائر العرض وتعرف على إحداثيات بلدك ومدينتك.



شكل (2)

الإحداثيات السماوية: Positions in the sky

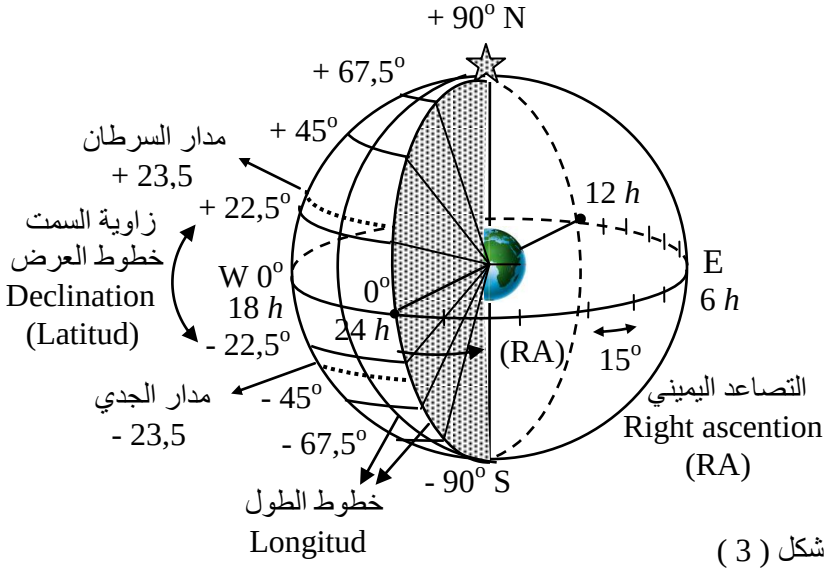
الكرة السماوية: Celestial Sphere

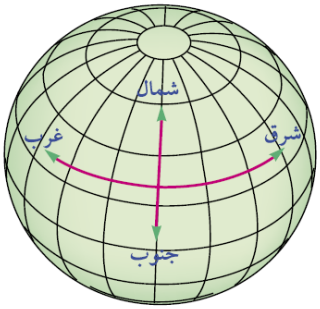
جرى تقسيم الكرة السماوية على غرار الكرة الأرضية. بفارق أن خط الطول 0^o على الأرض يبدأ من الخط المار بمدينة غرينتش، في حين يبدأ هذا الخط في الكرة السماوية من خط الميرديان المار بالقطبين السماويين الشمالي والجنوبي ونقطة الاعتدال الربيعي Vernal equinok التي تكون عندها الشمس (في مسارها على الدائرة الكسوفية) في برج الحمل. حيث تتقاطع الدائرة الكسوفية مع دائرة استواء السماء وخط الميرديان في العقدتين C للاعتدال الخريفي و A للربيعي، فيكون اتجاه الشعاع $\overrightarrow{CA}$ المار بمركز الأرض نحو مجموعة برج الحمل.

تم تقسيم دائرة استواء السماء إلى 360^o درجة تقابلها أقواس قطرية أو ساعات وذلك وفقاً لنظام التصاعد اليميني Right ascention واختصاراً (RA) الذي يبدأ من الميرديان كما هو موضح في الشكلين (3) و (4).

وبما أن كرة السماء تنفذ دورة كاملة حول نفسها بعكس جهة دوران الأرض. فهي تدور 360^o خلال 24 ساعة زمن، أي بمعدل 15^o درجة كل ساعة زمن، وهذا يوافق زاوية مقدارها درجة واحدة كل ٤ دقائق زمن، أو زاوية '1 دقيقة كل ٤ ثوان زمن، أو زاوية 15 ثانية كل ١ ثانية زمن. أما دوائر العرض فهي كما على الأرض 90^o شمال الاستواء ومثلها جنوبه. يدعى القياس المتمثل بارتفاع أو انخفاض دائرة العرض عن دائرة استواء السماء بالمسافة الزاوية Declination أو Angular distance.

مثال: تعطى إحداثيات رجل الجوزاء اليسرى (رجل الجبار Rigle) وفق الصيغة: $RA = 5^h\ 4^m \quad \wp \quad Dec = -8^o\ 12'$





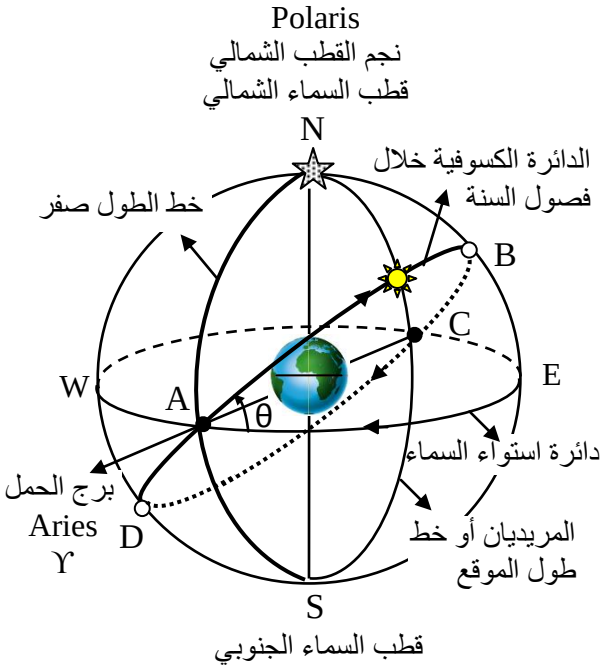
شكل (3)

دائرة الزوال: Meridian circle

هو ذلك الجزء (القوس) من دائرة الطول العظمى المارة بقرص الشمس عند الظهيرة (عند بلوغها أقصى ارتفاع). كما هو موضح في الشكلين (4) و (5). ومجازاً هي نصف دائرة الطول المارة بالقطبين السماويين N و S والسمت الرأسي Zenith وتدعى الدائرة الكاملة دائرة نصف النهار.

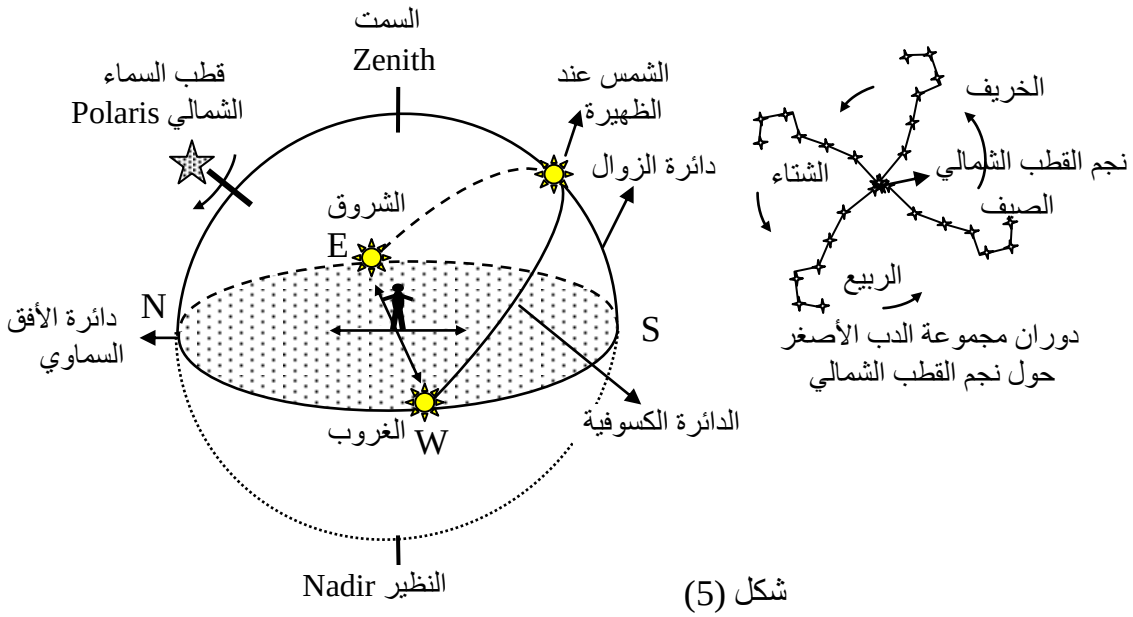
يُؤخذ مبدءاً لقياس خطوط الطول السماوية (صفر) نصف دائرة الطول المارة بالقطبين السماويين N و S والسمت

الرأسي Zenith والشمس عندما تكون الشمس في برج الحمل.
يختلف ارتفاع قرص الشمس عند الظهيرة باختلاف فصول السنة، حيث يتأرجح في المجال $\pm 23{,}5^{o}$ شمال وجنوب دائرة استواء السماء Celestial equator .



شكل (4)

نجم القطب السماوي الشمالي:
Northern celestial polarize star
أبعد النجوم المرئية من النصف الشمالي للكرة الأرضية.
يبدو ثابتاً خلال فصول السنة، وتقوم بقية النجوم الأخرى بالدوران حوله في مسارات شبه دائرية. ويقع في نقطة تقاطع امتداد محور القطب الشمالي للأرض مع الكرة السماوية.
القطب السماوي الجنوبي: Southern celestial polarize
هو نقطة وهمية بالقرب من نجم سهيل. يمكن للراصد في النصف الجنوبي من سطح الأرض رؤية بقية النجوم الأخرى وهي تدور حولها في مسارات شبه دائرية.
ويقع في نقطة تقاطع امتداد محور القطب الجنوبي للأرض مع القبة السماوية.
مثال: يستطيع الراصد في النصف الشمالي من الكرة الأرضية ملاحظة دوران مجموعة الدب الأصغر Littele dipper حول نجم القطب الشمالي دورة كاملة في العام كما هو موضح في الشكل (5) حيث تؤلف هذه المجموعة فيما بينها شكلاً ثابتاً منذ أن تم رصدها لأول مرة في تاريخ البشرية وهو على شكل حرف س مقلوب ⍀ يكون نجم القطب الشمالي أحد نجومها ويقع في بداية حرف السين.
نقطة السمت الرأسية: Zenith
هي نقطة وهمية تحدد سمت الراصد في الجزء الشمالي من الكرة الأرضية، وتقع فوقه مباشرةً على القبة السماوية. يقابلها نقطة النظير Nadir في الجزء الجنوبي من الكرة الأرضية. كما في الشكل (5)
دائرة الأفق السماوي: Celestial horizon circle
هي الدائرة التي يمس مستويها سطح الأرض، ونصف قطرها يساوي المدى الذي يراه الإنسان من تضاريس الأرض (مدى النظر)، فتبدو القبة السماوية مستندة على محيط هذه الدائرة. ومجازاً: يمكن القول بأنها الدائرة العظمى الناتجة من تقاطع مستوي الأفق مع القبة السماوية. كما في الشكل (5)
دائرة استواء السماء (دائرة المعدل): Celestial equator
هي الدائرة المتشكلة من تقاطع امتداد مستوي دائرة استواء الأرض مع القبة السماوية، فتكون عمودية على محور القطبين السماويين، كما هو موضح في الشكل (4).
دائرتي مداري السرطان والجدي السماويتين:
هما الدائرتين المتشكلتين من تقاطع امتداد مستويي دائرتي مداري السرطان والجدي على الأرض مع القبة السماوية.
الدائرة الكسوفية: ecliptic
هي الدائرة التي تتحرك عليها الشمس والقمر وبقية الكواكب السيارة حول الأرض بمعدل دورة واحدة في العام.
يميل مستوي الدائرة الكسوفية على مستوي دائرة استواء السماء بزاوية $\pm 23{,}5^{o}$.
الاتجاهات: directions
نهاراً: يتجه الراصد ووجهه نحو مشرق الشمس فيكون الشرق East، وخلفه تماماً يكون الغرب West، وعلى يمينه الجنوب Sowth، وعلى يساره الشمال North.
ليلاً: يتجه الراصد ووجهه نحو نجم القطب الشمالي Polaris فيكون الشمال، وخلفه تماماً يكون الجنوب، وعلى يمينه الشرق، وعلى يساره الغرب. كما في الشكل (5)
الاقتران: Conjunction
نقول عن جرمين أنهما في حالة اقتران إذا وقعا بجهة واحدة بالنسبة للناظر وكان الثلاثة على استقامة واحدة.
أي أن الزاوية بينهما 0^{o} أو 360^{o}.
التقابل: Opposition
نقول عن جرمين أنهما في حالة تقابل إذا وقعا بجهتين مختلفتين بالنسبة للناظر وكان الثلاثة على استقامة واحدة.
أي أن الزاوية بينهما 180^{o}.



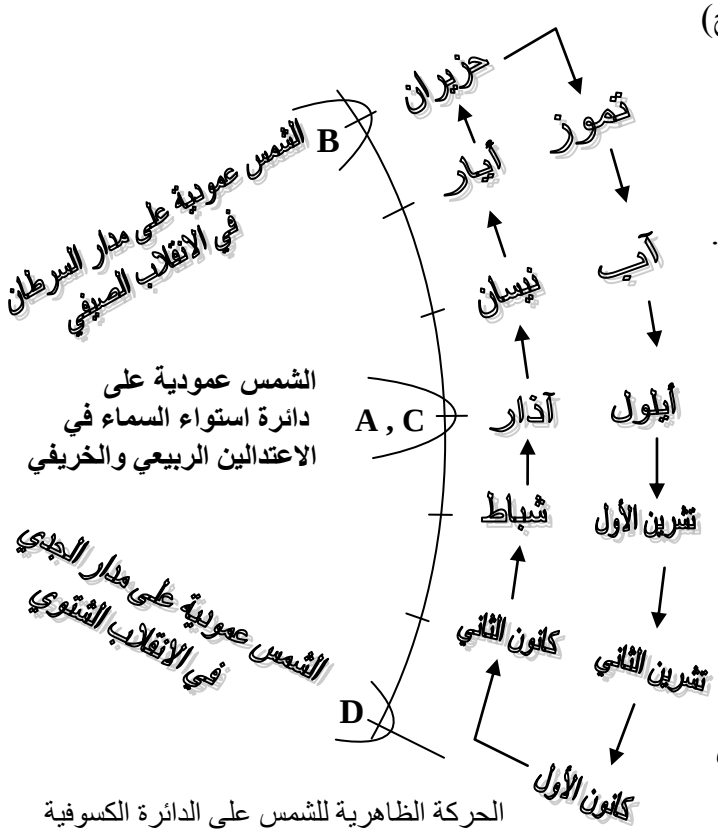
شكل (5)

الحركة الظاهرية للشمس على الدائرة الكسوفية وتعاقب الفصول:

ظاهرياً: الشمس والقمر وبقية الكواكب السيارة تكون محمولة على الكرة السماوية التي تقوم بالدوران حول الأرض من الشرق إلى الغرب (بعكس حركة الدوران الحقيقية للأرض حول نفسها) بمعدل دورة واحدة في اليوم.

وبنفس الوقت تقوم الشمس والكواكب السيارة بالانزلاق التدريجي على المسار ABCD (الدائرة الكسوفية) الموضح في الشكلين (4) و (5) من الغرب إلى الشرق. تحتاج الشمس والكواكب السيارة للانزلاق على كامل المسار ABCD لعام كامل، يحدث خلاله تعاقب الفصول الأربعة المعروفة. وبملاحظة الشكلين (4) و (6) يمكن فهم آلية تتابع الفصول كما يلي:

فصل الربيع: يمتد خلال أشهر شباط وآذار ونيسان. يحصل خلال هذه الفترة عبور الشمس لدائرة استواء السماء من الجنوب الغربي باتجاه الشمال الشرقي لكرة السماء. يستمر خلال هذا العبور تناقص طول الليل على حساب تزايد طول النهار إلى أن يحدث الاعتدال الربيعي في ٢٠-٢١ آذار حيث تكون الشمس حينها في دائرة استواء السماء وعمودية على مدار استواء الأرض ويتساوى عندئذٍ طول الليل والنهار. يتابع النهار (بعد هذا التاريخ) بالتزايد في النصف الشمالي من الكرة الأرضية على حساب تناقص طول الليل. ويحدث النقيض تماماً في النصف الجنوبي من الكرة الأرضية حيث يكون فصل الخريف، ويَقصُر طول النهار.



الحركة الظاهرية للشمس على الدائرة الكسوفية خلال فصول السنة

شكل (6)

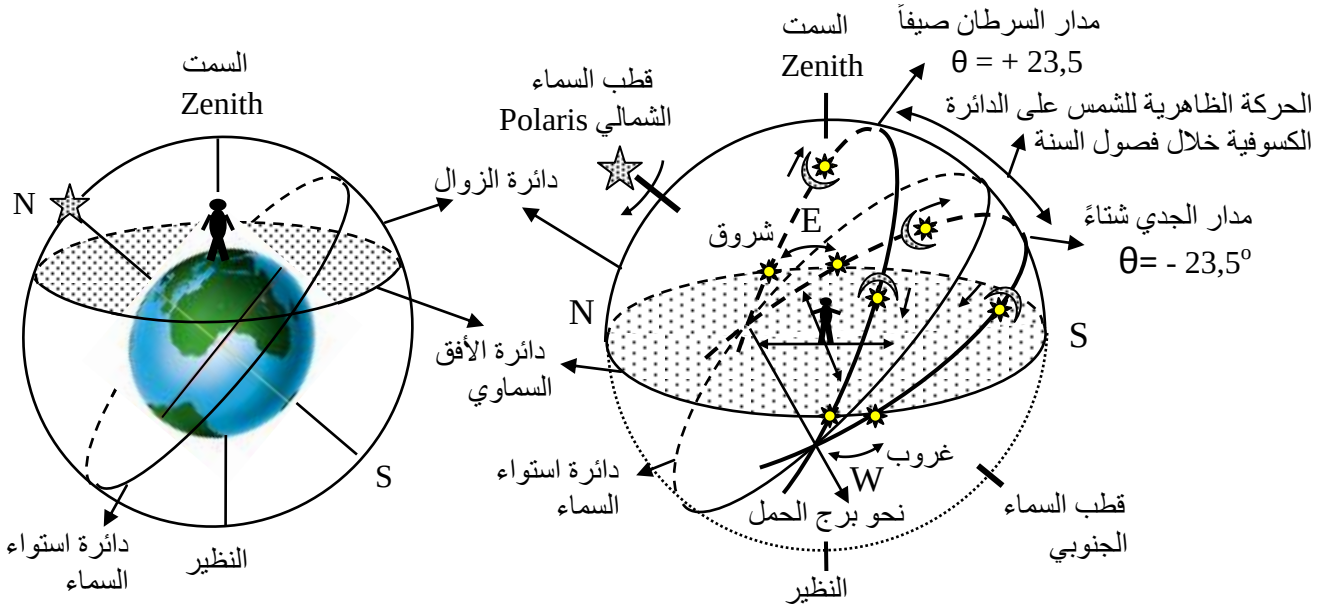
فصل الصيف: يمتد خلال أشهر أيار وحزيران وتموز. تصل فيها الشمس في حركتها على الدائرة الكسوفية إلى أقصى الشمال الشرقي للكرة السماوية، أي تبلغ مدار السرطان السماوي $+23{,}5^{o}$، حيث يحدث الانقلاب الصيفي في ٢١-٢٢ حزيران وتكون الشمس حينها عمودية على مدار السرطان الأرضي.

يبلغ طول النهار في النصف الشمالي من الكرة الأرضية مداه الأقصى، (يصل إلى ٦ أشهر في الدائرة القطبية الشمالية). ثم يبدأ بالتناقص بعد ٢٢ حزيران. ويحدث النقيض تماماً في النصف الجنوبي من الكرة الأرضية حيث يكون فصل الشتاء، ويَقصُر طول النهار إلى حدوده الدنيا كلما ابتعدنا جنوباً باتجاه القطب الجنوبي. وفي الدائرة القطبية الجنوبية يُخيم ليل طويل يدوم قرابة ٦ أشهر.

فصل الخريف: يمتد خلال أشهر آب وأيلول و تشرين الأول. يحصل خلال هذه الفترة عبور الشمس لدائرة

استواء السماء من الشمال الشرقي باتجاه الجنوب الغربي لكرة السماء.
يستمر خلال هذا العبور تناقص طول النهار على حساب تزايد طول الليل، إلى أن يحدث الاعتدال الخريفي في ٢٢-٢٣ أيلول، حيث تكون الشمس حينها في دائرة استواء السماء وعمودية على مدار استواء الأرض، ويتساوى عندئذٍ طول الليل والنهار.
يتابع طول النهار (بعد هذا التاريخ) بالتناقص في النصف الشمالي من الكرة الأرضية على حساب تزايد طول الليل. ويحدث النقيض تماماً في النصف الجنوبي من الكرة الأرضية، حيث يكون فصل الربيع، و يَطُول النهار.
فصل الشتاء: يمتد خلال أشهر تشرين الثاني وكانون الأول وكانون الثاني. تصل فيها الشمس في حركتها على الدائرة الكسوفية إلى أقصى الجنوب الغربي لكرة السماء، أي تبلغ مدار الجدي السماوي $-23,5^{o}$ ، حيث يحدث الانقلاب الشتوي في ٢١-٢٢ كانون الأول وتكون الشمس حينها عمودية على مدار الجدي الأرضي. يتناقص طول النهار كلما اتجهنا شمالاً إلى أن ينعدم في الدائرة القطبية الشمالية ويخيم ليل طويل يمتد ٦ أشهر. ثم يبدأ طول النهار بالتزايد بعد ٢٢ كانون الأول.
وفي النصف الجنوبي من الكرة الأرضية يحدث النقيض تماما. حيث يكون فصل الصيف، الذي يتناقص فيه طول الليل كلما ابتعدنا جنوباً إلى أن ينعدم في الدائرة القطبية الجنوبية ويسود نهار طويل يمتد قرابة ٦ أشهر.

أثر حركة الشمس الانزلاقية على الدائرة الكسوفية (خلال فصول السنة) على ظاهرتي الشروق والغروب:
يوضح الشكل (7) راصداً في النصف الشمالي من الكرة الأرضية، تحيط به دائرة الأفق السماوي، وتعلوه زاوية سمته Zenith. وهو يراقب ظاهرتي الشروق والغروب على مدى الفصول الأربعة، فيلاحظ انزياح مشرق الشمس ومغربها نحو الشمال خلال الصيف، وانزياحهما نحو الجنوب شتاءً مروراً بمنطقة وسطى بينهما في فصلي الربيع والخريف. تُرى كم تبلغ الزاوية الكائنة بين أقصى مشرقين وبين أقصى مغربين.
وإذا استطاع الراصد قياس زاوية ارتفاع الشمس في الميرديان فهل يستطيع تحديد موقعه على سطح الأرض.
وكيف يستطيع الملاح توجيه السفينة الضالة إلى بر الأمان ليلاً أو نهاراً.



شكل (7)

دائرة البروج: Zodiac
البروج هي تجمعات لأعداد محدودة من النجوم، تؤلف كلاً منها شكلاً مميزاً وثابتاً بمرور الزمن، أطلق عليها الأقدمون أسماء تناسب هيئتها المنظورة، وقد نظم فيها الشاعر البيتين التاليين:

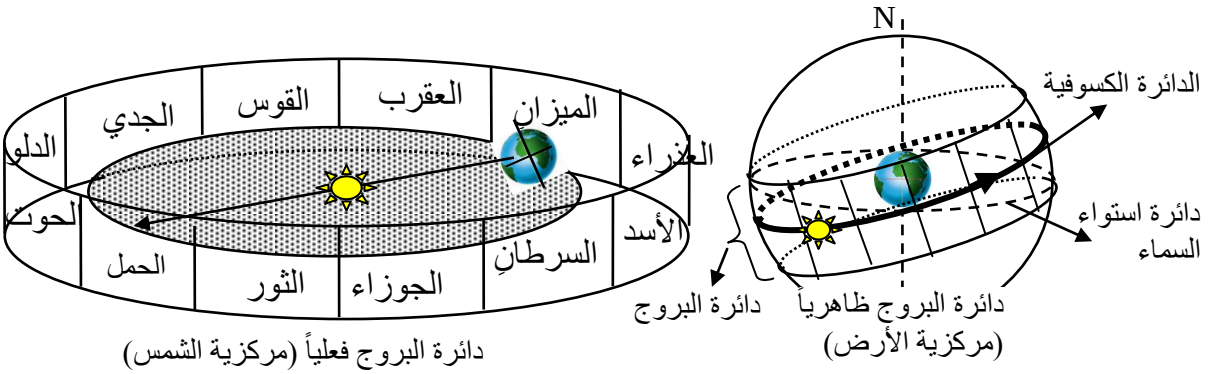
حملَ الثورُ جوزةَ السرطانِ وحمى الليثُ سُنبلَ الميزانِ
ورمى عقرب بقوس جديٍ وملأ الدلو بِركة الحيتانِ

يتضح من نظم الشاعر أن ترتيبها في دائرةِ البروج يكون على النحو التالي:
الحمل، الثورُ، الجوزاء (التوأمان)، السرطانِ، الأسد (الليثُ)، العذراء (السُنبلة)، الميزانِ، العقرب، القوس، الجدي، الدلو (الدالية)، الحوت.

طبعاً يمكن ملاحظة أعداد هائلة من التجمعات النجمية (البروج) في القبة السماوية، وقد خصصنا بالذكر البروج السابقة لأنها تقع على الدائرة الكسوفية (على مسار الشمس والقمر وبقية الكواكب السيارة) كما هو موضح في الأشكال التالية. وسنتطرق لذكر أسماء ومواقع بعضها لاحقاً.

عموماً يمكن القول أن بروج الدائرة الكسوفية هي تلك المتوضعة على شريط دائري عريض لصيق بكرة السماء وبموازاة الدائرة الكسوفية. وبدوران كرة السماء حول الأرض (ظاهرياً، من الشرق إلى الغرب بعكس الجهة الفعلية لدوران الأرض) تدور البروج المحمولة عليها مرة واحدة في اليوم. في حين تقوم الشمس والقمر وبقية الكواكب السيارة بحركة انزلاقية على الدائرة الكسوفية نحو الشرق، بمعدل درجة واحدة يومياً، أي أنها تحتاج لعام كامل كي تكمل دورتها الكسوفية. تبدو حركة الشمس بالنسبة للناظر (الراصد الأرضي) وكأنها تتنقل من برج لآخر. حيث تمكث في البرج الواحد مدة شهر واحد (يوجد ١٢ برج).

يشاهد سكان النصف الشمالي من الكرة الأرضية دوران دائرة البروج كأنه يتم حول محور مار بنجم القطب الشمالي. أما بالنسبة لسكان النصف الجنوبي فيبدو لهم وكأن الدائرة تدور حول محور مار بنقطة تقع بالقرب من نجم سهيل. كما هو موضح في الشكل (8).



شكل (8)

قسّم القدماء دائرة البروج إلى ١٢ قسماً متساوياً (بعددها)، اي بواقع ٣٠ درجة للبرج الواحد. وعليه فإن طلوع أو شروق (ظهور) البرج الواحد كاملاً يستغرق ساعتين كاملتين (يستغرق دوران كرة السماء البالغة ٣٦٠ درجة حول الأرض ٢٤ ساعة، أي بمعدل ١٥ درجة في الساعة الواحدة، أي ١ درجة كل ٤ دقائق).

تشير معطيات الرصد اليومية أن كل برج يبدأ بالشروق في كل ليلة مبكراً عن الليلة السابقة بمدة ٤ دقائق، بمعنى: أنه لا يُشاهد انتظام فعلي لدوران دائرة البروج، على عكس الشمس التي يكون شروقها منتظماً (كل ٢٤ ساعة). وتبرير ذلك عند معتنقي فكرة مركزية الأرض (فيما لو قُدر لهم اكتشاف هذا الفارق) هو اختراع فلك تدوير خاص بدائرة البروج كما سبق وأن فسروا تباين طول الليل والنهار خلال الفصول.

التفسير الفعلي يعود لدوران الأرض حول الشمس مرة في العام (360^o كل $365{,}25^{day}$)، أي تقريباً درجة واحدة في اليوم. أي أن إسهام الأرض (في دورانها حول الشمس) بدرجة واحدة يقلص زمن دوران دائرة البروج بمقدار ٤ دقائق في اليوم الواحد، وهذا ينعكس على شروق (طلوع) البرج المبكر بمدة ٤ دقائق في اليوم كما هو موضح في الشكل (8). وهذا هو سبب نقص اليوم النجمي بمقدار ٤ دقائق عن اليوم الشمسي البالغ ٢٤ ساعة بالضبط.

يُلاحظ من الشكل (8) أن الشمس تمضي في البرج الواحد أكثر من ٣٠ يوم. لأن: $(365{,}25^{day}/12) \sim 30{,}4^{day}$

أي أنها تستغرق أكثر من ٩١ يوم تقريباً في ثلاثة بروج. وهذا ما دعا القدماء لتقسيم السنة على البروج كما قسمت على الفصول الأربعة (الربيع، الصيف، الخريف، الشتاء). أي: بمعدل ثلاثة بروج لكل فصل. كما بالشكل (9).

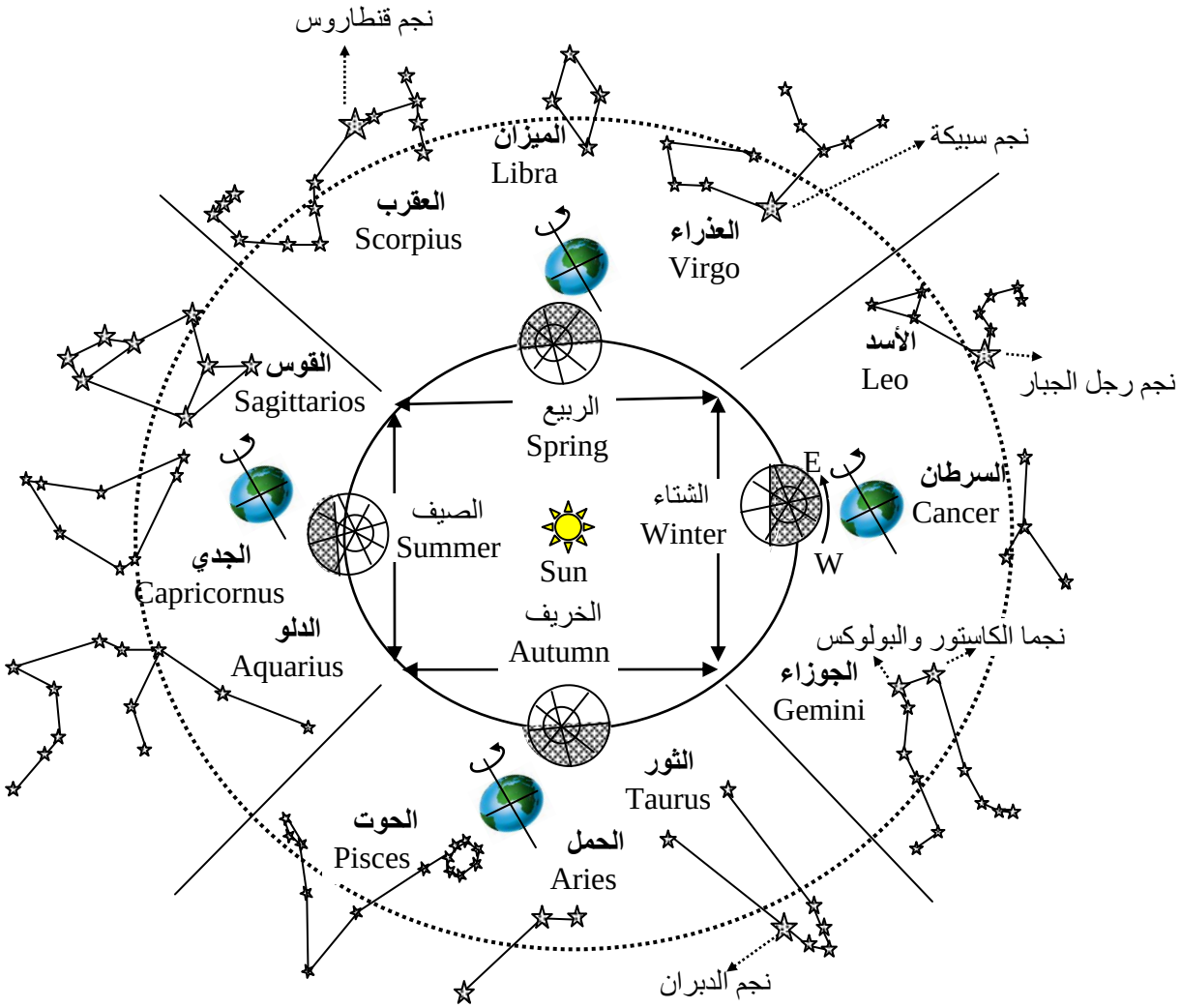
<u>بروج الربيع</u>: هي بروج (الحوت، الحمل، الثور) التي تمر بها الشمس خلال أشهر فصل الربيع (شباط، آذار، نيسان) وفي ٢٠-٢١ آذار يحدث الاعتدال الربيعي (يتساوى طول الليل والنهار) حيث تكون الشمس في دائرة استواء السماء وعمودية على خط استواء الأرض. البروج التي يشاهدها سكان النصف الشمالي من الكرة الأرضية في ليالي فصل الربيع هي الموضحة في الشكل (9)

<u>بروج الصيف</u>: هي بروج (الجوزاء، السرطان، الأسد) التي تمر بها الشمس خلال أشهر فصل الصيف (إيار، حزيران، تموز). وفي ٢١-٢٢ حزيران يحدث الانقلاب الصيفي (طول النهار أكبر ما يمكن) حيث تكون الشمس في مدار السرطان السماوي وعمودية على مدار السرطان الأرضي . البروج التي يشاهدها سكان النصف الشمالي من الكرة الأرضية في ليالي فصل الربيع هي الموضحة في الشكل (9)

<u>بروج الخريف</u>: هي بروج (العذراء، الميزان، العقرب) التي تمر بها الشمس خلال أشهر فصل الخريف (آب، أيلول، تشرين أول). وفي ٢٢-٢٣ أيلول يحدث الاعتدال الخريفي (يتساوى طول الليل والنهار) حيث تكون الشمس في دائرة

استواء السماء وعمودية على خط استواء الأرض. البروج التي يشاهدها سكان النصف الشمالي من الكرة الأرضية في ليالي فصل الخريف هي الموضحة في الشكلين (9)

بروج الشتاء: هي بروج (القوس، الجدي، الدلو) التي تمر بها الشمس خلال أشهر فصل الشتاء (تشرين الثاني، كانون الأول، كانون الثاني). وفي ٢١-٢٢ كانون الأول يحدث الانقلاب الشتوي (طول الليل أكبر ما يمكن) حيث تكون الشمس في مدار الجدي السماوي وعمودية على مدار الجدي الأرضي. البروج التي يشاهدها سكان النصف الشمالي من الكرة الأرضية في ليالي فصل الشتاء هي الموضحة في الشكل (9)

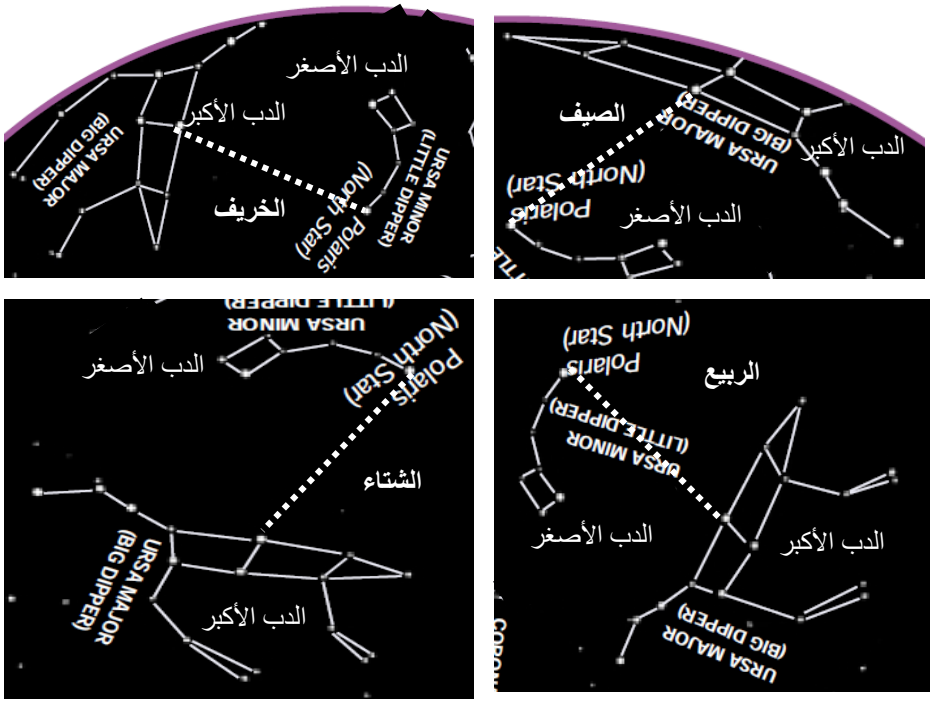


منازل الشمس في دائرة البروج خلال العام

شكل (9)

ملاحظات:

- توجد بعض النجوم المعروفة من أصل البرج، مثل نجم سبيكة في برج العذراء، وقنطاروس في العقرب والدبران في الثور، والكاستور والبولوكس في الجوزاء، ورجل الجبار في الأسد.
- يتبدل موقع الدائرة الكسوفية في القبة السماوية تبعاً للفصول
- يقع نجم النسر الواقع Vega في كوكبة القيثارة Lyre
- تقسيمات البروج: **النارية**: الحمل-الأسد- القوس. **الهوائية**: الجوزاء- الميزان -الدلو
  الترابية: الثور- العذراء –الجدي. **المائية**: السرطان -العقرب- الحوت



دوران مجموعتي الدب الأصغر والأكبر خلال فصول السنة حول القطب

شكل ( )

طرائق القياس (الرصد):

يلزم الراصد الأدوات التالية:

بوصلة (لتحديد اتجاه الشمال المغناطيسي) + منظار لقياس الارتفاعات مزود بقاعدة تحتوي على نقطة زئبقية (للتحقق من الوضع الأفقي للقاعدة) + جدول يعطي زاوية ميل الشمس اليومية m على دائرة استواء السماء.

- قياس دائرة عرض الراصد في النصف الشمالي من الأرض (زاوية سمت الراصد θ): لاحظ الشكل ( ).

نهاراً: يقيس زاوية ارتفاع الشمس φ عند الزوال، ثم يطبق العلاقة التالية

$$\theta = 90 - (\varphi - m)$$

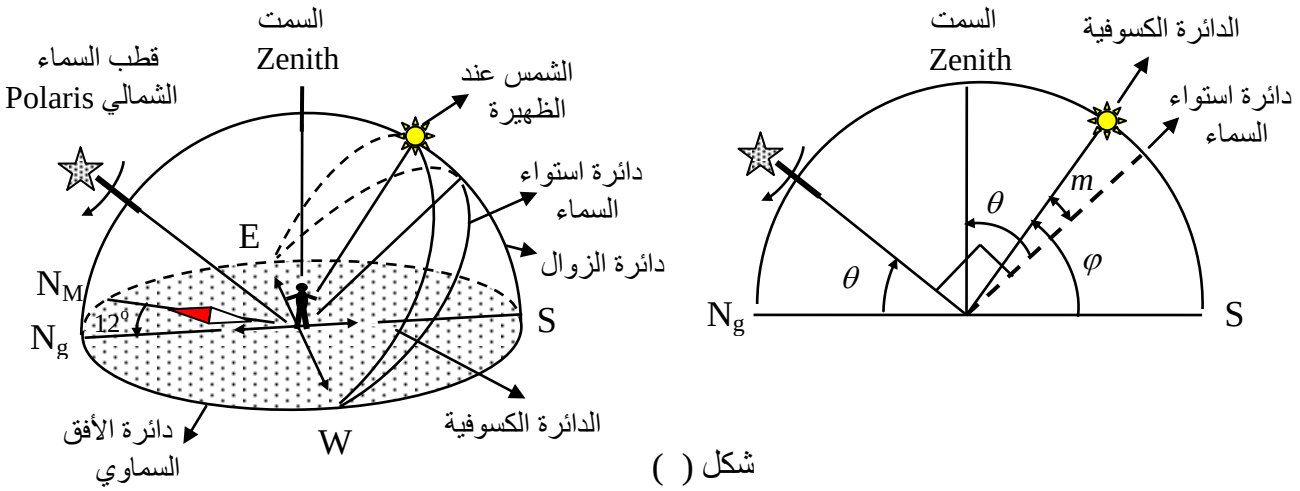
ليلاً: يتجه الراصد بواسطة البوصلة نحو الشمال المغناطيسي N_M، ثم يلتف يساراً بزاوية 12^o ليصبح باتجاه الشمال الجغرافي N_g، ويحدد أمامه نقطة علّام أرضية فيكون نجم القطب الشمالي فوقها مباشرةً. يقيس زاوية ارتفاع نجم القطب θ، التي هي بدورها تكون زاوية سمت الراصد θ، (لتعامد أضلاع الزاويتين).

- قياس دائرة عرض الشمس في النصف الشمالي من الأرض (زاوية سمت الشمس m): لاحظ الشكل ( ).

(بفرض عدم وجود جداول) نستخدم العلاقة:

$$\varphi + (\theta - m) = 90 \quad \Rightarrow \quad m = \varphi + \theta - 90$$

حيث يجري قياس θ (زاوية سمت الراصد) ليلاً من ارتفاع نجم القطب الشمالي. أما φ فتقاس ظهيرة اليوم التالي، وبالتعويض نحصل على m.



شكل ( )

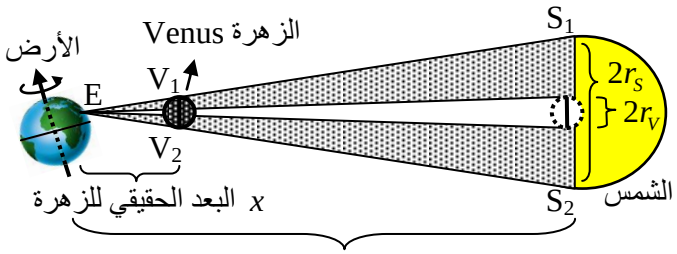
ملاحظة: لتحديد لحظة وقوع الشمس عند أعلى ارتفاع لها (عند الزوال) نحدد اتجاه الشمال الجغرافي N_g،
و نقيس زاوية ارتفاع الشمس φ في اللحظة التي ينطبق فيها ظل الراصد على N_g.
وبكلام آخر نباشر قياس الزاوية φ في اللحظة التي يصبح فيها ظل الراصد أقصر ما يمكن باتجاه N_g.
(لأن الشمس تكون في هذه اللحظة فوق اتجاه الجنوب S مباشرةً)

قياس المأمون لمحيط الأرض:

(أهدى هارون الرشيد ساعة ميكانيكية لملك فرنسا شارلمان الذي ظن أن بداخلها جني)
عُرف عن الخليفة العباسي هارون الرشيد وابنه المأمون اهتمامهما بالعلم والعلماء، وتأسيسه لبيت الحكمة. فقد كان يعطي لمترجم الكتاب وزنه ذهباً، مما شجع على انتشار المعارف في كافة المجالات. ويُروى أن المأمون أراد التحقق من قياسات بطليموس لمحيط الأرض، فأرسل بعثتين علميتين، وأمرهم بقياس طول قوس الأرض الموافق لمسير قرص الشمس في دائرتها العظمى بمقدار درجة قوسية واحدة.
سارت البعثة الأولى إلى مابين واسط (الرقة)، والثانية إلى سنجار، حيث المساحات المنبسطة.
عادت البعثتان بقياسات متقاربة ٥٧ ميل عربي للأولى، و 56,25 ميل عربي للثانية، أي ما متوسطه ٥٦,٦٢٥ ميل عربي. علماً أن الميل العربي = ٤٠٠٠ ذراع سوداء، وطول الذراع السوداء = 493,3 ميليمتر.
فيكون طول الميل العربي = ٤٠٠٠ X 493,3 ميليمتر = ١٩٧٣٢٠٠ ميليمتر = ١٩٧٣،٢ متر
وعليه يكون قياس البعثة الأولى = ٥٧ ميل عربي X ١٩٧٣،٢ متر = ١١٢٤٧٢,٤ متر ≡ ١١٢،٥ كيلومتر/ درجة.
وبما أن الشمس تدور حول الأرض دورة كاملة (٣٦٠ درجة) في اليوم، يكون:
محيط الأرض = ٣٦٠ درجة X ١١٢،٥ كيلومتر/ درجة ≡ ٤٠٥٠٠ كيلومتر. وهو قريب من الحالي ٤٠٠٥٣ كم.
وهذا يعني أن نصف قطر الكرة الأرضية $r_E = 4050/2\pi \cong 6450\ km$، وهو قريب من القياس الحالي $6378\ km$.
طبعاً، لا توجد أي تفاصيل عن الطريقة المستخدمة في القياس.

حساب بُعد الزُّهرة عن الأرض:

كيف يمكن حساب بُعد كوكب الزُّهرة عن الأرض عند مروره بين الأرض والشمس. علماً أن:
بُعد الأرض عن الشمس يساوي نصف قطر المدار $R_{E-S} \approx 150\times10^6\ km$، والقطر الظاهري للجرمين على مسافة محددة ℓ من عين الناظر هو للشمس $2r_S = 3{,}9\ mm = 3{,}9\times10^{-6}\ km$، و للزهرة $2r_V = 1{,}1\ mm = 1{,}1\times10^{-6}\ km$.



شكل ( )

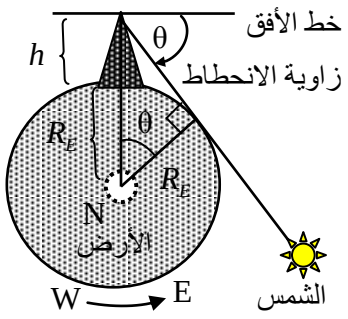
الحل: نفرض البُعد الظاهري للجرمين $\ell = R_{E-S}$
فيكون البُعد الحقيقي لكوكب الزُّهرة عن الأرض $x\ (km)$
ومن تشابه المثلثين ES_1S_2 و EV_1V_2 نجد:

$$\frac{x}{2r_V} = \frac{R_{E-S}}{2r_S} \Rightarrow x = \frac{2r_V}{2r_S}R_{E-S}$$

$$x = \frac{1{,}1\times10^{-6}\ km}{3{,}9\times10^{-6}\ km}\times150\times10^6\ km \approx 42{,}3\times10^6\ km$$

قاعدة البيروني في قياس محيط الأرض:

وضع البيروني في نهاية كتابه "الإسطرلاب" فصل يشرح فيه طريقة رياضية لقياس محيط الأرض. دون أن يتحقق من دقتها، وذلك بعد اطلاعه لنتائج بعثة المأمون. نلخصها بالآتي:
يصعد شخص قمة جبل ارتفاعه h معلوم، ويطل على أرض منبسطة أو بحر كما هو موضح في الشكل ( ). يراقب الشخص غروب الشمس خلف الأفق، ويقيس زاوية انحطاطها θ (تحت الأفق). وانطلاقاً من كروية الأرض يكون نصف قطرها R_E عمودي على خط نظر زاوية الانحطاط. ونكتب:



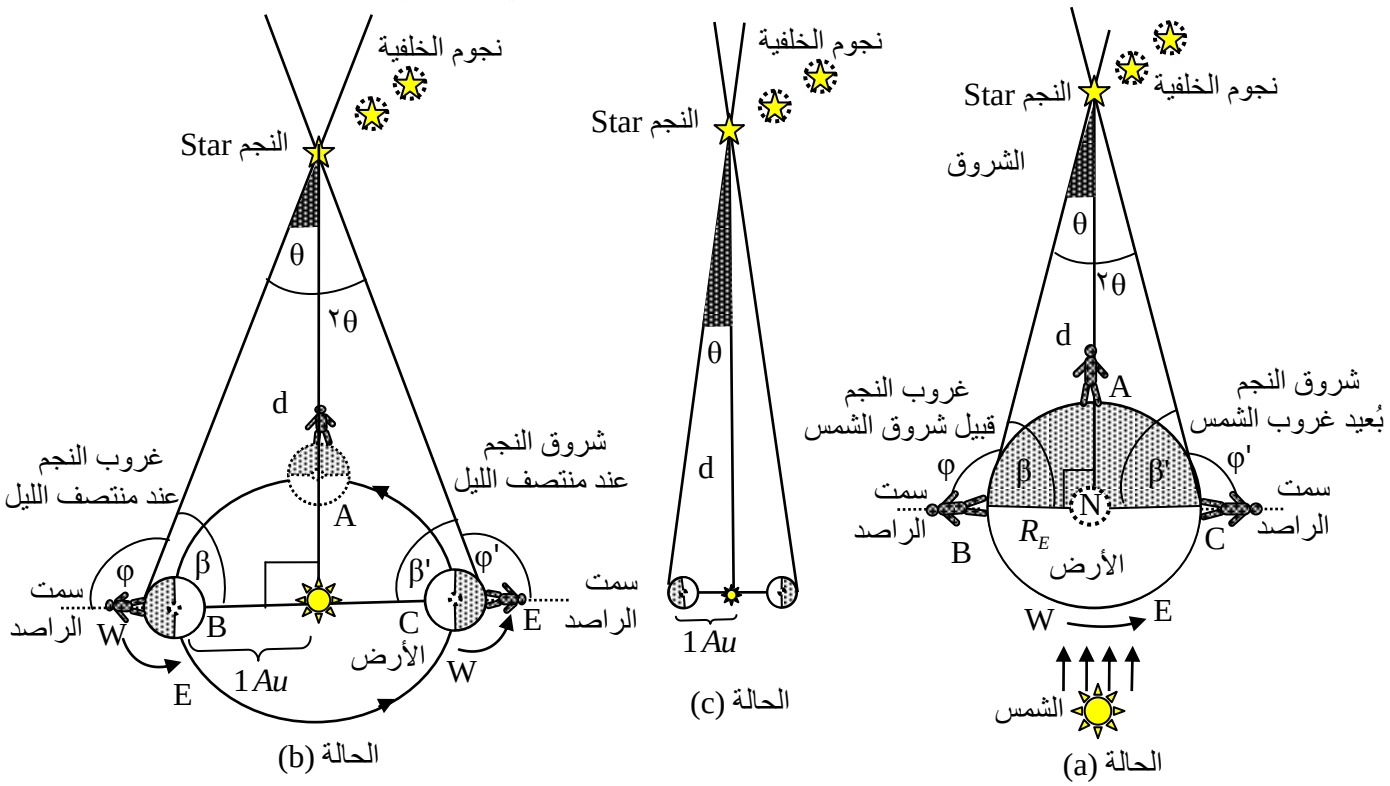
شكل ( )

$$Cos\theta = \frac{R_E}{R_E + h} \Rightarrow (R_E + h)Cos\theta = R_E \Rightarrow \boxed{R_E = \frac{h\,Cos\theta}{1 - Cos\theta}}$$

يؤخذ على هذه القاعدة عدم الدقة لانعدام وجود جبال ذات ارتفاع h غير مهمل بالمقارنة مع نصف القطر R_E. ولكن إذا استعضنا عن الجبل بقمر صناعي على ارتفاع يفوق $1000\ km$، فسنحصل على نتائج دقيقة $R_E \approx 6400\ km$.

قياس بُعد نجم باستخدام طريقة زاوية اختلاف المنظر: (البارالاكس Parallax)

لقياس بعد النجم d عن الأرض تستخدم طريقة اختلاف المنظر الموضحة في الشكل ( ).



شكل ( )

بدايةً تُجهز معدات الرصد اللازمة، ثم يُحدد موضع النجم المستهدف بدلالة نجوم الخلفية الثابتة. ويُنتقى اليوم المناسب الذي يجري فيه القياس للحصول على نتائج صحيحة. توجد طريقتان للقياس:

١- بالاستفادة من دوران الأرض حول نفسها كما في الحالة (a):

يُحدد الراصد في هذه الحالة الليلة التي يكون فيها النجم المستهدف عند أعلى ارتفاع له، في منتصف الليل (الوضعية A). وعند الفجر (قبيل شروق الشمس)، يقوم الراصد بقياس زاوية ميل النجم φ، عندما يبدأ النجم بالغروب (الوضعية B). وعند المغرب (بُعيد غروب الشمس)، يقوم الراصد بقياس زاوية ميل النجم 'φ، عندما يبدأ النجم بالشروق (الوضعية C).

نلاحظ من الشكل أن زاويتي قاعدة المثلث المتشكل β و 'β مكملتين لزاويتي الميل φ و 'φ، وأن قطر الأرض $BC = 2R_E$ المقابل للزاوية ٢θ هو أكبر مسافة معلومة تفصل بين موقعين مختلفين للراصد.

وباستخدام قواعد المثلثات يكون: $\beta + \beta' + 2\theta = \pi$. وبإجراء تقريب نعتبر فيه المثلث الموافق للزاوية θ قائم الزاوية نكتب: $\tan\theta = R_E/d$ ، وبما أن $(R_E/d) << 1$ يمكن إلباس الزاوية θ بظلها شريطة أن تقدر بالراديان، وغالباً ما يكون قياسها بأجزاء الثانية. ونحصل على بُعد النجم من العلاقة: $d = R_E/\theta_{rad}$.

٢- بالاستفادة من دوران الأرض حول الشمس كما في الحالتين (b) و (c):

يُحدد الراصد في هذه الحالة الليلة التي يكون فيها النجم المستهدف عند أعلى ارتفاع له، في منتصف الليل (الوضعية A). وبعد ثلاثة شهور يقوم الراصد بقياس زاوية ميل النجم φ عندما يبدأ بالغروب في منتصف الليل (الوضعية B). وبعد ستة شهور أخرى يقوم الراصد بقياس زاوية ميل النجم 'φ عندما يبدأ بالشروق في منتصف الليل (الوضعية C). نلاحظ من الشكل أن زاويتي قاعدة المثلث المتشكل β و 'β مكملتين لزاويتي الميل φ و 'φ، وأن قطر مسار الأرض حول الشمس $BC = 2Au$ المقابل للزاوية ٢θ (وحدتين فلكيتين) هو أكبر مسافة معلومة تفصل بين موقعين مختلفين للراصد. وباستخدام قواعد المثلثات يكون: $\beta + \beta' + 2\theta = \pi$. وبإجراء تقريب نعتبر فيه المثلث الموافق للزاوية θ قائم الزاوية نكتب: $\tan\theta = 1Au/d$ ، وبما أن $(1Au/d) << 1$ يمكن إلباس الزاوية بظلها شريطة أن تقدر بالراديان، ونحصل على علاقة بُعد النجم بالوحدات الفلكية $d\,(Au)$ التالية:

$$d_{Au} = 1Au/\theta_{rad} \qquad (*)$$

وبما أن معظم قياسات زاوية اختلاف المنظر θ من رتبة الثانية وأجزائها. وتلافياً للتحويل من ثانية إلى راديان نلاحظ أن: كل $360^o \times 60' \times 60'' = 1296000''$ تعادل $2\pi\,(rad)$

وكل $\theta"$ تعادل $\theta(rad)$

فنجد: (a) $\theta(rad)=\frac{2\pi}{1296000"}\theta"\approx 4{,}85\times10^{-6}\,\theta"$.

كما نلاحظ من علاقة الفرسخ النجمي بالوحدة الفلكية $1Pc\approx 206\times10^{3}\,Au$ أن:

$$1Au=\frac{1}{206}\times10^{-3}\,PC\approx 4{,}85\times10^{-6}\,PC \qquad (b)$$

بتعويض (a) و (b) في (*) نجد:

$$\boxed{d_{PC}=1PC/\theta"}$$

أي أن المسافة تصبح مقدرة بالفرسخ عند قياس الزوايا بالثواني القوسية.

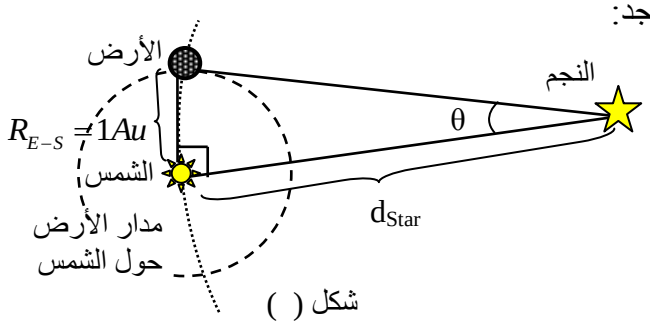
للتذكير: $Pc\approx 206\times10^{3}\,Au\approx 3{,}27\,Ly\approx 31\times10^{12}\,km$

مثال: احسب بُعد نجم قياس زاوية اختلاف منظره ربع ثانية قوسية ($\theta=0{,}25"$).

الحل: $d_{PC}=1_{PC}/\theta"=1/0{,}25"=4\,PC$

<u>قياس بُعد نجم بطريقة الشعرى اليمانية:</u>

تقاس بهذه الحالة الزاوية التي يصنعها النجم مع الأرض والشمس θ عندما تصنع هذه الثلاثية مثلث قائم الزاوية في الشمس كما هو موضح بالشكل ( ). واعتماداً على ما سبق نجد:



شكل ( )

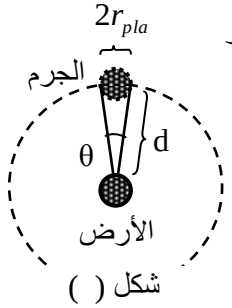
$$\tan\theta\approx\theta_{rad}=\frac{R_{E-S}}{d_{Star}}\;\Rightarrow\;d_{Star}=\frac{1Au}{\theta_{rad}}=\frac{1Pc}{\theta"}$$

مثال: احسب بعد نجم الشعرى إذا علمت أن $\theta=0{,}377"$

$$d_{Star}=\frac{1Pc}{\theta"}=\frac{1Pc}{0{,}377"}\approx 2{,}65\;Pc$$

<u>قياس قطر جرم علم بعده:</u>

نعتبر الجرم واقع على محيط دائرة وهمية مركزها الأرض، ثم تُقاس الزاوية θ_{rad} التي تحد قطر الجرم المقصود $2r_{pla}$ (المعلوم البعد d) كما بالشكل ( ). ثم نطبق عبارة الزاوية القطرية



شكل ( )

$$2r_{pla}=d\,\theta_{rad}$$

مثال: احسب قطري الشمس والقمر علماً أن: زاوية رصد كل منهما $\theta=0{,}5^{o}$ وبعد كل منهما عن الأرض هو على الترتيب $d_{Sun}=150\times10^{6}\,km$ و $d_{Moon}=384\times10^{3}\,km$

الحل: نحول زاوية الرصد من الدرجة إلى الراديان بالشكل: $\theta_{rad}=\frac{0{,}5}{360}2\pi\approx 8{,}7\times10^{-3}\;rad$

$$2r_{Sun}=d_{Sun}\theta_{rad}=150\times10^{6}\times8{,}7\times10^{-3}\approx 1{,}3\times10^{6}\;km$$

$$2r_{Moon}=d_{Moon}\theta_{rad}=384\times10^{3}\times8{,}7\times10^{-3}\approx 3340\;km$$

<u>نظام التوقيت العالمي: The universal system of timing:</u>

سبق وأشرنا إلى أهمية التغير الدوري لمواقع الأفلاك في القبة السماوية في ضبط الإنسان للوقت والتدبر في شؤون حياته اليومية من زراعة وسقاية وحصاد. كذلك الأمر بالنسبة للرياح المواتية للإبحار والأنواء، أو الجالبة للأمطار أو موجات الحر والبرد، أو مواسم الصيد البري والبحري....والقائمة تطول.

فقد كان يلجأ لتحديد مواقيتها إلى المواقع الظاهرية للأفلاك (شمس، قمر، نجوم، كواكب) في القبة السماوية.

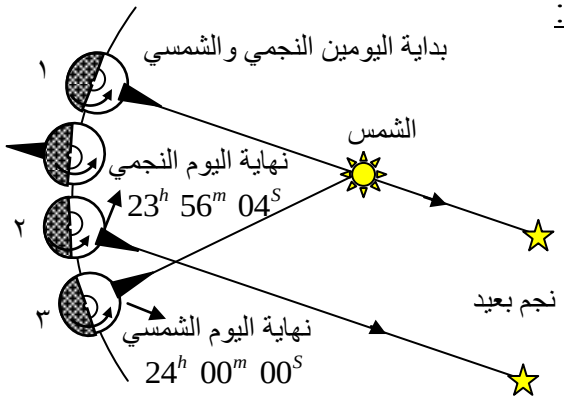
فمثلاً: إضافةً لمواضع الشمس في البروج، كانت للقمر ٢٨ منزلة، (يُمضي في كلٍ منها ليلة كاملة على مدى الشهر)، منها ١٤ منزلة شامية و ١٤ يمانية.

فعلى سبيل المثال: يدل حلول القمر في الثريا الشامية Belyadis عندما تقع نجومها السبعة العائدة لبرج الثور في كبد السماء على اشتداد البرد وتساقط الثلج. أما حلوله في الصرفة الشامية Sarfa وهو نجم زهري اللون يقع في ذنب برج الأسد، فيدل على انصراف الحر في أيلول، وانصراف البرد في آذار. أما منزلة الغفر Ghafr، وهي أول المنازل اليمانية، وهي مؤلفة من ثلاثة نجوم خافتة من برج العذراء، وتدل على نقص نضارة الأرض، أي قدوم فصل الخريف. كذلك سعد السعود SaadSaud وهي ثلاثة نجوم، أحدهما نير من برج الجدي واثنان خافتان من برج الدلو،

وتدل على بداية موسم الأمطار وبدء انكسار موجة الصقيع. أما سعد الخبايا SaadKabayah وهي أربعة نجوم متقاربة من برج الدلو للدلالة على بداية الربيع.
إن التواتر المنتظم لظهور الأفلاك في مواقع محددة من القبة السماوية، وما يرافقها من تقلبات في مناخ الأرض، جعل منها ميقاتية طبيعية، اعتمدها الإنسان في تحديد الوقت.
يمكننا تمييز نوعين من الدورات الطبيعية المنتظمة. وهما:
الدورة السيدارية (النجمية) (Sidereal period): هي الفترة الزمنية اللازمة ليكمل الكوكب دورة واحدة حول الشمس بالنسبة لنجم بعيد.
الدورة السينودية (Synodic period): هي الفترة الزمنية اللازمة ليكمل الكوكب دورة واحدة في سماء الأرض.

التقسيمات الطبيعية للزمن:

١- اليوم: وهو نوعين شمسي ونجمي.
اليوم الشمسي: Solar day وقد عرفه البابليون بأنه الفترة الزمنية الفاصلة بين ظهيرتي شمسين متتاليين، أو بين عبورين متتاليين للشمس لخط الزوال، (الزمن المنقضي بين أقصر ظلين متتاليين للشمس). ومقداره ٢٤ ساعة بالتمام. وعرفته أقوام أخرى بأنه الفترة الزمنية الفاصلة بين شروقين أو غروبين متتاليين للشمس.
اليوم النجمي: Sidereal day وهو الفترة الزمنية اللازمة لتكمل نقطة محددة من الأرض دورة كاملة حول نفسها بالنسبة لنجم بعيد.
اليومين النجمي والشمسي الناتجين عن دوران الأرض حول نفسها:
تشير القياسات إلى أن طول اليوم النجمي الواحد $23^h\ 56^m\ 04^S$ ، وهو زمن ينقص عن طول اليوم الشمسي المتعارف عليه والبالغ ٢٤ ساعة بالضبط ($24^h\ 00^m\ 00^S$) بمقدار ٤ دقائق تقريباً، وتحديداً $56^S\ 03^m\ 00^h$. كما هو موضح في الشكل ( ).
ومن جهة أخرى تدور الأرض حول الشمس دورة واحدة في العام، وحول نفسها 365,25 دورة في العام، (بعدد أيام العام البالغ بالضبط ٣٦٥ يوم و ٥ ساعات و ٤٧ دقيقة) وذلك بالنسبة لنجم بعيد (من الوضعية ١ إلى الوضعية ٢). فيكون الزمن المخصص لليوم الواحد كي تكمل الأرض دورانها حول الشمس (من الوضعية ٢ إلى الوضعية ٣).

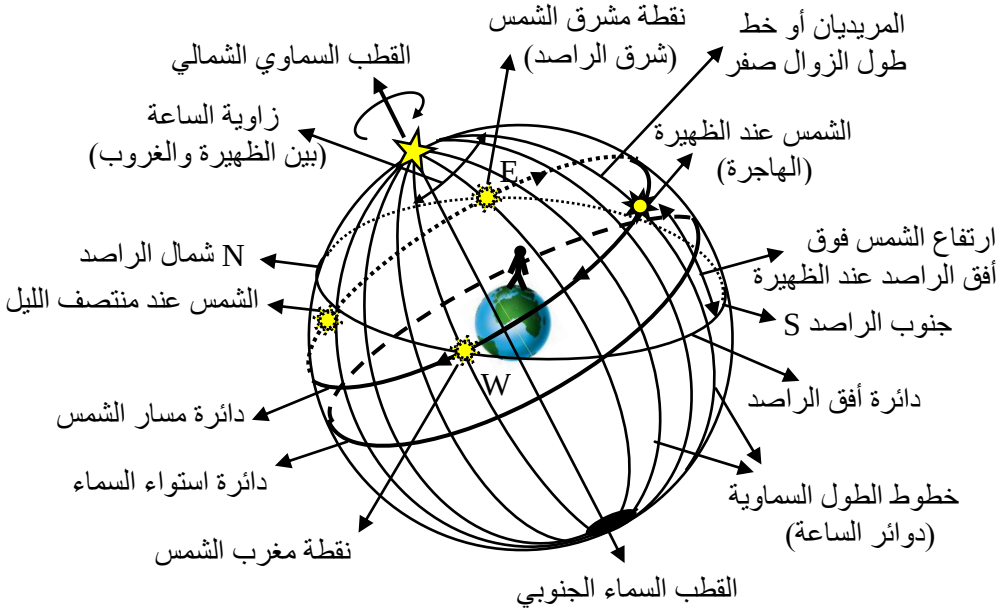


شكل ( )

$$t = \frac{1}{365,25} \approx 0,002738\ \ day = 0,002738^{day} \times 24^h \times 60^m \approx (3,94)^m \approx 3^m\ 56^S$$

نظرة تحليلية:
عند النظر بإمعان إلى الشكل ( )، وبعد معرفتنا: أن دوران كرة السماء يتم من الشرق نحو الغرب حاملةً معها الشمس والقمر والكواكب السيارة، وأن راصد يقع في النصف الشمالي للكرة الأرضية (دائرة أفق نهار الراصد تميل بزاوية تحت دائرة استواء السماء)، وأن لحظة الرصد تتم في يوم من أيام الصيف (تقع دائرة مسار الشمس فوق دائرة استواء السماء) فإننا نلاحظ ما يلي:
تتحرك الشمس حركتها اليومية على مسار دائري يوازي دائرة استواء السماء. حيث تبدأ بالارتفاع فوق دائرة أفق الراصد بعد لحظة شروقها مباشرةً من مشرق الراصد E إلى أن تصل إلى دائرة الزوال (المريديان) عند الظهيرة، حيث تبلغ أقصى ارتفاع ممكن فوق أفق الراصد (وتحديداً فوق اتجاه جنوب الراصد S مباشرةً). تتابع الشمس حركتها نحو الغروب لتبدأ بالهبوط تحت أفق الراصد من جهة الغرب W، وهنا ينتهي نهار الراصد ويبدأ ليله.
أما الشمس فتتابع حركتها لتشرق على الراصد الآخر الواقع في النصف الجنوبي من الكرة الأرضية، والذي يرى بدوره الشمس وهي تتحرك لتبلغ أقصى ارتفاع لها دون دائرة استواء السماء لأنه يعيش فصل الشتاء.
يقابل ظهيرة الراصد الجنوبي منتصف ليل الراصد الشمالي. وبسعيها للغروب عن عين الراصد الجنوبي تكون تسعى للشروق من جديد على الراصد الشمالي.
تدعى دوائر الطول التي تعبرها الشمس دوائر الساعة Hour circle. والساعة هنا هي جزء من ٢٤ جزء من اليوم، أي أنها الزمن اللازم لعبور الشمس لعدد قدره ١٥ خط طول، (عدد خطوط الطول الإجمالي ٣٦٠)، فيكون الزمن المخصص لعبور خط طول واحد ٤ دقائق (باعتبار أن الساعة مقسمة لـ ٦٠ دقيقة). ويُصطلح على أن تأخذ دائرة الزوال التوقيت ١٢ ظهراً، فيكون التوقيت المقابل ٢٤ أو صفر ليلاً. يشير الرمز AM إلى توقيت ما قبل الظهيرة (Ante meridian)، والرمز PM إلى توقيت ما بعد الظهيرة (Poste meridian). هو ما تشير إليه زاوية الساعة Hour angle الكائنة بين خطي طول زمنيين.

يعود تقسيم أجزاء اليوم لـ ٢٤ ساعة والساعة لـ ٦٠ دقيقة والدقيقة لـ ٦٠ ثانية إلى البابليين.



شكل ()

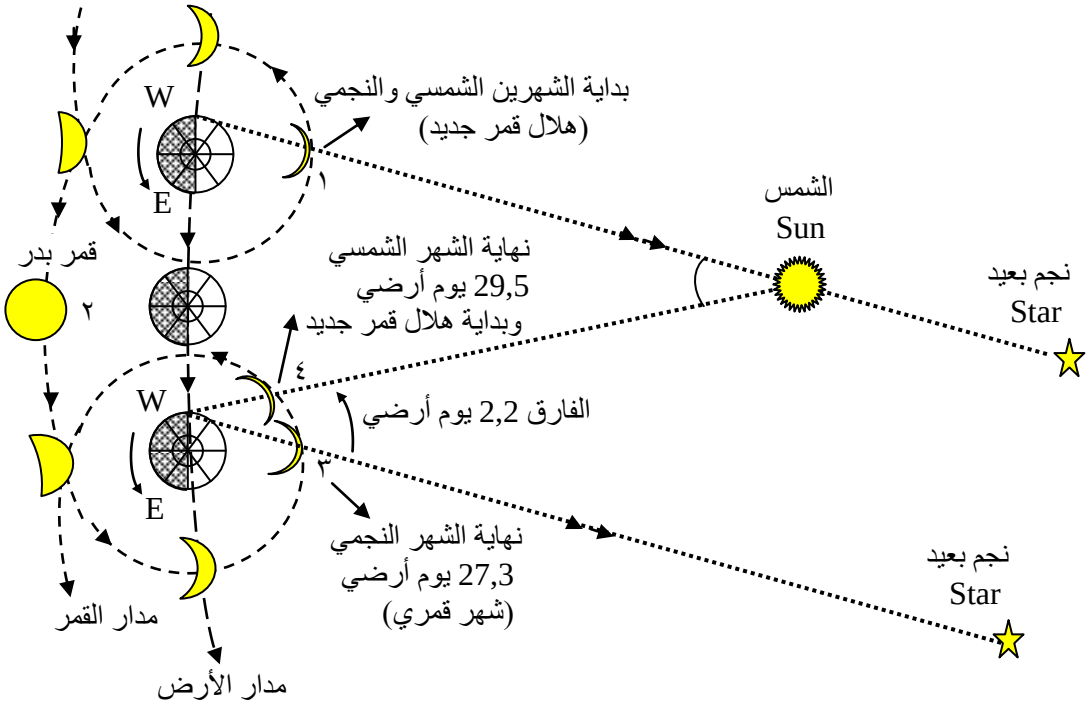
٢- الشهر: وهو نوعين شمسي ونجمي.

الدورة السيدارية للقمر (الشهر النجمي): هي الفترة الزمنية اللازمة ليكمل القمر دورة واحدة حول الأرض بالنسبة لنجم بعيد. ينجز القمر هذه الدورة خلال 27,3 يوم. وتحديداً ٢٧ يوم و ٧ ساعات و ٤٣ دقيقة (بالنسبة لنجم بعيد). كما هو موضح في الوضعين ١ و ٣ من الشكل ( ).

الدورة السينودية للقمر (الشمسية) (Solar period) (الشهر القمري Lunar month): هي الفترة الزمنية اللازمة ليكمل القمر دورة واحدة في سماء الأرض (الفترة الفاصلة بين هلالين جديدين). ينجز القمر هذه الدورة خلال 29,5 يوم. وتحديداً ٢٩ يوم و ١٢ ساعة و ٤٤ دقيقة. كما هو موضح في الوضعين ١ و ٤ من الشكل ( ).

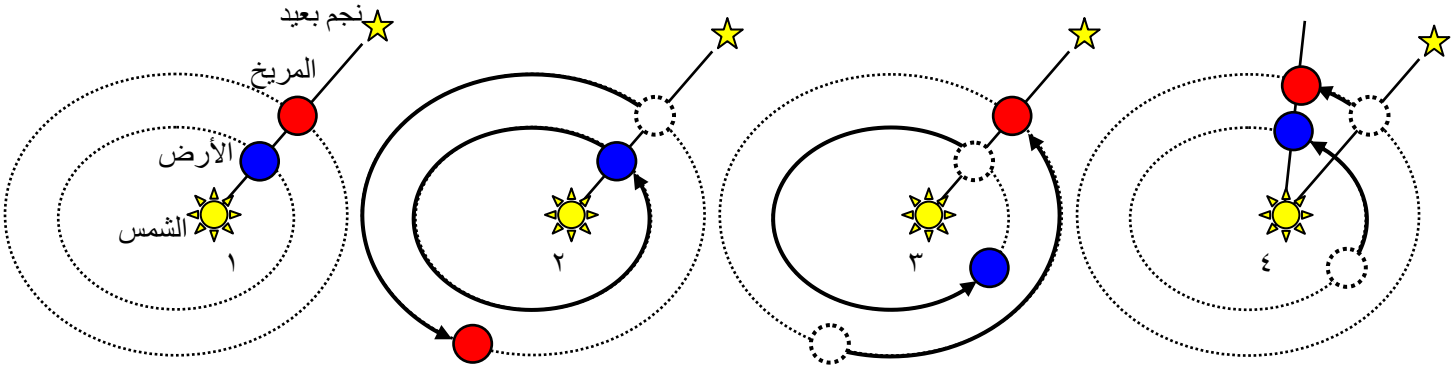
يعود الفرق بين الدورتين لدوران الأرض حول الشمس (حاملةً معها القمر).

ملاحظة: نادراً ما يُشاهد طلوع هلال القمر الجديد ١ في بداية الهلة القمرية من جهة الغرب، وذلك بسبب اقترانه مع الشمس عند غروبها، حيث تكون المجموعة (أرض، قمر، شمس، نجم بعيد) بحالة تراصف، ثم يَغرُبون معاً. وفي اليوم التالي يُشاهد (عند غروب الشمس) في موقع مرتفع قليلاً عن مغربها، ويزداد ارتفاعه يوماً بعد يوم، ويتوالى تأخر غروبه في كل ليلة بمعدل ٥٠ دقيقة عن الليلة التي تسبقها، وهذا ما سنناقشه مفصلاً في فقرة منازل القمر.



شكل ( )

٣- السنة: وهي ثلاثة أنواع نجمية وشمسية وقمرية.
السنة النجمية: تبدأ لدى قدماء المصريين عند ملاحظتهم الاحتراق الشروقي لنجم الشعرى اليماني، الذي يظهر (بعد اختفائه لأشهر) من الشرق قبيل شروق الشمس، يرافقه الفيضان السنوي للنيل. إن الشروق المبكر للشعرى اليماني والوهج الناجم عن شروق الشمس يفسر مظهر احتراق الشعرى (خداع بصر).
والسنة النجمية في القياس ثابتة (الفترة الفاصلة بين احتراقين لنجم الشعرى اليماني)
تتألف السنة عند قدماء المصريين من ١٢ شهر X ٣٠ يوم = ٣٦٠ يوم، يضاف إليها ٥ أيام تدعى أيام النسيء.
السنة الشمسية: هي الفترة الفاصلة بين مرورين متعاقبين للشمس في نقطة الاعتدال الربيعي (٢١ آذار).
تتحرك نقطة الاعتدال الربيعي على الدائرة الكسوفية بمقدار ٥٠ ثانية قوسية نحو الغرب في العام، أي بمعدل ٢٠ دقيقة زمن في العام، وهذا يعني أن السنة الشمسية تتقدم على السنة النجمية بهذا القدر سنوياً (أقصر منها بـ ٢٠ دقيقة زمن).
تستخدم السنة الشمسية في أمورنا الحياتية (المدنية) نظراً لارتباطها بتعاقب الفصول، وتحوي على 365,2432 يوم.
ونظراً لوجود جزء اليوم 0,2432 (ربع يوم) استُخدم نظام الكبس للملائمة مع السنة النجمية.
السنة القمرية: هي اصطلاح اعتمده البابليون يعدُّون فيها زمن مرور ١٢ شهر قمري. وعدد أيامها المضبوطة ٣٥٤ يوم وخُمس وسُدس، فإذا جمعنا الخُمس والسُّدس يكون الناتج $(1/5)+(1/6)=(11/30)=0,3666$ ، أي أن عدد أيامها المضبوطة 354,3666 يوم.
الدورات السيدارية والسينودية للكواكب الخارجية: (المريخ، المشتري، زحل، أورانوس، نبتون، بلوتو).
كما هو موضح بالشكل ( ).



مرور 2,14 سنة أرضية
تقابل سينودي أرضي ثاني: (المريخ والشمس متقابلان بالنسبة للأرض)
(نهاية الدورة السينودية للمريخ حول الأرض)

مرور 1,88 سنة أرضية
تقابل سيداري مريخي ثاني: (النجم والشمس متقابلان بالنسبة للمريخ)
(مرور سنة مريخية واحدة)
(نهاية الدورة السيدارية الأولى للمريخ حول الشمس)

مرور سنة أرضية
تقابل سيداري أرضي ثاني: (النجم و الشمس متقابلان بالنسبة للأرض)
نهاية الدورة السيدارية الأولى للأرض حول الشمس

تقابل سيداري مريخي أول: (النجم والشمس متقابلان بالنسبة للمريخ)
(بداية الدورة السيدارية الأولى للمريخ حول الشمس)
تقابل سيداري أرضي أول: (النجم والشمس متقابلان بالنسبة للأرض)
(بداية الدورة السيدارية الأولى للأرض حول الشمس)
تقابل سينودي أرضي أول:
(المريخ والشمس متقابلان بالنسبة للأرض)
(بداية الدورة السينودية للمريخ حول الأرض)

شكل ( )

التقاويم:
بهدف الموائمة بين السنتين النجمية والشمسية:
أصلح الإمبراطور يوليوس قيصر (عام ٢٢-٢٣ ق م) السنة النجمية لتصبح أيام النسيء ٦ بدلاً من ٥ كل ٤ سنوات، أي توجد سنة كبيسة 366 يوم كل ٤ سنوات بدلاً من 365 يوم للسنة العادية. أي أصبح وسطي عدد أيام السنة النجمية 365,25 يوم. وهو ما يعرف اليوم بالتقويم الشرقي أو الاسكندري (اليولياني) المعتمد لدى الكنيسة القبطية وفي الحبشة.
بالمقابل أصلح البابا غريغوري الثالث السنة الشمسية بتعديل جزء اليوم 0,2432 إلى ربع يوم 0,25 أي بزيادة قدرها $0,25-0,2432=0.0068\ day\approx 0,007\ day$. ينجم عن هذا الجزء زيادة مقدارها ٣ أيام تقريباً كل ٤٠٠ سنة

(لأن: $0{,}007\times 400 = 2{,}8\ day \approx 3\ day$) تُستدرك هذه الزيادة بالحذف فقط في الأعوام الدالة على القرون التامة التي لا تقبل القسمة على ٤٠٠ بدون باق، مثل ١٤٠٠ ، ١٥٠٠ ، ١٧٠٠ ،..... يدعى هذا التقويم بالغريغوري أو الغربي.

التقويم الميلادي (العالمي): Christmas calendar مكون من ١٢ شهر، عدد أيامه ٣٠ أو ٣١ يوم باستثناء الشهر الثاني من التقويم (شباط أو فبراير) فيكون ٢٨ يوم للسنوات العادية و ٢٩ يوم للكبيسة. وفيما يلي أسماء الأشهر الميلادية باللغتين العربية بالانكليزية مع عدد الأيام بالترتيب.

كانون الثاني / يناير ٣١ يوم، شباط / فبراير (٢٨ أو ٢٩) يوم، آذار/ مارس ٣١ يوم، نيسان / أبريل ٣٠ يوم، أيار / مايو ٣١ يوم، حزيران / يونيو ٣٠ يوم، تموز / يوليو ٣١ يوم، آب / أغسطس ٣١ يوم، أيلول / سبتمبر ٣٠ يوم، تشرين الأول / أكتوبر ٣١ يوم، تشرين الثاني / نوفمبر ٣٠ يوم، كانون الأول / ديسمبر ٣١ يوم.

وفي النتيجة نحصل على المجموع التالي:

$$^{day}٣٦٥ \text{ or } ^{day}٣٦٦ = {}^{day}٢٨ \text{ or } {}^{day}٢٩ + (^{Month}٤ \times {}^{day}٣٠) + (^{Month}٧ \times {}^{day}٣١)$$

ملاحظة: تبدأ السنة القبطية في ٢٩ آب (توت) حسب التقويم الشرقي، الموافق لـ ١١ أيلول حسب التقويم الغربي يُنسب التقويم القبطي لبداية حكم الامبراطور الروماني دقلديانوس الذي ألّه نفسه ونكَّل بشعبه فهرب بعضهم من بطشه وآووا إلى الكهف، (قصة أهل الكهف المعروفة).

التقويم الهجري (الإسلامي): Islam calendar أقره الخليفة الراشدي عمر بن الخطاب رضي الله عنه تيمناً بهجرة الرسول محمد صلى الله عليه وسلم من مكة إلى المدينة المنورة، التي حدثت في ١١ ربيع الأول من السنة الأولى للهجرة، الموافق لعام ٦٢٢ م.

اليوم الأول من التقويم الهجري هو على الأرجح يوم الجمعة ١ / ١ / ١ هـ الموافق لـ ١٦/ ٧ (تموز)/ ٦٢٢ م.

يتكون التقويم الهجري من ١٢ شهر قمري، وهي على الترتيب:

((محرم، صفر، ربيع الأول، ربيع الثاني، جمادى الأول، جمادى الثاني، رجب، شعبان، رمضان، شوال، ذي القعدة، ذي الحجة))

ويجوز أن تكون عدة كل منها ٢٩ أو ٣٠ يوم، أو 29,5 يوم بالمتوسط.

أي أنها تعتمد السنة القمرية البالغ عديد أيامها ٣٥٤ يوم و 11/30من اليوم

الدورات الهجرية:

١- الدور الصغير: يساوي ٣٠ سنة قمرية

يبلغ عديد أيام السنة القمرية المضبوطة ٣٥٤ يوم و 11/30 من اليوم. وهذا يعني أنه لو اعتبرنا عدد أيام السنة القمرية ٣٥٤ يوم، فإن كل ٣٠ سنة نعدها يجتمع لدينا ١١ يوم زائد يجب أن توزع على تلك السنين.

أي سنحصل كل ٣٠ سنة على ١١ سنة كبيسة (عديد أيامها ٣٥٥ يوم) و ١٩ سنة بسيطة (عديد أيامها ٣٥٤ يوم).

يجمع هذه السنين بيت الشعر التالي المكون من ٣٠ حرف، منها ١٩ للبسيطة (الغير منقوطة)، و ١١ للكبيسة (المنقوطة، أو المُعجمة).

كف الخليل كفه ديانه عن كل خل حبه فصانه

عدد أيام الدور الصغير: $30\times 354+11=10631$

فيكون عدد أسابيعه التامة: $10631\div 7=1518$ والباقي ٥ أيام.

تُضاف هذه الأيام الخمسة على الدور التالي وتُطرح من الدور السابق.

مثال: السنة الهجرية ١٣٧٠ هي سنة بسيطة. لأن عدد الدورات الصغيرة التامة $1370\div 30=45$ والباقي ٢٠ وهو يقابل حرف اللام (غير المنقوط) في كلمة (كل) من البيت.

مثال: إذا علمت أن أول أيام السنة الهجرية ١٣٨٤ هو يوم الأربعاء. فأي الأيام يكون رأس الدورين الصغيرين السابق واللاحق؟.

الحل: يبدأ الدور الصغير السابق عام ١٣٥٤ هـ، ويكون أول أيامه: الأربعاء – ٥ أيام = الجمعة

يبدأ الدور الصغير اللاحق عام ١٤١٤ هـ، ويكون أول أيامه: الأربعاء + ٥ أيام = الاثنين

مثال: ما هو اليوم الذي تبدأ فيه السنة الهجرية ١٣٨٢هـ ؟.

الحل: نحسب عدد الدورات الصغيرة التامة للأعوام التي تسبق عام ١٣٨٢ هـ، أي العام ١٣٨١ هـ وما قبل

$1381\div 30=46$ والباقي ١ سنة

يقابل الرقم ١ حرف الكاف (غير المنقوط) من البيت أي أن السنة الزائدة بسيطة وعدد أيامها ٣٥٤ يوم.

فيكون عدد الأيام الزائدة عن الأسابيع التامة $50 = 7 \div 354$ والباقي ٤ أيام زائدة.
فيكون عدد الأيام الزائدة في الـ ٤٦ دورة صغيرة: $230 = 5 \times 46$ أي ٢٣٠ يوم زائد
ويصبح المجموع الكلي للأيام الزائدة ٢٣٤ يوم زائد
وهو يوافق عدد من الأسابيع $33 = 7 \div 234$ والباقي ٣ أيام زائدة.
فإذا علمنا أن السنة الهجرية الأولى (١ هـ) الموافقة لسنة ٦٢٢ م تبدأ بيوم الجمعة.
عندئذٍ نعد ثلاثة أيام من يوم الجمعة (الجمعة، السبت، الأحد) أي أن يوم الأحد هو آخر يوم في السنة ١٣٨١هـ.
وعليه يكون يوم الاثنين هو أول أيام السنة الهجرية ١٣٨٢هـ
مثال: ما هو اليوم الذي تبدأ فيه السنة الهجرية ١٢٦٤هـ ؟.
الحل: نحسب عدد الدورات الصغيرة التامة للأعوام التي تسبق عام ١٢٦٤ هـ، أي العام ١٢٦٣ هـ وما قبل
$42 = 30 \div 1263$ والباقي ٣ سنوات
الحروف المقابلة للسنوات الأولى والثالثة من البيت غير منقوطة فهي بسيطة (تعد كل منها ٣٥٤ يوم)
أما الحرف المقابل للسنة الثانية من البيت فهو منقوط أي كبيسة (تعد كل منها ٣٥٥ يوم)
فيكون عدد الأيام الزائدة عن الأسابيع التامة لكلٍ منها $50 = 7 \div 354$ والباقي ٤ أيام زائدة. والمجموع ٨ أيام
وبالمثل عدد الأيام الزائدة عن الأسابيع التامة في السنة الكبيسة $50 = 7 \div 355$ والباقي ٥ أيام زائدة.
فيكون مجموع الأيام الزائدة عن السنوات الثلاث ٨+٥ أي ١٣ يوم.
أما عدد الأيام الزائدة في الـ ٤٢ دورة صغيرة: $210 = 5 \times 42$ أي ٢١٠ أيام زائدة.
ويصبح المجموع الكلي للأيام الزائدة ٢١٠ + ١٣ يساوي ٢٢٣ يوم زائد
فيكون عدد الأيام الزائدة عن الأسابيع التامة $31 = 7 \div 223$ والباقي ٦ أيام زائدة.
فإذا علمنا أن السنة الهجرية الأولى (١ هـ) الموافقة لسنة ٦٢٢ م تبدأ بيوم الجمعة.
عندئذٍ نعد ٦ أيام من يوم الجمعة (الجمعة، السبت، الأحد، الاثنين، الثلاثاء، الأربعاء) أي أن يوم الأربعاء هو آخر يوم في السنة ١٢٦٣ هـ.
وعليه يكون يوم الخميس هو أول أيام السنة الهجرية ١٣٦٤هـ
مثال: إذا علمت أن أول أيام السنة الهجرية ١٣٨٤ هو يوم الأربعاء. فأي الأيام يكون رأس التقويم الهجري؟.
الحل: نحسب عدد الدورات الصغيرة التامة للأعوام التي قبل عام ١٣٨٤ هـ، أي العام ١٣٨٣ هـ وما قبل
$46 = 30 \div 1383$ والباقي ٣ سنوات
مجموع الأيام الزائدة عن السنوات الثلاث ٨+٥ أي ١٣ يوم.
أما عدد الأيام الزائدة في الـ ٤٦ دورة صغيرة: $230 = 5 \times 46$ أي ٢٣٠ يوم زائد.
ويصبح المجموع الكلي للأيام الزائدة ٢٣٠ + ١٣ يساوي ٢٤٣ يوم زائد
فيكون عدد الأيام الزائدة عن الأسابيع التامة $34 = 7 \div 243$ والباقي ٥ أيام زائدة.
إذن يكون اليوم الخامس هو نهاية العام ١٣٨٣ هـ ، واليوم السادس بداية السنة الهجرية ١٣٨٤ الذي هو يوم الأربعاء. لذا نقوم بالعد إلى الخلف ٦ أيام بدءاً من يوم الأربعاء (الأربعاء، الثلاثاء، الاثنين، الأحد، السبت، الجمعة)، وعليه يكون يوم الجمعة هو أول أيام رأس السنة الهجرية ١ هـ.
٢- الدور الكبير: يبلغ تعداده سبعة أدوار صغيرة. (أي أن عدد أسابيع الدور الكبير يساوي عدد أيام الدور الصغير).
فيكون عدد سنينه: $210 = 7 \times 30$. وعدد أيامه: $74417 = 7 \times 10631$. وعدد شهوره: $2520 = 12 \times 210$
يمتاز هذا الدور بعودة الأيام ذاتها التي كانت قبل ٢١٠ سنوات،
مثال: إذا كان الأربعاء أول أيام السنة ١٣٨٤ هـ، فيكون الأربعاء ذاته رأس السنة ١١٧٤ هـ،
ويعود الأربعاء ذاته ليكون رأس السنة ١٥٩٤ هـ.

الفصل الثالث
الدراسة الطيفية للنجوم

مقدمة: اهتم العلماء بالضوء منذ القدم، وتجلى ذلك عند العرب بعلم البصريات. فكان كتاب "المناظر" لمؤلفه الحسن بن الهيثم [٩٦٥ – ١٠٣٨] م المعروف عند الغرب باسم (الهازن Al Hazen). الذي انتقد فيه نظرية بطليموس التي اعتبر فيها أن منشأ الضوء هو العين، ودرس تباين الأوساط، والانتشار المستقيم للضوء. وفسر اعتماداً على حوادث انعكاس الضوء وانكساره على السطوح سبب رؤية قرصي الشمس والقمر أكبر مما هما عليه عند الشروق والغروب. وأن رؤية القرصين تتم قبل شروقهما وبعد غروبهما الفعليين. وظاهرتي الخسوف والكسوف، وتكبير العدسات. كما قام بتشريح العين وشرح آلية حدوث الرؤيا.

يُضاف لما سبق تفسيره لألوان قوس قزح (الذي استمد تسميته من تقازيح ابن الهيثم). يرى ابن الهيثم أن الضوء الخام أبيض اللون، والظلمة الخام سوداء اللون. وأن ألوان الطيف الأخرى (التقازيح) ناتجة عن تفاوت نسب امتزاج هذين اللونين المستقلين. فمثلاً: ينشأ اللون الأحمر عن مزج الضوء الأبيض بنسبة قليلة من الظلمة السوداء، وعند الاستمرار بزيادة نسبة الظلمة في المزيج نحصل على البرتقالي فالأصفر ثم الأخضر والأزرق والنيلي فالبنفسجي. وعلى هذا يكون نسق الألوان عند ابن الهيثم: الأبيض فالأحمر... فالبنفسجي فالأسود.

فيما بعد قام العالم البريطاني نيوتن (Newton) [١٦٤٢ – ١٧٢٨] م بنشر نتائج بحوثه في علم الضوء والألوان عام ١٧٠٤ م في كتابه "البصريات" الذي تبنى فيه النظرية الجسيمية للضوء على عكس نظرية هويغنز الموجية.

وفسر تحليل الموشور لضوء الشمس الأبيض إلى ألوان الطيف المرئية
البسيطة السبعة التالية فقط "الأحمر، البرتقالي، الأصفر، الأخضر، الأزرق، النيلي، البنفسجي".

كما قام بوضع قوانين الحركة الثلاثة وقانون التجاذب الكوني العام وأضحت قوة الجاذبية القوة الوحيدة المهيمنة على الكون. حتى أن مناوئوه أتباع الكنيسة علقوا عليه بالقول بأنه لم يدع مجالاً للخالق في التحكم بالحركة الميكانيكية للشمس والقمر والكواكب والأجرام السماوية السيارة، أي أنه أهمل بالمطلق عامل القدر.

وبعد فشل نظرية نيوتن الجسيمية في تفسير ظواهر تداخل وحيود واستقطاب الضوء تم إحياء نظرية هويغنز الموجية. وبدأ العمل على اكتشاف كامل الطيف الكهرطيسي Electromagnetic Spectrum، الناتج عن الشمس كما هو موضح بالشكل ( )، والذي تبين أنه مكون من أمواج (Waves) أو أشعة (Radiation)، منها المرئية وهي المعروفة سابقاً، وتحتل حيزاً ضيقاً من الطيف. ومنها غير المرئية، مثل أمواج الراديو والتلفزيون Radio Waves التي يعود فضل اكتشافها للعالم هيرتز Hertz 1887 م، وهي أمواج ذات مجال واسع من الطيف بين الطويل والقصير المدى Long and short. والميكروية (أمواج المايكرويف) Microwave، وتحت الحمراء (الحرارية) Infrared، وفوق البنفسجية Ultraviolet، وأشعة X X-Rays ، وأشعة غاما Gamma Rays، ومؤخراً الأشعة الكونية Cosmic rays. وجميعها يتمتع بخواص مشتركة مثل السرعة الواحدة في الفراغ $c = 3\times10^8\ m/s$، لكنها تختلف في الطول الموجي (λ) Wavelength، والتردد (f) Frequency، وسرعتها في الأوساط المادية v.

ترتبط هذه المتغيرات في الموجة الواحدة بالعلاقة:

$$\boxed{v = \lambda f \quad \Leftrightarrow \quad c = \lambda f}$$

أدت تجارب فراداي Faraday وأورستد Orsted و آمبير Ambeer وغيرهم في دراسة الكهرباء والمغناطيسية إلى النظرية الكهرومغنطيسية التي صاغها مكسويل Maxwell بأربع معادلات واستنتج من خلالها أن الطيف المرئي من الضوء في الحقيقة ما هو إلا أمواج كهرطيسية.

وقد تأكدت حقيقة هذه الأمواج بعد اختراع ماركوني Marconi للتلغراف، الذي دلَّ على التطبيقات الواسعة للأمواج الطويلة في مجالات البث الإذاعي والتلفزيوني والاتصالات.

ومع بدايات القرن العشرين بدأت رحلة البحث عن تفاعلات الإشعاع مع المادة (إشعاع الجسم الأسود) على يد ماكس بلانك Max plank عام ١٩٠٠ م. فكانت النظرية الكمية التي اعتبرت الضوء ثنائي الصفة (موجة، جسيم). فهو يسلك في تجربة ما سلوكاً محدداً إما موجة أو جسيم. يدعى جسيم الضوء (حامل الطاقة) الفوتون. وأن تبادل الطاقة على شكل إشعاع مع المادة يحدث بواسطة الفوتونات. ولا يكون هذا التبادل مستمراً بل متقطعاً على دفعات (كمات مقننة $n = 1,2,3,.....$). حدد بلانك طاقة الفوتون (كم الطاقة) بدلالة ثابتة بلانك h وتردد الموجة f بالعلاقة:

$$\boxed{\varepsilon = n h f = n\hbar\omega}$$

حيث: $1eV = 1,6\times10^{-19}\ J$ ℘ $\omega = 2\pi f$ ℘ $\hbar = h/2\pi$ ℘ $h = 6,63\times10^{-34}\ JS$

يرافق (يصاحب) الفوتون موجة كهرطيسية، يُعطى طولها وفقاً للفرنسي لويس ديبرولي Louis de Broglie عام

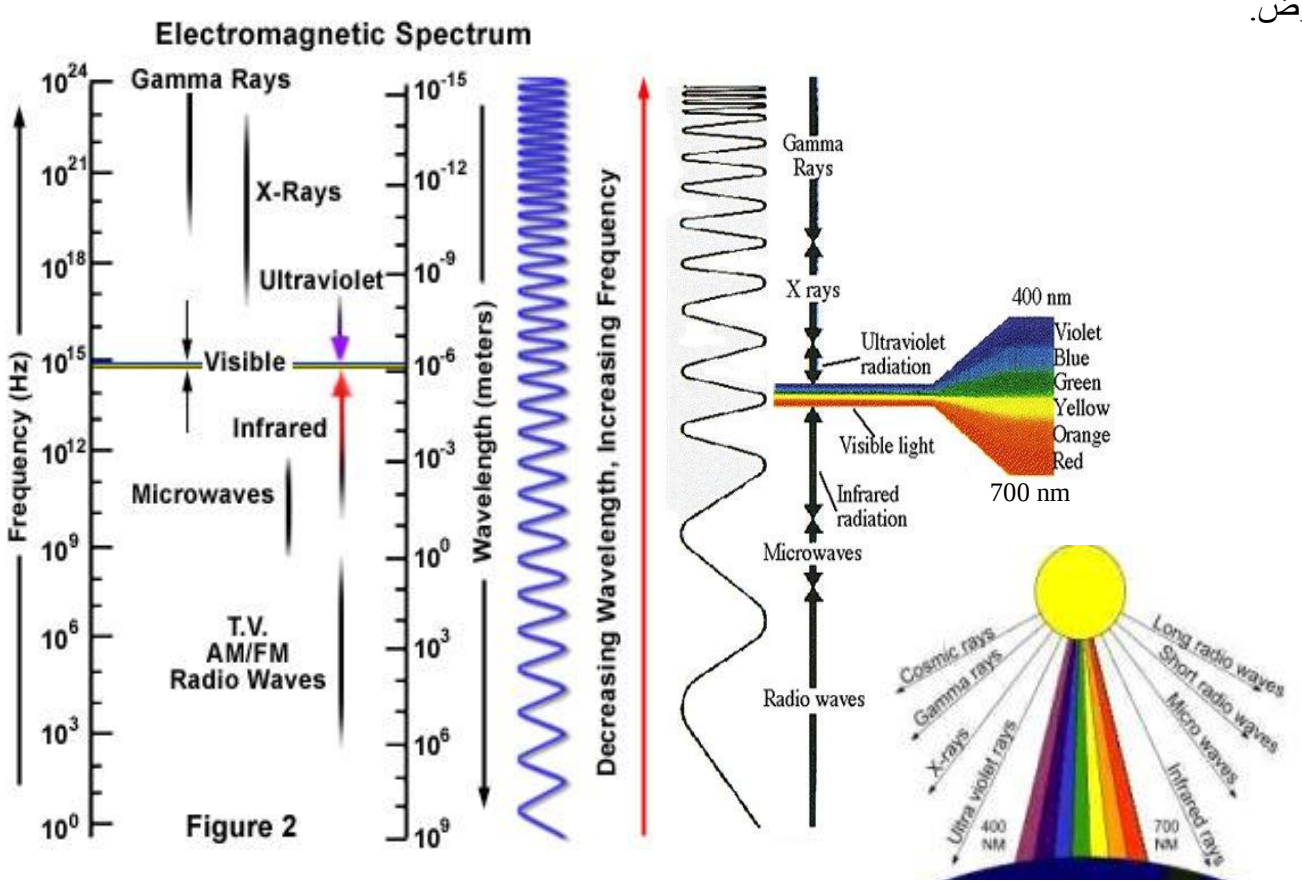
١٩٢٤ م بدلالة زخم الفوتون (كمية حركته) P بالعلاقة:

$$\lambda = h/P$$

وبما أن الفوتون جسيم عديم الكتلة ويتحرك بسرعة الضوء فإن كمية حركته P مرتبطة بطاقته وفق الصيغة:

$$P = \frac{h}{\lambda} = \frac{h\,f}{c} = \frac{\varepsilon}{c}$$

يُلاحظ من الشكل ( ) والجدول ( ) المرفقين أن المجالات الطيفية تبدأ بالأمواج الطويلة ذات الترددات (الطاقات) المنخفضة، وتنتهي بالأمواج القصيرة ذات الترددات (الطاقات) العالية والضرر البالغ لكافة أشكال الحياة على الأرض.



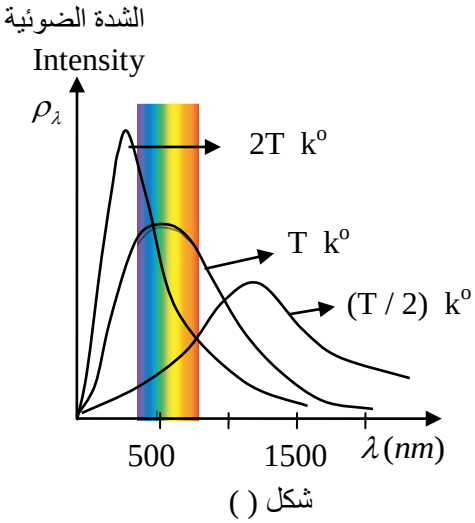
شكل ( )

Energy (eV)	Frequency (Hz)	Wavelength (centimeters)	Wavelength (Angstroms)	Region
$< 10^{-5}$	$< 3 \times 10^{9}$	> 10	$> 10^{9}$	Radio
10^{-5} - 0.01	3×10^{9} - 3×10^{12}	10 - 0.01	10^{9} - 10^{6}	Microwave
0.01 - 2	3×10^{12} - 4.3×10^{14}	0.01 - 7×10^{-5}	10^{6} - 7000	Infrared
2 - 3	4.3×10^{14} - 7.5×10^{14}	7×10^{-5} - 4×10^{-5}	7000 - 4000	Visible
3 - 10^{3}	7.5×10^{14} - 3×10^{17}	4×10^{-5} - 10^{-7}	4000 - 10	Ultraviolet
10^{3} - 10^{5}	3×10^{17} - 3×10^{19}	10^{-7} - 10^{-9}	10 - 0.1	X-Rays
$> 10^{5}$	$> 3 \times 10^{19}$	$< 10^{-9}$	< 0.1	Gamma Rays

اللون	أحمر	برتقالي	أصفر مخضر	أخضر	أخضر مزرق	أزرق مخضر	أزرق	بنفسجي
$\lambda(nm)$	٦٥٠ـ٧٨٠	٥٩٥ ـ ٦٥٠	٥٦٠ ـ ٥٩٥	٥٠٠ ـ ٥٦٠	٤٩٠ ـ ٥٠٠	٤٨٠ ـ ٤٩٠	٤٣٥ ـ ٤٨٠	٣٨٠ ـ ٤٣٥

النتائج التجريبية لإشعاع الجسم الأسود:

تعتبر النتائج التجريبية لتفاعلات الإشعاع مع المادة (إشعاع الجسم الأسود) بداية الثورة الحقيقية على الفيزياء الكلاسيكية. حيث يتغير لون المشع بزيادة درجة حرارته من الأحمر إلى الأزرق، عندما يصبح مشعاً لكافة ألوان الطيف.



شكل ( )

فقد لوحظ أن شدة الإشعاع الصادر عن جسم أسود درجة حرارته $T(k^o)$، تبلغ قيمتها القصوى $(\rho_\lambda)_{\max}$ عند طول موجي محدد $\lambda_{\max}$.

ويرافق زيادة درجة الحرارة زيادة في الشدة وانزياح نحو الأطوال الموجية القصيرة. كما هو موضح بالشكل ( ).

وفي تفسيرهم لهذه الحقيقة، اجتهد نفرٌ من العلماء أمثال رايلي و جينز Rayleigh and Jeans بتفسير هذا السلوك عند الأمواج الطويلة فقط، والعالم ڤين Win عند الأمواج القصيرة فقط، ثم تكللت بالنجاح المطلق على كامل الطيف على يد العالم **ماكس بلانك** Max plank عام ١٩٠٠ م. الذي استنتج عبارة الكثافة الطيفية ρ_λ التالية:

$$\rho_\lambda(T) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5}\,\frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda KT}}-1}$$

حيث $K = 1{,}38\times10^{-23}\ J/k^o$ ثابتة بولتزمان. و $c = 3\times10^8\ m/s$ سرعة الضوء، و $h = 6{,}63\times10^{-34}\ J\,s$ ثابتة بلانك.

كما قام ڤين باشتقاق العلاقة التي تربط بين طول الموجة الموافقة لشدة الإشعاع القصوى $\lambda_{\max}$ ودرجة حرارة المنبع $T(k^o)$، وهي المعروفة باسمه (قانون ڤين في الإزاحة الطيفية Win's Law) بالشكل التالي:

$$\lambda_{\max}\,T = 2{,}9\times10^{-3}\,m\,k^o$$

كما قام كل من ستيفان و بولتزمان (بشكل متزامن) بوضع القانون الذي يربط بين الانبعاثية الإشعاعية e من سطح الجسم الأسود مع درجة حرارته T، حيث توصلا إلى القانون المعروف باسمهما (قانون ستيفان – بولتزمان: Stefan – Boltzmann Law)، التالي:

"تتناسب الانبعاثية الإشعاعية e من سطح جسم حار طرداً مع الأس الرابع لدرجة حرارته" وفق العلاقة:

$$e = \sigma T^4 \quad W/m^2 \quad or \quad Joul/m^2\,s$$

حيث $\sigma = 5{,}67\times10^{-8}\ W/m^2k^4$ ثابتة ستيفان – بولتزمان.

فمثلاً: من أجل الشمس، التي درجة حرارة سطحها بحدود 6000 k° تكون انبعاثيتها الإشعاعية

$$e = \sigma T^4 = 5{,}67\times10^{-8}\times(6\times10^3)^4 \approx 7\times10^7 \quad W/m^2$$

وبكلام آخر: (اعتماداً على وحدات القياس) يمكن القول عن الانبعاثية الإشعاعية e بأنها معدل الطاقة E/t (الاستطاعة) المنبعثة من وحدة مساحات سطح المنبع S_R. أو الكثافة السطحية لمعدل الطاقة E/t.

$$e = \frac{E/t}{S_R} \quad \Rightarrow \quad \frac{E}{t} = e\,S_R = \phi_e$$

ويُقصد بالمعدل E/t (الاستطاعة): الطاقة التي يولدها المنبع (الجسم الأسود) خلال وحدة الزمن، وتقدر بالواط $(W = J/s)$. و $(S_R = 4\pi R^2)$ مساحة سطح المنبع الذي نفرضه كروي الشكل (نصف قطره R).

فيكون ϕ_e تدفق الانبعاثية الإشعاعية e من خلال السطح الكروي S_R المحيط بالمنبع مباشرةً $\phi_e = e\,S_R$.

أي أن: معدل الطاقة E/t يساوي تدفق الانبعاثية الإشعاعية ϕ_e من خلال السطح الكروي S_R المحيط بالمنبع مباشرةً.

وفي عام ١٩٢٥ م ظهرت النظرية الحديثة لميكانيكا الكم على يد كلٍّ من هايزنبرغ Heisenberg، و ماكس بورن M. Born و شرودنغر E. Shrodinger، و بول ديراك P. Dirac.

نستنتج مما سبق أن النظرية الكمية تفيد بأن المادة تتعامل مع الإشعاع بطريقتي الإصدار والامتصاص. فكل عنصر في الطبيعة يحتاج لكمات محددة من الطاقة لإثارته (تهييجه)، لذا يقوم بامتصاص المناسب له من الفوتونات التي تقع طاقاتها في المجالات المناسبة لسوياته الطاقية. وهنا لابد من التنويه إلى أن إثارة العنصر لا تعني حصراً انتقال إلكتروناته من السويات الدنيا إلى العليا، بل يمكنه أيضاً استثمار هذه الطاقة بتنفيذ حركات مختلفة (انسحابية، اهتزازية، دورانية)، أو جميعها معاً، مما يعني مجالات واسعة من حُزم الطاقة. وبنفس الأسلوب يعود العنصر إلى سويته الأرضية (غير المثارة) عبر سلسلة من الإصدارات لذات الأطياف التي قام بامتصاصها.

لمعرفة نوع العنصر (المادة) من خلال أطيافها تستخدم تقانة التحليل الطيفي Spectroscopy.

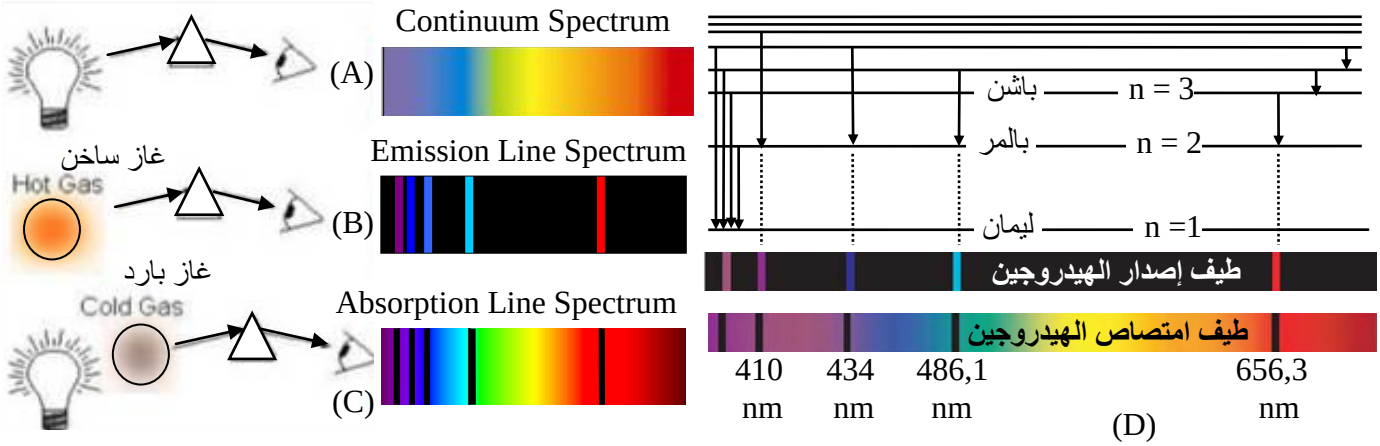
تتلخص هذه التقنية بتجميع الضوء الصادر عن المادة المهيجة وتسليطها إلى جملة ضوئية قوامها موشور.
يُحلل الموشور الضوء الساقط عليه إلى عناصره البسيطة (الأطياف) التي يمكن تلقيها على حاجز أو فيلم حساس.
وفيما يلي نستعرض قوانين كيرشوف الثلاثة التي صنّف من خلالها الأطياف وآلية مشاهدتها:

قوانين كيرشوف Kirchhoff's laws:

١- طيف الإصدار المستمر Continuum Spectrum (المكون من كافة ألوان الطيف المرئي)، وهو ضروري للتعرف على المواضع الثابتة للألوان البسيطة في الطيف، ونحصل عليه من الضوء الأبيض الصادر عن لهب مصباح بنزن، أو مصباح كهربائي بسيط (ذو وشيعة)، أو بتسخين أي مادة أو جسم موجود بإحدى حالاته الثلاث (الصلبة، السائلة، أو الغازية الكثيفة) إلى درجات حرارة عالية (إلى حد التوهج أو التبخر). كما في الحالة (A) من الشكل ( ).

٢- خطوط طيف الإصدار (الانبعاث) الملونة Emission Line Spectrum. نحصل عليها بسحق المادة المراد معرفة طيف انبعاثها ومن ثم إلقاء المسحوق في لهب مصباح بنزين، أو بتسخين المادة بحالتها الغازية منخفضة الكثافة (المخلخلة). حيث يقوم الغاز بإصدار الأطياف الموافقة لحالة تهيج ذراته، فيظهر على الفيلم خطوط ملونة على خلفية سوداء كما في الحالة (B) من الشكل ( ).
مثلاً: يمكن الحصول على طيف إصدار الصوديوم بنثر كمية وافية من ملح الطعام على لهب المصباح.

٣- خطوط امتصاص عاتمة Absorption Line Spectrum. نحصل عليها بتمرير الطيف المستمر عبر المادة ذاتها أو في حالتها الغازية الباردة. فيقوم الغاز البارد بامتصاص أطيافه المفقودة من الطيف المستمر الذي يعبره، بمعنى أنه ينتقي من الطيف المستمر تلك الترددات المناسبة لتهييج ذراته، حيث تقوم الالكترونات بامتصاص الطاقة اللازمة لرفعها من سوية دنيا إلى سوية أعلى، ويبدأ الغاز البارد بالتهيج التدريجي. وهذا يعني أن الطيف العابر سيخرج من الغاز البارد مسلوباً بعض ترددات، ولن يعود طيفاً مستمراً، وهذا الذي يتم تسجيله على الفيلم على شكل خطوط عاتمة في مناطق محددة من الطيف كما هو موضح في الحالة (C) من الشكل ( ).



شكل ( )

يُلاحظ في الحالتين (B) و (C) من الشكل ( ) أن الأطوال الموجية الموافقة لطيفي الإصدار والامتصاص الخاصة بمادة محددة هي ذاتها، الأمر الذي يعني إمكانية وضع خارطة طيفية لكل عنصر من عناصر الجدول الدوري، واعتبارها بمثابة البصمة أو هوية العنصر الشخصية. فمثلاً يمتص بخار الكالسيوم الأطوال الموجية 393,3 nm و 396,8 nm على شكل خط مزدوج في نطاق الضوء البنفسجي.

أطياف إصدار وامتصاص الهيدروجين (علاقة ريـــدبرغ): Rydberg relation

نعلم من بلانك أن الذرة تتهيج عندما ينتقل (transition) (يقفز) أحد إلكتروناتها من سوية دنيا إلى عليا جراء امتصاصه لفوتون طاقته مساوية لفرق طاقتي السويتين $\varepsilon = \Delta E = E_{n2} - E_{n1} = h f$.

ويحدث الأمر المعاكس (تعود الذرة إلى سويتها الأرضية) عندما ينتقل الإلكترون من السوية العليا إلى الدنيا مصدراً هذه الطاقة على شكل إشعاع.

ويحدث الأمر ذاته بالنسبة لذرة الهيدروجين كما هو موضح في الحالة (D) من الشكل ( ). حيث تظهر أطياف الإصدار والامتصاص المميزة للهيدروجين في منطقة الطيف المرئي، (المحسوبة من سلسلة بالمر).

وضع العالم الدانمركي نيلز بور Niels Bohr عام ١٩١١ م نظريته الشهيرة لذرة الهيدروجين، بعد أن قام بتكميم العزم الحركي المداري لإلكترون الذرة quantization angular momentum، والتي حسب من خلالها طاقة الإلكترون في مداره وفق العلاقة:

$$E_n = -\frac{13,6}{n^2} \quad eV$$

فتكون طاقة الفوتون مساوية لفرق طاقتي المدارين

$$\varepsilon = E_{n2} - E_{n1} = -\frac{13,6}{n_2^2} + \frac{13,6}{n_1^2} = h\,f$$

وبالتالي تردد الفوتون القافز بين السويتين n_1 و n_2:

$$f = \frac{13,6}{h}\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$$

وبتحويل المقدار 13,6 eV إلى جـول والتعويض عن h بقيمتها نحصل على تردد الفوتون الصادر (الممتص) مقدراً بالهرتز Hz كما يلي :

$$f = 3,3\times10^{15}\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$$

وبما أن $f = c/\lambda$ حيث c سرعة الضوء في الفراغ $c = 3\times10^8\ m/s$، وبالتعويض نحصل على علاقة ريـــدبرغ في الأطوال الموجية لسلاسل الإصدار والامتصاص الطيفية لذرة الهيدروجين التالية:

$$\boxed{\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)}$$

حيث $R = 1,09\times10^7\ m^{-1}$ ثابتة ريـــــدبرغ Rydberg constant

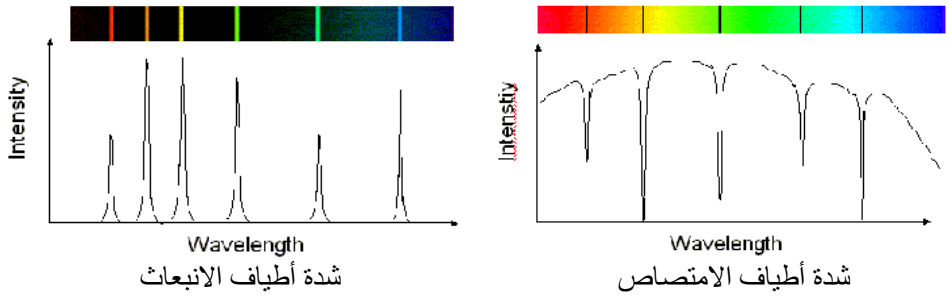
مثال: نحسب طاقة تأين ذرة الهيدروجين بتطبيق العلاقة:

$$\varepsilon = E_{n2} - E_{n1} = 13,6\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) = 13,6\left(\frac{1}{1} - \frac{1}{\infty}\right) = 13,6\ eV$$

ملاحظة: يوجد سلاسل طيفية أخرى غير تلك الناجمة عن الحركات الانتقالية للإلكترونات، مثل سلاسل الأطياف الجزيئية (عند درجات الحرارة المنخفضة، وهي ناتجة عن الحركات الدورانية والاهتزازية للجزيئات). والأطياف النووية (عند درجات الحرارة العالية، حيث تكون المادة في حالتها الأيونية، وتحصل حركات اهتزازية أيضاً).

الدراسة الطيفية للنجوم:

تمكننا أفلام تسجيل الأطياف من التعرف على أنواع العناصر الداخلة في عينة من مزيج من الغازات المختلفة، وذلك من خلال مقارنة الخطوط الطيفية الموجودة على الفيلم مع الخارطة الطيفية لكل عنصر من عناصر الجدول الدوري المعروفة. فمثلاً: تم اكتشاف غاز الهليوم من الطيف الصادر عن الشمس عام ١٨٦٨ قبل اكتشافه على الأرض عام ١٨٩٥ . من جهة أخرى يوحي تشبع ألوان طيف الإصدار وقتامة طيف الامتصاص إلى مدى وفرة المادة في المزيج. (نسب الغازات المختلفة الداخلة في المزيج). ويتم ذلك: بتسليط شعاع أحادي طول الموجة، وثابت الشدة، على كل خط من خطوط الطيف (إصدار أو امتصاص)، ومن ثم قياس شدة الشعاع النافذ بواسطة مقياس للشدة الضوئية، حيث أن الخطوط الطيفية لا تكون نيرة بالمطلق (بالنسبة لخطوط الانبعاث)، ولا داكنة أو قاتمة بالمطلق (بالنسبة لخطوط الامتصاص)، أي يمكن لبعض الشعاع النفاذ عبرها. وبرسم الخط البياني للشدة النافذة بدلالة طول الموجة نحصل على نسبة الذرات المهيجة لكافة الأنواع في المزيج، كما هو موضح بالشكل ( ).



شكل ( )

١ - تركيب النجوم:

تفيد الدراسة الطيفية للنجوم البعيدة في معرفة تركيب غلافها الجوي وذلك من خلال تسجيل خطوط انبعاثها التي تبدو على شكل خطوط امتصاص (طيف مستمر مسلوب بعض الترددات). ويعود السبب في ذلك لوجود غازات

(عناصر) في الغلاف الجوي للنجم تحول دون وصول كامل الطيف، حيث تقوم هذه العناصر بامتصاص بعض الأطياف الخاصة بها، وعليه يصبح الطيف المغادر للنجم طيف امتصاص. وقد كان العالم الألماني فراونهوفر Fraunhofer أول من اكتشف هذه الخطوط في طيف الشمس. وكما هو معلوم فإن الشمس تكللها الهالة (الكورونا) أو ما يسمى كرة الضوء (الفوتوسفير) Photospher التي سندرسها لاحقاً وبالتفصيل.

عموماً اتضح بالتحليل أن جو الشمس مكون من % 71 من غاز الهيدروجين، و % 27 من غاز الهليوم، و % 2 من عناصر متنوعة أخرى قوامها الصوديوم والكالسيوم والحديد.

سؤال: إذا علمت أن الهيدروجين وقود الشمس، لماذا لا تحدث تفاعلات الاندماج النووي على السطح ؟.

الجواب: لا يدخل غاز الهيدروجين الموجود في الغلاف الجوي الشمسي في تفاعلات الاندماج النووي الجارية في باطنها. لأن درجة حرارة سطحها بحدود $6000\ k^o$، وهذه الدرجة لا تسمح ببدء تفاعلات الاندماج، لأن الدرجة المطلوبة لبدء هذا النوع من التفاعلات ١٥ مليون درجة كلفن، وهي غير متوفرة إلا في باطنها.

إن التحديد الدقيق لهوية ومقادير العناصر الموجودة في الغلاف الجوي للنجم أمر بالغ الصعوبة، إن لم يكن مستحيل. لأن شرط كيرشوف المتمثل بضرورة كون غاز جو النجم بارد قد لا يكون محقق. فعلى الرغم من احتمال وجود عنصر ما في جو النجم فإن طيف امتصاصه لا يظهر. ويعود السبب لدرجة الحرارة العالية للنجم التي تجعل ذرات العنصر في حالة شاردية (مؤينة)، الأمر الذي لايسمح له بامتصاص أو إصدار أي نوع من الأطياف المحددة لهويته. فمثلاً: تظهر بوضوح خطوط بالمر (سلسلة أطياف ذرة الهيدروجين في المجال المرئي) لنجم تقع درجة حرارته بين ٨٠٠٠ و ١٥٠٠٠ كلفن، وتختفي خارج هذا المجال. بمعنى أن إلكترون ذرة الهيدروجين يكون موجود في السوية الثانية ($n = 2$) ضمن هذا المجال. وفي السوية الأولى عند درجات أدنى من ٨٠٠٠، عندئذٍ يمكن تتبع الخطوط الطيفية الجزيئية (إذا كانت المادة متوفرة بحالتها الجزيئية). وفي السويات الثالثة وما فوق عند درجات أعلى من ١٥٠٠٠. ويمكن للوضع أن يتطور أكثر بزيادة درجة الحرارة حيث تتحول الذرة إلى أيون موجب (يتم طرد الإلكترون خارج الذرة)، ولا نحصل عندئذٍ على أي من خطوط السلاسل الأخرى الخاصة بالانتقالات الالكترونية (ليمان مثلاً)، ويمكن التعويل في هذه الحالة على الأطياف النووية الناتجة عن الحركات الاهتزازية والدورانية للنواة. وبناءً على ما سبق فإنه عند دراسة أطياف النجوم يجب أخذ التصحيحات المناسبة الناتجة عن المؤثرات الحرارية.

٢- <u>علاقة سطوع النجم (لمعانه) Luminosity بدرجة حرارة سطحه ونصف قطره:</u>

يُعرف سطوع نجم (لمعانه) L بمعدل استهلاكه لوقوده. أو الطاقة التي ينشرها خلال واحدة الزمن، ويقدر بالواط.

$$L = E/t \quad (Joul/\sec \equiv Watt)$$

إذن هو استطاعة. وهو مقدار ثابت من أجل كل نجم وهام لتحديد عمره.

بمقارنة هذا التعريف مع عبارة تدفق الانبعاثية الإشعاعية ϕ_e حسب قانون ستيفان - بولتزمان نلاحظ أنهما متكافئان.

أي أن: $$L = E/t = \phi_e = eS_R \quad (Joul/\sec \equiv Watt)$$

وبالتعويض عن الانبعاثية الإشعاعية بقيمتها $e = \sigma T^4$ نجد:

$$\boxed{L = \sigma T^4 S_R \quad (Watt)}$$

أي أن السطوع L (الاستطاعة) يتناسب طرداً مع كلٍ من مساحة سطح النجم S_R والأس الرابع لدرجة حرارته T^4.

بمعنى: أنه توجد نجوم ساطعة (L كبير) على الرغم من كونها باردة (T صغيرة) والسبب طبعاً هو اتساع مساحة سطحها S_R. أو أن يكون سطوعها بسبب درجة حرارتها الكبيرة على الرغم من صغر مساحة سطحها S_R.

فإذا فرضنا أن النجم كروي الشكل (نصف قطره R_{Star})، فتكون مساحة سطحه ($S_R = 4\pi R_{Star}^2$)، وبالتعويض نجد:

$$\boxed{L = 4\pi R_{Star}^2 \sigma T_{Star}^4 \quad (Watt)}$$

س: استنتج سطوع (لمعان) الشمس إذا علمت أن $R_{Sun} \approx 7\times10^8\ m$ و $T_{Sun} \approx 6000\ k^o$ و $\sigma = 5{,}67\times10^{-8}\ W/m^2k^4$

الحل: $$L_{Sun} = 4\pi R_{Sun}^2 \sigma T_{Sun}^4 = 12{,}56\times49\times10^{16}\times5{,}67\times10^{-8}\times1300\times10^{12} \approx 4\times10^{26}\ W$$

س: أوجد نصف قطر نجم الشعرى اليماني R_{Sirus} بدلالة R_{Sun} إذا علمت أن سطوعه $L_{Sirus} \approx 25 L_{Sun}$ و $T_{Sirus} \approx 10000\ k^o$ و $T_{Sun} \approx 6000\ k^o$.

الحل: ننسب عبارتي السطوع للنجمين فنجد: لأن $R_{Sir} \approx 1{,}8 R_{Sun}$

$$\frac{L_{Sir}}{L_{Sun}} = \frac{4\pi R_{Sir}^2 \sigma T_{Sir}^4}{4\pi R_{Sun}^2 \sigma T_{Sun}^4} = \frac{R_{Sir}^2 T_{Sir}^4}{R_{Sun}^2 T_{Sun}^4} \Rightarrow \frac{R_{Sir}}{R_{Sun}} = (\frac{L_{Sir}}{L_{Sun}})^{1/2}(\frac{T_{Sun}}{T_{Sir}})^2 = 5\times\frac{9}{25} = \frac{9}{5} = 1{,}8$$

ملاحظة: يمكن فهم السطوع L على أنه الاستطاعة المتوسطة لخرج الشمس $P_{av} \equiv L$ التي ترتبط بشدة الإضاءة

(الضيائية) I الساقطة على مساحة سطح كروي A نصف قطره r بالعلاقة:

$$P_{av} = I\,A$$

مثال: احسب شدة الضوء الساقط على وحدة المساحة لكل من سطحي الكرة الأرضية وكوكب عطارد Mercury.

علماً أن: $P_{av} = 4\times10^{26}\ W$ و $r_{E-S} = 150\times10^{6}\ km$ و $r_{Mer-S} = 58\times10^{6}\ km$

الحل: نطبق العلاقة: $I = P_{av}/A = P_{av}/4\pi r^2$ فنجد:

شدة الضوء الساقط على الأرض

$$I_E = P_{av}/A_{E-S} = P_{av}/4\pi r_{E-S}^2 = 4\times10^{26}\ W/4\pi(150\times10^{9}\ m)^2 \approx 1400\ W/m^2$$

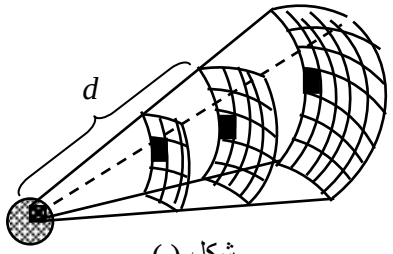
شدة الضوء الساقط على عطارد Mercury

$$I_{Me} = P_{av}/A_{Me-S} = P_{av}/4\pi r_{Me-S}^2 = 4\times10^{26}\ W/4\pi(58\times10^{9}\ m)^2 \approx 9460\ W/m^2$$

٣- علاقة ضيائية النجم (شدة الإضاءة) Brightness (B) بسطوعه (استطاعته المتوسطة) (L):

يُعرف ضياء نجم B بمقدار الطاقة الساقطة على وحدة المساحة من أي سطح كروي مغلق يحيط بالنجم (السطح الذي نقيس عنده ضياء النجم، ونصف قطره d) خلال وحدة الزمن، ويقدر بالواط على متر مربع. وهو يكافئ تعريف الانبعاثية الإشعاعية e . أو السطوع لكل متر مربع، أي:

$$B = L/S_d \quad (Joul/m^2\sec) \equiv (Watt/m^2) \Leftrightarrow I = P_{av}/S_d$$



شكل ( )

أي أنه يمكن التعبير عن ضيائية نجم عند مسافة d بالكثافة السطحية لمعدل الطاقة. أي: $(Joul/m^2\sec) \equiv (Watt/m^2)$ ، $B = \dfrac{E/t}{S_d}$ مع ملاحظة أننا كنا قد عبرنا عن الانبعاثية الإشعاعية e بنفس الشكل، لكن بفارق هو أن S_R مساحة السطح الباعث و S_d مساحة السطح المُستقبِل.

يتضح من التعريف والشكل ( ) المرفق أن عدد الفوتونات المنبعثة من وحدة مساحة المنبع والساقطة على ذات وحدة المساحة من السطح الكروي $4\pi d^2$ (الذي يبعد عن المنبع مسافة d) في حالة تناقص مستمر بزيادة المسافة d.

بالتعويض عن السطوع بقيمته نجد:

$$B = \frac{L}{S_d} = \sigma T^4 \frac{S_R}{S_d} = e\,\frac{S_R}{S_d} = \sigma T^4 \left(\frac{R}{d}\right)^2 \quad (Watt/m^2) \quad or \quad (Joul/m^2\,s)$$

فعلى سبيل المثال لو كانت الشمس أبعد بمرتين مما هي عليه الآن لانخفض ضياؤها ٤ مرات، ولو كانت أبعد بـ ١٠ مرات لانخفض ضياؤها ١٠٠ مرة

سؤال: احسب كثافة الطاقة الشمسية الساقطة على وحدة المساحات من سطح الأرض خلال وحدة الزمن ؟

علماً أن: $\sigma = 5{,}67\times10^{-8}\ W/m^2k^4$ و $R_{Sun} \approx 7\times10^{5}\ km$ و $d_{E-S} \approx 150\times10^{6}\ km$ و $T_{Sun} \approx 6000\ k^o$

الجواب: $B = \sigma T^4 \left(\dfrac{R_{Sun}}{d_{E-S}}\right)^2 \approx 5{,}67\times10^{-8}\times1{,}3\times10^{15}\times2{,}18\times10^{-5} \approx 1600\ (Watt/m^2)$

أي أننا لو استطعنا استثمار هذه الطاقة لأمكننا إنارة ١٦ مصباح، استطاعة الواحد منها ١٠٠ واط .

سؤال: احسب المسافة التي تفصلنا عن أبعد كوكب في الكون ($d_{Pla-Sun} \approx ?$) بحيث يمكن لسكانه رؤية الشمس ؟.

إذا علمت أن الرؤية تبقى محققة طالما يصل إليه فوتون ضوء مرئي واحد على المتر المربع في الثانية.

وأن: $\sigma = 5{,}67\times10^{-8}\ W/m^2k^4$ و $R_{Sun} \approx 7\times10^{8}\ m$ و $T_{Sun} \approx 6000\ k^o$

الجواب: نعلم أن تردد فوتون الضوء المرئي $f \sim 10^{14}\ Hz$ ، فتكون طاقته

$$\varepsilon = h\,f = 6{,}63\times10^{-34}\times10^{14} \sim 6{,}63\times10^{-20}\ J$$

وعندما يصبح $B = 6{,}63\times10^{-20}\ J/m^2s$ نجد بالتعويض في عبارة الضيائية:

$$d_{Pla-Sun} = \sqrt{\frac{\sigma}{B}}\ T^2 R_{Sun} \approx \sqrt{\frac{5{,}67\times10^{-8}}{6{,}63\times10^{-20}}}\times36\times10^{6}\times7\times10^{8} \approx 233\times10^{20}\ m \approx 233\times10^{17}\ km$$

وبما أن $1\,Ly \approx 9{,}46\times10^{12}\ km$ نجد:

$$d_{Pla-Sun} \approx \frac{233\times10^{17}}{9{,}46\times10^{12}}\ Ly \approx 24{,}6\times10^{5}\ Ly \approx 2{,}5\times10^{6}\ Ly$$

٤- أثر غلاف الأرض الجوي ووسط مابين النجوم على ضيائية النجم:

نعلم أن الفراغ حالة مثالية للوسط الذي لا تظهر فيه المادة بشكل صريح وواضح. والحقيقة أن وسط ما بين النجوم ليس فراغاً مطلقاً، بل يحوي على غازات وغبار وأيونات لعناصر مختلفة. يُضاف لما سبق الغلاف الجوي للأرض المكون من عدة طبقات بسماكات وكثافات مختلفة، والممتد إلى ارتفاعات تفوق الـ 400 km. فهو إضافةً للهواء المكون من 78 % من النتروجين، و 21 % من الأكسجين، و 1 % من غازات مختلفة، توجد نسبة عالية من بخار الماء والأتربة المعلقة بفعل الرياح الدائمة.

عموماً: إن وجود هذا الكم الهائل من المعوقات في طريق الإشعاع القادم من الشمس والكون يعمل على إضعاف شدة الضوء الوارد (يمتص عدد هائل من فوتونات الطاقة الضوئية)، كما يقوم بإضعاف طاقة الفوتون الوارد جراء عمليات الامتصاص وإعادة الإشعاع والتشتت الحاصل بين الطبقات، الأمر الذي يُضعف من ضيائية النجم.

لإيجاد العبارة الرياضية التي تصف معدل انخفاض الضيائية، نفرض معامل العتمة α الناتج عن كافة عمليات الامتصاص والتشتت المسببة للفقد الحاصل في الشدة والطاقة. وأن B_o ضيائية النجم عند سطحه، حيث:

$$B_o = \frac{L}{S_R} = \sigma T^4 \frac{S_R}{S_R} = \sigma T^4$$

وبما أن الضيائية B_r عند مسافة r هي كما وجدناها: $B_r = \frac{L}{S_r} = \sigma T^4 \frac{S_R}{S_r} = \sigma T^4 (\frac{R}{r})^2 = B_o (\frac{R}{r})^2$

فإن مقدار النقص في الضيائية dB_r الناتج عن عبور الإشعاع مسافة dr يتناسب طرداً مع الضيائية عند المسافة B_r، وثابت التناسب هو المعامل α. وفق العلاقة: $dB_r = -\alpha B_r\, dr \quad \Rightarrow \quad \frac{dB_r}{B_r} = -\alpha\, dr$

تشير الإشارة السالبة إلى النقص في الضيائية. وبمكاملة العلاقة في المجال $[r \to d]$ نجد:

$$Ln\frac{B_d}{B_r} = -\alpha (d - r) = -\alpha x = -\tau$$

يُعبر المقدار $x = d - r$ عن السماكة البصرية، وبالتالي $\tau = \alpha x$ عن مقدار التعتيم الناتج عن هذه السماكة. فمن أجل الفراغ يكون $\alpha = 0$ أي لا يوجد تعتيم $\tau = 0$. ومن أجل وسط عديم الشفافية (عاتم) فإن $\alpha = \infty$، و $\tau = \infty$.

بالتعويض والإصلاح نجد: $B_d = B_r\, e^{-\tau} = B_o (\frac{R}{r})^2 e^{-\tau} = \sigma T^4 (\frac{R}{r})^2 e^{-\tau}$

٥- النوافذ الجوية: Atmospherical windows

تعمل مكونات طبقات الغلاف الجوي الأرضي (من خلال امتصاصها لمجال واسع من الطيف الكهرطيسي) على الحد من وصول كامل هذا الطيف إلى سطح الأرض. الأمر الذي يُشكل ما يسمى بالنوافذ الجوية.

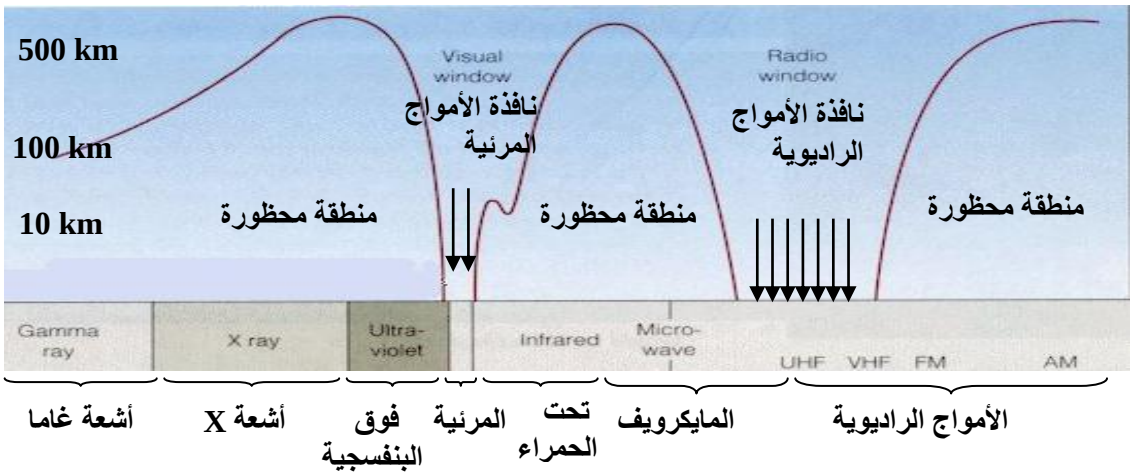
فمثلاً: يمتص بخار الماء H_2O وغاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 الأشعة ذات الطاقات المنخفضة. أي كافة الأطوال الموجية للأشعة ما تحت الحمراء، إضافةً لمجال واسع من الأشعة الميكروية. ويقوم غازي الأكسجين O_2 والأوزون O_3 بامتصاص الأشعة ما فوق البنفسجية. كما يقوم غازي الأكسجين والنتروجين بامتصاص الأشعة ذات الطاقات العالية، مثل الأشعة السينية X، وغاما. ونتيجةً لذلك تحدث فجوات (نوافذ) نستطيع من خلالها إبصار الكون، أي أننا لا نستطيع استقبال كامل طيف الأشعة الواردة إلينا من الشمس والنجوم، بل فقط تلك التي تقع تواتراتها ضمن المجالات المحددة بهذه النوافذ، كما هو موضح بالشكل ( ).

إذن: نستطيع التعرف على الكون من خلال النافذتين الطبيعيتين التاليتين: نافذة في كامل الطيف المرئي، وأخرى في مجال محدود من الطيف الراديوي.

طبعاً لا يمكننا هنا تجاهل الحكمة في حجب هذه الأشعة للحَول دون وصولها للأرض، لأنها وببساطة لو غمرت الأرض لانعدمت الحياة من على سطحها تماماً. فمثلاً تؤثر الأشعة ما تحت الحمراء في الجلد بحروق تؤدي لظهور أنواع مختلفة من السرطانات. أما الأشعة ما فوق البنفسجية فتقوم بتحويل أكسجين طبقات الجو العليا لأوزون، وتفكك جزيئات الماء للحصول على الأكسجين منه، مما يعني إلحاق الضرر بكافة الكائنات الحية التي يدخل الماء في تكوينها بنسبة تفوق 90 % . أما أشعة X، وغاما، فهي قاتلة، ويؤدي التعرض لجرعات زائدة منها إلى مضار لا تُحمد عُقباها مثل سرطانات نقى العظم وتخريب المورثات DNA وخلافها....

والأمر الباعث للقلق هنا هو الفتحة الناتجة عن الفعل التخريبي للإنسان بالكوكب (ثقب الأوزون) الناجم عن التفاعل التدميري لغازات التبريد (كلور فلوريد الكربون CFC_S) مع غاز الأوزون O_3. فطبقة الأوزون طبقة رقيقة جداً تحيط بطبقة الـ ستراتوسفير Stratosphere ووجودها هام وضروري لاستمرار الحياة.

يُظهر الرصد المستمر لهذا الثقب الواقع فوق القارة القطبية الجنوبية للأرض خلال الأعوام (1995 - 1979) أنه في حالة اتساع مستمر.
وبالعكس: فإن الزيادة الحاصلة في انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، وتراكمه في الغلاف الجوي بنسب تفوق المعدلات الطبيعية، يحد من هروب (تسرب) الطاقة الحرارية الزائدة بواسطة الأشعة تحت الحمراء إلى الفضاء الخارجي. وهو ما ندعوه الآن بظاهرة الاحتباس الحراري (الدفيئة)، مما يؤدي لتفاقم ظاهرة الدفيئة التي تنذر بكوارث وخيمة لا مجال لذكرها الآن.
فلكياً: يشكل المجال المحدود للتوترات النافذة عبر الغلاف الجوي محدودية مماثلة في اكتشاف أسرار الكون.
فالأطياف الصادرة عن الشمس والنجوم، ذات الترددات الواقعة خارج المجال المرئي، كانت بحكم المجهول بالنسبة لمراقب على سطح الأرض. الأمر الذي حذا بالفلكيين لبناء مراقب فضائية، على غرار هَبل.
أما الفتحة الراديوية فقد شجعت على بناء محطات لاستقبال الإشارات الراديوية الواردة من الكون. فكانت أولى النبضات المسجلة، والتي ظنوا أنها قادمة من حضارات أخرى، وتبين فيما بعد أنها قادمة من النجوم النيوترونية.
أما وبعد أن حل التلوث في المجال الراديوي (الناجم عن وسائل الاتصال والبث الإذاعي والتلفزيوني) فقد صار من العسير تتبع إشارة نقية واردة من الفضاء. لذلك اتجه العلماء إلى القطب الجنوبي لبناء مراصد وقواعد مختصة بالأبحاث، حيث درجات الحرارة المنخفضة على مدى العام [90 - , 20-].



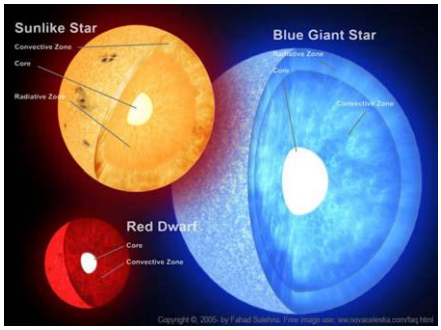
شكل ( )

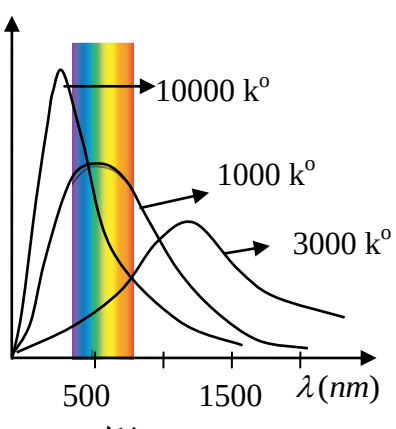
٦ـ قياس درجة حرارة نجم (قانون ڤين في الإزاحة الطيفية): Win's Law

يمتص الغلاف الجوي الأرضي التواترات الواردة من الفضاء الخارجي (أضواء النجوم) الواقعة في منطقتي فوق البنفسجية وتحت الحمراء بحيث لا يبقى إلا بعض النوافذ الضيقة المتمثلة بالمجال المرئي و جزء من الراديوي، الأمر الذي يحد من رؤيتنا لأطياف النجوم، وهذا ما دعا لبناء مقاريب فلكية في المدار، كما وجدنا سابقاً.
عموماً: يمكن باستخدام تلسكوب رؤية نجوم متباينة الألوان بين الأحمر والأصفر والأزرق. حيث تكون الحمراء أقلها طاقة، مثل نجمي منكب الجبار (α Orion) و قلب العقرب (α Scorpi). والصفراء متوسطة الطاقة، مثل نجم العيوق Capella. والزرقاء أكثرها طاقة، مثل نجم النسر الواقع Vega. وهذا يعني وفقاً لـ ستيفان – بولتزمان أن كمية الوقود التي يحرقها النجم وبالتالي الطاقة الإشعاعية المنبعثة من وحدة مساحات سطح النجم في الثانية الواحدة أكبر بالنسبة للنجوم الزرقاء منها للنجوم الحمراء. وعليه فإن درجة حرارة النجوم الزرقاء أكبر من الحمراء.
هذا وترتبط درجة حرارة النجم بطول موجة الطيف الصادر عند الشدة القصوى λ_{max} بقانون ڤين التالي:

$$\lambda_{max}\, T = 2{,}9\times10^{-3} \quad (m k^o)$$

" تنزاح قمم الأطياف الموافقة للشدة القصوى بارتفاع درجة الحرارة نحو الأطوال الموجية القصيرة ".
كما هو موضح بالشكل ( ).





مثال: نحسب درجة حرارة سطح نجم الشعرى اليمانية إذا علمنا أن الطول الموجي الصادر الموافق للشدة القصوى $\lambda = 260\,nm$. بتطبيق علاقة ڤين:

$$T = 2{,}9\times10^{-3}/\lambda$$
$$= 2{,}9\times10^{-3}/260\times10^{-9} \cong 11154\ k^o$$

مثال: نحسب درجة حرارة سطح الشمس
إذا علمنا أن الطول الموجي الصادر
الموافق للشدة القصوى يقع عند بداية
لون الأخضر المزرق $\lambda_{\max} \approx 500 nm$.
بتطبيق علاقة ڤين:

$$T_{Sun} = 2{,}9\times10^{-3} / \lambda_{\max} = 2{,}9\times10^{-3} / 500\times10^{-9} \cong 5800\ k^o$$

مثال: نحسب درجة حرارة سطح القمر إذا علمنا أن الطول الموجي الصادر الموافق للشدة القصوى $\lambda_{\max} \approx 6\,\mu m$

$$T_{Moon} = 2{,}9\times10^{-3} / \lambda_{\max} = 2{,}9\times10^{-3} / 6\times10^{-6} \approx 483\ k^o \approx 210\ C^o$$

مثال: ما هي حدود درجات الحرارة المتوقعة لمجموعة نجوم ترسل أطياف مرئية، توافق شداتها القصوى أطياف الهيدروجين (الموافقة لسلسلة بالمر).
الحل: نوجد أقصر طول موجة في سلسلة بالمر (عندما يحدث الانتقال بين السويتين $n_1 = 2$ و $n_2 = \infty$)

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) = \frac{R}{4} \Rightarrow \lambda = \frac{4}{R} = \frac{4}{1{,}09\times10^{7}\ m^{-1}} \approx 3{,}67\times10^{-7}\ m \approx 367\ nm$$

وهذا يوافق درجة حرارة

$$T_{Sun} = 2{,}9\times10^{-3} / \lambda_{\max} = 2{,}9\times10^{-3} / 3{,}67\times10^{-7} \approx 7900\ k^o \sim 8000\ k^o$$

كما نوجد أكبر طول موجة في المجال الفاصل بين سلسلتي ليمان وبالمر البالغ ($\lambda \approx 190\ nm \approx 1.9\times10^{-7}\ m$)
وهذا يوافق درجة حرارة

$$T_{Sun} = 2{,}9\times10^{-3} / \lambda_{\max} = 2{,}9\times10^{-3} / 1{,}9\times10^{-7} \approx 15200\ k^o \sim 15000\ k^o$$

مثال: نحسب درجة حرارة إشعاع الخلفية الكونية (Cosmic background microwave) (الناتج عن الانفجار الكبير Big Bang). إذا علمنا أن طول الموجة الموافق يقع في مدى الأشعة الميكروية $\lambda_{\max} \approx 1\ mm$.

$$T_{(CBM)} = 2{,}9\times10^{-3} / \lambda_{\max} = 2{,}9\times10^{-3} / 1\times10^{-3} \approx 3\ k^o$$

٧- **انزياح دوبلـــر:** Doppler Shift

تمكن العالم دوبلـــر عام ١٨٤٢ م من ربط سرعة حركة المنبع Sours بتغير تواتر الصوت الصادر عنه. والأمر ذاته ينطبق على الضوء. فكلاهما أمواج. وسنخص في هذه الفقرة الأمواج الضوئية.

نفرض $v_{Observer}$ سرعة الراصد و v_{Sours} سرعة المنبع، و c سرعة الضوء في الفراغ.

كما نفرض $f_{Observer}$ تواتر الضوء الذي يراه الراصد، و f_{Sours} تواتر الضوء الذي يرسله المنبع.

تُعطى عبارة التواترات الرئيسية بالشكل التالي:

عند السرعات اللانسبية $f_{Obs} = \frac{c - v_{Obs}}{c - v_{Sou}} f_{Sou}$ ، وعند السرعات النسبية $f_{Obs} = \sqrt{\frac{1 - v_{Obs}^2/c^2}{1 - v_{Sou}^2/c^2}}\, f_{Sou}$

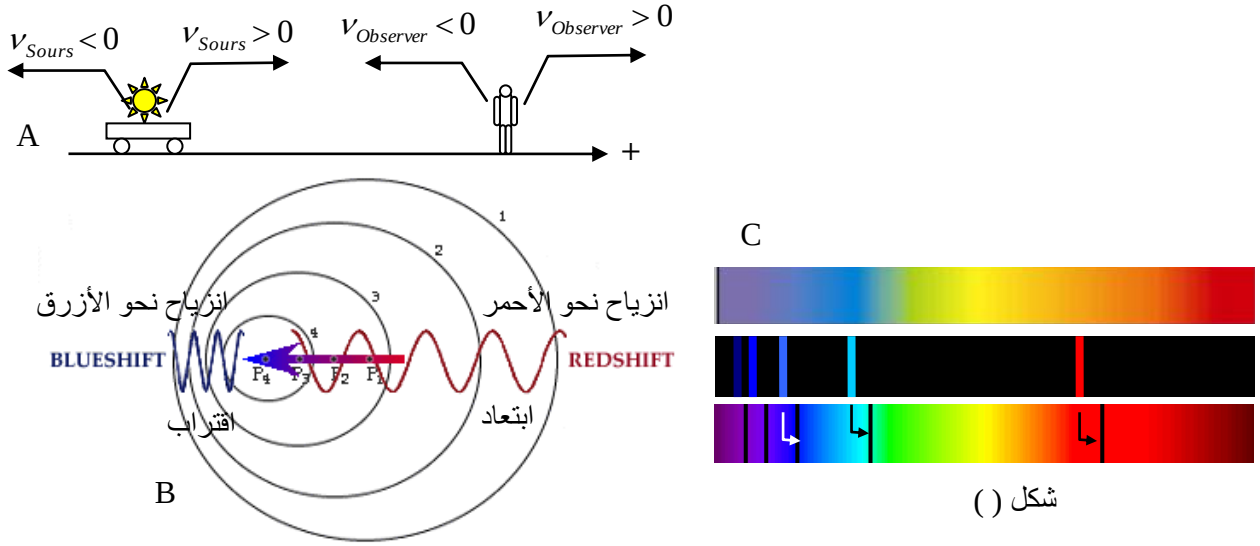
وباتخاذ الإشارات الموجبة أو السالبة لسرعتي كل من الراصد والمنبع كما هو موضح في الحالة A من الشكل ( )، (الموجبة موافقة للمحور الموجه، والسالبة بعكسه).

مثلاً: إذا تحرك المنبع والراصد بجهة الابتعاد عن بعضهما البعض، نجد:

$$f_{Obs} = \frac{c - v_{Obs}}{c + v_{Sou}} f_{Sou}$$

وإذا كانا بحالة اقتراب من بعضهما البعض، نجد:

$$f_{Obs} = \frac{c + v_{Obs}}{c - v_{Sou}} f_{Sou}$$



شكل ( )

المهم في الموضوع هنا هو الحالة قيد الدراسة التي يكون فيها $v_{Observer} = 0$ (الراصد ساكن) عندئذٍ نلاحظ من الحالة B الموضحة بالشكل ( )

حالة اقتراب المنبع:

$$f_{Obs} = \frac{c}{c - v_{Sou}} f_{Sou} \Rightarrow f_{Obs} > f_{Sou}$$

تكون الأمواج مضغوطة والتواتر المُشاهد أكبر من تواتر المنبع. ونحصل في هذه الحالة على انزياح نحو الأزرق Blue shift

حالة ابتعاد المنبع:

$$f_{Obs} = \frac{c}{c + v_{Sou}} f_{Sou} \Rightarrow f_{Obs} < f_{Sou}$$

تكون الأمواج ممطوطة والتواتر المُشاهد أقل من تواتر المنبع.

ونحصل في هذه الحالة على انزياح نحو الأحمر Red shift.

طبقت طريقة دوبلر في التعرف على السرعة الشعاعية لنجم Radial velocity (عندما يتحرك على المحور الواصل بينه وبين الراصد فقط، اقتراباً أو ابتعاداً). أما تلك المتحركة باتجاه معامد لخط النظر راصد - نجم فلا يخضع طيفه لانزياح دوبلر).

وقد تبين أن كافة النجوم تتحرك مبتعدةً عنا. الأمر الذي يثبت فكرة توسع (تمدد) الكون.

فمثلاً: عند رصد طيف امتصاص الهيدروجين في الغلاف الجوي لأحد النجوم كما هو موضح في الشريط السفلي من الحالة C في الشكل ( ) ومقارنته بطيف إصداره المعياري (الشريط الأوسط والمعروف مسبقاً) يُلاحظ أنهما غير متقابلان تماماً بل يوجد انزياح لخطوط الامتصاص باتجاه الأحمر Red shift مما يعني أن النجم الذي نرصده يتحرك مبتعداً بدليل امتطاط أمواجه (زيادة طولها).

مثال: يُشاهد انزياح طيف امتصاص الهيدروجين في نجم الموافق للطول 656,3 nm إلى الطول 657,3 nm.

أي أن الانزياح بمقدار 1 nm والمطلوب:

تحديد اتجاه حركة النجم وحساب سرعته بدلالة c (طبعاً بالنسبة لمراقب أرضي ساكن).

الحل: بما أن الانزياح موافق لازدياد الطول الموجي، فالنجم يتحرك بجهة الابتعاد.

لحساب السرعة نحسب التواترات الموافقة لهذه الأطوال بتطبيق العلاقة $f = c/\lambda$ فنجد:

نحسب التواتر الصادر عن المنبع $f_{Sours} = 3\times10^{8}\ m/s / 656{,}3\times10^{-9}\ m \approx 4{,}571\times10^{14}\ Hz$

نحسب التواتر المشاهد عند الراصد $f_{Obse} = 3\times10^{8}\ m/s / 657{,}3\times10^{-9}\ m \approx 4{,}564\times10^{14}\ Hz$

وبتحويل عبارة الابتعاد إلى الشكل الذي نحسب منه سرعة المنبع (النجم):

$$f_{Obs} = \frac{c}{c+v_{Sou}} f_{Sou} \Rightarrow v_{Sou} = c\left(\frac{f_{Sou}}{f_{Obs}} - 1\right) = c\left(\frac{4{,}571\times10^{14}}{4{,}564\times10^{14}} - 1\right) \approx 0{,}00153\ C$$

أو كقيمة $v_{Sou} \approx 0{,}00153 \times 3\times10^{5}\ km/s \approx 460\ \ km/s$

٨- **<u>تعرض دوبلر:</u>** عند إلقاء نظرة على نجوم مجرة درب التبانة (باعتبار أن شمسنا إحدى هذه النجوم) نلاحظ أن جميعها يدور حول مركز المجرة. أي أن النجم يمارس حركتين، انسحابية على مداره (دورانية حول مركز المجرة)، ودورانية حول نفسه. فإذا ما اتفقت جهة الحركة الانسحابية مع خط نظر راصد- نجم يمكننا الحصول على انزياح دوبلر، أما إذا كانت الحركة باتجاه معامد لخط النظر فلا يمكننا الحصول على الانزياح.

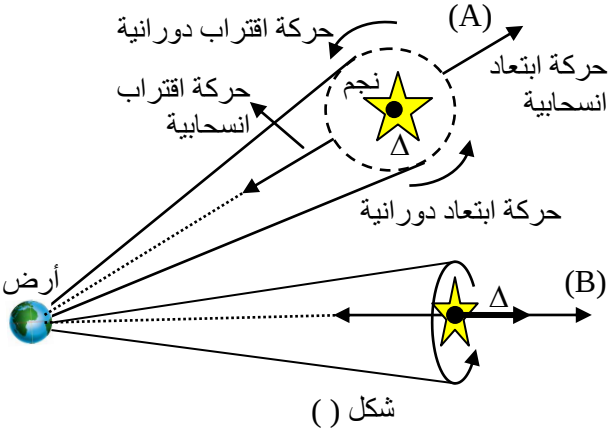
أما بالنسبة لحركة دوران النجم حول نفسه فيمكننا رصد الحالتين (A) و (B) الموضحتين في الشكل ( ).

الحالة (A): يُشاهد فيها إضافةً لحركة النجم الانسحابية (اقتراب أو ابتعاد)، حركة دوران النجم حول نفسه حيث يكون محور الدوران Δ عمودي على مستوي الشكل.

ويُلاحظ أن جزء من غلاف النجم الغازي ينفذ حركة اقتراب دورانية ينتج عنها إضافة بسيطة تسبب زيادة طفيفة على انزياح الطيف نحو الأزرق Blue shift. وأن الجزء الآخر من الغلاف ينفذ حركة ابتعاد دورانية ينتج عنها إضافة بسيطة تسبب زيادة طفيفة على انزياح الطيف نحو الأحمر Red shift.

تسبب هاتين الحركتين الدورانيتين تعرض في خطوط الطيف المزاح (نحو الأزرق و الأحمر).

يدعى التعرض الحاصل تعرض دوبلر.



شكل ( )

الحالة (B): بما أن محور الدوران Δ هنا منطبق على خط نظر راصد- نجم، فلا ينجم عن دوران النجم حول نفسه ظاهرتي الاقتراب والابتعاد. أي أن إسهام الدوران في تعرض طيفي الانزياح معدوم.

فلا يُشاهد في هذه الحالة أي تعرض لخطوط الانزياح الناجمة عن حركة النجم الانسحابية.

نستنتج مما سبق أن أي زيادة في سرعة دوران النجم حول نفسه تسهم في زيادة تعرض خطوط الإصدار الطيفية الناتجة عن انزياح دوبلر، الأمر الذي يمكننا من حساب سرعة دوران النجوم حول نفسها. وجد الفلكيون أن سرعة دوران النجوم الفتية حول نفسها تقارب الـ 300 km /s، في حين تنخفض إلى 2 km /s بالنسبة للنجوم الهرمة كالشمس.

٩- **<u>التصنيف الطيفي للنجوم:</u>** Spectral diagram

اعتمد العلماء في تصنيفهم للنجوم مجموعة معايير، مثل: درجة الحرارة، السطوع، الحجم، التثاقل. كما يلي:

١- <u>تصنيف يـيرك Yerk</u>: يعتمد أساساً له سطوع النجم في المقام الأول ودرجة الحرارة في المقام الثاني. كما يلي:

١- عملاق فائق (Super Giant)، ٢- عملاق لامع (Bright Giant)، ٣- عملاق (Giant)، ٤- تحت عملاق (Sub Giant)، ٥- قزم (Dwarf)، ٦- تحت قزم (Sub Dwarf)، ٧- قزم أبيض (White Dwarf).

٢- <u>تصنيف هارڤارد Harvard</u>: وهو الأكثر استخداماً. ويعتمد أساساً له درجة الحرارة في المقام الأول وسطوع النجم وتثاقله في المقام الثاني. وهي مرتبة في مجموعات (أنماط) حسب الأبجدية التالية (من اليسار إلى اليمين).

O – B – A – F – G – K – M [L – C (R – N) – S]

يُضاف لما سبق المجموعة Q للنجوم البراقة Nova، و P للسدم الكوكبية، و W لنجوم "والف رايت".

كما تقسم المجموعة الواحدة إلى عشرة أنماط مرتبة من (٠ إلى ٩). كما هو موضح في الجدول التالي:

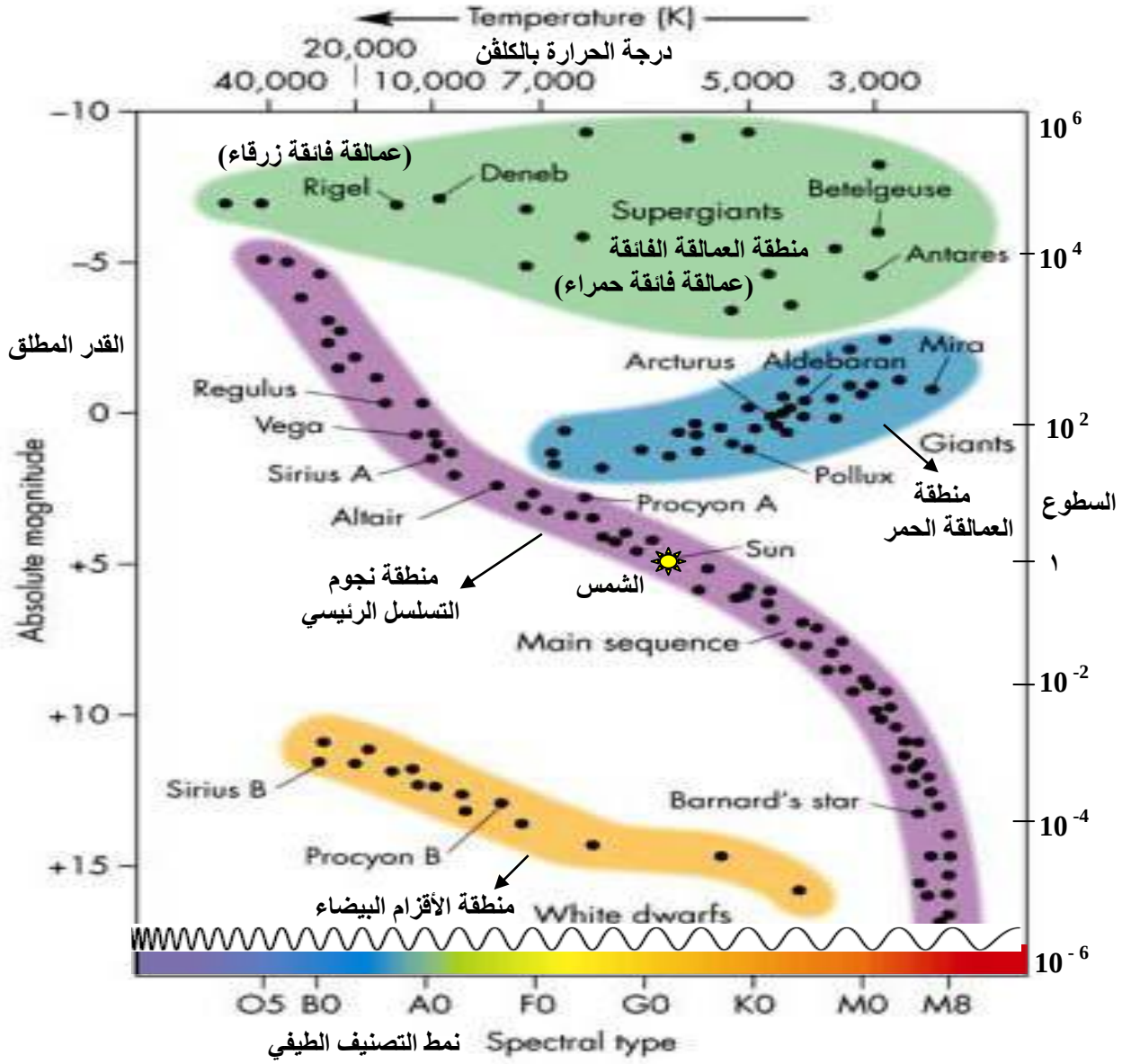
النمط	درجة الحرارة (كلفن)	اللون	محتويات الطيف
O	25000 وأكبر	أزرق	خطوط الأكسجين والنتروجين والهيليوم
B	25000 - 11000	أزرق - أبيض	تزداد شدة خطوط الهيدروجين وتبدأ خطوط الهيليوم بالخفوت
A	11000 - 7500	أبيض	تسيطر خطوط الهيدروجين
F	7500 - 6000	أبيض - أصفر	تظهر خطوط الكالسيوم إضافة إلى خطوط الهيدروجين
G	6000 - 5000	أصفر	تبرز خطوط الكالسيوم ويظهر الحديد وتخفت خطوط الهيدروجين
K	5000 - 3500	أصفر - برتقالي	تبرز خطوط الكالسيوم إضافة إلى خطوط المعادن الأخرى
M	3500 وأقل	أحمر	تظهر حزم عريضة نتيجة وجود الأكاسيد المعدنية

يبدأ التصنيف بالمجموعة O الزرقاء شديدة الحرارة (الحرارة الناجمة عن حرق الأكسجين والعناصر الثقيلة)، وتنتهي بالمجموعات **L – C (R – N) – S** الحمراء الباردة المنضوية تحت المجموعة M، (البرودة هنا ناجمة عن حرق الأكاسيد وخصوصاً CO_2). وبذلك تكون الشمس من المجموعة G_2.

ملاحظة: يأتي مصطلح تثاقل نجم من النظرية الكمية للحقول fields Quantum theory ، التي تسعى لتكميم حقل الجاذبية Gravity field، من خلال الغرافيتون (جسيم موجة الثقالة)، كما هو الحال بالنسبة للحقل الكهرطيسي Electromagnetic field، من خلال الفوتون (جسيم الموجة الكهرطيسية). كما سنجد لاحقاً.

١٠- <u>تصنيف النجوم حسب مخطط هرتز - روسل:</u> (H-R Diagram)

تم وضع هذا المخطط بشكلٍ مستقل من قبل الفلكيان الدانمركي Einar Hertzsprung عام ١٩٠٥ والأمريكي Henry russell عام ١٩١٣. كما هو موضح في الشكل التالي ( ):



يمثل المحور الأفقي تناقص درجات الحرارة حسب تصنيف هارڤارد، والمحور الرأسي القدر المطلق أو السطوع.
نميز في المخطط أربعة مناطق:

١- منطقة نجوم التسلسل الرئيسي: (main sequence stars)
وهي على شكل منحني تتوضع فيه معظم النجوم المستقرة (بما فيها الشمس). تمتاز نجوم الجزء العلوي من المنحني (فوق الشمس) بسطوع يفوق سطوع الشمس وبدرجة حرارة تفوق حرارة الشمس. أما نجوم الجزء السفلي من المنحني (تحت الشمس) فتكون منخفضة السطوع (قدر مطلق موجب) ومنخفضة درجة الحرارة، وتصبح في أسفل المنحني باردة.

٢- منطقة العمالقة الحمر: (red giants)
وهي على شكل مجموعة من النجوم التي في طور الانتهاء (كانت ذات كتل شبيهة بكتلة الشمس). وتمتاز بسطوع متوسط (قدر مطلق صفر) ودرجة حرارة بين المنخفضة (الباردة) والمتوسطة.

٣- منطقة العمالقة الفائقة الحمراء والزرقاء: (red and blue super giants)
تتوضع العمالقة الفائقة في منطقة واسعة في أعلى المخطط، وتمثل النجوم ذات الكتل الكبيرة (أضعاف كتلة الشمس) عندما تكون في طور الانتهاء، وتمتاز جميعها بسطوع عالي (قدر مطلق سالب). أما درجة الحرارة فتكون ممتدة من الباردة إلى الحارة جداً.

٤- منطقة الأقزام البيضاء: (white dwarfs)
تتوضع في هذه المنطقة النجوم المنتهية (التي كانت مثل الشمس)، وتمتاز بارتفاع درجة حرارتها وانخفاض كبير في سطوعها (قدر مطلق موجب).

ملاحظة: يخلو المخطط من النجوم النيوترونية والثقوب السوداء باعتبارها النهايات الطبيعية للنجوم التي تفوق كتلها عشرات المرات كتلة الشمس، والسبب ببساطة هو أن هذه النهايات لم تكن معلومة وقتئذٍ.

ملاحظات عامة:

١- علاقات التحويل هي $1m=10^2\ cm=10^3\ mm=10^6\ \mu m=10^9 nm=10^{10}\ A^o$

٢- عند مزج ألوان الطيف الأحمر والأخضر والأزرق نحصل على اللون الأبيض. أما عند مزج ألوان الصباغ القرميدي والأصفر والسماوي نحصل على اللون الأسود.

٣- ترتبط زاويتي ورود الضوء i وانكساره r على الحد الفاصل بين وسطين شفافين بقرينة انكسارهما النسبية $n_{2,1}$ بعلاقة سنل – ديكارت التالية:

$$\frac{Sin\,i}{Sin\,r}=n_{2,1}=\frac{n_2}{n_1}=\frac{c/\nu_2}{c/\nu_1}=\frac{\nu_1}{\nu_2}=\frac{\lambda_1 f}{\lambda_2 f}=\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

حيث n_1 و n_2 قرينتي الانكسار المطلقتين لوسطي الورود والانكسار على الترتيب، و ν_1 و ν_2 سرعتي الضوء فيهما.

٤- ترتبط قرينة الانكسار المطلقة للوسط بسماحية عزله الكهربائي ε و نافذيته المغناطيسية μ بعلاقة التوفيق لـ مكسويل التالية $\nu^2\varepsilon\mu=1$، ومن أجل الفراغ $c^2\varepsilon_o\mu_o=1$.

٥- أشعة اكس

اكتشف وليم رونتجن Rontgen أشعة x عام 1895 عند دراسته للأشعة المهبطية، ودعيت بهذا الأسم لجهله بمصدرها. وهي غير مرئية (أطوالها الموجية قصيرة وترددها عالي)، ويُسبب التعرض المستمر لها بظهور أورام سرطانية مختلفة.

تنتج أشعة اكس عن إعادة ترميم الذرة لذاتها، بعد أن تكون قد فقدت أحد إلكتروناتها الداخلية جراء عملية اقتلاع تتم بواسطة إلكترون مسرع. تستورد بعدها الذرة الإلكترون البديل من مدار خارجي ليحل في المكان الشاغر، وتنطلق على إثرها الأشعة السينية أو أشعة الكبح حاملةً طاقة تساوي الفرق بين طاقتي السويتين وفقاً لـ بلانـك $E_o=h\nu$.

تُصدر العديد من المشعات الكونية مثل الشمس والنجوم والمجرات، والنجوم الوامضة (النترونية)، والمواد التي تبتلعها الثقوب السوداء (في منطقة أفق الحدث) أشعة اكس.

٦- أشعة غاما

اكتشف العالم الفرنسي ڤيلارد Villard في العام ١٩٩٠ أشعة جاما. وهي أقصر أمواج الطيف الكهرومغنطيسي وذات الطاقة الأعلى وهي ناتجة عن عمليات التحلل النووية للعناصر المشعة.

يمكن باستخدام المعجلات النووية مثل السيكلترون cyclotron والسنكروترون synchrotron الحصول على أشعة غاما بتعجيل الأنوية بطاقة عالية جداً كما تنتج أشعة غاما في الطبيعة من العناصر المشعة كاليورانيوم والثوريوم،

وعن التفاعلات النووية الحاصلة في باطن الشمس بطاقات هائلة تصل إلى مليون الكترون فولت.

٧- العين والرؤية:

على الرغم من امتصاص الغلاف الجوي لمعظم الطيف الكهرطيسي، إلا أن هذا لا يمنع من وجود منابع أرضية لها مثل أفران الصهر، والمعامل، ومولدات الطاقة المختلفة. أي أن الخطر عاد ليداهم وبقوة أشكال الحياة المختلفة على سطح الكوكب الأزرق من الداخل. فمثلاً: تشير الدراسات البيئية إلى انقراض أنواع شتى من أشكال الحياة التي كانت معروفة من قبل، وإلى ظهور أمراض جديدة، وتفاقم في الأورام والسرطانات المختلفة، وإلى تشوهات لا تُعد ولا تُحصى في الأجنة، والشيء الكثير الذي يطول شرحه. طبعاً، وبدون تردد، يمكننا القول أن تسرب الطيف المحظور سبباً رئيساً في تفاقم الأخطار المحدقة بالكوكب. أما بالنسبة للعين: فإذا ما نظرنا إليها باعتبارها جهاز الإبصار، والعضو الأكثر حساسية للطيف، وكيف يمكنها تفادي العمى (تلف الشبكية). إن ترتيب طبقات العين من الخارج إلى الداخل (القرنية، الخلط المائي، القزحية، العدسة، الخلط الزجاجي، الشبكية).

تمتص القرنية والخلط المائي والعدسة والخلط الزجاجي نسبة كبيرة من طيف الأشعة ما تحت الحمراء. فهي لا تسمح بالوصول إلى الشبكية إلا للأطوال الموجية الواقعة في المجال المرئي ولجزء بسيط (دون 1400 nm) الواقعة في المدى القريب للأشعة تحت الحمراء. وعند تعرض القزحية والقرنية لفترات مطولة من الطول الموجي ٩٠٠ nm فإنهما تصابان بالتهابات ينجم عنها رشح البروتين في الخلط المائي.

أما بالنسبة للقزحية Iris فهي تلعب دوراً هاماً عن طريق حساسيتها المرهفة لشدة الضوء، بتقليص فتحة البؤبؤ للحد من الأذية التي قد يسببها الضوء النافذ في الشبكية.

كما تقوم بامتصاص الأطوال الموجية الواقعة في المجال [٩٠ – ٧٥٠] nm (من المرئي وما فوق البنفسجي) وذلك حسب لونها واخضبابها.

الفصل الرابع
نشـــأة الكـــون
نظرية الانفجار الكبير
(Big Bang Theory)

مقدمة: المشاهدات وانهيار المعتقدات

لم يكن لتوالي الليل والنهار، ولا لحركة الشمس والقمر الظاهرية في سماء الأرض، ولا لمعان النجوم في الليالي الحالكة، ولا لسقوط النيازك والشهب، ولا لحوادث كسوف الشمس وخسوف القمر، ذات المعنى الحالي بالنسبة لإنسان القرن الثامن عشر وما قبل. فقد كانت المعتقدات والأديان وما اندس فيها من بقايا أساطير الأولين القديمة تحول دون ذلك، وترفع من شأنها إلى مرتبة القداسة لأنها من شؤون الآلهة وحسب فقط.

فقد كان الاعتقاد بمركزية الأرض في الكون لا تشوبه شائبة ولا يختلف عليه اثنان، وأنها تلك الهضبة المرتفعة التي تنتهي عند حدود مغيب الشمس حيث تكون نهاية العالم. وأن الشمس توقدُ فجرَ كلِّ يومٍ من جديد لتضيء النهار، والقمر عين الآلهة التي تراقب الملكوت العظيم وتحرسه من غدر الليالي المظلمة، وتنير حُلكة عتمته الدامس، وتكلأها بالعناية والرعاية. وما النجوم اللامعة إلا مصابيح نور تزين علياء السماء كما تُزين الحلي الثوب، وهي رموز لمن ارتضتهم الآلهـــة من بني البشر، وأنه يجب على العبيد من بني البشر (الفانون) السعي لنيل رضاها، والتبرك بطلوعها.

أما سقوط النيازك والشهب، وحوادث الكسوف والخسوف، فكانت تثير الرعب والهلع لأنها نُذرَ شُؤم، وتعبير صريح عن سخط الآلهة وغضبها، وأن القصاص آتٍ لا ريب في ذلك. ولم تكن الفيضانات والحرائق والبراكين والزلازل، والحروب وما يرافقها من قحط وأوبئة ومجاعات إلا ضروب من العقاب الجماعي لبني البشر.

إن حصاراً رهيباً لجملةٍ من المعتقدات الممجوجة بالخرافات البائسة، دام لقرون خلت، سحلت الإنسان وحولته رقاً طائعاً لمجموعةٍ من المشعوذين، ممن يفهمون إشارات السماء (الكهنة)، والطاعة هنا لا تأتي بمعنى الإيمان بقدرٍ ما تعني الخوف والرهبة من غضبٍ إذا وقع. فاستسلم مجبراً، وأمعن في التذلل إلى من لا تضر ولا تنفع. لكنه يوماً لم يستكن لأن فطرته الحرة تناديه.

يروي التاريخ عن سحرةٍ عوقبوا بالموت حرقاً. وهنا أشك أن يكون السحر شعوذةً أو احتيالاً، بل ربما كان علماً محظوراً. نعم إنه علم الكيمياء (الماهيات) الذي كان يحبو سراً. كذلك كان الطب الذي يقوم على التشريح ومعرفة وظائف الأعضاء. أما الفلسفة وعلم الكلام فكان حكراً على الخاصة من أهل البلاط والمقربين من الحكام والملوك.

نستذكر هنا أفذاذاً من أساطين العلم والمعرفة التواقين للخروج من ربقة العبودية أمثال غاليليو غاليلي الذي ساقته الكنيسة للمحاكمة وهو في السبعين من عمره على اعتقاده بمركزية الشمس. وأجبرته على التنازل عن أفكاره لتخفف عليه الحكم بالسجن المؤبد بدلاً من الإعدام، فقالها علناً " ومع ذلك فهي تدور"، أي أن الأرض هي التي تدور حول الشمس وليس العكس.

تعتبر الثورة الصناعية في أوروبا وما رافقها من اكتشافات هامة، نقطة الانعطاف الحقيقية في تاريخ البشر.

فمثلاً: نجد على خلفية البحث عن مستعمرات، ماجلان، وكريستوف كولومبس، وقصة اكتشافهما للأمريكيتين والعالم الجديد، أنه قد تم التحقق من كروية الأرض. وكيف ساهمت هذه الفتوحات واكتشاف البارود في سباق التسلح، لتحل حروب المصالح والأطماع الاستعمارية في الهيمنة على الثروات والأسواق في العالم، بديلاً عن الحروب المذهبية التي لا تطعم خبزاً، التي كانت مستعرة باسم الدين، وإكراماً للآلهة الزائفة، العاجزة، التي سقط تدليسها.

لا شك أن الخروج من عباءة الإرث الثقيل للمعتقدات البالية قد أسهم في تحرير الفكر، فها هي معتقدات الأمس القريب

قد أضحت اليوم حكايا للأطفال، والأرض وقد تخلت عن قداستها، ولم يعد القمر إلهاً بل جُرماً يدعو للشفقة، وأن السماء التي نراها غير تلك المزخرفة بالقناديل، وأن التفكر بالطبيعة والكون لم يعد ضرباً من الكفر والجحود، لأنه لم يعد مقصوراً على الآلهة وجُباتها. إلا أن العبودية لم تتغير وإن تغير المعبود.

يقودنا هذا البحث في التاريخ الإنساني الحافل بالفتوحات العلمية إلى النزعة المعرفية لبني البشر. وإن دل ذلك إنما يدل على سمة العقل التي تفردنا بها دون سائر المخلوقات الأخرى. هذا العقل الذي لا يقبل إلا حجتي المنطق والتجربة، وأن الأمر لن يكون إلا بمقتضاه. وما انبثاق العلوم المختلفة، وما يكتنفها من قوانين، إلا تجلياً صريحاً للمحاولات الدءوبة الرامية لفهم أسرار الوجود. وفي ذات السياق، تُعد مُحاولة علماء الكونيات معرفة أصل الكون (منشأه ومآله)، مسألة في غاية التعقيد. فالإنسان الذي لم يُقدَّر له الوجود إلا في المرحلة الراهنة من تطور الكون، لم يشهد ماضيه، ولم ولن يشهد تجربة مماثلة، لأن هذا الحدث يوصف بالمتفرد Singularity. وما من سبيل لمعرفة أو تصور ما كان عليه الأصل، وما سيكون إليه المصير، إلا بشحذ العقل، وإطلاق العنان للخيال، في التحليق عبر

غياهب الزمن، ماضيه، حاضره، ومستقبله، مستلهماً من الحاضر أنقاض الكون المبعثرة، وعلوم العصر الممكنة. يرشده في بحثه المضني هذا منطق السببية ومراقباته لمستجدات الثواني الأخيرة من تاريخ الكون، علها تُفضي إلى شيءٍ ما.

لمحةٌ موجزة عن علوم العصر:

في المجال النووي:

بدأت الاكتشافات النووية تتوالى بعد أن اكتشف العالم الفرنسي بيكيريل Becquerel النشاط الإشعاعي عام ١٨٩٦ م. فقد وضع العلماء تصورات مختلفة لبنية الذرة أمثال رذرفورد Rutherford ١٩١٦ م، وبور Bohr ١٩٢٢م، وقام تشادويك Chadwick باكتشاف النيوترون، وأندرسون Anderson البوزترون في ذات العام ١٩٣٢م، تبعتها أعمال يوكاوا Yukawa عام ١٩٣٥ م، واكتشاف الميزون π من قبل باول Powell عام ١٩٤٦ م. ثم قاموا بتصميم مخابر ضخمة لمزيد من الاكتشافات بواسطة تجارب الصدم كما هو الحال في سيرن بفرنسا وسويسرا، وقد تم التعرف على

مسارات الشظايا بعد التصادم

ما ينوف على ٢٠٠ جسيم تحت ذري (شظايا نووية المنشأ)، واعتبروا أن بعضها جسيمات أولية، والبعض الآخر جسيمات مركبة (هادرونات). والشكل الجانبي يوضح آلية التعرف على مواصفات الشظية (الجسيم) من خلال شكل المسارات التي ترسمها هذه الجسيمات بعد أن يتم قذف النواة بجسيم مسرع.

عموماً تختلف هذه الجسيمات عن بعضها البعض بالشحنة والكتلة والعمر والسبين والمدى كما هو موضح في الجداول المرفقة. وقد صُنفت هذه الجسيمات لنوعين (تبعاً للسبين):

بوزونات $(S=0,\hbar,2\hbar,....)$، وفيرميونات $(S=\hbar/2,3\hbar/2,....)$.

أولاً البوزونات: Bosons $(S=0,\hbar,2\hbar,....)$ وهي على نوعين.

١- حاملات القوة: (الفوتونات، الغرافيتونات، الغليونات)، وجميعها عديمة الكتلة والشحنة. (الفوتونات: حاملة القوة الكهرطيسية)، (الغرافيتونات: حاملة قوة الثقالة)، (الغليونات: حاملة القوة النووية الشديدة).

٢- الميزونات: وهي ذات كتلة غير معدومة مكونة من اتحاد الكوارك و ضديده. وهي ثلاثة أنواع:

- (الميزونين Wino الموجب W^+ والسالب W^-، والميزون Zino Z^o) وجميعها حاملات القوة النووية الضعيفة.
- البيونات π^- و π^o
- الكاونات K^+ و K^o
- بوزون هيجز Higgs boson لا يُعرف عنه إلا القليل، فهو غير حامل لقوة معروفة في الطبيعة، وقد يكون حلاً لمادة الثقب الأسود.

ثانياً الفيرميونات: Fermions $(S=\hbar/2,3\hbar/2,....)$ وهي على نوعين: لبتونات Leptons، وباريونات Baryons.

١- اللبتونات: مجموعة من الجسيمات الخفيفة، وتضم ستة أنواع. يضاف إليها الكواركات، وهي ستة أنواع أيضاً:

الإلكترون electron e^- ، و ضديده البوزيترون e^+، وهي أخفها وزناً.

والميون Muon μ^- و ضديده μ^+، وهي أثقل بـ ٢٠٧ مرة من الإلكترون.

وجسيم تاو Tau τ^- وهو أثقل بـ ٣٥٠٠ مرة من الإلكترون.

وجسيمات النيوترينو Neutrino ν وضديداتها $\overline{\nu}$، وهي متعادلة كهربائياً، وعديمة الكتلة، وتُرافق تفاعلات الانشطار والاندماج النووية. ويصعب اكتشافها لأنها ضعيفة التفاعل مع المواد، لذا يُعتقد بأنها أساس المادة المظلمة في الكون، وأول المواد التي تكونت بعد الانفجار الكبير، وتظهر بثلاثة أشكال هي:

نيوترينو - الإلكترون، و نيوترينو - الميون، و نيوترينو - التاو.

أما أنواع الكواركات Quarks فهي (ثلاثة لونية Color، وثلاثة للنكهة flavor)، و مضاداتها. وتُطلق عليها التسميات التالية: (العلوي $Up^{+2/3}$، السفلي $Down^{-1/3}$، الساحر $Charm^{+2/3}$، الغريب $Strange^{-1/3}$، القمة $Top^{+2/3}$، القاع $Bottom^{-1/3}$).

تتأثر اللبتونات بالقوى النووية الضعيفة دون الشديدة، وصُنفت في ثلاث مجموعات عائلية (Family) هي:

Family 1: الإلكترونات + (نيوترينو - الإلكترون) + الكواركين (العلوي $Up^{+2/3}$، والسفلي $Down^{-1/3}$)

Family 2: الميونات + (نيوترينو - الميون) + الكواركين (الساحر $Charm^{+2/3}$، والغريب $Strange^{-1/3}$)

Family 3: تاو + (نيوترينو - التاو) + الكواركين (القمة $Top^{+2/3}$، و القاع $Bottom^{-1/3}$)

٢- الباريونات: وهي مكونة من ثلاثة كواركات، وتنقسم إلى ثلاثة أنواع.

١- البروتونات P: Protons وهو مكون من كواركين علويين $Up^{+2/3}$، وكوارك سفلي $Down^{-1/3}$ (الشحنة 1+).

٢- النترونات Neutrons :n وهو مكون من كوارك علوي $Up^{+2/3}$، وكواركين سفليين $Down^{-1/3}$ (الشحنة 0).

٣- جسيم لامدا Lambda :Λ^o وضديده

٤- جسيمات سيغما Σ: Sigma بأنواعها Σ^+ و Σ^- و Σ^o وضديداتها.

وقد تم اعتبار الباريونات أصل مادة الكون. وصنفت المادة إلى باريونية (مرئية)، و لا باريونية (المادة المظلمة).

القوى الأساسية في الطبيعة:

صنف العلماء القوى الموجودة في الطبيعة إلى أربعة أنواع. على النحو التالي:

١- قوة الثقالة: Gravity force

وهي تجاذبية بعيدة مدى التأثير تنشأ لحظياً بين كتلتين M و m تفصلهما مسافة r (قانون نيوتن في التجاذب الكوني).

$F_g = G\frac{mM}{r^2}$ حيث $G = 6{,}67\times10^{-11}\,Nm^2/kg^2$ ثابتة التناسب الكوني.

يدعى الجسيم الحامل للطاقة الثقالية الغرافيتون (موجة الغرافيتون).

٢- القوة الكهرطيسية: Electromagnetic force

يمكن التعبير عنها بواسطة قوة لورانتز التالية: $\vec{F}_L = q(\vec{E} + \vec{v}\wedge\vec{B})$ وهي نوعان:

- القوة الكهربائية: Electric force

وهي ذات طبيعة تجاذبية وتنافرية تنشأ بين شحنتين Q و q تفصلهما مسافة r (قانون كولون). وتساوي قيمة إحدى الشحنتين q مضروبة بالحقل الناتج عن الثانية $\vec{E}_Q$ محسوباً في نقطة تواجد q.

$\vec{F}_E = k\frac{qQ}{r^2}\vec{u} = q\vec{E}_Q$ حيث $k = 9\times10^9\,Nm^2/co\ell^2$ ثابتة التناسب الكولوني.

- القوة المغناطيسية: Magnetic force

وهي عمودية على المستوي المكون من متجهتي الحقل المغناطيسي $\vec{B}$ و السرعة $\vec{v}$ للشحنة q. تعمل على تغيير اتجاه سرعة الشحنة المتحركة. $\vec{F}_M = q(\vec{v}\wedge\vec{B})$. وكما هو معروف فقد وحد مكسويل القوتين باسم النظرية الكهرطيسية، ويدعى الجسيم الحامل للطاقة الكهرطيسية الفوتون. (الموجة الكهرطيسية).

٣- القوى النووية الضعيفة: Weak nuclear force

عُرفت مؤخراً عام ١٩٦٧ م بواسطة فيرمي، وهي المسئولة عن ترابط مكونات النواة من النوكليونات Nucleons ضمن المدى الموافق لنصف قطر النيوكليون الواحد $10^{-16}m$، فهي تربط الكواركات ببعضها البعض لتشكل البروتون أو النيوترون. وبالتالي تكون مسئولة عن النشاط الإشعاعي وتحللات (ألفا وبيتا وغاما). تحوي النواة العناصر التالية:

بروتون ${}^{1}_{+1}P$ ، نيوترون ${}^{1}_{o}n$ ، إلكترون ${}^{o}_{-1}e$ ، بوزيترون ${}^{o}_{+1}e$ ، نيوترينو ν، نيوترينو مضاد $\bar{\nu}$ (يدل الرمز ${}^{A}_{Z}X$ للعنصر حيث z العدد الذري (البروتونات) و A رقم الكتلة (بروتونات + نترونات).

تفكك إلكتروني (The electron decay) ${}^{1}_{o}n \xrightarrow{Decay} {}^{1}_{+1}P + {}^{o}_{-1}e + \bar{\nu}$

تفكك بوزيتروني (The positron decay) ${}^{1}_{+1}P \xrightarrow{Decay} {}^{1}_{o}n + {}^{0}_{+1}e + \nu$

تفاعلات أسر الإلكترون (The electron capture). ${}^{1}_{+1}P + {}^{o}_{-1}e \longrightarrow {}^{1}_{o}n + \nu$

توجد ثلاثة أنواع من جسيمات البوزونات الحاملة للطاقة النووية الضعيفة هي W^+ و W^- و Z^o.

٤- القوى النووية الشديدة: Strong nuclear force

هي القوى المسؤولة عن ترابط مكونات النواة ضمن مدى التأثير الموافق لنصف قطرها $10^{-13}m$، وهي القوة الوحيدة المتناسبة طرداً مع المسافة. ويدعى حامل هذه القوة الغليّون Gluon.

الجدول ( ) القوى الأساسية وخواصها :

القوة	المدى	الشدة *	الجسيم الوسيط	الكتلة السكونية eV/c^2	الشحنة	ملاحظات
الثقالة : جذب كتلي	لا نهائي	10^{-23}	غرافيتون	صفر	صفر	مفترض
الكهرطيسية	لا نهائي	10^{-2}	فوتون	صفر	صفر	مشاهد
النووية الضعيفة	أقل من 10^{-16} cm	10^{-13}	بوزون W^+ بوزون W^- بوزون Z^o	81 81 93	+ 1 - 1 0	مشاهد مباشرة
النووية الشديدة	10^{-13} cm	1	غلاون	صفر	صفر	مشاهدته غير ممكنة

الشدة محسوبة عند المسافة 10^{-13} cm وبالمقارنة مع القوى النووية الشديدة

ملاحظة: تختلف نظائر العناصر Isotopes عن بعضها البعض برقم الكتلة A (عدد النترونات)، وتتفق بخواصها الكيميائية، لذا لا يمكن فصلها بالطرق الكيميائية. وقد يوجد لبعض العناصر ٥٠ نظير، بعضها مستقر، والآخر نشيط radioactive يُصدر إشعاعات نووية. مثلاً نظائر اليورانيوم ($^{230}_{92}U \rightarrow {}^{240}_{92}U$).

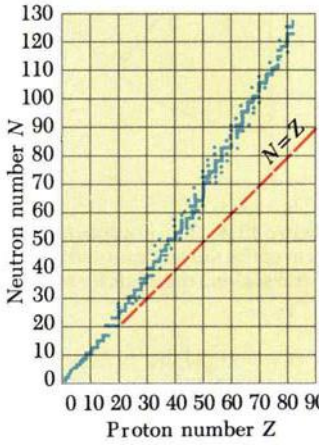
يُحسب نصف قطر النواة من العلاقة $r = r_o \times A^{1/3}$ حيث $A \in [1 \rightarrow 240]$ ، فلا يتعدى نصف قطر أكبر نواة رتبة $r \sim 10^{-12}$ (cm). علماً أن $r_o = 1{,}2$ $femto = 1{,}2 \times 10^{-15}(m) = 1{,}2 \times 10^{-13}(cm)$ (أبعاد فيرمي)

طاقة الترابط النووية: The nuclear binding energy

تنشأ في النواة عند المسافات من رتبة $10^{-13}(cm)$ قوة جذب نووية بين نيوكليوناتها للتغلب على قوى التنافر الكولوني بين البروتونات موجبة الشحنة. وهذا يقضي بأن يفقد كل نوكليون مقداراً صغيراً من كتلته للمساهمة في خلق طاقة تعمل على تماسك النواة تدعى طاقة الارتباط النووية. وتصبح كتلة النواة أقل من مجموع الكتل المنفردة لمكوناتها. تُحسب هذه الطاقة من علاقة آينشتين التالية $E = \Delta m c^2$ ، أي أن طاقة الارتباط النووية تساوي فرق الكتلة الحاصل مضروباً بمربع سرعة الضوء، وتعتبر طاقة كامنة داخلية. وتعتبر طاقة ارتباط النيوكليون الواحد مقياس لمدى تماسك واستقرار النواة. فزيادة هذه الطاقة يعني مزيد من الاستقرار، أما النقص فيعني قابليتها للتفكك والانحلال. وتجدر الإشارة إلى أن طاقة ارتباط النيوكليون الواحد في النوى الخفيفة $A < 60$ تكون صغيرة، وتبلغ قيمتها القصوى $E \approx 8{,}5 MeV$ من أجل النوى الواقعة في منتصف الجدول الدوري (ذات رقم الكتلة $A \approx 60$)، ثم تعود لتتناقص من أجل النوى الثقيلة (ذات رقم الكتلة $A > 60$)، وتصبح قيمتها من أجل نيوكليون اليورانيوم $E \approx 7{,}5 MeV$.

وهذا يعني أن العناصر الواقعة في بداية ونهاية الجدول الدوري أقل استقراراً من تلك الواقعة في منتصفه.

وعملاً بالمبدأ الثاني في الترموديناميك " تسعى الجملة إلى الحالة المستقرة إما برفع أنتروبيتها بحيث تصبح أعظم ما يمكن، أو بخفض طاقتها الداخلية بحيث تصبح أقل ما يمكن ". فالنوى الثقيلة مثل اليورانيوم والثوريوم تسعى إلى الحالة المستقرة عبر تفاعلات الانشطار، التي يرافقها إطلاق عدد من النيوترونات وفائض الطاقة Q، متحولة إلى نوى أخف. حيث تقوم نواة اليورانيوم بأسر نيوترون سائب وبطيء كما يلي:



$$^1_0n_{Slow} + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{94}_{38}Sr + {}^{140}_{54}Xe + 2\ {}^1_0n + Q(MeV)$$

$$^1_0n_{Slow} + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{92}_{36}Kr + {}^{141}_{56}Ba + 3\ {}^1_0n + Q(MeV)$$

$$^1_0n_{Slow} + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{132}_{50}Sn + {}^{101}_{42}Mo + 3\ {}^1_0n + Q(MeV)$$

$$^{234}_{92}U \rightarrow {}^{230}_{90}Th + {}^4_2He + \gamma + Q(MeV)$$

فمثلاً الطاقة الناتجة عن واحد كيلوغرام من اليورانيوم ٢٣٥ تعادل الطاقة المتولدة عن حرق ١٦٠٠ طن من البترول أو ٢٤٠٠ طن من الفحم الحجري.

يوضح الخط البياني العلاقة اللاخطية بين عدد البروتونات والنترونات في النوى المختلفة وأن عددها يكون متساوٍ من أجل النوى الخفيفة فقط.

أما النوى الخفيفة مثل نظائر الهيدروجين فتسعى إلى الحالة المستقرة عبر تفاعلات الاندماج المشروطة بتوفر درجة

حرارة عالية، يرافقها إطلاق كم هائل من الطاقة، وتتحول إلى نوى أثقل. ويُعتقد بأنها التفاعلات الجارية في لب الشمس والنجوم. التي نتناولها بالتفصيل في الفقرة التالية.

تفاعلات الاندماج النووية:

شجع اكتشاف الدكتور هيس للأشعة الكونية عام ١٩١١ م العالم البريطاني آرثر أدنتجون على وضع نظرية الاندماج النووي عام ١٩٢٠م التي تفسر الطاقة المتولدة في النجوم والشمس. فقد انطلق أدنتجون من وفرة مادة الهيدروجيين المكونة للشمس أو النجم باعتبارها الوقود المتاح لتوليد هذه الطاقة الهائلة. ويُشترط لحدوث هذه التفاعلات توفر درجة حرارة عالية. حيث تصبح ذرات الهيدروجيين ممثلة بنواها المؤينة فقط (البروتون الموجب).

توجد عدة دورات تامة لتحويل البروتونات إلى نواة هليوم باستخدام بعض العناصر المعروفة كوسيط كما يلي:

دورة البروتون - بروتون:

$${}^{1}_{+1}P+{}^{1}_{+1}P\rightarrow{}^{2}_{+1}H+{}^{o}_{+1}e+\nu+1{,}44\,MeV$$

حيث ${}^{2}_{+1}H$ الديتريوم (نظير الهيدروجين)

$${}^{1}_{+1}P+{}^{2}_{+1}H\rightarrow{}^{3}_{+2}He+\gamma+5{,}49\,MeV$$

حيث ${}^{3}_{+2}He$ (نظير الهليوم المستقر ${}^{4}_{+2}He$) Isotopes

$${}^{3}_{+2}He+{}^{3}_{+2}He\rightarrow{}^{4}_{+2}He+2\ {}^{1}_{+1}P+12{,}86\,MeV$$

وبالتالي طاقة إجمالية $Q=(1{,}44+5{,}49)\times2+12{,},86=26{,}72\,MeV$

أو بشكل تفاعلات ودورات أخرى مثل:

تفاعل الديتريوم - ديتريوم: حيث نحصل على ${}^{3}_{+2}He$ نظير الهليوم، أو على ${}^{3}_{+1}H$ التريتيوم (نظير الهيدروجين)

$${}^{2}_{+1}H+{}^{2}_{+1}H\rightarrow\begin{cases}{}^{3}_{+2}He+{}^{1}_{0}n+Q\,MeV \ \Rightarrow\ {}^{2}_{+1}H+{}^{3}_{+2}He\rightarrow{}^{4}_{+2}He+{}^{1}_{+1}P+Q\,MeV\\ {}^{3}_{+1}H+{}^{1}_{+1}P+Q\,MeV \ \Rightarrow\ {}^{2}_{+1}H+{}^{3}_{+1}H\rightarrow\underbrace{{}^{4}_{+2}He}_{3{,}5MeV}+\underbrace{{}^{1}_{0}n}_{14{,}1MeV}+Q\,MeV\end{cases}$$

تظهر الطاقة الحاصلة على شكل طاقة حركية لنواتج التفاعل بنسبة تعاكس كتلها، فالطاقة الحركية للنيوترونون أكبر من الطاقة الحركية لنواة الهليوم.

دورة الكربون - بروتون:

$${}^{12}_{+6}C+{}^{1}_{+1}P\rightarrow{}^{13}_{+7}N+\gamma+1{,}94\,MeV$$

$${}^{13}_{+7}N\rightarrow{}^{13}_{+6}C+{}^{0}_{+1}e+\nu+2{,}22\,MeV$$

$${}^{13}_{+6}C+{}^{1}_{+1}P\rightarrow{}^{14}_{+7}N+\gamma+7{,}55\,MeV$$

$${}^{14}_{+7}N+{}^{1}_{+1}P\rightarrow{}^{15}_{+8}O+\gamma+7{,}29\,MeV$$

$${}^{15}_{+8}O\rightarrow{}^{15}_{+7}N+{}^{0}_{+1}e+\nu+2{,}79\,MeV$$

$${}^{15}_{+7}N+{}^{1}_{+1}P\rightarrow{}^{12}_{+6}C+{}^{4}_{+2}He+4{,}93\,MeV$$

وبالتالي طاقة إجمالية $Q=26{,}72\,MeV$

دورة الليثيوم - بروتون: وتحدث في النجوم الثقيلة التي تتحول لأقزام بنية

$${}^{7}_{+3}Li+{}^{1}_{+1}P\rightarrow2\,{}^{4}_{+2}He+Q\,MeV$$

تم إنشاء أول مفاعل تجريبي لإنتاج طاقة الاندماج النووي الحراري في مدينة كالهام بجوار أكسفورد البريطانية عام 1983م باسم جيت Jet. وهو اختصار للعبارة (Joint Europian Torus). وقد بدأ تشغيله عام ١٩٩١ م. ويتم العمل على إنشاء مفاعل تجريبي أكبر تحت إشراف دولي مع بداية العام ٢٠٠٦ في مدينة كاداراشيه الفرنسية باسم Iter وهو اختصار للعبارة (International Thermonuclear Experimental Reactor). حيث يتم الحصول على وقود الديتريوم من مصادر متنوعة كالماء، والهيدروجين الفائق الثقل أو التريتيوم الذي يمكن تصنيعه من عنصر الليثيوم وهو معدن متوافر بقدر معقول. غير أن النتائج لم تكن جيدة بالقدر المأمول حيث لاتزال تواجه المشروع صعوبات جمة تتمثل بتركيز نقطة التفاعل وحصر البلازما الناتجة. ويستخدم الليزر لرفع درجة الحرارة إلى الحد المطلوب.

وقد تم تصنيع القنبلة الهيدروجينية التي يكون صاعق تفجيرها عبارة عن قنبلة ذرية انشطارية مصغرة لرفع درجة الحرارة إلى الدرجة اللازمة لبدء تفاعلات الاندماج. وتبلغ قوتها التفجيرية مليون طن من مادة TNT شديدة الانفجار بالمقارنة مع عشرين ألف طن من ذات المادة للقنبلة الذرية العادية (الانشطارية).

لغز النيوترينو

بدأت قصة النيوترينو منذ عام ١٩٣١ م حين كان العالم باولي يدرس إنحلال بيتا، حيث اكتشف وجود طاقة مجهولة لم يستطع تحديد هويتها، وفي عام ١٩٣٣ م اعتبر العالم إنريكو فيرمي هذه الطاقة بمثابة جسيم أطلق عليه اسم النيوترينو.

وهو جسيم عديم الكتلة والشحنة، ويُرافق تفاعلات الانشطار والاندماج النووية. ويصعب اكتشافه لأنه محدود التفاعل مع المواد. ولأن النيوترينو ضعيف التفاعل مع المواد فإنه يخرج من قلب الشمس مباشرة بعد حدوث التفاعل ويصل إلى سطح الأرض بسرعة يُعتقد أنها تصل إلى سرعة الضوء وبنسبة تدفق عالي تصل إلى ٥ ملايين جسيم لكل سنتمتر مربع. في حين يستغرق فوتون الطاقة الضوئية ملايين السنين للعبور من لب الشمس إلى سطحها، وذلك نظراً لتعرضه للعديد من عمليات الامتصاص والإصدار.

ينبع اهتمام العلماء بدراسة هذا الجسيم باعتباره يوفر فرصة نادرة لدراسة التفاعلات الجارية في باطن الشمس والنجوم بشكل مباشر، فهو يصل إلينا مباشرة من منطقة التفاعلات النووية في قلب الشمس. وتكمن الأهمية الأخرى لدراسة هذا الجسيم في التعرف على اللحظات الأولى لبداية الكون باعتبار أن القوى الطبيعية كانت موحدة لحظة الولادة.

فالتعرف على هذا الجسيم بشكل أكبر سيؤدي إلى صياغة نظرية لتوحيد القوى الطبيعية.

يُضاف لما سبق أن نسبة 95 % من مادة الكون مازالت في حكم المجهول تدعى المادة المظلمة والتي يُعتقد أنه أساس بنيتها. نستنتج أن النيوترينو في رحلته من الشمس إلى الأرض التي يمكنه اختراقها بسهولة وكأنها مادة شفافة بالنسبة له. لذلك بنيت مراصد خاصة تحت الأرض لاصطياده، وما اقتراح تحوله في الفضاء من إلكترون - نيوترينو أو ميون – نيوترينو أو تاو - نيوترينو إلا محاولة لحل لغز النيوترينو الذي بقي غامضاً فترة ٨٠ عام.

الجسيمات المضادة:

تنبأ عالم الفيزياء البريطاني ديراك عام ١٩٢٨ م بوجود الجسيم المضاد، وأن اصطدام الجسيم بضديده يؤدي إلى فناء مادتيهما عبر التحول إلى زوج من الفوتونات على شكل أشعة غاما عالية الطاقة. وقد تحققت هذه النبوءة بعد أربع سنوات، حين اكتشف أندرسون البوزيترون (ضديد الإلكترون). ثم توالى بعد ذلك اكتشاف بقية الجسيمات المضادة للمواد المعروفة حتى الآن. ويُقال بأنه قد تم تخليق ذرات مضادة (ذرة الهيدروجين المضادة المكونة من بروتون مضاد سالب الشحنة وبوزيترون موجب الشحنة يدور حولها).

والسؤال الكبير هنا أين هذه المادة ؟. وإن كانت موجودة حقاً ! لماذا لم يفنى الوجود المادي للكون خلال عمره المديد هذا ؟. وبكلام آخر هل يمكن فهم الضوء الذي يغمر الكون على أنه نتيجةً للتصادمات الأولى بين المادة وضديدها الوليدين ؟ وإن كان الأمر كذلك فهذا يعني أنه قد حصل خرق لمبدأ تكافؤ الفرص لحظة ولادة الكون، حيث كانت كمية المادة الوليدة تفوق ضديدها. وأن الوجود المادي الحالي ما هو إلا الفرق بينهما ؟.

محتويات الكون:

التقديرات المبدئية لمكونات الكون على النحو التالي:

١- النيوترينوات ومضاداتها: neutrinos وتقدر نسبتها بـ 0,6 %

٢- المادة الباريونية: baryons وتشمل جميع أشكال المادة المنظورة ومضاداتها والطاقات الناتجة عنها وتمثل 4,4 %

٣- المادة المظلمة: dark matter بنسبة 22 % ويُطلق عليها اسم المادة المخفية hidden matter

٤- الطاقة المظلمة: dark energy وهي أعلى نسبة في الكون إذ تبلغ 73 %.

تُدعى المادة والطاقة المظلمتين بـ اللاباريونية. وهي لا تتفاعل مع المواد المعروفة (لاتمتص ولا تصدر الإشعاع).

وقد يكون تفاعلها مع الإشعاع ضعيف جداً لدرجة لا يمكن رصده.

نظريات العصر الكبرى:

١- النظرية الكمية: quantum theory

على الرغم من العجز الذي أبداه ميكانيك نيوتن في تفسيره للحركة في عالم الصغائر إلا أنه لا يمكننا سوى التسليم بنجاحه الباهر الذي بات مقصوراً على عالم الكبائر macro physics. وكان لابد من وضع ميكانيك من نوع خاص يهتم بعالم الصغائر micro physics فكانت نظرية بلانك عام ١٩٠٠ م المبنية على خلفية إشعاع الجسم الأسود،

والتي تقضي بتكميم الطاقة المتبادلة في عمليات التفاعل بين المادة والإشعاع. وباكتمال بنيان هذه النظرية على أيدي شرودنغر وديبرولي وهايزنبرغ وديراك وآخرون كثر، أضحت تعرف باسم الميكانيك الكوانتي. فقد انطلقت هذه النظرية من ذرة الهيدروجين البسيطة وجرى التعميم على الذرات الأعقد، ثم النوى البسيطة فالأعقد والأعقد، وهكذا مازالت النظرية في طور الغوص في العمق السحيق للمادة وأطيافها الحاصلة والطاقات الناتجة عن حالاتها المختلفة. وفي المحصلة بات الفرق بين الموجة والجسيم قاب قوسين أو أدنى مفهوماً واحداً.

حددت نظرية ماكس بلانك (الكمية) عام ١٩٠٠ م، الأساس الذي يتم عليه تبادل طاقة الإشعاع الكهرطيسي مع الوسط المادي (إصدار أو امتصاص)، واعتبرت أن تبادل الطاقة لا يكون بشكل مستمر، إنما على شكل كمات محددة من الطاقة، يحملها الفوتون (جسيم الطاقة الضوئية)، تُحسب قيمة الكم الواحد من الطاقة بالعلاقة: $\varepsilon = h\,f$. حيث $h = 6{,}63\times10^{-34}\ J\,s$ ثابتة بلانك.

وبما أن مفهوم القوة مرتبط تاريخياً بالكتلة m (حسب نيوتن $\vec{F} = m\vec{a}$) التي لا يملكها الفوتون (كتلة الفوتون معدومة)،

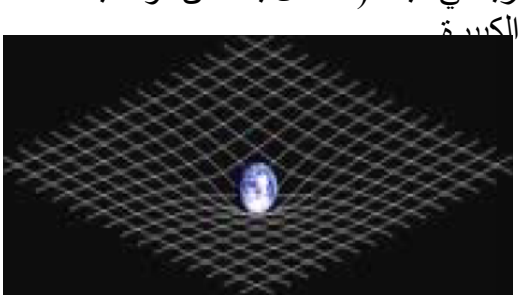
كذلك الأمر بالنسبة لطاقته الحركية $mv^2/2$. بمعنى، أن المظهر العطالي للفوتون مفقود. والفوتون بحد ذاته عبارة عن طاقة حركية فقط. غير أن الفوتون يمتلك مظهراً مادياً هو الزخم $\vec{P}$ (كمية حركة)، ويتناسب هذا الزخم عكساً مع طول موجة ديبرولي λ المرافقة للفوتون $p = h/\lambda$ ، وعليه فقد أصبح بالإمكان التعامل مع الطاقة بدلالة معطى مادي هو الزخم، وفق العلاقة: $\varepsilon = h\,f = hc/\lambda = c\,p$. من هنا نجد حرص العلماء (عند التعامل مع الجسيمات حاملة الطاقة، مثل الفوتون والغليون والغرافيتون، عديمة الكتلة) على التوجه للتعامل مع طاقتها (باعتباره المظهر الوحيد لوجودها منفردة)، وذلك كبديل عن القوى المسببة لها (التي يتطلب التعامل معها وجود كتلة لا صفرية كمظهر عطالي).

٢- النظرية النسبية العامة: Relativity theory

كان نيوتن يعتقد بالجمل الغاليلية (العطالية)، التي يرى مراقبوها الأحداث الجارية في الجمل الأخرى على أنها حقائق مطلقة. بمعنى أن المشاهدات تكون متشابهة ومتزامنة. أما بالنسبة لآينشتين فكان الأمر مختلفاً. فالجمل لم تعد كذلك، وصارت المشاهدات مختلفة ولا متزامنة. وأضحت قوانين النسبية هي الحاكمة. فكانت نسبية آينشتين الخاصة والعامة.

واستنتج آينشتين على ضوء النظرية النسبية الخاصة تكافؤ الكتلة والطاقة بواسطة العبارة $E = \Delta mc^2$.

كما تمكن على ضوء النظرية النسبية العامة انطلاقاً من مفهوم التكافؤ بين الكتلتين العطالية والثقالية من استنتاج أن الضوء ذو مظهر عطالي ويخضع لقانون الثقالة. فهو يسقط على الأرض وفق مسار منحني كما تسقط عليها القذائف بفعل الجاذبية. وأن الكون الذي نعيش فيه ليس كوناً إقليدياً (محاور جملة المقارنة المرتبطة به ليست مستقيمات، بل منحنيات) ويشبه فراغ ريمان الرياضي. بمعنى أن نسيج فضاء آينشتين رباعي البعد (المتمثل بالمكان ذو الأبعاد الثلاثة والزمان) (Spase - Time) يعتريه تشوه بجوار الكتل المادية الكبيرة



وذلك بفعل كتلتها العطالية كما هو موضح في الشكل ( ).

والتشوه الحاصل في الحقيقة ما هو إلا تقوس وانحناء لأبعاد الزمكان، فتزداد درجة التقوس وشدة الانحناء تبعاً لحجم الكتلة وكثافتها.

وأن الجسم المتحرك يبقى في حركته المستقيمة ما لم يعترضه مثل هذا التشوه، وإن حصل واعترض مسار الجسم كتلة ما فإنه ينزلق إليها وفق مسار منحني.

والجدير بالذكر أن المعادلات الرياضية الـ ١٦ والتي يمكن اختزالها إلى 10+4 التي اشتقها آينشتين لتوصيف النظرية النسبية العامة عام ١٩١٠ م تتنبأ بتوسع الكون وتمدده، وكانت هذه النتيجة مخالفة لمعتقدات آينشتين وعلماء ذاك الوقت القاضية باستقراره، وأن المجرات ثابتة في أماكنها. فقام بإضافة حد ثابت على معادلاته الرياضية للعمل على الحد من التوسع الحاصل. وقد عارضه في هذا الأمر العالم ألكسندر فريدمان الذي قرر تبنيها على ما هي عليه، والسير فيها إلى النهاية. وقد تبين فيما بعد أن الكون فعلاً في حالة توسع مستمر، مما حذا بآينشتين للاعتراف بخطئه. وربما كانت خطيئته الوحيدة.

عموماً أثبت آينشتين أن الفضاء (المكان - الزمن) هو الذي يتقوس وذلك بناء على قانون التكافؤ بين الجاذبية وقوة القصور الذاتي (العطالة) في تعميم نظرية النسبية الخاصة. فهو يتعارض مع نظرية نيوتن عن الجاذبية التي تقوم على أن الأجسام تجذب بعضها البعض بقوة وتتوقف عند مسافة ما بين الجسمين. بمعنى أنه إذا ما حرك المرء أحد هذه الأجسام فان قوة الجذب على الجسم الآخر سوف تتغير معها فوراً، ولكن آينشتين أنكر تلك النظرية لان الجاذبية ليست قوة خفية ذات تأثير بعيد المدى بل قوة مثل باقي القوى الأخرى تلتوي وتنحني بفعل توزيع الكتلة والطاقة

بداخله. ولهذا فإنه وفقا لنظرية النسبية فان أي جسم يتواجد في المنطقة المنحنية أو الملتوية في الزمان – المكان حول جسم الشمس لا يجد أمامه من سبيل غير الحركة في تلك المنطقة المنحنية والملتوية. وبيّن آينشتين أن الأجسام بما فيها الأرض لم تخلق لكي تتحرك في مدارات منحنية بسبب قوة الجاذبية وإنما خلقت لتتبع أقرب شئ الى المسار المستقيم في مكان منحن والذي يطلق عليه لفظ (الجيوديسي) أي أقصر مسار بين نقطتين متجاورتين على خطوط مستقيمة في منظومة (الزمن – المكان) ذات البعد الرابع (طول – عرض – ارتفاع – زمان /مكان) ولكنها تظهر لنا متحركة في مسارات منحنية ذلك لأننا نراها من مكاننا ذي الأبعاد الثلاثية. ولهذا فان المراقب يرى أن أقصر مسافة بين نقطتين حول جسم الشمس هو الخط المنحني أو جزء من محيط دائرة. وهذا يجعل بالتالي الشمس غير جاذبة للأرض ولا الأرض جاذبة للشمس بقوة غامضة عبر الفضاء الفارغ كما كان يعتقد نيوتن. وأوضح أيضا أننا لا نرى انحناء (الزمن – المكان) حول المادة ولكننا نرى آثاره وكذلك فان حركة الزمن تقل كلما زاد انحناء (الزمن- المكان) الذي تتواجد فيه الساعة. فكلما زاد الانحناء تتوقف عقارب الساعة وتكف عن الدوران في هذا الموقع وبالتالي يتوقف الزمن في نفس الموقع. وهذا ما يجعل العلماء يتمسكون بفرضية إمكانية السفر إلى الماضي.

٣- النظرية الموحدة للحقول: Unified field theory

ربما كانت فكرة الأثير (الوسط الناقل ذو المواصفات الخاصة والمتناقضة أحياناً من جساءة "صلابة" ومرونة وثبات وشفافية و...) التي سقطت على يد مايكلسون و مورلي عام ١٨٨٧ م، إحدى موروثات التراث الإغريقي، التي ساقها ديكارت [1650 - 1596] م. وزرعها في أذهان الأجيال القادمة من علماء الفيزياء. فاندست وفق محاكاة منطقية، تقتضي بضرورة وجود وسط خامس إضافة للهواء والنار والماء والتراب، يملأ الفراغ الكائن بين الأرض والشمس والنجوم، مهمته العمل على نقل الطاقة (الحرور) والإشعاع (الضوء) وما شابه ذلك. فتقبّلها علماء كبار كمسلمات أو بديهيات، أمثال نيوتن [1727 - 1643]، وكريستيان هويغنز في كتابه (رسالة في الضوء Treatise Light) المنشور سنة ١٦٩٠ م، الذي تبنى فيه النظرية الموجية للضوء.

إن فرضية الأثير وإن لم تكن صحيحة فهي لم تقف حائلاً دون الفتوحات العلمية اللاحقة. ويتجلى ذلك في إبداع مكسويل عام ١٨٦١ م للنظرية الكهرطيسية التي انبثقت في أحضان الأثير. فالنظرية، وإن كانت تبحث في الظواهر الكهربائية والمغناطيسية على أسس نظرية هويغنز الموجية، إلا أنها توصلت لنتيجة مفادها أن الضوء المرئي في الحقيقة ما هو إلا حيز ضيق من الطيف الكهرطيسي، الذي تتحرك أمواجه بسرعة واحدة $c = 3\times10^8\ m/s$.

تنشأ الموجة الكهرطيسية جراء الحركة الاهتزازية للشحنة الكهربائية q، وهي مكونة من حقلين، كهربائي $\vec{E}$، ومغناطيسي $\vec{H}$، متذبذبين بتواتر واحد f يساوي تواتر اهتزاز الشحنة، ويرتبطان بأربع علاقات تدعى علاقات مكسويل. تفيد علاقتي مكسويل التاليتين $rot\,\vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ و $rot\,\vec{B} = \mu_o \vec{J} + \varepsilon_o \mu_o \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$ بأن التغير الزمني لأحد الحقلين في أي نقطة من الفراغ يولد الحقل الآخر. وهذا يعني أن الموجة تولد ذاتها باستمرار، مما يعني إمكانية سفرها لمسافات فلكية في الفراغ. وهذا يفسر رؤيتنا للنجوم التي تبعد عنا عدة ملايين من السنين الضوئية.

للوقوف على حقيقة الحقل مقارنة بفرضية الأثير الواهية، نلاحظ أنه في المفهوم العام أننا قد تخلينا عن فكرة سفسطائية من ذات اليمين، وتشبثنا بأخرى لا تقل عنها من ذات الشمال. غير أن فحصاً دقيقاً ومعمقاً لكنه "ماهية" الحقل الناتج عن شحنة نقطية، يشير إلى أن الحقل عبارة عن أثر حقيقي لتواجد الشحنة، ويظهر هذا الأثر في أي نقطة من الفراغ أو الوسط المحيط بها، ويأخذ قيم مختلفة متناسبة عكساً مع مربع بعد النقطة عنها. وأن قيمته تصبح معدومة عند المسافات البعيدة (اللانهاية).

فعلى سبيل المثال يكون الحقل في الجوار المباشر لشحنة الإلكترون العنصرية شديد جداً ويأخذ قيم لا نهائية. وأي محاولة لقياس شدة الحقل في نقطة تقع على سطح جسيم الإلكترون مصيرها الفشل. لأنه وببساطة لا نعلم يقيناً أين تنتهي حدود الجسيم. ويؤكد هذا الأمر مبدأ هايزنبرغ في الشك الذي يشير لاستحالة القياس الدقيق لمقداري الزخم والموضع بنفس الوقت. وأن جُل ما يمكن معرفته هو نسب احتمال مختلفة للمناطق التي يمكن للإلكترون التواجد فيها. إذن تبقى المنطقة الفاصلة بين جسيم الإلكترون وحقله مجهولة. وأن المشكلة لا تكمن في العثور على النقطة فحسب بل على الإلكترون ككل. وأن البحث عن السطح الذي يبدأ عنده إشعاع الحقل في الفراغ مجرد هراء.

نلاحظ مما سبق أن معرفتنا بالحقل (على الرغم من ضحالتها) قد أضحت أوطد من معرفتنا بالشحنة المولدة له. وأن المسألة لم تعد مقصورة على الحقل، بل تعدتها وأصبحت الشحنة ذاتها هي الأولى بالمعرفة، وعن سر العلاقة بينهما، وأيهما الأصل الحقل أم الشحنة ؟. والسؤال المطروح هنا ماذا نريد بالضبط ؟. هل نريد رؤية الجسيم على ما هو عليه ؟، أم نرغب برؤيته كما يجب أن يكون عليه ؟.

وبكلام آخر، هل يختلف تركيب الجسيم الذي نجهد في فصله عن حقله عن تركيب الأجسام التي نحاول إدراكها حسياً، أو مشاهدتها عيانا ؟.

فإذا بدأنا رحلة التحري، واستدعينا مكسويل، صاحب النظرية الكهرطيسية، لأفاد بالآتي:

تُختزن طاقة الموجة الكهرطيسية المرتحلة (المسافرة) في حقليها المتذبذبين $\vec{E}$ و $\vec{H}$، وتُحسب كثافة طاقتها المختزنة في وحدة الحجوم τ من العلاقة: $u = U/\tau = \sqrt{\varepsilon_o \mu_o}\ \vec{E}\vec{H} = \varepsilon_o E^2 = \mu_o H^2$. حيث ε_o سماحية العزل الكهربائي للفراغ و μ_o نفاذيته المغناطيسية. إن هذه الإفادة جد هامة في نظرية الحقول. حيث تشير إلى الطاقة الهائلة في المناطق التي تكون فيها كثافة الحقلين $\vec{E}$ و $\vec{H}$ كبيرة جداً.

وباستدعاء مماثل لـ آينشتين، لأفاد بالآتي:

هناك إمكانية للتحول من طاقة إلى مادة، والعكس صحيح. وفق العلاقة $E = mc^2$. وأن شحنة الإلكترون أو أي شحنة كهربائية أخرى تتمتع بمظهر عطالي يكافئ الكتلة عند نيوتن.

إن الربط بين الإفادتين والخلوص بنتيجة صار بمتناول اليد. أي أن المناطق (النقاط) في الفراغ التي تشهد تكاثفاً هائلاً للحقول تكون ذات طاقات هائلة، الأمر الذي يوحي بإمكانية تشكل جسيم مادي ذو كتلة في ذات النقطة. أي أن الوجود المادي لجسيم الشحنة (الإلكترون) في النتيجة مرهون بتكاثف الحقل.

يتضح من الخلاصة أن الحقل هو الأصل والجسيم (الشحنة) هي النتيجة. ويبرز هنا تساؤل جديد. أنه لطالما كانت الموجة الحاملة للحقل ناتجة عن الشحنة المتذبذبة !، كيف يستقيم الفهم ؟. فالتناقض هنا واضح تماماً. أيهما الأسبق في الوجود البيضة أم الدجاجة ؟.

يُستدعى السيدان آينشتين ومكسويل ثانيةً. فيصرحان بالآتي:

مكسويل: لم أقل يوماً أن الموجة الكهرطيسية ناجمة عن تذبذب الشحنة. ومعادلاتي تشهد بذلك. وسأعيد شرحها على مسامعكم ثانيةً. يولد التغير الزمني لأحد الحقلين $\vec{E}$ أو $\vec{H}$ في أي نقطة من الفراغ الحقل الآخر. وهذا يعني أن الموجة تولد ذاتها باستمرار. وأن وصفكم للموجة بالمسافرة عين الصواب لأنها في الحقيقة تختلف عن تلك الأمواج المادية المستقرة. وأنها تتحرك في الفراغ بسرعة ثابتة مساوية لسرعة الضوء.

آينشتين: إن ما أدلى به السيد مكسويل صحيح بالمطلق. علماً أنني لا أؤمن بالأمور المطلقة. لأنكم ولا شك تعلمون بأني من المؤمنين بالأمور النسبية. وأنتم محقون بالمطلق ثانيةً في عدم الفهم. وسأقوم بسرد صغير عله يفي بالغرض، وينجلي عنكم هذا الغموض.

صحيح أن مكسويل لم يشهد آخر صيحات القرن العشرين في أصل نشأة الكون. وأن جوهر النظريتين الخاصة والعامة في النسبية هو لمعالجة أصل بداية الكون ونهايته. وأنا من المؤمنين بالتحولات العكوسة بين الطاقة والمادة. وأن مولد الكون كان من نقطة طاقة مكثفة عبر انفجار كبير أدى إلى انتشارها في الفضاء الوليد رباعي البعد (الزمكان). وأدى تكاثف هذه الحقول في نقاط محددة من الفضاء إلى ولادة المادة. فقامت المادة بتشويه فضاء الزمكان وأصبح التغير الزمني للحقل أمراً واقعاً عند انتشار الموجة بالقرب من مناطق التشوه حيث يتوقف الزمن عند التقوسات الحادة لنسيج الزمكان.

إن ما يجري على الحقل الكهرطيسي يمكن سوقه على الحقول الأخرى، حقل الثقالة، والحقلين النوويين الضعيف والشديد. فالتفاعلات الكيميائية القائمة على تحطيم الروابط الجزيئية ناشرة للحرارة، أما تلك التي تبني هذه الروابط فتكون ماصة. ونشير هنا إلى أن نشوء هذه الروابط ليس مقصوراً على الإلكترونات فقط بل يكون للنوى الدور الفاعل.

وأن عملية تحطيم الذرة تعاكس بنائها وتعطي إضافة للطاقة الحرارية طاقة حركية لنواتج الانشطار تدعى الطاقة الإشعاعية. وجميعها تحت مسمى الطاقة النووية. وكما هو معلوم فالطاقة النووية نوعان: ضعيفة تحملها جسيمات البوزونات W^+ و W^- و Z^o، وشديدة يحملها الغليون.

والهدف طبعاً هو الوقوف على حقيقة الكون قبل ولادته. حيث يُعتقد أنه كان لهذه الحقول شكلاً واحداً يجري الآن البحث عنه. وقد وفق العلماء حتى الآن في توحيد ثلاثة أنواع من الحقول هي: الكهرطيسي والنووي الضعيف والنووي الشديد. تحت مسمى النمط القياسي Standard model، أما حقل الثقالة الذي يعتمد موجة الغرافيتون أساساً له، فما زال العمل جارياً على ضمه للحقول الثلاثة. ويعول البعض على نظرية الأوتار الفائقة في تسهيل هذه المهمة.

نظريات منشأ الكون:

إن البحث في أصل منشأ الكون ليس بالأمر الهين، فهو يقتضي علوماً ومعارف لا تنتهي، وفهماً عميقاً وواضحاً لدقائق

الأشياء. وأن ما بحوزتنا من علوم لا يكاد يسد رمق بحثٍ من هذا القبيل.

تنقسم الدراسات الكونية إلى قسمين هما علم الكون Cosmology ، وعلم أصل الكون Cosmogenesis وهما من المعارف الكلية التي ينطوي تحتها فروع عديدة من الدراسات المتعلقة بالكون Cosmic Sciences.

١ـ نظرية الكون الأكبر (الأعظم): Supreme cosmos theory

هي نظرية افتراضية تعتبر كوننا كوناً ضمن مجموعة أكوان Multiverse، تدور في فلك كون أكبر (أعظم أو أم) Cosmos -Macro بدأ بانفجار أكبر Biggest bang. وبهذا يكون كوننا كما بقية الكوينات الأخرى التي نشأت بانفجارات كبيرة Big bang تكون خاضعة لقوانين الكون الأعظم السابق. وتسودها قوانين الجاذبية المعروفة.

يدعم مبدأ تعدد الأكوان Multe Universe Principle ظاهرة توسع كوننا وتمدده التي بدأت منذ ١٤ مليار عام، والتي يمكن ردها لقوى الجذب الخارجية من الأكوان الأقدم التي تشده من جميع الاتجاهات.

٢ـ نظرية الانفجار الكبير: Big bang theory

بدأت هذه النظرية كفكرة كهنوتية طرحها الكاهن الكاثوليكي البلجيكي الأصل جورج لوماتيير عام ١٩٢٧ م.

وباتخاذ الكسندر فريدمان في معادلاته المشتقة من النسبية العامة الفرضيتين القائلتين بتماثل مناحي الكون، وتشابه جميع نقاط الرصد، تم التوصل لثلاثة نماذج تناقش حركية الكون وإمكانيات سكونه أو توسعه أو تقلصه.

تقول هذه النظرية: في البدء كان الكون، ولا مكان، ولا زمان، شيئاً واحداً مجهول الماهية، وكانت مادته (الباريونية واللاباريونية)، والجسيمات الحاملة للطاقة (الفوتون والبوزون والغليون والغرافيتون)، مركزة في بؤرة نقطية شديدة الكثافة، وعديمة البعد، لا يجري عليها قياسي البعد والزمن. ولا نعرف عنها شيئاً سوى ما نتوقعه من ضغط ودرجة حرارة هائلين. وفجأة ودون سابق إنذار أو سبب معلوم انفجرت هذه النقطة انفجاراً هائلاً يختلف عن أي انفجار نعرفه، يدعى الانفجار الكبير Big bang، أو الحدث المتفرد singularity. يعتبر هذا الحدث لحظة ميلاد الكون، أي: ولادة المكان، والزمان، ومكونات مادته التي أخذت بالتشكل التدريجي، والطاقة التي كانت موحدة وبدأت بالانفصال، وكل ما هو معلوم أو في حكم المجهول. وأخذ الكون يتوسع ويبرد بنفس الوقت.

ولمزيد من التفصيل نسوق فيما يلي مراحل تشكل مكونات الكون بدءاً من اللحظة 10^{-43} ثانية.

أولاً مرحلة بلانك: (مرحلة انفصال قوة الثقالة) تمتد هذه الفترة في المجال $s[10^{-35}-10^{-43}]$ تنخفض فيها درجة الحرارة إلى $T\sim10^{27}$ كلڤن. وتعتبر بداية تاريخ الكون، عندما انفصلت قوة الثقالة عن القوى الثلاث الأخرى (الإلكترونووية أو الكهرشديدة، أي: الكهرطيسية، والنووية الشديدة، والضعيفة)، والتي لا يمكن معرفة أي حدث قبلها، وهي اللحظة الموافقة لقطر كون وليد يساوي طول بلانك $r\sim h\sim10^{-35}$ متر. حيث كانت درجة الحرارة $T\sim10^{32}$ كلڤن، وطاقة الجسيمات الثقالية بحدود $E\sim10^{18}\ \text{GeV}\sim10^{27}\ \text{eV}$. كما هو موضح في الشكل ( ).

هذه الأرقام ناتجة عن البحوث التي تؤكد تشكل المواد الثقيلة أولاً ثم الخفيفة فالأخف.

رافق انفصال قوة الثقالة ولادة الغرافيتون. وهو أول أشكال المادة التي يتم التحري عنها الآن. أما الطاقة الحرارية التي تملكها وحدة المادة فتحسب من العلاقة:

$$E=\frac{3}{2}KT=\frac{3}{2}\times1{,}38\times10^{-23}\times10^{32}\approx2\times10^{9}\sim10^{9}\ J$$

حيث $K=1{,}38\times10^{-23}\ J/k^{o}$ ثابتة بولتزمان.

أما زمن امتلاك وحدة المادة لهذه الطاقة فيحسب من علاقة هايزنبرغ في الشك التالية

$$E\times t=h\ \Rightarrow\ t=\frac{h}{E}=\frac{10^{-34}J\,s}{10^{9}\ J}=10^{-43}\ s$$

وهي أقدم لحظة يمكن تحريها، وتُدعى حائط بلانك.

حيث يبقى المجال الزمني $s[10^{-43}-0]$ في حكم المجهول.

ثانياً مرحلة التوحيد الكبير: تمتد في المجال $s[10^{-12}-10^{-35}]$ حيث يتمدد الكون ليصبح نصف قطره بحدود $r\sim10^{22}$ متر، وتنخفض درجة الحرارة إلى $T\sim10^{15}$ كلڤن. ويحصل فيها تفاعلات جسيمية تؤدي لتشكل المادة من النيوترينو والكواركات والإلكترونات ومضاداتها. وهي جد هامة نظراً للاعتقاد بأن نسبة المادة المتشكلة في هذه الفترة من كل نوع أكثر من مادتها المضادة، وأن إمكانية تشكل المادة في المراحل اللاحقة تصبح ضعيفة جداً إن لم تكن مستحيلة.

وبعد جزء من مائة من الثانية ($10^{-2}\ s$) - وهي أقدم لحظة يمكن التحدث عنها بشيء من الثقة والاطمئنان - هبطت درجة حرارة الكون إلى ما يقارب مائة مليار درجة ($T\sim10^{11}$ كلڤن). طبعاً إن درجة الحرارة هذه أعلى من درجة حرارة أعتى النجوم المعروفة حالياً، وعندها لا يمكن أن تجد منظومات فيزيائية كالجزيئات والذرات ولا حتى نوى ذرات متماسكة. عند تلك اللحظة كانت المادة مؤلفة من كافة أنواع الجسيمات الأولية، ويُعتقد أن أكثرها وفرة كان الإلكترونات.

وبانتهاء الثانية الأولى من عمر الكون تكون قد فعلت تصادمات الأزواج من الجسيمات المادية مع مضاداتها فعلها في خلق الفوتونات، ويغمر الكون الضياء. ويستمر التصادم حتى فناء آخر الجسيمات المضادة، وما الجزء المتبقي من مادة الكون إلا الفرق الذي نوهنا إليه (مقدار الزيادة في المادة المتشكلة على مضاداتها).
وبعد ١٤ ثانية من الانفجار العظيم تبدأ البروتونات والنترونات والميزونات بالتشكل من فيض الكواركات الهائل.
وفي نهاية الدقيقة الثالثة تختفي معظم مضادات الجسيمات ولم يبق إلا القليل من الإلكترونات. وبذا تكون مكونات الكون الأساسية قد تحددت بشكل نهائي على النحو التالي: النيوترينو ومضاده بأعداد هائلة مع القليل من البروتونات والإلكترونات. وتتهيأ الظروف لتشكل حاملات القوى النووية الشديدة (الغليونات)، وبالتالي النوى الخفيفة.

ثالثاً مرحلة انفصال القوى النووية الشديدة:

تبدأ هذه المرحلة في الدقيقة الثالثة بانفصال القوى النووية الشديدة عن الكهرطيسية والنووية الضعيفة. حيث تبدأ بالتشكل نوى الذرات الثقيلة والخفيفة مثل الهيليوم (٢ بروتون + ٢ نترون)، وتربط فيما بينها الغليونات.

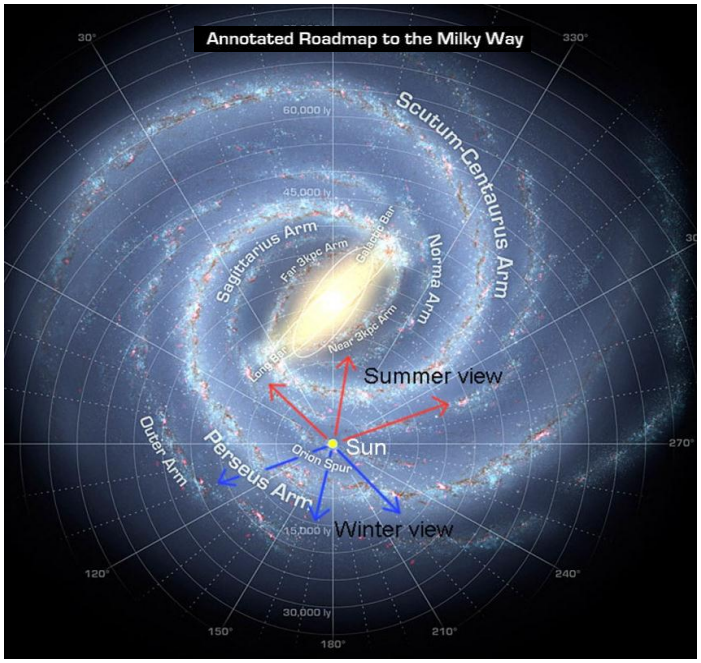
رابعاً مرحلة انفصال القوى النووية الضعيفة:

تنفصل في هذه المرحلة القوى النووية الضعيفة عن القوى الكهرطيسية (الكهربائية والمغناطيسية)، وتبدأ نوى الذرات بالتماسك بفعل الميزونات (W^+ و W^-، و Z^o) حاملات القوة النووية الضعيفة.
وتظهر القوى الكهرطيسية كقوى مستقلة وفاعلة في تشكيل المادة.
وبعد ٣٠٠ ألف سنة تنخفض درجة الحرارة إلى ٣٠٠٠ كلفن. وتبدأ الذرات الثقيلة والخفيفة بالتشكل مثل ذرات الهيدروجين والهيليوم (تبدأ النوى المتشكلة مسبقاً بأسر الإلكترونات التي تباشر الدوران حول نواها).
ويُعتقد أن أولى المجرات بدأت بالظهور بعد ٥٠٠ مليون سنة من الانفجار العظيم (كما تشير أبحاث المرصد الفلكي في تولوز بفرنسا).
يختلف العلماء في تقديرهم لعمر الكون بين ١٢ و ١٨ مليار سنة، ويُجمع معظمهم على الرقم ١٤ مليار سنة.

الكون كما نراه الآن:

يتألف الكون من مجرات Galaxies، وأهمها مجرتنا درب التبانة "اللبانة" Milky Way، ومن حشود من المجرات Cluster of Galaxies وتضم أكثر من 100 مليار نجم ، من هذه النجوم شمسنا Sun ولها عدد من الكواكب planets تتبعها وتدور حولها، وأهمها كوكبنا الأرض Earth، ولكل كوكب تابع أو أكثر يتبعه ويدور حوله، وللأرض تابع وحيد هو القمرmoon. تشكل كل شمس مع توابعها منظومة يطلق عليها اسم "المنظومة الشمسية" Solar System.
للمجرات أشكال مختلفة، منها بيضاوي أو إهليلجي Elliptical galaxy ، ومنها حلزوني أو لولبي Spiral galaxy ، وبعضها ليس منتظماً Irregular galaxy. ليس للمجرات البيضاوية أذرع، في حين نجد أن للمجرات الحلزونية أذرع، ذراعان أو ثلاثة وربما أكثر.
تدعى المجرة الحلزونية الممطوطة باتجاه الذراع بالقضيبية. تتألف الأذرع من نجوم وغازات تنطلق من مركز المجرة، ولهذا النوع من المجرات شكل قرص منفوخ قليلاً عند مركزه.
أما المجرات غير المنتظمة فتكون عادة صغيرة مثل غيمة ماجلان Magellanic Cloud الأقرب إلى مجرتنا.
يُطلق على مجموعة المجرات التي يفوق عددها ٣٠ مجرة اسم "المجموعة المجرية" Group local، وتعتبر مجرتنا وجارتها الأقرب إلينا المرأة المسلسلة Andromeda Galaxy والتي تبعد عنا 2,3 مليون سنة ضوئية أهم مجرات مجموعتنا المجرية. وعندما يفوق هذا العدد فيطلق عليه اسم"حشد مجرات" Cluster، وقد يصل عدد مجرات الحشد بضعة آلاف من المجرات. تتمركز الحشود الكبيرة حول مجرة حلزونية عملاقة Super spiral galaxy. أقرب الحشود إلينا حشد العذراء Virgo Cluster وهو يتألف من 2500 مجرة معروفة، ويبعد عنا 65 مليون سنة ضوئية. وقد يتجمع عدد من الحشود معاً فيشكل ما يسمى "حشد فائق" Super Cluster.
تقاس سرعة ابتعاد أو اقتراب أو دوران المجرات من خلال أطيافها كما هو الحال بالنسبة للنجوم.

- ملاحظة: تتكون مجرتنا مجرة درب التبانة "اللبانة" Milky Way من مليارات من النجوم، وتشكل عدسة عملاقة يبلغ قطرها ٨٠ ألف سنة ضوئية. وتبعد شمسنا عن مركزها الكثيف والمنتفخ حوالي ٢٧ ألف سنة ضوئية. كما هو موضح بالشكل (). وتتحرك باتجاه مجرة المرأة المتسلسلة (الأندروميدا) التي تبعد عنا مسافة 2,3 مليون سنة ضوئية. أما سحابتي ماجلان الكبرى والصغرى فتبعدان عنا بحدود ١٦٠ ألف سنة ضوئية.



الشكل (): منظر أمامي لمجرة قرصية الشكل ذات أذرع. يفترض أن هذا هو شكل مجرتنا، تقع شمسنا على أحد أذرعها والنواة في منتصف القرص الذي يبلغ عرضه 80,000 سنة ضوئية.

تشكل المجرات:

أدى تكاثف الغاز تحت تأثير قوى الجاذبية إلى تشكل المجرات الموجودة حالياً في الكون. إن البناء الظاهري للكون يوحي بأن المادة - قبل أن تبرد - لم تكن موزعة بانتظام في منطقة محددة، بل أنها موزعة في أرجاء كون متناه، ولم يكن لها مركزاً تسقط نحوه لذلك تكاثفت في عدد غير منته من التراكمات المبعثرة في أرجاء هذا الكون. ومن ثم استطاعت بعض المواقع من هذه التراكمات أن تبرد بشدة قبل غيرها – تبعاً لتاريخ تشكلها - فشكلت أجساماً صلبة مثل الكواكب السفلية (عطارد، الزهرة، الأرض، المريخ، القمر)، وبعضها ما زال غازياً حاراً، مثل الكواكب العلوية (المشتري، زحل، أورانوس، نبتون)، أو ملتهباً كالشمس، وبعضها الآخر أخذ حالة بين هاتين الحالتين فشكل سديماً غازياً. وقد أدى تجمع كل هذه الأجسام بتراكيب مختلفة تحت تأثير الجاذبية لتشكيل المجرات وحشود المجرات المتوسطة والعملاقة. والمجرات قد تكون عادية وقد تكون نشطة. والنشطة على أنواع من أهمها ما يظهر توليد كمية
هائلة من الطاقة تتدفق من المنطقة المجاورة لنواتها (مركزها). عادة يشكل هذا النوع من المجرات مصدراً عظيماً للأمواج الراديوية. وهي تبدي بنية حلقية معقدة تمتد ملايين السنين الضوئية، وبعضها الأخر يمتلك نوى نشطة، حيث
لا نرى سوى نواة المجرة، وليس المجرة الأساسية.
يدعى النوع الأخير من المجرات " الكوازرات" (Quasars) Quasi - Stellar Object .
بشكل عام - تصدر المجرات النشطة هذه الأشعة في مجال الإشعاع الراديوي وأشعة UV وأشعة - X

ولادة النجوم:

تولد النجوم من تقلص سحابة هائلة بينجمية عالية الكثافة والحرارة بفعل قوة الثقالة. وتقدر الكتلة الحرجة لبدء تكون النجم بـ 0,08 من كتلة الشمس $M_\odot$. حيث تبلغ درجة حرارة باطن (نواة) النجم ٣ ملايين كلفن. وهي درجة الحرارة الدنيا لبدء تفاعلات الاندماج النووي، التي يتحول فيها الهيدروجين إلى هليوم. يعمل النجم كمفاعل نووي ناشر للطاقة (حرارة وإشعاع) مليارات من السنين، إلى أن ينتهي وقوده (الهيدروجين).
يستقر النجم في حالة من التوازن والثبات بفعل تساوي قوتي الثقالة التي تعمل على انهيار النجم نحو داخله، وقوة الضغط الناجمة عن الانفجارات النووية الشديدة في باطنه، التي تعمل على تمزيقه وتفتيته في الفضاء.

تمتلك غالبية النجوم كتل تتراوح بين 0,1 و 30 مرة $M_\odot$، أما النجوم الكبيرة فتقدر كتلتها بين 60 و 120 مرة $M_\odot$.

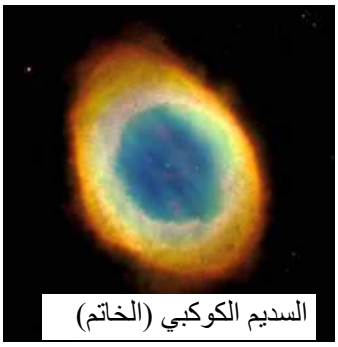
السدم: nebula

السدم هي سحب هائلة من الغاز والغبار تنتشر داخل المجرات وبين النجوم، وللسدم عدة أنواع كما هو موضح بالشكل:

السديم العاتم: هو الرحم الذي تولد فيه النجوم. ويتكون من ذرات الهيدروجين الساخنة. وهو عاتم لأنه لا يصدر الإشعاع، بل يمتصه. مثل سديم رأس الحصان.

السديم المُصدر: يتشكل من بقايا السحب المجاورة للسدم العاتمة التي تشكلت منها النجوم. ويُدعى بالمُصدر لأنه يشع

الحرارة التي يتلقاها من النجم الوليد. مثل سديم التوليب. (التوليب نوع من الزهور).
السديم العاكس: هي السدم العاتمة الأم التي انشق عنها نجمها الوليد (ابتعد عن مركزها)، فأصبحت تعكس الضوء الصادر عنه بألوان أخرى مختلفة عن الأحمر كالأزرق، مثل سديم الثريا.
السديم الكوكبي: هو السحابة الكروية الناجمة من بقايا نجم منفجر (في نهاية حياته). ودُعيت بالكوكبية لاعتقاد العلماء سابقاً أنها كواكب غازية. مثل سديم الخاتم.


السديم الكوكبي (الخاتم)

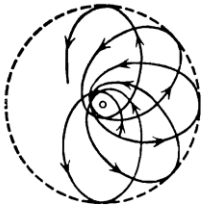
السديم العاكس (الثريا)

السديم المصدر (التوليب)

السديم العاتم (رأس الحصان)

<u>تطابق نتائج نظرية نسبية آينشتين العامة مع الواقع:</u>
لم يكن التحقق من نتائج نظرية نسبية آينشتين العامة بالأمر السهل. فلولا تضافر الأفكار والنظريات الحديثة المتعلقة بنشأة الكون، وتلك المتعلقة بتوحيد الحقول، والمعطيات الجديدة في ميكانيك الكم، لما أمكن التسليم بأي منها. لأنها وكما تبدو فهي ضرب من جموح العقل نحو المستحيل. بيد أن الوقائع والملاحظات التي اكتشفت مؤخراً كانت عصية على التفسير دونها. وأن القبول بها ناتج عن قدرتها على حل المعضلات، وليس لأنها قد بلغت مرحلة اليقين.
قلبت نظرية آينشتين (النسبية العامة) الأمور رأسا على عقب.

- يرى آينشتين أن الفضاء (الكون) ينحني ويتقوس وتتفاوت درجة الانحناء الموضعي والطي من موقع لآخر في الفضاء. ويرافق درجات التقوس (الانحناء) الحاد توقف الزمن (تمدد الزمن). أما التقوس من وجهة نظر علماء الرياضيات فيكون إما بالسلب أو الإيجاب. فإذا كان التقوس سالباً فسيستمر الكون في التمدد والاتساع إلى الأبد، أما إذا كان التقوس موجبا فإن تمدده سيتوقف، ويبدأ في التراجع والانكماش على نفسه.
يرتبط التقوس الوسطى للكون mean curvature مع سرعة توسع الكون الحالية، وشدة جذب قوى الثقالة، التي تعينها القيمة المتوسطة لكثافة المادة ρ.
فإذا كانت الكثافة ρ كبيرة إلى حد كافٍ لإيقاف التوسع وجعل الكون يتقلص ثانية قيل عنه أنه مغلق (له شكل كرة).
وإذا كانت الكثافة ρ صغيرة فإن الكون سيستمر في التوسع ويُدعى بالكون المفتوح (له شكل سرج حصان).
أما إذا كان الجذب الثقالي شديداً بما يكفي تماماً لاستمرار تباطؤ التوسع لكن ليس إلى الحد الذي يؤدي إلى إغلاقه قيل عن الكون أنه منبسط (مستوي).
عموماً: يتوقع العلماء أن الكون سيصل إلى حالة من الاستقرار عندما يصبح شكله منبسطاً، وهذا لا يتحقق إلا إذا تساوت القوة الناتجة عن سرعة اندفاع حشود المجرات (التي اكتسبتها بفعل الانفجار العظيم) مع قوة الجذب الثقالي gravitational attraction التي تؤمنها لها الكثافة المتوسطة للمادة الموجودة في هذا الكون، والتي يجب أن تحقق الكثافة الحرجة $\rho = 10\ Atom(H_2)/m^3$.
لتعيين كثافة المادة المرئية الموجودة في الكون لابد من جمع الكمية الإجمالية للمادة المرئية، لكن ما نستطيع فعلاً قياسه مباشرة هو سطوعها Luminosity لا كتلتها، لذلك أخذت نسبة الكتلة المتوقعة M للجرم السماوي إلى سطوعه L أي (M / L) فوجدوا أن هذه النسبة في حالة المجرات أكبر منها في حالة الشمس بعدة مرات، وهكذا استنتج العلماء أن الكثافة المتوسطة للمادة المضيئة في الكون أصغر بنحو 2 % من الكثافة اللازمة لإيقاف توسع الكون، ومرة أخرى نقول: إن هنالك مادة غير مضيئة (مظلمة) في الكون يجب أخذها بعين الاعتبار.



- تفسير دوران إهليلج مدار عطارد بزاوية مقدارها ٤٣ ثانية كل ١٠٠ عام، أي يحتاج لـ ٣ ملايين عام لإنجاز دورة كاملة حول الشمس. كما هو مبين بالشكل.
مع ملاحظة أن دوران الإهليلج بحد ذاته كان معروفاً قبل النسبية، لكن تفسيره كان مجهول.
- التأكد من انحراف شعاع الضوء عن مساره المستقيم عند مروره بالقرب من الشمس بزاوية 1,74 ثانية قوسية، وذلك في ١٩ أيار عام ١٩١٩ م، عند حصول الكسوف الكلي للشمس.

قانون هبل:

اكتشف العالم إدوين هبل Edwin p . Hubble عام ١٩٢٩ م أن المسافات التي تفصلنا عن النجوم والمجرات والعناقيد النجمية متعلقة بمدى انزياح الأطياف التي ترسلها نحو الأحمر. مما يعني أنها جميعاً تتحرك مبتعدةً عنا (عن الأرض)، وأن الكون يتمدد ويتوسع. وأن سرعة ابتعاد مكوناته متناسبة طرداً مع بُعدها عنا.

تعطى سرعة ابتعاد نجم أو مجرة عن الأرض وفق العلاقة: $\boxed{v = H\,R}$

حيث: H ثابتة هَبل، و R بُعد النجم عن الأرض.

$$H = 17\ \frac{km/S}{10^6\ yd} \quad \Leftrightarrow \quad [H] = \frac{1}{S} \qquad \wp \qquad [R] = yd \quad \Rightarrow \quad [v] = km/S$$

أي أن سرعة ابتعاد النجم عن الأرض تزداد بمعدل $17\times10^{-6}\ km/S$ لكل سنة ضوئية بُعد.

وبكلام آخر: تزداد بمعدل $17\ km/S$ لكل مليون سنة ضوئية بُعد

مثال: احسب سرعة ابتعاد النجوم التالية عن الأرض إذا علمت أن أبعادها عنا هي:

$$R_1 = 10\ yd \text{ و } R_2 = 10^3\ yd \text{ و } R_3 = 10^6\ yd \text{ و } R_4 = 10^7\ yd$$

$$v_1 = H\,R_1 = 17\ \frac{km/S}{10^6\ yd}\times 10\ yd = 17\times10^{-5}\ km/S \quad \text{و} \quad v_2 = H\,R_2 = 17\ \frac{km/S}{10^6\ yd}\times 10^3\ yd = 17\times10^{-3}\ km/S$$

$$v_3 = H\,R_3 = 17\ \frac{km/S}{10^6\ yd}\times 10^6\ yd = 17\ km/S \quad \text{و} \quad v_4 = H\,R_4 = 17\ \frac{km/S}{10^6\ yd}\times 10^7\ yd = 170\ km/S$$

أي أن سرعة ابتعاد النجم البعيد أكبر بكثير من سرعة ابتعاد النجم القريب.

الكوكب	عطارد	الزهرة	الأرض	المريخ	المشتري	زحل	أورانوس	نبتون	بلوتو
الدورة: (التوقيت الأرضي)	**٣ أشهر**	**7,5 أشهر**	**١ سنة**	**٢ سنة**	**١٢ سنة**	**29,5 سنة**	**٨٤ سنة**	**١٦٥ سنة**	**٢٤٨ سنة**

الفصل الخامس
المجموعة الشمسية ١

مقدمة: المجموعة الشمسية بالتعريف هي كل ما يقع في جاذبية الشمس ويدور حولها (يمكن اعتباره تابع شمسي). ونقصد بذلك الكواكب وأقمارها، والكويكبات التي تدور في الحزام (الواقع بين المريخ والمشتري)، وعند أطراف المجموعة الشمسية (بعد كوكب نبتون) يأتي حزام كويبر تليه على مسافة سنة ضوئية سحابة أورت (Orot المحيطة بالمجموعة الشمسية كحدود طبيعية لها)، ويُعتقد أن منشأ المذنبات الزائرة ذات الدور الطويل (Comets قادمة من سحابة أورت)، أما ذات الدور القصير فمن حزام كويبر.

تاريخياً: ارتبطت أسماء الكواكب بأسماء ومواصفات الآلهة الأسطورية بما يوافق منظورها من الأرض.

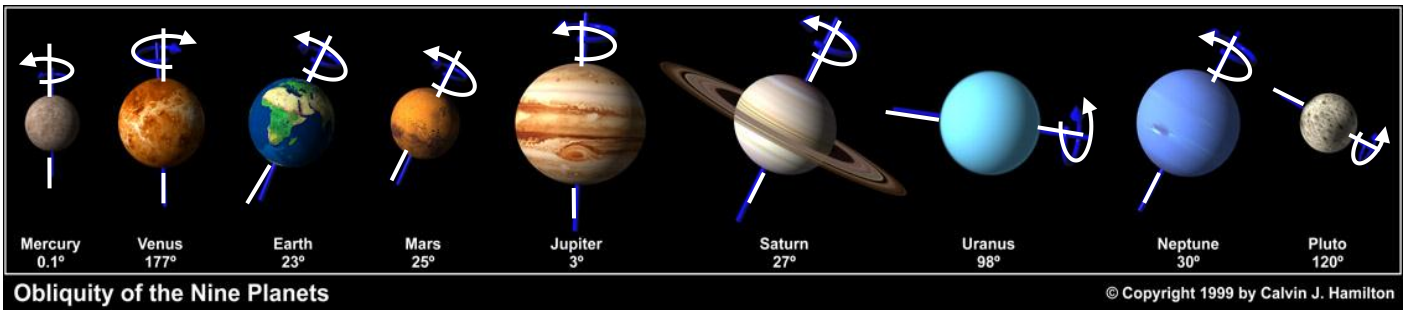
يتميز كل كوكب (تابع شمسي) بمجموعة المواصفات التالية: كما هو موضح في الشكل ( ).

المدار:orbital هو المسار الوهمي الذي يتحرك عليه الجرم (التابع الشمسي)، ومعظمها يتخذ شكل قطوع مخروطية.

الدائرة الكسوفية: Ecliptic هو الشريط المداري الذي تتحرك عليه الأرض وبقية الكواكب السيارة حول الشمس (حسب نظرية مركزية الشمس). أو بالعكس الشريط الذي تتحرك عليه الشمس وبقية الكواكب السيارة حول الأرض (حسب نظرية مركزية الأرض).

ميل المدار: هو الزاوية بين مستوي المدار ومستوي الدائرة الكسوفية. أو الزاوية بين محوريهما.

ميل محور الدوران: هو الزاوية بين محور دوران الكوكب حول نفسه ومستوي المدار.



شكل ( )

القطبين: Pole هما نقطتي سطح الكوكب اللتين يمر بهما محور الدوران.

استواء الكوكب: Equator هو الدائرة العظمى التي يتعامد مستويها مع محور دوران الكوكب حول نفسه.

الإهليلجية (التفلطح): Ellipticity هو مقياس لمدى عدم انتظام كروية الكوكب. ويعبر عنه بالعلاقة:

$$E = \frac{R_E - R_P}{R_E}$$

حيث R_E نصف قطر استواء الكوكب، و R_P نصف قطر المحور الواصل بين قطبيه.

الكويكبات وقانون بود

هناك شبه قاعدة تقرن وجود الكواكب في النظام الشمسي بنظام معين، وهو قانون بود الذي يحدد أبعاد كواكب النظام الشمسي عن الشمس. هذا القانون عممه الفلكي «بود» لكن الذي أوجده العالم الفلكي الألماني « إرنست». والقانون كما يلي:

نبدأ من متتالية هندسية بالأرقام 0، 3، 6، 12، ... ونضيف لكل رقم في هذه المتتالية رقماً ثابتاً هو 4، ثم نقسم المجموع على 10 فنلاحظ كيف تتوافق النتيجة مع بعد كل كوكب عن الشمس، وذلك على الشكل التالي:

كوكب عطارد: $\frac{4+0}{10}$ = 0.4 وحدة فلكية

كوكب الزهرة: $\frac{4+3}{10}$ = 0.7 وحدة فلكية

كوكب الأرض: $\frac{4+6}{10}$ = 1 وحدة فلكية

كوكب المريخ: $\frac{4+12}{10}$ = 1.6 وحدة فلكية

منطقة فارغة: $\frac{4+24}{10}$ = 2.8 وحدة فلكية

كوكب المشتري: $\frac{4+48}{10}$ = 5.2 وحدة فلكية

كوكب زحل: $\frac{4+96}{10}$ = 10 وحدة فلكية

كوكب أورانوس: $\frac{4+192}{10}$ = 19.6 وحدة فلكية

كوكب نبتون: $\frac{4+384}{10}$ = 38.8 وحدة فلكية

كوكب بلوتو: $\frac{4+768}{10}$ = 77.8 وحدة فلكية

حين وضع هذا القانون لأول مرة لم يكن قد اكتشف أي جرم أو كوكب يتوافق مع الرقم 2.8 وحدة فلكية، وبقي هـ ذا المكـ ان فارغاً لفترة طويلة حتى تم اكتشاف حزام الكويكبات. وفيما يلي مقارنة ما بين نتائج بود والنتائج الحقيقية مقدرة بالوحدة الفلكية:

اسم الكوكب	بعده عن الشمس حسب قانون بود	بعده عن الشمس حسب القياسات الفلكية
عطارد	0.4	0.39
الزهرة	0.7	0.72
الأرض	1	1
المريخ	1.6	1.52
المشتري	5.2	5.2
زحل	10	9.54
أورانوس	19.6	19.19
نبتون	38.8	30.07
بلوتو (كوكب قزم حالياً)	77.2	39.5

فالشذوذ كان عند منطقة حزام الكويكبات، لذلك حكموا بأن قانون بود غير صحيح في ذلك الوقت. هذا الاكتشاف يعتبر شبه مصادفة فيزيائية أو عددية لا تثبت شيء، ولكن لسبب غريب يجدر بنا التوقف عنها بدون سبب معروف.

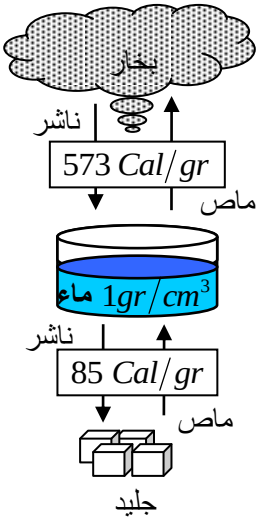
وفيما يلي جدول بمميزات كواكب المجموعة الشمسية:

الكوكب / الخاصية	عطارد Mercury	الزهرة Venus	الأرض Earth	المريخ Mars	المشتري Jupiter	زحل Saturn	أورانوس Uranus	نبتون Neptune	بلوتو Pluto
الكتلة (غ)	3.3×20^{26}	4.87×10^{27}	5.98×10^{27}	6.4×10^{26}	1.9×10^{30}	5.7×10^{29}	8.7×10^{28}	1×10^{29}	1.3×10^{25}
الكتلة النسبية (الأرض 1)	0.055	0.8	1	0.1	318	95	14.5	17.1	0.002
القطر (كم)	2439	6051	6378	3393	71541	60268	25559	24764	1150
القطر النسبي (الأرض 1)	0.38	0.95	1	0.53	11.2	9.5	4	3.9	0.2
الإهليلجية	0	0	0.0034	0.0052	0.065	0.1	0.23	0.02	0
الدورة السيدارية الذاتية (يوم)	58.65	243	23.94ساعة	24.6ساعة	9.84ساعة	10.2ساعة	17.9ساعة	19.2ساعة	6.4
تسارع الجاذبية على السطح (م/ثا^2)	3.78	8.6	9.78	3.72	22.88	9.05	7.77	11	0.4
سرعة الانفلات (كم/ثا)	4.3	10.4	11.2	5	59.6	35.5	21.3	23.3	1.1
الكثافة (كغ/م^3)	5.43	5.25	5.52	3.95	1.33	0.69	1.29	1.64	2.13
قطر المدار (مليون كم)	57.9	108	150	228	778	1427	2871	4497	5913
قطر المدار النسبي (الارض 1)	0.39	0.72	1	1.52	5.2	9.54	19.2	30	39.5
التباعد المركزي للمدار	0.2	0.007	0.0167	0.0934	0.0483	0.056	0.0461	0.01	0.25
ميل المدار (درجة)	7	3.4	0	1.85	1.3	2.5	0.77	1.77	17.15
السرعة في المدار (كم/ثا)	48	35	30	24	13	9.6	6.8	5.4	4.7
ميل محور الدوران (درجة)	2	177.3	23.45	25.19	3.12	26.73	97.86	29.6	122.46
الدورة السيدارية السنوية (سنة)	88 يوم	224.7 يوم	1	1.88	11.86	29.5	84	164	248
الدورة السينودية (سنة)	155.9 يوم	584 يوم	–	2.14	1.1	1.03	1.01	1.005	1.001
عدد الأقمار	0	0	1	2	62	31	15	13	3

تقسم الكواكب في النظام الشمسي بشكل عام إلى مجموعتين الأولى وهي الكواكب الداخلية، ويقصد بالداخلية داخل حزام الكويكبات (في المنطقة الفارغة بين كوكبي المريخ والمشتري) وهي الكواكب الصخرية عالية الكثافة التي

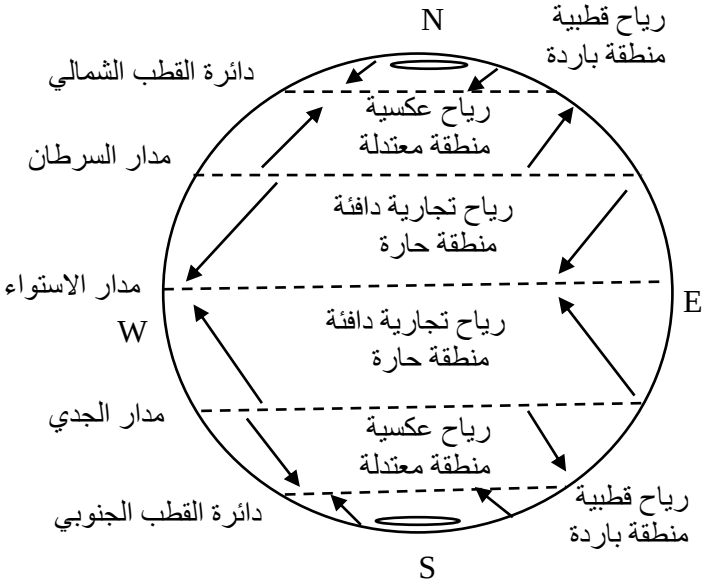
تتراوح كثافتها بين $4\ gr/cm^3$ لكوكب المريخ و $5.5\ gr/cm^3$ لكوكب الأرض والذي يقاربه في الكثافة كوكبي عطارد والزهرة. وهذه الكواكب الصخرية صغيرة الحجم نسبيًا وعدد توابعها قليل. وحرارة أسطحها عالية نسبيًا.
أما المجموعة الثانية فهي الكواكب التي تقع خارج مدار الكويكبات وهي الكواكب الخارجية، وهي غازية كثافتها قليلة. أعلاها كثافة هو الكوكب نبتون $1.8\ gr/cm^3$ وأدناها كثافة زحل $0,7\ gr/cm^3$ (أقل من كثافة الماء).

كوكب الأرض يطلق عليه بالإغريقية Geia
هو ثالث الكواكب بعداً عن الشمس، وهو أكبر الكواكب الصخرية وأشدها كثافة، والوحيد المعروف بإيوائه الحياة. بنيته الداخلية الصخرية والمعدنية، هي بنية نموذجية لكوكب صخري، أما القشرة فغير اعتيادية، إذ تتكون من صفائح منفصلة، يتحرك بعضها ببطء بالنسبة لبعضها الآخر، وتحصل الزلازل والنشاطات البركانية محاذاة الحدود التي تتصادم عندها هذه الصفائح.



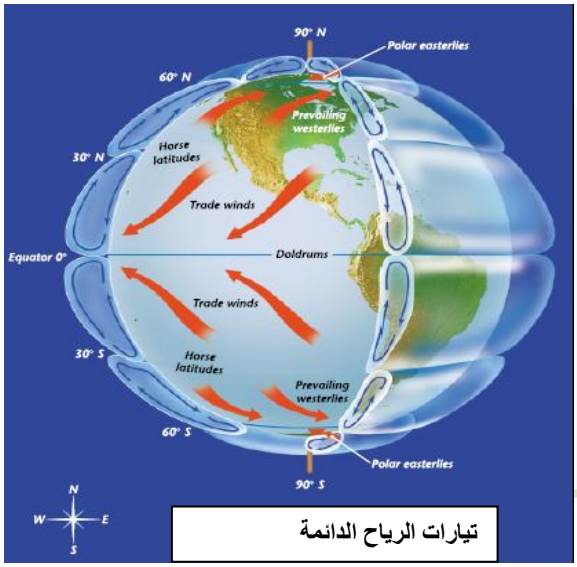
تصل درجة الحرارة باطن الأرض ٥٢٧٠ كلفن. ويقدر معدل انبعاث الحرارة من داخل الأرض إلى سطحها مقارنة بالحرارة القادمة من الشمس بـ ١/٢٠،٠٠٠.
يقوم الغلاف الجوي للأرض بدور غطاء واق، يمتص الأشعة الشمسية الضارة، ويحول دون وصول الأحجار النيزكية إلى سطح الأرض. كما يحتبس كمية كافية من الحرارة لتحول دون حدوث درجات قصية من البرودة.
يغطي الماء حوالي 70 % من سطح الأرض، وهو لا يوجد بشكله السائل على سطح أي كوكب آخر. تنخفض درجة الحرارة بمعدل درجة واحدة كل ١٠٠ متر صعوداً فوق سطح البحر، وبالعكس ترتفع بمعدل درجة واحدة كل ١٠٠ متر هبوطاً تحت سطح البحر كما بالشكل ( ).
للأرض تابع طبيعي واحد هو القمر، وهو قريب إلى درجة يمكن معها اعتبار الجرمين، الكوكب والتابع، بمثابة نظام ثنائي الكواكب.

أثر الدوائر المدارية على المناخ:
مدارات الاستواء والسرطان والجدي: هي دوائر وهمية تشير إلى المناطق التي يسقط فيها شعاع الشمس عمودياً على سطح الأرض خلال فصول السنة (الانقلابين الصيفي والشتوي، والاعتدالين الربيعي والخريفي).
تؤدي التقلبات المناخية إلى اختلاف في توزع المناطق الحارة والمعتدلة والباردة على سطح الأرض، فيحصل تباين في الضغط (مرتفع للباردة ومنخفض للحارة)، الأمر الذي يسبب نشوء تيارات هوائية (رياح) دائمة وموسمية.
متوسط درجة حرارتها ٧،٢ درجة مئوية . يحوي غلافها الجوي على الأكسجين والنيتروجين والآرجون.
الرياح الدائمة: تهب باستمرار وانتظام طوال السنة وتنحصر في طبقات الجو السفلى، وتسمى عادة بأسماء الجهات الأصلية أو الفرعية التي تهب منها وتشمل: التجارية، والعكسية، والقطبية. كما هو موضح في الشكل (3).
الرياح التجارية: وتهب من منطقتي الضغط المرتفع المداريتين نحو منطقة الضغط المنخفض الاستوائي، وتكون شمالية شرقية في نصف الكرة الشمالي، وجنوبية شرقية في نصف الكرة الجنوبي وتمتاز بكونها جافة وغير ممطرة لأنها تأتي من جهات دافئة إلى جهات حارة.

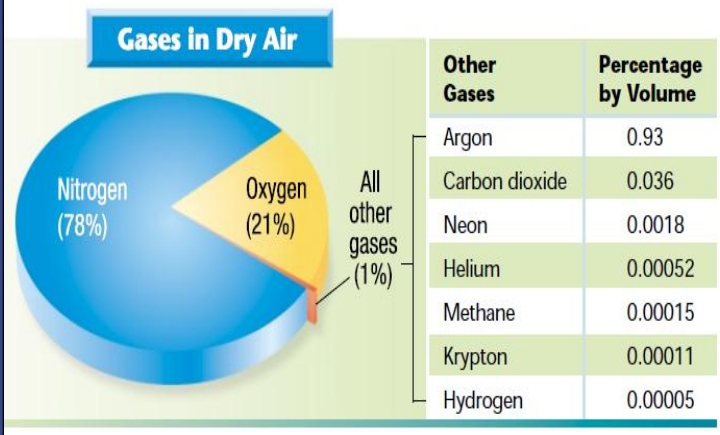


شكل (3)

الرياح العكسية: تهب من منطقة الضغط المرتفع الموجود حول دائرتي ٣٠° شمالا وجنوبا إلى الدائرتين القطبيتين، وتهب عادة من الجنوب الغربي في نصف الكرة الشمالي، ومن الشمال الغربي في نصف الكرة الجنوبي، وهي ممطرة ودافئة، وسبب ذلك أنها تأتي من جهات دافئة إلى جهات باردة، وغالباً ما تكون مصحوبة بالأعاصير.
الرياح القطبية: تهب من القطب الشمالي نحو الدائرة القطبية الشمالية، وتكون شمالية شرقية. كما تهب من القطب الجنوبي نحو الدائرة القطبية وتكون جنوبية شرقية وهي رياح باردة جافة.
يرافق هذه التيارات ظواهر مد وجزر ناتجة عن تأثير القمر والشمس. سنأتي على ذكرها مفصلاً في حينها.



تيارات الرياح الدائمة



Other Gases	Percentage by Volume
Argon	0.93
Carbon dioxide	0.036
Neon	0.0018
Helium	0.00052
Methane	0.00015
Krypton	0.00011
Hydrogen	0.00005

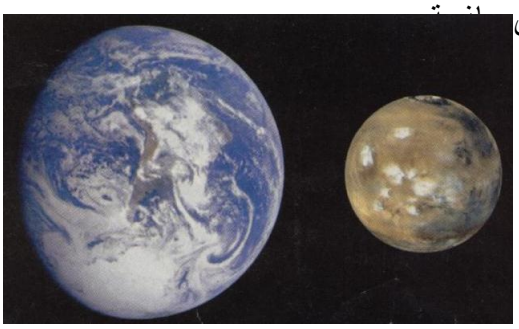
حركات الأرض: Motion of Earth

تتحرك الأرض حركتين، الأولى دورانية Rotation حول محورها الواصل بين قطبيها الجغرافيين (الشمالي والجنوبي)، وتدعى هذه الحركة باللف الذاتي (تدور حول نفسها) تنفذها خلال يوم كامل (ليل ونهار). ولابد من الإشارة هنا إلى عدم انطباق القطبين الجغرافيين على القطبين المغناطيسيين للأرض، حيث يوجد بينهما زاوية مقدارها ١٢ درجة. والثانية حركة انسحابية على المدار حول الشمس Revolution تنفذها خلال عام كامل.

ترنح محور الدوران: Precession

هي حركة التفاف بطيئة جداً لمحور دوران الأرض، ينتج عنها انتقال اتجاه محور دوران الأرض من نجم القطب الشمالي الحالي Polaris إلى نجم النسر الواقع (فيجا Vega) خلال مدة ١٣٠٠٠ سنة. وتحدث بفعل تأثير الشمس والقمر والكواكب القريبة من الأرض كالزهرة، وتقدر بـ 50,26 ثانية قوسية كل سنة، أي لا يمكن للإنسان ملاحظتها خلال فترة حياته القصيرة. تستغرق هذه الدورة ٢٦٠٠٠ سنة، وتسبب تقلبات في المناخ وتعاقب الفصول. وقد تنبه العالم الإغريقي هيباركوس لهذه الحركة منذ القرن الثاني ق م كما سلف ذكره سابقاً.

القمر: القمر هو الكوكب الوحيد المجاور للأرض، شكله أقرب للكروي، لا يحوي على حياة ولا على غلاف جوي، لذا تبدو سماؤه سوداء. أما سطحه فهو مقفر تسوده الهضاب والوديان والأخاديد (ليس كما وصفه الشعراء)، ولا ترفرف فوقه الأعلام (لا توجد رياح). يتمتع بجاذبية ضعيفة تعادل سدس الأرض $g_M \approx 1{,}6\ m/s^2$.



توجد عدة نظريات تبحث في أصل منشأه، سنتطرق إليها في حينها.
يميل محور القمر بمقدار $1^o\ 53'$ على محور الأرض، وهذا لا يؤثر على تعاقب الفصول لأن القمر لا يشهد فصول كما هو الحال على الأرض. تبلغ درجة حرارة نهار القمر ١٢٠ درجة مئوية، وليله ١٥٥ درجة تحت الصفر.

مدار القمر حول الأرض:

يدور القمر حول الأرض مرة واحدة في الشهر القمري (كل 29,5 يوم أرضي) لذا عُدَّ تابعها الكوني الوحيد. ويدور حول نفسه مرة واحدة في الشهر القمري. أي أن طول اليوم القمري يساوي طول السنة القمرية.
يسلك القمر مساراً إهليلجياً حول الأرض أقرب للدائري (المسار شبه دائري) نصف قطره $R_{Orb}^{M-E} \approx 383\times10^3\ km$ في حين يبلغ نصف قطر مدار الأرض حول الشمس $R_{Orb}^{E-S} \approx 150\times10^6\ km$، أي بنسبة تقريبية تعادل 1:392
السرعة الزاوية لدوران القمر حول نفسه تساوي السرعة الزاوية لدوران القمر حول الأرض:

$$\omega_{\Delta}^{M} = \omega_{\Delta}^{E} = \frac{2\pi}{T} \approx \frac{6{,}28}{27{,}3^d \times 24^h \times 60^m \times 60^S} \approx \frac{6{,}28}{2358720} \approx 2{,}66\times10^{-6}\ rad/s$$

فتكون السرعة الخطية لنقطة على سطحه ϑ_o (السرعة المحيطية) مساوية لسرعته المدارية ϑ_{Orb}^{M-E}

$$\vartheta_{Orb}^{M-E} = \vartheta_o = \omega_{\Delta}^{E}\ R_{Orb}^{M-E} \approx 2{,}66\times10^{-6}\ rad/s \times 383\times10^3\ km \approx 1{,}018\ km/s \approx 1\ km/s$$

قطر القمر $2r_M \approx 3467\ km$، فهو أكبر بقليل من ربع قطر الأرض البالغ

$$\frac{2r_E}{4} \approx \frac{2\times6378}{4} = \frac{12756\ km}{4} = 3190\ km.$$

يميل مستوي مدار القمر بمقدار ٥ درجات على مستوي مدار الأرض. يتقاطع المستويان في الفصل المشترك AB الأقرب إلى منطقة حضيضه ويغوص الجزء المتبقي منه تحت مستوي مدار الأرض كما هو موضح في الشكل ( ).

حركات القمر حول الأرض:

ينفذ القمر (باعتباره تابعاً أرضياً) حركتين: انسحابية حول الأرض، ودورانية حول نفسه. كما هو موضح في الشكل ( ). أي أنه ينجز هاتين الحركتين خلال زمن قدره 29,5 يوم أرضي (شهر قمري بالنسبة لسكان الأرض). وهما حركتان متزامنتان، لأنه لا يُرينا نحن سكان الأرض سوى صورة واحدة (وجه واحد) على مدى الشهر القمري.

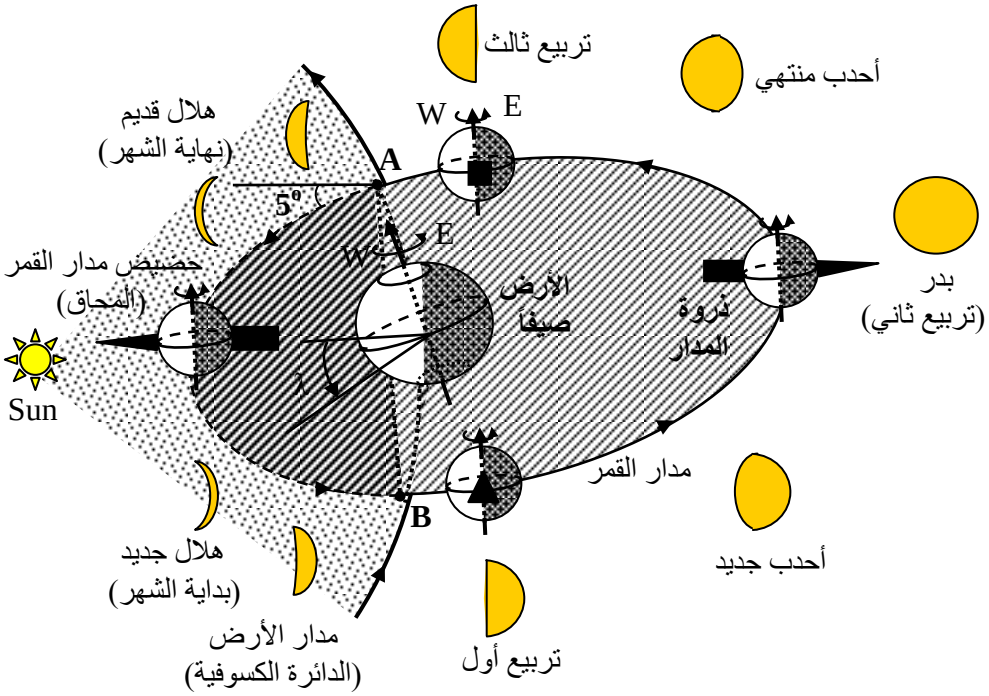
لمزيدٍ من الإيضاح: نفرض وجود مبنيين افتراضيين على سطح القمر، المبنى المستطيلي ▮) مشيد في الجهة المقابلة للأرض، والمبنى الهرمي ( ) في الجهة الأخرى، كما بالشكل ( ).

لاحظ كيف يبقى المبنى المستطيل الشكل بمواجهة الأرض طيلة فترة الدورة القمرية، في حين يكون العكس بالنسبة للمبنى الهرمي الشكل. وهذا يعني (فيما لو كنت من سكان المبنى المستطيلي) أنك ستبقى تُشاهد الأرض طيلة العام القمري (29,5 يوم أرضي)، وبالعكس إذا كنت من سكان المبنى الهرمي فإنك لن ترى الأرض أبداً.

وفي العموم إذا كنت على سطح القمر، بغض النظر عن المكان، فإنه سيتوالى عليك ليل ونهار قمريان متساويا الطول، طول كل منهما يساوي تقريباً 14,5 يوم أرضي، وأن طول يومك القمري يساوي طول سنتك القمرية.

مثال: احسب كم عمرك الحالي البالغ ٢٢ سنة أرضية، مقدراً بالسنين القمرية، أو الأيام القمرية؟.

$$x \approx 22^{year}_{Earth} \times \frac{365^{day}_{Earth}}{30^{day}_{Moon}} \approx 277^{year}_{Moon} = 277^{day}_{Moon}$$



الأشكال (هلال، تربيع، أحدب، بدر، وبالعكس) هي كما تُشاهَد من الأرض

شكل ( )

منازل القمر:

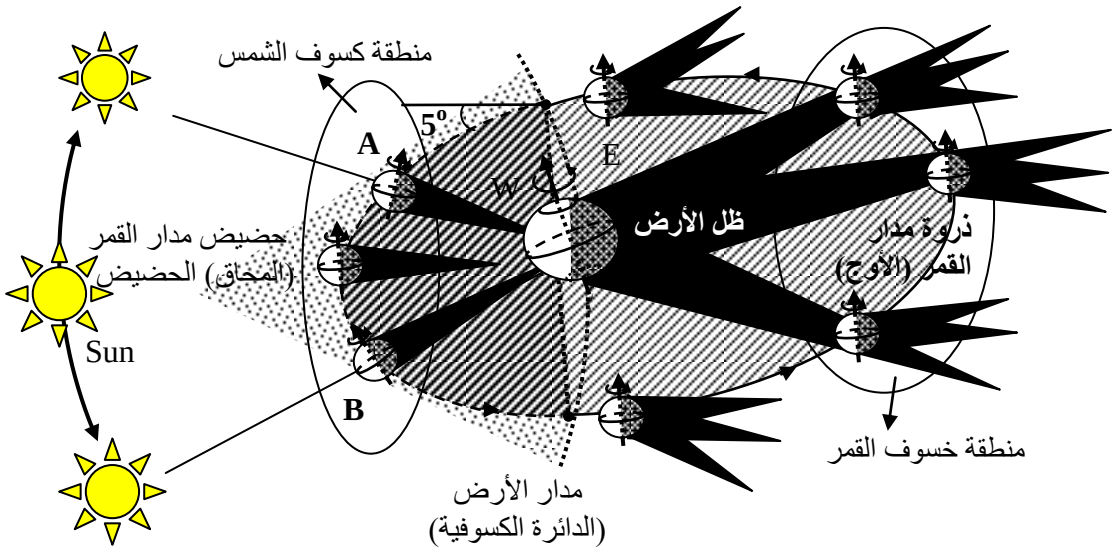
يشاهد المراقب الأرضي من القمر (أثناء دورانه حول الأرض) جزءاً من الجانب المضاء من سطحه، وهو ما ندعوه بأطوار القمر المعروفة (المحاق "القمر الوليد"، هلال جديد، تربيع أول، أحدب جديد، بدر "تربيع ثاني"، أحدب منتهي، تربيع ثالث، هلال قديم) الموضحة في الشكل ( ).

نادراً ما يُشاهد طلوع هلال القمر الجديد ١ في بداية الهلة القمرية من جهة الغرب، وذلك بسبب اقترانه مع الشمس عند غروبها، حيث تكون المجموعة (أرض، قمر، شمس، نجم بعيد) بحالة تراصف، ثم يَغرُبون معاً. وفي اليوم التالي يُشاهد (عند غروب الشمس) في موقع مرتفع قليلاً عن مغربها، ويزداد ارتفاعه يوماً بعد يوم، ويتوالى تأخر غروبه في كل ليلة بمعدل ٥٠ دقيقة عن الليلة التي تسبقها، وبعد مرور ٧ أيام يُشاهد (نصف بدر أو تربيع أول) في قبة السماء، ثم أحدب جديد. وفي اليوم ١٤ يُشاهد بدراً يُشرق من جهة الشرق، عند غروب الشمس، ويغرب فجراً عند شروقها. ثم يتوالي تأخر شروق القمر (عن لحظة غروب الشمس)، بذات المعدل (٥٠ دقيقة في الليلة)، حيث يبدو كأحدب منتهي، إلى أن يُصبح شروقه في اليوم ٢١ بعد منتصف الليل، ويُشاهد (نصف بدر أو تربيع ثالث)، ثم تشرق الشمس وهو ما يزال في كبد السماء (يمكن مشاهدة الشمس والقمر معاً)، ومع توالي تأخر شروق القمر فإن

شروقه يصبح قبيل الفجر (مع شروق الشمس)، وفي الأيام الأخيرة ٢٧ و ٢٨ التي يبدو فيها كهلال قديم (هلال نهاية الشهر) تصبح رؤيته بالعين المجردة غير ممكنة نظراً لترافق شروقه مع شروق الشمس. وبذلك تنتهي منازل القمر المشاهدة ويدخل في طور المحاق الذي يستمر ثلاثة أيام. بعد ذلك تبدأ الدورة القمرية الجديدة بهلال جديد ... وهكذا.
بالنظر إلى الشكل السابق، وبمعرفة الزاوية λ الكائنة بين مغرب الشمس ومطلع القمر يمكن قياس نسبة إضاءة القمر B من العلاقة التقريبية التالية:

$$B = 0{,}5[\cos(\pi - \lambda) + 1]$$

ويلاحظ أن نسبة الضوء المنعكس عن سطح القمر من إجمالي الضوء الساقط عليه 7,3 % وهي قليلة بالمقارنة مع نسبة ما تعكسه الأرض البالغة 39 %.
يشاهد المراقب القمري (الموجود على الوجه المقابل للأرض تحديداً) الأرض وهي تمر بأطوار شبيهة بالأطوار التي يمر فيها القمر، وأن أطوار الأرض ستكون المتممة لأطوار القمر (التي يشاهدها المراقب الأرضي)، بمعنى أنه إذا كان القمر بدراً بالنسبة للمراقب الأرضي فإن الأرض ستكون في المحاق بالنسبة للمراقب القمري، ونشير هنا إلى أن الأرض في محاقها ستكون على شكل هلال مقلوب مائل للزرقة (تحدبه نحو الأعلى ⌒)، ويقع تحت قرص الشمس مباشرةً لأن مستوي مدار القمر حول الأرض يميل ٥ درجات على مستوي مدار الأرض حول الشمس، و AB الفصل المشترك للمستويين. وما الهلال المقلوب إلا منعكس ضوء الشمس عن سطح قوس النصف الشمالي للكرة الأرضية.



شكل ( )

مخروط الظل: Umbra يكون الجرم قاعدته ورأسه ممتد إلى الفضاء
مخروط شبه الظل: Penumbra يكون رأسه بين الجرم والشمس وقاعدته ممتدة إلى الفضاء

ظاهرتي كسوف الشمس وخسوف القمر

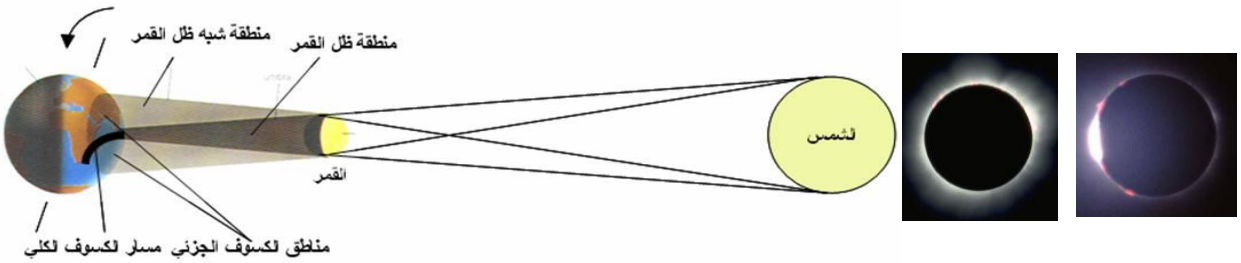
كسوف الشمس (solar eclipse)

هي ظاهرة فلكية تحدث في بداية أو نهاية الشهر القمري، عندما تتراصف الشمس والقمر والأرض على استقامة خط واحد، بحيث يكون القمر في الوسط. فيحصل حجب كلي أو جزئي لضوء الشمس بواسطة القمر.
تحدث ظاهرة كسوف الشمس. بنفس معدل خسوف القمر لأن كل خسوف يرافقه كسوف إما قبله أو بعده بنصف شهر، لكن كسوف الشمس لا يراه كل من تظهر عندهم الشمس لأن ظل القمر لا يمكنه أن يغطي كل وجه الأرض بسبب حجمه الصغير. كما هو موضح بالشكل ( ).

أنواع الكسوف:

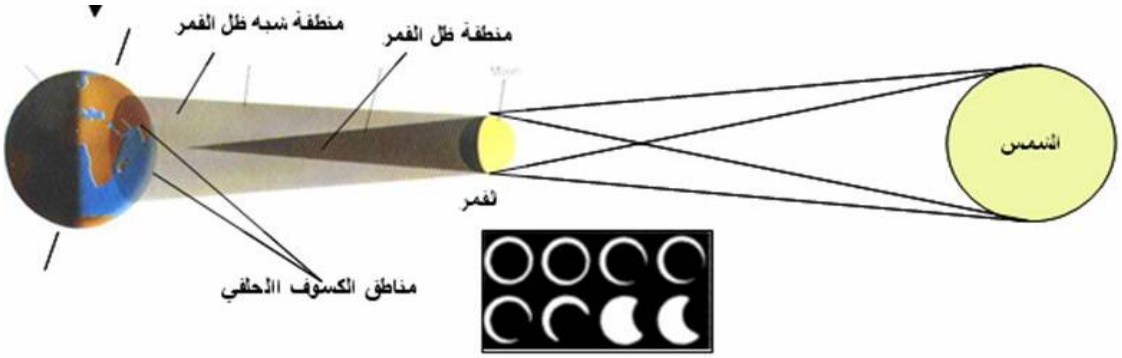
١- **كسوف كلي (Total-Central):** يحدث عندما يصل ظل القمر إلى سطح الأرض، فيحجب كامل قرص الشمس في منطقة التقاء رأس مخروط الظل بالأرض. وتكون بهذه الحالة نسبة المسافة بين الأرض والشمس وبين الأرض والقمر هي نفس النسبة بين قطري الشمس و القمر، فيبدو القمر بنفس حجم الشمس من الأرض.
يتخذ الكسوف الكلي مساراً محدداً بسبب حركة الأرض والقمر، ويختلف طوله من كسوف لآخر.
يُنصح في حالة الكسوف الكلي بعدم التركيز المباشر لتفادي الضرر الذي يصيب شبكية العين جراء الأشعة

فوق البنفسجية و تحت الحمراء، التي تبقى تنطلق من الهالة الشمسية الخارجية (corona) والتي تظهر على شكل يشبه الخاتم الماسي، لذلك تسمى هذه المرحلة بمرحلة الخاتم الماسي.



٢- **كسوف جزئي** (Partial)**:** يحدث في المناطق التي يسقط فيها شبه ظل القمر على سطح الأرض. وشبه ظل القمر في هذه الحالة هي المنطقة التي لا يُرى منها كامل قرص الشمس. أي أن قرص الشمس لن يشاهد كاملاً من هذه المناطق. وتزداد نسبة الحجب الجزئي في المناطق الأقرب للمسار.

٣- **كسوف حلقي** (Anular): يحدث عندما يكون التراصف قائم، والقمر في نقطة ما من المسار بعيدة نسبياً عن الأرض، حيث يفشل ظل القمر في الوصول الى الأرض (بسب تباين بعد القمر عن الأرض). فيبدو قرص القمر أصغر من أن يحجب كامل قرص الشمس.



شروط حدوث الكسوف الكلي:

1- أن يكون القمر محاقًا أي في آخر ليلة من ليالي الشهر القمري.
2- أن تكون الشمس والأرض وبينهما القمر في حالة اقتران أو قريبًا من ذلك.
3- أن تكون المسافة بين الأرض والقمر كافية لبلوغ مخروط ظل القمر سطح الأرض.

ملاحظة: لا يسلك القمر في مداره حول الأرض مساراً محدداً بسبب تباين جذب الأرض والشمس له (بسبب المدار الإهليلجي للأرض حول الشمس). الأمر الذي يجعل بُعده عن الأرض يتغير اقتراباً أو ابتعاداً من شهر لآخر.

لا يستمر الكسوف الكلي (بقاء كامل قرص الشمس مظلماً) أكثر من أربع دقائق، إلا إذا كانت المنطقة التي أصابها الكسوف واقعة قرب خط الاستواء، فعندها يمكن أن يستمر الكسوف هناك لمدة تصل كحد أعظمي إلى سبع دقائق ونصف تقريبًا. ويعود هذا الفارق لتقوس الأرض. وعلى هذا فان الكسوف الكامل، مع ما يسبقه وما يعقبه من كسوف جزئي،يستغرق حوالي أربع ساعات وأربع دقائق، إلا إذا حدث فوق خط الاستواء، فان فترته تمتد إلى أربع ساعات وسبع دقائق ونصف دقيقة.

تبدو منطقة مخروط الظل لراصد من الجو على شكل دائرة مظلمة، لا يتجاوز قطرها 300 km. ويحيط بها حلقة كبيرة ذات نور كالح يشكلها مخروط شبه الظل الذي يحيط بمخروط ظله.

تنتقل تلك الدائرة المظلمة مع حلقة النور الكالح المحيطة بها على سطح الأرض من الشرق إلى الغرب مسافة تقارب 20 ألف كيلومتر. أي حوالي نصف محيط الأرض. ويحدث ذلك خلال خمس ساعات عند انتقال القمر في دورانه حول الأرض بسرعة 3660 كم في الساعة وسطياً ($1\,km/s$).

وتبين الحسابات الفلكية أن المنطقة من سطح الأرض التي يحدث فيها الكسوف الكلي أو الحلقي لن تتعرض لأحد هذين النوعين من الكسوف مرة ثانية إلا بعد مرور فترة 300 سنة. لذلك يقصد العديد من العلماء المنطقة التي يُتوقع حدوث الكسوف فيها لدراسة الهالة الشمسية والتفاعلات الجارية وطول السعف الشمسي وامتداداته وما شابه.

خسوف القمر: lunar eclipse

هي ظاهرة فلكية تحدث في منتصف الشهر القمري، عندما تتراصف الشمس والأرض والقمر على استقامة خط واحد، بحيث تكون الأرض في الوسط. ويكون القمر بدراً. يحدث الخسوف عندما يقع القمر في منطقة ظل الأرض أو شبه الظل، فيحصل حجب كلي أو جزئي لضوء القمر بواسطة الأرض.

ويحصل بمعدل خسوفين لكل سنة. والمرة الوحيدة التي حدث فيها الخسوف ثلاث مرات هي عام ١٩٨٢م.

يمكن رؤية خسوف القمر من أي مكان على سطح الأرض، على عكس الكسوف الذي لا يُرى إلا من بقعة الظل فقط. والخسوف غير الكسوف لا يتطلب احتياطات أو تحذيرات أو أجهزة خاصة عند النظر إليه.

مراحل حدوث الخسوف موضحة في الشكل ( ) على النحو التالي:

١- يبدأ القمر بدخول منطقة شبه ظل الأرض (penumbra) فيبدأ ضوءه بالخفوت دون أن يُخسف ويتحول لونه للحمرة بسبب الأشعة الحمراء التي لا يمكن امتصاصها من أعلى الغلاف الجوي للأرض. تُعرف هذه المرحلة فلكياً بـ (خسوف شبه الظل). ومنطقة شبه الظل هي التي ينحجب فيها بعض ضوء الشمس عن القمر بسبب الأرض.

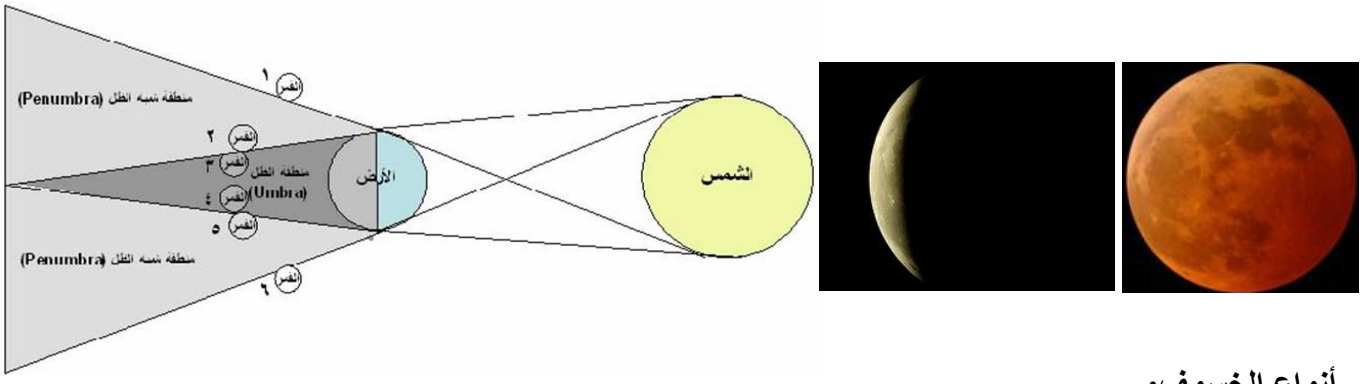
٢- يبدأ القمر بدخول منطقة ظل الأرض (umbra) فيبدأ الخسوف الجزئي. ومنطقة ظل الأرض هي المنطقة التي تنحجب فيها الشمس كاملة بسبب الأرض.

٣- يُخسف كامل قرص القمر عند اكتمال دخوله إلى منطقة ظل الأرض.

٤- يبدأ القمر بالخروج من منطقة ظل الأرض فينتهي الخسوف الكلي. ويبدأ بدخول منطقة شبه الظل.

٥- يخرج القمر تماماً من منطقة شبه ظل الأرض فينتهي الخسوف الجزئي.

٦- يخرج القمر تماماً من منطقة شبه ظل الأرض فينتهي كامل الخسوف بالمعنى الفلكي.



أنواع الخسوف:

١- **خسوف كلي** (Umbral)**:** ويحدث عندما يدخل القمر كله منطقة ظل الأرض. وفي هذه الحالة ينخسف كامل قرص القمر.

٢- **خسوف جزئي** (Partial)**:** ويحدث عندما يدخل جزء من القمر منطقة ظل الأرض، وفي هذه الحالة ينخسف جزء من قرص القمر.

٣- **خسوف شبه الظل** (Penumbral)**:** ويحدث عندما يدخل القمر منطقة شبه الظل فقط (أسفل أو أعلى ظل الأرض)، وفي هذه الحالة يصبح ضوء القمر باهتاً من دون أن ينخسف. ومنطقة شبه الظل هي المنطقة التي ينحجب فيها جزء من ضوء الشمس عن القمر أي أن المراقب للشمس من على سطح القمر يراها منكسفة جزئياً. ولا يصنف هذا النوع على أنه خسوف شرعي.

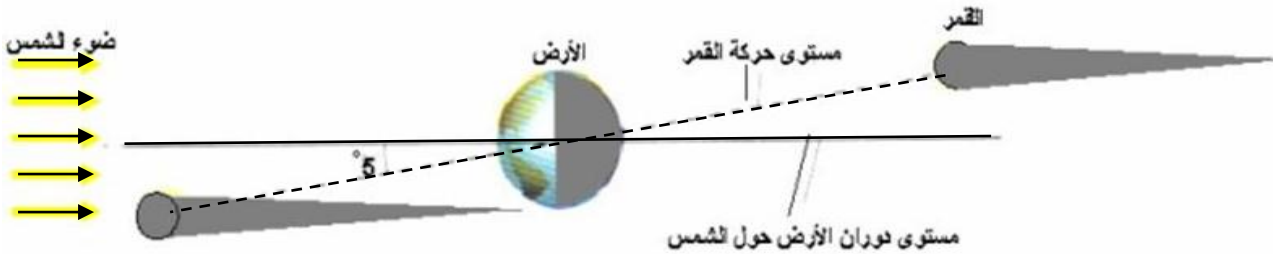
يمتد الخسوف بين الساعة والساعتين حيث يتلون سطح القمر تدريجيا باللون الأحمر ثم يعود للونه الأصفر الطبيعي.

يتوقع العلماء حدوث ٧٧١٨ خسوف خلال ٥ آلاف سنة منذ سنة ٢٠٠٠ قبل الميلاد حتى سنة ٣٠٠٠ ميلادية.

تبعد الأرض عن الشمس مسافة ٩٣ مليون ميل ويبعد القمر عن الأرض ٢٣٠ ألف ميل وقطر الشمس أكبر ٤٠٠ مرة من قطر القمر.

لماذا لا يحدث الخسوف والكسوف كل شهر

يقع القمر بين الأرض والشمس في المجال الفاصل بين نهاية وبداية الشهر القمري. ولو كان القمر يدور في نفس مستوى دوران الأرض حول الشمس لحدث الخسوف والكسوف كل شهر، ولكن لأن مستوى دوران القمر حول الأرض يميل بزاوية مقدارها خمس درجات تقريباً. لذلك السبب لا يحدث الكسوف أو الخسوف إلا عندما تمر الأرض (عند دورانها حول الشمس) في نقطة يكون فيها المستويين منطبقين أو ما يسمى بالعقدتين. وتمر الأرض فيهما مرتين كل سنة. لذلك تحدث ظاهرتي الكسوف والخسوف بمعدل مرتين كل سنة.



وتسمى الفترة التي تبقى الشمس في العقدتين بفترة الخسوف والكسوف حيث تبقى في كل عقدة أكثر من شهر وهو ما يجعل كل كسوف شمس يرافقه على الأقل خسوف قمر إما قبله أو بعده بنصف شهر والعكس صحيح. وتستغرق الشمس فترة ٣٤٦,٦٢ يوم كي تعود إلى نفس العقدة وتلك الفترة تسمى السنة الكسوفية لذلك يتوقع بعد تلك الفترة أو نصفها حدوث خسوف وكسوف ما على سطح الأرض. وبسبب الفرق بين السنة الكسوفية والسنة الشمسية فإن القمر يعود إلى نفس النقطة التي يحدث فيها الخسوف أو الكسوف بعد ١٨ سنة و ١١,٣ يوم أو ما تسمى بدورة الساروس للقمر التي اكتشفها البابليون في عصور قبل الميلاد.

قصة غزو الفضاء:

بدأت قصة استعمار الفضاء (بدعوى الاستكشاف بحثاً عن الثروات ومنابع الطاقة) بين الاتحاد السوفياتي والولايات المتحدة الأمريكية عام ١٩٥٨ حين أطلق السوفيات أول قمر صناعي يدور حول الأرض، تبعها عام ١٩٦١ إطلاق أول صاروخ مأهول بالبشر، وكان على متنه رائد الفضاء الروسي يوري غاغارين (Gagarin)، الذي تمكن من الدوران حول الأرض خلال زمن ١٠٨ دقائق. تلى ذلك إرسال مركبتين (لونا Luna) واحد واثنين، غير مأهولتين لاستكشاف القمر وتصوير وجهه الآخر، وكانت الثانية مزودة بمسبار استطاع أن يحط على سطح القمر ويجمع عينات من التربة والصخور. بالمقابل قام الأمريكان بخطوات مماثلة، لكنها متأخرة بعض الشيء، وفي عام ١٩٦٨ تمكن الأمريكي (أرمسترونج Armstrong) كأول إنسان تطأ قدماه سطح القمر بالهبوط عليه وجمع العينات.

وفي خطوة لاستكشاف المريخ Mars (الكوكب الأحمر، إله الحرب)، أطلق السوفيات المركبة Mars والأمريكان المركبة (ڤايكنغ Viking). واتضح أن غلافه الجوي بسيط ورقيق لايحوي الهواء، ودرجة حرارة لا تتجاوز الصفر مئوية، وأن حمرته ناتجة عن أكاسيد الحديد التي تكسو سطحه الصحراوي المقفر، ويتجمع في قطبه الشمالي جليد حمضي. وما يزال البحث جارياً عن أي أثر للحياة عليه.

ومثله كوكب الزُّهرة Venus (الكوكب الأزرق، إله الحب والجمال)، وهو محاط بغلاف غازي سميك وكثيف يحجب الشمس، مكون من غازات الكبريت، تبلغ درجة حرارته $450\ C^o$، وطقسه عاصف وأمطاره حمضية. نذكر هنا المركبة السوفياتية (ڤينيرا Venera) التي ذابت في جوه، والأمريكية (بايونير Pioneer).

وفي خطوة أوسع لاكتشاف كواكب المجموعة الشمسية البعيدة، المشتري و زحل و أورانوس ونبتون أطلق الأمريكان المركبة (ڤواياجر Voyager) الأولى والثانية عام ١٩٧٧ م. التي لا تزال حتى الآن على اتصال مع القاعدة الأرضية.

وفي عام ١٩٨٦ تمكن السوفيات من بناء المحطة الفضائية (مير Mir) في مدار حول الأرض.

المركبة الفضائية الروسية مير (Mir)
شكل ( )

المد والجزر:

تُعرف ظاهرتي المد والجزر بأنهما الحادثتين المرتبطتين بغمر مياه البحار والمحيطات لمساحات واسعة من الشواطئ، أو انحسارها عنها، على الترتيب. وتحدثان بفعل تباين قوتي جذب القمر والشمس للسوائل الموجودة في باطن الأرض وعلى سطحها. وتكون باتجاه يميل قليلاً على محصلة هاتين القوتين بسبب دوران الأرض حول نفسها.

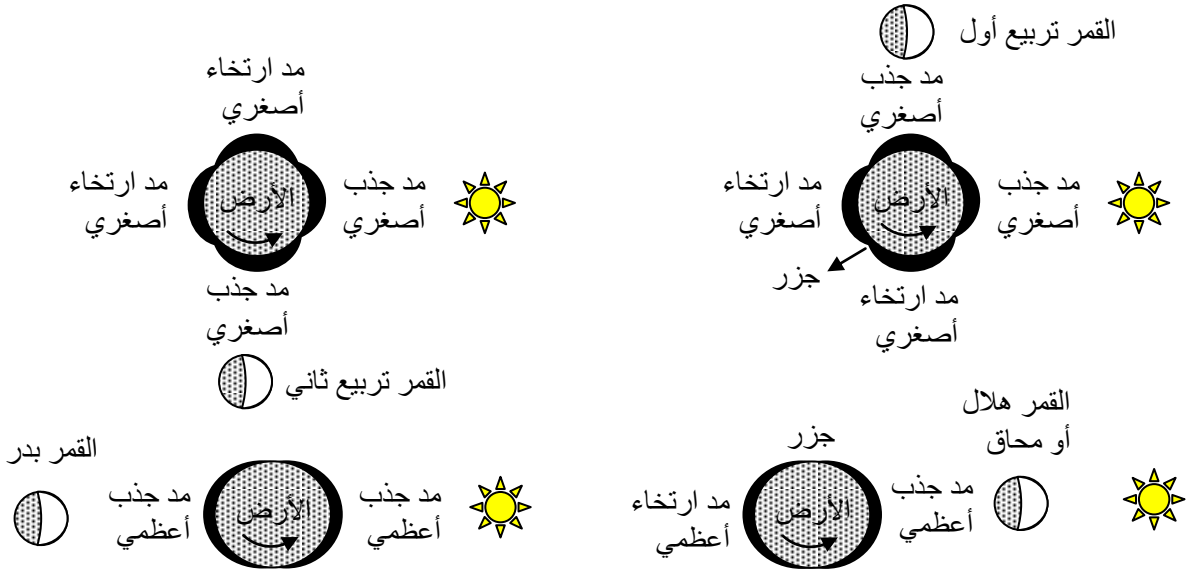
فعندما يكون القمر في طور تربيع أول أو ثاني، أي نصف بدر، (يصنع زاوية قائمة مع الشمس)، فإن مياه المحيطات والبحار الواقعة على وجهي الأرض المقابلين للشمس والقمر تخضع لقوة جذب تُعاكس قوة جذب الأرض فتُضعفها، فيحصل لهما مد جذب أصغري، أما على وجهي الأرض المقابلين، فإن ضعف قوة الجذب الأرضية يرافقه مد ارتخاء أصغري، كما بالشكل (). وبسبب دوران الأرض حول نفسها فإن شاطئاً ما يشهد في اليوم الواحد ٤ حالات مد يتخللها ٤ حالات جزر.

وعندما يكون القمر محاق أو هلال (الشمس والقمر بجهة واحدة بالنسبة للأرض) يحصل مد جذب أعظمي من جهة الشمس والقمر، يقابله مد ارتخاء أصغري على السطح المقابل للكرة الأرضية، كما بالشكل ().

وعندما يكون القمر بدر (الشمس والقمر بجهتين مختلفتين بالنسبة للأرض) يحصل مد جذب أعظمي من جهتي الشمس والقمر، كما بالشكل (). وفي الحالتين الأخيرتين، وبسبب دوران الأرض حول نفسها فإن شاطئاً ما يشهد في اليوم الواحد حالتي مد أعظمي وحالتي جزر أعظمي.

يُسهم المد والجزر في رفع أو خفض منسوب المياه بمعدل 80 cm الأمر الذي يُسهّل الملاحة في الموانئ وعبر المضايق وتنظيفها، وري المحاصيل الموجودة على ضفاف الأنهار، وفي نقل الغذاء، وإتمام دورة الحياة لبعض الحيوانات والقشريات البحرية، إضافة لتوليد الطاقة الكهربائية.

يُسبب المد والجزر تباطؤ في دوران الأرض حول نفسها فيزداد طول اليوم بمعدل 10^{-8} sec في اليوم، فإذا اعتبرنا أن الأرض والقمر يُشكلان نظام ميكانيكي معزول، فإن النقص في السرعة الزاوية للأرض يُرافقه نقص في كمية الحركة للنظام ككل، وانسجاماً مع مبدأ مصونية كمية الحركة، فإن القمر يبتعد عن الأرض مسافة تُقدر بـ 2 cm سنوياً، وهذا يعني أنه سيأتي اليوم الذي يفشل فيه ظل القمر في الوصول إلى الأرض (بسبب ابتعاده) وبالتالي انعدام ظاهرة الكسوف الكلي للشمس.



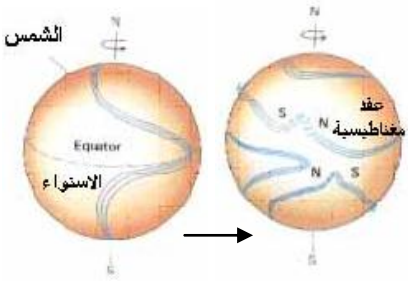
مراحل تطور النجوم:

تولد النجوم عادةً عن تكاثف مادة السحابة البينجمية (السديم الغازي عالي الكثافة) تحت الضغط والحرارة الهائلين، الناجمين عن تقلصها بفعل محصلة قوى الجذب الثقالية الهائلة في مركزها، مثال ذلك سديم أوريون المكون من نسبة عالية من الهيدروجين ونسبة قليلة من الهليوم وبعض العناصر الأخرى. تقدر الكتلة الحرجة لبدء تكون النجم بـ 0,08 من كتلة الشمس $M_{\odot}$. حيث تبلغ درجة حرارة باطن (نواة) النجم ٣ ملايين كلفن. وهي درجة الحرارة الدنيا لبدء تفاعلات الاندماج النووي، التي يتحول فيها الهيدروجين ${}^{1}_{1}H$ إلى هليوم مستقر ${}^{4}_{2}He$.

$$4\,{}^{1}_{+1}H \rightarrow {}^{4}_{+2}He + 2\,{}^{0}_{+1}e + \nu + \gamma + Q\,MeV$$

يعمل النجم كمفاعل نووي ناشر للطاقة (حرارة وإشعاع) مليارات من السنين، إلى أن ينتهي وقوده (الهيدروجين). يستقر النجم في حالة من التوازن والثبات بفعل تساوي قوتي الثقالة التي تعمل على انهيار النجم نحو داخله، وقوة الضغط الناجمة عن الانفجارات النووية الشديدة في باطنه، التي تعمل على تمزيقه وتفتيته في الفضاء.

تملك غالبية النجوم كتل تتراوح بين 0,1 و 30 مرة $M_\odot$، أما النجوم الكبيرة فتقدر كتلتها بين 60 و 120 مرة $M_\odot$. تدور كافة النجوم حول محورها المار من قطبيها بسرعة استوائية دون القيمة الحرجة البالغة 300 km /s، لأن السرعات الأعلى تحطم النجم وتفتته. فمثلاً تدور الشمس حول نفسها مرة واحدة كل [٢٥-٣٥] يوم بسرعة تقارب 2 km/s عند خط استوائها (قطر الشمس يساوي ١١٠ أمثال قطر الأرض). يولد هذا الدوران حقول مغناطيسية ملتفة ومتداخلة، وباستمرار الدوران تنفصل هذه الحقول لتشكل عُقد مغناطيسية تفوق شدة حقلها حقل الأرض المغناطيسي آلاف المرات كما بالشكل (). يُرافق تشكل هذه الحقول الموضعية ا



درجة حرارة سطح الشمس الواقع تحتها مباشرةً بمقدار ألفي درجة عن درجة السطح المجاور، فينخفض إشعاعها، وتصبح عاتمة يميل لونها للسواد، وهو ما ندعوه البقع الشمسية، وقد يصل حجم بعضها أضعاف حجم الأرض.
يشير ازدياد عدد البقع على زيادة النشاط الشمسي في دورة تقدر بـ ١١ سنة وفي كل مرة ينعكس اتجاه المجال المغناطيسي للشمس لذلك يمكن القول أن الدورة المغناطيسية الفعلية للشمس تبلغ ٢٢ سنة كي تعود الشمس إلى نفس وضعها.

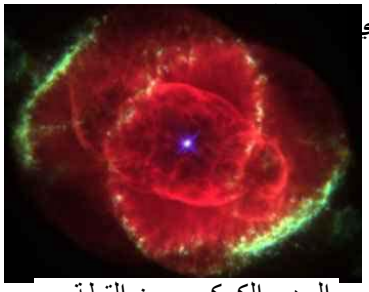
<u>نهاية النجوم الخفيفة:</u> (التي كتلتها دون الكتلة الحرجة 4 $M_\odot$ أي في المجال $M_\odot$ [0,4-4])
بانتهاء الهيدروجين الموجود في لب النجم يبدأ بحرق الهيدروجين الموجود في غلافه الجوي فينتفخ ويتحول إلى عملاق أحمر red giant (يبتلع معظم الكواكب المحيطة به)، وتنخفض درجة حرارة سطحه، وبمجرد نفاذ وقود الهيدروجين يبدأ النجم بالانكماش على نفسه بفعل تفوق قوى الثقالة على قوى الضغط الداخلي الناجمة عن تفاعلات الاندماج (الإشعاع). فينهار على نفسه مسبباً ضغطاً هائلاً وارتفاعاً كبيراً في درجة الحرارة (١٠٠ مليون كلفن)، الأمر الذي يسمح ببدء تفاعلات اندماج الهليوم لتكوين البيريليوم ثم الكربون:

$$2_{+2}^{4}He \rightarrow {}_{4}^{8}Be + Q\,MeV$$

$${}_{+2}^{4}He + {}_{+4}^{8}Be \rightarrow {}_{6}^{12}C + Q\,MeV$$

أو بالشكل: $3_{+2}^{4}He \rightarrow {}_{6}^{12}C + Q\,MeV$

وبانتهاء الهليوم الموجود في اللب، يعود النجم ليتحول إلى عملاق أحمر جديد، يلتهم كامل الهليوم الموجود في المحيط، محولاً إياه لكربون. وبمجرد نفاذ وقود الهليوم يبدأ النجم بالانكماش على نفسه بفعل تفوق قوى الثقالة على قوى الضغط الداخلي الناجمة عن تفاعلات الاندماج المضمحلة أصلاً. فيبدأ النجم في

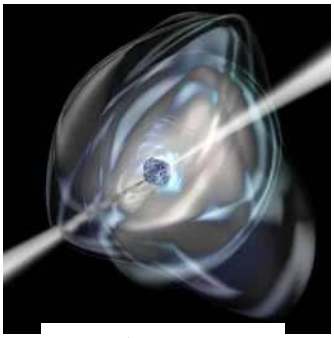


السديم الكوكبي عين القطة
شكل ()

وبما أن كتلته الخفيفة لا تسمح برفع درجة الحرارة إلى الحد اللازم لبدء تفاعلات اندماج الكربون فيتابع الانهيار على نفسه، ونتيجةً للضغط الهائل يتشكل القزم الأبيض (white dwarf) المكون من نوى الكربون فقط (ذرات كربون دون إلكترونات). وتتوقف تفاعلات الاندماج تماماً.
تدعى المادة في هذه الحالة بالمنحلة الكترونياً (electron degenerate)، وتتشظى الكتلة العظمى من النجم في انفجار عنيف جداً يدعى السوبرنوفا.
وينتج سديم كوكبي planetary nebula مثل سديم عين القطة كما بالشكل ().
تبلغ كتلة القزم الأبيض $M_\odot$ 0,8، أي أقل من حد تشاندرا سيخار $M_\odot$ 1,44 Chandrasekhar limit التالي ذكره. وكثافة مادته بحدود $64\,Tonn/cm^3$، وقطره بحدود 1 % من قطر الشمس، ودرجة حرارة سطحه ١٥٠٠٠ كلفن، وهذا ما يفسر لونه الأبيض، وقدر مطلق ١١+ (ضوء خافت)، ويتمتع بجاذبية ثقالية عالية جداً. وبما أنه لا يستطيع تفريغ طاقته المتبقية إلا عن طريق الإشعاع، فيستغرق تحوله من قزم أبيض مشع إلى قزم أسود black dwarf عديم الإشعاع بدرجة حرارة تماثل حرارة الخلفية الكونية k^o [2-3] زمن طويل جداً يعادل عمر نشوء الكون البالغ ١٤ مليار سنة، وهذا ما يفسر صعوبة اكتشاف الأقزام السوداء. ويتوقع العلماء هذا المصير لشمسنا.

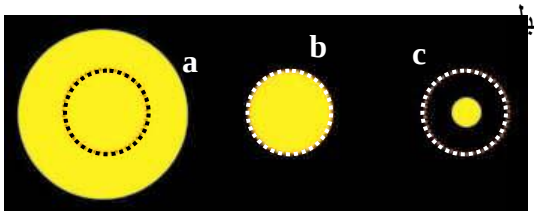
<u>نهاية النجوم المتوسطة:</u> (التي تفوق كتلتها الكتلة الحرجة 4 $M_\odot$ أي في المجال $M_\odot$ [4-10])
نظراً لكبر كتلة النجم فإنه يدعى في مرحلة دمجه لبقايا الهليوم وتحويلها لكربون عملاق أحمر فائق red supergiant
حيث يتمكن عند انكماشه من رفع درجة الحرارة إلى الحد اللازم لبدء تفاعلات اندماج الكربون الذي يتحول إلى عنصر أثقل مثل الأكسجين ${}_{8}^{16}O$ أو النيون ${}_{10}^{20}Ne$. وهكذا تستمر عمليات الاندماج المتتابعة للحصول على عناصر أثقل فأثقل. وفي كل مرة يدمج فيها النجم (في طور العملاق الفائق) وقوداً معيناً يحصل بنتيجته على عنصر أثقل تصبح طاقة الارتباط Q الناتجة عن الاندماج أقل فأقل. وأخيراً يتشكل الحديد ${}_{26}^{56}Fe$ الذي تحتاج تفاعلات اندماجه

لامتصاص الطاقة بدلاً من أن تكون مُنتجة لها. فتتوقف عمليات اندماج الحديد لعدم قدرة النجم على تحويله إلى عناصر أثقل. فينهار النجم على ذاته، ويتشظى في انفجار عنيف جداً تملأ مقذوفاته كافة أرجاء الكون، يدعى المستعر الأعظم، أو السوبرنوفا supernova.
يُفسر العلماء وجود العناصر الأثقل من الحديد مثل الذهب والرصاص واليورانيوم وغيرها إلى لحظة انفجار المستعر الأعظم (السوبرنوفا)، التي يمكن أن تستمر لأيام فقط، وهذا ما يفسر نذرتها في الطبيعة.
تدعى مثل هذه النجوم بنجوم الجيل الأول، أو النجوم الكيميائية، لأنها المعامل التي أنتجت العناصر الأساسية الموجودة
في الطبيعة (عناصر الجدول الدوري).
وفي النتيجة يتبقى من النجم جرم قزم يدعى النجم النتروني النابض لأن مادته مكونة من النترونات الصرفة. وهي الحالة المعروفة باسم الانحلال النتروني neutron degeneration، حيث تقوم بروتونات النوى بأسر الإلكترونات، أو بطرح فائض شحنتها الموجبة، وتتحول في المحصلة إلى نترونات.
تبلغ كتلة النجم النتروني % 10 تقريباً من كتلة النجم المنهار، وتنضغط مادته في حجم صغير جداً يُقدر قطره بـ 20 km فقط (لانعدام الفراغات على الصعيد الذري)، وتقدر كثافة مادته النترونية بـ ٦٤٠ مليون طن لكل cm^3، ودرجة حرارة تفوق $60000\ k^o$. يدور النجم النتروني حول نفسه بسرعة عالية جداً (عدة آلاف من الدورات حول محوره في الدقيقة، أي بحدود ٧٠٠ دورة في الثانية)، الأمر الذي يجعله يتمتع بحقل مغناطيسي شديد جداً يعادل تريليون مرة الحقل المغناطيسي الأرضي، ويدعى بالنابض pulsar لأنه يُطلق ومضات شديدة من الضوء وفق اتجاه يميل بزاوية على محور دورانه، فيعمل كمنارة كونية تضيئ سديمه المحيط به، ويمكن مشاهدتها من الأرض، كما يمكن تقدير عمر النجم من خلال تواتر الإضاءة الصادرة بخطأ لا يتجاوز % 15.
كما بالشكل (). وبمرور الزمن يتباطأ الدوران ويخبو الضوء الصادر عنه إلى أن يتلاشى تماماً.


نجم نتروني نابض
شكل ()

تقع كتلة النجم النتروني وفقاً لتشاندرا سيخار في المجال $M_\odot$ [3 - 1,44]

<u>نهاية النجوم الكبيرة:</u> (التي تفوق كتلتها $M_\odot$ 10)
تتغلب في هذه الحالة قوى الثقالة الناتجة عن العملاق الفائق على القوة الناتجة عن الانحلال النتروني، وتعمل على سحق المادة النترونية وتقليص حجمها للصفر. فتتغير الخواص الفيزيائية المعهودة للمادة، وتدعى المادة الناتجة بالمتفرد singularity (الثقب الأسود).
يتمتع الثقب بكثافة وقوة جذب هائلتين، يستطيع بهما ابتلاع كافة أشكال المادة والطاقة، حتى أن الضوء لا يستطيع الفرار منه. تقع كتلة الثقب الأسود وفقاً لتشاندرا سيخار فوق $M_\odot$ 3.
يوجد حول الثقب الأسود إطار يدعى أفق الحدث event horizon وفقاً لـ هوكينغ، يقوم أفق الحدث بإصدار أشعة إكس من المادة المتهاوية في الثقب، وهي بمثابة شيفرة من المعلومات عن الجسم الذي سيُفقد داخل الثقب وإلى الأبد.
يمكننا توصيف نصف قطر أفق الحدث بحد شوارزتشايلد Schwarzschild limit الذي يمثل نصف قطر النجم (بعد انهياره) الذي تفوق سرعة الإفلات من سطحه سرعة الضوء بقليل
كما بالشكل ().



الحالة a: نصف قطر القزم أكبر من نصف قطر أفق الحدث،
لا يعتبر القزم في هذه الحالة ثقب أسود.
الحالة b: نصف قطر القزم يساوي نصف قطر أفق الحدث،
يعتبر القزم في هذه الحالة ثقب أسود، لا يغادره الضوء، ولكن لا يستطيع جذبه إليه وامتصاصه.
الحالة c: نصف قطر القزم أصغر من نصف قطر أفق الحدث، يعتبر القزم في هذه الحالة ثقب أسود، لا يغادره الضوء، ويستطيع جذبه إليه وامتصاصه.
يتوقع العلماء وجود الثقوب السوداء في قلب الكوازرات (أشباه النجوم).

لا يعتقد العلماء بوجود نجوم تفوق كتلتها $M_\odot$ 100 لأنها غير مستقرة، وسرعان ما تنقسم لنجمين أو أكثر.

<u>حدود تشاندرا سيخار</u> Chandrasekhar limit

يكون القزم الحاصل قزم أبيض إذا كانت كتلته أقل من $M_\odot$ 1,44

يكون القزم الحاصل نجم نتروني إذا كانت كتلته في المجال $M_\odot$ [3 - 1,44]

يكون القزم الحاصل ثقب أسود إذا كانت كتلته تفوق $M_\odot$ 3

الأقزام البنية:
القزم البني مشروع نجم فاشل، تحول لجرم سماوي ذو كتلة دون نجمية substellar (أقل من كتلة النجوم وأكبر من الكواكب). يولد القزم البني من تقلص سحابة هائلة بينجمية يدخل في تركيبها الغاز والغبار، والغاز يتكون بشكل أساسي من الهيدروجين والهليوم ومقادير ضئيلة من الديتريوم والليثوم.
وقد كان أول من تنبأ بوجودها الفلكي كومار عام ١٩٦٣.

فإذا كانت كتلة مادة النجم دون $M_{\odot}$ 8 % (٨٠ مرة كتلة كوكب المشتري، لأن كتلة الشمس تساوي بالتقريب ١٠٠٠ مرة كتلة المشتري)، فهولا يمتلك الحرارة الكافية لبدء تفاعلات الاندماج اللازمة لتحويل الهيدروجين إلى هليوم.
فيعمل على تحويل الديتريوم ${}^{2}_{1}H$ إلى الهليوم النظير ${}^{3}_{2}He$.

$$ {}^{2}_{+1}H + {}^{2}_{+1}H \rightarrow {}^{3}_{+2}He + {}^{1}_{0}n + Q\,MeV $$

لأن هذا النوع من تفاعلات الاندماج يحتاج لحرارة أدنى من تلك اللازمة لتحويل الهيدروجين إلى هليوم.

ثم تتوقف عمليات الاندماج ويبقى الليثيوم في باطنه. وعندما تفوق كتلة مادة النجم $M_{\odot}$ 8 % فإن قوى الثقالة ترفع درجة الحرارة إلى الحد الذي تبدأ فيه تفاعلات تفكك الليثيوم إلى هليوم المعروفة باسم دورة الليثيوم – بروتون التالية:

$$ {}^{7}_{+3}Li + {}^{1}_{+1}P \rightarrow 2\,{}^{4}_{+2}He + Q\,MeV $$

منشأ الشمس وكواكب المجموعة الشمسية:
الشمس نجم خفيف، تشكل في قلب السديم الغازي، وهو من النجوم الخافتة (يقتصد في حرق وقوده)، ويموت محتفظاً برماد الكربون كقزم أبيض، فيعمر طويلاً (عدة مليارات من السنين)، على عكس النجوم المتوسطة والكبيرة، التي تستنزف وقودها خلال فترة قصيرة (عدة ملايين من السنين)، وهي أكثر سطوعاً من الشمس بكثير، وتنتهي كنجوم نترونية أو ثقوب سوداء بقذف منتجاتها من العناصر الكيميائية في الكون.
يعتقد العلماء أن عمر الشمس ٤،٥ مليار سنة، وأن الكواكب تشكلت من ذات السديم (من كتلة القرص السديمي المتبقية) المحيط بالنجم الوليد، أي من المكونات الباردة للسديم، التي تكثفت على شكل جلاميد صخرية، وبفعل الحركة الدورانية للسديم ومكوناته الجلمودية حصلت خلال أقل من ١٠٠ مليون سنة اصطدامات لدنة متتالية، كونت لب الكوكب وتلقت المزيد من المقذوفات الكونية (عناصر ثقيلة)، فرفعت درجة حرارته، وترسب معظمها في باطنه. تتألف كتلة الأرض من 35 % حديد، و 30 % أكسجين، و 15 % سيليسيوم، و 13 % مغنزيوم، و 2,4 % نيكل، و 4,6 % لبقية العناصر. قامت الأرض والكواكب الداخلية الصخرية بتشكيل غلافها الجوي من خلال البراكين والتفاعلات الكيميائية، وللعلم فإن كثافة الغلاف الجوي للأرض أقل بـ ١٠٠ مرة من كثافة غلاف الزهرة وأكبر بـ ١٠٠ مرة من كثافة غلاف المريخ. أما بالنسبة للكواكب الخارجية الغازية فقد قامت بأسر بقايا السديم الغازي مثل المشتري، وشكلت حولها الحلقات مثل زحل. أما الصخور المتبقية فشكلت ما يسمى حزام كويبر عند أطراف المجموعة الشمسية، يليه ما تبقى من السديم الغازي المدعو سحابة أورت.
أما بالنسبة للأقمار (التوابع) فقد تشكلت كما الكواكب لكنها خضعت لأسرها فصارت تابعة لها وتدور في فلكها.

الكوازرات (أشباه النجوم): Quasars
لاحظ العالم شميدت عام ١٩٦٣ انزياح أطياف بعض النجوم البعيدة التي تبعد مليارات السنوات الضوئية (عند تخوم الكون) نحو الأحمر مما يدل على سرعة ابتعادها العالية والبالغة % 80 من سرعة الضوء. وقد تم رصد أمواج راديوية قادمة منها، الأمر الذي دعا للشك في صواب تسميتها بالنجوم، فأطلق عليها اسم الكوازرات. تأتي كلمة كوازر من الحروف الأولى في الجملة quasi Stellar radio sources، والتي تعني منبع راديوي شبه نجمي، ويعتقد معظم العلماء بتعدد فرضيات منشأ هذه الكوازرات التي نسرد منها:

- نجوم نابضة ثقيلة اللب، ومزودة بحقل مغناطيسي شديد (ما يفسر النبض الراديوي).
- نواتج اصطدامات لحشود مجرية (ما يفسر حرارتها العالية البالغة عدة مليارات من الدرجات المئوية).
- انفجار متزامن لمستعرات بفعل التحريض الناتج عن انفجار مسبق لأحدها (ما يفسر طاقتها العالية).
- شكل من أشكال تفاعلات الإفناء بين المادة ومضاداتها.
- شكل من أشكال فناء المادة داخل ثقب أسود ضخم.
- ثقوب بيضاء (نقيض الثقوب السوداء) باعتبارها نهاية الدهاليز الدودية التي تربط عالمين مختلفين أو أكثر، (ثقب أسود من جانب، وأبيض من جانب آخر).

والشيء الأكيد أن الكوازرات موجودة، وبعيدة عنا جداً، عند أطراف الكون، وقد تكون المسؤولة عن استمرار توسعه، والدليل سرعتها الهائلة 0,8 c . وما تزال لغز كوني رهيب.

الفصل السادس
المجموعة الشمسية ٢

الشمس:

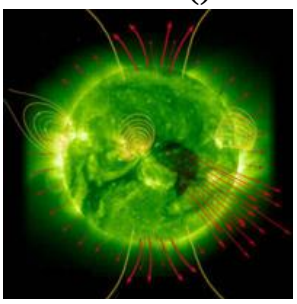
تحتل الشمس مركز النظام الشمسي Solar System، وتُكوّن ما نسبته ٩٩,٨٦% من كتلة النظام. وهي واحدة فقط من أكثر من ٢٠٠ مليار نجم في مجرتنا درب التبانة. وباعتبار المجرة عدسة عملاقة قطرها الكبير ٨٠٠٠٠ سنة ضوئية، يُقدر متوسط بعد الشمس عن مركز المجرة بـ ٢٧٠٠٠ سنة ضوئية، أي

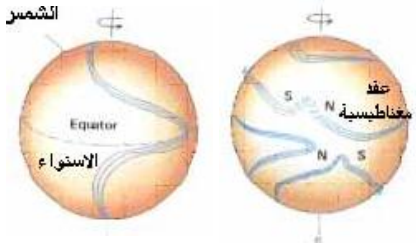
$r_o \approx 27000 \times 10^{13}\, km \approx 2{,}7 \times 10^{17}\ km$.

أطلق الإغريق على الشمس اسم هليوس helios، والرومان اسم سول Sol.

يُقدر العلماء عمر الشمس الذي انقضى بحدود 4,5 مليار سنة وأنها ستستمر بذات النشاط 4,5 مليار سنة أخرى (قبل أن تستنفذ كامل وقود الهيدروجين). علماً أن الزمن الذي تستغرقه في حرق الهيليوم أقل بكثير من زمن حرقها للهيدروجين وبطاقة منخفضة جداً.

تتحرك الشمس في المجرة، فهي ترسم في حركتها الانسحابية حول مركز المجرة مساراً متعرجاً وليس ثابتاً، وتقترب في كل دورة من مركز المجرة. تبلغ سرعتها الانسحابية $\upsilon = 618\ km/s$، وتُكمل دورتها خلال زمن ٢٢٦ مليون سنة. وتستغرق بالدوران حول نفسها أزمنة متفاوتة بين الـ ٢٧ يوم عند مدارها الاستوائي والـ ٣١ يوم عند قطبيها. أي أن سرعة دوران الغلاف الشمسي عند مدار الاستواء أكبر منه عند القطبين. وتبرير ذلك هو طبيعة الشمس باعتبارها كرة غازية ملتهبة، فلا يحدث الدوران بشكل انسيابي كما هو الحال في الكواكب الصلبة كالأرض كما بالشكل ().





يسبب التفاوت في سرعة الدوران انحراف في الحقول المغناطيسية التي تنفصل لتشكل عقد منكمشة تنخفض فيها درجة حرارة السطح من ٦٠٠٠ إلى ٢٠٠٠ درجة كلفن، فتبدو على شكل بقع عاتمة منفصلة أو متصلة (قطرها بحدود $8000 km$)، وقد تفوق أبعادها أبعاد الكرة الأرضية، تدعى الكلف أو السعف الشمسي كما بالشكل (). تبلغ شدة الحقل المغناطيسي داخل هذه العقد ٢٠٠٠ غوص (عشرة آلاف مرة شدة الحقل المغناطيسي الأرضي)، وتسبب انقلاب متناوب في الأقطاب المغناطيسية للشمس، كما تُنسب إليها كافة أنواع الأنشطة الشمسية التالي ذكرها.

ملاحظة: $1Tes = 10^4\, Gaus$ و $B_E = 0{,}2\, Gaus = 2 \times 10^{-5}\ Tes$ فيكون $B_E = 0{,}2\, Tes$ $B_{Sun} = 2000\, Gaus = 10000\, B_E = 0{,}2\ Tes$

تتحرك المجرة حاملةً معها الشمس والنجوم وتوابعها بسرعة $\upsilon_G \approx 600\ km/s$ باتجاه مجرة الأندروميدا (المرأة المتسلسلة).

أقسام الشمس:

يبلغ نصف قطر الشمس ٧٠٠ ألف كيلومتر، وتتكون مادتها بشكل أساسي من ٧٤ % هيدروجين، و ٢٤ % هليوم، و ٢ % من بقية العناصر. وهي موزعة بكثافات مختلفة، حيث تبلغ قيمتها العظمى في اللب والدنيا في غلافها الجوي البالغة $\rho_{Sun} \approx 1400\ kg/m^3$، أي أقل من متوسط كثافة الأرض البالغة $\rho_{Sun} \approx 5500\ kg/m^3$، وأكبر من كثافة الماء.

وفي المتوسط $\overline{\rho}_{Sun} \approx 1400\ Ton/m^3 \approx 1{,}4 \times 10^6\ kg/m^3$، وبالحساب يكون:

حجم الشمس $V_{Sun} = 4\pi r_S^3/3 \approx 1437 \times 10^{15}\ km^3 \approx 1{,}4 \times 10^{24}\ m^3$

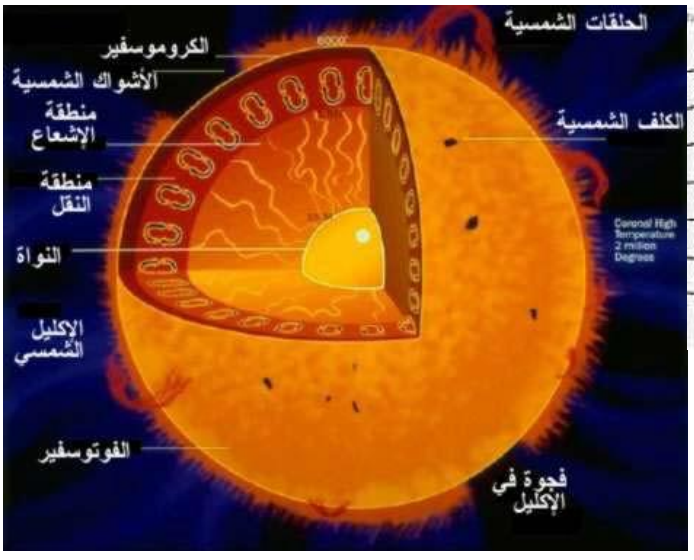
كتلة الشمس $M_S = \overline{\rho}_S V_S = 1{,}4 \times 10^6 \times 1{,}4 \times 10^{24} \approx 2 \times 10^{30}\ kg$

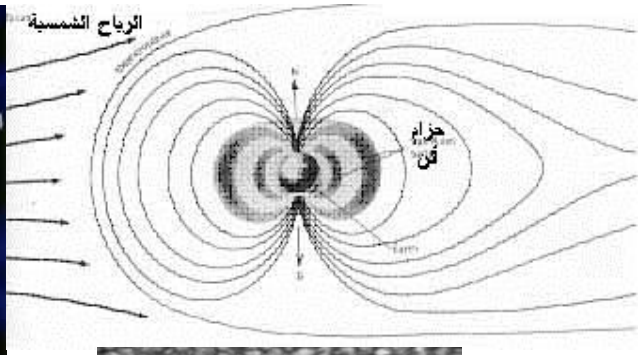
كما تتباين درجة الحرارة، حيث تبلغ في اللب ١٥ مليون درجة كلفن، وتنخفض لتصل إلى ٦ آلاف على السطح، ثم تعود لترتفع إلى المليون في الهالة (الكورونا). وفيما يلي نستعرض تعاقب الطبقات الخمس التالية.

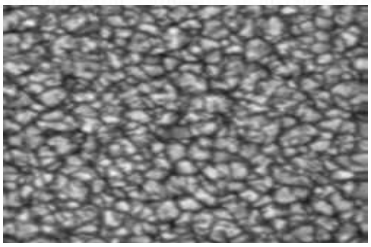
١ـ النواة (اللب): core تشغل ٢٥ % من قطر الشمس، تكون المادة على شكل بلازما plasma. يحدث داخلها تفاعلات الاندماج النووية المنتجة للطاقة.

٢- منطقة الإشعاع: radiative zone تحيط بالنواة وتمتد حتى ٧٠ % من قطر الشمس. يحدث فيها تبادل الطاقة المتولدة في اللب بالإشعاع فقط (الفوتونات). يستغرق الفوتون قرابة المليون سنة لعبور هذه المنطقة.
٣- منطقة النقل: convection zone تحيط بمنطقة الإشعاع، وتشغل معظم المسافة المتبقية من قطر الشمس. يحدث فيها نقل الطاقة إلى السطح عن طريق الحركات الدوامة للبلازما كما بالشكل ().
٤- الطبقة السطحية: وتدعى الفوتوسفير photosphere أو كرة الضوء، وتشغل سماكة صغيرة % 0,03 من القطر، وتتكون من ٧٩ % من الهيدروجين و ٢١ % من باقي العناصر. نشاهد في طبقة الفوتوسفير ما يلي:
- الفقاعات الفائقة: super granules وتمثل منشأ النوافير أو ألسنة اللهب (الشواظ) المنطلقة من أسفل منطقة الحمل إلى السطح وتخترق الغلاف الجوي لعدة آلاف من الكيلومترات ثم تعود أدراجها إلى السطح بفعل الجاذبية الشمسية الهائلة البالغة ٢٩ مرة تسارع الجاذبية الأرضية كما بالشكل ().
- البقع (الكلف) الشمسي: sunspots تنشأ عن انفصال العقد المغناطيسية، لتصبح أقطاب مغناطيسية بحد ذاتها على السطح بدلاً من القطبين الأساسيين للشمس فتعمل على منع تدفق الحمم عبرها، وتنخفض فيها درجة الحرارة إلى ٢٠٠٠ كلفن، وأن تشكل هذه البقع يخضع لدورة اكتشفها بابكوك Babcock عام ١٩٦١ تدوم ١١ عام، حيث تتنامى شدة الحقل المغناطيسي فيها إلى قيم قصوى ثم تبدأ بالتلاشي. وتشكل هذه البقع منابع للأشعة السينية.
٥- الغلاف الجوي: يمكن تقسيم الغلاف الجوي للشمس بدءاً من السطح لثلاث مناطق.
- منطقة الكرة اللونية chromosphere هي الطبقة اللصيقة بالسطح مباشرة وتتكون من الهيدروجين لذا تظهر بلون أحمر
وردي، ويمكن رؤيتها بوضوح في حالة الكسوف التام.
- منطقة الإكليل corona تحوي على مزيج من كافة العناصر في حالتها الغازية، تصل فيها درجة الحرارة المليون، وتتوهج بشدة إلا في بعض المناطق التي تدعى فجوات الإكليل Coronal Holes ويختلف امتدادها في الفضاء المحيط بالشمس تبعاً لدورة النشاط الشمسي.
- منطقة الريح الشمسية: solar wind هي منطقة تحوي على دقائق مادية من البلازما المشحونة تقذفها الشمس في الفضاء بسرعة $450 km/h$، تصل إلى الأرض بعد ٤ أيام فتؤثر على الحقل المغناطيسي الأرضي، وتتولد تيارات تسبب في قطع الاتصالات ووسائط البث الإذاعي والتلفزيوني كما تعمل على تخريب الأقمار الصناعية في المدار.

النشاط الشمسي:
تشير نتائج الرصد اليومية للمقذوفات الشمسية من أشعة راديوية وسينية وغاما ورياح من جسيمات ألفا وبيتا ودقائق البلازما إلى زيادة الفعالية الشمسية خلال فترات محددة (ذروة دورة بابكوك).
لاحظ العالم وولف اقتران زيادة الفعالية الشمسية بزيادة عدد البقع الشمسية. فتم التعبير عنها بمعامل وولف.
من أشهر مظاهر النشاط الشمسي ظاهرة الشفق القطبي aurora الناتج عن اختراق الجسيمات المؤينة للمجال المغناطيسي الأرضي الذي يقوم بدوره بحرفها باتجاه القطبين المغناطيسيين للأرض.
يعمل حزام فان آلن المغناطيسي المحيط بالكرة الأرضية على حرف الجسيمات المشحونة ذات الطاقات العالية وتحنيب الأرض مخاطرها.







سؤال: برهن أن القدر الظاهري للشمس هو $m_S = -26{,}6$ وقدرها المطلق هو $M = 5$ (استفد من الفصل الأول)

الحل: نفرض $\Delta = M - m$ حيث $m \equiv ((x))$ القدر الظاهري للشمس على مسافة $d^{E-s} = 1Au \approx 5\times10^{-6}\ pc$ و M قدرها المطلق على مسافة 10 pc فراسخ نجمية.

$$\frac{\gamma^{((sun))}_{1Au}}{\gamma^{((sun))}_{10Pc}} = n^{\Delta} = n^{(M-m_S)} = (2{,}512)^{(M-m_S)} \Rightarrow (M-m_S)\,Log\,(2{,}512) = Log\,(\frac{\gamma^{((sun))}_{1Au}}{\gamma^{((sun))}_{10Pc}})$$

$$\Rightarrow 0{,}4(M-m_S) = Log\,(\frac{\gamma^{((sun))}_{1Au}}{\gamma^{((sun))}_{10Pc}}) \Rightarrow (M-m_S) = \frac{10}{4}Log\,(\frac{\gamma^{((sun))}_{1Au}}{\gamma^{((sun))}_{10Pc}}) = 2{,}5Log\,(\frac{\gamma^{((sun))}_{1Au}}{\gamma^{((sun))}_{10Pc}}) \qquad (*)$$

وبما أن اللمعان يتناسب عكساً مع مربع البعد X^2

$$\frac{\gamma^{((sun))}_{1Au}}{\gamma^{((sun))}_{10Pc}} = (\frac{X^{((sun))}_{10Pc}}{X^{((sun))}_{1Au}})^2$$

بالتعويض في (*)

$$(M-m_S) = 2{,}5Log\,(\frac{X^{((sun))}_{10Pc}}{X^{((sun))}_{1Au}})^2 = 5Log\,\frac{X^{((sun))}_{10Pc}}{X^{((sun))}_{1Au}} = 5Log\,\frac{10\,pc}{5\times10^{-6}\,pc}$$

$$(M-m_S) = 5[Log\,(10) - Log\,(5\times10^{-6})]$$

$$(m_S - M) = 5[Log\,(5\times10^{-6} - Log\,(10)] = 5[-5{,}3-1)] = -26{,}6-5$$

بالمطابقة نجد أن القدر الظاهري للشمس $m_S = -26{,}6$ وقدرها المطلق $M = 5$

كواكب المجموعة الشمسية:

١ـ عطارد:

أقرب الكواكب إلى الشمس. رآه قدماء الإغريقيين كجرم لامع بُعيد الغروب فأطلقوا عليه اسم الإله هيرمس، ورأوه أيضاً قبيل الشروق كجرم لامع وأطلقوا عليه اسم الإله أبولو، ظناً منهم أنهما جرمان مختلفان، ومرت فترة طويلة قبل أن يدركوا أنهما جرم واحد، كما أطلقوا عليه اسم رسول الآلهة (عطارد) لأنه قريب من الشمس. يدور عطارد في مدار داخلي بالنسبة لراصد من الأرض، فهو لا يرتفع كثيراً في السماء، ويُشاهد دائماً في الأفق وسرعان ما يغرب.

عطارد كوكب صغير لا يتجاوز قطره ٤٨٧٩ كلم، وهو أكبر من قمرنا الأرضي بقليل.

مداره إهليلجي، ومتوسط نصف قطره ٥٨ مليون كلم (٠,٣٨ وحدة فلكية). يشذ المدار قليلاً عن مدارات الكواكب الأخرى التي تدور على مستوى استواء الشمس (دائرة البروج) تقريباً. حيث يميل مدار الكوكب عن هذا المستوى بمعدل سبع درجات ولا يشابهه في هذا الشذوذ المداري إلا الكوكب القزم بلوتو.

سنة عطارد ٨٨ يوماً أرضياً (٠,٢٤ سنة أرضية). ويومه (مدة دورانه حول نفسه) ٥٨,٧ يوم أرضي. أي عندما يدور حول نفسه ثلاث دورات كاملة يكون قد دار حول الشمس دورتين كاملتين ببساطة كل ثلاث أيام عطاردية تعادل سنتين عطارديتين و بهذا يكون التناغم في دورة عطارد السنوية إلى اليومية بنسبة ٣:٢ .

يحدث على سطحه تباين حراري هائل ليس له مثيل بين الكواكب في المجموعة الشمسية. درجة حرارة سطحه ٧٠٠ كلفن نهاراً، وليلاً ١٠٠ كلفن، يعزى التباين الشديد في الحرارة إلى غياب الغلاف الجوي.

يعود غياب غلاف عطارد إلى جاذبيته المنخفضة $0{,}4\ g_E$ وهذا يؤدي بدوره إلى انخفاض الضغط الجوي لدرجة العدم. أما سطحه فيشبه سطح القمر.

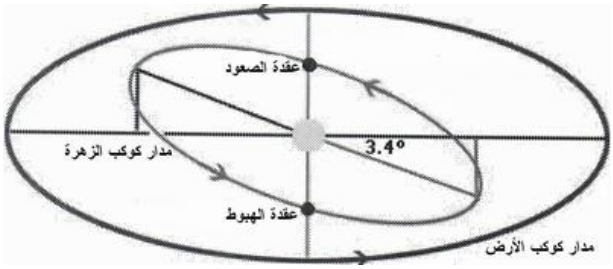
عطارد كوكب ثقيل جداً (أكبر من القمر بقليل، لكن له أربع أضعاف وزنه). تشير الكثافة الكبيرة (القريبة جداً من كثافة الأرض $\rho_{mer} \approx 5{,}43\ gr/cm^3$) إلى وجود نسبة كبيرة من الحديد في نواته، ولعل هذا سبب تسميته بالكوكب الحديدي.

يعتقد العلماء أن عطارد كوكب ميت من الناحية الجيولوجية (براكينه خامدة) مثل القمر تماماً.

من المعلوم أن امتلاك الكوكب لحقل مغناطيسي يعود لضرورة وجود نواة منصهرة، وسرعة دوران كافية حول نفسه. والغريب هو امتلاك عطارد لحقل مغناطيسي ضعيف (عُشر حقل الأرض، يكفي لحرف الرياح الشمسية)، لأن بطء دورانه حول نفسه غير كاف لإحداث الحقل. بعكس القمر والزهرة والمريخ التي لا تملك حقل مغناطيسي على الرغم من امتلاكها لنواة منصهرة. فمثلاً لكوكب الزهرة نواة سائلة، لكن ليس له حقل مغناطيسي بسبب بطئ دورانه حول محوره. من هنا نلاحظ غموض مصدر حقل عطارد.

٢ـ الزهرة:

عبَدَه العرب في الجاهلية وأسموه العزة في حين أسموا الشمس اللات. يُشاهد في الصباح قُبيل الشروق فدعي نجم الصباح. وفي المساء بُعيد الغروب ودعي نجم المساء، كما حدث مع عطارد. واستمر الأمر هكذا حتى القرن السادس قبل الميلاد حيث توضحت الصورة في الأذهان، وعُرف أنه جرم واحد. أطلق عليه الإغريق اسم إفروديت آلهة الحب والخصوبة، والرومان اسم فينوس آلهة الجمال. والبابليون اسم آلهة النعيم عشتار، أما الصينيين القدامى فدعوه بالكوكب الأبيض الجميل.



يدور الزُهَرة حول الشمس في مدار شبه دائري تقريباً، ويبعد عن الشمس في المتوسط ١٠٨ مليون كلم (٠,٧٢ وحدة فلكية). يميل مستوي مداره على مستوي دائرة البروج (مستوى دوران الأرض حول الشمس) بمقدار ٣,٤° ويتقاطع معه في نقطتين هما عقدتي الصعود في كانون الأول والهبوط في حزيران كما بالشكل ().

الزُهَرة كوكب داخلي مثل عطارد، يُشاهد بُعيد الغروب أو قُبيل الشروق، ورؤيته واضحة جداً بسبب شدة إضاءته، فانعكاسية أشعة الشمس عن سطحه تصل إلى ٧٠% من أشعة الشمس الساقطة على سطحه، فيُرى متلألئاً كحبة ألماس في الأفق الشرقي أو الغربي.

من الخصائص الغريبة للزهرة أنه كلما صغرت مساحة الجزء المضيء من سطحه يزداد تألقه فكيف هذا؟.

الزُهَرة كما ذكرنا كوكب داخلي بالنسبة للأرض. ولأن مداره شبه دائري حول الشمس فهو يُرى بأطوار مختلفة كالقمر تماماً. ويتطور من هلال إلى تربيع إلى بدر وهكذا. وكان العام غاليليو أول من رصد أطواره عام ١٦١٠ م. واعتبر تعاقب هذه الأطوار دليلاً قوياً على صحة نظرية كوبرنيكس بمركزية الشمس. فلا يمكن أن تحدث هذه الأطوار إلا إذا كان الكوكب يدور حول الشمس. وكان أول من لاحظ تزايد شدة إضاءته عند تناقص حجم الجزء المضيء من سطحه هو العالم إدموند هالي في عام ١٧٢١ م.

نحن نعلم أن البدر أكثر سطوعاً من الهلال، لكن هذا لا ينطبق على الزُهَرة، فعندما يكون الزُهرة بدراً يكون في التقابل الأقصى (الأرض – الشمس – الزُهَرة)، أي في الطرف البعيد جداً عن الأرض ويبعد ١,٧ وحدة فلكية (٢٥٧ مليون كلم)، وبسبب بُعده تكون شدة إضاءته قليلة. وعندما يأخذ بالحركة باتجاه الأرض يبدأ قرصه المضيء بالتناقص، لكن مع اقترابه من الأرض تزداد شدة إضاءته، وبنفس الوقت تقل مساحة الجزء المضيء منه، حتى يصل إلى التقابل الأدنى (الأرض – الزُهَرة – الشمس) و يكون في أقرب موقع له من الأرض حيث يبعد ٠,٢٨ وحدة فلكية تقريبا وتعادل ٤١ مليون كلم. وبعد أن يتحرك من الاقتران الأدنى يكون ساطع جداً مع أنه في طور الهلال.

يدور الزُهَرة حول نفسه بعكس بقية الكواكب من الشرق إلى الغرب. فيشاهد سكان الزّهرة الشمس وهي تشرق من الغرب وتغرب في الشرق، ويتحرك ببطء شديد جداً (يومه أطول من سنته)، يحتاج ٢٤٣ يوم ليتم دورة حول نفسه، وإلى ٢٢٥ يوم ليتم دورة واحدة في مداره حول الشمس، ومحور دورانه يميل قرابة ١٧٧° على مستوى تعامد محاور الكوكب مع استواء الشمس (خط البروج).

لا يملك حقل مغناطيسي (لا يتجاوز واحد بالألف من شدة حقل الأرض المغناطيسي).

كوكبي الأرض والزُهَرة متشابهان في الكثير من الخصائص- حتى أن البعض يعتبرهما كوكبان توأمان- وللمقارنة نستعرض هذا التشابه في الجدول المجاور.

وجه المقارنة	الأرض	الزهرة
القطر/كلم	12756	12104
الكتلة	1	0.81
الكثافة	5.52	5.24
الجاذبية	1	0.91
سرعة الإفلات كلم/ث	11.2	10.4
حالة النواة	سائلة	سائلة

أفادت المركبات المرسلة لاستكشاف الزهرة أنه كوكب حار جداً، وجاف جداً ولعل أفضل تشبيه له هو مقلاة فارغة وضعت على النار مدة طويلة، فالغيوم المتراكمة والضغط الجوي المرتفع جداً. وأينما توجهت تواجه نفس الظروف، فليس هناك اختلاف بين الليل أو النهار، وبين منطقة الاستواء أو القطبين فمناخه خانق وجاف جداً وأيما تشبيه سيكون أفضل من كلمة الجحيم. كوكب الدفيئة. والسبب هو الغلاف السميك الممتد إلى مسافات كبيرة فوق السطح يشكل الغلاف السميك ضغطاً هائلاً على سطح الزُهَرة يعادل ٩٠ مرة أكثر من الضغط الجوي على سطح الأرض. ولتصور ذلك تخيّل أنك على عمق ١٠٠٠متر في قاع المحيط بدون واقي من ضغط الماء. هكذا هو حال الضغط المرتفع على سطح الزُهَرة. ومع ارتفاع الضغط الشديد ترتفع الحرارة بشكل كبير، وكلما انخفضنا من أعالي الغيوم باتجاه سطح الكوكب زادت درجات الحرارة ارتفاعاً لتصل إلى قرابة ٧٥٠° كلفن. كل هذا بسبب طبقة الغيوم السميكة جداً التي تحيط بالكوكب.

تشير دراسة الانعكاسية العالية لجزيئات الغيوم إلى احتوائها لقطرات من حمض الكبريت، وهذا يفسر لونها الأصفر الشاحب. فالأمطار على سطح هذا الكوكب أمطار حمضية. تعود قطرات المطر الحمضي المتساقط لتتبخر من جديد قبل وصولها السطح بفعل الحرارة الهائلة. يرجع مصدر غازات الكبريت وثاني أكسيد الكبريت إلى البراكين التي تنفث هذه الغازات، يتراكم الحمض بفعل التفاعلات الكيميائية والحرارية والضوئية.
ومن الجدير ذكره أنه في العام ١٩٧٨ تم قياس تضاعف لنسبة حمض الكبريت في جو الزُهَرة يصل إلى خمسين مرة عن مستوى قياسه الأول، مما يدل على احتمال حدوث ثوران وشيك على سطح الكوكب.
يتكون جو الزُهَرة السميك من ٩٧ % من غاز ثاني أكسيد الكربون و ٣ % من النيتروجين. وهذه الغازات تعمل عمل غازات الدفيئة. تخترق أشعة الشمس غيوم الكوكب لتصل إلى السطح ثم تنعكس عنه، تمتص غيوم الغلاف الجوي جزء الأشعة تحت الحمراء المنعكسة، وترد الجزء الباقي إلى السطح ثانية، وهكذا تُحجز الحرارة في الداخل. وباستمرار امتصاص الطاقة تستمر درجة الحرارة في الارتفاع. تُعد الزُهرة من أعلى درجات الحرارة بين كواكب المجموعة الشمسية، وليس كما يظن البعض، أن عطارد هو الأعلى لأنه الأقرب إلى الشمس.
أوضحت الدراسات التي تمت للكوكب باستخدام الأشعة فوق البنفسجية وجود عواصف ورياح شديدة تتحرك بسرعات كبيرة تصل إلى ٣٥٠ كم/ساعة من الشرق إلى الغرب في الأطراف العليا من الغلاف الجوي، حيث تتمكن من الدوران حول الكوكب في أربعة أيام. تقل سرعة الرياح كلما انخفضنا نحو سطح الكوكب لتصل إلى ٣-١٨ كم/ساعة على ارتفاع ١٠كم، وتختفي تماما على ارتفاع ٧ كم.
استطاعت المجسات التي أرسلت إلى الكوكب أن تخبرنا عن تركيب الغلاف الجوي للكوكب. ينقسم الغلاف الجوي إلى ثلاث طبقات رئيسية من الغيوم الكبريتية وهي: الطبقة العليا أو الخارجية وتتميز بوجود قطرات صغيرة وكثيرة من حمض الكبريت، أسفلها توجد الطبقة الوسطى وتتميز بقطرات أكبر حجماً وأقل عدداً من حمض الكبريت، ثم الطبقة الدنيا الكثيفة وتتميز بقطراتها الأكبر حجماً، وعلى ارتفاع ٤٠ كلم توجد سماكة ضبابية، وبالقرب من السطح (على ارتفاع ٣٠ كلم) يبدأ الجو بالجافً والحرارة بالارتفاع فلا يمكن أن يبقى شيئاً دون أن يتبخر.

٣- الأرض:

الكوكب الوحيد النابض بالحياة، والأعلى كثافة $\rho_E \approx 5{,}5\ gr/cm^3$.

٤- المريخ:

المريخ كوكب الخيال العلمي، أطلق عليه الإغريق اسم إله الحرب Mars. مداره خارجي (لا يعبر أمام قرص الشمس)، لذا يمكن رصده على فترات طويلة في السماء ليلاً، لأنه يعبرها من الشرق إلى الغرب. يرى سكان المريخ الأرض وهي تعبر أمام قرص الشمس بالقرب من أفقه. متوسط بعده عن الشمس ٢٢٨ مليون كلم (١,٥٢ وحدة فلكية).
ومدة دورته حول الشمس (طول سنته ٦٨٧ يوم أرضي).
يميل محور دورانه حول نفسه بزاوية ٢٥,٢ ْ، فتتعاقب عليه الفصول، وقطبيه جليديين تتغير مساحتهما بتغير الفصول كما في الأرض. طول اليوم المريخي 24,6 ساعة (٢٤ ساعة و ٣٧ دقيقة و ٢٢,٦ ثانية) شبيه بالأرض.
غلافه الجوي خفيف ورقيق جداً (١ % من سماكة غلاف الأرض)، مكون من CO_2 في أغلبه (٩٥ %) وضغطه الجوي قليل جداً (١ % من الضغط الجوي للأرض). لا يمتلك حقل مغناطيسي لأن نواته غير حديدية أو غير سائلة أو الاثنين معاً. لا يوجد أي شكل من أشكال الحياة على سطح المريخ.
نسبة بخار الماء في جوه ضئيلة جداً مما يجعله جاف، لكن بسبب برودة السطح فإن كمية بخار الماء الضئيلة هذه تكفي لإشباعه. وباستمرار انخفاض درجة الحرارة دون درجة الندى تبدأ الغازات وخاصة CO_2 بالتكاثف والتجمد والسقوط على سطح الكوكب.
توجد على سطحه كثبان رملية متحركة، مما يشير إلى وجود رياح قوية، غير أن كثافة جوه القليلة (٢ % من كثافة جو الأرض) لا تسمح بعمليات الحت والتجوية ضمن السرعات المعهودة للرياح على الأرض (٢٤ كلم بالساعة)، بل يجب أن تكون أسرع من الرياح الأرضية بـ ٧ إلى ٨ مرات، أي أنها تتحرك بسرعة ١٨٠كلم بالساعة.
تشير الأخاديد والأودية الجافة إلى مجاري أنهار، ولكن أين ذهب هذا الماء الآن؟
القطبان مستودع الماء على المريخ. لكن في الشتاء وكما ذكرنا يتكاثف غاز ثاني أكسيد الكربون في الجو ويتجمد ويهطل على سطح الكوكب، فيسهم في زيادة حجم القبة الجليدية التي تصل إلى ٣٠% من حجم نصف الكوكب عند كل قطب. وفي الصيف المريخي يتناقص حجم القباب إلى ١%. ويُعتقد أن قطبه الشمالي مكون من جليد ماء يتصعد مع حرارة الصيف إلى الجو ويُسهم في وجود نسبة من بخار الماء في مكونات الجو. ولكن أين الجزء الأكبر من هذه المياه؟ لا بد وأنها مخزونة تحت التربة أو قد يكون الماء محجوزاً في طبقات متجمدة متراكمة مثل القطب الجنوبي للأرض وهو ما يدعى (بالجمد السرمدي) Permafrost يصل سمكها إلى ١ كلم. فمن المتوقع أن يكون معظم الماء

موجود في الأقطاب على شكل هذا الجمد أو قد يكون تحت التربة. أما السؤال عن مصدر المياه؟ وأين ذهبت ؟ فلا يزال لغزاً يستدعي البحث عن حله.
توجد على سطحه أطول أنواع الأودية وأعلى القمم البركانية الموجودة على كواكب المجموعة الشمسية، حيث يبلغ ارتفاع القمم ٣ أضعاف قمة جبل إفرست.
والسؤال هنا لماذا هذا الارتفاع؟. يعزو العلماء السبب إلى السماكة الكبيرة لقشرة المريخ، فالمريخ صغير (قطره يساوي نصف قطر الأرض)، برد سطحه بسرعة تفوق سرعة برودة سطح الأرض فصار يابسه أسمك من يابس الأرض، فكان أصلب من أن يتصدع على شكل صفائح كما في الأرض. وهذا أعطاه فرصة أطول للتطور. وعندما ثارت البراكين كانت قوة اندفاعها كافية لتصدع هذه القشرة السميكة. ولأن جاذبيته قليلة (٠,٤ من الجاذبية الأرضية) قلّ وزن هذه الاندفاعات (الحمم) وبالتالي زاد اندفاعها وارتفاعها للأعلى حتى شكلت هذه القمم الشاهقة. أما الأرض فهي أكبر حجما فكانت قشرتها قليلة السمك، وتصدعت إلى صفائح تميزت بظهور سلاسل جبلية بركانية صغيرة وكثيرة العدد مثل سلسلة جبال هاواي البركانية في المحيط الهادئ وغيرها. ولأن جاذبية الأرض أكبر كان اندفاع الحمم وتراكمها أقل.
لا توجد - حتى الآن - أية إثباتات على أي نشاط بركاني في المريخ.
تتكون صخوره من المواد التالية: الحديد وأكاسيده (بنسبة كبيرة)، الكالسيوم، السيليكون، تيتانيوم، ألمنيوم، مغنيسيوم، كبريت، بوتاسيوم، أكسيد السيليكون. كثافته $\rho_{mars} \approx 3{,}9\ gr/cm^3$
يبدو المريخ في السماء مضيئاً بلون أحمر بسبب تضمن تربته لأكاسيد الحديد. وهو أقل لمعاناً من الزهرة والسبب: انعكاسية سطحه المنخفضة ١٥%، وحجمه الذي يعادل ٣٠ % من حجم الأرض، وبعده عن الشمس.
يتبع المريخ قمران صغيران جداً فوبوس وديموس (نسبة لاسمي الحصانين اللذين يجران عربة إله الحرب الإغريقي مارس). شكلهما غير منتظم، ويدوران على مستوي استواء الكوكب في مدارات دائرية خلال ٣١ يوم أرضي، وقريبان منه جداً، وهما قليلا الكثافة $\rho_L \approx 2\ gr/cm^3$ ، وداكنا السطح، وكثيرا الفوهات النيزكية، ويُعتقد أنهما كويكبان أسرهما المريخ.

٥- حزام الكويكبات: Asteroids belt

يقع الحزام بين مداري المريخ والمشتري. يبلغ متوسط بُعد مدار كوكب المريخ ١,٥ وحدة فلكية عن الشمس، بينما متوسط بُعد مدار كوكب المشتري يزيد عن خمس وحدات فلكية.
تساءل العلماء عما يملأ هذا الفراغ؟. فلا بد من وجود كوكب في هذه المنطقة ولم يتم اكتشافه بعد. فبدأ البحث في هذا الموقع عن كوكب، لكنهم بدل ذلك وجدوا عشرات الآلاف من الكويكبات الصغيرة في هذا المدار. وكان هذا في بداية القرن التاسع عشر عام ١٨٠١ بالتحديد. فكان أول الاكتشافات لأكبر هذه الكويكبات وهو الكويكب سيريس، قطره يقارب ١٠٠٠ كم، على يد الفلكي الإيطالي بيازي، وبعد ذلك التاريخ توالت الاكتشافات لهذه الكويكبات حتى قارب عددها عشرة آلاف كويكب.
وشكل هذه الكويكبات يشبه شكل حبات البطاطا غير منتظمة الشكل، وأسطحها الصخرية مليئة بالفوهات النيزكية ومن الجدير ذكره أن الكويكب سيرس قد ضُم إلى قائمة الكواكب القزمة. يعتقد العلماء أن أصل الكويكبات كوكب فشل في الالتحام والتكوّن بسبب وقوعه بين قوتي جذب عملاقتين هما جاذبية المشتري من جهة و الشمس من جهة أخرى.
وعند دراسة هذه القطع الصخرية والمعدنية وجد أن أصولها تعود إلى عمر النظام الشمسي في معظمها، مما يعني أنها تكونت مع تكون النظام الشمسي وكواكبه قبل ٤,٦ مليار سنة، وعند تجميع كتل هذه الأجرام وجد أنها تشكل جسماً قطره ١٥٠٠ كيلومتر، أي أقل من نصف حجم قمرنا الأرضي. يتفاوت حجم هذه الكويكبات بشكل كبير، فأكبرها الكويكب سيريس Ceres، وأصغرها لا يتجاوز حجم قطع الحصى الصغيرة.
ويتم إعطاء الكويكبات رقماً متسلسلاً عند اكتشافها، ثم بعد ذلك تتم تسميتها مثلاً سيريس يحمل رقم ١، الكويكب بالاس Pallas يحمل رقم ٢ وهكذا. كان حجم هذه القطع أكبر ومع حركتها وتصادمها ببعضها تحطمت إلى قطع أصغر. وقد يكون لبعض هذه الكويكبات أقماراً تدور حولها مثل الكويكب إيدا.
تدور هذه الكويكبات حول نفسها في عدة ساعات، وحول الشمس في مدار إهليلجي كل ٣-٦ سنوات أرضية
وتتكون بشكل أساسي من الصخور الغنية بالمعادن مثل الحديد وغيره. ويهتم العلماء بدراسة الكويكبات لأنها لا تزال تمثل التكوين الأول للنظام الشمسي. فعند دراستها كأنما ندرس التاريخ القديم للكواكب. ويُعتقد أن قمرا المريخ فوبوس وديموس من الكويكبات التي تم اقتناصهما بفعل جاذبية الكوكب ليتخذا مداراً حوله.

٦- المشتري:

يقال أن المشتري اشترى العظمة لنفسه، فهو العملاق بين كواكب النظام الشمسي. لا يسبقه في شدة الإضاءة إلا الزهرة. يعود تألقه لضخامة حجمه، فهو ملك الكواكب، وأكبرها حجما. قطره أكبر ١١ مرة من قطر الأرض، وحجمه ١٣٣٨ مرة حجم الأرض. وكتلته ٣١٨ مرة كتلة الأرض.

يعتقد العلماء أن كتلة المشتري وحدها تشكل 3/4 كتلة كواكب النظام الشمسي.

المشتري كوكب غازي كثافته $\rho_{Ju} \approx 1{,}3\ gr/cm^3$ ، ويُعتقد بوجود نواة صخرية متوسط كتلتها ١٥ مرة كتلة الأرض.

يتكون جوه من الهيدروجين الذي يشكل ٨٩ %، والهيليوم ١١ %، وكميات ضئيلة جداً من الميثان و الأمونيا.

تسوده رياح تصل سرعتها إلى ٥٤٠ كلم /ساعة.

يدور المشتري في مداره حول الشمس وهو قائم تقريبا إذ يميل محوره فقط ٣° عن العمود القائم على مستوى مداره (لا يحدث تعاقب للفصول). ويدور على بعد متوسطه ٧٧٨ مليون كلم عن الشمس. نصف قطره ٧١٤٠٠ كلم تقريبا، فهو ليس كروي بل يميل إلى التفلطح عند دائرة الاستواء.

طول سنته ١١,٨٩ سنة أرضية. ويدور حول نفسه بسرعة هائلة جداً مشكلاً أقصر يوم في أيام الكواكب جميعها؛ إذ يبلغ ٩ ساعات و٥٥ دقيقة و٢٩ ثانية أرضية. فالليل والنهار يمران على سطح الكوكب في ١٠ ساعات فقط.

تدور حوله أربعة أقمار صغيرة أيو IO، يوروبا Europa، جانيميد Ganymede، كاليستو Callisto.

قرص الكوكب مغطى بأحزمة ملونة موازية لدائرة استواء الكوكب. وللتميز بينها أطلق العلماء اسم zone أي المنطقة على الجزء المضاء أو اللامع أما الجزء المعتم أو الداكن فيطلق عليه اسم belts أي الأحزمة.

يُلاحظ وجود بقعة حمراء كبيرة (تشبه العين) Great Red Spot تتحرك حول الكوكب في دورة كاملة ودائمة.

وكان الاعتقاد السائد بأنها جسم صلب يطفوا فوق غازات المشتري، ويمكن أن نشاهد عدداً من البقع البيضاوية على غرار البقعة الحمراء ولكنها أصغر حجماً ومختلفة في ألوانها. تعتبر البقعة ظاهرة إعصارية ضخمة جداً تدور حول الكوكب بعكس عقارب الساعة في مدة تصل إلى ١٢ يوم، وبحجم يعادل قطر كرتين أرضيتين تقريبا.

يتوقع العلماء أيضاً أن تركيب جو المشتري من ثلاث طبقات متمايزة أعلاها وأقلها حرارة مكون من غاز الأمونيا الذي يتجمد في البرودة و يعطي اللون الفاتح الذي نراه عند رصد الكوكب. الطبقة الثانية حيث تتحد الأمونيا مع كبريتيد الهيدروجين وتشكل بلورات بنية برائحة البيض الفاسد. البلورات مكونة من كبريتيد الهيدروجين والأمونيا وتشكل الألوان الداكنة الأكثر حرارة. أما الطبقة الثالثة والأكثر عمقاً والتي لم يستطيع أحد رؤيتها فقد تكون مكونة من بلورات جليد مائية مزرقة اللون.

المشتري كسائر الكواكب تسقط عليه الإشعاعات الشمسية ولأنه في مدار بعيد جداً عن الشمس فإن مقدار ما يصله من الحرارة فقط ٤ % من نسبة ما يصل إلى الأرض (حسب قانون التربيع العكسي). ولكن فوجئ العلماء عند دراسة المشترى بقياس تحليل الأشعة تحت الحمراء التي يبثها الكوكب، حيث تبين لهم أن الكوكب متوهج حرارياً. أي أنه يشع حرارة من مصدر داخلي. وأن مقدار هذه الإشعاعات (١,٧) أكثر من قيمة ما يصله من أشعة الشمس. وأنه كلما انخفضنا في طبقات الغيوم نحو الأسفل ترتفع درجة الحرارة، والتفسير الوحيد الذي يقوله العلماء أن هذه الحرارة قد تكون كامنة داخله، أي ما تبقى من حرارة تكوين الكوكب أثناء ولادته قبل ٤,٦ مليار سنة، وبسبب كثافة غلافه الجوي فقد تبرد ببطء شديد ولا يزال يشع هذه الحرارة حتى الآن.

افتراض العلماء نموذج لتركيب الكوكب الداخلي يطابق المعلومات المتوفرة من ارتفاع الحرارة والضغط عند الانخفاض من مستوى الغيوم الخارجية باتجاه مركز الكوكب. وباستمرار الانخفاض باتجاه المركز فإن الجو يزداد كثافة باطراد بفعل الضغط الهائل من طبقات الجو المتراكمة. يتحول غاز الهيدروجين إلى سائل على عمق يبدأ من ألف إلى عدة آلاف كلم. وعلى عمق يقارب ٢٠٠٠٠ كلم يتوقع أن تكون قيم الضغط ٣ ملايين مرة أكثر من ضغط جو الأرض (٣ ملايين ملي بار)، وفي مثل هذه الظروف من الضغط يتحول الهيدروجين الى سائل معدني metallic، حيث تنضغط الجزيئات بشدة قرب بعضها البعض وتسبح الإلكترونات حرة الحركة حول الأنوية وتشكل مصدراً ممتازاً للتيار الكهربائي. و تحت هذه الطبقة من الهيدروجين المعدني توجد نواة صغيرة تقارب حجم كرتين أرضيتين بقطر ٢٠٠٠٠ كلم تقريبا.وبكتلة تعادل كتلة ١٥ أرض، ويصل الضغط إلى حوالي ٥٠٠ مليون مرة أكثر من ضغط جو الأرض والحرارة تقارب ٤٠٠٠٠ درجة كلفن.

للكوكب حقل مغناطيسي أقوى بـ ١٢ مرة من حقل الأرض، بل هو أقوى الحقول المغناطيسية بين جميع الكواكب.

وقد تم رصد موجات راديوية من الكوكب بفعل تسارع الدقائق المتحركة في حقله المغناطيسي.

تمكنت المركبة مارينز من الإحساس بالإشعاعات التي يبثها المشتري من على بعد ٢٠ مليون كلم بقوة تصل إلى ٢٥٠ ألف Rads. فإذ علمنا أن الجرعة القاتلة للإنسان تعادل ٥٠٠ Rads فقط، وهذا يدل على استحالة إرسال رحلات مأهولة نحو الكوكب.

للمشتري حلقة رقيقة وقليلة السمك على بعد ١,٨ مرة من قطره.

أقمار كوكب المشتري:

عرفنا سابقاً أن جاليليو وفي بداية القرن سابع عشر استطاع رصد أربعة أقمار للمشتري تدور حوله وهي الأقمار الجاليلية الشهيرة نسبة إلى مكتشفها وهي أكبر الأقمار الواحد والستون التابعة لكوكب المشتري. قد تشعر الآن أن المشتري نظام قائم بحد ذاته عملاق كبير يتوسط واحد وستون جرماً تدور حوله. في الجدول التالي سنوضح بعض المعلومات عن هذه الأقمار الأربعة الشهيرة وهي مرتبة حسب بعدها عن الكوكب:

القمر	بعدها عن مركز الكوكب/ وحدة قطر المشتري Rj	مدة دورانه حول الكوكب / يوم	القطر/كم	الكتلة /غم	الكثافة
أيو Io	5.95	1.716	1816	8.92×10^{25}	3.55
يوروبا Europa	9.47	3.551	1563	4.87×10^{25}	3.04
جانيميد Ganymede	15.1	7.155	2638	1.49×10^{26}	1.93
كاليستو Callisto	26.6	16.69	2410	1.07×10^{26}	1.83

٧- زحل:

يتميز كوكب زحل بين أفراد النظام الشمسي، بحلقات ملونة بديعة لامعة تحيط به. تتكون هذه الحلقات من جليد ماء أو أجسام صخرية مكسوة بجليد ماء، تبلغ أقطارها من ميكروميترات إلى عدة ميليمترات إلى عشرات الأمتار.

ولأنها تدور في مدارات دائرية حول الكوكب فإنها تكون مصطفة بجانب بعضها على شكل حلقة مستوية ورقيقة.

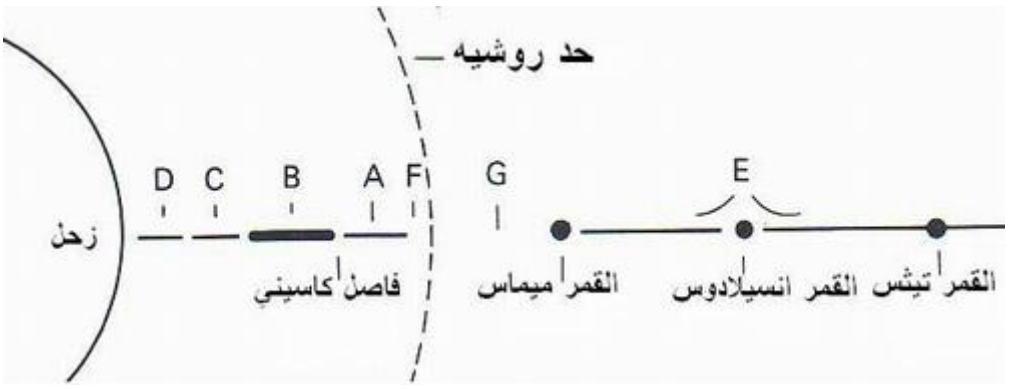
يبلغ اتساع الحلقة من ٣٠٠– ٤٠٠ ألف كلم أما سمكها فيتراوح بين ٥٠- ١٥٠ متر فقط، فهي بذلك أرق صفيحة أو قرص عرفه الوجود. ولعل هذا هو سبب تباين مشهد الحلقات في الأرصاد. ففي عام ١٦١٢ عندما رصد جاليليو اختفاء الحلقات، كان ذلك لأن الحلقات بدت للأرض من حافتها. وبسبب ميلان محور الكوكب بمقدار ٢٧° تمر فترات نرى الحلقات بشكل مواجه للأرض مباشرة.

لماذا هذه الحلقات أصلاً ؟

قام العالم الرياضي الشهير إدوارد روش Roche عام ١٨٥٠ باشتقاق علاقة رياضية. تفيد بأن لأي جسم صلب قوة جذب داخلية (نحو الداخل) تحفظ تماسكه، فإذا مر هذا الجسم المتماسك بالقرب من كوكب عملاق ذو جاذبية هائلة فإنها ستبدأ بالتأثير عليه لاصطياده. وعند حد معين (يدعى حد روش، أي على مسافة مرتين ونصف قطر الكوكب)، تصبح فيه قوة الجذب الخارجي المطبقة على هذا الجسم كبيرة مقابل قوة الجذب نحو داخله، فيتحطم إلى أشلاء تدور في مدارات منفردة حول الكوكب لتشكل حلقة.

يُشترط امتلاك الجسم حجم وكتلة محددين لينطبق عليه مثل هذا الحد. فالأجسام الصغيرة الصلبة التي قطرها أقل من ١٠٠ كلم تمر دون أن تتحطم في هذا الحد ومن الأمثلة عليه: القمر أطلس Atlas وقطره ٣٠كلم، القمر Pandora وقطره ٩٠ كلم، القمر Prometheus وقطره ١٠٠ كلم.

تدور هذه الأقمار الصغيرة ضمن حدود الحلقات. فلا نجد حول زحل قمر بالمعنى الحقيقي على بعد أقل من ١٤٤ ألف كلم. تقدر كتلة مادة هذه الحلقات بـ $١٠^{١٥}$ طن تنتشر من بعد ٧ آلاف كلم من المركز لتشكل ٩ حلقات رئيسية.



ما هو أصل هذه الحلقات؟

توجد نظريتان:

الأولى: تقول أن مادة هذه الحلقات تكفي لصنع قمر يصل قطره إلى ٢٥٠ كلم يكون قد دخل في حد روش وتحطم مكوناً هذه الحلقات.

والثانية: تستند لتقدير عمر مكونات الحلقات، فقد وجدوا أنها لابد وأن تكون من بقايا المادة المتخلفة عن تكوين الكوكب بفعل وقوعها في مدار داخل حد روش، وبفعل جاذبية الكوكب العملاق لن تستطيع التجمع ثانية وتكوين قمر. وبقيت في مدار حول الكوكب على شكل حلقة. إذاً هي قمر فشل في التكون أصلاً. ولا يزال السؤال مطروحاً.

يدور زحل على بعد ١٤٣٠ مليون كلم (٩,٥ وحدة فلكية). يقطع هذا المدار في زمن قدره ٢٩,٥ سنة أرضية. يدور ومحوره مائل بمقدار ٢٧° مما يجعل هناك تغيرات فصلية على سطحه وهو سبب تباين وضعيات رصد الحلقات كما أسلفنا سابقاً.

يقطع يومه الزحلي في ١٠ ساعات ونصف تقريباً بالمقياس الأرضي.

أما حجمه فأكبر من الأرض بـ ٩٠٠ مرة. وكتلته فتبلغ ٩٥ مرة كتلة الأرض. من هنا نستطيع حساب كثافته والغريب العجيب أنها تبلغ $\rho_{Sa} \approx 0,7\ gr/cm^3$ فهي أقل من كثافة الماء. ولذلك إذا أحضرنا مسطح مائي لهذا العملاق فإنه سيطفو عليه ويمكن تشبيهه بالكرة البلاستيكية المنفوخة بالهواء لضخامة حجمه وقلة كثافته. وبالتالي الكوكب غازي ولابد أن يتكون من أخف الغازات وهي الهيدروجين H والهيليوم He.

يبدو الكوكب لراصده مخططا عرضياً بموازاة الاستواء بخطوط ملونة. ولكنها ليست متباينة مثل خطوط المشتري، يغلب عليها اللون الأصفر والبني الشاحب. الطبقة الخارجية عبارة عن بلورات أمونيا متجمدة وهي سبب لونه المصفر. تعصف في هذه السحب رياح عاتية باتجاه الشرق مع حركة الكوكب حول نفسه وتبلغ سرعتها ١٨٠٠ كلم/ ساعة عند خط الاستواء. لكن تحصل حركة عكسية للرياح عند الأقطاب. ولم يتم رصد أعاصير ضخمة كالتي على المشتري.

يعتقد أن للكوكب قلب صلب جليدي صخري تتركز فيه بعض المواد مثل السيليكا والمعادن بقطر ١٥٠٠ كلم.

الحقل المغناطيسي لزحل:

على الرغم من أن سرعة دوران الكوكب حول نفسه شبيهة بتلك لكوكب المشتري و اليوم عليهما يقارب ١٠ ساعات، إلا أن الحقل المغناطيسي لزحل يعادل 1/20 من قوة حقل المشتري المغناطيسي. لكنه لا يزال أكبر بألف مرة من قوة حقل الأرض المغناطيسي. يعود سبب ضعف هذا الحقل مقارنة مع المشتري إلى قلة سمك الطبقة سائل الهيدروجين المعدني فيه بالمقارنة مع تلك التي على المشتري.

كوكب باعث للحرارة:

على الرغم من أن ما يصل زحل من حرارة الشمس تعادل ١ % مما يصل إلى الأرض. إلا أن الصور بالأشعة تحت الحمراء أظهرت أن الكوكب يشع حرارة مما يجعله متألقاً ولامعاً وتعادل الطاقة المنبعثة منه ١,٧٦ مرة أكثر مما يتلقى من الشمس ودرجة حرارة الغيوم 97° كلفن. ولكن زحل أصغر حجماً من المشتري لذلك فقد برد بسرعة أكبر ولا يمكن أن تكون هذه الطاقة التي يشعها هي الحرارة المخزونة فيه أثناء تكونه قبل ٤,٦ مليار سنة. إذاً لا بد من وجود مصدر آخر لهذه الطاقة. نحن نعلم أن المواد تذوب بسهولة في السوائل الساخنة أكثر من الباردة. وكذلك بارتفاع درجة الحرارة وزيادة الضغط يصبح من السهل ذوبان الهيليوم في الهيدروجين المعدني تماماً كما هو متوقع في المشترى.

لكن زحل أبرد وأدنى درجة حرارة من المشتري فلن نتوقع هنا ذوبان كامل للهيليوم في الهيدروجين المعدني. فما الذي حدث؟. توقع العلماء أن زحل ذو حرارة وضغط أقل وبالتالي فإن الهيليوم يتكاثف على شكل قطرات في الهيدروجين ولا يذوب فيه. ثم بفعل الجاذبية تبدأ بالتساقط نحو الأسفل باتجاه مركز الكوكب وكأنها مطر هيليوم، وأثناء حركته نحو المركز وبفعل الجاذبية ينضغط ويسخن وتتحول طاقته إلى حرارة يشعها باطن الكوكب مثلما يحدث عند تساقط المطر على سطح الأرض فإن طاقته الحركية المتزايدة بفعل الجاذبية تتحول إلى حرارة وهذا ما يحدث في زحل، ويتوقع العلماء عند انتهاء تساقط الهيليوم أن الكوكب سيبرد ولا تعود عليه أي حرارة إضافية سوى تلك المستمدة من الشمس. وعليه فإن تركيز الهيليوم أقل في غلاف زحل الغازي من المشتري وبالفعل فإن أرصاد فويجير أشارت إلى نسبة الهيليوم تعادل ٧% فقط.

أقمار زحل:

لكوكب زحل ٣١ قمر محدد الصفات والعديد من الأقمار الصغيرة. أغلبها جليدي وتتراوح كثافتها بين $\rho_L \approx [1,1-1,4]\ gr/cm^3$ عدا القمر تيتان.

هذه الأقمار باردة جداً حتى أن جليدها صلب كالفولاذ مما يحفظ التضاريس القديمة.

القمر تيتان Titan:
أكبر أقمار زحل على الإطلاق قطره ٥١٥٠ كلم (أصغر قليلاً من جانيميد أكبر أقمار المجموعة الشمسية) يدور على بعد ١,٢ مليون كلم عن الكوكب. جوه سميك وكثيف ويتكون من النيتروجين بنسبة ٩٠ % والباقي من الميثان. التساؤلات لاحتوائه على جو بينما عطارد الكوكب ليس له جو. وهذا الجو يتألف في معظمه من نيتروجين مثل الأرض (التي يتألف غلافها من نيتروجين في معظمه أيضاً). ولكن هذا القمر لا يحتوي على أي من الأكسجين بل يكمل تركيبه من غاز الميثان الذي يهمنا كثيراً لأنه بهذه الدرجة من الحرارة يكون موجوداً بحالاته الثلاثة: على شكل غيوم في الجو، وسائل في المحيط الذي يُتوقع أنه يغطي سطح القمر، وصلباً على شكل جليد ميثان. السؤال الكبير الذي يطرح نفسه، لماذا يحتوي تيتان على جو بينما الكوكب عطارد والقمر جانيميد الأكبر بين الأقمار لا يحتويان على جو؟
العوامل التي تحدد وجود الجو أو عدمه هما الكتلة ودرجة الحرارة، وحيث أن هذه الأجرام الثلاث تتقارب في أحجامها وكتلها فيكون الفارق بينها بسبب العامل الثاني وهو درجة الحرارة. فعطارد القريب جداً من الشمس حرارته عالية تكفي لتبخر أثقل الغازات عن سطحه ولا يمكنه الاحتفاظ بالجو بأي حال من الأحوال. أما جانيميد (قمر المشتري) الأكبر فكلا القمرين يقع بعيداً عن الشمس ولكن عامل الحرارة لا يزال هو الفارق الوحيد بينهما، فعند ولادة القمرين كان موقع تيتان بجانب زحل البارد المتجمد كاف ليتكون جليد ماء يقوم بامتصاص الميثان والأمونيا وتجميدهما فيه مقارنة مع موقع جانيميد الأدفأ والأقرب إلى العملاق والأعلى حرارة، فلم يتطور الوضع إلى أكثر من جليد ماء. وعندما دفأ لب القمر تيتان سمح للميثان والأمونيا بالتحول من جليد إلى غاز حيث قامت أشعة الشمس بتحطيم الأمونيا إلى هيدروجين انطلق في الفضاء والنيتروجين بقي معلقا في الجو مع الميثان.

٨- أورانوس:
يدور أورانوس على بعد متوسط يبلغ ٢٩٠٠٠ مليون كيلومتر، أي ما يقارب ١٩,٢ وحدة فلكية. ويحتاج إلى قرابة ٨٤ سنة حتى يتم دورة واحدة حول الشمس. وبذلك يكون قد دار في مداره حول الشمس مرتين ونصف فقط منذ اكتشافه قبل أكثر من ٢٠٠ سنة.
يدور أورانوس في مداره حول الشمس بطريقة غريبة ومنفردة عن باقي الكواكب، إذ يدور ومحوره مائل بمقدار ٩٨° أي أن محور دورانه حول نفسه يتطابق تقريباً مع مداره حول الشمس. وبهذا عندما يدور حول الشمس فإنه يواجهها بأحد قطبيه الشمالي ثم الجنوبي على التتابع وهكذا. أي أن دورانه حول نفسه لا يُسهم في تعاقب الليل والنهار، وأن طول الليل والنهار متساويان تقريباً، وكل منهما يعادل ٤٢ سنة أرضية. والغريب في الأمر أنه عندما تم قياس درجات الحرارة وجدت بأنها متقاربة تقريباً في جميع أنحاء الكوكب. وعند العلم أن الكوكب يخلو من أي مصدر داخلي للحرارة فإن موضوع تقارب درجات الحرارة السطحية على الرغم من برودته لا يزال يحير العلماء.
تبلغ درجة الحرارة السطحية حوالي ٦٠° كلفن (ما يقارب – ٢١٣° س). ويعتقد بعض العلماء أن حركة الرياح من الشرق إلى الغرب على سطحه وبسرعة تتراوح بين ٢٠٠ – ٥٠٠ كلم / ساعة هي السبب في نقل الحرارة من القطب المضيء المقابل للشمس إلى القطب المعتم البارد البعيد عن الشمس. أو لعله من تأثير حرارة الصيف الطويل حيث لم يفقد القطب حرارته بعد عندما أصبح في الجانب الآخر البعيد. رصدت فويجير – ٢ حزم من الغيوم متمركزة فوق قطبه المواجه للشمس.
تركيب الكوكب:
يبلغ قطر الكوكب ٥١ ألف كلم، (٤ أضعاف قطر الأرض تقريباً) وكتلته تعادل ١٥ ضعف كتلة الأرض، وعليه فكثافته تقارب $\rho_{Or} \approx 1,2\ gr/cm^3$ ، إذاً لا بد وأن له نواة صخرية.
يحوي الكوكب على نسبة ٦٣ % هيدروجين و ٢٣ % هليوم و ١٤ % ميثان. ولعل هذا هو السبب في لون الكوكب الأخضر المزرق. حيث يمتص الميثان ألوان الطيف الحمراء والصفراء طويلة الموجة ويعكس عن سطحه الألوان الخضراء والزرقاء الأقل طول موجة، وكلما زادت نسبة الميثان زادت درجة اللون الأزرق. من هذه المعلومات تم اقتراح نموذج لتركيب الكوكب الداخلي وهو: للكوكب نواة صخرية بحجم الأرض تقريباً وكتلتها كبيرة يحيط بها طبقة متجلدة Slushy من ماء ذائب فيه أمونيا والتي تكون متجمدة عند حرارة 60° كلفن. ويشكل الميثان الجزء الأعلى منها. تليها طبقة من غاز الهيدروجين الجزيئي والهيليوم. ولا نجد هنا أي وجود للهيدروجين المعدني بسبب قلة الضغط عليه مقارنة مع الكواكب السابقة.
حقله المغناطيسي:
كان من أكبر المفاجآت التي عرفناها عن الكوكب هو حقله المغناطيسي الغريب (القطبان على جانبي الكوكب). وهذا الحال يخالف النظرية القائلة أن اتجاه أقطاب الكوكب المغناطيسية تتطابق تقريباً مع محور دورانه حول نفسه. شدة الحقل المغناطيسي أكثر من ٥٠- ١٠٠ مرة شدة حقل الأرض المغناطيسي.

حلقات أورانوس:
يبدو أن وجود الحلقات أصبح صفة رئيسية تتصف بها الكواكب العملاقة. يحتوي أورانوس على خمس حلقات تتميز عن حلقات زحل بكونها ضيقة ورفيعة وداكنة وقليلة الانعكاسية (تعكس ٣,٢ % فقط من الأشعة الساقطة) مما يجعلها قاتمة كالفحم تصعب رؤيتها من الأرض حتى بأفضل المراقب.
أقمار أورانوس:
بعد اكتشاف الكوكب تركزت الدراسات لاكتشاف أقماره وقد قام هيرشل مكتشف الكوكب بمشاهدة أول قمرين للكوكب وهما Oberon و Titania في العام ١٧٨٧ م. يتميّز القمر أوبيرون بلونه البني ويحتوي سطحه على عدد من الفوهات تتميّز بوجود مادة داكنة في منتصفها كأنما قذفت من داخل الكوكب. على سطحه جبل ارتفاعه ٦ كلم. القمر تايتانيا أكبر من أوبيرون وأكثر كتلة وسطحه جليدي مليء بالفوهات التي لا تحتوي على أية مواد داكنة. ثم تبعه العالم Lassell عام ١٨٥١ باكتشاف قمرين آخرين هما Ariel و Ambrile. وفي عام ١٩٤٨ اكتشف العالم كويبر Kuiper القمر Miranda. وبذلك تكون هذه الخمسة أقمار المكتشفة عبر المرقب قبل رحلة فويجير الشهيرة إلى الكوكب والتي اكتشفت عشرة أقمار أخرى صغيرة عند مرورها عامي ١٩٨٥-٨٦. وقد أصبح عدد أقمار الكوكب أورانوس المكتشفة حتى عام ٢٠٠٦ هو خمسة وعشرون قمراً.

٩- نبتون:
اكتشف عام ١٧٨١ على يد ويليام هيرشل عن طريق الحسابات الرياضية وليس عن طريق الرصد. وتم التحقق من ذلك بواسطة مركبة الفضاء فويجير-٢ التي وصلت إلى الموقع المحدد عام ١٩٨٩ بعد ١٢ سنة من إطلاقها، قطعت خلالها مسافة 4,5 مليار كم، (٣٠،١ وحدة فلكية). أطلق على هذا الكوكب الغازي العملاق اسم إله البحر نبتون لزرقة لونه.
يتألف من نواة صخرية بحجم الأرض تقريباً مكونة من الحديد والسيليكات، يقع فوقها طبقة متجلدة من الماء أذابت فيها الأمونيا فشكلت طبقة متأينة تفسر وجود حقل مغناطيسي ضعيف مقارنة مع الكواكب العملاقة الأخرى، شدته تعادل شدة الحقل المغناطيسي الأرضي فقط. يعلو هذه الطبقة غلاف غازي من الهيدروجين والهيليوم، والأهم الميثان الذي يكسبه اللون الأزرق (لغاز الميثان قدرة على امتصاص ألوان الطيف الحمراء والصفراء وعكس اللونين الأخضر والأزرق).
تعصف على سطح الكوكب غيوم بيضاء مؤلفة من بلورات من جليد الميثان بسرعة هائلة تبلغ ٢٢٠٠ كلم/ساعة مما يجعلها من أنشط وأسرع الرياح على كافة الكواكب.
أشهر العواصف البقعة الداكنة العظيمة Great Dark Spot التي تدور حول الكوكب بسرعة ٣٢٥ م/ثا وحجمها يعادل حجم كرة أرضية وهي تشبه بقعة المشتري الحمراء العظيمة.
لا يمكن رؤيته بالعين المجردة لأنه من القدر ٧،٨.
لا تصله أشعة الشمس إلا بقدر 1/350 مرة مما يصل الأرض.
تحيط به أربع حلقات رقيقة.
انعكاسية سطحه عالية تصل إلى حوالي ٨٤ % من كمية الأشعة الساقطة عليه.
يشع حرارة بمقدار ٢,٧ مرة أكثر مما يصله من أشعة الشمس وحرارة سطحه تقارب –٢١٤° س (تشبه حرارة كوكب أورانوس الأقرب بحوالي مليار كلم للشمس). يعزو العلماء مصدر الحرارة إلى لحظة التشكل الأولية للكوكب.
قطره يقارب أربعة أضعاف قطر الأرض. وحجمه ٧٢ مرة حجمها. وكتلته ١٧ مرة كتلتها. وكثافته $\rho_{Ne} \approx 1,7\ gr/cm^3$ مما يجعله أكثف العمالقة الغازية.
يحتاج إلى ١٦٥ سنة أرضية ليتم دورته حول الشمس. يميل محوره ٣٠° عن العمود القائم على مستوى المدار.
للكوكب ثلاثة عشرة قمراً، أهمها تريتون Triton ونيريد Nereid

١٠- المذنبات:
المذنبات أجرام غير منتظمة الشكل، مكونة من كتل من جليد متسخ وصخور وغازات، مداراتها حول الشمس إهليلجية شديدة الاستطالة. تقسم المذنبات إلى قسمين رئيسيين:
١- مذنبات طويلة الدورة Long –period comets تستغرق أكثر من ٢٠٠ سنة.
مثل مذنب هيل - بوب Hale-Bopp الذي يتم دورة واحدة كل ٢٤٠٠ سنة.
٢- مذنبات قصيرة الدورة Short-period comets تستغرق أقل من ٢٠٠ سنة.
مثل مذنب هالي Halley الذي يتم دورة واحدة كل ٧٦ سنة.

للمذنب أكثر من ذيل
الذيل الأيوني (الغازي): Plasma Tail
يتكون من غازات مؤينة والكترونات، لونه يميل إلى الأزرق بسبب تأين أول أكسيد الكربون الذي يعطي اللون الأزرق الحاد، ويمتد بشكل مستقيم إلى مسافات كبيرة جداً (تقارب الوحدة الفلكية)، باتجاه معاكس للشمس.
الذيل الغباري: Dust tail
يتكون من حبيبات من الغبار خلف المذنب، تكنسها الرياح الشمسية بعيداً عن المدار، لونه يميل إلى البياض أو الصفرة. يتميّز بكونه أعرض وأقصر من الأيوني لأن جسيمات الغبار أثقل من الغاز المتأين، وينحرف عنه على شكل قوس.
تنتهي حبيبات الغبار بالسقوط على الكواكب عند عبورها بالقرب من المدار على شكل زخات من الشهب.