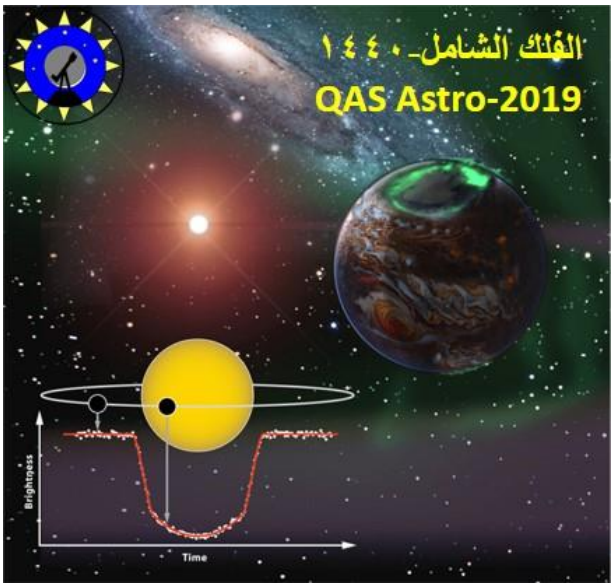
أساسيات علم الفلك

المستوى-٢

(الجزء الأول)



د. أنور آل محمد

رجب-١٤٤١هـ

جمعية الفلك بالقطيف

www.qasweb.org

© **حقوق الطباعة:** يمكن طباعة المذكرة والاستفادة منها في تعليم ونشر المعرفة الفلكية في البرامج غير الربحية من دون تغيير في محتوى جميع الصفحات. وعند وجود أي ملاحظة يرجى التواصل مع المؤلف على البريد الالكتروني: anwar.qas.ut@gmail.com

المحتويات

الدرس	صفحة
الأول: الرياضيات الفلكية (Math for Astronomy)	3
الثاني: مقدمة للكونيات (Cosmology)	7
الثالث: مقدمة في الهندسة الكروية (Spherical Geometry)	13
الرابع: تحديد مواقع الأجرام الفلكية (Location of Celestial Objects)	19
الخامس: التوقيت الفلكي (Astronomical Timing)	24
السادس: أهم مصادر أخطاء تحديد مواقع الأجرام الفلكية (Parallax)	30
السابع: حساب موقع ووقت شروق وغروب الشمس وأوقات الصلوات (Prayer Times Calculation)	33
الثامن: القمر ونشأته وأهم خصائصه ووقت شروقه وغروبه	الجزء الثاني
التاسع: النجوم والمجرات نشأتها وأهم خصائصها	الجزء الثاني
العاشر: المجموعة الشمسية ونشأتها وأهم خصائصها	الجزء الثاني
الحادي عشر: حساب أوقات ظهور وشروق وغروب الكواكب	الجزء الثاني
الحادي عشر: مبادئ وعناصر المناخ والطقس على سطح الأرض	الجزء الثاني

أهم الأدوات المستخدمة

١- أوراق وقلم.

٢- آلة حاسبة علمية.

٣- جهاز حاسب محمول (يفضل)

الدرس الأول

الرياضيات الفلكية (Math for Astronomy)

لدراسة بعض الحسابات الفلكية، يحتاج الدارس إلى الالمام ببعض المفاهيم والعمليات الرياضية الجبرية والهندسية والاحصائية. ويمكن تلخيص تلك العمليات على النحو التالي:

١ – العمليات الجبرية

وتشمل تلك العمليات الجبرية والأعداد العشرية (الفواصل) والأسية وكذلك حل المعادلات الرياضية من الدرجة الأولى والثانية والمعادلات الأسية واللوغارتمية. ومن أمثلتها:

أ- **الجمع والطرح والضرب والقسمة:** حيث يقدم الضرب والقسمة على الجمع والطرح إلا إذا كانت العمليات محصورة بأقواس. فيتم إجراء عملية القوس الداخلي قبل الخارجي.

مثال:

$$11 - 6 \div 2 + (4 + 2) \times (7 - 5) = 11 - 3 + 6 \times 2 = 20$$

تدريب:

$$\Big(13 - 60 \div \big((4 \times 2) + (3 \times 4)\big)\Big) \times 2 =$$

ب- **حل معادلات الدرجة الأولى والثانية:** حيث تحتوي في العادة عدة متغيرات أعلى أس فيها هو الواحد أو الاثنين، والمجهول فيها مجهول واحد لكل معادلة مستقلة.

مثال١: معادلة الانزياح الأحمر للأجرام الفلكية تحتوي ثلاثة متغيرات

$$z = \frac{\lambda_r - \lambda_i}{\lambda_i} = \frac{\lambda_r}{\lambda_i} - \frac{\lambda_i}{\lambda_i} = \frac{\lambda_r}{\lambda_i} - 1$$

إيجاد λ_r بالنسبة لباقي المتغيرات

$$z = \frac{\lambda_r}{\lambda_i} - 1$$
$$z\lambda_i + \lambda_i = \lambda_r$$

مثال٢: من معادلة الاستضاءة الظاهرية F بالنسبة لإضاءة المصدر الضوئي الفعلية L

$$F = \frac{L}{4\pi r^2}$$

إيجاد r بالنسبة لباقي المتغيرات

$$r = \sqrt{\frac{L}{4\pi F}}$$

ت- **حل المعادلات الأسية أو اللوغارتمية:** حيث تحتوي في العادة على عدة متغيرات بعضها أسي أو لوغارتمي.

مثال١: **النسبة بين الإضاءة الظاهرية لجرمين فلكيين** $F_1.F_2$ وبين التغير في قدرهما $\Delta m = m_1 - m_2$

$$\frac{F_2}{F_1} = 100^{\frac{\Delta m}{5}}$$

إيجاد Δm بالنسبة لباقي المتغيرات، بأخذ اللوغارتم للطرفين.

$$\log_{10}(\frac{F_2}{F_1}) = \log_{10}(100^{\frac{\Delta m}{5}}) = \frac{\Delta m}{5}\log_{10}(100) = \frac{\Delta m}{5} \times 2$$

إذن:

$$\Delta m = \frac{5}{2}\log_{10}(\frac{F_2}{F_1})$$

٢- العمليات الجبرية في المصفوفات

والمصفوفات هي سلاسل من صفوف وأعمدة تحتوي على قيم عددها يساوي القيم غير الصفرية من عدد الصفوف مضروب في عدد الأعمدة. وعمليات المصفوفات مفيدة عند التعامل مع قيم وسلاسل كبيرة من البيانات. كذلك هي مفيدة عند التعامل مع الأبعاد الهندسية التي تزيد على ثلاثة. مثل التعامل مع الزمكان في الفيزياء النسبية. وسيتم الاقتصار كتابة مثال للمصفوفة دون الدخول في تفاصيل العمليات الجبرية للمصفوفات.

مثال: مصفوفة المصطرة المترية للزمكان $(g_{\mu v})$ يمكن كتابتها للكون المتجانس والمتشابه كالتالي:

$$g_{\mu v} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{1-kr^2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r^2\sin^2\theta \end{bmatrix}$$

٣- الهندسة المستوية (الإقليدية)

وهي الهندسة على سطح مستوي. ويمكن الاستفادة منها في تعريف أهم المفاهيم والدوال الهندسية. وهذه القيم يتم استخدامها لاحقا في الهندسة الكروية التي سيتم دراستها في درس مستقل. وسيتم الاقتصار على دراسة الخط المستقيم ودوال المثلث قائم الزاوية بالإضافة إلى تطابق المثلثات.

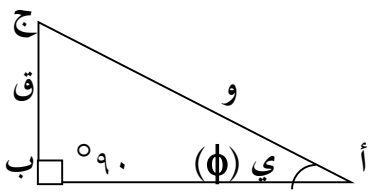
الخط المستقيم هو أقرب مسافة بين نقطتين في الهندسة المستوية.

الخطوط المتوازية في الهندسة المستوية لا تتقاطع.

يمكن تطبيق الهندسة المستوية بدقة مناسبة في المناطق المتجاورة أو التي تحدها قليل جداً.

الدوال المثلثية

إذا كان أ ب ج مثلث قائم الزاوية في ب، فإن:



حسب نظرية فيثاغورث:

$و^{٢} = ق^{٢} + ر^{٢}$

و=وتر المثلث قائم الزاوية، **ق**=مقابل الزاوية **ي** (ϕ) ، **ر**=مجاور الزاوية **ي** (ϕ)

والدوال المثلثية يمكن تعريفها كالتالي:

$$\text{جاي}(\sin\phi) = \frac{ق}{و} \iff \text{ي}(\phi) = \text{جا}^{-١}(\frac{ق}{و}) = \sin^{-1}(\frac{ق}{و})$$

$$\text{جتاي}(\cos\phi) = \frac{ر}{و} \iff \text{ي}(\phi) = \text{جتا}^{-١}(\frac{ر}{و}) = \cos^{-1}(\frac{ر}{و})$$

$$\text{ظاي}(\tan\phi) = \frac{ق}{ر} \iff \text{ي}(\phi) = \text{ظا}^{-١}(\frac{ق}{ر}) = \tan^{-1}(\frac{ق}{ر})$$

حيث: **جا^{٢}ي + جتا^{٢}ي = ١**

مجموع زوايا المثلث المستوي **أ + ب + ج = ١٨٠** درجة

٤- الإحصاء في الفلك

يمكن القول إن الإحصاء بجميع فروعه ومستوياته البسيطة والمعقدة تستخدم في علم الفلك بجميع فروعه. سواءً الإحصاء المبني على نظرية التكرار المجرد (Frequent) أو المبني على التكرار السببي أو المعروفة بإحصاء بايس (Bayesian).

ولكن في أساسيات علم الفلك يمكن الاقتصار على بعض المبادئ البسيطة من الإحصاء. **مثل المتوسط الحسابي والانحراف المعياري وحساب نسبة الخطأ أو نسبة الفرق**. كل تلك القيم تساعد في تحليل القيم والبيانات الفلكية وبالتالي الوصول إلى نتائج أدق. كما تساعد تلك القيم في استبعاد البيانات الشاذة أو الحد من تأثيرها على النتيجة الكلية.

المتوسط الحسابي (mean x_m): هي القيمة المتوسطة لعدة قيم أو نتائج. وتساوي مجموع القيم مقسوم على عددها (N). وهي مفيدة للحصول على القيم القريبة من القيم المقبولة. وذلك بزيادة عدد التجارب أو الرصد ثم إيجاد المتوسط.

$$x_m = \frac{\sum_i x_i}{N}$$

وإذا كانت القيم متغيرة بشكل منتظم فإن المتوسط يمكن حسابه بجمع القيمة الابتدائية والنهائية ومن ثم قسمتهم على 2.

$$x_m = \frac{x_2 + x_1}{2}$$

الانحراف المعياري (s): هي القيمة التي توضح مدى انحراف النتائج. وهي مفيدة لمعرفة مدى تقارب النتائج من بعضها أو انحرافها عن بعض. وهي توضح مدى دقة. ويمكن إيجاده على النحو التالي،

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_i (x_i - x_m)^2}$$

نسبة الخطأ (***%Error***): النسبة التي توضح الفرق القيمة المقاسة x_m والقيمة الفعلية أو المقبولة x_a. وهي توضح مدى ضبط النتائج ومصداقيتها. ويمكن إيجادها كالتالي،

$$\%Error = \left|\frac{x_m - x_a}{x_a}\right| \times 100$$

نسبة الفرق (***%Dif***): نسبة الفرق بين قيمتين تجريبيتين x_1 و x_2 وهي توضح الفرق النسبي بين أي قيمتين مقاستين. ويمكن إيجادها كالتالي،

$$\%Error = \left|\frac{x_2 - x_1}{x_m}\right| \times 100$$

حيث x_m تمثل القيمة المتوسطة بين x_1 و x_2 وتساوي مجموعهما مقسوم على 2 كما في العلاقة السابقة.

ويمكن تقييم دقة وضبط النتائج من خلال حساب القيم أعلاه. وكلما كانت قليلة كانت النتائج والرصد أدق وأضبط وأكثر مصداقية.

مراجع إضافية يمكن الرجوع لها:

١- **Math for Astronomy Review**:
http://physics.wm.edu/~labs/astro/177_pdf/ch3.pdf

٢- **Basic Mathematics-Astronomy:**
http://astronomyonline.org/Science/Algebra.asp?Cate=Science&SubCate=MP03&SubCate2=MP0301

٣- **Mathematics/Astronomy-Wikiversity**:
https://en.wikiversity.org/wiki/Mathematics/Astronomy

الدرس الثانـي

مقدمة للكونيات (Cosmology)

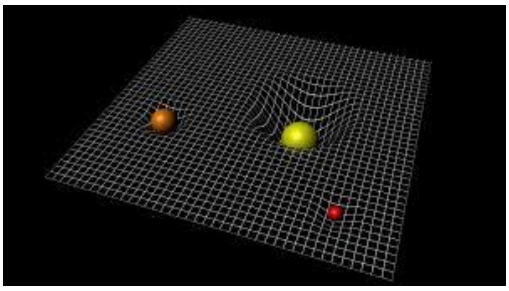
علم الكونيات (Cosmology): هو دراسة نشأة الكون وهيئته الحالية وكيفية تطور مراحله ووضع نظريات لمستقبله. ويمكن اعتباره دراسة علمية للكون ببعده الواسع وليس ببعده الصغير والمحلي الذي يدرسه علم الفلك. إذ يتراوح البعد الكوني الحالي الذي يتناوله هذا العلم أكبر من $١٠^{٨}$ سنة ضوئية.

نشأة الكون وهيئته: بعيدا عن التطور التاريخي لهذا العلم والذي نشأ منذ أن وضع الإنسان أول تصور ونموذج لهيئة الكون. والذي كان يعتقد أنه نموذجا علمياً مبنياً عن رصده البدائي لأجزاء هذا الكون التي كان يستطيع مشاهدتها بعينه. ولكن مع استخدام وسائل رصد أقوى من العين البشرية كالمناظير، ومع بداية القرن العشرين واكتشاف النظريات العلمية الحديثة والتي كان من أهمها اكتشاف النظرية النسبية الخاصة والعامة (١٩٠٥، ١٩١٥م) علي يد العالم الفيزيائي إينشتاين. حيث حددت تلك النظرية العلاقة بين الزمان والمكان (الزمكان) وباقي الكميات الفيزيائية، وأدت إلى تغير النظرة التقليدية (الساكنة) لهما إلى كونهما متحركين وقابلين للتمدد والانكماش. كما ويمكن أن يكونا منحنيين وليس بالضرورة مسطحين شكل (١-١) بحسب الكتلة الموجودة. وحسب تلك النظرية فإن الخصائص الديناميكية لأي زمكان يمكن التعرف عليها من خلال المسطرة المترية للزمكان $(g_{\mu\nu})$. حسب معادلة أينشتاين وفق العلاقة التالية:

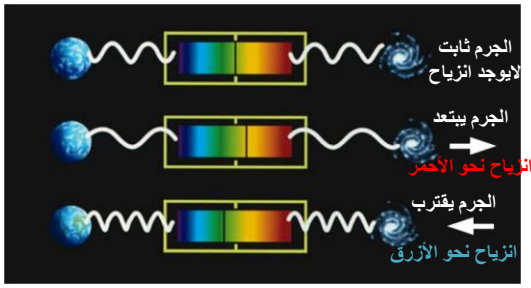
$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R + g_{\mu\nu}\Lambda = -\frac{1}{M_{\mathrm{Pl}}} T_{\mu\nu}, \qquad (1.1)$$

حيث أن القيم $R_{\mu\nu};\ R;\ \Lambda;\ T_{\mu\nu}$، يتم تحديدها بحسب طبيعة الزمكان أو بحسب الرصد. ثم ما صاحب ذلك من تطور وسائل الرصد الفلكية. فقد وضع الإنسان نموذجا كونيا علمياً ليس فقط لهيئة الكون وإنما لبداية وتطور وهيئة ومن ثم مستقبل هذا الكون. ويقوم ذلك النموذج على نتائج تطبيق النظرية النسبية العامة على هذا الكون. حيث قام بذلك اينشتاين (١٩١٧م) نفسه في بداية الأمر ووصل إلى نتيجة مفادها أن الكون يتمدد. ومع تعارض تلك النتيجة مع ما كان سائداً في حينه من أن الكون ساكن ومستقر، فقد أضاف لمعادلة الحركة التي وضعها ثابتا أسماه بالثابت الكوني Λ لكي يلغي ذلك التمدد.

ولكن مع إثبات علماء آخرين (فريدمان، ويلي، لوميتر-١٩٢٢) لتمدد الكون اعتماداً على نفس مبادئ النسبية العامة. وما تلا ذلك من رصد ذلك التمدد (سليفر، هابل-١٩٢٩) بواسطة المناظير الضخمة. حيث وضع هابل قانونه الشهير الذي ينص على أن سرعة ابتعاد المجرات يتناسب طردياً مع بعد المجرة أي أن سرعة الابتعاد تساوي المسافة مضروبة في ثابت هابل $(v = H\ d)$. وذلك اعتماداً على ظاهرة إنزياح طيف المجرات البعيدة المتباعدة نحو اللون الأحمر (redshift) بسبب ابتعادها، شكل (١-٢). كما أن المجرات المقتربة سينزاح طيف عناصرها نحو اللون الأزرق (blueshift). لذلك فقد قام اينشتاين بحذف ذلك الثابت واعتبر ما قام به من إضافة ذلك الثابت بأكبر خطأ في حياته. وأدت تلك الاكتشافات المتلاحقة إلى وضع فرضية علمية لنشأة الكون قائمة على نظرية الانفجار العظيم أو البيضة الكونية (big bang). والتي اقترحت في العام ١٩٢٧م من قبل العالم جورج لوميتر.



شكل (١-١)



شكل (١-٢)

ويمكن تعريف الانزياح (z) على أنه التغير في الطول الموجي بين الموجة المرصودة λ_r والموجة الأصلية λ_i مقسومة على الطول الموجي للموجة الأصلية λ_i . وبما أن الكون يتمدد بمعامل التمدد الكوني $a(t)$ فإن $(\lambda_r = a(t)\,\lambda_i)$. لذلك فإن الإنزياح يمكن كتابته على النحو التالي:

$$z = \frac{\lambda_r - \lambda_i}{\lambda_i} = a(t) - 1, \qquad (1.2)$$

وهو موجب للانزياح الأحمر وسالب للأزرق.

وقد مهّدت معادلة أينشتاين إلى وضع العلاقة العامة للمسطرة المترية لزمكان الكون بأبعاده الكونية g_{RW} على يد العالمين روبرتسون و وكر (١٩٣٥م). ومن تلك العلاقة يمكن استنتاج مبادئ الكونيات العامة: وهي أنه **لا توجد نقطة مميزة في هذا الكون**. وأن الكون المحسوس هو كون **متجانس** (homogenous) **ولا يختلف باختلاف الجهة التي يراقب منها** (isotropic). والصيغة الرياضية لتلك العلاقة هي:

$$ds^2 = g_{\mu\nu}dx^\mu\,dx^\nu = -dt^2 + a^2(t)\left(\frac{dr^2}{1-kr^2} + r^2d\theta^2 + r^2sin^2\theta d\phi^2\right), \quad \begin{cases} k = 0; & \text{الكون المستوي} \\ k < 0; & \text{الكون المفتوح} \\ k > 0; & \text{الكون المغلق} \end{cases} \qquad (1.3)$$

حيث يعتبر $a(t)$ معامل التضخم الكوني للأبعاد الكونية، وحسب ذلك النموذج توجد ثلاثة حلول بحسب اختلاف معامل انحناء الزمكان الكوني: k . فيمكن أن يكون **مستوي** (k=0) أو **مغلق** (k>0) أو **مفتوح** (k<0). وأما المحدد للنموذج الكوني ونوع انحناء الكون فهو نسب كميات الطاقة والمادة في هذا الكون والتي يحددها المعاملات الكونية (Cosmological Parameters) والتي يتم تحديد قيمها من خلال أدوات الرصد الكونية الأرضية والفضائية المختلفة. ولعل من أهم وأدق تلك الأدوات هي المسابير الفضائية الكونية هو (Cobe :1989-1993) و (WMAP : 2001-2010) وأكثرها دقة (Planck :2009-2013). ويمكن تلخيص تلك القيم والمعاملات في ست كميات. حتى أن علم الكونيات أطلق عليه البعض علم الست معاملات (six parameters). ويمكن تلخيص تلك القيم حسب نتائج رصد المسبار بلانك للعام ٢٠١٥م:

	Description (وصف)	Symbol (رمز)	Value(قيمة)
Indepen-dent para-meters	Physical baryon density parameter	$\Omega_b h^2$	0.02230±0.00014
	Physical dark matter density parameter	$\Omega_c h^2$	0.1188±0.0010
	Age of the universe	t_0	13.799±0.021 × 10^9 years
	Scalar spectral index	n_s	0.9667±0.0040
	Curvature fluctuation amplitude, k_0 = 0.002 Mpc^{-1}	k	2.441+0.088−0.092×10^{-9}
	Reionization optical depth	τ	0.066±0.012

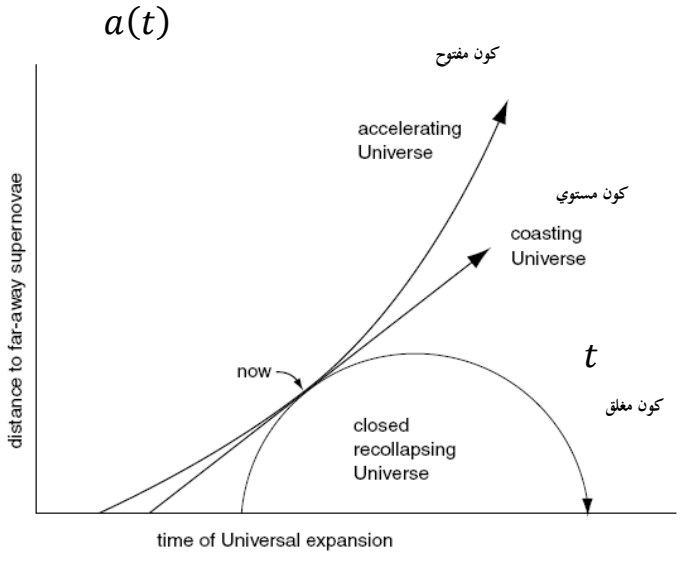
وعند تعويض المعادلة (1.3) في (1.1) وحلها بالنسبة للكون المتجانس فإن النتيجة تصبح معادلتي فريدمان (1917م) واللتان تعتبران أهم معادلتين في علوم الكونيات الحديثة:

$$\dot{a}^{\,2} = \frac{\rho a^2}{3{M_{\rm Pl}}^2} - k + \frac{\Lambda a^2}{3}, \tag{1.3}$$

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{1}{6\,{M_{\rm Pl}}^2}(\rho + 3p) + \frac{\Lambda}{3}\,, \tag{1.4}$$

حيث أن ρ تمثل كثافة الكتلة والطاقة الكونية و p هو الضغط الناتج عن المادة الكونية. أما $M_{\rm Pl}$ فهي كتلة بلانك وتساوي $M_{\rm Pl} \approx 4.341 \times 10^{-9} Kg$. ومن خلال تلكما المعادلتين يمكن تعريف الكثافة الحرجة للكون $\rho_c = \frac{3H^2}{8\pi G}$ وهي قيمة تعتمد على معدل التمدد الكوني H والذي يتم إيجاده من المعاملات الستة أعلاه القائمة على عمليات الرصد الكوني. ويمكن القول أن أن كثافة الكون إذا كانت أكبر من ρ_c فإن الكون ينكمش بعد تمدده وهو الكون المغلق (closed universe) حيث تتغلب فيها قوة الجذب على قوة التمدد فينكمش ليعود لنفس النقطة فيحدث ما يسمى بالانكماش العظيم (big crunch). وأما إذا كانت أقل من ρ_c فإنه سيتمدد من دون توقف، ليشكل كون مفتوح يتمدد متسارعاً باستمرار من دون انكماش (open universe). وأما إذا كانت الكثافة مساوية للكثافة الحرجة ρ_c فإن الكون تتوقف سرعة تمدده عند مقدار ثابت وهو ما يعرف بالكون المستوي (flat universe)، الشكل (١-٣).

ومع أن أثر الثابت الكوني Λ الذي في معادلة أينشتاين (1.1) مهملا في اللحظات الأولى من تشكل الكون، لأن قوة الانفجار تتجاوز بنسبة كبيرة جدا الأثر الانفجاري والمعاكس للجاذبية الناشيء عن الثابت الكوني. ولكن مع تلاشي قوة الانفجار والقوة الكهرومغناطيسية الطاردة فإن القوة الجاذبية قدد تتغلب على تلك القوى وهنا يأتي دور الثابت الكوني أو ما يعرف بالطاقة المهملة أو المظلمة. وقد ظل الثابت الكوني الذي أضافه اينشتاين مهملاً مع وجوده في تلك العلاقة العامة حتى بداية الستينات من القرن الماضي. حيث تم اكتشاف أشباه النجوم (كوازارات- quasi-stellar objects QSO) البعيدة جداً. وقد وجد أن انزياح طيفها نحو الأحمر كبير بحيث يصعب معه تطبيق تلك الصيغة العامة للزمكان مع إهمال ذلك الثابت الكوني Λ . وقد أثار ذلك الاكتشاف الأسئلة حول هيئة الكون ومستقبله.

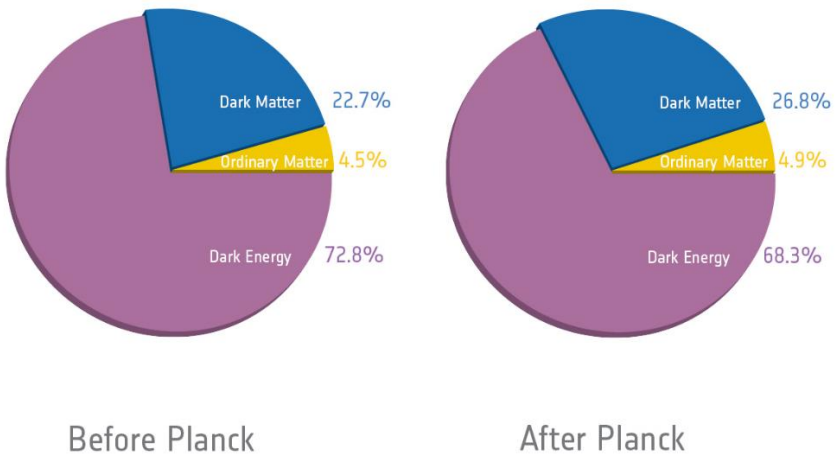


شكل(١-٣)

ومع رصد الإشعاع الكوني الأحفوري (**cosmic microwave background-CMB**) والذي يرصد متجانسا في جميع الجهات وذلك في العام ١٩٦٤م على يد العالمين بزيس و ويلسون فقد تعززت نظرية الانفجار العظيم بدلالة أخرى غير التمدد الكوني. إذ أن درجة حرارة ذلك الاشعاع جائت متوافقة مع تلك النظرية لتدل على أن تلك الاشعاعات هي بقايا ذلك الانفجار. كما أن الدلالة الثالثة على تلك النظرية هي في نسب العناصر الخفيفة والتي تم رصدها في البعد الكوني الكبير، حيث لايملك الانسان لحد الآن تفسيرا لتلك النسب سوى تلك النظرية.

وفي العام ١٩٩٨م تم اكتشاف ما يمكن اعتباره دليلاً على وجود الطاقة المظلمة باستخدام الانفجارات النجمية التي تحدث في المجرات البعيدة. وهي طاقة طبيعتها غير محددة ولكنها تؤدي إلى زيادة تسارع التمدد الكوني مما عزز تلك الأسئلة التي أثيرت حول الكون المغلق كما زاد من أهمية وجود الثابت الكوني الذي أضافه اينشتاين ثم حذفه. كذلك مع تطور وسائل رصد الأجرام البعيدة وخصوصاً الانفجارات النجمية التي تحدث في المجرات البعيدة فقد تم تعديل قيمة ثابت هابل. وقد عززت تلك النتائج صحة النموذج الكوني القياسي المعروف بـ ΛCDM . وهو اختصار لمكونات الكون القياسية. وهي الطاقة المظلمة (Λ -Dark Energy) والمادة المظلمة الباردة (Cold Dark Matter).

وفي العام ٢٠٠١م فقد تم إطلاق المسبار WMAP لرصد المناطق غير المتجانسة في هذا الكون. ومن ثم ليوفر معلومات حول تمدد الكون. وجاءت استكمالاً لمشروع COBE لرصد عدم التجانس في درجة حرارة أجزاء الكون. وقد جاءت نتائج رصد WMAP لتوضح أن الكون بين المستوي والمفتوح. وقد أدت تلك النتائج إلى تعديل قيمة معامل هابل الكوني H من قيمة ٥٠ كلم/ثانية.ميغافرسخ إلى تقريباً ٧٣ كلم/ثانية.ميغافرسخ. والفرسخ الفلكي يساوي ٣×١٠ ١٣ كلم. ولعل من أدق المراصد الكونية وأكثرها انجازاً، هو المسبار الفضائي بلانك (Planck) الذي تم إطلاقه في العام ٢٠٠٩م واستمر حتى العام ٢٠١٣م. حيث تمكن من رصد وتحديد المعاملات الكونية المختلفة واستطاع أن يحدد بشكل أدق عمر الكون المحسوس القائم على نظرية الانفجار الكبير فكانت نتائجه رصيداً يضاف إلى النموذج الكوني القياسي (ΛCDM). وحسب نتائج المسبار بلانك فإن معامل هابل الحالي يساوي تقريبا (H_0 = (67.4±0.5) (km/s)/Mpc) . وحدد عمر الكون بمقدار (t_0=13.799 ± 0.021×10^9 y). وقد حدد بشكل أدق عناصر الكون الأساسية ونسبها، كما في الشكل (١-٤). الجدير بالذكر أن نتائج تلك المسابير الكونية والتي تم نشرها عبر المئات من الأوراق العلمية هي مفتوحة للباحثين. كما أن كل مسبار يعمل على تحليل نتائجه الأساسية المئات من المختصين من مختلف مناطق العالم.

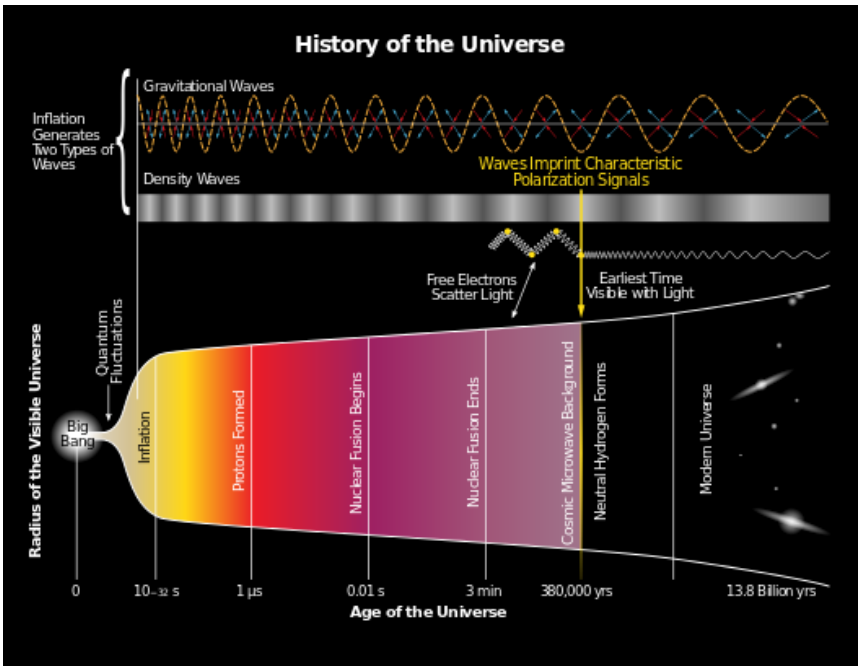


الشكل (١-٤): عناصر الكون الأساسية قبل وبعد نتائج المسبار بلانك

وما تزال تلك النتائج موضع نقاش وجدل عند المهتمين. حيث مازال بعض المختصين يطرح إمكانية النموذج المغلق على افتراض أن الكون أكبر بكثير مما يطرح. وأنه قد يكون تمدد في مراحله الأولى أكثر مما كان يتوقع وبالتالي فإن الكون الفسيح جداً من الصعب رصد انحنائه. ويشبهون ذلك بصعوبة الإحساس بتكور الأرض لوكانت بحجم المجرة أو أكبر.

وبالنظر إلى نشأة الكون فجميع تلك النماذج تجمع على بداية الكون من نقطة أو لحظة واحدة الانفجار الكبير (Big Bang) (ما عدا بعض النماذج القديمة القائمة على أزلية الكون والتي أصبحت مهملة حالياً). كما أن تلك النقطة كانت تحتوي المادة الأساس لهذا الكون.

ولكن ظلت تلك النظرية تعاني من بعض الاشكالات الأساسية المتعلقة بإمكانية تجانس وتسطح أجزاء هذا الكون في مختلف المراحل بالرغم من التباعد الكبير الذي لايمكن الاتصال بين أجزائه حتى بسرعة الضوء في عمر الكون المرصود. وقد تم حل تلك المشاكل الأساسية بنظرية التضخم الكوني (Cosmic Inflation) في العام ١٩٨١م على يد العالم ألن جوث. وحسب تلك النظرية فإن الكون مر في حالة تضخم كوني كبير جدا بعد الانفجار مباشرة (10^{-34}s) بحيث تمدد الزمكان بسرعة أكبر بكثير من الضوء وهو الذي أدى إلى حدوث التسطح والتجانس بين أجزاء الكون في مختلف مراحل تطور الكون، انظر الشكل (١-٥). لذلك فإن قطر الكون أكبر من 93×10^9 ly.



الشكل (١-٥): عناصر الكون الأساسية قبل وبعد المسبار بلانك

وفي اللحظات التي تلت التضخم فقد تشكلت مواد بسيطة جدا (كواركات ونيوترينوات وفوتونات وإلكترونات ثم البروتونات والنيوترونات) وظل الكون معتما بسبب تفاعل الفوتونات مع الالكترونات حتى تشكلت العناصر البسيطة فتم ربط الالكترونات بالأنوية البدائية المتشكلة (recombination) مما وفر الفرصة للفوتونات من الافلات بعد ثلاثمائة ألف سنة تقريباً (z=1100) من الانفجار الكبير. وتلك هي اللحظة التي تكونت فيها CMB. وبعد ذلك تكونت العناصر البسيطة مثل الهيدروجين والهيليوم وربما الليثيوم. وقد شكلت أبسط الذرات (الهيدروجين) النواة الأساسية للنجوم والتي فيما بعد تجمعت لتشكل

المجرات. كما أن قوة الجاذبية عملت على تجميع بعض المجرات مع بعضها ليتشكل ما يعرف بأكداس المجرات ثم الكون المحسوس. ويتم التعرف على المواد البسيطة باستخدام المعجلات الأرضية ذات الطاقة الهائلة. ويمكن اعتبار الكواركات التي تشكل البروتونات والنيوترونات من أبسط تلك المواد المعروفة لحد الآن حسب النظرية الأساسية للجسيمات. كما أن أحد أهم الجسيمات الأساسية والتي تعتبر أساس المادة المحسوسة هو جسيم هجز بوسون (Higgs boson) والتي تم تأكيد وجوده مخبريا في يوليو ٢٠١٢م.

وأما في الجانب النظري فإن العلماء منهمكون في وضع أسس ما يعرف بنظرية الجاذبية الكمية والتي يأمل العلماء من خلالها أن يتم التأليف بين النظرية النسبية ونظرية الكم في نظرية واحدة. والتي تعبر نظرية الأوتار الفائقة (superstrings) إحداها. حيث تقوم فكرة تلك النظرية على فهم المادة الأساس والتي يمكن من خلالها تفسير وليس وصف أجزاء الكون الصغيرة والكبيرة.

مراجع إضافية يمكن الرجوع لها:

١- **Introduction to Cosmology**:
http://carina.fcaglp.unlp.edu.ar/extragalactica/Bibliografia/Ryden_IntroCosmo.pdf

٢- **An Introduction To Modern Cosmology:**
http://poincare.matf.bg.ac.rs/~zarkom/Book_Astro__Liddle_Introduction_to_Modern_Cosmology.pdf

٣- **Introduction to Cosmology (in 5 lectures)**:
http://icc.ub.edu/~liciaverde/CERNCosmo1.pdf

٤- **Statistical Methods for Astronomy**:
http://personal.psu.edu/gjb6/mypdfpap/2013SpringerPlanets.pdf

الدرس الثالث

مقدمة في الهندسة الكروية (Spherical Geometry)

أهداف الدرس:

١- التعرف بشكل أدق على الكرة الأرضية والسماوية وأجزائها.

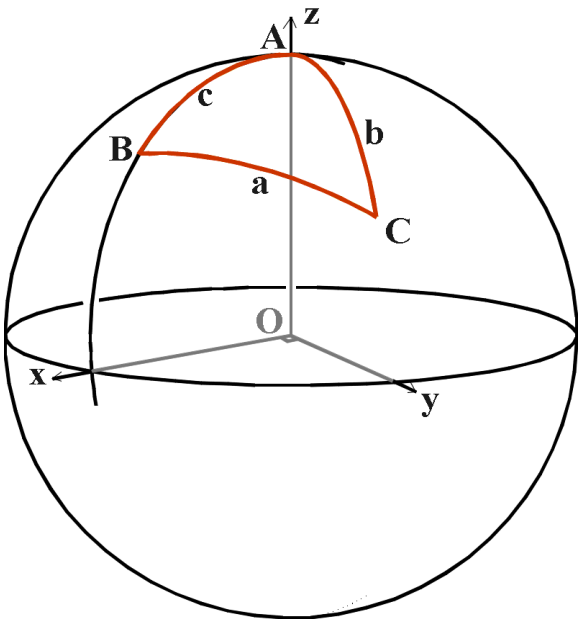
٢- إعطاء فكرة موجزة حول الهندسة الكروية التي تعتبر أداة تحديد المواقع الفلكية.

٣- تطبيق الهندسة الكروية على المواقع الجغرافية وكيفية تحديد اتجاه القبلة.

الهندسة الكروية (غير الإقليدية/غير المستوية)

أقرب مسافة بين نقطتين على سطح الكرة هو خط الدائرة العظمى التي تمر فيهما.

إذا كان (ABC) مثلث ناشيء من تقاطع ثلاث دوائر عظمى على سطح كرة نصف قطرها يساوي واحد فإن العلاقة بين زوايا رؤوس المثلث ABC والزواية التي تصنعها أضلاع المثلث الكروي (abc):



حسب قاعدة الجيب sin:

sin(a)/sin(A) = sin(b)/sin(B) = sin(c)/sin(C)

وحسب قاعدة جيب التمام cos :

cos(a) = cos(b) cos(c) + sin(b) sin(c) cos(A)
cos(b) = cos(c) cos(a) + sin(c) sin(a) cos(B)
cos(c) = cos(a) cos(b) + sin(a) sin(b) cos(C)

حيث A, B, C تمثل كل منهم زاوية رأس المثلث الكروي.

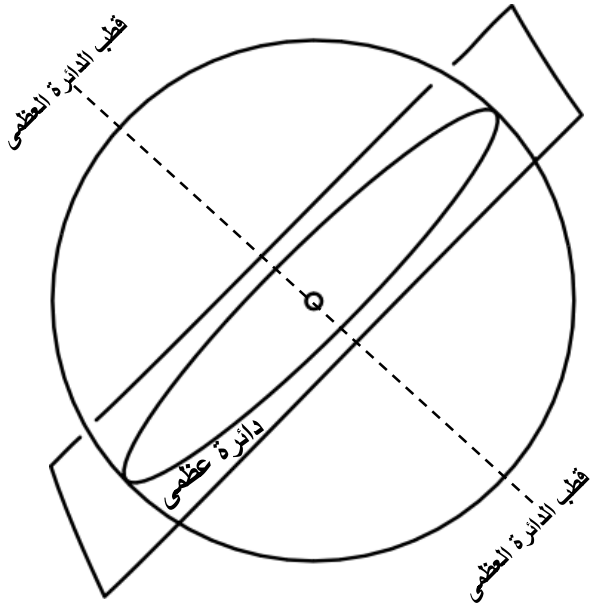
a, b, c تمثل كل منهم طول ضلع المثلث، وتكون كل واحد منهم دائما أقل من ١٨٠ درجة.

مجموع زوايا المثلث الكروي A+B+C أكبر من ١٨٠ درجة.

الكرة الأرضية:

الدائرة العظمى: هي الدائرة الناتجة عن تقاطع المستوى الذي يمر في مركز الكرة بسطح الكرة.

قوس الدائرة العظمى: هو القوس التي تصنعه الدائرة العظمى بين نقطتين على سطح الكرة.



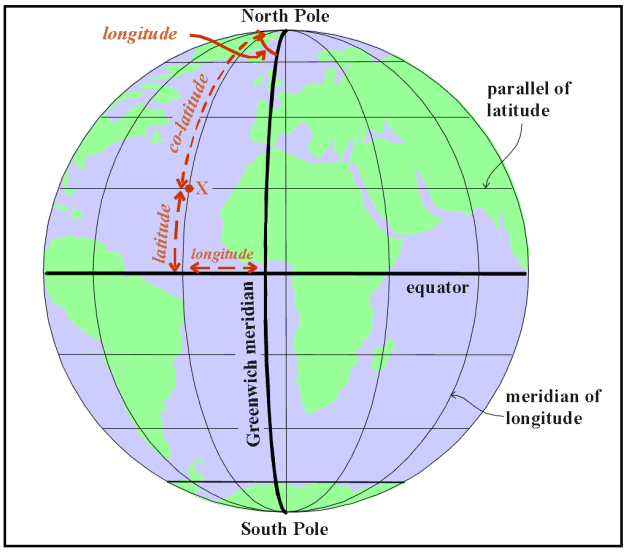
الشكل (٢-١): الدائرة العظمى تنتج عن تقاطع المستوى الذي يمر في مركز الكرة بسطح الكرة

أغلب الدوائر الأرضية الاصطلاحية الموجودة على الكرة الأرضية تعتبر دوائر عظمى (دائرة الاستواء، جرينتش، خط الطول الذي يمر في المنطقة الجغرافية)

س: هل تعتبر دائرة العرض (parallel of latitude) التي تمر في المنطقة الجغرافية دائرة عظمى ولماذا؟

لكل دائرة عظمى يوجد قطبين يكون الخط الواصل بينهما عمودياً على مستوى الدائرة العظمى ويمر في مركز الدائرة. وقطبي دائرة الاستواء هما القطبين الجغرافيين الشمالي والجنوبي.

الميل البحري (العقدة) هو قوس الدائرة العظمى الجغرافية عندما تصنع زاوية مقدارها دقيقة قوسية على سطح الأرض. ويساوي ٦٠٨٠ قدم بدل من الميل العادي ٥٢٨٠ قدم.



الشكل (٢-١): الكرة الأرضية

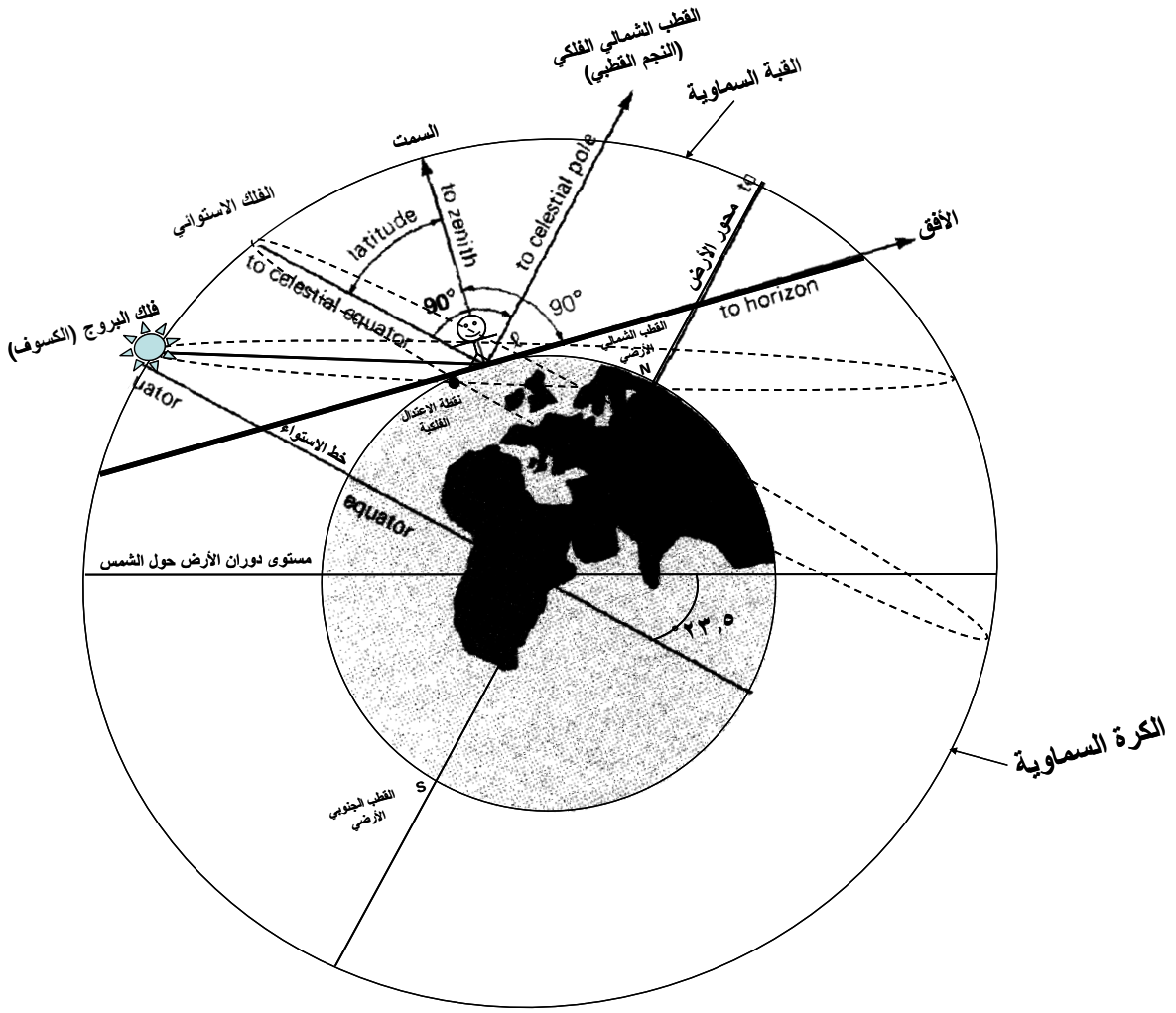
الكرة السماوية:

أغلب الدوائر السماوية الاصطلاحية الموجودة في الكرة السماوية تعتبر دوائر عظمى (فلك الاستواء-المعدل، خطوط الطول السماوية، فلك البروج، فلك القمر،..). شكل (٢-٢).

س: هل تعتبر دائرة الأفق دائرة عظمى ولماذا؟

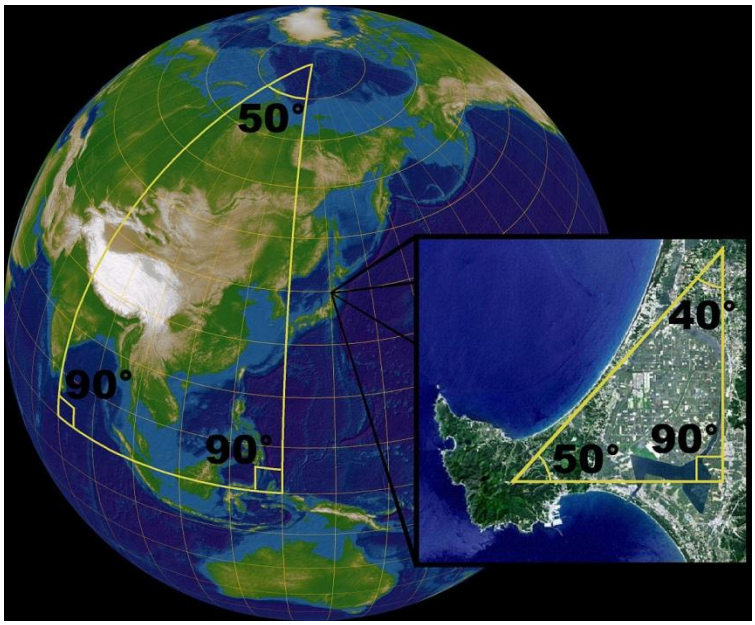
قطبي فلك الاستواء هما القطبين الفلكيين الشمالي والجنوبي. وقطبي دائرة الأفق هما نقطتي السمت والنظير. وقطبي فلك البروج هما النقطتين التي يمثل الخط الواصل بينهما المحور الذي تترنح حوله الأرض.

وقد اعتمد الفلك القديم على تقسيم السماء إلى دوائر عظمى اعتبرت بمثابة تشريح للسماء كما فعل الشيخ البهائي عليه الرحمة في الفصل الأول من كتابه تشريح الأفلاك حيث قسم السماء إلى ١٢ دائرة عظمى. وهي كالتالي:



شكل (٢-٢): أهم أجزاء الكرة السماوية

عندما يتم التعامل مع منطقة صغيرة على سطح الكرة فإنه يمكن اعتبارها مسطحة وتطبيق الهندسة المستوية للحصول على نتائج بدقة مناسبة. ولكن عند التعامل مع منطقة أو نقاط متباعدة أو للحصول على نتائج أكثر دقة حتى للمساحات الصغيرة، فإنه ينبغي استخدام الهندسة الكروية. كما في الشكل (٢-١). وكمثال وتطبيق على ذلك يمكن حساب اتجاه القبلة لأي منطقة على سطح الأرض.



شكل (٢-٣)

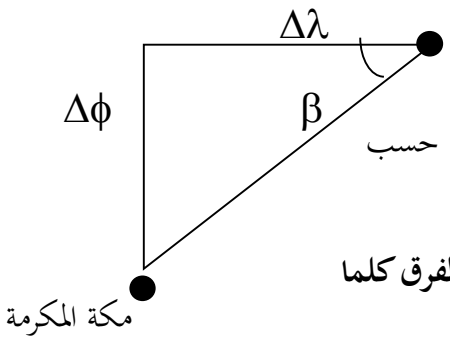
تحديد اتجاه القبلة:

ويمكن أخذ تحديد اتجاه القبلة كمثال على تطبيق الهندسة الكروية والمستوية. حيث تظهر فائدة استخدام الهندسة الكروية لتحديد قبلة المناطق البعيدة عن مكة المكرمة. لأن عامل تكور الأرض يظهر بشكل أوضح.

١) المناطق القريبة من مكة (منطقة الشرق الأوسط تقريباً)

حيث يمكن اعتبار الأرض مستوية تقريباً أي يمكن تقريباً تطبيق الهندسة المستوية. وذلك باستخدام الفرق بين دوائر العرض $\Delta\phi$ وخطوط الطول $\Delta\lambda$ بين مكة المكرمة (٣٩:٤٩شرق، ٢١:٢٦شمال) = (٣٩,٨٢شرق، ٢١,٤٣شمال) والمنطقة القريبة وذلك وفق العلاقة التالية:

زاوية القبلة (β) = ظا$^{-١}$ $(\frac{\Delta\phi}{\Delta\lambda})$ $\tan^{-1}$



وتحسب زاوية القبلة (β) من الشرق أو الغرب باتجاه الشمال أو الجنوب حسب موقع المنطقة بالنسبة إلى مكة المكرمة.

والطريقة أعلاه قد تختلف بزاوية ضئيلة عن الاتجاه الحقيقي. ويزداد الفرق كلما كانت المنطقة أبعد. بسبب تكور الأرض.

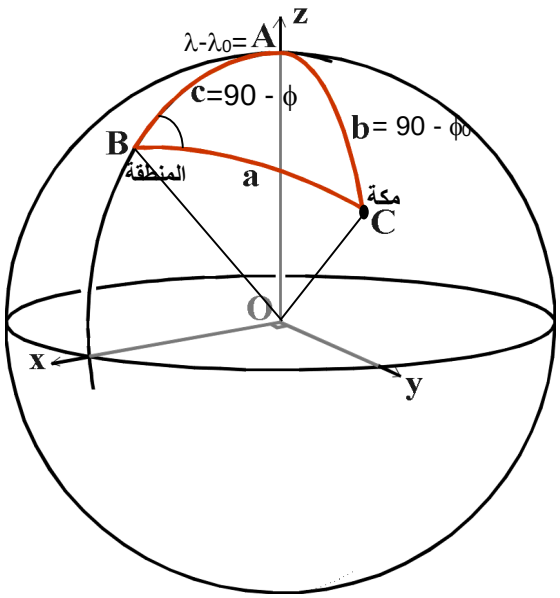
مثال: احسب زاوية ميل القبلة للقطيف (٤٩:٥٧شرق، ٢٦:٣٣شمال) = (٤٩,٩٣شرق، ٢٦,٥٥شمال) وحدد اتجاه القبلة.

الحل: في هذه الحالة $\Delta\lambda=10.13$ و $\Delta\phi= 5.12$. لذلك زاوية القبلة (β) = ظا$^{-1}$ $(\frac{5.12}{10.13})$ = $\tan^{-1}$ $(\frac{5.12}{10.13})$ = 26.8° درجة. أي أن القبلة تميل عن الغرب للجنوب بتلك الزاوية.

٢) للمناطق البعيدة والقريبة (بشكل أدق) عن مكة المكرمة

اتجاه مكة هو في الاتجاه الأقرب ومعلوم أن أقرب مسافة بين نقطتين على سطح الكرة هو خط الدائرة العظمى التي تمر فيهما

باستخدام قاعدة الجيب sin:



sin(a)/sin(A) = sin(b)/sin(B) = sin(c)/sin(C)

وقاعدة جيب التمام:

cos(a) = cos(b) cos(c) + sin(b) sin(c) cos(A)
cos(b) = cos(c) cos(a) + sin(c) sin(a) cos(B)
cos(c) = cos(a) cos(b) + sin(a) sin(b) cos(C)

حيث A, B, C تمثل كل منهم زاوية رأس المثلث الكروي.

a, b, c تمثل كل منهم زاوية دائرية كالشكل المقابل.

كذلك (λ، ϕ) للمنطقة و (λ_0، ϕ_0) لمكة المكرمة

باستخدام المعادلة الأولى من قاعدة جيب التمام نوجد **a** :

$a = \cos^{-1}[\cos(b)\cos(c) + \sin(b)\sin(c)\cos(A)]$

ثم باستخدام دالة الجيب يتم ايجاد زاوية القبلة **B**.

$B = \sin^{-1}[\sin(b)\sin(A)/\sin(a)]$

حيث **B** تمثل الزاوية السمتية للقبلة ابتداءً من جهة الشمال.

مثال: احسب زاوية ميل القبلة لمدينة هيوستن (29.76° N, 95.37° W) **وحدد اتجاه القبلة.**

الحل:

A= 95.37+39.82 = 135.19,
b= 90-21.43=68.57,
c= 90-29.76=60.24,
a=113.08,
B=45.49

أي أن اتجاه القبلة في مدينة هيوستن يميل عن الشمال بزاوية 45.49 درجة أي باتجاه الشمال الشرقي.

- **تدريب: باستخدام الطريقة أعلاه أوجد زاوية ميل قبلة منطقة القطيف من جهة الغرب:**
  - **الجواب: 26.87 درجة جهة الجنوب الغربي.**

٣) تحديد القبلة بشكل عملي.

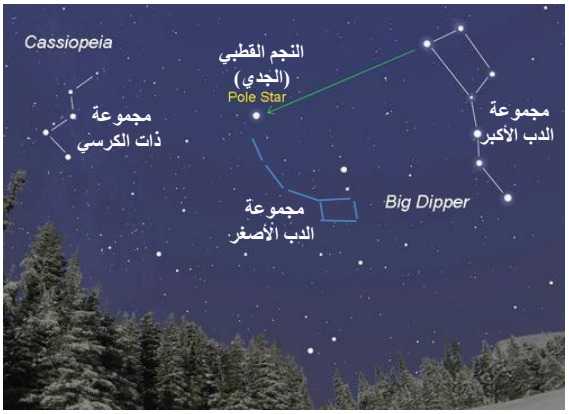
لتحديد القبلة من أي منطقة بشكل عملي لابد من:

١- معرفة إحداثي المنطقة الجغرافي (دائرة العرض ϕ، وخط الطول λ) ومن ثم حساب زاوية ميل القبلة عن أي جهة أصلية.

٢- تحديد الجهات الأصلية في المكان المراد تحديد قبلته. ويمكن تحديد كل الجهات بمعرفة جهة أصلية واحدة. ويمكن ذلك بعدة طرق منها:

- استخدام ظل العمود المقام وقت الزوال تماماً حيث يشير إما دائما للشمال في المناطق التي تقع شمال مدار السرطان الجغرافي أو للجنوب في المناطق التي تقع جنوب مدار الجدي الجغرافي. وأما المناطق الجغرافية التي تقع بين المدارين فإن الظل وقت الزوال قد يكون باتجاه الشمال في بعض الأوقات وقد يكون باتجاه الشمال بحسب اختلاف زاوية تعامد الشمس.
- استخدام جهة النجم القطبي لتحديد جهة الشمال تقريبا لمناطق الكرة الأرضية الشمالية. والنجم القطبي (الجدي) يقع في ذيل مجموعة الدب الأصغر وهو ألمع نجوم المجموعة. ويكون ارتفاعه عن الأفق بزاوية تساوي دائرة العرض الجغرافي. وبما أنه يقع على محاذاة القطب الشمالي الأرضي تقريبا في الوقت الحاضر، فإن موقعه لايتغير إلا بمقدار نصف درجة تقريبا. وموقعه في النجوم يمكن معرفته من الشكل (٢-٤).
- استخدام البوصلة المغناطيسية أو الالكترونية لمعرفة الجهات الأصلية. وهنا لابد من التحقق من دقة تلك الأجهزة ومعايرتها وبعدها عن المصادر الكهرومغناطيسية لتكون قراءتها دقيقة نسبيا.

كذلك يمكن تحديد اتجاه القبلة مباشرة بالجهة المعاكسة لظل العمود المقام (الشاخص) وقت تعامد الشمس على الكعبة المشرفة. حيث تتعامد مرتين في السنة وذلك في تكون يوم ٢٨ مايو الساعة ١٢:١٨ بتوقيت مكة المكرمة (٩:١٨ بالتوقيت العالمي) ويوم ١٦ يوليو الساعة ١٢:٢٧ بتوقيت مكة المكرمة (٩:٢٧ بالتوقيت العالمي). ويمكن استخدام تعامد الشمس على النقطة المقابلة لها قطرياً لتحديد اتجاه القبلة. **ومن الجدير بالذكر أن الكثير من البرامج والمواقع والتطبيقات الالكترونية يمكن أن تحدد اتجاه القبلة بشكل مباشر. ولكن لابد من التحقق من دقة البوصلة الالكترونية للجهاز.**



شكل (٢-٤)

مراجع إضافية يمكن الرجوع لها:

١- Spherical Trigonometry:

https://en.wikipedia.org/wiki/Spherical_trigonometry

٢- Geometric Calculation of Qibla Direction:

http://kambing.ui.ac.id/onnopurbo/library/library-islam/knowledge/qibla_calc.html

الدرس الرابـع

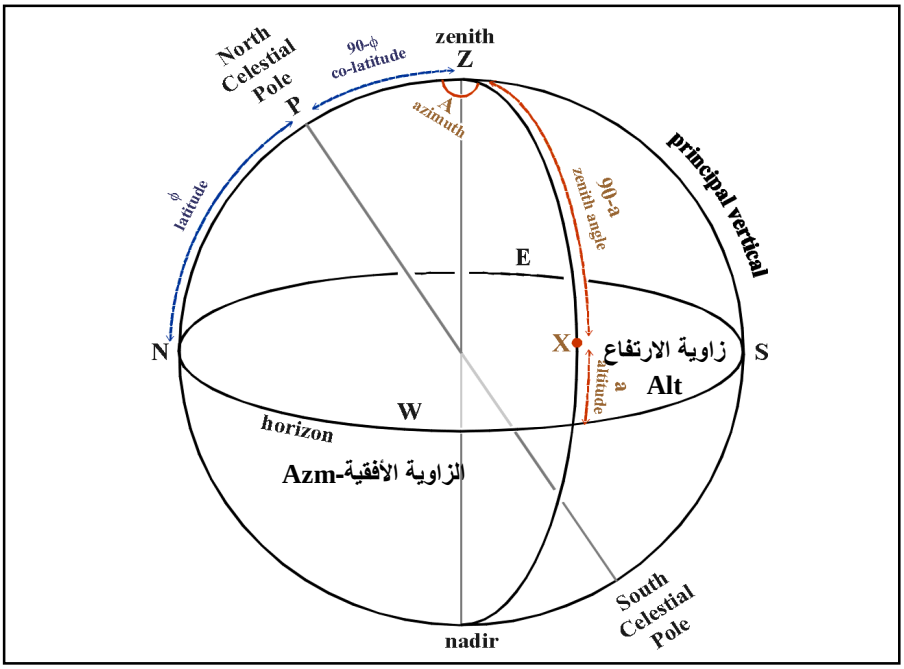
تحديد مواقع الأجرام الفلكية (Location of Celestial Objects)

طرق تحديد مواقع الأجرام الفلكية:

بما أن الأجرام الفلكية يمكن اعتبارها ظاهريا كنقاط على سطح الكرة السماوية، لذلك يمكن تحديد مواقعها بقيمتين. وأهم طرق تحديد تلك القيمتين هي خمس طرق كالتالي:

١- الطريقة الأفقية (Alt-Azm):

وتحدد كل نقطة على سطح الكرة السماوية بزاوية ارتفاع الجرم عن الأفق (Altitude) وكذلك بالزاوية بين النقطة المحاذية للجرم على الأفق وجهة الشمال (Azimuth). وهنا لابد أن تكون تلك **زاوية الارتفاع والسمت والأفق جميعها أجزاء من دوائر عظمى.**



الشكل (٣-١): طريقة الارتفاع الأفقي

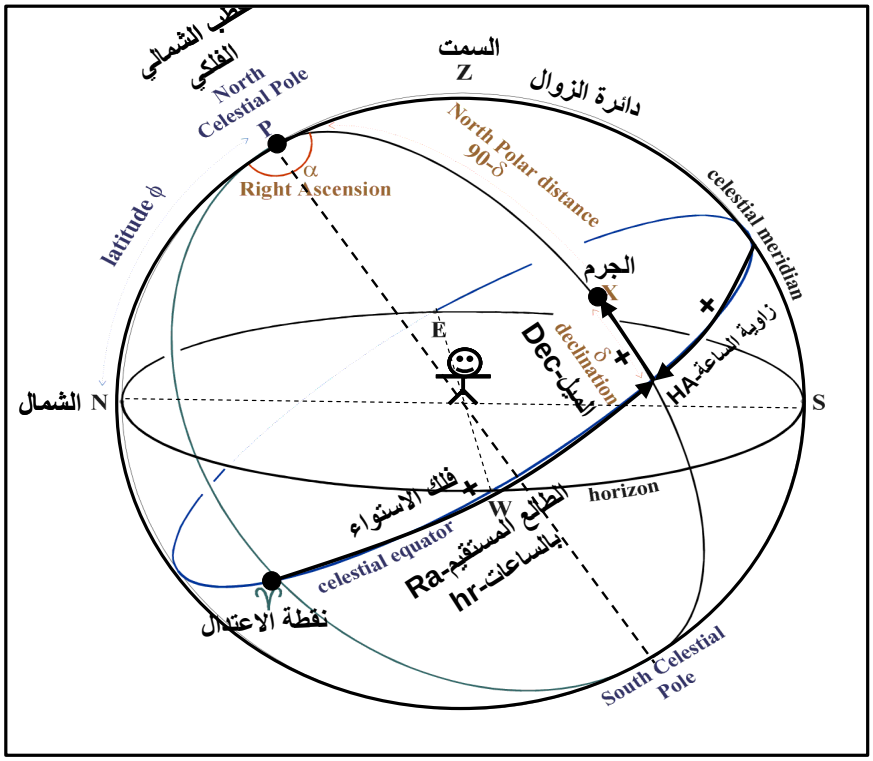
٢- الطريقة الاستوائية الاعتدالية (Ra-Dec):

وتقوم على فكرة تقسيم الكرة السماوية إلى خطوط طول ودوائر عرض سماوية ثابتة على سطح الكرة السماوية مثل تقسيم الكرة الأرضية. ولكن خط الطول السماوي يحدد بالساعات بدل الدرجات لأن الأرض تدور بمعدل ١٥° لكل ساعة. ومن المعلوم أنّ الخطين الأساسين في تحديد المواقع الجغرافية هما خط الاستواء وخط جرينتش. كذلك فإن **الخطين الأساسين في تحديد مواقع الأجرام الفلكية هما الفلك الاستوائي السماوي وخط الطول السماوي الذي يمر في نقطة الاعتدال الربيعي**. حيث يشابه الأول خط الاستواء في تحديد دائرة العرض السماوية، ويشابه الثاني خط جرينتش لتحديد خط الطول. لذلك فإن موقع الجرم يحدد بالزاوية بين

الفلك الاستوائي وبين الجرم (**الميل الاستوائي**- Declination) وتكون موجبة شمالاً سالبة جنوباً. وبالزاوية بين خط الزوال الذي يمر في نقطة الاعتدال وبين خط الزوال الذي يمر فيه الجرم (**الطالع المستقيم**- Right Ascension) والتي تقاس بالساعات. وخط الطول السماوي وفلك الاستواء هي أجزاء من دوائر عظمى.

٣- الطريقة الاستوائية الزوالية (HA-Dec)

وهي مشابهة للطريقة السابقة إلا أن خط الطول السماوي الأساسي هو دائرة الزوال المحلية. أي أن **موقع الجرم يقاس بالميل عن الفلك الاستوائي** (**Declination** (δ)) وهو لايختلف تقريبا مع مرور الزمن مثل الطريقة الثانية. وأما **خط طوله السماوي فيقاس بزاوية الساعة للجرم** (**Hour Angle** or HA (H)) . ولكن خط الطول السماوي يحدد بالساعات ويختلف بمرور الزمن بعكس الطريقة الاستوائية العادية التي لا تتغير فيها خطوط الطول للجرم. لذلك فإن موقع الجرم يحدد بالزاوية بين الفلك الاستوائي وبين الجرم (**الميل الاستوائي**- Declination) وتكون موجبة شمالاً سالبة جنوباً. وبالزاوية بين خط الزوال للمنطقة وبين الجرم. حيث يعتبر دائرة الزوال للمنطقة تساوي صفر ساعة Houar-Ascension (HA). وبعد ١٥ درجة **من جهة الغرب** يعتبر خط الزوال الذي يمر بها يساوي ١ ساعة (**عكس اتجاه الطريقة الأولى**). وتلك الطريقة مناسبة لتحديد أوقات ابتعاد الأجرام عن خط الزوال في اليوم. مثل ابتعاد الشمس في مواقيت الصلوات. شكل (٣-٢).



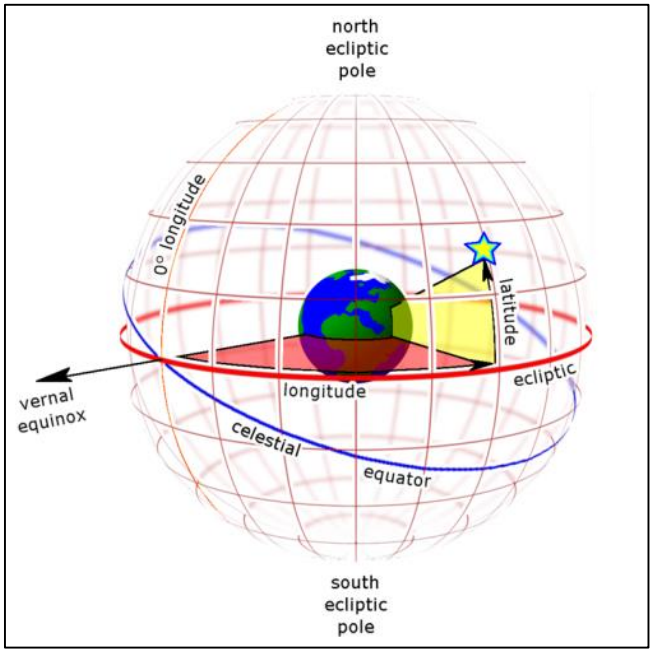
شكل (٣-٢): الطريقة الاستوائية الاعتدالية والزوالية

مقارنة بين الطريقة تحديد المواقع الأرضية والأفقية والاستوائية الفلكية السماوية

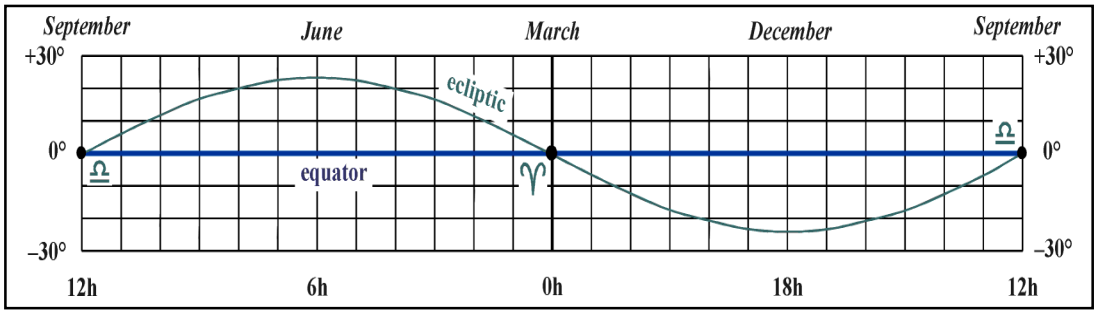
أرضي جغرافي **Terrestrial**	سماوي أفقي **Alt-Az**	سماوي استوائي اعتدالي **RA-Dec.**	سماوي استوائي زوالي **HA-Dec.**
Equator	Horizon	Celestial equator	Celestial equator
North Pole	Zenith	North Celestial Pole	North Celestial Pole
South Pole	Nadir	South Celestial Pole	South Celestial Pole
Latitude	Altitude	Declination	Declination
Co-latitude	Zenith distance	North Polar Distance	North Polar Distance
Parallel of latitude	parallel of altitude	Parallel of declination	Parallel of declination
Meridian of longitude	Vertical circle	Meridian	Meridian
Greenwich Meridian	Principal Vertical	Vernal equinox	Celestial meridian
longitude	azimuth	Right Ascension	Hour Angle

٤- الطريقة (الاحداثيات) الشمسية (الكسوفية-ecliptic):

وتقوم على فكرة تقسيم الكرة السماوية إلى خطوط طول ودوائر عرض سماوية ثابتة على سطح الكرة السماوية مثل تقسيم الكرة الأرضية. ولكن الفلك الاستوائي يستبدل بفلك البروج (ecliptic) والقطب الشمالي والجنوبي بقطبي فلك البروج (ecliptic poles). لذلك فإن موقع الجرم يحدد بدائرة العرض الكسوفية (ecliptic latitude) التي تبدأ من فلك البروج بالموجب شمالاً وبالسالب جنوباً. و خط الطول الكسوفي (ecliptic longitude) والذي يبدأ من خط الطول الذي يمر في نقطة الاعتدال الربيعي مثل الطريقة الاستوائية. ويقاس بالدرجات باتجاه الشرق (٠-٣٦٠°). كما في شكل (٣-٣). وتكمن فائدة هذه الطريقة للتتبع مسار الشمس والكواكب والقمر. حيث أنهم جميعهم يتحركون تقريباً حول فلك البروج. فترتفع الشمس في فصل الصيف وتنخفض في فصل الشتاء. كما في الشكل (٣-٤).

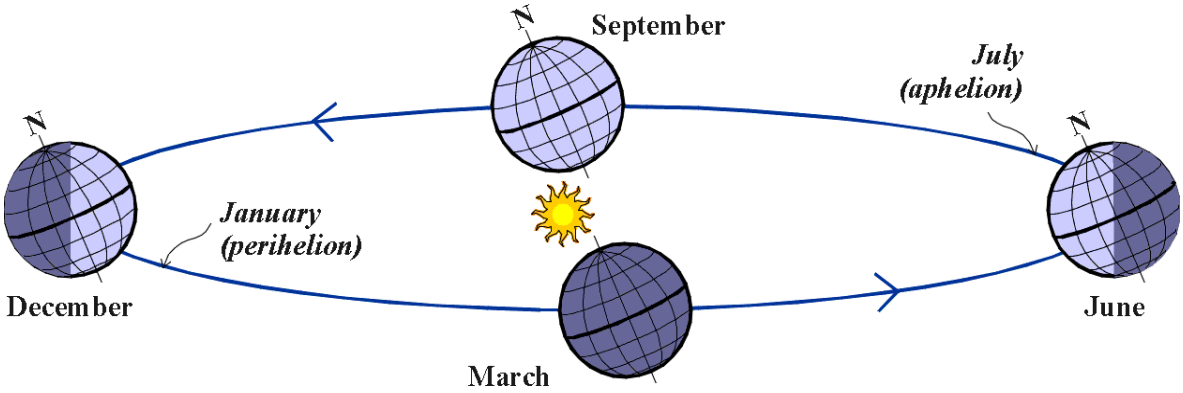


شكل (٣-٣): الاحداثيات الكسوفية



شكل (٣-٤): حركة الشمس حول الفلك الاستوائي

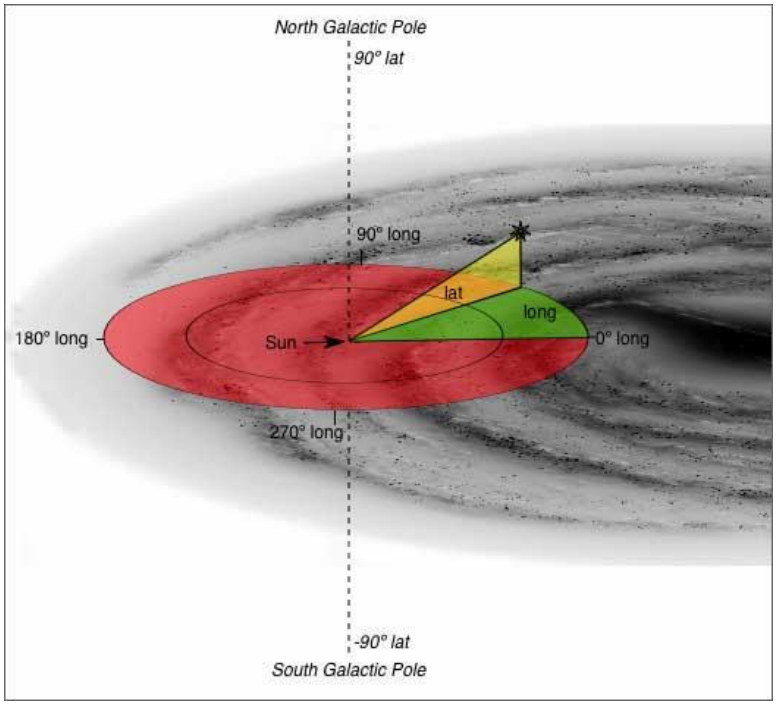
ويعود سبب ميلان فلك البروج عن الفلك الاستوائي بسبب انحراف محور دوران الأرض حول نفسها عن مستوى دورانها حول الشمس بزاوية تساوي ٢٣,٥°تقريبا. شكل (٣-٥).



شكل (٣-٥): دوران الأرض حول الشمس بمحور مائل عن مستوى الدورات

٥-الطريقة (الاحداثيات) المجرية (galactic coordinate):

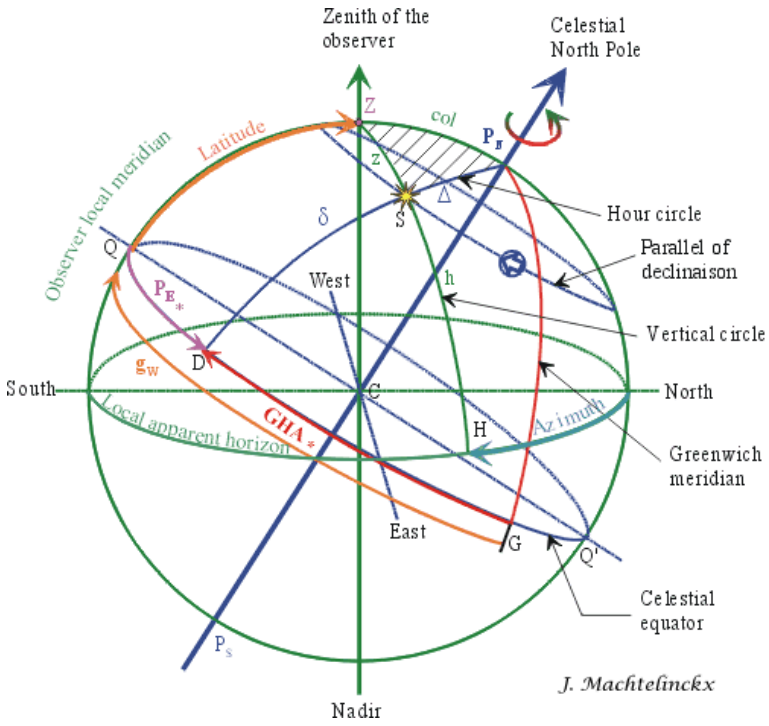
وتقوم على فكرة تقسيم الكرة السماوية إلى خطوط طول ودوائر عرض سماوية ثابتة على سطح الكرة السماوية مثل تقسيم الكرة الأرضية. ولكن الفلك الاستوائي يستبدل بفلك أو مستوى المجرة (galactic equator) والقطب الشمالي والجنوبي بقطبي المجرة (galactic poles). لذلك فإن موقع الجرم يحدد بدائرة العرض المجري (galactic latitude) التي تبدأ من مستوى المجرة بالموجب شمالاً وبالسالب جنوباً. و خط الطول المجري (galactic longitude) والذي يبدأ من خط الطول الذي يمر في مركز المجرة ويقاس بالدرجات (٠-٣٦٠°). وتكمن فائدة هذه الطريقة بثبات قيم مواقع الأجرام الثابتة تقريباً بخلاف الطريقة الاستوائية التي تعتمد على نقطة الاعتدال التي تتغير بسبب حركة الترنح. ولذلك تستخدم كمرجع لتصحيح قيم الطريقة الاستوائية. شكل(٣-٦).



شكل (٣-٦): الاحداثيات المجرية

ويمكن إيجاد علاقة بين جميع تلك الطرق لتحديد مواقع الأجرام الفلكية اعتماداً على علاقات المثلث الكروي ومصفوفات الدوران.

والشكل (٣-٧) يوضح العلاقات بين بعض تلك الاحداثيات.



شكل (٣-٧): العلاقة بين الاحداثيات الأفقية والاستوائية والزوالية والكسوفية

مراجع إضافية يمكن الرجوع لها:

١- Celestial coordinates system:

https://en.wikipedia.org/wiki/Celestial_coordinate_system

الدرس الخامس

التوقيت الفلكي (Astronomical Timing)

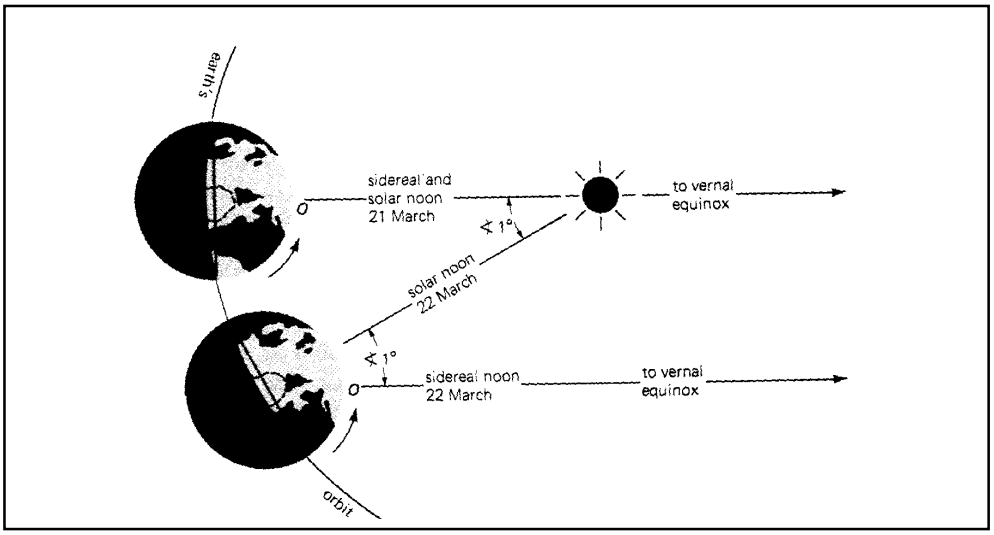
١) التوقيت الفلكي النجمي

ويعتمد على تحديد موقع النجوم أو نقطة الاعتدال إما من خط أو دائرة الزوال المحلية أو دائرة الزوال لمنطقة جرينتش.

الوقت النجمي المحلي (Local Sidereal Time LST).

تتميز الأجرام الفلكية الثابتة كالنجوم والسدم والأجرام السحيقة أن موقعها السماوي يظل ثابتاً تقريباً. أي أن قيمة خط الطول السماوي، α (**الطالع المستقيم–Ra**) ودائرة العرض السماوية، δ (**الميل الأستوائي–Dec**) بحسب الاحداثيات الاعتدالية، للجرم تبقى ثابتة. لذلك فإن تحديد موقعه بطريقة الارتفاع الأفقي وكذلك وقت شروقه وغروبه يعتبر أمراً أسهل من الأجرام المتحركة كالكواكب والشمس والقمر.

والخطوة الأولى لتحديد موقع الجرم هو تحديد **الوقت النجمي المحلي** للجرم. ومعلوم أن اليوم والشهر النجمي يختلفان عن اليوم الشمسي (بـ ٤ دقائق) والشهر الاقتراني (بـ ٢,٣ يوم). لذلك فإن الأرض تدور حول نفسها في السنة الشمسية ٣٦٥ دورة بالنسبة للشمس. بينما تدور ٣٦٦ دورة بالنسبة للنجوم.



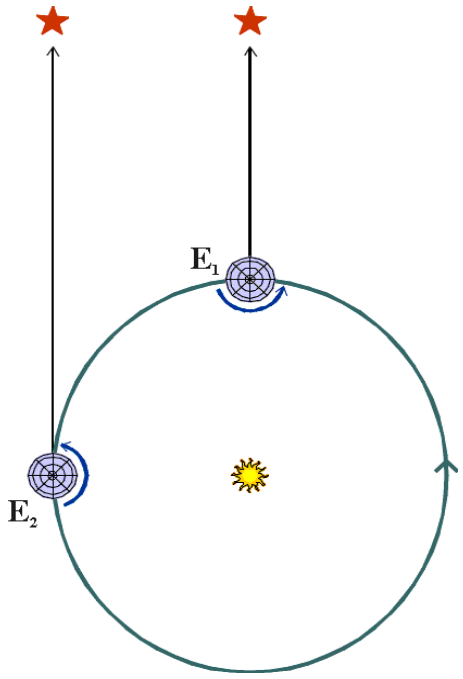
شكل (٤–١): اليوم النجمي والشمسي

من ذلك يمكن القول أن **الوقت (الزمن) النجمي المحليLST**: هو "زاوية الساعة Local Hour Angle LHA لنقطة الاعتدال الربيعي" وزاوية الساعة HA تم تعريفها في الطريقة الثالثة لتحديد مواقع الأجرام الفلكية. فإذا كان الوقت النجمي المحلي يساوي ١ ساعة فإن نقطة الاعتدال قد مالت عن خط الزوال بمقدار ١٥ درجة في جهة الغرب. بينما تمر نجوم أخرى في ذلك الوقت من خط الزوال. وبما أن الطالع المستقيم لأي جرم هي الزاوية بين خط الطول السماوي المار فيه وخط الطول المار في نقطة

الاعتدال (الحمل) من جهة الشرق. لذلك يمكن القول أن **الزمن النجمي المحلي يساوي الطالع المستقيم للنجوم التي تمر في دائرة الزوال**. لذلك فإن:

(4.1) **زاوية الساعة HA للنجم = الزمن النجمي المحلي LST– الطالع المستقيم للجرم، α.**

ويختلف الزمن النجمي باختلاف المنطقة والوقت. فمثلاً، في الشكل المقابل فإن النجم يمر من خط الزوال في منتصف الليل عند الوقت E_1 بينما بعد ثلاثة أشهر يمر من خط الزوال عند غروب الشمس في الوقت E_2 .



شكل (٤-٢)

ومعلوم أن خطوط الطول السماوية تنقسم إلى ٢٤ خط أساسي كل خط يصنع مع الآخر زاوية مقدارها ١٥ درجة وهو ما تقطعه الأرض في زمن قدره ساعة. أي أن تلك الخطوط يمكن ترقيمها بحسب الساعات ابتداءً من خط الصفر السماوي وهو الخط الذي يمر في نقطة الاعتدال الربيعي. وهي النقطة التي تمر فيها الشمس في يوم الاعتدال الربيع ٢١ مارس.

ويمكن تعريف الوقت المحلي النجمي لمنطقة جرينتش (GST) **Greenwich Sidereal Time** على أنه زاوية الساعة لنقطة الاعتدال الربيعي في منطقة جرينتش. واعتماداً على ذلك يمكن إيجاد الوقت النجمي لأي منطقة اعتماداً على العلاقة التالية:

الوقت النجمي المحلي لأي منطقة LST = الوقت النجمي المحلي لمنطقة غرينتشGST – خط الطول الجغرافي الغربي للمنطقة بالساعات λ (hr) **(4.2)**

ويحول خط الطول الجغرافي للساعات باعتبار كل ١٥ درجة = ساعة.

أيضاً فإن:

(4.3) **زاوية الساعة لأي نجم في جرينتش GHA = الزمن النجمي المحلي لجرينتش LST – الطالع المستقيم للجرم α**

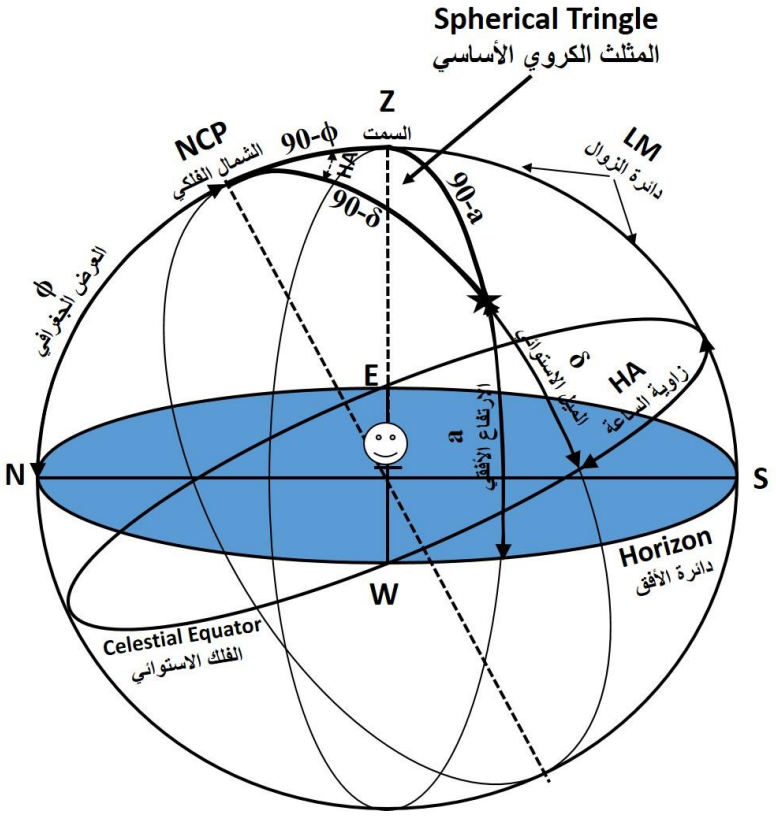
ومنه يمكن القول أن:

زاوية الساعة لأي نجم في أي منطقة HA = زاوية الساعة للنجم في منطقة جرينتش GST – خط الطول الجغرافي الغربي للمنطقة بالساعات λ (hr) **(4.4)**

ويستفاد من زاوية الساعة لحساب وقت شروق وغروب النجوم.

حساب وقت شروق وغروب النجوم والأجرام الثابتة

من العلاقات أعلاه يمكن حساب وقت شروق وغروب الأجرام الثابتة في الكرة السماوية كالنجوم والسدم والأجرام السحيقة، حيث يمكن تطبيق قوانين المثلث الكروي على المثلث الواصل بين نقطة السمت Z وموقع النجم وتقاطع خط الطول السماوي للجرم بخط الزوال للمنطقة. ويمكن اعتبار هذا المثلث بأنه **المثلث الفلكي الكروي الأساسي لحساب مواعيد الشروق والغروب**. الشكل (٤-٣):



الشكل(٤-٣)

ومن المثلث الكروي أعلاه يمكن كتابة العلاقة بين زاوية الساعة (AH) وبين الميل الاستوائي للجرم (δ) وبين دائرة العرض الجغرافية للراصد (ϕ) وبين الارتفاع الأفقي (a) من خلال العلاقة الثانية لقاعدة جيب التمام على النحو التالي:

$$\cos(90-a) = \cos(90-\delta)\cos(90-\phi) + \sin(90-\delta)\sin(90-\phi)\cos(HA)$$

وعند استخدام العلاقة بين الجيب وجيب التمام: $\cos(90-x)=\sin(x)$ و $\sin(90-x)=\cos(x)$ فإن العلاقة أعلاه تصبح:

$$\sin(a) = \sin(\delta)\sin(\phi) + \cos(\delta)\cos(\phi)\cos(HA) \qquad \textbf{(4.5)}$$

ولحساب الزاوية الزمنية بالساعات للشروق والغروب تعتبر a صفر للنجوم. و −٠,٨٣ ° للشمس والقمر بسبب عامل انكسار الضوء. وتمثل زاوية الساعة HA في هذه الحالة الوقت بين مرور النجم من الزوال وغروبه**semi-diurnal arc**. ووقت الشروق والغروب هو الفارق بين لحظة مرور الجرم من خط الزوال مضافاً أو مطروحاً منه الزاوية الزمنية بالساعات. وعند اعتبار الارتفاع صفر وقت الشروق والغروب فإن المعادلة السابقة تصبح:

$$\cos(HA) = -(\sin(\delta)\sin(\phi)) / (\cos(\delta)\cos(\phi)) = -\tan(\delta)\tan(\phi) \qquad (4.6)$$

$$HA = \cos^{-1}(-\tan(\delta)\tan(\phi))$$

- **مثال لحساب شروق وغروب النجوم:**

احسب وقت شروق وغروب نجم قلب العقرب الذي احداثيه الاستوائي (16 h 29m 24s, -26° 28' 24.5") في هذا اليوم ١ يوليو ٢٠١٩م، في مدينة القطيف (26.55N, 49.93E) إذا علمت أن النجم يتوسط السماء 9:33م.

الحل: δ = -26.47، ϕ = 26.55

ϕ للمنطقة	δ للنجم	HA	HA (degree)	HA (hr)	HA (hh:mm)	transit time	Rise time	Set time
26.55	-26.47	1.32	75.59	5.04	5:02:22	21:33:00	16:30:38	02:35:22

٢) التوقيت الفلكي الشمسي

ويعتمد على تحديد موقع الشمس من خط أو دائرة الزوال المحلية أو دائرة الزوال لمنطقة جرينتش. وبما أن الشمس يتغير موقعها وميلها عن خط الاستواء بحسب اختلاف الوقت من السنة (الفصل) فهي تمر في نقطة الاعتدال الربيعي (٢١ مارس) صعودا لنصف الكرة الشمالي وتصل في يوم الانقلاب الصيفي (٢١ يونيو) إلى أعلى ميل عن فلك الاستواء بمقدار $23.5°$ ثم تنزل حتى تصل إلى نقطة الاعتدال الخريفي (٢٢ سبتمبر) نزولا حتى تصل إلى نقطة الانقلاب الشتوي في يوم الانقلاب الشتوي (٢١ ديسمبر) فتصل إلى أقل ميل لها عن فلك الاستواء بمقدار $-23.5°$. وبحسب تلك الحركة هناك ثلاثة أنواع للتوقيت الشمسي:

أ- التوقيت بحسب موقع الشمس الفعلية الظاهرية (Local Apparent Solar Time (LAT):

ومعلوم أن الكرة الأرضية تدور حول الشمس في مسار بيضاوي تقع الشمس في إحدى بؤرتيه مما يؤدي إلى زيادة سرعة الأرض في المنطقة القريبة من الشمس (الحضيض-perihelion) بينما تكون أبطأ عندما تكون بعيدة عن الشمس (الأوج-aphelion). وهو ما يؤدي إلى زيادة سرعة أو بطء سرعة الشمس الظاهرية في تلك النقطتين. مما يجعل سرعتها غير ثابتة على فلكها الظاهري (البروج-ecliptic).

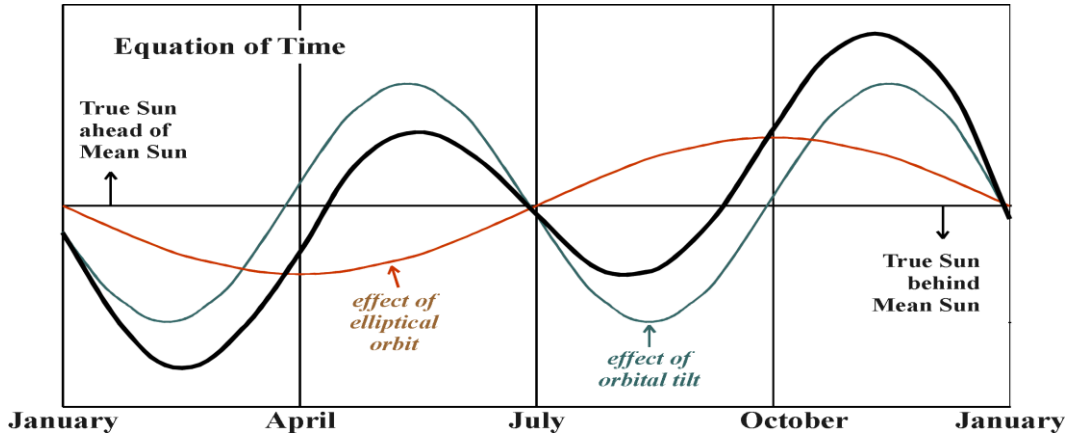
ب- التوقيت بحسب موقع الشمس المتوسطة (Universal Time (UT) (mean Sun):

بسبب تغير سرعة الشمس الظاهرية على فلك البروج فقد تم تعريف شمس متوسطة ظاهرية فعلية ولكنها تدور بسرعة ثابتة في فلك البروج. ولأن فلك البروج يميل عن الفلك الاستوائي بزاوية ٢٣,٥ درجة وأيضاً لأن ما يهمنا على سطح الأرض هو ثبات دورانها على فلك الاستواء الذي تتحرك بموازاته جميع الأجرام الفلكية يومياً من الشرق للغرب. لذلك تم تعريف شمس متوسطة (**mean Sun-U)** تدور بمعدل ثابت على فلك الاستواء السماوي (celestial equator). ومنه تم تعريف الزمن الشمسي العالمي Universal Time UT. حيث:

$$\mathbf{UT = GST - Ra\ (U) - 12} \qquad \mathbf{(4.7)}$$

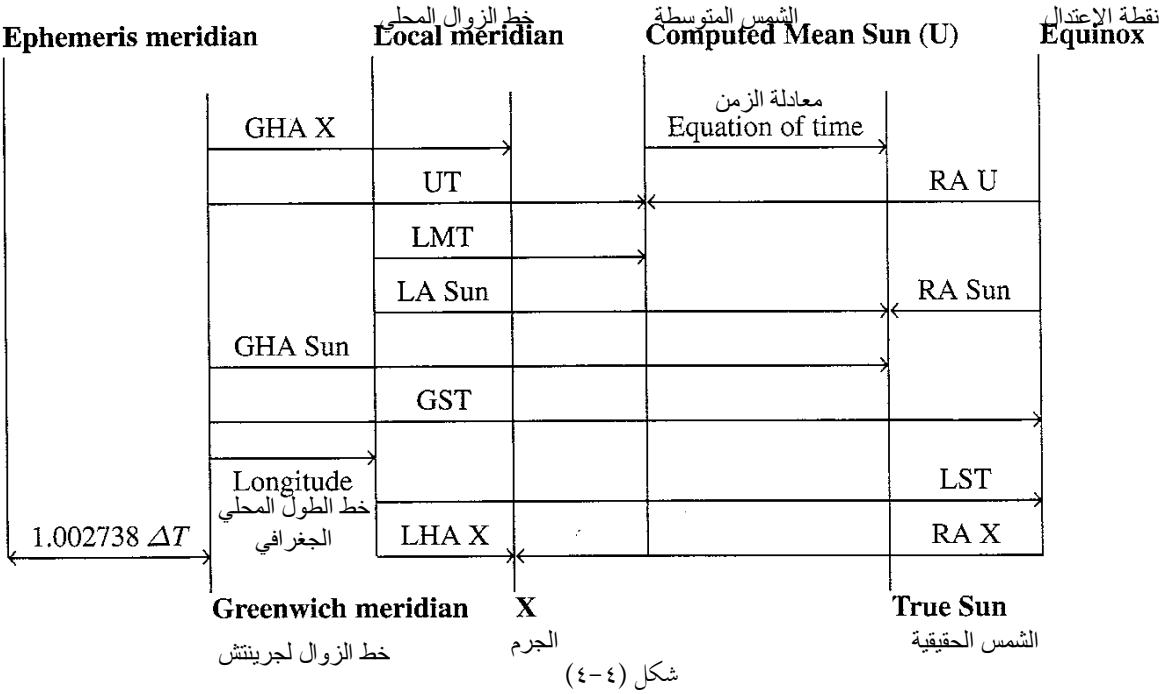
وأما الفارق بين التوقيت الشمسي العالمي UT وبين التوقيت الذري الدقيق على سطح الأرض TAI فيشكل ما يعرف بدالة دلتا الزمن (delta-T) وتصل تلك القيمة إلى ثانية كل ١٨ شهر ويرجع التغير في ذلك إلى عدم ثبات دوران الأرض بسبب اضطرابات الترنح والنودان وعدم الانتظام في دوران الأرض حول محورها.

ج- معادلة الزمن (Equation of Time): يمكن القول أن الفرق بين زمن الشمس الفعلية LAT وزمن الشمس المتوسطة U يسمى معادلة الزمن وهو يختلف من شهر لأخر لأن موقع الشمس الظاهري وسرعتها يختلف باختلاف أوقات السنة. حيث تصل أقصى قيمة لذلك إلى ١٦ دقيقة. ويرجع السبب الأكبر في ذلك إلى المدار البيضاوي للأرض وإلى ميل مستوى دوران الأرض حول نفسها بزاوية ٢٣,٥ عن مستوى دورانها حول الشمس. والشكل أدناه يوضح الفرق بينهما. أي معادلة الزمن على طول العام:



شكل(٤-٣): معادلة الزمن خلال العام

ويمكن اختصار أنواع تلك التوقيتات النجمية والشمسية المختلفة في الشكل أدناه:



شكل (٤-٤)

مراجع إضافية يمكن الرجوع لها:

Astronomical Time Keeping-1

http://www.maa.clell.de/Scholar/times.html

Astronomical Time-2

http://cds.cern.ch/record/1634847/files/978-3-319-01442-5_BookBackMatter.pdf

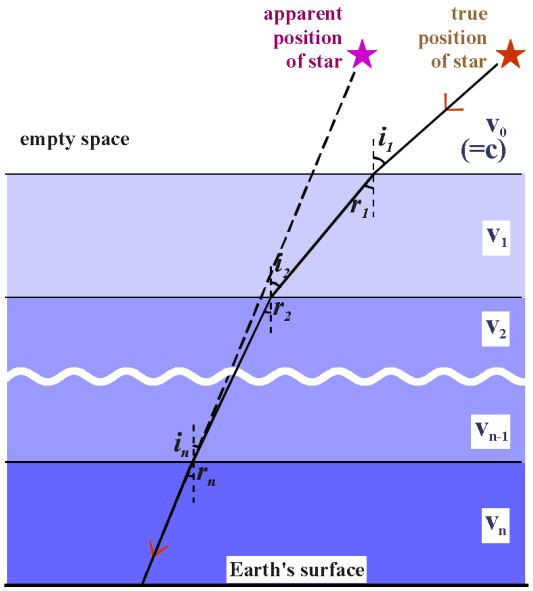
الدرس السادس

أهم مصادر أخطاء تحديد مواقع الأجرام الفلكية (Parallax)

١- انكسار الضوء (Light Refraction):

بسبب تغير سرعته عند انتقاله من وسط إلى آخر مختلف عنه في الكثافة.

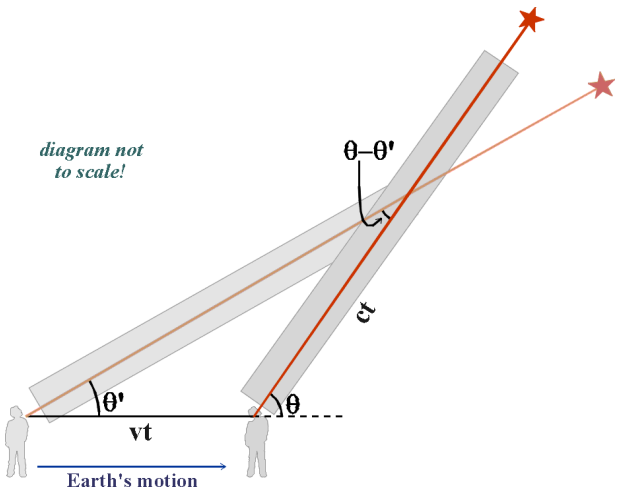
وينكس الضوء مقترباً من العمود المقام على السطح الفاصل بين الوسطين عند انتقاله من وسط خفيف إلى ثقيل والعكس. وبما أن الفضاء الخارجي يعتبر أخف من الغلاف الجوي. لذلك ينكسر ضوء الأجرام الفلكي مقترباً فتبدو أعلى مما هي عليه فعلاً. ويظهر هذا الأثر بشكل أكبر بالقرب من الآفاق. وقد يحدث انحراف لضوء الأجسام عند مروره بالقرب من كتلة كبيرة كالشمس وذلك بسبب انحناء الزمكان حول تلك الكتلة كما تقرره النسبية العامة.



شكل (٥-١): انكسار الضوء

٢- الزيغ الضوئي (Aberration):

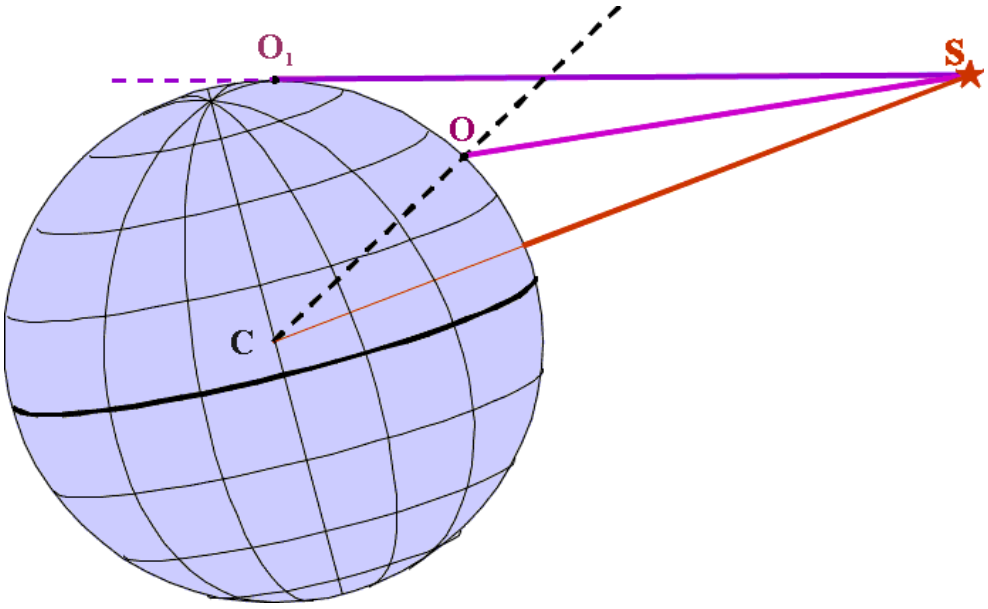
بسبب سرعة الأرض عند انتقالها في الفضاء وهو ما يؤدي إلى تغير موقع الأجرام الفلكية وخصوصاً البعيدة. بشكل يجعل مواقعها تنحرف باتجاه حركة الأرض.



شكل (٥-٢): الزيغ الضوئي

٣- الانحراف بسبب سطح الأرض (اللوص الأفقي) (Geocentric or diurnal parallax):

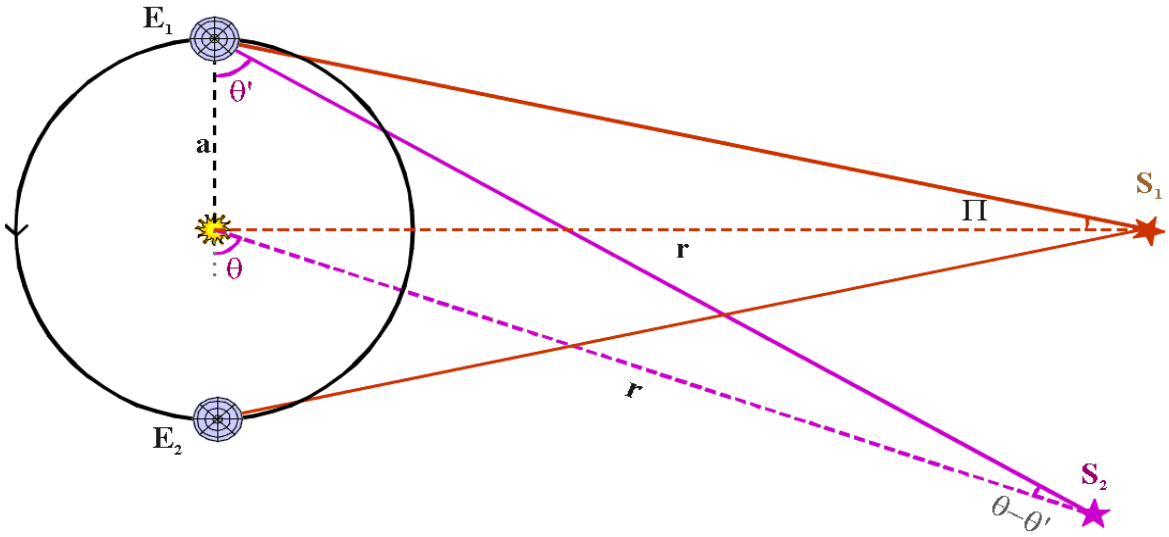
لأن الرصد يتم من سطح الأرض وليس من مركزها. ليس لهذا الأثر دور يعتد به في تغير مواقع الأجرام البعيدة مثل النجوم. بعكس القريبة مثل القمر والكواكب فإن لهذا دور في تغير مواقعها. لذلك يمكن أن يشاهد الفرق والاختلاف بين موقع القمر في منطقتين متباعدتين في نفس اللحظة. لذلك السبب يختلف وقت خسوف القمر بين المناطق المتباعدة. وكذلك الإقتران إذا قيس بسطح الأرض. ومن هذا تنشأ فكرة الإحداثيات المركزية للأجرام (Geocentric Coordinates) من مركز الكرة الأرضية. والإحداثيات السطحية للجرم (Topocentric Coordinates) من سطح الكرة الأرضية.



شكل (٥-٣): الانحراف بسبب سطح الأرض

٤- الانحراف بسبب دوران الأرض حول الشمس (Annual parallax):

وإذا اعتبرنا الانحراف بسبب سطح الأرض ظاهرة يومية فإن الانحراف بسبب دوران الأرض حول الشمس ظاهرة سنوية. ويمكن الاستفادة من هذه الظاهرة في قياس مسافات النجوم.



شكل (٥-٤): الانحراف بسبب دوران الأرض حول الشمس

مراجع إضافية يمكن الرجوع لها:

Parallax-1

https://en.wikipedia.org/wiki/Parallax

Atmospheric refraction-2

https://en.wikipedia.org/wiki/Atmospheric_refraction

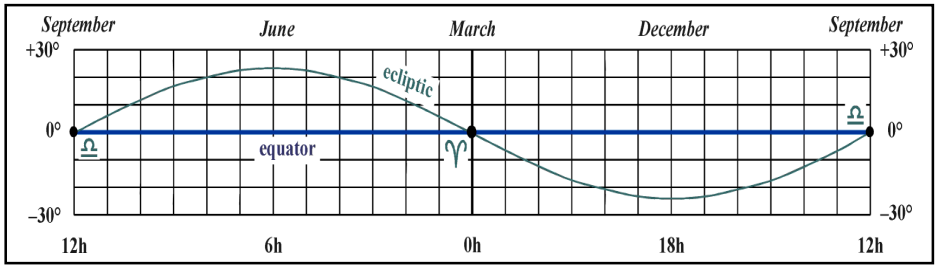
الدرس السابـع

حساب موقع ووقت شروق وغروب الشمس وأوقات الصلوات

(Prayer Times Calculation)

١) خصائص الشمس الظاهرية

تتميز الشمس أنها تتحرك في مسار محدد ظاهرياً هو فلك البروج بسبب دوران الأرض حولها. ويميل ذلك الفلك بزاوية ٢٣,٥ تقريباً عن الفلك الاسوائي بسبب ميل مستوى دوران الأرض حول محورها بتلك الزاوية عن مستوى دورانها حول الشمس. حيث تبدأ الشمس من فلك الاستواء في نقطة الاعتدال الربيعي–الصعود (٢١ مارس) عندما تتعامد الشمس على خط الاستواء الجغرافي. ثم ترتفع شمالاً حتى تصل إلى زاوية ٢٣,٥ تقريباً شمال فلك الاستواء في فصل الصيف (٢١ يونيو) عندما تتعامد الشمس على مدار السرطان الواقع شمال خط الاستواء الجغرافي بمقدار تلك الزاوية. ثم تنخفض إلى نقطة الاعتدال الخريفي–الهبوط (٢٢ سبتمبر) على فلك الاستواء عندما تتعامد الشمس على خط الاستواء الجغرافي. ثم تهبط الشمس حتى تصل إلى زاوية ٢٣,٥ تقريباً جنوب فلك الاستواء في فصل الشتاء (٢١ ديسمبر) عندما تتعامد الشمس على مدار الجدي الواقع جنوب خط الاستواء الجغرافي بمقدار تلك الزاوية. ثم ترتفع لتعود إلى نقطة الاعتدال الربيعي. والشكل أدناه يوضح موقع الشمس بالنسبة لفلك الاستواء (equator).



شكل (٦-١)

لذلك فإن المناطق التي تقع على مدار السرطان أو الجدي تتعامد الشمس عليهما مرة واحدة في السنة. بينما تتعامد الشمس مرتين على المناطق المحصورة بينهما مثل مكة المكرمة. ويؤدي اختلاف زاوية سقوط أشعة الشمس في أشهر السنة إلى تكون الفصول الأربعة. لكن المناخ العام لأي منطقة لا يعتمد فقط على زاوية سقوط الأشعة أو الموقع الجغرافي. لأن المناخ العام لأي منطقة جغرافية يحدد بعوامل كثيرة منها الموقع الجغرافية بالإضافة إلى تضاريس المنطقة والموقع بالنسبة للمسطحات المائية المختلفة والنشاطات الشمسية وغيرها.

وبما أن التوقيت المستخدم يعتمد على الشمس المتوسطة Mean Sun لذلك لابد من مراعاة الفرق بينها وبين الشمس الظاهرية (معادلة الزمن) عند تحديد موقع الشمس الفعلية في الأوقات المختلفة. ومعلوم أن ذلك الفرق يختلف باختلاف أوقات السنة وهو يختلف بتغير موقع نقطة الاعتدال الناشئ عن ترنح الأرض. كذلك لابد من مراعاة فرق التوقيت الفعلي عن جرينتش. وليس فارق التوقيت الإصطلاحي (+٣ مثلاً) وهو ما يمكن حسابه بفرق خطوط الطول بالساعات حسب القاعدة:

فرق خطوط الطول بالساعات = (خط الطول الأوسط – خط طول الموقع)/١٥ (6.1)

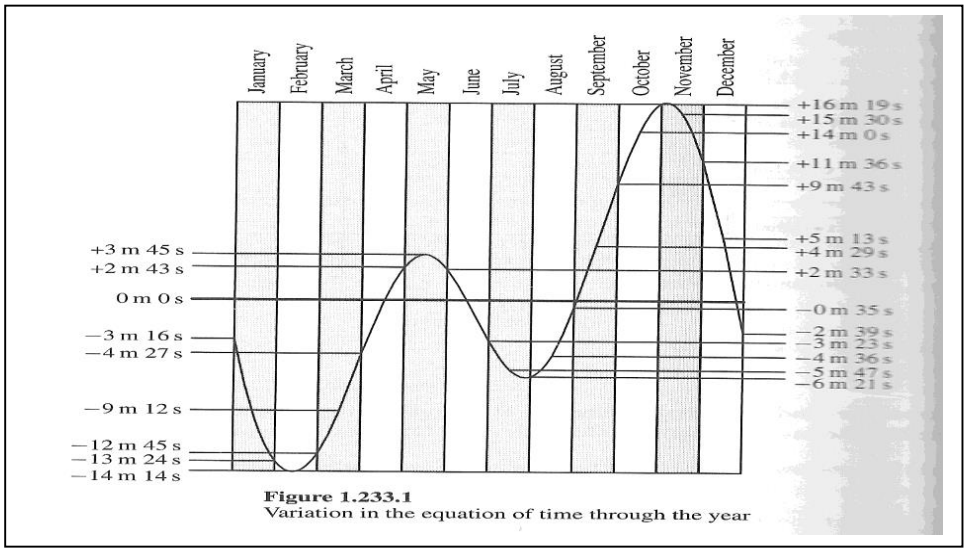
أيضا بما أن وقت شروق وغروب الشمس هو وقت شروق وغروب حافة الشمس. لذلك لابد من مراعاة نصف قطر الشمس والذي يساوي ربع درجة تقريباً. هذا بالإضافة لعوامل انكسار الضوء والتي تختلف قليلاً باختلاف درجة الحرارة. ولابد من مراعاة تكور الأرض أو اللوص الأفقي. وأخيراً لابد من مراعاة ارتفاع منطقة الرصد وخصوصاً إذا كان الارتفاع مفاجئاً كالمباني والجبال. وليس ارتفاع مستوياً كالهضاب الواسعة. إذا ينخفض الأفق للراصد المرتفع بالدرجات بمقدار:

انخفاض الدرجات بالنسبة للراصد المرتفع= ٠,٠٣٥٣× (الارتفاع)^{٠,٥} (6.2)

لذلك فإن وقت مرور مركز الشمس في خط الزوال (وقت الظهر) يمكن حسابه:

وقت الظهر = ١٢ + فرق خطوط الطول بالساعات – معادلة الزمن بالساعات (6.3)

ومعادلة الزمن يمكن إيجادها بشكل تقريبي من خلال المنحنى شكل (٦-٢):



شكل (٦-٢)

ويمكن حساب وقت شروق وغروب الشمس اعتماداً على الهندسة الكروية باستخدام العلاقة (4.5) :

جتا (HA) = (جا(a)–جا(δ) ×جا(ϕ))/ (جتا(δ) ×جتا(ϕ))

حيث a هي زاوية الإرتفاع أو ما تسمى بزاوية الميقات.

δ: الميل الاستوائي للشمس.

ϕ: دائرة العرض الجغرافية.

٢) أوقات الصلوات

لعل موضوع مواقيت الصلاة من المواضيع التي حضيت باهتمام الفلكيين المسلمين. ويمكن القول أن وقت صلاة الظهر هو الأسهل من حيث التحديد إذ أن وقتها يبدأ عندما يصل مركز الشمس إلى خط الزوال. ولذلك فإن أوقات الصلوات تحدد بزاوية الميقات أو زاوية الارتفاع السمتي (a) في معادلة وقت شروق وغروب الشمس وهي بعد مركز الشمس بالدرجات عن نقطة السمت عند حلول وقت الصلاة كالتالي:

١- يدخل وقت صلاة الظهر عندما تكون زاوية الساعة (HA) تساوي صفراً. أي عندما يمر مركز الشمس في خط الزوال.

٢- **الفجر الفلكي وانتشار (اعتراض) الفجر**: يعرف الفجر الفلكي على أنه بداية انعكاس ضوء الشمس وتشتته من الغلاف الجوي الأرضي. ويحدث عند بداية الفجر الفلكي أن يشاهد الضوء من جهة الشرق مرتفعا عن الأفق ومحاطا بالظلام لأن النقطة التي يتقاطع فيها ضوء الشمس مع الغلاف الجوي والتي تكون أقرب للراصد تكون مرتفعة فوق الأفق لذلك يبدو الضوء مرتفعا في البداية. ويمكن أن يطلق على ذلك الضوء بالفجر الأول (الكاذب) بالمصطلح الشرعي. ويبدأ الفجر الفلكي عندما تكون زاوية الميقات = ٩٠ + ١٨ = ١٠٨°. أي عندما تكون الشمس تحت الأفق الشرقي بزاوية انخفاض مقدارها ١٨°. وأما بداية انتشار أو اعتراض الفجر فيحدث بعد الفجر الفلكي بفترة. وقد تسمى تلك اللحظة بالفجر الثاني (الصادق) بالمعنى الشرعي. ويعتمد تحديد تلك الفترة أو زاوية الميقات لتلك اللحظة على كثرة واستمرار رصد تلك الظاهرة من أماكن وأوقات مختلفة. وإن كان قد حددت بالتجربة من قبل بعض الدراسات والمختصين بمقدار ١٠٦-١٠٥ درجة، أي أن زاوية انخفاض مركز الشمس عن الأفق (١٦-١٥ درجة) أو بحسب الدراسة أدناه: ١٥,٥° تحت الأفق.

راجع دراسة رصدية بعنوان "**رسالة حول الفجر**" قام بها المؤلف:
http://www.qasweb.org/articles/item.php?id=437

تجدر الإشارة إلى أن الفجر الفلكي يختلف عن الأضواء البروجية (zodiac lights) (الكاذب فلكيا) في أن الأضواء البروجية تظهر من جهة الشرق كضوء أبيض باهت على شكل مثلث قاعدته على الأفق ورأسه لأعلى. وهو ينتج نتيجة انعكاس ضوء الشمس عن أتربة وغبار تسبح في الفضاء وليس من الغلاف الجوي. وأما الفجر الفلكي فهو ضوء الشمس الذي يتشتت في الغلاف الجوي فينتشر في جهة الشرق. ومن الصعب مشاهدة النوعين في مناطق الأضواء الكثيرة كالمدن بل من المناطق المفتوحة والبعيدة عن الأضواء كالصحاري. ايضاً في المناطق البعيدة عن خط الاستواء والتي تكون دائرة العرض فيها أكبر من ٤٨,٥°±، فإنه قد يحصل في فصل الصيف فيها أن الشمس لا تنخفض عن ١٨° طيلة الليل أي أن ضياء الفجر الصادق يظل في الأفق.

٣- يدخل وقت صلاة المغرب الشرعي على الرأي المشهور عند الإمامية عندما تصل الحمرة المشرقية إلى منتصف السماء وهو ما يحدث عندما تكون زاوية الميقات تساوي $a = \pm 4^\circ$ تقريباً. أي عندما تغيب الشمس تحت الأفق الغربي بأربع درجات. أي بعد غروب الشمس بربع ساعة في المتوسط بحسب دائرة العرض المدارية للمنطقة. ولا تختلف تلك القيمة باختلاف الارتفاع. وأما بحسب الرأي غير المشهور عندهم وكذلك عند غير الإمامية فعندما تختفي الحافة العلوية لقرص الشمس عن الأفق الغربي أي عندما تساوي زاوية الميقات ٠,٨٤°± وهي زاوية نصف قطر الشمس ٢٧.٠° والزاوية الناتجة عن انكسار ضوء الشمس والتي تؤدي إلى تأخر اختفاء حافة الشمس وهو ما يعادل بالدرجات ٠,٥٦°.

٤- زاوية صلاة العشاء مثل صلاة الفجر ولكن في الجهة المقابلة (الغربية). وإن كان رصد العشاء أو الشفق وهو تحول الشفق للعتمة أصعب من رصد الفجر وهو بداية الضياء. كذلك فإن درجة الحرارة التي تكون أعلى في حالة العشاء من الفجر والتي تؤدي إلى إثارة الأبخرة يمكن اعتبارها سببا آخر في صعوبة رصد العشاء.

٥- يتأثر غروب الشمس المباشر وشروقها بالإرتفاع عن سطح الأرض، كذلك بظاهرة انكسار الضوء حيث يمكن رؤية جزء من قرص الشمس بعد فترة وجيزة من وقت الغروب وكذلك قبل نفس الفترة من وقت الشروق. لذلك السبب فإن زاوية

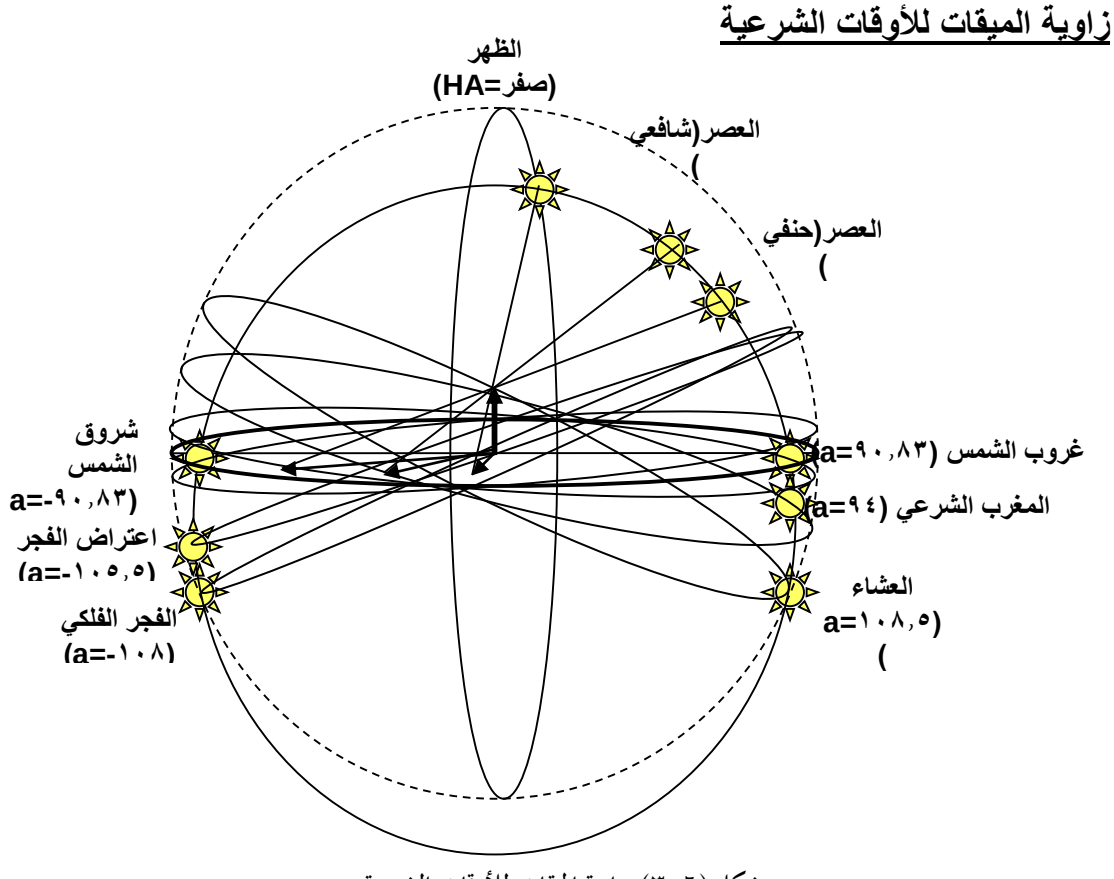
ميقات غروب وشروق حافة الشمس هي ±٠,٨٤° إذا كان سطح الأرض مستوياً. وتختلف تلك الزاوية باختلاف الارتفاع. وإذا وصلت الحمرة المشرقية لوسط السماء فإن غروب الشمس سيكون متيقناً بمعزل عن ارتفاع المبنى أو الجبل.

٦- زاوية صلاة العصر ووقتها يختلف باختلاف فصول السنة. وهي على رأيين أحدهما (الشافعي) يعتبر بدايتها عندما يصبح طول الظل مثل طول الشخص (الشاخص العمودي) مضافاً عليه طول الظل في وقت الزوال. والرأي الآخر (الحنفي) عندما يصبح الظل يساوي طول ضعف طول الشخص مضافاً إليه طول الظل وقت الزوال. وهناك رأي عند الإمامية يرى أن فضيلة صلاة الظ هر تبدأ عندما يكون الظل مساوي لأربعة أسباع طول الشاخص مضافا عليه طول الظل وقت الزوال. وبما أن ميل الشمس يتغير باختلاف فصول السنة لذلك فإن زاوية الميقات تتغير تبعا لذلك. ومن المعادلة (4.5) يمكن استنتاج زاوية الميقات لوقت العصر على النحو التالي:

$$\mathrm{a} = \cot^{-1}\{x + |\tan(\phi - \delta)|\} \begin{cases} x = 1 \ (\text{شافعي}) \\ x = 2 \ (\text{حنفي}) \\ x = \frac{4}{7} \ (\text{فضيلةظهر}) \end{cases} \qquad (6.4)$$

٧- المناطق التي تقع على خط طول واحد تتحد في وقت صلاة الظهر فقط وأما بقية الأوقات فتختلف فيها بحسب الفصل ويرجع السبب في ذلك إلى كروية الأرض. حيث تشرق الشمس على المناطق البعيدة عن دائرة تعامد الشمس قبل القريبة. ولكنها تغرب عن المناطق البعيدة بعد القريبة.

الشكل (٦-٣) أدناه يوضح زوايا الميقات a لكل صلاة.



شكل (٦-٣): زاوية الميقات للأوقات الشرعية

- **حساب أوقات الصلوات:**

١- **صلاة الظهرين:** يحين وقت صلاة الظهر عندما يمر مركز الشمس في خط الزوال. أن زاوية الساعة HA للشمس تساوي صفر. لذلك يمكن مباشرة استخدام المعادلة (6.3) التالية لحساب وقت الظهرين:

وقت الظهر = 12:00 + فرق خطوط الطول بالساعات - معادلة الزمن بالساعات.

فرق خطوط الطول بالساعات = (خط الطول الأوسط للمنطقة الزمنية – خط طول المنطقة) / ١٥.

ومعادلة الزمن يمكن ايجادها بشكل تقريبي من المنحنى (٦-٢) أو بشكل أدق يمكن حسابها أو استخراجها من الجداول اليومية لمعادلة الزمن وميل الشمس بالدقائق والدرجات للعام ٢٠١٩م بحسب جداول هيئة الملاحة الأميركية (٦-١)، ويمكن استخدامه لعدة سنوات لاحقة: (https://www.thenauticalalmanac.com/). ولابد من مراعاة إشارة معادلة الزمن والميل.

18 THE SUN, 2019

AT 0h UNIVERSAL TIME

Date	Equation of time	Declination	Date	Equation of time	Declination	Date	Equation of time	Declination	Date	Equation of time	Declination
	m s	° ′		m s	° ′		m s	° ′		m s	° ′
Jan. 0	−02 43	−23 07	Feb. 15	−14 09	−12 51	Apr. 1	−04 06	+04 21	May 17	+03 36	+19 13
1	03 12	23 02	16	14 06	12 30	2	03 49	04 44	18	03 35	19 26
2	03 40	22 57	17	14 03	12 10	3	03 31	05 07	19	03 33	19 39
3	04 08	22 52	18	13 58	11 49	4	03 14	05 30	20	03 30	19 52
4	04 36	22 46	19	13 53	11 27	5	02 56	05 53	21	03 26	20 05
5	−05 03	−22 40	20	−13 48	−11 06	6	−02 39	+06 16	22	+03 23	+20 17
6	05 30	22 33	21	13 41	10 44	7	02 22	06 38	23	03 18	20 29
7	05 57	22 26	22	13 34	10 23	8	02 05	07 01	24	03 13	20 40
8	06 23	22 18	23	13 27	10 01	9	01 49	07 23	25	03 08	20 51
9	06 48	22 10	24	13 18	09 39	10	01 32	07 46	26	03 02	21 02
10	−07 13	−22 02	25	−13 10	−09 17	11	−01 16	+08 08	27	+02 55	+21 12
11	07 38	21 53	26	13 00	08 54	12	01 01	08 30	28	02 48	21 23
12	08 01	21 43	27	12 50	08 32	13	00 45	08 52	29	02 41	21 32
13	08 25	21 34	28	12 40	08 09	14	00 30	09 13	30	02 33	21 41
14	08 47	21 23	Mar. 1	12 29	07 47	15	−00 15	09 35	31	02 25	21 50
15	−09 09	−21 13	2	−12 17	−07 24	16	00 00	+09 57	June 1	+02 16	+21 59
16	09 30	21 02	3	12 05	07 01	17	+00 14	10 18	2	02 07	22 07
17	09 51	20 50	4	11 53	06 38	18	00 28	10 39	3	01 57	22 15
18	10 10	20 38	5	11 40	06 15	19	00 41	11 00	4	01 47	22 22
19	10 30	20 26	6	11 26	05 52	20	00 55	11 21	5	01 37	22 29
20	−10 48	−20 14	7	−11 13	−05 28	21	+01 07	+11 41	6	+01 26	+22 36
21	11 05	20 01	8	10 58	05 05	22	01 19	12 01	7	01 15	22 42
22	11 22	19 47	9	10 44	04 42	23	01 31	12 22	8	01 04	22 48
23	11 38	19 34	10	10 29	04 18	24	01 43	12 42	9	00 52	22 53
24	11 54	19 20	11	10 14	03 55	25	01 53	13 01	10	00 41	22 58
25	−12 08	−19 05	12	−09 58	−03 31	26	+02 04	+13 21	11	+00 29	+23 03
26	12 22	18 50	13	09 42	03 08	27	02 14	13 40	12	00 17	23 07
27	12 35	18 35	14	09 26	02 44	28	02 23	13 59	13	+00 04	23 11
28	12 47	18 20	15	09 09	02 20	29	02 32	14 18	14	−00 08	23 14
29	12 58	18 04	16	08 52	01 57	30	02 40	14 37	15	00 21	23 17
30	−13 09	−17 48	17	−08 35	−01 33	May 1	+02 48	+14 55	16	−00 34	+23 20
31	13 19	17 31	18	08 18	01 09	2	02 55	15 13	17	00 46	23 22
Feb. 1	13 28	17 15	19	08 00	00 45	3	03 02	15 31	18	00 59	23 23
2	13 36	16 57	20	07 43	−00 22	4	03 08	15 49	19	01 12	23 25
3	13 43	16 40	21	07 25	+00 02	5	03 13	16 06	20	01 25	23 26
4	−13 50	−16 22	22	−07 07	+00 26	6	+03 18	+16 24	21	−01 38	+23 26
5	13 56	16 04	23	06 49	00 49	7	03 23	16 40	22	01 51	23 26
6	14 01	15 46	24	06 31	01 13	8	03 27	16 57	23	02 04	23 26
7	14 05	15 28	25	06 13	01 37	9	03 30	17 13	24	02 17	23 25
8	14 08	15 09	26	05 55	02 00	10	03 33	17 29	25	02 30	23 24
9	−14 11	−14 50	27	−05 37	+02 24	11	+03 35	+17 45	26	−02 43	+23 22
10	14 12	14 31	28	05 18	02 47	12	03 36	18 00	27	02 55	23 20
11	14 13	14 11	29	05 00	03 11	13	03 38	18 15	28	03 08	23 18
12	14 14	13 52	30	04 42	03 34	14	03 38	18 30	29	03 20	23 15
13	14 13	13 32	31	04 24	03 57	15	03 38	18 45	30	03 32	23 12
14	−14 12	−13 11	Apr. 1	−04 06	+04 21	16	+03 38	+18 59	July 1	−03 44	+23 08
15	−14 09	−12 51	2	−03 49	+04 44	17	+03 36	+19 13	2	−03 56	+23 04

Equation of time = apparent time – mean time

19 THE SUN, 2019

AT 0h UNIVERSAL TIME

Date	Equation of time	Declination	Date	Equation of time	Declination	Date	Equation of time	Declination	Date	Equation of time	Declination
	m s	° ′		m s	° ′		m s	° ′		m s	° ′
July 1	−03 44	+23 08	Aug. 16	−04 26	+13 54	Oct. 1	+10 06	−02 59	Nov. 16	+15 24	−18 36
2	03 56	23 04	17	04 14	13 35	2	10 25	03 22	17	15 13	18 51
3	04 07	23 00	18	04 01	13 15	3	10 45	03 46	18	15 02	19 06
4	04 18	22 55	19	03 48	12 56	4	11 03	04 09	19	14 49	19 20
5	04 29	22 50	20	03 34	12 37	5	11 22	04 32	20	14 36	19 34
6	−04 40	+22 44	21	−03 19	+12 17	6	+11 40	−04 55	21	+14 22	−19 48
7	04 50	22 38	22	03 05	11 57	7	11 58	05 18	22	14 07	20 01
8	05 00	22 32	23	02 49	11 37	8	12 15	05 41	23	13 51	20 14
9	05 09	22 25	24	02 34	11 16	9	12 32	06 04	24	13 34	20 26
10	05 18	22 18	25	02 18	10 56	10	12 49	06 27	25	13 17	20 38
11	−05 26	+22 10	26	−02 01	+10 35	11	+13 05	−06 49	26	+12 59	−20 50
12	05 34	22 02	27	01 44	10 14	12	13 20	07 12	27	12 40	21 01
13	05 42	21 54	28	01 27	09 53	13	13 35	07 35	28	12 20	21 12
14	05 49	21 45	29	01 09	09 32	14	13 50	07 57	29	12 00	21 23
15	05 55	21 36	30	00 51	09 11	15	14 04	08 19	30	11 39	21 33
16	−06 01	+21 26	31	−00 33	+08 49	16	+14 18	−08 41	Dec. 1	+11 17	−21 43
17	06 07	21 17	Sept. 1	−00 15	08 28	17	14 31	09 04	2	10 55	21 52
18	06 12	21 06	2	+00 04	08 06	18	14 43	09 25	3	10 32	22 01
19	06 16	20 56	3	00 24	07 44	19	14 55	09 47	4	10 08	22 10
20	06 20	20 45	4	00 43	07 22	20	15 06	10 09	5	09 44	22 18
21	−06 24	+20 34	5	+01 03	+07 00	21	+15 16	−10 30	6	+09 19	−22 25
22	06 27	20 22	6	01 23	06 38	22	15 26	10 52	7	08 54	22 33
23	06 29	20 10	7	01 43	06 15	23	15 35	11 13	8	08 28	22 39
24	06 31	19 58	8	02 04	05 53	24	15 44	11 34	9	08 02	22 46
25	06 32	19 45	9	02 24	05 30	25	15 51	11 55	10	07 35	22 52
26	−06 32	+19 32	10	+02 45	+05 08	26	+15 58	−12 16	11	+07 08	−22 57
27	06 32	19 19	11	03 06	04 45	27	16 05	12 36	12	06 41	23 02
28	06 32	19 06	12	03 28	04 22	28	16 10	12 56	13	06 13	23 06
29	06 31	18 52	13	03 49	03 59	29	16 15	13 16	14	05 45	23 10
30	06 29	18 38	14	04 10	03 36	30	16 19	13 36	15	05 16	23 14
31	−06 26	+18 23	15	+04 32	+03 13	31	+16 22	−13 56	16	+04 48	−23 17
Aug. 1	06 24	18 08	16	04 53	02 50	Nov. 1	16 24	14 16	17	04 19	23 20
2	06 20	17 53	17	05 15	02 27	2	16 26	14 35	18	03 49	23 22
3	06 16	17 38	18	05 36	02 04	3	16 27	14 54	19	03 20	23 24
4	06 11	17 22	19	05 58	01 41	4	16 27	15 12	20	02 50	23 25
5	−06 06	+17 06	20	+06 19	+01 18	5	+16 26	−15 31	21	+02 21	−23 26
6	06 00	16 50	21	06 41	00 54	6	16 25	15 49	22	01 51	23 26
7	05 53	16 33	22	07 02	00 31	7	16 23	16 07	23	01 21	23 26
8	05 46	16 17	23	07 23	+00 08	8	16 19	16 25	24	00 51	23 25
9	05 38	16 00	24	07 44	−00 16	9	16 15	16 42	25	+00 21	23 24
10	−05 29	+15 42	25	+08 05	−00 39	10	+16 11	−16 59	26	−00 09	−23 23
11	05 20	15 25	26	08 26	01 02	11	16 05	17 16	27	00 39	23 21
12	05 11	15 07	27	08 46	01 26	12	15 58	17 33	28	01 09	23 18
13	05 00	14 49	28	09 07	01 49	13	15 51	17 49	29	01 38	23 15
14	04 50	14 31	29	09 27	02 13	14	15 43	18 05	30	02 07	23 12
15	−04 38	+14 12	30	+09 47	−02 36	15	+15 34	−18 21	31	−02 36	−23 08
16	−04 26	+13 54	Oct. 1	+10 06	−02 59	16	+15 24	−18 36	32	−03 05	−23 04

UT of transit = $12^h - \frac{\text{east}}{+\text{ west}}$ longitude – equation of time

الجدول (٦-١)

- **مثال: احسب وقت الظهر للمدينة القطيف (49.93 E) في يوم ٣ يوليو ٢٠١٩م.**

وقت الظهر = 12 + (45 − 49.93)/15 − 1:17 = 12:00:00 -19:43 + 4:07= 11:44:24ص.

٢- **صلاة الفجر والعشاء:** يمكن حساب وقت الفجر الفلكي أو وقت اعتراض الفجر وكذلك وقت العشاء بحسب المعادلة 1.5. وذلك بالتعويض بقيمة **a** وقيمة ميل الشمس (δ) في اليوم المحدد ومن ثم إيجاد زاوية الساعة HA للشمس وتحويلها إلى ساعات. وبعد ذلك يتم طرح تلك القيمة من وقت الظهر للفجر أو إضافتها لوقت العشاء. ويمكن إيجاد الميل بشكل تقريبي من الشكل (٦-١)، أو بشكل أدق من الجدول (٦-١).

- **مثال: احسب وقت الفجر الفلكي ووقت اعتراض الفجر (الصادق) ووقت العشاء لمدينة القطيف (49.93 E, 26.55N) في يوم ٣ يوليو ٢٠١٩م.**

من المعادلة (4.5) يمكن إيجاد زاوية الساعة:

$$\mathbf{HA = \cos^{-1}\left(\frac{\sin(a)-\sin(\delta)\sin(\phi)}{\cos(\delta)\cos(\phi)}\right)} \qquad (6.5)$$

ومنها يمكن إيجاد وقت الفجرين والحساب باستخدام برنامج اكسل على النحو التالي:

a	ϕ للمنطقة	δ للشمس	HA	HA(degree)	HA(hr)	HA(hh:mm)	Dhr	الفجر الفلكي	العشاء/الفلكي
-18.00	26.55	23.00	2.20	125.97	8.40	8:23:53	11:44:24	3:20:31	20:08:17
a	ϕ للمنطقة	δ للشمس	HA	HA(degree)	HA(hr)	HA(hh:mm)	Dhr	الفجر الصادق	العشاء/الصادق
-15.50	26.55	23.00	2.14	122.46	8.16	8:09:49	11:44:24	3:34:35	19:54:13

٣- **حساب وقت شروق وغروب الشمس والمغرب الشرعي:** حيث يمكن استخدام نفس المعادلة السابقة (6.5) وبنفس الطريقة ولكن بزاوية

a = -0.84° للشروق والغروب. و a = -4° للمغرب الشرعي.

- **مثال: احسب وقت شروق الشمس وغروبها والمغرب الشرعي لمدينة القطيف (49.93 E, 26.55) في يوم ٣ يوليو ٢٠١٩م.**

من المعادلة (6.4) يمكن إيجاد زاوية الساعة ومنها يمكن إيجاد وقت الشروق والغروب والمغرب الشرعي، والحساب باستخدام برنامج اكسل على النحو التالي:

a	ϕ للمنطقة	δ للشمس	HA (rad)	HA(degree)	HA(hr)	HA(hh:mm)	Dhr	شروق الشمس	غروب الشمس
-0.84	26.55	23.00	1.80	103.29	6.89	6:53:10	11:44:24	4:51:14	18:37:34

a	ϕ للمنطقة	δ للشمس	HA (rad)	HA(degree)	HA(hr)	HA(hh:mm)	Dhr	المغرب الشرعي
-4.00	26.55	23.00	1.87	107.27	7.15	7:09:04	11:44:24	18:53:28

٤- **حساب وقت العصر وفضيلة الظهر**: وبما أن زاوية الميقات ليست ثابتة في هذه الحالة. لذلك تستخدم المعادلة (6.4) لايجاد زاوية الميقات أولاً. ثم وبنفس الطريقة يتم إيجاد وقت العصر والفضيلة. الجدير بالذكر أن زاوية الميقات لوقت العصر قد تتأثر قليلا بظاهرة انكسار الضوء. ولكن يمكن اهمالها.

- **مثال: احسب وقت العصر حسب الرأي الشافعي والحنفي. وكذلك وقت فضيلة الظهر في يوم ٣ يوليو ٢٠١٩م.**

يمكن إيجاد وقت العصريين وفضيلة الظهر والحساب باستخدام برنامج اكسل على النحو التالي:

a	ϕ للمنطقة	δ للشمس	HA	HA(degree)	HA(hr)	HA(hh:mm)	Dhr	العصر (شافعي)
0.76	26.55	23.00	0.90	51.65	3.44	3:26:37	11:44:24	15:11:01

a	ϕ للمنطقة	δ للشمس	HA	HA(degree)	HA(hr)	HA(hh:mm)	Dhr	العصر (حنفي)
0.45	26.55	23.00	1.25	71.47	4.76	4:45:53	11:44:24	16:30:17

a	ϕ للمنطقة	δ للشمس	HA	HA(degree)	HA(hr)	HA(hh:mm)	Dhr	فضيلة الظهر
1.01	26.55	23.00	0.62	35.53	2.37	2:22:07	11:44:24	14:06:31

وللمزيد حول حساب أوقات الصلوات:

1- DEFINITION & CALCULATION of PRAYER TIMINGS, Abdurrahman ÖZLEM
http://alperen.cepmuvakkit.com/alperen/makale/index.htm#Namaz

2- How to compute rise/set times and altitude above horizon, Paul Schlyter
http://www.stjarnhimlen.se/comp/riset.html

٣- معادلات حساب مواقيت الصلوات لمحمد عودة
http://www.icoproject.org/article/2001_salat.html

الدرس الثامن

القمر ونشأته وأهم خصائصه ووقت شروقه وغروبه

١) نشأة القمر

لايختلف الفلكيون على أن القمر جزء أصيل قد تكون من نفس سحابة المجموعة الشمسية. ولكن هناك نظريتان أساسيتان لطريقة تكونه.

النظرية الأولى: أن القمر قد تكون من نفس الغبار التي تكونت منه الأرض وفي نفس الفترة الزمنية التي تكونت فيها الأرض. لذلك فإن العناصر الأساسية في مكونات الأرض هي ذات العناصر في مكونات القمر. وأهم تلك العناصر السليكون. وقد تم التحقق من ذلك بالرصد الطيفي للقمر وكذلك بتحليل الأحجار والعينات التي استجلبها الإنسان من القمر.

النظرية الثانية: أن القمر قد تكون من لب وقشرة الأرض بعد اصطدام كويكب بالأرض في فترة بداية تكون الأرض. ويؤيد تلك النظرية بالإضافة لتكون الأرض والقمر من نفس العناصر الأساسية، أن العينات التي جلبت من القمر لها نفس مكونات قشرة ولب الأرض. وأن نسبة العناصر الثقيلة في تلك العينات أقل بشكل ملحوظ من نسبتها في قشرة الأرض. وهو ما يؤيد النظرية الثانية حيث أن القمر تكون لب الأرض وقشرتها التي تحتوي نسبة أقل من العناصر الثقيلة.

٢) أهم خصائص القمر