جمهورية العراق

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة بابل

كلية التربية للعلوم الصرفة

قسم الرياضيات

الهندسة الكروية

بحث مقدم إلى

قسم الرياضيات / كلية التربية للعلوم الصرفة وهو جزء من متطلبات نيل درجة البكالوريوس

إعداد الطالب:

عذراء حسن عيدان

بإشراف:

أ.د.كوثر فوزي حمزه

1447 هـ **2026 م**

﴿ وَأَن لَّيْسَ لِلْإِنسَانِ إِلَّا مَا سَعَى ﴾

صدق الله العظيم

(سورة النجم: 39)

الإهداء

إلى صاحب السيرة العطرة، والفكر المستنير؛ فلقد كان له الفضل الأول في بلوغي التعليم العالي

(والدي الحبيب)، أطال اللّه في عمره.

إلى من وضعتني على طريق الحياة، وجعلتني رابط الجأش،

ورعتني حتى صرت كبيراً

(أمي الغالية)، طيب اللّه ثراها.

إلى شريك حياتي (زوجي العزيز)؛

الذي كان سندي وداعمي في مسيرتي، ووقف إلى جانبي بكل حب وصبر،

فله مني كل الشكر والتقدير

إلى إخواني من كان لهم بالغ الأثر في كثير من العقبات والصعاب.

إلى جميع أساتذتي الكرام؛ ممن لم يتوانوا في مد يد العون لي.

الشكر والتقدير

أتقدم بخالص الشكر والتقدير إلى الله سبحانه وتعالى الذي وفقني لإتمام هذا البحث.

كما أتقدم بجزيل الشكر والامتنان إلى أستاذي المشرف

أ.د.كوثر فوزي حمزه

لما قدمه من توجيهات علمية قيمة ومتابعة مستمرة كان لها الأثر الكبير في إنجاز هذا البحث.

ولا يفوتني أن أتقدم بالشكر لكل من ساهم في إنجاح هذا العمل.

ملخص

يتناول هذا البحث موضوع الهندسة الكروية بوصفها أحد الفروع المهمة في الرياضيات غير الإقليدية، والتي تُستخدم بشكل واسع في علم الفلك والملاحة لتحديد المواقع وحساب المسافات على سطح الكرة الأرضية والكرة السماوية.

بدأ البحث بعرض مفهوم علم الفلك وتطوره عبر العصور، مبينًا أهميته قديماً في معرفة المواسم والاتجاهات، وحديثاً في تطوير التكنولوجيا وفهم الكون. كما تم التطرق إلى دور الرياضيات الفلكية، بما تشمل من عمليات جبرية، مصفوفات، وإحصاء، في تحليل الظواهر الفلكية والوصول إلى نتائج دقيقة.

ثم تناول البحث حركة النجوم وطرق قياس بعدها، مثل طريقة اختلاف المنظر وطريقة نقطة التلاقي، إضافة إلى استخدام الوحدات الفلكية المختلفة كالسنة الضوئية والفرسخ الفلكي. كما تم شرح بعض الخصائص الفيزيائية للنجوم مثل شدة الإضاءة ودرجة الحرارة والحجم والكتلة، مع توضيح أنواع النجوم والمجرات، بما في ذلك مجرات سيفرت والكوازارات.

وفي الجانب الهندسي، ركّز البحث على الهندسة الكروية وخصائصها، حيث تختلف عن الهندسة المستوية في أن أقصر مسافة بين نقطتين تكون على قوس دائرة عظمى، وأن مجموع زوايا المثلث الكروي أكبر من 180 درجة. كما تم عرض القوانين الأساسية مثل قانون الجيب وقانون جيب التمام للمثلثات الكروية.

واختتم البحث بتطبيقات عملية للهندسة الكروية، أهمها تحديد اتجاه القبلة باستخدام الحسابات الهندسية الدقيقة، مما يبرز أهمية هذا العلم في الحياة اليومية إضافة إلى أهميته العلمية.

Contents

المقدمة 1

1. الرياضيات الفلكية..... 3

2. العمليات الجبرية 6

3. العمليات الجبرية في المصفوفات ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.

4. الإحصاء في الفلك..... 8

2-1 طريقة قياس اختلاف الرؤية 11

2_2مقياس المسافات 13

2_3 طريقة نقطة التلاقي 14

4_4 (اختلاف المنظر) 15

الفصل الثالث .....

اضاءة النجوم وحرارتها 19

3_1/ شدة الإضاءة المطلقة للنجوم..... 19

3_2/ درجة حرارة النجوم 20

4_1/ حجم النجوم وكتلتها 20

4_2/ أنواع نجوم خط التتابع الرئيسي..... 21

2_1 أنواع النجوم المتغيرة 22

4_3/ المجرات ذات النواة النشطة..... 22

3_1/ مجرات سيفرت 23

3_2/ الكوازارات 23

3_2 الكرة السماوية: 30

3_3 تحديد اتجاه القبلة..... 33

1.المقدمة

يعتبر علم الفلك بأنه معرفه تراكيب الافلاك وكميه الكواكب واقسام البروج وابعادها ويتم دراسة حركتها وبعدها وسطوحها وهذا الفن الالهي الكبير الواسع جعل العلماء يسعون لدراسته والكشف عنه بدأ العلماء يرصدون الفلك والتحري كل مايدور فيه وكانوا كثري العناية بعلم الفلك يرصدون الافلاك ويراقبون الكواكب السيارة

ويعتبر علم الفلك هو بحث في حركات افراد المجموعات الشمسيه ومنها الارض ومدارات الكواكب السياره وانزياح وابعادها عن بعضها البعض وعن الشمس وكل هذا يحتاج الي دراسه علميه تعتمد على الرصد والالات الدقيقه والرياضيات البحته

تم تناول في هذا البحث موضوع الهندسه الكرويه ولما لها اهميه في البروج والانزياح ومنازل الشمس فالبروج هي في منازل الشمس والقمر وهي اثنا عشر برجاً اما الانزياح هي حركة كل كوكب منها يفهم مواقع الكواكب في افلاكها ومنها يعرف تواريخ والشهور والايام اما منازل الشمس بالنسبه للبروج فهي اربعه منازل وباللغة علم الفلك وتطورها المستمر اما الهندسه الكرويه هي فرع من الهندسه اللاقليديه يدرس الاشكال والخطوط على سطح الكره (ثنائي الابعاد)

تعد اقواس الدوائر العظمى هي مستقيمات فيها ويتميز مثلثاتها بأنه مجموع زواياه دائما أكبر من 180درجة وتستخدم بشكل اساسي في الملاحة البحرية والجوية وعلم الفلك لتحديد المواقع وحساب وحساب المسافات على سطح الارض ويعد علم الفلك من احد تطبيقات الهندسه الكرويه

في هذا البحث قدمنا مفهوم الرياضيات الاحصاء الفلكيه وتم تناول موضوع النجوم وحركتها وبعد النجوم عن بعضها البعض وبعض خواصها وانواع النجوم الثابته والمتغيره منها

كذلك تم التطرق الي موضوع المجرات منها مجرات سيفرت ودراسه الكوازارات وخصائصها وفي الجزء الاخير من البحث قدمنا الهندسة الكروية وبعض الامثلة وكذلك القبة السماوية وقياس الوحدات الفلكية وامثلة عليها.

2.الرياضيات الفلكية

علم الفلك Astronomy

يعتبر علم الفلك واحد من اقدم العلوم التي عرفتها الانسانية لأنه بدا مع تشكل وعي الانسان عن هذا العالم. فصورة السماء بنجومها وكواكبها اللامعة تبهر الابصار وتجعل الانسان يتساءل عن كيفية تكوينها وشكل حركتها. لاحظ الانسان حركة الاجرام السماوية فوجدها متباينة فمنها من يتحرك جملة واحدة ومنها من يتحرك بصورة منفردة ومنها من يتحرك بصورة مستقيمة ومنها من يتراجع عن حركته تارة اخرى. بعد ذلك وجد الانسان ان بعضا منها مضيء بذاته فسماها بالنجوم واخرى مستضيئة (اي تعكس الضوء) سماها بالكواكب.

2.1 (أهمية علم الفلك قديماً)

1. **معرفة اوقات الانواء وتغيرات الاحوال الجوية.**

حيث ربطت الحضارات القديمة بين علم الفلك والانواء الجوية ربط اقتراني, حيث عرفوا حصول مثلا رياح ومطر وحر وبرد بضهور بعض النجوم او كوكبات نجمية دون ان تكون لهذه النجوم علاقة مباشرة او غير مباشرة مع تلك الانواء.

وضع البابليون جداول تعرف الفلاح بأوقات الحراثة و الزراعة والحصاد وكذلك حددوا مواسم المطر من خلال ربط هذه الانواء بنجوم معينة.

2. **التنبؤ بأحداث المستقبل:**

وذلك عن طريق معرفة مواقع الشمس والقمر والكواكب في البروج وسموه بعلم التنجيم او احكام النجوم. اكثر من دعم وشجع ذلك هم الملوك والامراء واصحاب الثروة والسبب في ذلك لكي يميزوا اعدائهم مثلا او امور خاصة بالحكم.

3. **الاهتمام بالنجوم في البر والبحر:**

من المعروف ان خارطة السماء ادق من خارطة الارض اذ لا يعتريها تغير فهي تبقى ثابتة, لذلك كانوا يستخدمون النجوم في المسير ليلا في الصحراء وكذلك في الابحار لمعرفة الاتجاهات.

علم الفلك حديثًا:

أصبح علم الفلك في **العصور الحديثة** من العلوم المهمة جدًا، لأنه لم يعد يقتصر على دراسة النجوم والكواكب فقط، بل يساعد أيضًا في تطوير التكنولوجيا وفهم الكون الذي نعيش فيه.

1. فهم الكون وأصله من أهمياته:

يساعدنا في معرفة كيف نشأ الكون بعد وكيف تتطور المجرات والنجوم.

2. تطوير التكنولوجيا

الكثير من التقنيات الحديثة جاءت من أبحاث الفضاء

مثل:

- الأقمار الصناعية
- أنظمة الاتصالات
- تقنيات التصوير.

3. التنبؤ بالظواهر الكونية

مثل:

- الكسوف والخسوف
- اصطدام الكويكبات المحتمل بالأرض.

4. خدمة الحياة على الأرض

يساهم في:

- تحسين نظام GPS
- مراقبة الطقس والمناخ
- الاتصالات العالمية.

5. البحث عن حياة خارج الأرض

يدرس العلماء كواكب خارج المجموعة الشمسية لمعرفة إمكانية وجود حياة عليها.

6. تعزيز التفكير العلمي

يعلم الإنسان:

- التحليل
- التفكير المنطقي
- طرح الأسئلة الكبيرة عن الكون.

الرياضيات الفلكية :

لدراسة بعض الحسابات الفلكية يحتاج بعض المفاهيم والعمليات الرياضية الجبرية والهندسية والإحصائية ومنها:

2.2 العمليات الجبرية

وتشمل العمليات الجبرية والأعداد العشرية (الفواصل) والأسية وكذلك حل المعادلات الرياضية من الدرجة الأولى والثانية والمعادلات الأسية واللوغاريتمية 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÷2 + (4+2)x x - 5) = 6x2 = 20

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.

مثال 1: معادلة الانزياح الأحمر للأجرام الفلكية تحتوي ثلاث 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

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

$$z\lambda_i + \lambda_i = \lambda_r$$

مثال 2 : من معادلة الاستضاءة الظاهرية F بالنسبة لإضاءة المصدر الضوئي الفعلية L

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

إيجاد r بالنسبة لباقي المتغيرات

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

1. **حل المعادلات الأسية أو اللوغاريتمية:** حيث تحتوي في العادة على عدة متغيرات بعضها أسي أو لوغارتي.

مثال 3: النسبة بين الإضاءة الظاهرية لجرمين فلكيين F1.F2 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:

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

العمليات الجبرية في المصفوفات

المصفوفات 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.

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

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

2.3 الإحصاء في الفلك

إن الإحصاء بجميع فروعه ومستوياته البسيطة والمعقدة تستخدم في علم الفلك بجميع فروعه. سواءً الإحصاء المبني على نظرية التكرار المجرد أو المبني على التكرار السببي أو المعروفة بإحصاء بايس

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 Xm): 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 Xm والقيمة الفعلية أو المقبولة Xa. وهي توضح مدى ضبط النتائج ومصداقيتها. ويمكن إيجادها كالتالي:

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

نسبة الفرق (Dif%): نسبة الفرق بين قيمتين تجريبيتين X1 و X2 وهي توضح الفرق النسي 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.

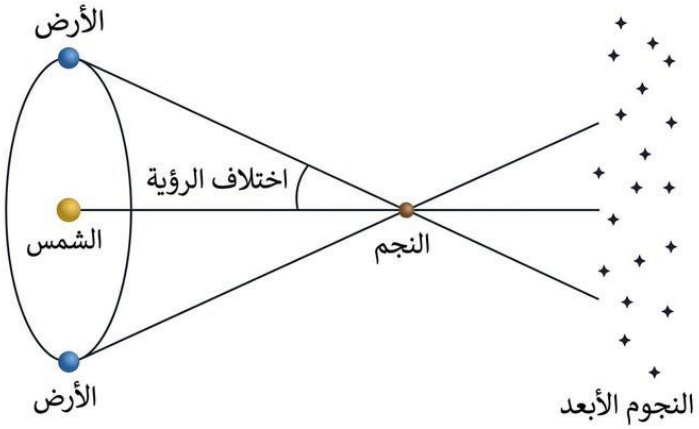
3. حركة النجوم وبُعدها

حتى منتصف القرن الثامن عشر، قلما كانت النجوم غير الشمس تمثل أهمية للفلكيين. ففي الواقع، بينما كانت الكواكب تنتقل في السماء وكانت بعض تفاصيلها مرئية بالمرقب، كانت النجوم تبدو ثابتة تمامًا في موقعها ولا يبدو عليها أي تغير حتى بالنسبة لأفضل المعدات

وكانت الثورة الأولى في عام ١٧١٨ حين أثبت إدموند هالي، مكتشف مُذنَب هالي، أن النجوم ليست ثابتة في السماء؛ فقد انكبَّ على رصد مواقع العديد من النجوم وقارن لتائجه بعمليات رصد أقدم بعد الأخذ في الحسبان بتغير وضع الأرض وكانت المرحلة التالية في دراسة النجوم تتمثل في تحديد المسافة التي تفصلها عن الأرض.

3_1 طريقة قياس اختلاف الرؤية

كانت الطريقة الأولى التي ابتدعها علماء الفلك لقياس مدى بُعْد النجوم ترتكز على قياسات دقيقة لمواقع النجوم ولظاهرة اختلاف الرؤية؛ ولفهم هذه الظاهرة يمكنك القيام بتجربة شديدة البساطة: قف على بعد عدة أمتار من أحد لجدران ومد ذراعك اليمنى وارفع إحدى أصابعك ولاحظ موضعها بالنسبة للجدار. حرك رأسك الآن بالتبادل لليمين واليسار دون تحريك ذراعك. لو الأمور سارت بشكل جيد، فإن الموضع الظاهري لإصبعك بالنسبة للجدار لا بد أن يتغير. هذه هي الظاهرة المعنية، التغير في رؤية الموقع الظاهري لجرم بعيد، نتيجة لتغير موضع الراصد، وهي ما نسميه اختلاف الرؤية.



شكل (1) طريقة اختلاف الرؤية

بفعل دوران الأرض حول الشمس يتغير بشكل طفيف الوضع الظاهري لنجم ما قريب بالنسبة للنجوم الأبعد. وبقياس التغير الزاوية يمكننا تحديد مسافة ذلك النجم.

لقد حاول الفلكيون مبكرا للغاية استخدام اختلاف الرؤية لقياس مسافة النجوم. فى الواقع، إذا استبدلت بإصبعك نجما قريبا واستبدلنا بالجدار خلفية من نجوم أخرى شديدة الابتعاد، فإن نفس الظاهرة ستحدث. ويسبب دوران الأرض حول الشمس، فإن الراصد من الأرض يكون فى حالة حركة. من هذا المنطلق، فإن الموقع الظاهرى لنجم قريب بالنسبة لخلفية مكونة من النجوم الأبعد يتغير باستمرار بشكل طفيف. ولو كان التغير الزاوى الطفيف قابلاً للقياس، فإنه يمكننا بالاستعانة ببعض المعرفة الهندسية حساب المسافة بيننا وبين ذلك النجم.

3-2 مقياس المسافات

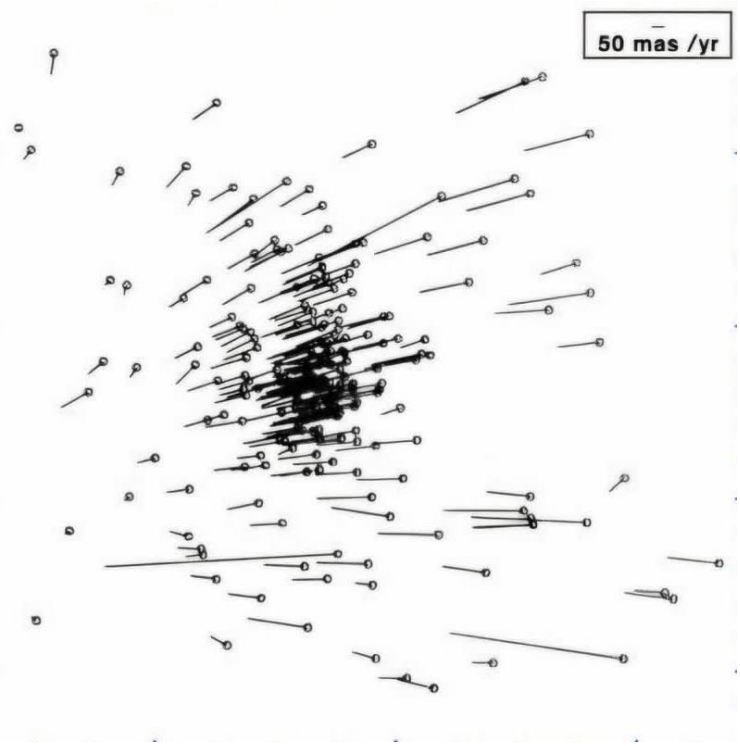
ولتحقيق تصور أفضل لهذه المسافات الكونية فلنتخيل نموذجا مصغرا لجوار الشمس، باستخدام مقياس للمسافات فلتَقُل إن عشرة أمتار تمثل وحدة فلكيتم الشمس والأرض إذن ستمثلان بكُرتين قطرهما على التوالي (٩٠) و (٠,٨) مليمتر ومنفصلتين بمسافة عشرة أمتار. وإذا أضفنا جسمين آخرين من المجموعة الشمسية في موقعيهما، سيكون المشترى على بعد اثنين وخمسين مترا من الشمس، وبلوتو على بعد أربعمائة مترا

النجم الأقرب من الشمس وهو (بروكسيما قنطورس)، فسوف يقع على بعد ألفين وسبعمائة كيلومتر من باريس؛ أى عند موسكو. بهذا الشكل، فإنه حتى النجوم الأقرب موجودة على مسافات خيالية تزيد بآلاف المرات على مسافة بلوتو، وهى مسافة فى حد ذاتها هائلة مقارنة بالمقاييس العادية.L ١ وتجدر الإشارة أيضًا إلى أن أقصى مسافة قطعها الإنسان فى الفضاء، وهى المسافة من الأرض إلى القمر، لا تمثل فى نموذجنا سوى نحو ستة وعشرين ملليمترًا.

والحل الحديث للعلاج هو وضع أداة الرصد خارج الغلاف لجوى الأرضى، وهو ما تم تنفيذه فى عام ١٩٨٩ بإطلاق قمر صناعي لقياس الفلكي يدعى (هيباركوس).

3_3 طريقة نقطة التلاقي

لم يكن لدى الفلكيين أقمار صناعية وكان عليهم إذن العثور على منهج آخر لقياس المسافات الأكبر من مائة سنة ضوئية. وقد توصلوا إلى ذلك بابتكار تقنية جديدة تدعى طريقة نقطة التلاقي، وكانت ترتكز على قياس التحركات الظاهرية لبعض النجوم.



شكل (2) طريقة نقطة التلاقي

وتتحرك اغلبية نجوم التجمع في نفس الاتجاه؛ ولكن بإسقاطها على القبة السماوية فإنها تبدو كأنها نتجه إلى الالتقاء عند نقطة واحدة.

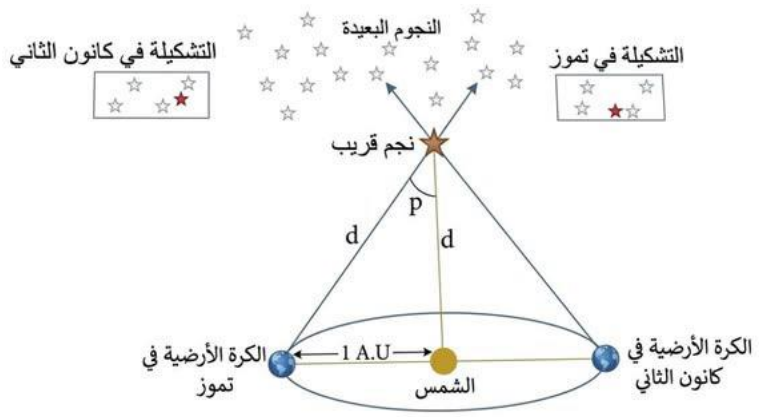
لقد رأينا أن النجوم ليست ثابتة لكن تتحرك في السماء. تلك التحركات الزاوية القابلة للرصد من الأرض لا تشكل إلا جزءًا من الحركة الحقيقية للنجوم.

فإن الحركة الحقيقية لنجم ما يمكن تحليلها لمكونين: حركة تماسِّية يمكن حسابها بقياسات للموقع، على غرار المذنب هالى، وحركة في اتجاه القطر أو اتجاه خط البصر، ويمكن تقدير قيمتها بمساعدة تأثير دوبلر.

3_4 (اختلاف المنظر)

هو تغير موقع نجم ما بالنسبة إلى النجوم البعيدة كنتيجة لدوران الأرض حول الشمس يسمى هذا التغير باختلاف المنظر "p ويقاس بالثواني القوسية. كلما كان الجرم السماوي اقرب كلما كانت زاوية اللوص إكبر ويمكن استخدام اللوص في قياس بعد النجوم القريبة من الأرض.

في الشكل (3) يحدد موقعين لراصد على مدار الأرض والمدة بينهما نصف عام وان قياس الزاوية "p يعتمد على البعد بين الأرض والشمس (1A.U)



الشكل (3) اختلاف زاوية المنظر

من الشـــكل (3) يمكن اســـتخراج بعد النجم (d) بدلالة زاوية اختلاف المنظر "P التي يمتلكها النجم وذلك باسـتخدام العلاقة المعروفة (طول القوس = نصـف القطر x الزاوية النصـف قطري التي تقابله)، إذا اعتبرنا أن المســافة بين الأرض والشــمس (1 AU) جزء من قوس دائرة نصــف قطرها d (بعد النجم) والزاوية التي تقابل هذا القوس هي زاوية اختلاف المنظر "P أي أن:

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

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

هذه المعادلة تمثل بعد النجم d بالوحدات الفلكية $d = \frac{206265}{p'} AU$

$$d = \frac{\frac{206265 * 149.598x10^{6}km}{9.45x10^{12}km}}{P'} LY$$

لإيجاد البعد بوحدات السنة الضوئية

نضرب بسط العلاقة السابقة بقيمة الوحدة الفلكية ثم

يقسم الناتج على مسافة السنة الضوئية

لذلك فأن بعد النجم d بالسنوات الضوئية

$$d = \frac{3.26}{P'} LY$$

بعد النجم d بالفرسخ الفلكي (بارسكس)

$$d = \frac{1}{P'} P$$

يساوي مقلوب زاوية اختلاف المنظر التي يعملها ذلك النجم

وعلى ضوء العلاقة الأخيرة يمكن تعريف الفرسخ الفلكي (البارسكس) على انه المسافة

التي يعمل فيها النجم زاوية اختلاف منظر قدرها ثانية قوسية واحدة (P°=1)

لذلك فأن الفرسخ الفلكي (البارسكس) pc يساوي 3.26LY

$$d = \frac{3.26}{1''} = 3.26\ LY$$

ويساوي 206265 وحدة فلكية

$$d = \frac{206265}{1''}$$
$$= 206265\ AU$$

مثال 4/ وجد ان زاوية اختلاف المنظر لنجم معين هي 0.1 ثانية قوسية، فما بُعد النجم بالوحدات التالية:

أ. الوحدة الفلكية

ب. السنة الضوئية

ت. الفرسخ الفلكي (البارسكس)

الحل /

أ) من العلاقة الأتية نجد البعد d بالوحدة الفلكية

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

ب) البعد d بوحدات السنين الضوئية نستخدم العلاقة الأتية

$$d = \frac{3.26}{0.1} LY \longrightarrow d = 32.6\ LY$$

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

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

4. اضاءة النجوم وحرارتها

4_1 شدة الإضاءة ودرجة حرارة النجوم

4_1_1 شدة الإضاءة المطلقة للنجوم

الاجرام السماوية نلاحظ نجم قليل الإضاءة فنجم قريب من الأرض يمكن ان يتجاوز في بريقه نجماً شديد الإضاءة

ولكن ينبغي التمييز بين مفهومين: الإضاءة الظاهرية التي تعنى مدى لمعان النجم حسبما يبدو من الأرض، وبين شدة الإضاءة الأصلية أو المطلقة وهي الكمية الحقيقية للضوء الذي يبعثه النجم. الكَمّ الأول يرتهن بقوة ببعد الجرم ولا يوفر بالتالي معلومات مباشرة حول طبيعة ذلك الجرم.

أما **المفهوم الثاني** فهو لا يرتهن إلا بالجرم نفسه، ومن ثم يوفر لنا معلومات حول طبيعة الجسم المعنى وهو الذي ينبغي السعي إلى تحديده.

وتكمن الصعوبة بالنسبة لعالم الفلك في الواقع أنه من الأرض لا يمكننا الوصول إلا للإضاءة الظاهرية للنجوم. يعلم الفيزيائيون منذ وقت طويل أن كثافة إشعاع ما تتبع قانونا محددا مؤداه إن كثافة الضوء تقل بمثل مربع نسبة تغير المسافة التي يقطعها الضوء وذلك يعنى أننا لو قسنا اللمعان الظاهري لمصباح على بعد مسافة ما ثم ضاعفنا تلك المسافة للمثلين، فإن لمعان المصباح سيضعف بنسبة أربع مرات من الأول. ويتيح ذلك القانون ببساطة تحديد الصلة الموجودة بين شدة الإضاءة المطلقة ومسافة النجم واللمعان الظاهري له.

4_2_2/ درجة حرارة النجوم

ومن الممكن بسهولة تحديد درجة حرارة نجم بفضل التحليل الطيفي. فيكفي إيجاد الطول الموجي لضوء النجم في شدته القصوى وتطبيق قانون وين الذي يربط بين الطول الموجي والحرارة. فوا رغم ذلك أن ثمة ما يبعث على التروّى ع فالحرارة التى تم حسابها بهذا الشكل هي الحرارة السائدة في الطبقات السطحية للنجم بما أنه منها ينبعث الإشعاع الذي يتم تحليله. أما الحرارة في جوف النجم فهي ليست قابلة للقياس بشكل مباشر، ومن المحال تقديرها إلا بمساعدة نماذج نظرية. ٪

وأظهرت عمليات الرصد الطيفية أن التباين فى حرارة السطح أقل بكثير منه فى حالة الإضاءة. فالنجوم ذات الحرارة الأدنى تكون حمراء اللون وحرارتها تبلغ نحو ثلاثة آلاف درجة كلفين، بينما النجوم ذات الحرارة القصوى تكون زرقاء اللون وتصل حرارتها إلى خمسين ألف كلفين. النسبة إذن بين درجات الحرارة القصوى والدنيا لا تزيد على عشرة.

4_2/ حجم النجوم وكتلتها

4_2_1/حجم النجوم:

في عام ١٨٧٩، اكتشف الفيزيائي النمساوي جوزيف ستيفان، المتخصص في دراسة إشعاع الأجسام الساخنة، أن الطاقة الكلية التي يبثها جسم ما تتناسب مع الأُس الرابع لحرارته المطلقة وهذا يعنى، على سبيل المثال،

أن جسمًا ذا درجة حرارة ستمائة كلفين يبث ستة عشر مثل مقدار الطاقة التى يبثها عند درجة حرارة ثلاثمائة كلفين. وطرح ستيفان كذلك قانونًا أشمل يحدد شدة الإضاءة التي يبثها جسم ذو سطح محدد وذو درجة حرارة معينة

ولقد شكل قانون ستيفان أداة بسيطة نسبيا لعلماء الفلك تتيح لهم حساب حجم النجم إذا توافر قياس درجة الحرارة وشدة إضاءته المطلقة عبر الرصد.

وبمعرفة حرارة سطح ذلك النجم، يمكن استخدام ذلك القانون لحساب الإضاءة الكلية المنبعثة من مساحة معينة من سطحه، ومن ثم تكفي مقارنة تلك النتيجة مع مقدار الإضاءة المطلقة المنبعثة من الجسم كله لحساب مقدار سطح النجم؛ وبالتالي حجمه.

ولقد أتاح ذلك المنهج الحصول على نتائج جيدة للغاية. فقد أوضح أولا أن نجوم خط التتابع الرئيس ليست كلها بنفس الحجم؛ وإن كان يمكن تجميعها في نطاق ضيق نسبيان ومن هذا المنطلق يمكن القول بأن حجم النجوم الساخنة يناهز عشرة أمثال حجم الشمس، في حين أن النجوم الباردة لا يبلغ حجمها سوى عُشر حجم الشمس.

4_2_2/ أنواع نجوم خط التتابع الرئيسي

- **ثنائيات النجوم**

وكان تحقيق الأمل بالوصول إلى فهم كامل لطبيعة وتطور النجوم، يقتضي أن يكون بوسع علماء الفلك تحديد خاصية أخيرة هى كتلة النجوم.

وهذه خاصية يصعب كثيرا تحديدها لأن لا قياسات الإضاءة ولا التحليلات الطيفية تفيد فى ذلك،

النجوم المتغيرة

إن نجوم التتابع الرئيس هى أجرام شديدة الاستقرار. وقوة الجاذبية التى تميل لجعل النجم ينكمش تعادلها بالضبط قوى الضغط الداخلى التى تميل لجعله يتمدد. وفى الوقت الذي يتحول فيه النجم إلى متعملق أحمر، يختل التوازن أحيانا. ويبدأ من ثم طور لعدم الاستقرار يُترجم بتغيرات قوية فى إضاءة النجم.

أنواع النجوم المتغيرة

النوعان الرئيسان من النجوم النابضة المتغيرة هما القيفاويات ونجوم آر آر ليرا (النسر الواقع). تلك الأجرام تلعب دورًا محوريًا في الفيزياء الفلكية، وسوف نلتقي بها في العديد من المناسبات. القيفاويات هى نجوم كبيرة الكتلة ولن تكون غادرت مرحلة شبابها حين تصل لطور المتعملق الأحمر. وتتغير إضاءتها بشكل دوري تتراوح مدته بين يوم وعدة أسابيع. الخاصية الملحوظة للقيفاويات هي وجود علاقة بين إضاءتها المتوسطة ومعدل النبض. وعلى سبيل المثال، فإن إضاءتها المتوسطة تكون ألف مثل إضاءة الشمس فى فترة عدة أيام، وأكبر لعشرة آلاف مثل ذلك المقدار فى فترة عدة أسابيع. إنها تلك العلاقة التى تجعل من القيفاويات أداة أساسية فى الفيزياء الفلكية.

4_3/ المجرات ذات النواة النشطة

هناك العديد من المجرات التي تبتعد في مسلكها عن المجرات المعتادة.

تتميز تلك المجرات بوجود منطقة متناهية الصغر في مركزها تدعى النواة، تنتج بداخلها كمية كبيرة من الطاقة عبر عمليات غير نووية.

4_3_1/ مجرات سيفرت

منذ بداية دراسة المجرات، تم اكتشاف أجرام ذات أشكال غير اعتيادية.

ففي عام ١٩٤٣، على سبيل المثال، قدم كارل سيفرت كتالوج للمجرات التي كان لها مظهر حلزونى اعتيادى، لكن كان فى مركزها منطقة شديدة التألق، لدرجة أن ضوءها كان يمكن أن يطغى على ضوء المجرة كلها. منذ تلك الحقبة، تم اكتشاف عدة مئات من المجرات من ذلك النوع.

4_3_2/ الكوازارات

في بداية الستينيات، اكتشف الفلكيون المتخصصون في الأجرام السماوية التي تبعث موجات الراديو مصادر راديوية قوية للغاية، بدت خصائصها شديدة الغرابة. وبالبحث عن شيء مرئي يمكن أن يجسد تلك المصادر الراديوية، تبين لهم أنها أجرام صغيرة للغاية، وهو ما يوحى بأنها ببساطة قد تكون نجومًا.

غير أن النجوم لا تبث بوجه عام موجات راديو، ولا بد إذن أن تكون هذه الأجرام ذات طبيعة مختلفة: وفى انتظار أن تتهيا الظروف لفهم طبيعتها، أطلق الفلكيون عليها اسم الكوازارات، وهى اختصار لكلمة المصادر شبه النجمية، وكانت هناك مفاجأة أكبر تنتظر الفيزيائيين الفلكيين الذين أجروا أول عمليات التحليل الطيفي لتلك الأجرام. في الواقع، كان طيفها يضم شرائح إشعاعية شديدة النقاء لا تنتمي لأي عنصر كيميائي معروف، الأمر الذى بعث مزيدًا من الشك بشأن احتمالات أن تكون تلك الأجرام ذات طبيعة نجمية.

الكوازارات إذن هى الأجرام الأكثر بعدًا والأكثر شبابًا في الكون المعروف حتى اليوم. وكانت الكوازارات الأولى التى تم رصدها تبدى إزاحة نسبية نحو الأحمر، بمقدار ٠,١. لكن مع الوقت، اكتشف العلماء ما هو أكثر بعدًا: والرقم القياسى الحالى هو كوازار تبلغ إزاحته الحمراء ٥,٨ ويوجد على بعد نحو ١٣ مليار سنة ضوئية. وقد ارتفع عدد الكوازارات المسجلة حتى الآن لأكثر من ٢٠ ألف كوازار.

الخصائص:

1. وإذا كانت الكوازارات رغم بعدها تبدو مصدرًا لانبعاثات قوية، فإن ذلك يعنى أمرًا واحدًا هو أن إضاءتها الذاتية لا بد أن تكون خارقة. وبمعرفة اللمعان الظاهرى ومدى بعدها الذي يمكن تبينه من الإزاحة الحمراء، فإنه من السهل حساب إضاءتها الذاتية. يبدو إذن أن الكوازار ينتج كمية خيالية من الطاقة، ويلمع مثل نحو ألف من المجرات الاعتيادية.
2. الخاصية الثانية للكوازارات هى نطاق تباينها الشاسع. فى الواقع، فإن إضاءتها يمكن أن تتغير بوضوح خلال فترة تقل حتى عن مدة اليوم بل قد تصل إلى بضع ساعات. وتمامًا مثل حالة مجرات سيفرت، تنمُّ هذه الخاصية عن مدى ضآلة حجم المنطقة المركزية التى ينبعث منها الإشعاع. فبالنسبة للكوازارات، لا بد أن تكون تلك المنطقة أصغر منها فى حالة مجرات سيفرت، وتساوى بالكاد بضع عشرات أمثال حجم المجموعة الشمسية.

5_ اساسيات الهندسة الكروية

تم تناول في هذا البحث موضوع الهندسة الكروية ولما لها اهميه في البروج والانزياح ومنازل الشمس فالبروج هي في منازل الشمس والقمر وهي اثنا عشر برجاً اما الانزياح هي حركة كل كوكب منها يفهم مواقع الكواكب في افلاكها ومنها يعرف تواريخ والشهور والايام اما منازل الشمس بالنسبة للبروج فهي اربعه منازل وباللغة علم الفلك وتطورها المستمر اما الهندسة الكروية هي فرع من الهندسة الإقليدية يدرس الاشكال والخطوط على سطح الكره (ثنائي الابعاد)

5_1/ الهندسة المستوية والكروية:

هي أداة أساسية في علم الفلك، لأنها تساعد على دراسة الأجرام السماوية وتحديد مواقعها على سطح الكرة السماوية المعروفة. كما تُستخدم في حساب المسافات الزاوية بين النجوم والكواكب، وفهم حركتها الظاهرية في السماء، مما يساهم في دقة الرصد الفلكي وتنظيمه

الهندسة المستوية (الإقليدية):

وهي الهندسة على سطح مستوٍ، ويمكن الاستفادة منها في تعريف أهم المفاهيم والدوال الهندسية. وهذه القيم يتم استخدامها لاحقًا في الهندسة الكروية التي سيتم دراستها في درس مستقل. وسيتم الاقتصار على دراسة الخط المستقيم ودوران 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 تمتد قليلًا جدًا.

الدوال المثلثية:

إذا كان المثلث ABC مثلثًا قائم الزاوية في B، فإن:

حسب نظرية فيثاغورس:

AC^2 = AB^2 + BC^2

وAC هو وتر المثلث القائم، وBC مقابل الزاوية **(ø)**، وAB مجاور الزاوية **(ø)** والدوال المثلثية يمكن تعريفها كالتالي:

$$\mathbf{sin}(\emptyset)=\frac{\boldsymbol{BC}}{\boldsymbol{AC}}$$

$$\mathbf{cos}(\emptyset)=\frac{AB}{AC}$$

$$\mathbf{tan}(\emptyset) = \frac{BC}{AB}$$

حيث:

$$\sin^2(\emptyset) + \cos^2(\emptyset) = 1$$

مجموع زوايا المثلث المستوي:

$$A + B + C = 180^{\circ}$$

الهندسة الكروية (غير الاقليدية / غير المستوية)

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

إذا كان (ABC) مثلث ناشء 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:

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

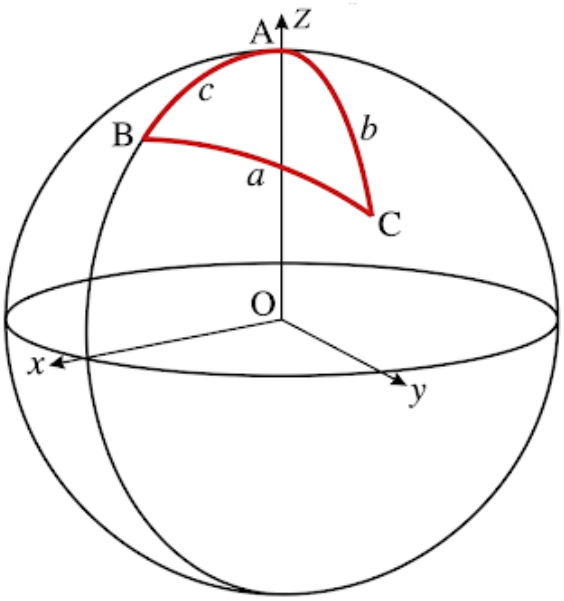
وحسب قاعدة جيب التمام CoS:

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

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.



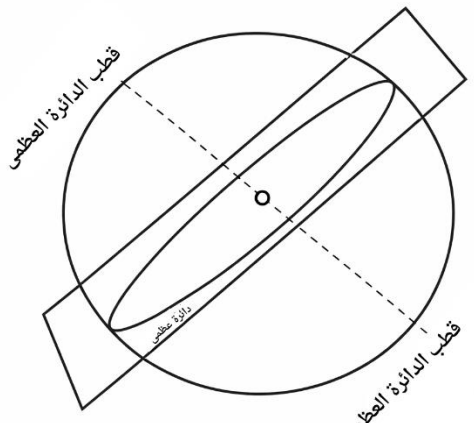
شكل هندسي لمثلث كروي (A–B–C)

5_2 الكرة الأرضية والسماوية:

5_2_1 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.

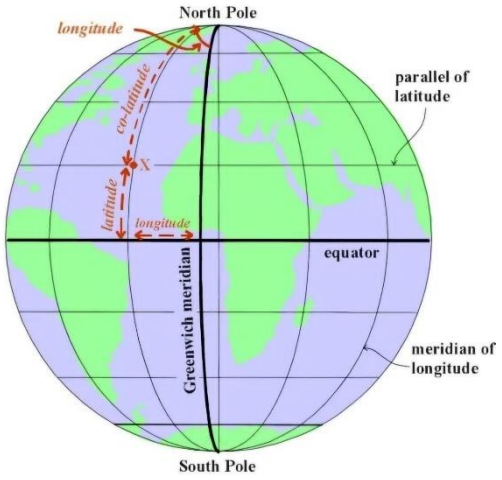


شكل الدائرة العظمى تنتج عن تقاطع المستوى الذي يمر في مركز الكرة بسطح الارض

شكل (5) الدائرة العظمى تنتج عن تقاطع المستوى الذي يمر في مركز الكرة بسطح الأرض

ويعتبر 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 والجنوب.

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.



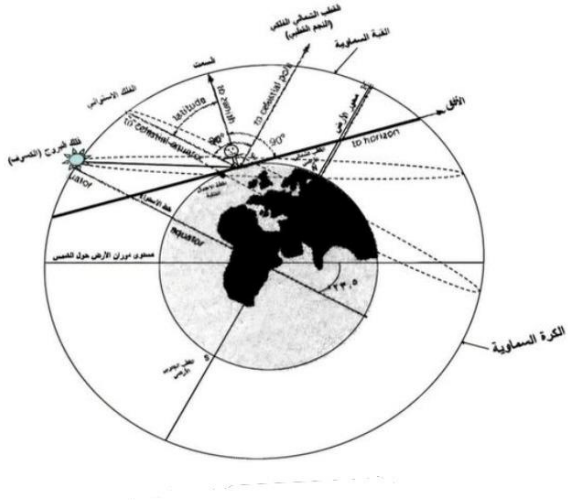
الشكل (6) الكرة الأرضية

2_2_5 الكرة السماوية:

أغلب الدوائر السماوية الاصطلاحية الموجودة في الكرة السماوية تعتبر دوائر عظمى (فلك الاستواء–المعدل، خطوط الطول السماوية، فلك البروج، فلك القمر،

قطبي فلك الاستواء هما القطبين الفلكيين الشمالي والجنوبي. وقطبي دائرة الأفق هما نقطتي السمت والنظير. وقطبي فلك البروج هما النقطعين التي يمثل الخط الواصل بينهما المحور الذي تترئح 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:

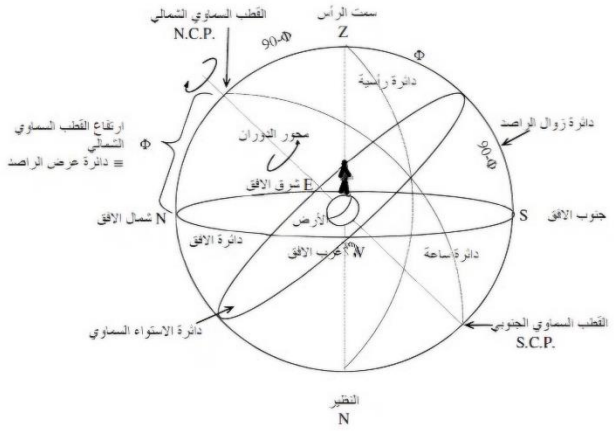


شكل (7) اهم أجزاء الكرة السماوية

دائرة الافق ويقاس على الدائرة الرأسية المارة من الجرم

- نقطة شمال الأفق

إحداثي الزاوية الافقية، وهي البعد الزاوي للجرم السماوي عن نقطة شمال الأفق ويقاس على دائرة الأفق.



الشكل (8) أجزاء القبة السماوية

- وحدات القياس الفلكية
- الوحدة الفلكية (AU) وهي معدل المسافة من الأرض الى الشمس

1AU= 149.598*10^6 Km

- السنة الضوئية (LY)هي المسافة التي يقطعها الضوء في الفراغ خلال سنة واحدة

  - 1LY= CT = 3x105 x365x24x60x60km
  - 1LY = 9.45x1012 Km

- الفرسخ الفلكي Pc

1Pc = 3.26LY

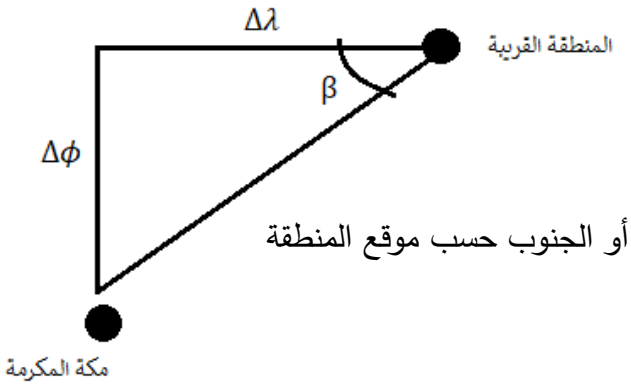
3.5 تحديد اتجاه القبلة

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.

1/ 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 (39:49 شرق، 21:26 شمال) = (39:82 شرق، 21:43 شمال) والمنطقة القريبة وذلك وفق العلاقة التالية:

$$\text{زاوية القبلة } (\beta) = \tan^{-1}\frac{\Delta\phi}{\Delta\lambda}$$



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 (٤٩:٥٧ شرق، ٢٦:٣٣ شال) – (٤٩,٩٣ شرق، ٢٦,٥٥ شمال) وحدد اتجاه القبلة.

الحل: في هذه الحالة A2=10.13 و A$=- 5.12. لذلك زاوية القبلة (()) - طا-26.8° - (10.13) " ١ta درجة، أي أن القبلة تميل عن الغرب للجنوب بتلك الزاوية.

2/ 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:

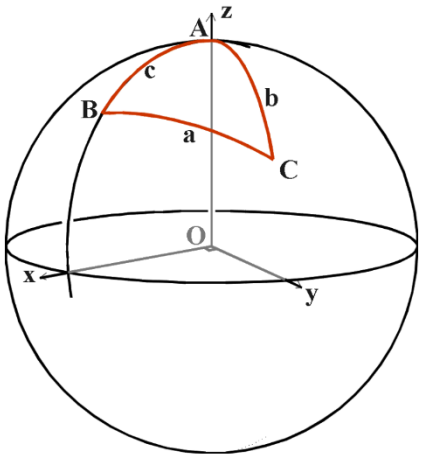
$$\cos(a) = \cos(b)\cos(c) + \sin(b)\sin(c)\cos(A)$$

$$\cos(b) = \cos(c)\cos(a) + \sin(c)\sin(a)\cos(B)$$

$$\cos(c) = \cos(a)\cos(b) + \sin(a)\sin(b)\cos(C)$$

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

a,b,cتمثل كل منهم زاوية دائرية الشكل كالشكل المقابل.



كذلك (ϕ, λ) للمنطقة و (ϕ_0, λ_0) لمكة المكرمة باستخدام المعادلة الأولى من قاعدة جيب التمام نوجد a:

$$a = \cos\left(\cos(b)\cos(c) + \sin(b)\sin(c)\cos(A)\right]$$

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 4/ أحسب زاوية ميل القبلة لمدينة هيوستن (N, 95.37° W °29.76) 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.

3/ تحديد القبلة بشكل عملي:

لتحديد القبلة من أي منطقة بشكل عملي لابد من:

1_ معرفة إحدائي المنطقة الجغرافي (دائرة العرض، وخط الطول 2) ومن ثم حساب زاوية ميل القبلة عن أي جهة أصلية.

2_ 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 القطي (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 لا يتغير إلا بمقدار نصف درجة تقريبا.
- 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.

المصادر:

1. **إســـهلانجيه، أوليفييه، مقدمة في علم الفلك، ترجمة: طارق كامل، مراجعة: الســـيد عطا، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة، 2017.**
2. **إسـهلانجيه، أوليفييه، مقدمة في علم الفلك، الفصل الأول: نشأة علم الفلك وتطوره، الهيئة المصرية العامة للكتاب، 2017.**
3. **إســهلانجيه، أوليفييه، مقدمة في علم الفلك، الفصــل الخاص بحركة النجوم وبعدها، الهيئة المصــرية العامة للكتاب، 2017.**
4. **إســهلانجيه، أوليفييه، مقدمة في علم الفلك، الفصــل الخاص بالمجرات والكوازارات، الهيئة المصــرية العامة للكتاب، 2017.**
5. **بلبول، فراس محي، محاضرات فيزياء الفلك والفضاء، الفصل الأول: تعريف علم الفلك وأهميته، كلية العلوم، جامعة البصرة، العراق.**
6. **بلبول، فراس محي، محاضــرات فيزياء الفلك والفضــاء، موضــوع حركة الكواكب ونموذج كوبرنيكوس، جامعة البصرة.**
7. **بلبول، فراس محي، محاضرات فيزياء الفلك والفضاء، قوانين كبلر للحركة الكوكبية، جامعة البصرة.**
8. **يونس، يونس ذنون، محاضــرات الفلك (Astronomy)، الفصــل الأول: تعريف علم الفلك وفروعه، جامعة الموصل، 2025.**
9. **يونس، يونس ذنون، محاضرات الفلك، موضوع هندسة الكرة وأجزاؤها، جامعة الموصل.**

10. يونس، يونس ذنون، محاضرات الفلك، القبة السماوية وإحداثياتها، جامعة الموصل.