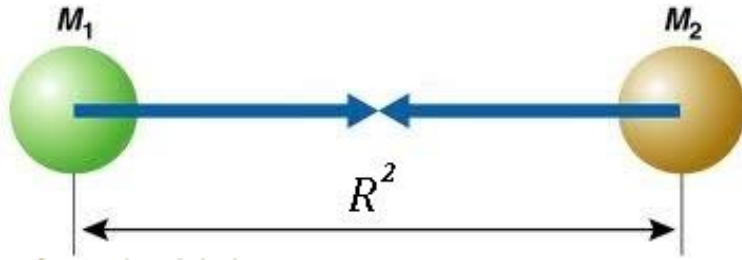


## Lecture 2

# قانون الجذب العام لنيوتن

درس العالم اسحق نيوتن (Isaac Newton) عام (1642-1727م) الضوء وصمم أول مرقب فلكي عاكس، ووضع ثلاثة قوانين مهمة في الحركة والتي كانت الأساس للميكانيك التقليدي (الكلاسيكي)، كما استعان نيوتن بقانون كبلر الثالث، ومنه توصل إلى قانونه المشهور في الجاذبية والذي ينص على أن **كل كتلتين في الكون تجذب أحدهما الأخرى بقوة تتناسب طردياً مع حاصل ضرب الكتلتين وعكسياً مع مربع البعد بين مركزيهما** الشكل (1)، وقد صاغه رياضياً كما في ادناه:



الشكل (1) يوضح قانون نيوتن للجذب العام

$$F_1 = F_2 = F_{gravity} = G \frac{M_1 M_2}{R^2} \quad (1)$$

حيث أن:

$M_1$ ،  $M_2$ : تمثل كتلة الجسمين الأول والثاني على التوالي.

$R$ : هي البعد بين مركزي الجسمين و  $G$  ثابت الجذب العام. ويمكن استعمال قانون نيوتن للجاذبية في حساب الجاذبية السطحية، فلو كانت كتلة الجسم  $m$  قرب سطح الأرض، فإن مقدار القوة المؤثرة عليه ستكون:

$$F_{gravity} = G \frac{M_E m}{R_E^2} \quad (2)$$

حيث

$M_E$  هي كتلة الأرض (  $5.97 \times 10^{24} \text{ kg}$  )،

$R_E$  نصف قطر الأرض (  $6.378 \times 10^6 \text{ m}$  )،

و  $G$  ثابت الجذب العام (  $6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{kg}^2$  ).

و يستعاض عن  $F$  بـ  $mg$  وبذلك تصبح المعادلة (2) كالتالي:

$$mg = G \frac{M_E m}{R_E^2}$$
$$g = G \frac{M_E}{R_E^2} \quad (3)$$

وبتعويض القيم أعلاه في المعادلة (3) ينتج أن:  $g \approx 9.8 \text{ m/s}^2$

أما إذا كان الجسم يبعد مسافة قدرها  $h$  فوق سطح الأرض، أو مسافة قدرها  $r$  عن مركز الأرض حيث  $r = R_E + h$  فإن قيمة قوة الجاذبية المؤثرة على الجسم ستكون كالتالي:

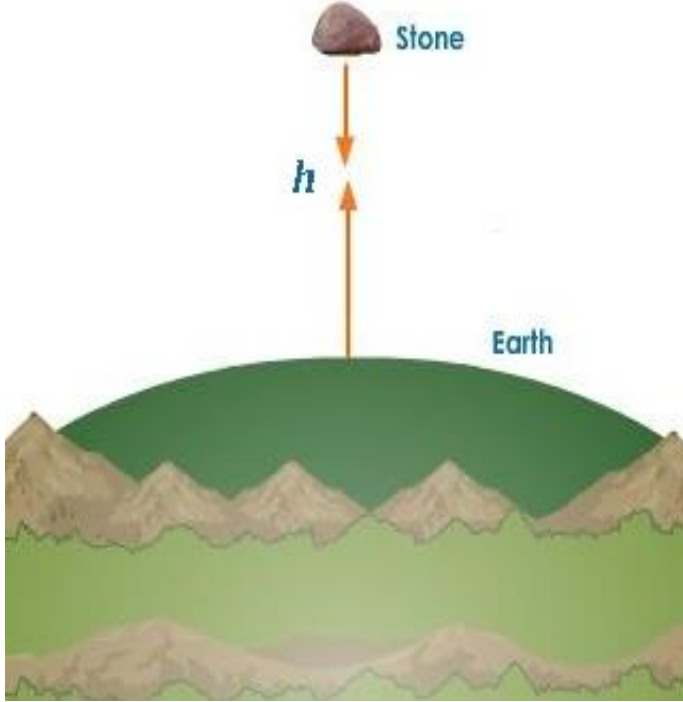
$$F_{gravity} = G \frac{M_E m}{r^2} = G \frac{M_E m}{(R_E + h)^2} \quad (4)$$

أما حالة السقوط الحر، الشكل (2)، فإن قيمة  $F'$  سوف تكون مساوية لـ  $mg'$  حيث  $g'$  هو التعجيل للسقوط الحر عند الارتفاع  $h$ ، وبتعويض هذا التعبير في المعادلة (4) ينتج أن:

$$F' = mg' \quad (5)$$

$$g' = G \frac{M_E}{r^2} = G \frac{M_E}{(R_E + h)^2} \quad (6)$$

وهذه المعادلة تبين تغير التعجيل  $g$  مع الارتفاع  $h$ ، أي إن التعجيل يقل مع زيادة الارتفاع.



الشكل (2) السقوط الحر للجسام

**مثال (1):** قمر صناعي صمم ليوضع في مدار يبعد 400 كم عن سطح الارض، بعد اكتماله فإنه سوف يمتلك وزن مقداره  $4.5 \times 10^6$  نيوتن (على سطح الأرض)، ما هو وزنه عند المدار؟ علماً أن كتلة الأرض (  $5.97 \times 10^{24}$  kg ) ونصف قطر الأرض (  $6.378 \times 10^6$  m ) وان ثابت الجذب العام =  $(6.67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2)$ .

**الحل:**

نحسب كتلة القمر الصناعي والتي تكون ثابتة على سطح الارض وعند المدار من خلال العلاقة التالية:

$$F = mg$$

$$m = \frac{4.5 \times 10^6 \text{ N}}{9.8 \text{ m/s}^2}$$

فينتج ان :

$$m = 45.9 \times 10^4 \text{ Kg}$$



نحسب وزن القمر الصناعي عند المدار من خلال العلاقة:

$$F' = mg'$$

حيث يمكن حساب  $g'$  باستعمال المعادلة (6)

$$F' = 45.9 \times 10^4 \text{ Kg} \frac{6.67 \times 10^{-11} (\text{N.m}^2/\text{Kg}^2) \times 5.97 \times 10^{24} \text{ Kg}}{((6.378 \times 10^6)m + (4 \times 10^5)m)^2}$$

فيكون وزن القمر الصناعي عند المدار:

$$F' = 3.98 \times 10^6 \text{ N}$$

ماذا تستنتج من ذلك؟

**مثال (2):** طائرة لنقل المسافرين كتلتها وهي على ارض المطار 120 طن ومقدار ما تحمله من كتلة المسافرين وأمتعتهم 80 طن، احسب وزن الطائرة الكلي قبل الإقلاع وبعد أن تحلق على ارتفاع (30 Km) عن سطح الارض. علماً أن كتلة الأرض  $(5.97 \times 10^{24} \text{Kg})$  ونصف قطرها  $(6.378 \times 10^6 \text{ m})$  وان ثابت الجذب العام  $= 6.67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{Kg}^2$ .

**الحل:**

لغرض حساب وزن الطائرة على الارض نجمع كتلتها وكتلة ما تحمله ثم نضرب الناتج بمقدار التعجيل الارضي فنحصل على وزن الطائرة الكلي قبل الإقلاع.

$$F = [(120 + 80) \times 10^3 \text{Kg}] \times 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$F = 1.69 \times 10^6 \text{ N}$$

ولحساب وزن الطائرة بعد التحليق نستخدم المعادلة (5):

$$F' = [(120 + 80) \times 10^3 \text{Kg}] \frac{6.67 \times 10^{-11} (\text{N.m}^2/\text{Kg}^2) \times 5.97 \times 10^{24} \text{Kg}}{((6.378 \times 10^6) \text{m} + (3 \times 10^4) \text{m})^2}$$

$$F' = 1.942 \times 10^6 \text{ N}$$



## طاقة الجهد الثقالي Gravitational Potential Energy

تعرف طاقة الجهد ألتثاقلي بأنها الطاقة الكامنة لوحدة الكتلة، ويرمز لها بالرمز  $U$  وتعطى كالتالي:

$$U = -G \frac{Mm}{R} \quad (7)$$

والاشارة السالبة نتيجة لكون القوة باتجاه معاكس للحركة. لنعتبر ان جسم كتلته  $m$  يتحرك في مجال الجاذبية لجسم ثابت كتلته  $M$ ، فان الطاقة الكلية ستكون كالاتي:

$$E = K + U \quad (8)$$

اذا علمنا ان  $K$  هي الطاقة الحركية والتي تساوي  $\frac{1}{2}mv^2$  و  $U$  هي الطاقة الكامنة او طاقة الجهد الثقالي المعطاة في المعادلة (7) لذا فان المعادلة (8) ستصبح على النحو التالي:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 - G \frac{Mm}{R} \quad (9)$$

فاذا كان الجسم يتحرك مبتعداً عن سطح اي جرم بسرعة مقدارها  $v_{esc}$  أي أن  $(v = v_{esc})$ ، و بعد هروب الجسم (ابتعاده عن تأثير جاذبية الجرم) فان الطاقة الكلية  $E$  تصبح صفراً، ولهذا فان المعادلة (9) تصبح كالتالي:

$$E = \frac{1}{2}mv_{esc}^2 - G \frac{Mm}{R} = 0 \quad (10)$$



ومنها ينتج ان:

$$v_{esc} = \sqrt{\frac{2GM}{R}} \quad (11)$$

حيث  $v_{esc}$  تمثل سرعة الإفلات أو الهروب (Escape Velocity)، وتعرف بأنها **السرعة التي يجب أن يكتسبها الجسم للتخلص من قبضة جاذبية أي جرم**، وتلعب دوراً كبيراً في هروب - مثلاً- الذرات والجزيئات من أجواء الكواكب أو الأقمار، وإطلاق المركبات الفضائية والأقمار الصناعية.

مثال: مركبة فضائية كتلتها 500 kg تنطلق من الأرض إلى القمر ثم تعود إلى الأرض ،

1- أيهما اكبر سرعة إفلاتها من الأرض أم من القمر ؟

2- احسب الطاقة الحركية التي يجب أن تمتلكها: a- عند سطح الأرض كي تهرب من مجال الجاذبية الأرضي.

b- عند سطح القمر كي تتمكن من الهروب من مجاله الجذبي .

علما ان كتلة الارض  $(5.98 \times 10^{24} \text{ kg})$ ، نصف قطرها  $(6.378 \times 10^6 \text{ m})$  وان كتلة القمر  $(7.348 \times 10^{22} \text{ Kg})$  ونصف قطره

$(1.738 \times 10^6)$  وان ثابت الجذب العام  $(6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{kg}^2)$ .

**الحل:**

1- تكون سرعة افلات المركبة الفضائية من الارض اكبر من سرعة افلات المركبة لو كانت على سطح القمر وذلك لان سرعة افلات

اي جسم يعتمد على كتلة ونصف قطر الجسم او الجرم الوجود على سطحه.

2. a- لحساب الطاقة الحركية التي يجب ان تمتلكها المركبة الفضائية عند سطح الارض كي تهرب من مجال الجاذبية الارضية نحسب اولاً سرعة افلات المركبة من سطح الارض حسب المعادلة (11):

$$v_{esc} = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

$$v_{esc} = \sqrt{\frac{2(6.67 \times 10^{-11})(5.98 \times 10^{24})}{6.378 \times 10^6}}$$

$$v_{esc} = 11.2 \text{ Km/sec}$$

بعد ذلك من قانون الطاقة الحركية يمكن حساب الطاقة الحركية اللازمة لهروب المركبة الفضائية من الجاذبية الارضية كالآتي:

$$K = \frac{1}{2}mv_{esc}^2$$

$$K = \frac{1}{2}(500)(11200)^2$$

$$K = 313.6 \times 10^8 \text{ J}$$

2. b- لحساب الطاقة الحركية التي يجب ان تمتلكها المركبة الفضائية عند سطح القمر كي تهرب من مجاله الجذبي نحسب اولاً سرعة افلات المركبة من سطح القمر حسب المعادلة (11):

$$v_{esc} = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

$$v_{esc} = \sqrt{\frac{2(6.67 \times 10^{-11})(7.348 \times 10^{22})}{1.738 \times 10^6}}$$

$$v_{esc} = 2.4 \text{ Km/sec}$$

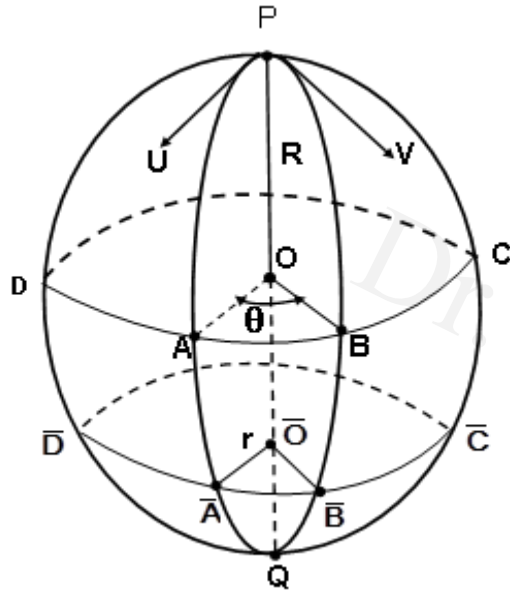
بعد ذلك ومن قانون الطاقة الحركية يمكن حساب الطاقة الحركية اللازمة لهروب المركبة الفضائية من الجاذبية الارضية كالآتي:

$$K = \frac{1}{2}mv_{esc}^2$$

$$K = \frac{1}{2}(500)(2400)^2$$

$$K = 14.4 \times 10^8 \text{ J}$$

# The Geometry of the Sphere هندسة الكرة



من المهام الرئيسية لعلم الفلك هو إيجاد الاتجاهات النسبية للأجرام السماوية كما يراها الراصد في ليلة صافية، **فتظهر هذه الأجرام وكأنها واقعة على سطح كرة هائلة يقع الراصد في مركزها**، وتسمى الكرة السماوية (Celestial sphere). لذلك سوف ندرس بعض خواص هذه الكرة لأهميتها في تعيين مواقع الأجرام السماوية. وتشمل مفردات الهندسة الكروية على عناصر أساسية، تتمثل **بالدوائر العظمى والدوائر الصغرى والأقواس والمثلثات والزوايا الكروية**.

يمكن توضيح العناصر الأساسية للهندسة الكروية كما في الشكل (3) بالآتي:

## Great Circle 1- الدائرة العظمى

تعرف الكرة: بأنها سطح مغلق متساوي الأبعاد عن نقطة تسمى المركز

## حيث ان:

$R =$  نصف القطر، الخط المستقيم الواصل بين السطح والمركز.

DABC = الدائرة العظمى

### الشكل (3) الدوائر العظمى والزوايا الكروية

فلو كان قطر الكرة POQ عموديا على هذه الدائرة سميت النقطتان P و Q بقطبي الكرة.

وتعرف الدائرة العظمى : بأنها المحل الهندسي للنقاط الناتجة من تقاطع سطح الكرة مع أي مستوي يمر بمركز الكرة O.

## 2- الدائرة الصغرى Small Circle

تعرف الدائرة الصغرى: بأنها المحل الهندسي للنقاط الناتجة من تقاطع سطح الكرة مع أي مستوي لا يمر بمركز الكرة.

$\bar{D}\bar{A}\bar{B}\bar{C}$  = دائرة صغيرة مركزها  $\bar{O}$  وان P و Q هما قطبي هذه الدائرة وتكون هذه الدائرة موازية للدائرة العظمى DABC.

## 3- الزاوية الكروية Spherical Angle

تعرف الزاوية الكروية: بأنها الزاوية التي تتشكل من تقاطع دائرتين عظيمتين فقط.

فمن الشكل (3)، PAQ و PBQ دائرتان عظيمتان بقطر مشترك POQ و DABC دائرة عظمى ثالثة قطباها P و Q، فالزاوية بين المماسين PV و PU على الدائرتين PBQ, PAQ على التوالي في النقطة P تسمى الزاوية الكروية.

#### 4 - المثلث الكروي Spherical Triangle

يقصد بالمثلث الكروي: المثلث الناتج من تقاطع ثلاث دوائر عظمى حيث يتشكل بينها موقع محدد بثلاث أقواس كلاً منها جزء من دائرة عظمى، ولا يسمى المثلث كروياً إذا تكون من تقاطع دائرتين عظيمتين ودائرة صغيرة.

من خواص المثلث الكروي هي:

1- مجموع أضلاع المثلث الكروي أقل من  $2\pi$  أي أن:

$$a + b + c < 2\pi$$

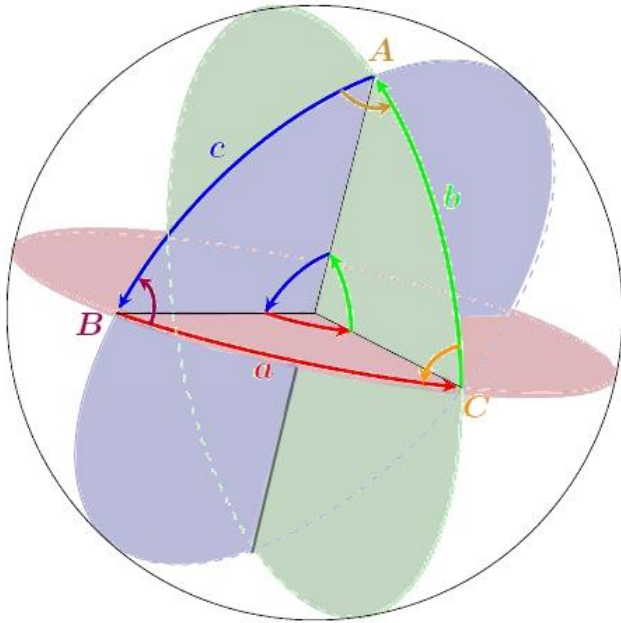
2- مجموع زوايا المثلث الكروي أكبر من  $\pi$  وأقل من  $3\pi$  أي أن:

$$\pi < A + B + C < 3\pi$$

3- تسمى زيادة مجموع زوايا المثلث الكروي عن  $\pi$  بالزيادة الكروية (The spherical excess) ويرمز له بالرمز  $E$  أي أن:

$$E = (A + B + C) - \pi$$

وأن مقدار الزيادة الكروية يختلف من مثلث لآخر



الشكل (4) المثلث الكروي ABC

#### 4- مساحة المثلث الكروي $\sigma$ حيث:

$$\sigma = E r^2$$

5- أكبر أضلاع المثلث الكروي تقابله أكبر زاوية على سبيل المثال إذا كانت A أكبر زوايا المثلث الكروي ABC فإن الضلع a هو أكبر أضلاعه.

6- يعبر عن أضلاع المثلث بدلاله مقياس زاوي بالدرجات النصف قطرية.

ففي الشكل (4) المثلث الكروي ABC ، أضلاعه AB و BC و AC أقواس من دوائر كبرى وتقاس هذه الأضلاع بالدرجات، وتكون أطوال الأضلاع القوسية في هذا المثلث:

$$BC=a , AC=b , BA=c$$

ولحل المثلث الكروي توجد مجموعتان من العلاقات المثلثية هي علاقة الجيب وعلاقة الجيب تمام (sin and cosine formulas)

## 1- علاقة الجيب تمام The cosine formula

تعطى هذه العلاقات على النحو الاتي:

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A \quad (12)$$

$$\cos b = \cos c \cos a + \sin c \sin a \cos B \quad (13)$$

$$\cos c = \cos a \cos b + \sin a \sin b \cos C \quad (14)$$

## 2- علاقة الجيب The sine formula

تعطى هذه العلاقة على النحو الاتي:

$$\frac{\sin A}{\sin a} = \frac{\sin B}{\sin b} = \frac{\sin C}{\sin c} \quad (15)$$

وبهذه العلاقات يمكن إيجاد الضلع المقابل في المثلث الكروي إذا كان الضلعان الباقيان والزاوية المحصورة بينهما معلومة.



## القبة السماوية Celestial sphere

عندما ننظر إلى السماء نشاهدها وكأنها كرة واسعة الأطراف محيطه بنا وكأن مركزها هي عين الراصد. إن هذه الكرة الوهمية التي تتراءى لنا وكأننا مستقرون في مركزها هي القبة السماوية، التي يمكن تصورها بأنها كرة مجوفة بحيث تقع الأرض في مركزها، وتنتشر الأجرام السماوية على سطحها الداخلي الشكل (5).

ويمكن التعرف على الأجزاء التالية في القبة السماوية:

### 1- سَمَت الرأس Zenith

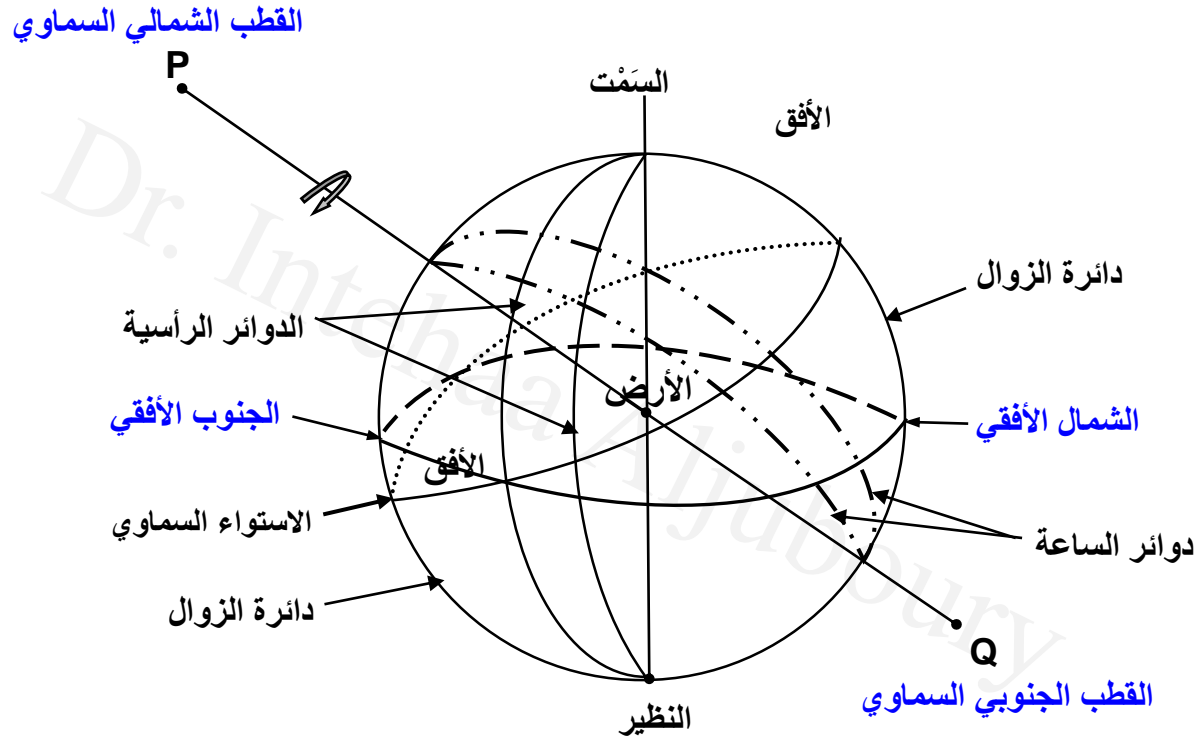
هي النقطة الممتدة عمودياً فوق رأس الراصد الواقف في أية نقطة على سطح الأرض إلى الفضاء الخارجي.

### 2 -النظير (سَمَت القدم) Nadir

وهي النقطة الممتدة عمودياً من تحت قدمي الراصد بحيث تمر في مركز الكرة الأرضية باتجاه الفضاء الخارجي. وتبعد هذه النقطة عن سَمَت الرأس 180 درجة.

### 3- دائرة الأفق Horizon

هي الدائرة العظمى التي تبعد 90 درجة عن كل من سَمَت الرأس والنظير، أي الدائرة المتمثلة بسطح القبة السماوية بحيث يكون قطباها السَمَت والنظير.



الشكل (5) القبة السماوية

#### 4- القطبان السماويان Celestial poles

نقطتان في طرفي القبة السماوية والتي عندها يلتقي محور الكرة الأرضية على امتداده في اتجاهين متعاكسين إلى أعماق الفضاء الخارجي، وإن النقطة التي تقع عمودياً فوق القطب الشمالي الجغرافي الأرضي تدعى بالقطب الشمالي السماوي. والتي تقع عمودياً أسفل القطب الجنوبي الجغرافي الأرضي تدعى بالقطب الجنوبي السماوي. ومن المفيد أن نذكر بأن النجم القطبي يُعد الدليل الرئيس للسماء الشمالية، ويبعد حوالي درجة واحدة عن القطب السماوي الشمالي، ونراه وكأنه ثابت بسبب حركته الطفيفة في موقعه.

#### 5- دائرة الزوال Meridian circle

هي الدائرة الوهمية العظمى على القبة السماوية والمارة بالنقاط التالية سمت الرأس، النظر، القطب السماوي الشمالي، النقطة الشمالية من الأفق، القطب السماوي الجنوبي، النقطة الجنوبية من الأفق، إن هذه الدائرة تحيط القبة السماوية بصورة كاملة ومع ذلك فإن الراصد يتصور وكأنه يشاهد نصف الدائرة في أي وقت كان، حيث أنها دائرة رأسية لأنها عمودية على الأفق في نقطتي الشمال والجنوب.

## 6 - دائرة الاستواء السماوي Celestial equator

هي الدائرة العظمى الوهمية الواقعة في منتصف المسافة بين القطبين الشمالي والجنوبي للقبّة السماوية، أي الموازية لدائرة الاستواء الأرضي، حيث أنها تقسم الكرة السماوية إلى نصفين متساويين شمالي وجنوبي.

## 7- دوائر الساعة Hour circles

هي الدوائر السماوية العظمى التي تمر بالقطبين السماويين الشمالي والجنوبي والتي تكون عمودية على دائرة الاستواء السماوي.

## 8 - الدوائر الرأسية ( الرأسيات ) Vertical circles

هي الدوائر العظمى الوهمية المارة بالسّمّت والنظير والعمودية على الأفق. وإن الدوائر الرأسية التي تمر بنقطتي الغرب والشرق من دائرة الأفق تدعى بأول الرأسيات.

## نظام الإحداثيات على القبة السماوية The coordinate system on the celestial sphere

لتحديد موقع الأجرام السماوية في السماء يستلزم أن يتوفر إحداثيان فقط، وهذان الإحداثيان يختلفان من نظام إلى آخر. فمنذ تطور علم الفلك تم اعتماد عدد من أنظمة الإحداثيات استناداً إلى موقع معين يعتبر مركزاً (نقطة الأصل) وبتغيير نقطة الأصل يتغير نوع النظام، وفيما يلي مقارنة بين الإحداثيات الأفقية السماوية ونظام الإحداثيات الجغرافية الأرضية:

الإحداثيات الأفقية السماوية	الإحداثيات الجغرافية الأرضية
دائرة الأفق	دائرة الاستواء
نقطة السمّ	القطب الشمالي
نقطة النظير	القطب الجنوبي
الارتفاع	خط العرض
البعد السمتي	البعد القطبي
دائرة موازي الارتفاع	دائرة موازي العرض
الدائرة الشاقولية	دائرة زوال الطول
دائرة الزوال	خط زوال غرينتش
الزاوية السمتية	خط الطول

جدول (1) يبين مقارنة بين الإحداثيات الأفقية ونظام الإحداثيات الجغرافية الأرضية

## أنظمة الإحداثيات المستخدمة في الأرصاد

### 1- نظام الأفق Horizon system

يُعتبر هذا النظام موقع الراصد على مستوي واقعاً في مركز نصف كره واسعة تتحرك خلالها الأجرام السماوية. والدائرة الأساسية هي دائرة الأفق، أما الإحداثيان الأساسيان فهما:

أ- الاتجاه الأفقي أو الزاوية ألسمتية **Azimuth (A)**

وهو الإزاحة الزاوية المحصورة بين دائرة الزوال والدائرة الرأسية المار به بالجسم السماوي، وتقاس هذه الزاوية على دائرة الأفق من نقطة الشمال إلى نقطة التقاء الدائرة الرأسية بالأفق شرقاً إذا كان الجسم في الجزء الشرقي من القبة السماوية أو غرباً إذا كان في الجزء الغربي.

ب- الارتفاع الزاوي للجسم السماوي **Altitude (a)**

وهو ارتفاع الجسم السماوي عن الأفق مقيساً بالدرجات وأجزائها، وتكون قيمته محصورة بين صفر عندما يكون الجسم عند الأفق و 9.5 عندما يكون مباشرة عند السمت.

ومن أهم الأمور التي تعيب هذا النظام :

1- إن هذا النظام موقعي بحيث أن راصدين في مواقع مختلفة على سطح الأرض يقيسان في نفس الوقت ارتفاع واتجاه أفق مختلفين لنفس الجسم السماوي.

2- كما أن الراصد يرى إحداثيات الجسم السماوي تتغير مع الزمن بسبب الدوران الظاهري للقبة السماوية، مما يستوجب تصحيح وحساب موقع الجسم بالنسبة للراصد بصورة مستمرة .

(14)

### الشكل (6) يوضح نظام الأفق

## 2- النظام الاستوائي Equatorial system

يعتمد هذا النظام كلياً على دوران الكرة الأرضية، فإذا افترضنا أن الأرض واقعه في مركز القبة السماوية، فإن المحل الهندسي لتقاطع خطوط الطول والعرض الجغرافية بمحيط القبة السماوية هو مانسميه بإحداثيات النظام الاستوائي للقبة السماوية. أما إحداثيات هذا النظام فهي كالآتي:

### أ- الميل ( $\delta$ ) Declination

هو البعد الزاوي للجرم السماوي عن دائرة الاستواء السماوي، وأنه يقابل خط العرض الجغرافي، ويقاس بالدرجات وأجزائها ( درجة، دقيقة قوسية، ثانيه قوسية). ويكون الميل ذو إشارة موجبه إذا كان الجرم السماوي شمال دائرة الاستواء، أو ذا إشارة سالبه عندما يكون الجرم جنوب دائرة الاستواء. إن الميل ثابت المقدار خلال الحركة اليومية للسماء فترسم النجوم عليها دوائر وهميه صغيره موازية لخط الاستواء، وكثيراً ما يلاحظ في السماء بعض النجوم لا تشرق ولا تغرب، أي تكون دائماً فوق الأفق في حركتها، وتدعى هذه النجوم بالنجوم فوق القطبية (Circumpolar stars).

### ب- زاوية الساعة أو الساعة الزاوية (H) Hour angle

هي الإزاحة الزاوية المحصورة بين مستوى زوال الراصد ومستوى موقع الجرم السماوي، وتقاس عادةً بوحدة الساعة وأجزائها (ساعة، دقيقة، ثانيه). وعندما يكون الجرم السماوي ماراً بنقطه الاعتدال الربيعي Vernal equinox (النقطة التي يتقاطع بها مدار الشمس مع خط الاستواء الفلكي ويرمز لها  $(\gamma)$ ) فإن زاويته الساعية تعادل الزمن النجمي Sidereal time ( $S_t$ ) (التوقيت النجمي المحلي). وتأخذ زاوية الساعة القيم من صفر إلى الساعة 24 أو من الدرجة صفر إلى الدرجة 360، ونتيجة لذلك فإن الساعة الزاوية للجرم السماوي متغيره وتزداد بمقدار 24 ساعة لكل يوم نجمي (فلكي).



### ج- المطلع المستقيم ( $\alpha$ ) Right Ascension

الإزاحة الزاوية المحصورة بين نقطة الاعتدال الربيعي ودوائر الساعة المارة بالجرم السماوي، مقيساً باتجاه الشرق خلال  $360^\circ$  أي ٢٤ ساعة أو باتجاه الحركة الظاهرية للشمس، وأنه يقابل خط الطول الجغرافي.

إن وحدات المطلع المستقيم هي الساعة وأجزائها، وأنه ذو علاقة بالزمن النجمي كالتالي:

$$\alpha + H = S_t$$

(16)

إن الميل والمطلع لا يعتمدان على الزمن بصورة مباشرة ، أي أنهما يتغيران تغيراً صغيراً جداً خلال السنة الواحدة بالنسبة لحركة الأجرام السماوية. والشكل (5) يوضح إحداثيات النظام الاستوائي.

ولمعرفة الإحداثيات الأفقية وعلاقتها بالإحداثيات الاستوائية لأي جرم سماوي، وكذلك للحصول على ارتفاع الجرم له والإزاحة السمتية ( $Z$ ) والاتجاه الأفقية يمكن استعمال العلاقات الآتية:

$$\cos Z = \cos \delta \cos \phi \cos H + \sin \phi \sin \delta$$

(17)

$$\sin \delta = \cos \phi \cos A \sin Z + \sin \phi \cos Z$$

(18)

حيث  $Z$  هي خط العرض للموقع الذي يتم فيه الأرصاد.

مثال: تم رصد نجم ميله  $42^{\circ} 21'$  شمالاً في منطقة خط عرض  $60^{\circ}$  شمالاً، في وقت كانت زاوية الساعة  $8^h 16^m 42^s$  جد ما يلي:

1- الارتفاع الزاوي للنجم عن الأفق. 2- الاتجاه الأفقي للنجم.

الحل:

الميل =

خط العرض

$$\delta = 42^{\circ} 21' = 42 + \frac{21}{60} = 42.35^{\circ} \text{ N}$$

$$\phi = 60^{\circ} \text{ N}$$

$$H = 8^h 16^m 42^s = (8 + \frac{16}{60} + \frac{42}{3600}) \times 15 = 124.175^{\circ}$$

من المعادلة (17) نجد أن :

$$\cos Z = \cos \delta \cos \phi \cos H + \sin \delta \sin \phi$$

$$\cos Z = \cos 42.35^{\circ} \cos 60^{\circ} \cos 124.175^{\circ} + \sin 60^{\circ} \sin 42.35^{\circ}$$

$$\cos Z = 0.375 \quad \longrightarrow \quad Z = 67.97^{\circ}$$

$$a = 90 - Z = 90 - 67.97^{\circ} = 22.033^{\circ}$$

من المعادلة (18) نجد أن :

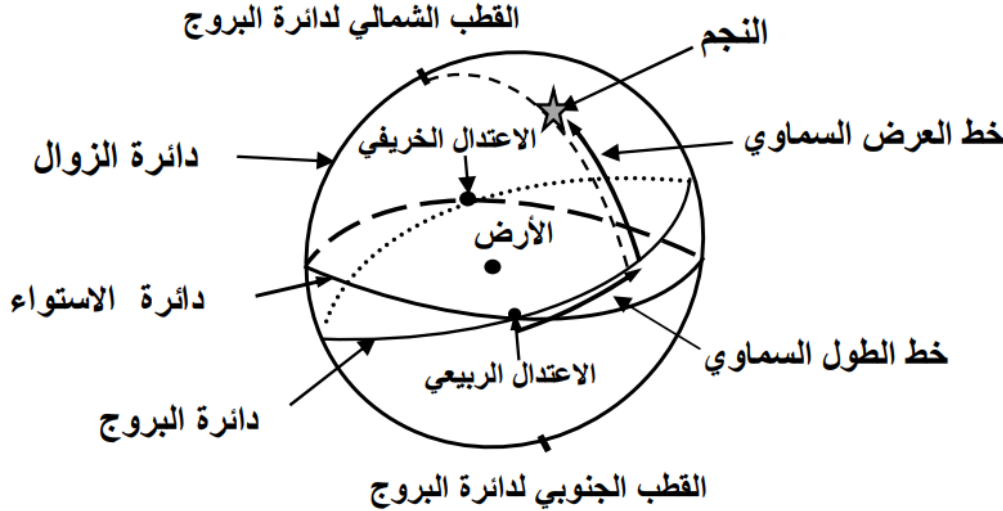
$$\sin \delta = \cos \phi \cos A \sin Z + \sin \phi \cos Z$$

$$\sin 42.35^{\circ} = \cos 60^{\circ} \cos A \sin 67.97^{\circ} + \sin 60^{\circ} \cos 67.97^{\circ}$$

$$A = 41.2154^{\circ}$$

ومنها ينتج أن :

إن هذا النظام قديم وقليل الاستعمال حالياً وهو مشابه للنظام الاستوائي، ولكنه يختلف عنه في أن الدائرة الأساسية في هذا النظام هي دائرة البروج والنقاط الأساسية هما نقطتا القطبين الشمالي والجنوبي لدائرة البروج، والنقطة الصفرية اللازمة لقياس خط الطول السماوي الذي يقابل المطلع المستقيم هي نقطه الاعتدال الربيعي، فيكون الإحداثيان الأساسيان هما خط الطول السماوي وخط العرض السماوي، كما مبين في الشكل (7). ويستعمل هذا النظام عادة لمعرفة موقع الشمس والقمر والكواكب السيارة التي تتحرك على دائرة البروج.



الشكل (7): القبة السماوية مبين عليها إحداثيات النظام البروجي

## 4 - النظام المجري Galactic system

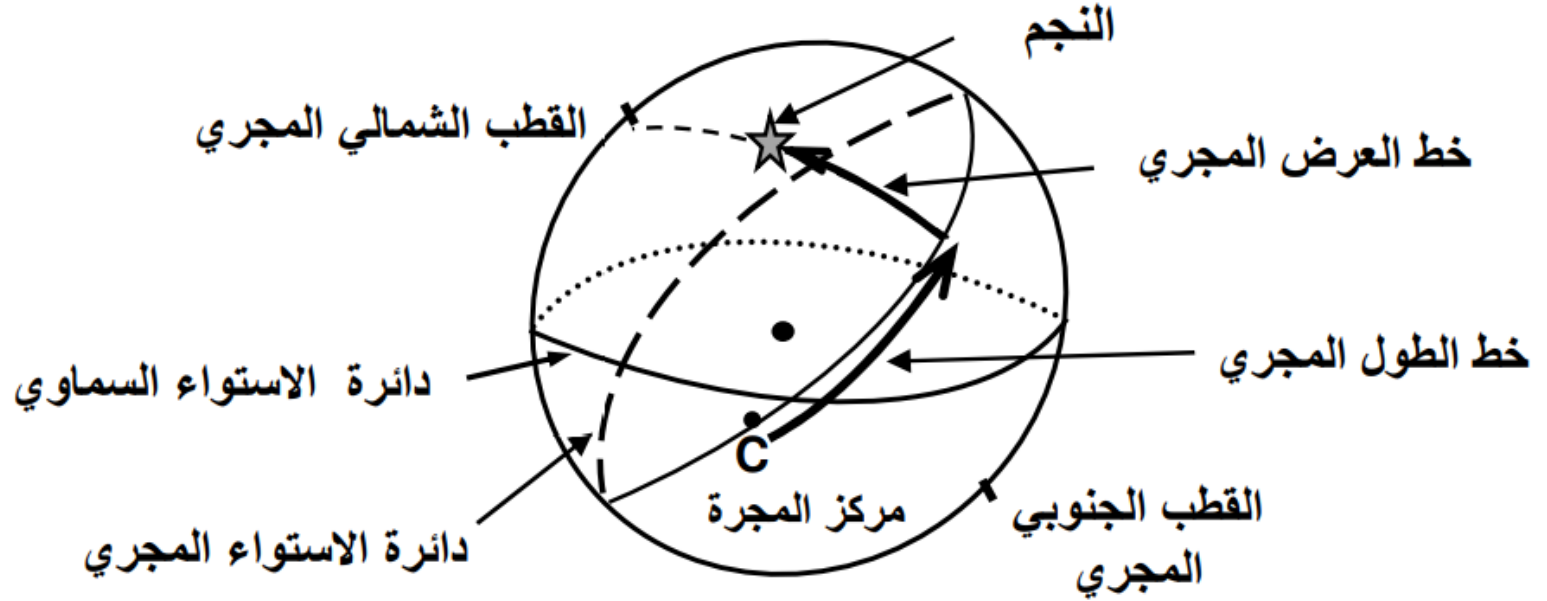
يستعمل هذا النظام لدراسة مجرتنا المسماة درب التبانة، والدائرة الأساسية في هذا النظام هي دائرة وهمية عظمى قريبة من الخط المركزي للمجرة، تسمى بدائرة الاستواء المجري الموضحة في الشكل (8)، وأن الإحداثيان الرئيسان هما :

**أ- خط العرض المجري Galactic latitude**

هو الإزاحة الزاوية مقاسة بالدرجات شمال أو جنوب دائرة الاستواء المجري.

**ب- خط الطول المجري Galactic longitude**

هو الإزاحة الزاوية مقاسة من نقطة عند الاستواء المجري وقريباً من الاتجاه المفروض لمركز المجرة، ويقاس بالدرجات في نفس الاتجاه الذي يقاس به المطلع المستقيم في النظام الاستوائي. وتعد هذه الأنظمة ذات أهمية كبيرة، فمثلاً نظام الأفق يستعمل من قبل المساحين أو الملاحين بالإضافة إلى الفلكيين، أما النظام البروجي فيستعمل لدراسة أفراد المجموعة الشمسية.



الشكل (8): القبة السماوية مبين عليها النظام المجري

## وحدات القياس الفلكية

### 1- الوحدة الفلكية **Astronomical Unit** ويرمز لها (A.U)

هي معدل المسافة بين مركزي الشمس والأرض وتعادل **149.598** مليون كيلومتر.

### 2- السنة الضوئية **Light Year** ويرمز لها (L.Y)

هي معدل المسافة التي يقطعها الضوء خلال سنة واحدة، ولحساب قيمتها بالكيلومترات نستعمل مايلي:

$$L.Y = c \times t$$

حيث أن:

c : هي سرعة الضوء وتساوي  $3 \times 10^5$  Km/sec

t = الزمن ويساوي سنه واحده أي 31536000 ثانية.

وبتعويض هذه القيم ينتج أن:

$$L.Y = 9.45 \times 10^{12} \text{ Km}$$

### 3- اللّوص (زاوية اختلاف المنظر) Parallax ويرمز لها ( P'' )

لو أخذنا بنظر الاعتبار حركة الأرض حول الشمس فإن الاتجاه الظاهري للنجم مقاساً إلى موقع النجوم البعيدة يتغير مع دوران الأرض حول الشمس، ويدعى هذا التغير باختلاف المنظر ويقاس بالثواني القوسية، ويعتمد هذا القياس على البعد بين الأرض والشمس. أما علاقته بالوحدة الفلكية فتعطى كالآتي:

$$r(\text{A.U.}) = \frac{206265}{P''}$$

### 4- الفرسخ الفلكي Parsec ويرمز له بالرمز (P<sub>c</sub>)

هو المسافة التي يعمل بها الجرم السماوي زاوية اختلاف منظر مقدارها ثانية قوسية واحدة، وهي تعادل 3.26 سنة ضوئية، ومن العلاقات الرياضية سابقاً يتبين أن:

$$r(\text{L.Y.}) = \frac{3.26}{P''}$$

$$r(P_c) = \frac{1}{P''}$$

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

أ- الوحدات الفلكية      ب- السنة الضوئية      ج- الفرسخ الفلكي

الحل:

من العلاقات السابقة نجد أن:

أ-

$$\begin{aligned} r \text{ (A.U)} &= \frac{206265}{P''} \\ &= \frac{206265}{0.1} = 2062650 \text{ A.U} \end{aligned}$$

ب-

$$\begin{aligned} r \text{ (L.Y)} &= \frac{3.26}{P''} \\ &= \frac{3.26}{0.1} = 32.6 \text{ L.Y} \end{aligned}$$

ج-

$$\begin{aligned} r \text{ (P}_c \text{)} &= \frac{1}{P''} \\ &= \frac{1}{0.1} = 10 \text{ P}_c \end{aligned}$$



## نماذج النظام الشمسي ( للاطلاع )

لقد تم وصف النظام الشمسي بعدد من النماذج، ومن أهم النماذج ما يأتي:

### 1- أنموذج مركزية الأرض Geocentric Model

هذا الأنموذج وضع من قبل الفلكي والرياضي الإغريقي يودوكسوس (356 – 409) (Eudoxus) ق.م، طبقاً لهذا الأنموذج فإن الشمس والقمر و الكواكب تكون في حركة دائرية منتظمة حول الأرض التي تكون ثابتة، وترتيب مدارات الكواكب يكون كالتالي: القمر، عطارد، الزهرة، الشمس، المريخ، المشتري، زحل. أما السبب في افتراض المدارات دائرية فهو إن القدماء كانوا يعتقدون إن السماء مملكة الكمال (الحالة المثالية)، وبما أن الدائرة يمكن تصورها على أنها شكل مثالي، هذا يعني أن السماء تتحرك بصورة دائرية.

### 2- أنموذج مركزية الشمس Heliocentric Model

هذا الأنموذج وضع من قبل الفلكي الإغريقي اريستاركوس (230 – 310) (Aristarchus) ق.م، حيث اقترح إن الأرض وبقية الكواكب تكون في حركة دائرية منتظمة حول الشمس التي تكون بدورها ثابتة، وكذلك فإن القمر يدور حول الأرض، التي تكون بدورها في حركة يومية حول المحورين الشمالي والجنوبي، وترتيب مدارات الكواكب يكون كالتالي: عطارد، الزهرة، المريخ، المشتري، زحل. إلا أن هذا الأنموذج رفض من قبل الفلاسفة لثلاث أسباب رئيسة هي:

أ- إذا كانت الأرض تدور حول الشمس وحول محورها، فإن هذا يعني إن الأرض تكون في حالة حركة، وهذا الحركة لا يمكن الشعور بها لأنها لا تؤدي إلى تغيرات يمكن مشاهدتها، أي أن الأرض يجب أن تكون مستقرة.

ب- إذا كانت الأرض تدور حول الشمس فإن مواقع النجوم يجب أن تختلف ولو بمقدار صغير عندما تكون الأرض في الاتجاه المعاكس للشمس، وهذا التأثير يعرف بزاوية اختلاف المنظر (Parallax)، وبما أنه لا يوجد أي اختلاف منظر نجمي قابل للملاحظة فإن الأرض يجب أن تكون ثابتة، ولأجل معرفة قوة هذا الجدل، فإن الفلكيون القدماء يرفضون فكرة إن النجوم تبتعد كثيراً عن الأرض، حيث أنهم اقترحوا إن الكرة السماوية تقع قرب مدار زحل.

ج- أنموذج مركزية الأرض يكون أكثر مقبولة لأنه يعطي للأرض موقع خاص في الكون.

### 3- أنموذج بطليموس (model Ptolemy)

إن أنموذج بطليموس اقترح من قبل الفلكي الإغريقي الكسندر كلاوديوس بطليموس (م165- 85) (Claudius Ptolemy) الذي عاش في الإسكندرية في مصر وفيه طور أنموذج مركزية الأرض أيضاً، وبقي هذا الأنموذج سائداً لنحو 1500 م، لكن هذا الأنموذج يمتاز ببعض التعقيد لذلك سوف لن نتطرق إليه.

#### 4- أنموذج كوبرنيكوس Copernicus ' Model

هذا الأنموذج يمتاز بنفس فكرة أنموذج مركزية الشمس مع إضافة بعض التحديثات و هو أنموذج حديث للكون أقترح من قبل نيكولاس كوبرنيكوس (Nicolaus Copernicus) منتصف عام 1500 م، وفيه اقترح إن الشمس مركز النظام الشمسي وليس الأرض ويستند هذا النموذج على عدد من الأسس وهي:

- 1- وجود أكثر من مركز في الكون.
- 2- وجود مركز للكون قرب الشمس.
- 3- كوكب الأرض ليس مركزاً للكون.
- 4- المسافة بين الأرض والشمس هي مسافة صغيرة عند مقارنتها مع المسافات الفلكية بين الأرض والنجوم في السماء.
- 5- الأرض تدور حول الشمس وهذا هو السبب في تغير النشاط الشمسي الذي نشهده.
- 6- دوران الأرض هو سبب التغير في مواقع النجوم كل ليلة.