

الميكانيك

# التجاذب الكوني

*La gravitation universelle*

[www.maths-physique.com](http://www.maths-physique.com)



الجدع المشترك  
الفيزياء-جزء الميكانيك

# التجاذب الكوني

## la gravitation universelle

المحور الأول :  
التأثيرات البنائية  
الوحدة 1  
3 س

### 1- سلم المسافات :

1-1- الكتابة العلمية ورتبة القدر :

#### 1-1-1- نشاط :

نعتبر الأبعاد المدونة في الجدول أسفله :

رتبة قدر المقدار	القيمة على شكل $a \cdot 10^n$ مع $1 \leq a < 10$ و n عدد صحيح	القيمة	أمثلة
$10^0$ m	$1,20 \cdot 10^0$ m	1,20 m	عرض باب قاعة
$10^{-3}$ m	$4 \cdot 10^{-3}$ m	4 mm	قد نملة
$10^2$ m	$1,80 \cdot 10^2$ m	180 m	ارتفاع صومعة حسان
$10^3$ m	$4,16 \cdot 10^3$ m	4,16 km	ارتفاع جبل توبقال
$10^{-7}$ m	$1,00 \cdot 10^{-7}$ m	100 nm	قد فيروس الزكام
$10^{-5}$ m	$7 \cdot 10^{-6}$ m	7 $\mu$ m	قطر كرية دم حمراء
$10^7$ m	$1,2800 \cdot 10^7$ m	12800 km	قطر كوكب الأرض
$10^{22}$ m	$2,3 \cdot 10^{22}$ m	$23 \cdot 10^{18}$ km	المسافة بين الأرض ومجرة الأندروميد
$10^{11}$ m	$1,50 \cdot 10^{11}$ m	$150 \cdot 10^9$ m	المسافة بين الأرض والشمس

إملاء هذا الجدول إذا علمت أن رتبة قدر مقدار معين هي أس عدد عشرة الأقرب إلى قيمة هذا المقدار .

وفي حالة  $a < 5$  تكون رتبة القدر هي  $10^n$  أما إذا كانت  $a > 5$  تكون رتبة القدر  $10^{n+1}$ .

#### 1-1-2- الكتابة العلمية :

$$10^0 = 1$$

$$10^n \cdot 10^m = 10^{n+m}$$

$$10^{-n} = \frac{1}{10^n}$$

$$\frac{10^n}{10^m} = 10^{n-m}$$

الكتابة العلمية لعدد تكتب على الشكل التالي :  $N = a \cdot 10^n$

بحيث a عدد عشري (  $1 \leq a < 10$  ) و n عدد صحيح نسبي .

#### 1-1-3- رتبة قدر :

رتبة قدر كمية ما هي أس عدد عشرة الأقرب إلى قيمة هذا المقدار .

إذا كان  $a < 5$  فإننا نعتبر  $a \approx 1$  وبالتالي تكون رتبة القدر هي  $10^n$  .

إذا كان  $a > 5$  فإننا نعتبر  $a \approx 10$  وبالتالي تكون رتبة القدر هي  $10^{n+1}$  .

#### الفائدة من رتبة القدر :

تحديد موضع المسافة على سلم المسافات وبالتالي مقارنتها مع مسافات أخرى .

مقارنة مسافتين مختلفتين : حيث نقول إن مسافتين تختلفان بما قيمته n رتبة قدر إذا كان خارج

قسمة المسافة الأكبر على المسافة الأصغر هو  $a \cdot 10^n$  .

مثال : قارن اختلاف قطر كرية دم حمراء  $d_1 = 7 \mu\text{m}$  مع قطر كوكب الأرض  $d_2 = 12800 \text{ km}$  .

لدينا  $\frac{d_2}{d_1} = \frac{1,2800 \cdot 10^7}{7 \cdot 10^{-6}} = 1,83 \cdot 10^{12}$  إذن  $d_2$  و  $d_1$  تختلفان بما قيمته 12 رتب قدر .

**1-2- الأرقام المعبرة :**

الأرقام المعبرة لعدد هي الأرقام المستعملة في كتابة العدد انطلاقاً من اليسار وابتداءً من الرقم الأول المخالف للصفر .

العدد	عدد الأرقام المعبرة
4,5.10 <sup>2</sup>	2
0,013	2
0,560	3
0,56	2
1,506	4
1,56	3

**مثال :****ملحوظة :**

- ❖ يتعلق عدد الأرقام المعبرة بدقة القياس . فمثلاً 2,30 أدق من 2,3 .
- ❖ تكتب نتيجة عملية الضرب أو قسمة قيم مقادير باستعمال أقل عدد من الأرقام المعبرة المستعملة .  
فمثلاً :  $1,2 \times 3,63 = 4,356$  تكتب نتيجتها على شكل  $1,2 \times 3,63 \approx 4,4$  .  
أو  $\frac{55,8744}{6,2} = 9,012$  تكتب نتيجتها على شكل  $\frac{55,8744}{6,2} \approx 9,0$  .
- ❖ تكتب نتيجة عملية الجمع أو الطرح لقيم مقادير باستعمال أقل عدد من الأرقام المعبرة العشرية المستعملة . فمثلاً :  $1,2 + 3,63 = 4,83$  تكتب نتيجتها على شكل  $1,2 + 3,63 \approx 4,8$  .

**1-3- محور سلم المسافات :****1-3-1- وحدات المسافة :**

وحدة المسافة في النظام العالمي للوحدات ( ن ع ) هي المتر  
رمزه **m** .

في المجال الفلكي نستعمل  
وحدات أخرى :

الوحدة الفلكية **U.A** : هي  
المسافة المتوسطة الفاصلة  
بين الأرض و الشمس حيث

$$1U.A = 150.10^6 km$$

السنة الضوئية **A.L** : هي  
المسافة التي يقطعها الضوء  
خلال سنة بالسرعة

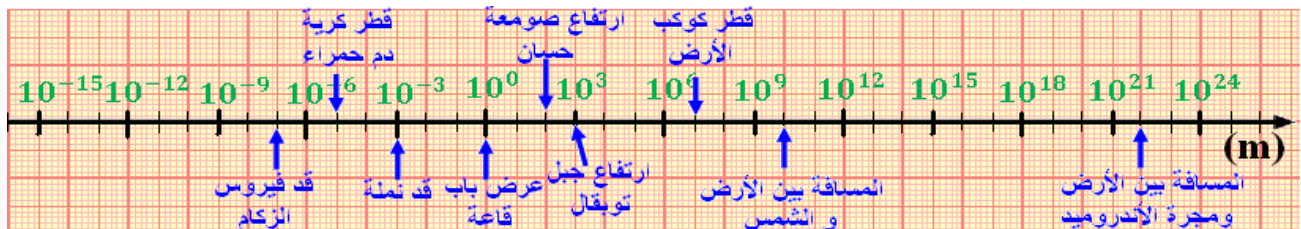
$$C = 3.10^8 m/s$$

$$1A.L = 9,5.10^{15} m$$

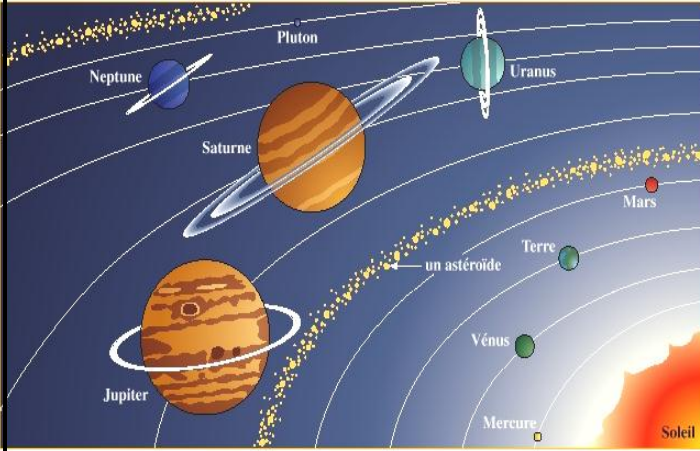
أجزاء المتر			مضاعفات المتر		
القيمة	الرمز	الاسم	القيمة	الرمز	الاسم
$10^{-3}m$	mm	مليمتتر	$10^3m$	Km	كيلومتر
$10^{-6}m$	$\mu m$	ميكرومتر	$10^6m$	Mm	ميكامتر
$10^{-9}m$	nm	نانومتر	$10^9m$	Gm	جيكامتر
$10^{-12}m$	pm	بيكومتر	$10^{12}m$	Tm	تيرامتر
$10^{-15}m$	fm	فيمتومتر			

**1-3-2- نشاط :**

مثل على المحور أسفله رتب قدر الأبعاد الممثلة في النشاط 1-1-1 .

**1-3-3- محور سلم المسافات :**

محور سلم المسافات هو سلم مدرج بالأشكال 10 يستعمل لترتيب المسافات في الكون ( من الذرة إلى المجرة ) بحيث تكون لهذه المسافات نفس الوحدة .

**2- التجاذب الكوني :****2-1- قانون التجاذب الكوني (نيوتن 1687) :****2-1-1- نشاط :**

و جود قوة التجاذب الكوني  
جالت فكرة التجاذب الكوني بذهن إسحاق نيوتن منذ سنة 1666م حين سقطت تفاحة نحو سطح الأرض من شجرة تفاح كان يقبل تحتها نيوتن . و لتفسير ذلك افترض وجود قوة التجاذب بين الأرض و التفاحة . و قد أدت دراسات معمقة قام بها نيوتن إلى اكتشاف **قوى التجاذب الكوني** أي **التأثير البيني التجاذبي** بين الأجسام المادية ، الشيء الذي أتاح تفسير حركة الكواكب حول الشمس و الأقمار حول الكواكب .

تتكون المنظومة الشمسية من كواكب يدور كل منها في مداره الخاص مكونة مجموعة متماسكة .

أ- إلى ماذا يعزى تماسك المنظومة الشمسية ؟

يعزى تماسك المنظومة الشمسية و حركة الكواكب و نظامها الدقيق إلى وجود قوى تجاذب بينها وهي المسؤولة عن حركته و عن بقاءه في مداره .

ب- كيف فسّر نيوتن وجود هذه القوة ؟

افترض نيوتن أن الأجسام تتجاذب فيما بينها بفعل كتلتها ، وبالتالي فهي قوى تأثير متبادلة .

ج- كيف تفسر حركة الأرض حول الشمس ؟

تدور الأرض حول الشمس لأن كتلة الشمس أكبر من كتلة الأرض .

**2-1-2- نص القانون :**

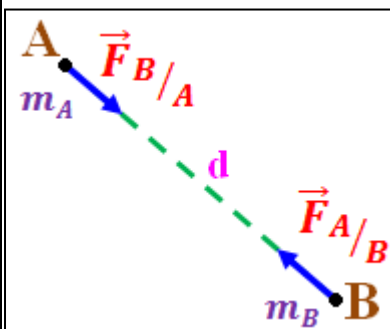
تتجاذب الأجسام بسبب كتلتها فيُطبَّق بعضها على بعض قوى تأثير تجاذبي .

**2-1-3- الصيغة الرياضية للقانون :**

أ- بالنسبة لجسمين نقطيين :

جسمان نقطيان A و B كتلتاهما على التوالي  $m_A$  و  $m_B$  وتفصل بينهما المسافة  $d=AB$  ، يطبق أحدهما على الآخر قوة تجاذب عن بعد تسمى قوة التجاذب الكوني  $\vec{F}_{A/B}$  و  $\vec{F}_{B/A}$  .

لهتين القوتين :



☞ نفس خط التأثير : هو المستقيم (AB) .

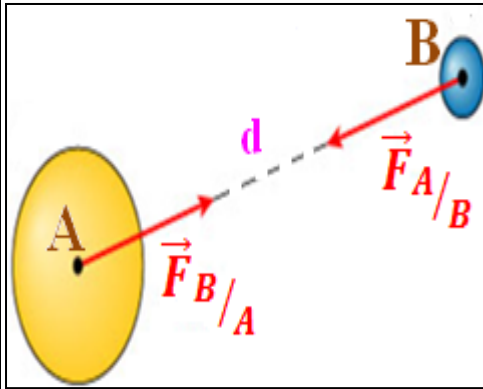
☞ منحيان متعاكسان : نحو الجسم الذي يطبق القوة .

☞ نفس الشدة :  $F_{A/B} = F_{B/A} = F = G \frac{m_A \times m_B}{d^2}$  حيث  $F$  هي الشدة المشتركة لهتين القوتين .

تسمى  $G$  ثابتة التجاذب الكوني وقيمتها في ( ن ع ) هي  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$  .



## ب- بالنسبة لجسمين لهما تماثل كروي :



يطبق هذا القانون حتى بالنسبة للأجسام غير النقطية التي لها توزيع كروي للكتلة وهي أجسام تكون كتلتها موزعة بشكل منظم أو موزعة على طبقات متجانسة و متراكزة حول مركزه . و باعتبار أن كتلة كل جسم مركزة في مركزه ، تكون شدة القوة  $F$  هي

$$\vec{F}_{A/B} = \vec{F}_{B/A} = F = G \frac{m_A \times m_B}{d^2}$$

مع  $d=AB$  والقوتان  $\vec{F}_{A/B}$  و  $\vec{F}_{B/A}$  مطبقتان في مركزي كل من الجسمين A و B .

## ملحوظات :

تعتبر النجوم والشمس والأرض وباقي الكواكب أجساما ذات توزيع كروي للكتلة .

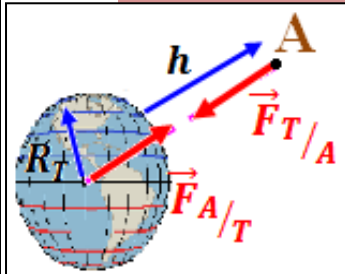
في حالة جسم نقطي A والأرض ، فإن تعبير الشدة المشتركة لقوتي التأثير

$$F_{T/A} = F_{A/T} = F = G \frac{M_T \times m_A}{(R_T + h)^2}$$

مع  $M_T = 6.10^{24} kg$  كتلة الأرض و  $R_T = 6380 km$  شعاعها .

في حالة جسمين غير متمائلين كرويا ، فإن تعبير الشدة المشتركة لقوتي

التأثير البيئي التجاذبي يبقى صالحا باعتبار A و B مركزي كتليتهما .



## تطبيق :

## تطبيق 1 :

1- حدد مميزات قوى التأثير البيئي التجاذبي بين

جسمين نقطيين كتلتاهما على التوالي  $m_A = 45g$  و

$m_B = 100g$  و تفصل بينهما المسافة

$AB=50cm$  .

2- مثل متجهتي القوتين بسلم مناسب .

## الحل :

1- حسب قانون نيوتن للتجاذب فالمتجهتين  $\vec{F}_{A/B}$  و

$\vec{F}_{B/A}$  لهما :

نفس خط التأثير : هو المستقيم (AB) .

منحيان متعاكسان : نحو الجسم الذي يطبق القوة .

نفس الشدة :  $F_{A/B} = F_{B/A} = F = G \frac{m_A \times m_B}{d^2}$

$$F = 6,67.10^{-11} \frac{45.10^{-3} \times 100.10^{-3}}{(50.10^{-2})^2}$$

إذن :  $F = 1,2.10^{-12} N$  نلاحظ أن شدة هذه القوة

ضعيفة جدا بالنسبة للسلم البشري .

2- لتمثيل المتجهتين  $\vec{F}_{A/B}$  و  $\vec{F}_{B/A}$  يجب اختيار سلم

مناسب . السلم المختار هو :

$$1cm \rightarrow 10cm \text{ و } 1cm \rightarrow 1,2.10^{-12} N$$

## تطبيق 2 :

1- حدد مميزات قوى التأثير البيئي التجاذبي بين الأرض

والقمر كتلتاهما على التوالي وتفصل بينهما المسافة

$d = 3,84.10^8 m$  . نعطي :

$M_L = 7,34.10^{22} kg$  و  $M_T = 5,98.10^{24} kg$

2- مثل متجهتي القوتين بسلم مناسب .

## الحل :

1- حسب قانون نيوتن للتجاذب فالمتجهتين  $\vec{F}_{L/T}$  و

$\vec{F}_{T/L}$  لهما :

نفس خط التأثير : هو المستقيم (OO') .

منحيان متعاكسان : نحو الجسم الذي يطبق القوة .

نفس الشدة :  $F_{L/T} = F_{T/L} = F = G \frac{M_T \times M_L}{d^2}$

$$F = 6,67.10^{-11} \frac{5,98.10^{24} \times 7,34.10^{22}}{(3,84.10^8)^2}$$

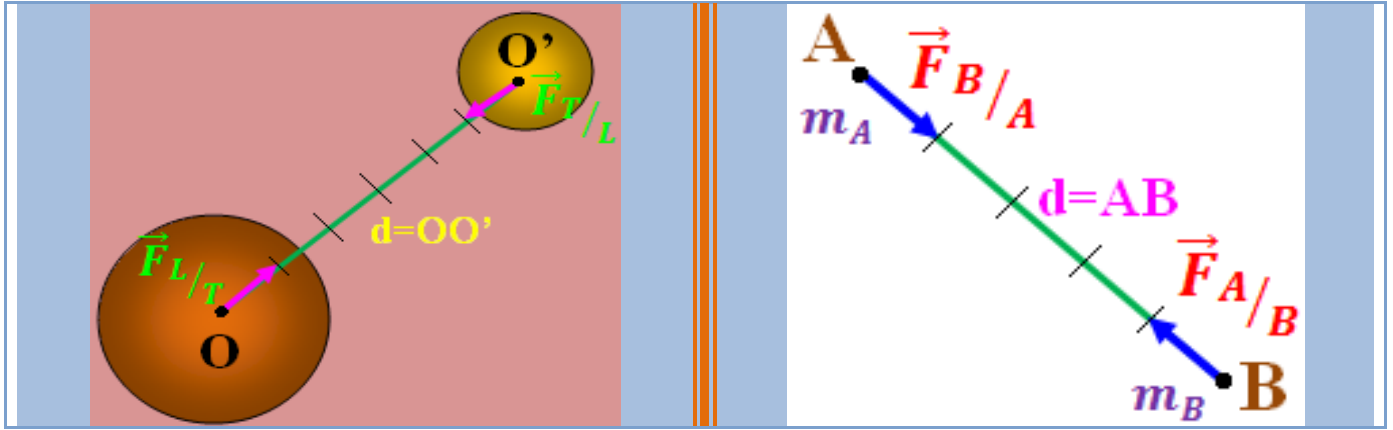
إذن :  $F = 1,98.10^{20} N$  نلاحظ أن التأثير التجاذبي

بين الأرض والقمر مهم جدا رغم تباعدهما .

2- لتمثيل المتجهتين  $\vec{F}_{L/T}$  و  $\vec{F}_{T/L}$  يجب اختيار سلم

مناسب . السلم المختار هو :

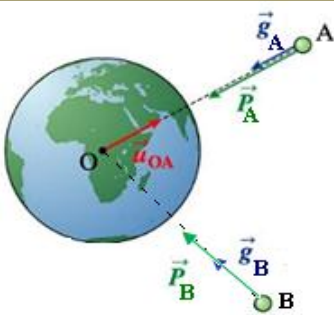
$$1cm \rightarrow 0,510^8 m \text{ و } 1cm \rightarrow 1,98.10^{20} N$$



2-2- وزن جسم:

تعريف:

الوزن  $\vec{P}$  لجسم هو القوة المقرونة بتأثير الأرض على هذا الجسم عند تواجده بجوارها ، وتسمى قوة الثقالة الأرضية ، ونعبر عنه بالعلاقة :  $\vec{P} = m \cdot \vec{g}$  . بحيث  $m$  كتلة الجسم (kg) و  $\vec{g}$  متجهة مجال الثقالة ( $N \cdot kg^{-1}$ ) .  
مميزاته هي :



- نقطة التأثير : مركز ثقل الجسم .
- خط التأثير : الخط الرأسي ( الشاقولي ) المار من مركز ثقله ومركز الأرض .
- المنحى : نحو الأسفل ( مركز الأرض ) .
- الشدة : هي  $P = m \cdot g$  وحدته النيوتن N .

نسمي وزن جسم  $\vec{P}$  كتلته  $m$  ويرتفع عن سطح الأرض بمسافة  $h$  ، قوة التأثير البيئي التجاذبي  $\vec{F}$

$g(N \cdot kg^{-1})$	المكان	خط العرض
9,832	القطب الشمالي	$90^0$
9,810	باريس	$49^0$
9,796	الرباط	$34^0$
9,789	الداخلة	$24^0$

المطبقة من طرف الأرض عليه إذا أهملنا دوران الأرض حول نفسها . فنكتب  $P = F$  أي  $m \cdot g = G \frac{M_T \times m_A}{(R_T + h)^2}$

وبالتالي  $(1) \quad g = G \frac{M_T}{(R_T + h)^2}$

تبين العلاقة (1) أن شدة الثقالة تتغير حسب الارتفاع  $h$

بالنسبة لنفس خط العرض كما تتغير حسب مكونات القشرة الأرضية .

تعبير شدة الثقالة  $g_0$  على سطح الأرض  $h=0$  هو  $(2) \quad g_0 = G \frac{M_T}{R_T^2}$

من العلاقة (1) و (2) نستنتج أن  $g = g_0 \cdot \frac{R_T^2}{(R_T + h)^2}$

**ملحوظة:** يمكن تعريف وزن جسم على سطح كوكب آخر حيث تتعلق  $g$  بالثقالة التي يحدثها هذا الكوكب .

فمثلا : بالنسبة للقمر  $g_L = G \frac{M_L}{R_L^2}$  مع  $g_L$  شدة الثقالة على سطح القمر .

**تطبيق:** عند أي ارتفاع  $h$  تصبح  $g = \frac{g_0}{4}$  ؟

**الحل:** نعم أن  $g = g_0 \cdot \frac{R_T^2}{(R_T + h)^2}$  ولدينا  $g = \frac{g_0}{4}$  إذن  $\frac{g_0}{4} = g_0 \cdot \frac{R_T^2}{(R_T + h)^2}$  أي  $\frac{1}{4} = \frac{R_T^2}{(R_T + h)^2}$

وبما أن  $R_T$  و  $h$  موجبين فإن  $\frac{1}{2} = \frac{R_T}{R_T + h}$  إذن  $R_T + h = 2R_T$  وبالتالي  $h = R_T = 6380km$  .