

# Chapter Three

## The Newton's Laws of Motion

# Dynamics

## The Law of Motion

Lecture First

# The Laws of Motion

- The Law of Motion
- Force
- Newton's laws of Motion
- Weight and tension
- Examples
- Force of friction



*Isaac Newton's work represents one of the greatest contributions to science ever made by an individual.*

# Introduction

في الجزء السابق ركزنا على علم وصف الحركة من ازاحه و سرعه و تعجيل دون النظر الى مسبباتها و هذا العلم يسمى علم **(Kinematics)**.

في هذا الجزء من المقرر سوف ندرس مسبب الحركة و هو كميته فيزيائيه تدعى القوه **(Force)** و التي وضع العالم نيوتن ثلاث قوانين اساسيه تعتمد على الملاحظات التجريبيه التي اجرها منذ اكثر من ثلاث قرون .

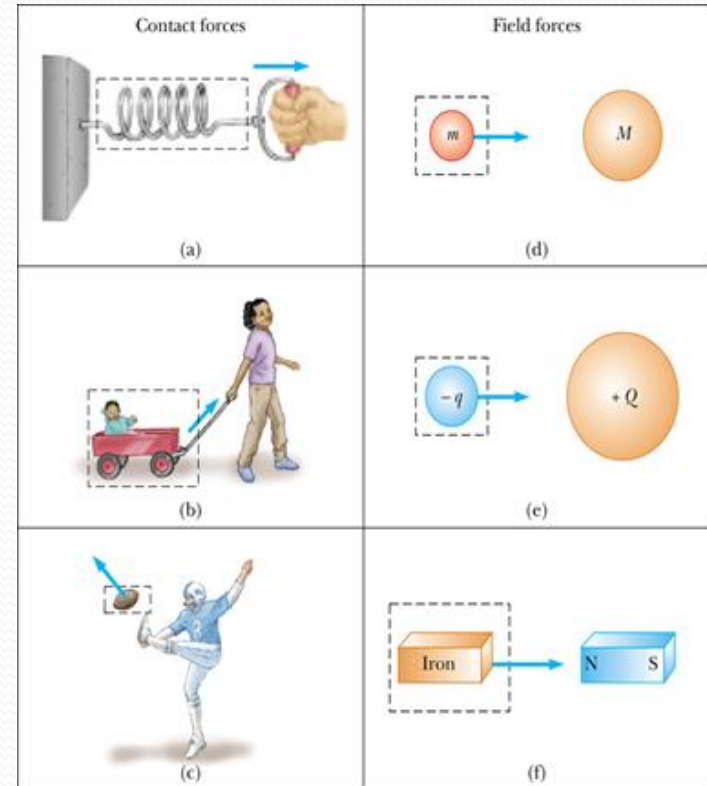
العلم الذي يدرس العلاقه بين حركه الجسم و القوه المؤثره عليه هو من علوم الميكانيك الكلاسيكيه التي تعرف باسم **(Dynamics)** و كلمه كلاسيك هنا تدل على اننا نتعامل مع سرعات اقل بكثير من سرعه الضوء و اجسام اكبر بكثير من الذرة .

# Dynamics

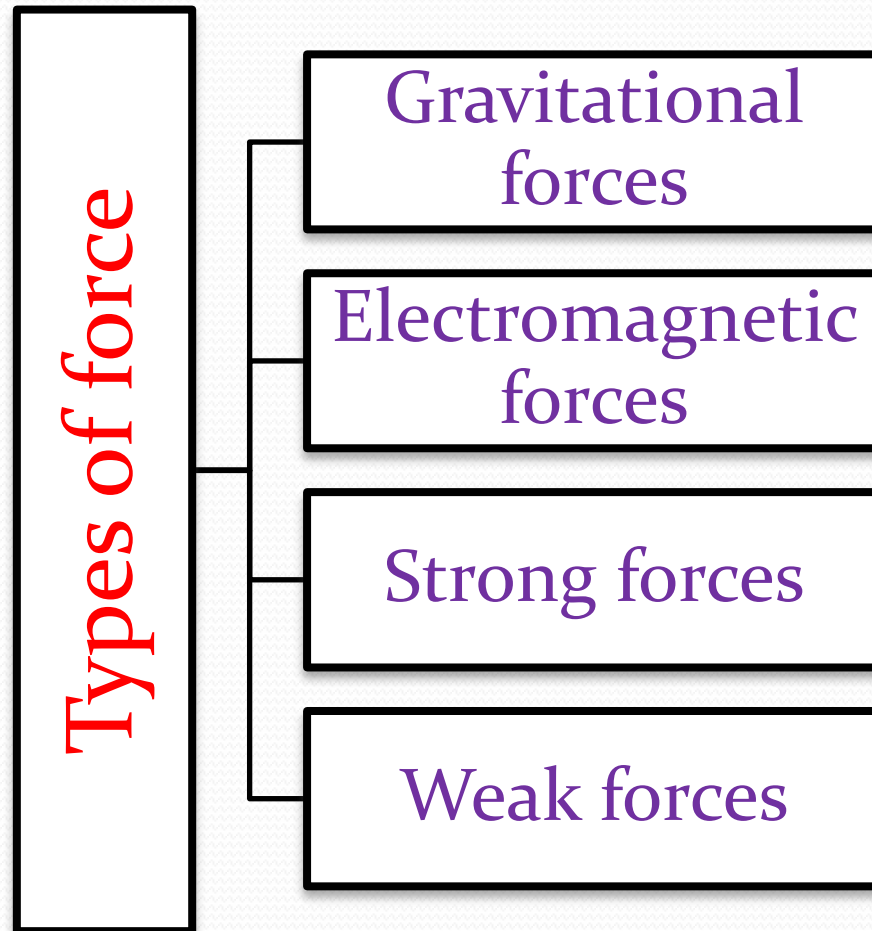
- *Describes the relationship between the motion of objects and the forces acting on them*
- *Language of Dynamics*
  - *Force: The measure of interaction between two objects (pull or push). It is a **vector quantity***
  - *Mass: is both property of a physical body and a measure of how difficult it is to change object's velocity*

# Forces

- The measure of interaction between two objects (pull or push)
- Vector quantity:
- May be a **contact force** or a **field force**
  - **Contact forces** result from physical contact between two objects
  - **Field forces** act between disconnected objects



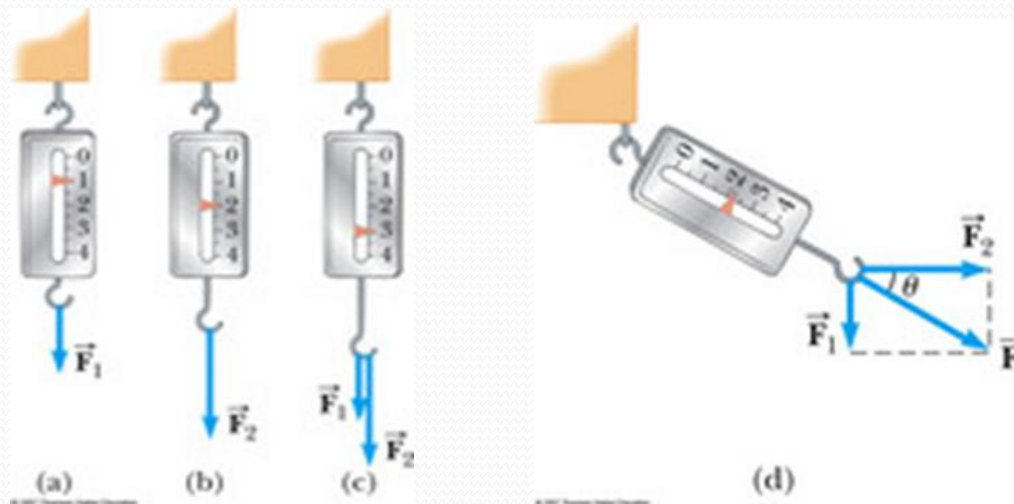
# Fundamental Forces in Nature



# Vector Nature of Force

- You must use the rules of vector addition to obtain the net force on an object

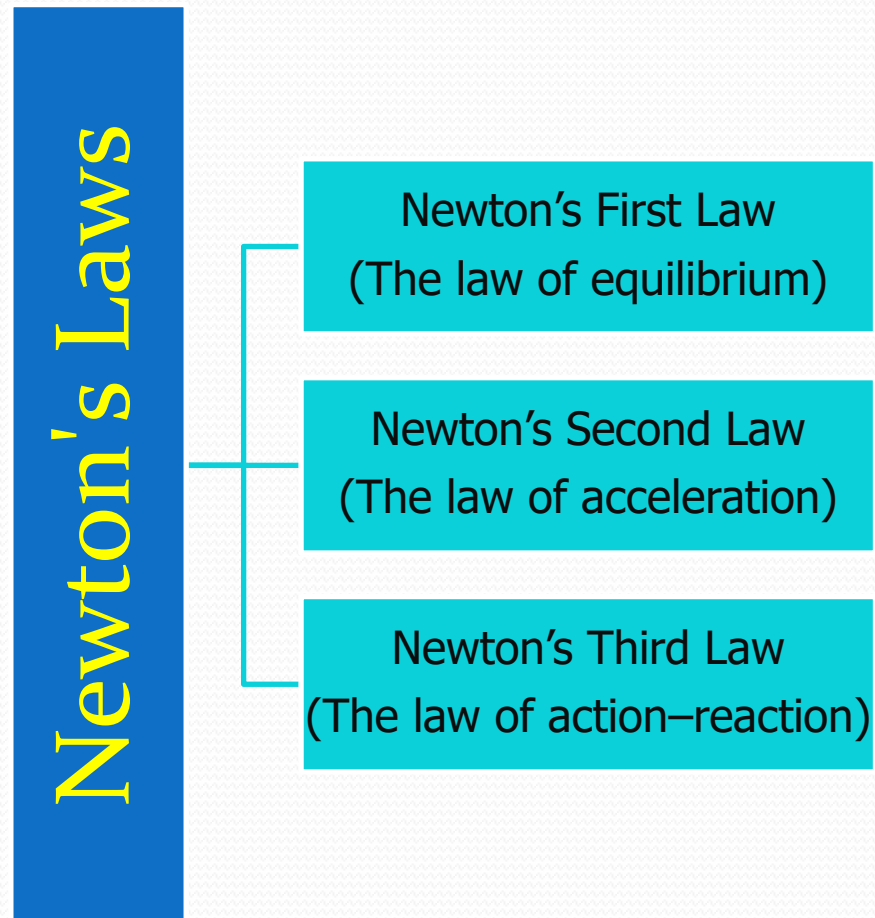
$$\vec{F}_{net} = \sum \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots$$



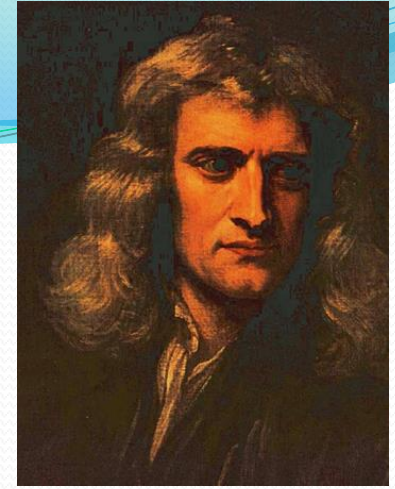
$$|\vec{F}| = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = 2.24 \text{ N}$$
$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{F_1}{F_2}\right) = -26.6^\circ$$



# NEWTONS laws of Motion



# Newton's First Law



## Newton's First Law ( the law of equilibrium )

- An object at rest tends to stay at rest and an object in motion tends to stay in motion with the same speed and in the same direction unless acted upon by an unbalanced force

$\sum \vec{F} = 0$  The net force (total force , resultant force or unbalanced force ) on an object is equal to zero)

□ ينص قانون نيوتن الاول او ما يسمى بقانون التوازن الجسم الساكن يبقى ساكن و الجسم المتحرك بسرعه ثابتة يبقى متحرك بسرعه ثابتة ما لم تؤثر عليه قوه خارجيه تغير اتجاه

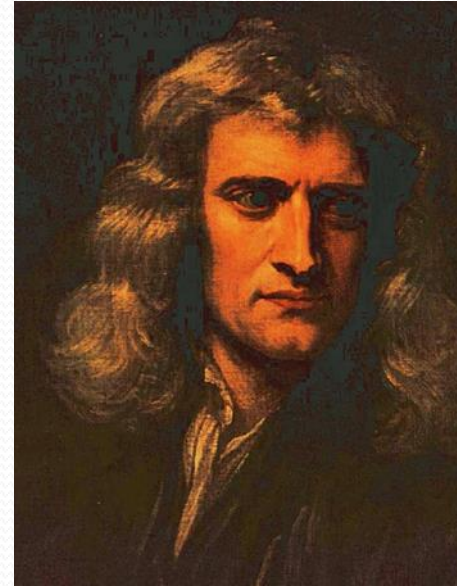
*“Keep on doing what it is doing”*



# Newton's First Law

- When forces are balanced, the acceleration of the object is zero
  - Object at rest:  $v = 0$  and  $a = 0$
  - Object in motion:  $v \neq 0$  and  $a = 0$
  - The tendency of an object to resist any attempt to change its velocity is called **inertia**
- The net force is defined as the vector sum of all the external forces exerted on the object.

$$\sum \vec{F} = 0$$



If the net force is zero, forces are balanced. When forces are balanced, the object can be stationary, or move with constant velocity.

# Newton's Second Law

## Newton's Second Law, the law of acceleration

The acceleration of an object is directly proportional to the net force acting on it and inversely proportional to its mass

$$\vec{F}_{net} = \sum \vec{F} = m\vec{a} \quad \longrightarrow \quad \vec{a} = \frac{\sum \vec{F}}{m} = \frac{\vec{F}_{net}}{m}$$

Then the unit of the force is (kg . m /s<sup>2</sup>) which is called Newton(N)

قانون نيوتن الاول هو حالة خاصة من القانون الثاني  
وهو عندما يكون التعجيل يساوي صفر

## Components of force

$$\sum f_x = ma_x \quad \sum f_y = ma_y \quad \sum f_z = ma_z$$

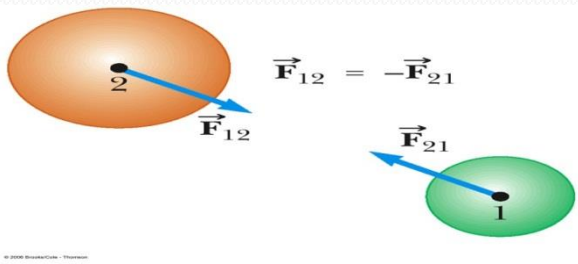
# Newton's Third Law

## Newton's Third Law (the law of action-reaction)

states that when two bodies interact , the force which body (A) exerts on body (B) ( the action force ) is equal in magnitude and opposite in direction to the force which body (B) exerts on body (A) ( the reaction force )

$$\vec{f}_{12} = -\vec{f}_{21}$$

و الرمز  $\vec{f}_{12}$  يعني القوة التي يتاثر بها الجسم الاول نتيجة للجسم الثاني



# Particular forces

توجد القوى بأشكال مختلفه كلها تخضع لقانون نيوتن الثاني

Particular forces

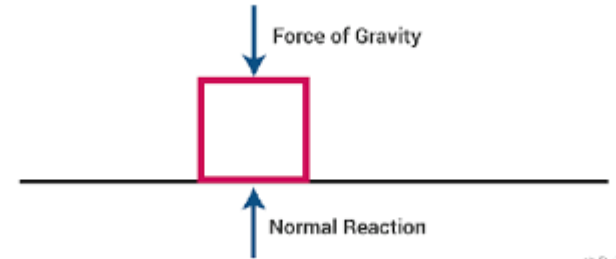
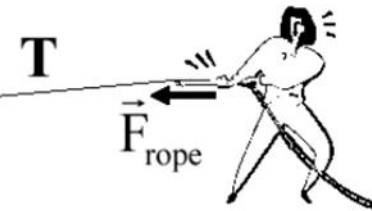
Gravitational Force

Tension Force

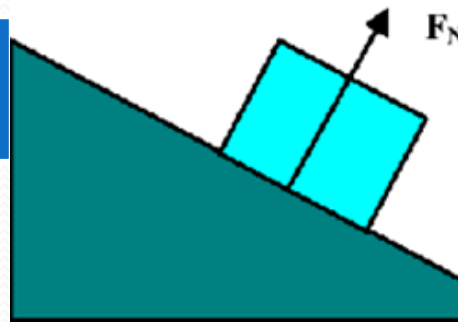
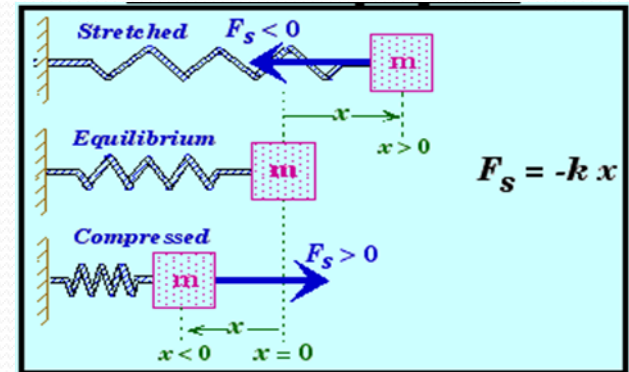
Normal Force

Spring Force

Friction Force



©Bzjus.com



## Gravitational Force & weight (قوة الجاذبية (قوة الوزن))

All objects are attracted to the earth . The attracted force exerted by the earth on an object is called gravitational force  $\vec{f}_g$ . This force is directed toward the center of the earth, and its magnitude is called the weight of the object.

We saw in previous lecture that a freely falling object experiences an acceleration  $\vec{g}$  acting toward the center of the earth . Applying Newton second law  $\sum \vec{f} = m\vec{a}$  to a freely falling object of mass  $m$ , with  $\vec{a} = \vec{g}$  and  $\sum \vec{f} = \vec{f}_g$

$$\vec{f}_g = m\vec{g}$$

Therefore the weight of an object , being defined as the magnitude of  $\vec{f}_g$  , is equal to  $m\vec{g}$  .

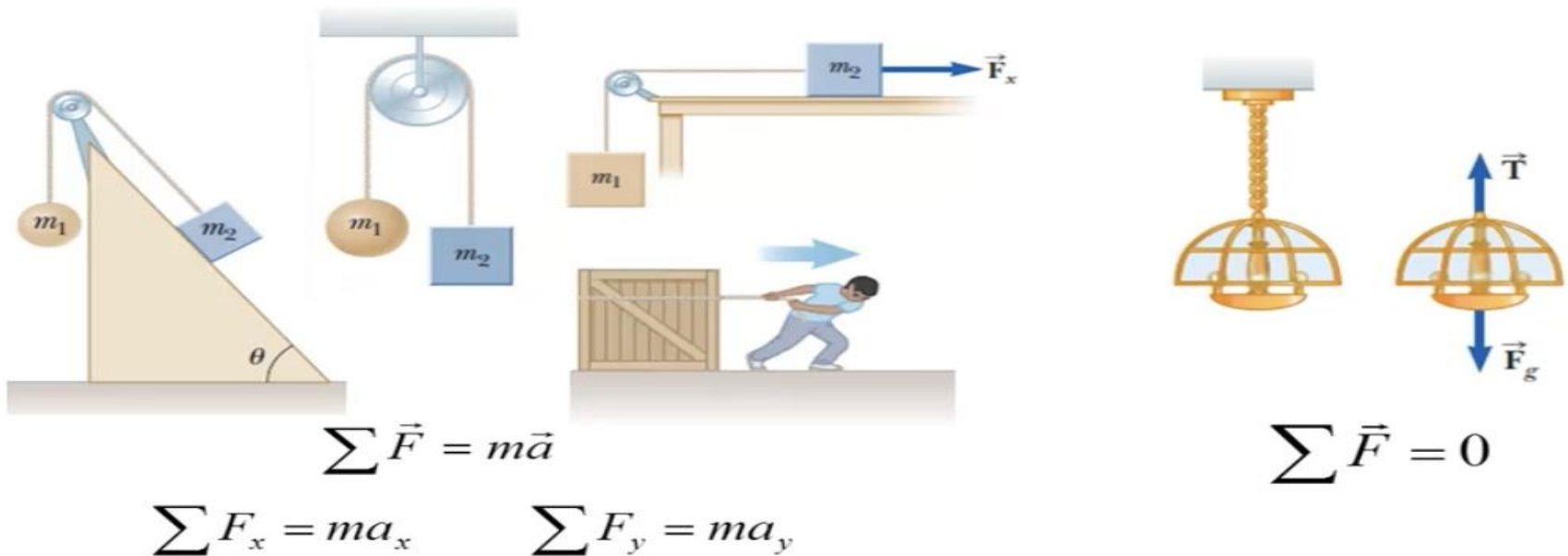
$$\vec{f}_g = m\vec{g} = w$$

هي مقدار قوه جذب الارض للأجسام و تساوي  
وزن الجسم

# Tension Force ( $T$ ): (قوة الشد)

Direction: always along the cord (rope, cable, string ..... ) and away from the object

عند سحب جسم بواسطة حبل فان القوة المؤثرة على الجسم من خلال الحبل تدعى قوة الشد و يرمز لها بالرمز  $T$  و وحدته  $N$  . و يظهر في الشكل صور مختلفه من قوة الشد وكيفه تحديدها على الشكل





# Normal Force

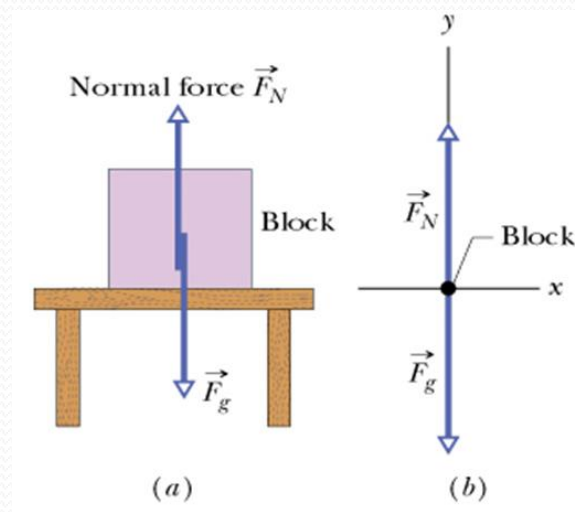
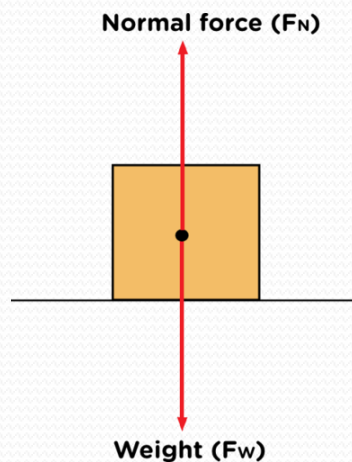
Force from a solid surface which keeps object from falling through

Direction: always **perpendicular to the surface**

$$N - F_g = ma_g$$

$$N - mg = ma_g$$

$$N = mg$$



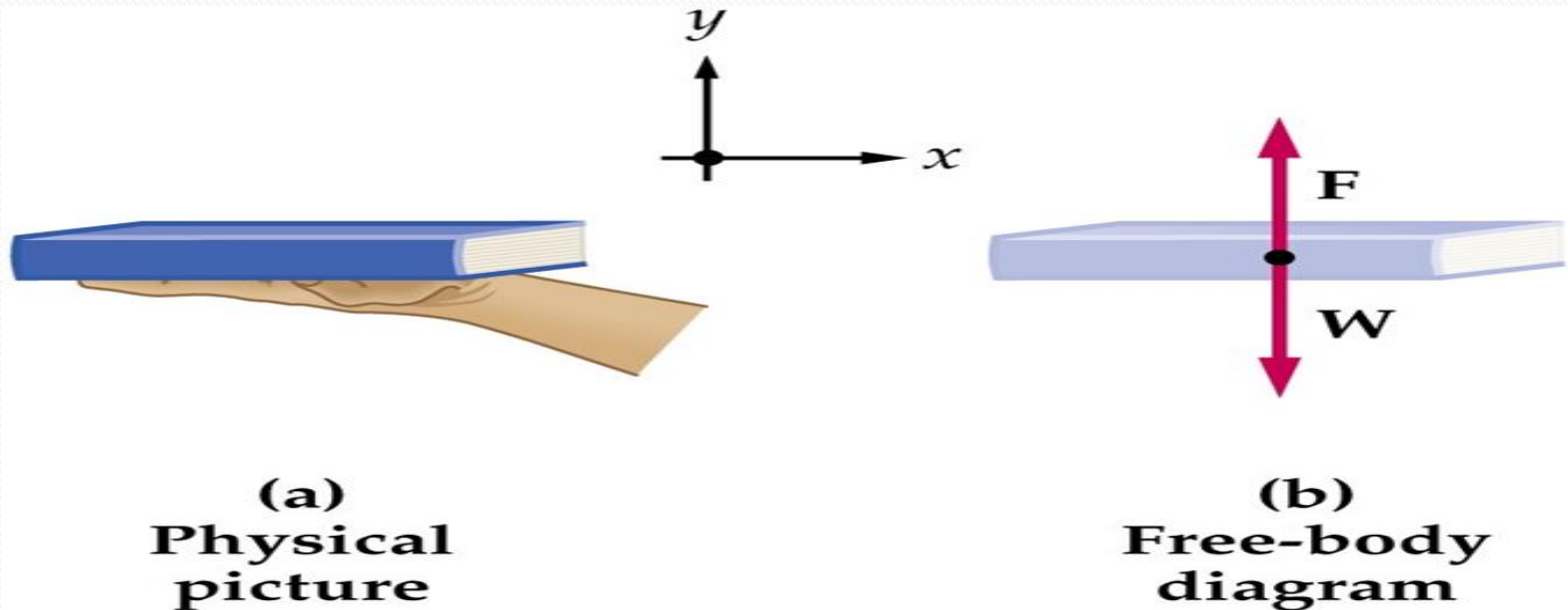
FREE BODY DIAGRAM

وهي قوة العموديه على الجسم و دائما في حاله الاجسام المستقره فان القوه العموديه  $N$

تساوي الوزن  $N = mg$

# Example: Free Body Diagram

- The most important step in solving problems involving Newton's Laws is to draw the free body diagram
- Be sure to include only the forces acting on the object of interest



# The Particle in Equilibrium

If the acceleration of an object is zero, the object is treated with the particle in equilibrium model. In this model, the net force on the object is zero:

$$\sum \vec{F} = 0$$

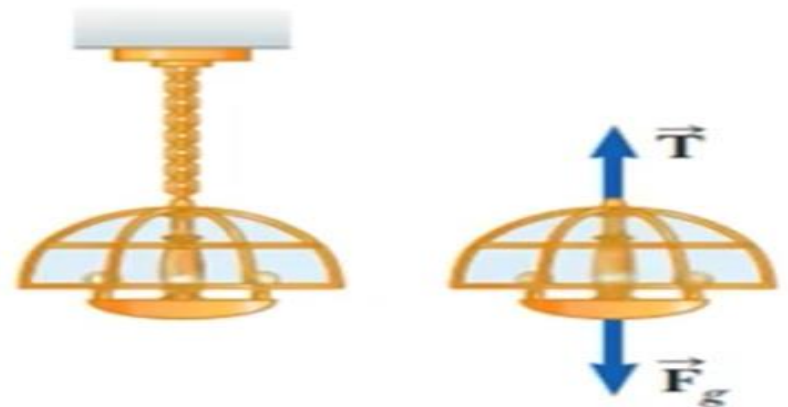
The forces acting on the lamp are the downward gravitational force  $f_g$ ,

The upward force  $\vec{T}$  exerted by the chain.

$$\sum F_x = 0 \quad \text{and} \quad \sum F_y = 0$$

$$\sum F_y = T - F_g = 0$$

$$\therefore T = F_g$$



$$\sum \vec{F} = 0$$

# The Particle Under a Net Force

If an object experiences an acceleration, its motion can be analyzed with the particle under a net force model.

$$\Sigma \vec{f} = m\vec{a}$$

The horizontal force  $\vec{T}$  being applied to the crate acts through the rope.

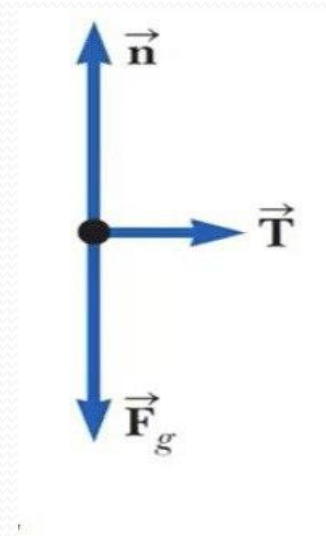
The vertical forces are the gravitational force  $\vec{F}_g$  and the normal force  $\vec{n}$ .

Note here that there is acceleration in the direction of the X axis while there is no acceleration on the axis so we get

$$\Sigma F_x = ma_x \longrightarrow T = ma_x \longrightarrow a_x = \frac{T}{m}$$

$$\Sigma F_y = ma_y \longrightarrow n - \vec{F}_g = 0 \longrightarrow n = \vec{F}_g$$

the normal force has the same magnitude as the gravitational force but acts in the opposite direction.



# General Problem solving Strategy

- 1. Conceptualize. Draw a simple diagram of the system. Establish convenient coordinate axes for each object in the system.*
- 2. Categorize. If an acceleration component for an object is zero, the object is modeled as a particle in equilibrium in this direction and  $\sum F = 0$ .  
If not, the object is modeled as a particle under a net force in this direction and  $\sum F = ma$ .*
- 3. Analyze. Isolate the object whose motion is being analyzed. Draw a free - body diagram for this object. For systems containing more than one object, draw separate free - body diagrams for each object.*
- 4. Find the components of the forces along the coordinate axes. Apply the appropriate model from the Categorize step for each direction. Check your dimensions to make sure that all terms have units of force.*
- 5. Solve the component equations for the unknowns. Remember that you generally must have as many independent equations as you have unknowns to obtain a complete solution.*
- 6. Finalize. Make sure your results are consistent with the free - body diagram. Also check the predictions of your solutions for extreme values of the variables*

## ماهي الخطوات الاساسيه لحل المسائل

□ تصور المسألة عن طريق قرائتها ثم رسم المسألة ومن ثم تحديد المحاور

□ تصنيف المسألة هل هي مسألة اتزان  $\sum \vec{F} = 0$  او في حالة حركة  $\sum \vec{F} = ma$

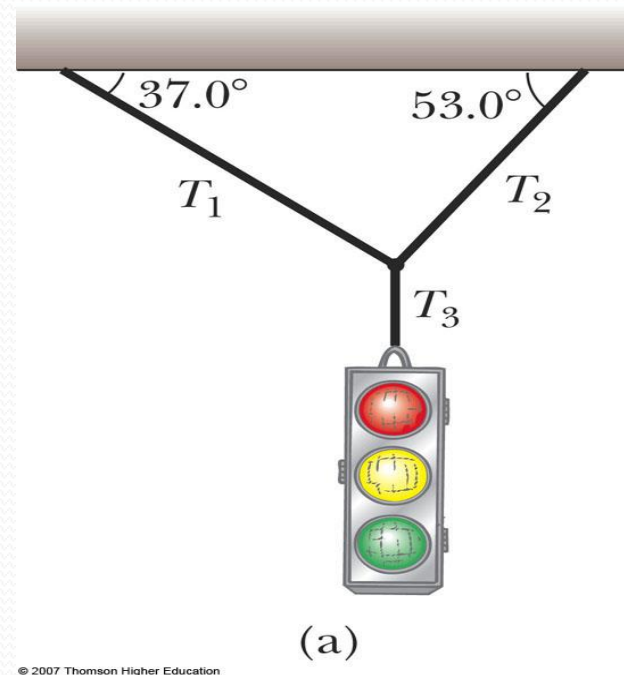
□ قد تكون هناك مركبه على محور X فيها حركة و قد تكون على محور Y في حالة سكون ففي هذه الحالة نستخدم المفهومين مع بعض

□ ثم نرسم (**free body diagram** مخطط الجسم) و نقوم بتحليل المركبات ثم نجد مركبات القوى باستخدام قانون نيوتن الاول  $\sum F = 0$  حيث نجد مجموع المركبات في حالة السكون. اما في حالة الحركة نجد مجموع المركبات من العلاقة  $\sum \vec{F} = ma$

□ يصبح لدينا عدد من المعادلات بقدر عدد المجاهيل نحل هذه المعادلات و نستخرج قيم المجاهيل ونقارنها بما هو متوقع و هل هذه النتيجة منطقيه ام لا؟

# Example 1

A traffic light weighing 100 N hangs from a vertical cable tied to two other cables that are fastened to a support. The upper cables make angles of  $37^\circ$  and  $53^\circ$  with the horizontal. Find the tension in each of the three cables.



# Solution

عند حل اي مسأله يجب اتباع الخطوات التي ذكرناها سابقا.

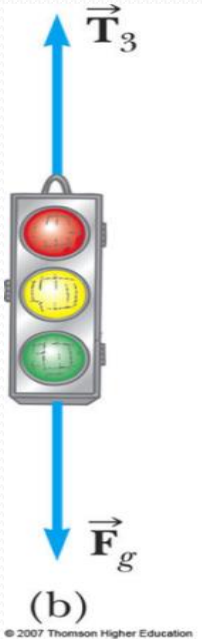
■ هنا في هذا السؤال الجسم وهو عبارة عن اشارة مرور معلقة بثلاث حبال ومثبتة على حائط. الجسم في حالة توازن تحت تاثير عدة قوى. من ملاحظة الشكل نجد ان نقطة التعليق هي النقطة التي تلتقي عندها الحبال الثلاثة.

■ هذا يعني يوجد ثلاث مجاهيل هي  $\vec{T}_1$ ،  $\vec{T}_2$  و  $\vec{T}_3$ ، ولدينا ثلاث معادلات

■ نرسم free body diagram

■ بالنسبة الى الحبل الثالث  $\vec{T}_3$  (قوة الشد الى اعلى تقابلها قوة جذب الأرض باتجاه الاسفل)

■ نطبق قانون نيوتن الثاني على هذا الجزء الذي يكون التغير فيه باتجاه محور  $y$



$$\sum F_y = 0 \rightarrow T_3 - F_g = 0$$
$$T_3 = F_g = 100N$$



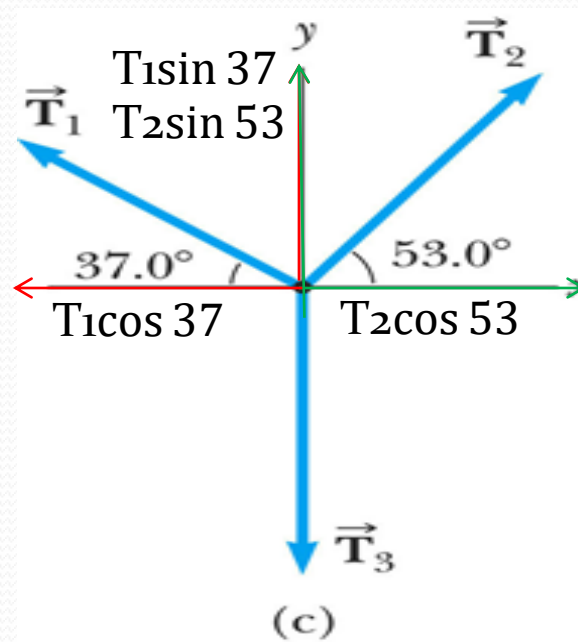
ماذا عن المجاهيل  $\vec{T}_1$ ،  $\vec{T}_2$  نأخذ free body diagram للجزء الخاص بهما من الشكل C حيث

نقوم بتحليل الشد حسب الزوايا (نتعامل مع  $\vec{T}_1$ ،  $\vec{T}_2$  كمركبات) حيث

$$\left. \begin{array}{l} T_1 \cos 37 \\ T_2 \cos 53 \end{array} \right\} \longrightarrow \text{باتجاه محور X}$$

$$\left. \begin{array}{l} T_1 \sin 37 \\ T_2 \sin 53 \end{array} \right\} \longrightarrow \text{باتجاه محور Y}$$

# Resolve the forces acting on the knot into their component



© 2007 Thomson Higher Education

Force	x component	Y component
$\vec{T}_1$	$-T_1 \cos 37$	$T_1 \sin 37$
$\vec{T}_2$	$T_2 \cos 53$	$T_2 \sin 53$
$\vec{T}_3$	0	-100N

Apply Newton's second law to the knot

على محور X

$$\sum f_x = -T_1 \cos 37 + T_2 \cos 53 = 0 \quad (2)$$

$$\sum f_y = T_1 \sin 37 + T_2 \sin 53 + (-100) = 0 \quad (3)$$

Solve equation 2 for  $T_2$  into terms of  $T_1$

$$-T_1 \cos 37 + T_2 \cos 53 = 0$$

$$T_2 = T_1 \left( \frac{\cos 37}{\cos 53} \right) = 1.33 T_1$$

substitute this value for  $T_2$  into equation 3

$$T_1 \sin 37 + T_2 \sin 53 + (-100) = 0$$

$$T_1 \sin 37 + (1.33 T_1) \sin 53 - 100 = 0$$

$$T_1 = 60 \text{ N}$$

$$T_2 = 80 \text{ N}$$

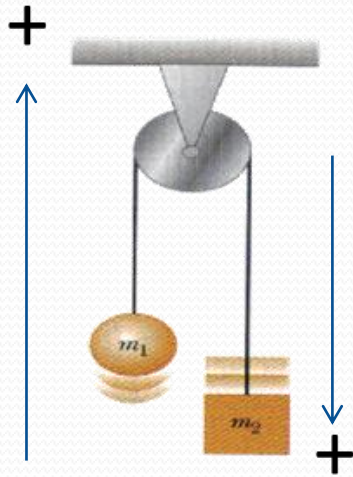
# Example 2

Two masses of 3kg and 5kg are connected by a light string that passes over a smooth pulley as shown in the figure determine

A) the tension in the string

B) the acceleration of each mass and

C) the distance each mass moves in the first second of motion if they start from rest



هذا السؤال فيه تغير في اتجاه الحركة حيث نلاحظ نقطتين

التعجيل في الكتلتين متساوي لكن احدهما بعكس الاخرى ان الجسم الاخف تعجيله الى

الاعلى والجسم الاثقل تعجيله باتجاه الاسفل  $a_1 = -a_2$

مقدار شد الحبل للكتلة الاولى يساوي مقدار شد الحبل للكتلة الثانية

# Solution

في كلا الكتلتين الوزن نحو الاسفل و الشد نحو الاعلى

بالنسبه للكتله  $m_1$

$$m_1 a = T - m_1 g \quad \text{———— (1)}$$

$$m_2(-a) = T - m_2 g \quad \text{———— (2)}$$

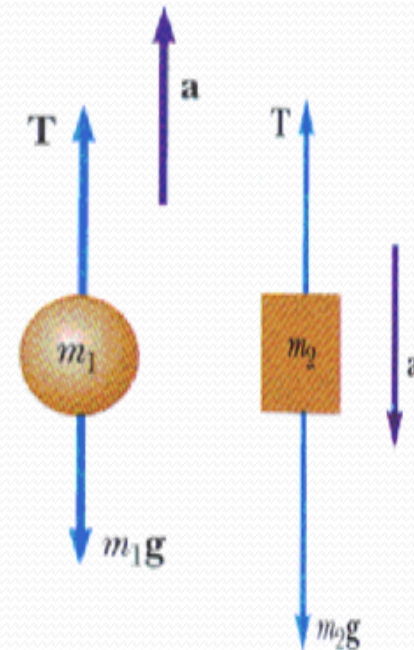
$$m_2 a = m_2 g - T$$

Add 1 and 2

$$(m_1 + m_2)a = (m_2 - m_1)g$$

$$a = \frac{(m_2 - m_1)g}{(m_2 + m_1)} = \frac{(5 - 3)(9.8)}{5 + 3} = 2.45 \text{ m/s}^2$$

بالنسبه للكتله  $m_2$



B)

لحساب مقدار الشد نختار معادله 1 او 2

من المعادله الثانيه

$$T = m_2(g - a) = 5(9.8 - 2.45) = 36.6N$$

C)

المسافه التي يقطعها الجسم في ثانيه واحده

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$v_0 = 0$$

$$s = \frac{1}{2} (2.45) 1^2 = 1.23m$$

B)

لحساب مقدار الشد نختار معادله 1 او 2

من المعادله الثانيه

$$T = m_2(g - a) = 5(9.8 - 2.45) = 36.6N$$

C)

المسافه التي يقطعها الجسم في ثانيه واحده

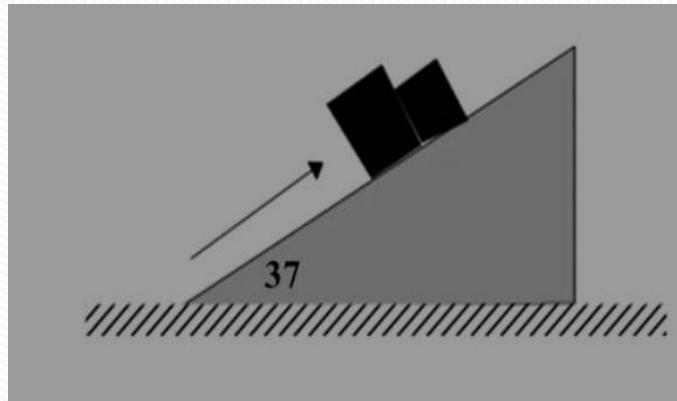
$$s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$v_0 = 0$$

$$s = \frac{1}{2} (2.45) 1^2 = 1.23m$$

# Example 3

Two blocks having masses of  $2\text{kg}$  and  $3\text{kg}$  are in contact on a fixed smooth inclined plan as shown in the figure .Treating the two blocks as composite system , calculate the force  $F$  that will accelerate the blocks up the incline with acceleration of  $2\text{m/s}$ .( $\theta = 37^\circ$ ).





# Solution

We can replace the two blocks by an equivalent 5kg block

لايجاد القوه التي تدفع الكتله المكافئه للكتلتين للتحرك بتسارع نحلل القوى الى مركباتها على

المحورين X و Y حيث لا يوجد تسارع على محور Y

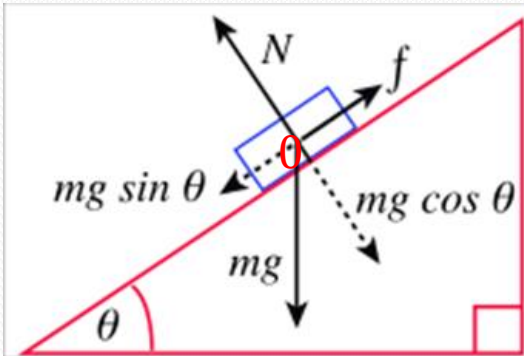
توجد ثلاث قوى اساسيه هي

(a) قوه الوزن باتجاه الاسفل  $mg$

(b) قوه رد فعل السطح باتجاه الاعلى (القوى العموديه على السطح)  $N$

(c) قوه دفع الجسم الى الاعلى من جهة اليمين  $f$

كل هذه القوى ترسم من نقطه 0 على الجسم



نطبق قانون نيوتن الثاني على محور Y حيث لا يوجد تعجيل على محور Y

$$N = mg \cos 37 \} \quad \text{على محور Y}$$

$$\sum F = f - mg \sin 37 = ma \} \quad \text{على محور X}$$

$$f - 5(9.8) \sin 37 = 5(2)$$

$$f = 39.4N$$