

Forces i lleis de Newton

En les dues últimes unitats hem estudiat els moviments sense preocupar-nos de les causes que els originen. La part de la física que s'encarrega d'estudiar aquestes causes és la **dinàmica**.

L'experiència quotidiana ens diu que el moviment d'un cos ve donat per les **interaccions** d'aquest amb el seu entorn. Aquestes interaccions, en general, s'analitzen amb el concepte de **força**, que és *tota causa capaç d'alterar l'estat de moviment d'un cos o provocar-ne una deformació*. Es tracta d'una magnitud vectorial que, sola o actuant amb altres, sobre un cos origina el que anomenem **força neta o força resultant de les forces**, que definirem com *suma vectorial de totes les forces que actuen sobre un cos*:

$$\sum_i F_i = F_1 + F_2 + \dots + F_n$$

El **newton (N)** és la unitat de força que s'empra al SI i el **dinamòmetre** l'aparell utilitzat per mesurar forces. (Un newton és aquella *força que cal fer sobre un cos d'1 kg de massa per tal que adquireixi una acceleració d'1m/s²*).

Totes les interaccions són el resultat de les anomenades **forces fonamentals**, que són les següents:

FORÇA GRAVITATÒRIA

L'atracció gravitatòria és la responsable de la força que la Terra o qualsevol astre efectua sobre els cossos. A més, dues masses qualsevol estan sotmeses a una força d'atracció gravitatòria (F) que Isaac Newton va descriure amb la **lleï de la gravitació universal**:

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

On G és la constant de gravitació universal i equival a $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$, i d, la distància que separa els dos cossos.

FORÇA ELECTROAGNÈTICA

Aquesta força afecta els cossos elèctricament carregats i és la força involucrada en les interaccions entre els àtoms i molècules. Poden ser forces d'atracció o repulsió i tenen un abast infinit.

FORÇA NUCLEAR FORTA

Es tracta de la interacció que manté unides les partícules que formen els nuclis atòmics. El seu abast és molt petit.

FORÇA NUCLEAR FEBLE

És la interacció responsable de la desintegració associada a la radioactivitat.

Les relacions entre les forces i el moviment va ser establertes pel físic anglès Isaac Newton a finals del segle XVII amb les tres lleis que porten el seu nom i estudiarem tot seguit:

1. Primera llei de Newton o principi d'inèrcia

Aquesta llei estableix que *si sobre un cos no actua cap força, o està en repòs o està en moviment rectilini uniforme*.

Aquest enunciat és vàlid en dos cassos: si no actua cap força sobre el cos o si els efectes de totes les forces que hi actuen es compensen entre elles i la seva resultant és, per tant, nul·la:

$$\sum_i F_i = 0 \quad \leftrightarrow \quad v \text{ (constant) : MRU}$$

2. Segona llei de Newton o principi fonamental de la dinàmica

Segons aquest principi, *si sobre un cos actua una força, aquest cos tindrà una acceleració que serà proporcional a la força aplicada.*

La constant de proporcionalitat entre la força i l'acceleració és la massa del cos:

$$\sum_i F_i = m \cdot a$$

Quan l'acceleració que actua sobre un cos és la de la gravetat (g), la força resultant de la multiplicació d'aquesta acceleració per la massa del cos és el pes, que es representa amb el vector p i té direcció vertical i sentit cap al centre de la Terra. Segons aquest principi podem establir que:

$$\sum_i F_i = m \cdot a \quad \rightarrow \quad p = m \cdot g$$

IMPORTANT

Diferència entre massa i pes

- El **pes** és la força d'atracció que exerceix la Terra o qualsevol astre sobre un cos que es troba dins dels seu camp gravitatori. La seva unitat al SI és el Newton (N).
- La **massa** és la constant de proporcionalitat entre la força aplicada sobre un objecte i l'acceleració obtinguda. La seva unitat al SI és el quilogram (kg).

El pes d'un objecte pot variar d'un indret a un altre però no la seva massa.

3. Tercera llei de Newton o principi d'acció - reacció

Aquesta llei estableix que *quan un cos exerceix una força sobre un segon cos, aquest efectuarà una altra força que tindrà la mateixa intensitat però sentit contrari.*

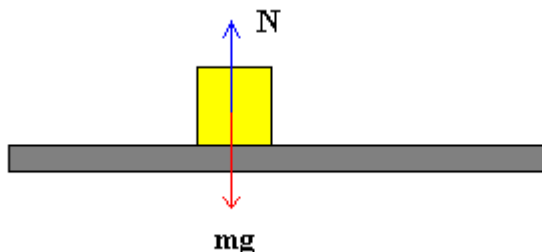
Considerem que una de les forces és d'acció, mentre que l'altra és de reacció. Això no obstant, aquestes forces mai no s'anul·len entre sí perquè, encara que siguin vectors oposats, actuen sobre cossos diferents.

$$F = - F \text{ [VECTORIALMENT]}$$

$$F_1 = F_2 \text{ [EN MÒDUL]}$$

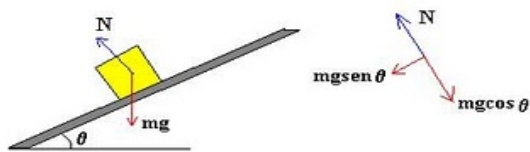
Si dos cossos estan en contacte, les forces d'acció - reacció que es donen entre ells es transmeten a parir de les superfícies exteriors i s'origina una situació en la que apareix la que anomenarem **força normal (N)**, que és una força de reacció perpendicular a la superfície sobre la qual actua.

Si la superfície on està situat el cos en repòs és horitzontal, tenim que:



$$\begin{aligned} \sum F_{\text{eix } Y} &= p - N = m \cdot a \\ p - N &= 0 \\ N &= p = m \cdot g \end{aligned}$$

Si la superfície on està situat el cos en repòs és inclinada, llavors, tenim que:

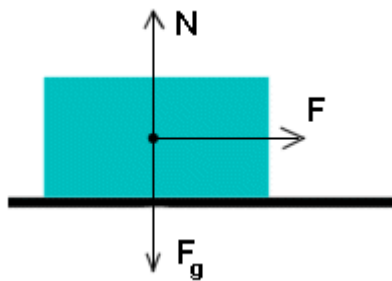


$$\sum F_{eix Y} = p - N_y = m \cdot a$$

$$p - N_y = 0$$

$$N_y = p = m \cdot g$$

Si suposem que sobre el primer dels cossos anteriors, és a dir, el que es trobava en repòs sobre una superfície horitzontal, s'aplica una força paral·lela a la superfície horitzontal que fem coincidir amb l'eix X, a través de la segona llei de Newton trobem que:

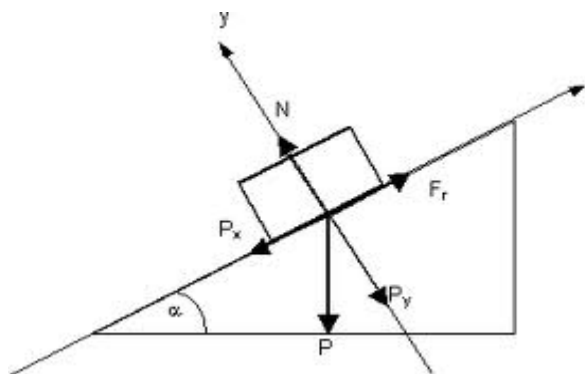


$$Eix X \rightarrow \sum F_x = F = m \cdot a_x$$

$$Eix Y \rightarrow \sum F_y = P + N = m \cdot a_y$$

$$P + N = 0 \begin{cases} N = -P \\ P = -N \end{cases}$$

Si suposem que sobre el segon dels cossos anteriors, és a dir, el que es trobava en repòs sobre una superfície vertical, s'aplica una força paral·lela a la superfície vertical que fem coincidir amb l'eix X, a través de la segona llei de Newton trobem que:



$$Eix X \rightarrow \sum F_x = P_x = p \cdot \sin\alpha = m \cdot a_x$$

$$Eix Y \rightarrow \sum F_y = P_y + N =$$

$$= (p \cdot \cos\alpha) + N =$$

$$= m \cdot a_y$$

$$P_y + N = 0 \begin{cases} N = -P_y \\ P_y = -N \end{cases}$$

En un pla inclinat en que negligim el fregament un cos baixa amb una acceleració que és independent al valor de la massa del cos:

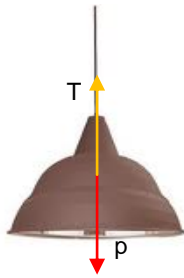
$$a = g \cdot \sin\alpha$$

LA TENSÍO

Quan dos cossos diferents estan lligats per mitjà d'un cos que presenta rigidesa i permet que les forces es transmetin a través seu (corda, cable, vareta, etc.) i un d'aquests dos cossos efectua una força, aquesta força es transmet a l'altre i és la que coneixem amb el nom de **tensió** (T).

En les possibles situacions en que haurem d'operar per aconseguir el que ens demanen negligirem la massa del lligam. Aquest curs en tractarem tres:

1. Donat un cos que penja del sostre d'una habitació (verticalment) a través d'una cadena metàl·lica, que té una massa molt petita en comparació a la d'aquest cos, s'estableix el següent parell d'acció reacció:



$$\Sigma F = 0 \rightarrow \Sigma F = \bar{T} + \bar{p} \rightarrow \bar{T} = -\bar{p} = m \cdot a$$

Perquè no pateix cap moviment.

2. Donat el cas que sobre un cos, situat en un pla horitzontal i unit a un altre cos a través d'un lligam, actua una força que provoqui moviment, establim el següent parell d'acció - reacció:



Automòbil

$$\Sigma F = F_1 + T = m_1 \cdot a \rightarrow F - T = m_1 \cdot a$$

Remolc

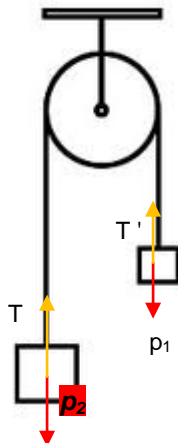
$$\Sigma F = T' = m_2 \cdot a \rightarrow T' = T = m_2 \cdot a$$

Puc sumar les dues equacions per fer marxar la tensió:

$$F - T + T = m_1 \cdot a + m_2 \cdot a$$

$$F = a(m_1 + m_2)$$

3. En el cas d'haver d'estudiar les forces i les tensions que intervenen en el cas de les politges, establim el següent parell d'acció - reacció:



Cos 1

$$\Sigma F = p_1 - T' = m_1 \cdot a$$

Cos 2

$$\Sigma F = T - p_2 = m_2 \cdot a$$

Podem sumar les dues equacions per tal que la tensió marxi:

$$p_1 - T' + T - p_2 = m_1 \cdot a + m_2 \cdot a$$

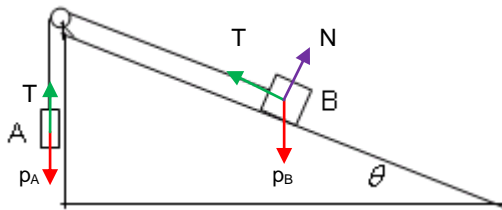
$$p_1 - p_2 = a(m_1 + m_2)$$

IMPORTANT!

- La politja anirà al sentit en que estigui situat l'objecte amb un pes més elevat.

- Sempre serà positiu el sentit de l'acceleració, és a dir, el sentit cap a on vagi el moviment.

4. Donat el cas en que dos cossos, units per una corda amb l'ajuda d'una polletja, es trobessin en la situació que descriuré tot seguit, hauríem de:



Cos A

$$\sum F = p - T = m \cdot a \quad (\text{si el moviment va en sentit de B})$$

$$\sum F = T - p = m \cdot a \quad (\text{si el moviment va en el seu sentit})$$

Cos B

$$\sum F = p_x - T = m \cdot a \quad (\text{si el moviment va en el seu sentit})$$

$$\sum F = T - p_x = m \cdot a \quad (\text{si el moviment va en sentit d'A})$$

Podem sumar les dues equacions per fer que la tensió marxí:

$$p - T + T - p_x = a (m_A + m_B)$$

[SI EL MOVIMENT VA EN SENTIT D' A]

$$T - p + p_x - T = a (m_A + m_B) \quad [\text{SI EL MOVIMENT VA EN SENTIT DE B}]$$

LA FORÇA ELÀSTICA

No hi ha cap cos que sigui un sòlid rígid en el sentit estricte; tots els cossos presenten una certa **elasticitat** però només anomenarem elàstics aquells en que aquesta propietat estigui molt marcada, és a dir, aquells que es deformin al aplicar sobre ells alguna força però tornin a la seva posició original al deixar d'aplicar-la gràcies a l'acció d'una força de reacció originada pel propi cos (**força regeneradora o elàstica**).

Segons estableix la **lleis de Hooke**, l'allargament que experimenta una molla (Δx) és directament proporcional a la força externa aplicada (F'). Es compleix, doncs, que:

$$F' = k \cdot \Delta x$$

On k és la constant elàstica de la molla i la seva unitat en el SI (tal i com podem deduir a través de la fórmula) és el N/m. Aquesta constant depèn del material i la temperatura a la qual es trobi.

Com a reacció a la força externa (F') que provoca l'allargament, tal i com he dit anteriorment, apareix una força elàstica que s'oposa a qualsevol deformació i que va en sentit contrari. Així doncs, tenim que:

$$F' = -F \quad (\text{en vector})$$

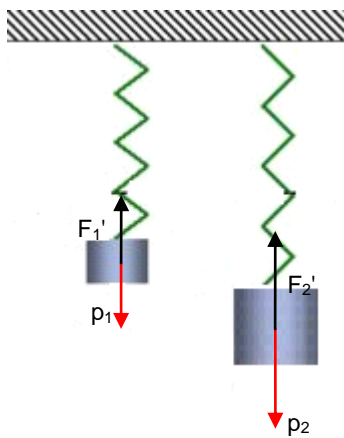
$$F' = F \quad (\text{en mòdul})$$

Segons el sentit que donem als nostres eixos d'ordenades i el sentit en que apliquem la força externa podem trobar-nos davant de dues situacions:

- Si apliquem la força externa en sentit positiu de l'eix X
 (a) Δx serà positiu.
 (b) La força recuperadora (F) serà negativa.

- Si apliquem la força externa en sentit negatiu de l'eix X
 (a) Δx serà negatiu.
 (b) La força recuperadora (F) serà positiva.

Podem **demostrar aquesta llei** penjant d'una mateixa molla diversos objectes de masses conegudes:



$$\begin{aligned} \Sigma F &= F' - p = m \cdot a \\ F' - p &= 0 \\ F' &= p = k \cdot \Delta y \\ \downarrow & \qquad \downarrow \\ F' &= k \cdot \Delta y \qquad p = k \cdot \Delta y \end{aligned}$$

CURIOSITAT

La propietat que tenen alguns objectes de tornar a la seva posició inicial després de que els hi hagin aplicat alguna força fa que siguin molt útils per construir dinamòmetres (aparells que mesuren forces).
 Podem calibrar els dinamòmetres efectuant forces (pes) de valors coneguts sobre un estreme de la molla i anotant al cilindre interior els allargaments corresponents a aquestes forces. Com que l'allargament és proporcional a la força aplicada, la mesura d'una força ens dona la de l'altra i així successivament. Un cop calibrat l'aparell es poden efectuar mesuraments de forces desconegudes per determinar els seus valors.

LA FORÇA DE FREGAMENT

Ja sabem que els cossos en contacte s'exerceixen forces que actuen en la superfície de contacte.

El component de la força de contacte entre dos cossos que va en la direcció paral·lela a la superfície de contacte és el que anomenem **força de fregament**, i pot actuar sobre un cos encara que no hi hagi moviment. Depèn de la força normal i de la naturalesa de les superfícies en contacte.

Segons la situació en que ens trobem, la força de fregament pot ser útil (per exemple, per fer possible el moviment) o perjudicial (en el cas, per exemple, en els mecanismes de diverses màquines). També pot ser que haguem de cercar la forma de disminuir-la o d'augmentar-la.

Podem distingir dos tipus de força de fregament:

1. **FORÇA DE FREGAMENT ESTÀTIC** (F_{fe}): força que s'oposa al moviment quan un cos està en repòs i el seu valor màxim s'obté multiplicant l'anomenat coeficient de fregament estàtic (μ_e) per la força normal (és per això que hem dit que aquesta tenia relació amb la força de fregament) :

$F_{fe} = \mu_e \cdot N$

2. **FORÇA DE FREGAMENT DINÀMIC** (F_{fd}): força que s'oposa al moviment quan un cos ja l'ha adquirit (el moviment, vull dir). És lleugerament inferior a la força de fregament estàtic i el seu valor màxim s'obté multiplicant l'anomenat coeficient de fregament dinàmic (μ_d) per la força normal:

$F_{fd} = \mu_d \cdot N$

Com que $F_{fd} < F_{fe} \rightarrow \mu_d < \mu_e$