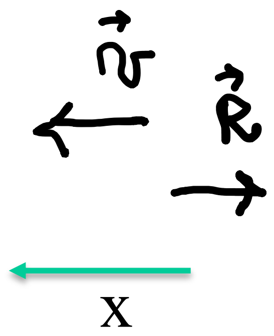
Es. del 31/3 Ciocci

Esempio Un'automobile di massa $M = 1000\,\text{kg}$ si muove con una velocità $V_0 = 20\,\text{m}/s$ su una strada orizzontale. Al tempo $t = 0$ il motore dell'auto si spegne e su di essa si esercita solo la forza di attrito viscoso dell'aria $-\beta V_x$. Si calcoli il coefficiente β se la velocità è $V_1 = 10\,\text{m/s}$ al tempo $t_1 = 10s$.

$V_0 = 20 \text{ m/s}$
$V_1 = 10 \text{ m/s}$ al tempo $t_1 = 10s$.

Si calcoli il coefficiente β

Soluzione.
Il moto dell'auto a motore spento è quello del problema precedente senza la gravità e la spinta archimedea, per cui lungo l'asse x:



$$M\frac{dV}{dt} = -\beta V$$

$$\frac{dV}{V} = -\beta/_M \, dt$$

$$V(t) = V_0 e^{-\frac{\beta}{M}t}$$

da cui si ha: $V(t_1) = V_1 = V_0 e^{-\frac{\beta}{M}t_1} \Longrightarrow \ln\left(\frac{V_1}{V_0}\right) = -\ln\left(\frac{V_0}{V_1}\right) = -\frac{\beta}{M}t_1$

$$\Longrightarrow \beta = \frac{M}{t_1}\ln\left(\frac{V_0}{V_1}\right)$$

Inserendo i valori numerici si ricava: $\beta = 69.3 \text{ kg/s}$

Esercizio Un'automobile di massa $M = 1000$ kg si muove con una velocità $V_0 = 20$ m/s su una strada in discesa con una pendenza del 5%. Al tempo $t = 0$ il motore dell'auto si spegne e su di essa si esercitano la forza di attrito viscoso dell'aria $F_x = -\beta V_x$, con $\beta = 70$ kg/s, e la componente della forza di gravità parallela alla strada.

i) Calcolare la velocità limite che viene raggiunta.

ii) Esprimere la velocità dell'automobile ad un tempo arbitrario t

iii) Cosa cambia se la velocità iniziale dell'automobile ha sempre modulo $V_0 = 20$ m/s, ma è diretta in salita?

Soluzione.

Equazione del moto lungo x:

$$M\frac{dV}{dt} = -\beta V + Mg\sin\theta \Longrightarrow \frac{dV}{dt} = -\frac{\beta}{M}V + g\sin\theta$$

θ=5% $= 0.05$, essendo $\theta \ll 1$ $\qquad \theta \approx \sin\theta \approx \tan\theta = 0.05$

dall'equazione omogenea:

$\frac{dV}{V} = -\beta/_M \, dt$ $\qquad\qquad V(t) = Ae^{-\frac{\beta}{M}t}$

$\frac{dV}{dt} = 0 = -\beta V_{lim} + Mg\sin\theta \Longrightarrow R.i \quad V_{lim} = \frac{Mg\sin\theta}{\beta}$

La soluzione di questa equazione, tenendo conto sia dell'omogenea associata che della condizione di regime imposta per la non omogenea, è:

$$V(t) = Ae^{-\frac{\beta}{M}t} + \frac{Mg\sin\theta}{\beta}$$

$$V(t) = Ae^{-\frac{\beta}{M}t} + \frac{Mg\sin\theta}{\beta}$$

Con la condizione iniziale

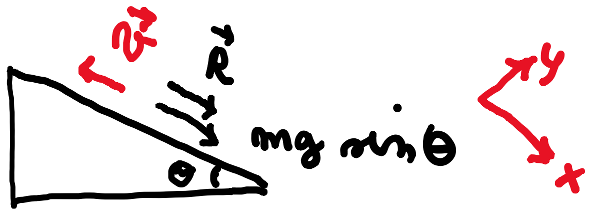
$$V(0) = A + \frac{Mg\sin\theta}{\beta} = V_0 \Longrightarrow A = V_0 - \frac{Mg\sin\theta}{\beta}$$

si ricava infine:

R.ii $V(t) = \frac{Mg\sin\theta}{\beta}\left(1 - e^{-\frac{\beta}{M}t}\right) + V_0 e^{-\frac{\beta}{M}t}$

Quando il moto viene invertito

Equazione del moto lungo x:



$$M\frac{dV_x}{dt} = -\beta V_x + Mg\sin\theta \Longrightarrow \frac{dV_x}{dt} = -\frac{\beta}{M}V_x + g\sin\theta$$

$R.iii \quad V_{lim} = \frac{Mg\sin\theta}{\beta}.$ La velocità limite non cambia!

La soluzione di questa equazione, tenendo conto sia dell'omogenea associata che della condizione di regime imposta per la non omogenea, è:

$$V_x(t) = Ae^{-\frac{\beta}{M}t} + \frac{Mg\sin\theta}{\beta}$$

Con la condizione iniziale

$$V_x(0) = A + \frac{Mg\sin\theta}{\beta} = -V_0 \Longrightarrow A = -V_0 - \frac{Mg\sin\theta}{\beta}$$

si ricava infine:

R.iv $V_x(t) = \frac{Mg\sin\theta}{\beta}\left(1 - e^{-\frac{\beta}{M}t}\right) - V_0 e^{-\frac{\beta}{M}t}$

Esercizio 6)

Una sferetta di massa $m = 1$ kg è lasciata cadere da ferma nel vuoto da un'altezza $h = 2$ m sulla superficie libera di una vasca piena d'acqua. All'interno della vasca la sferetta subisce una forza di attrito viscoso caratterizzabile con un coefficiente $\beta = 10\,\mathrm{kg/s}$ e la profondità dell'acqua è tale che la sferetta raggiunge la velocità limite prima di toccare il fondo.

1) Calcolare la velocità V_0 con cui la sferetta giunge a contatto con l'acqua.

2) Calcolare la velocità limite V_L della sferetta nell'acqua.

3) Scrivere l'equazione del moto della sferetta nell'acqua e determinare l'andamento nel tempo della sua velocità. Rappresentarlo graficamente a partire dall'istante in cui la sferetta viene lasciata cadere.

sferetta $m = 1$ kg $h = 2$ m $\beta = 10$ kg/s

V_0 sferetta giunge a contatto con l'acqua?
V_L della sferetta nell'acqua?

Soluzione.

1) Il moto iniziale della sferetta avviene nel vuoto partendo da ferma, per cui è un moto di caduta libera. Applicando le formule del moto uniformemente accelerato o la conservazione dell'energia si ottiene la nota relazione:

$g \downarrow$ $h = \frac{1}{2} g t^2$ $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$

$v = gt = \sqrt{2gh}$

$$V_0 = \sqrt{2gh} = 6.26 \text{ m/s}$$

La sferetta entra in contatto con l'acqua all'istante $t_0 = \sqrt{\frac{2h}{g}} = 0.639$ s

2) La velocità limite corrisponde alla condizione in cui la forza di gravità è bilanciata dalla forza di attrito viscoso. Pertanto:

$$ma = 0 = mg - \beta V_L \implies V_L = \frac{mg}{\beta} = 0.98 \text{ m/s}$$

Si noti che la velocità limite è minore di V_0, cioè della velocità iniziale della sferetta quando inizia il suo moto in acqua.

Equazione del moto della sferetta nell'acqua e andamento nel tempo della sua velocità?
Grafico di V(t) a partire dall'istante in cui la sferetta viene lasciata cadere.

3) L'equazione del moto della sferetta è quella usuale del moto in presenza di attrito viscoso, per cui la soluzione è per $t > t_0$:

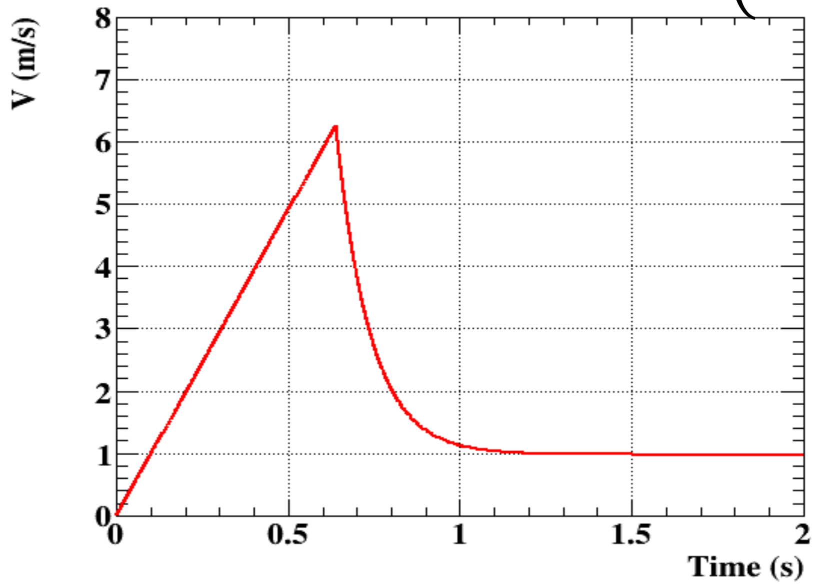
$$V(t) = \frac{mg}{\beta} + A\exp\left(-\frac{\beta(t-t_0)}{m}\right)$$

dove A è una costante e t_0, calcolato nella domanda 1), è l'istante in cui la sferetta entra in contatto con la superficie dell'acqua. Il valore di A si ricava imponendo la condizione iniziale:

$$V(t_0) = \frac{mg}{\beta} + A = V_0 \quad \Longrightarrow A = V_0 - \frac{mg}{\beta}$$

da cui infine:

$$V(t) = \begin{cases} gt & t < t_0 \\ \dfrac{mg}{\beta} + \left(V_0 - \dfrac{mg}{\beta}\right)\exp\left(-\dfrac{\beta(t-t_0)}{m}\right) & t > t_0 \end{cases}$$



Esercizio

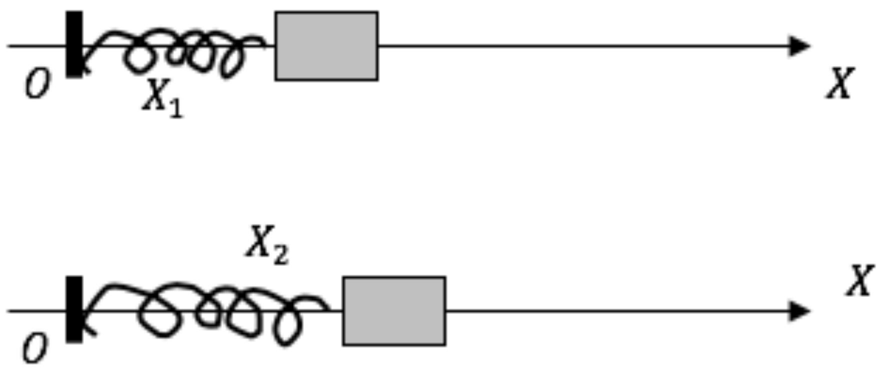
Un vagone, di massa 30 tonnellate ($m = 3\times10^4$ kg) connesso tramite un respingente elastico ad un locomotore frenato (e quindi fermo), compie 5 oscillazioni in 10 s. Valutare la costante elastica del respingente.

Soluzione.

Il periodo è $T = \frac{1}{f} = \frac{10}{5} s = 2s$, per cui:

$$k = m\omega^2 = \frac{4\pi^2}{T^2} m = \frac{4\times\pi^2\times3\times10^4}{2^2} N/m \approx 3\times10^5 \ N/m$$

Esercizio. Due masse identiche m sono attaccate a due molle identiche (costante k e lunghezza a riposo L) su due guide parallele.



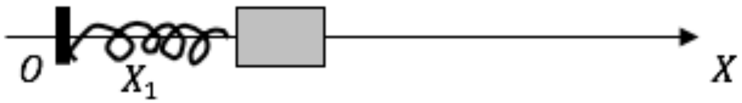
La prima massa (coordinata $X_1(t)$) viene posta ferma a $t = 0$ in $X = 0$; la seconda (coordinata $X_2(t)$) viene posta ferma in $X = 0$ nell'istante in cui per la prima è trascorso <u>mezzo periodo</u> cioè al tempo $t = T/2 = \pi/\omega$.

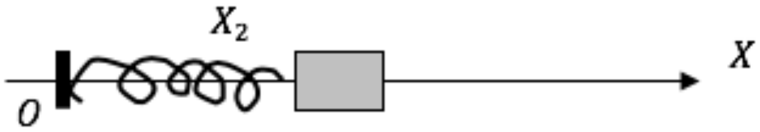
(1)Trovare le leggi orarie delle due masse

(2) riportare le leggi orarie in forma grafica

(3)Determinare gli istanti di tempo in cui le masse occupano la stessa posizione.

Soluzione





Per la prima molla

$$-k(x-L) = m\ddot{x}$$

Cambio di variabile $x-L=y$ $\quad \dot{y}=\dot{x},\ \ddot{y}=\ddot{x}$

$-ky = m\ddot{y}$ $\quad$ sol generale $A(\cos\omega t+\phi)$

Condizioni iniziali

$$\left.\begin{cases} x_1(0)=0 & y_1(0)=(x_1(0)-L)=-L \\ \dot{x}_1(0)=0 & \dot{y}_1(0)=0 \end{cases}\right\} \Rightarrow \text{per } t=0 \begin{cases} A\cos\phi=-L \\ -\omega A\sin\phi=0 \end{cases}$$

$$\left.\begin{array}{l} -\omega A\sin\phi=0 \Rightarrow \phi=0 \\ A\cos(0)=-L \quad A=-L \end{array}\right\} \text{per cui } y_1(t)=x_1(t)-L=-L\cos\omega t$$

$$\Rightarrow x_1(t)=L(1-\cos\omega t)$$

La seconda viene posta ferma in $X=0$ nell'istante in cui per la prima è trascorso <u>mezzo periodo</u> cioè al tempo $t=T/2=\pi/\omega$.

la seconda molla soddisfa la stessa equazione

ma $t'=t-T/2=t-\pi/\omega$ $\quad$ per cui per $t>\pi/\omega$

$$x_2(t)=L(1-\cos(\omega t-\pi))=L(1+\cos\omega t)$$

In base alle condizioni iniziali si ha:

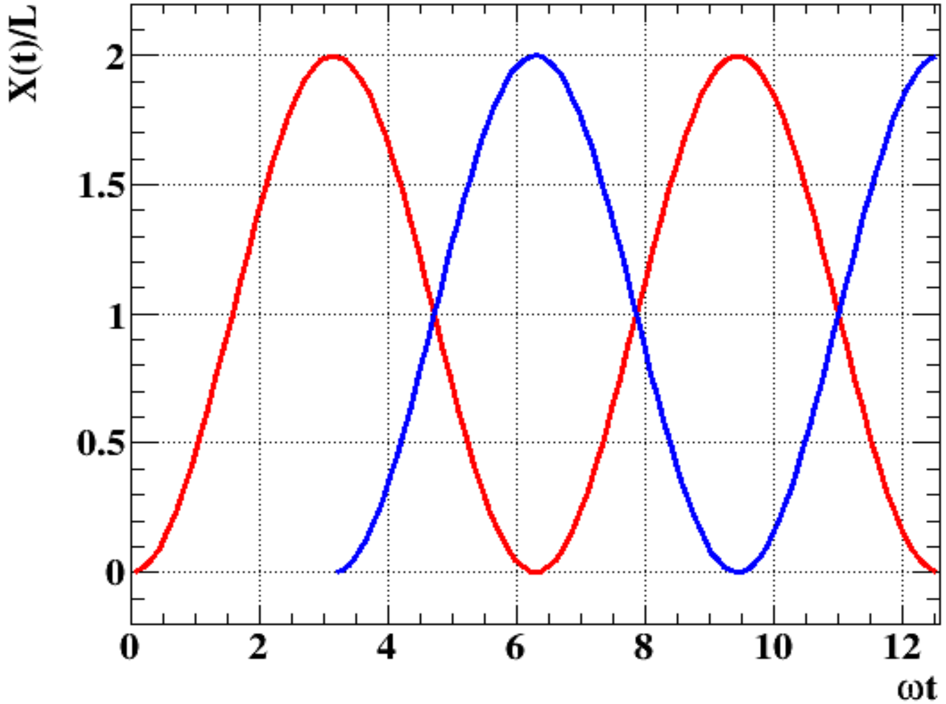
$$\begin{cases} X_1(t > 0) = L(1 - \cos(\omega t)) \\ X_2(t > \pi/\omega) = L\big(1 - \cos\big(\omega(t - \pi/\omega)\big)\big) = L(1 + \cos(\omega t)) \end{cases}$$

Gli incroci si verificano quando:

$$L - L\cos(\omega t) = L + L\cos(\omega t)$$

$$\Longrightarrow 2\cos(\omega t) = 0$$

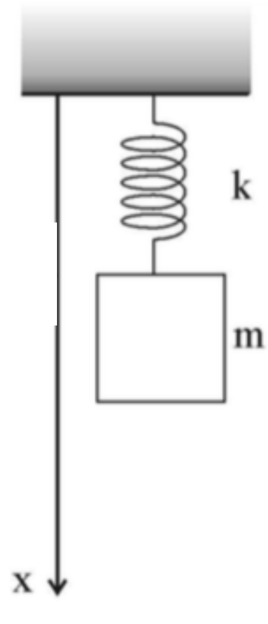
$$\Longrightarrow \omega t = \frac{\pi}{2} + n\pi$$

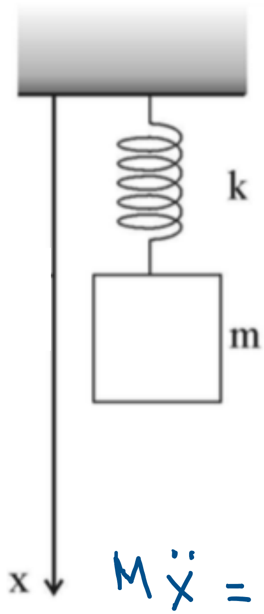


Quindi il primo punto di incontro, dato che il moto della seconda molla inizia a $t = \frac{\pi}{\omega}$, si ha per $t^* = \frac{3\pi}{2\omega}$

in fatti per $t^* = \frac{\pi}{2\omega} < \frac{\pi}{\omega}$

Esercizio . Una massa $M = 100$ g è appesa al soffitto con una molla di costante elastica $k = 10\ \mathrm{N/m}$ e lunghezza a riposo $L = 10\ \mathrm{cm}$. La massa viene lasciata libera da ferma al tempo $t = 0$ in prossimità del soffitto. Si utilizzi un asse X verticale, diretto verso il basso con l'origine nel soffitto, in modo che la condizione iniziale sia $X(0) = 0$. Determinare l'espressione algebrica della legge oraria della massa e calcolare numericamente il periodo e l'ampiezza delle oscillazioni attorno alla posizione di equilibrio stabile.





$M = 100$ g
$k = 10$ N/m
lunghezza a riposo $L = 10$ cm
$X(0) = 0$
$\dot{X}(0) = 0$

1)Espressione algebrica della legge oraria della massa x(t)?

Soluzione.

Dobbiamo risolvere l'equazione del moto $M\ddot{x} = -k(x - L) + Mg$

$M\ddot{x} = -K\left(x - L - \frac{Mg}{K}\right)$

$\left\{ y = x - L - \frac{Mg}{K}, \quad \dot{y} = \dot{x}, \quad \ddot{y} = \ddot{x} \right.$

$\cancel{x}\, y(t) = A\cos(\omega t + \phi)$

condizioni iniziali $y(0) = -L - Mg/K = A\cos\phi$

dobbiamo determinare A e ϕ

$\dot{y}(0) = 0 = -\omega A \sin\phi \Rightarrow \phi = \emptyset$

per cui $A = -L - \frac{Mg}{K}$

$$R.1 \Longrightarrow \; x(t) = y(t) + L + \frac{Mg}{k} = \left(L + \frac{Mg}{k}\right)(1 - \cos(\omega t))$$

D.2) Calcolare l'ampiezza delle oscillazioni attorno alla posizione di equilibrio stabile

$A = -L - \frac{Mg}{K}$

calcolare numericamente il periodo attorno alla posizione di equilibrio stabile.

$$\ddot{x} = -\frac{k}{M}(x - L) + g = \frac{d^2}{dt^2}\left\{\left(L + \frac{Mg}{k}\right)(1 - \cos(\omega t))\right\}$$

$$-\frac{k}{M}(x - L) + g = \omega^2\left(L + \frac{Mg}{k}\right)\cos(\omega t)$$

usando le condizioni iniziali $(X(0) = 0)\ a\ t = 0$

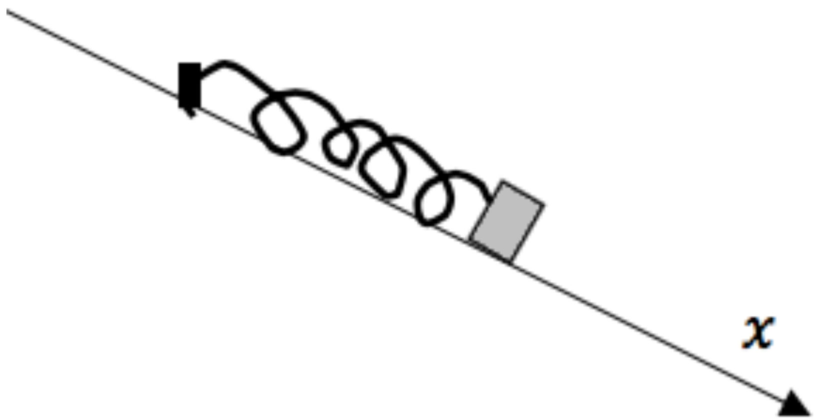
$$\frac{k}{M}L + g = \omega^2\left(L + \frac{Mg}{k}\right)$$

$$\omega^2 = \frac{k}{M}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{M}}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{M}{k}}$$

Esercizio. Una massa M è appoggiata su un piano inclinato di un angolo θ, con coefficiente di attrito statico μ_s ed è connessa tramite una molla (costante elastica k e lunghezza a riposo L) ad un perno. Determinare le condizioni sull'allungamento della molla che consentono alla massa di restare in equilibrio.



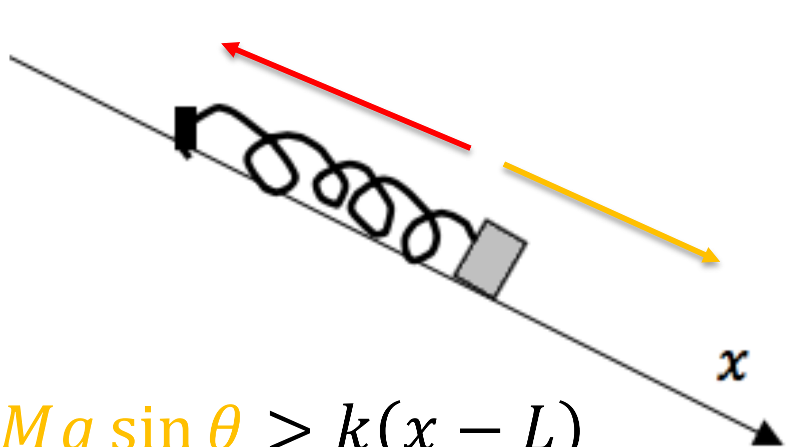
Indicando con F_s la componente x della forza di attrito statico e con $\vec{N}$ la reazione normale al piano l'equazione del moto in condizioni di equilibrio risulta:

$$-k(x-L)+F_s+Mg\sin\theta=0$$

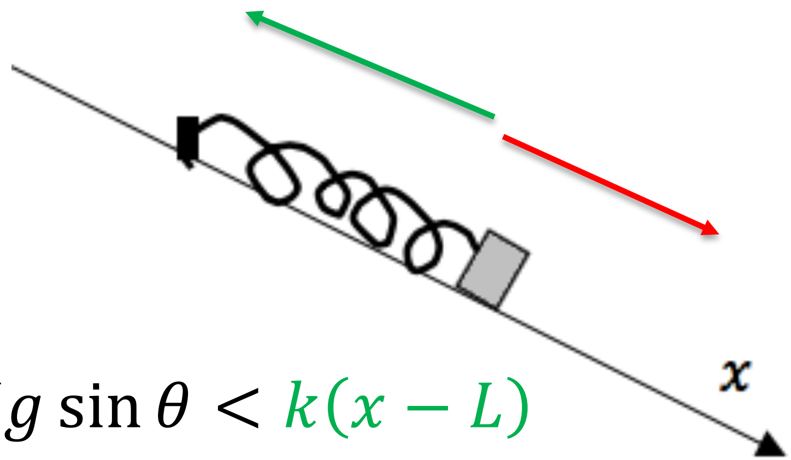
da cui

$$\left|\vec{F}_s\right| = |k(x-L)-Mg\sin\theta| \le \mu_s\left|\vec{N}\right| = \mu_s Mg\cos\theta$$

Il modulo è necessario, perché se $Mg\sin\theta > k(x-L)$ la forza F_s è verso l'alto (ostacola la discesa), mentre se $Mg\sin\theta < k(x-L)$ la forza F_s è verso il basso (ostacola la risalita).



$Mg\sin\theta > k(x-L)$



$Mg\sin\theta < k(x-L)$

Si hanno quindi due casi:

Caso i)

$$k(x-L) < Mg\sin\theta \implies |k(x-L) - Mg\sin\theta| =$$
$$|F_s| = Mg\sin\theta - k(x-L) =$$
$$\leq \mu_s Mg\cos\theta \implies k(x-L) \geq Mg(\sin\theta - \mu_s\cos\theta)$$

L'allungamento corrispondente è quindi:

$$\implies (x-L) \geq \frac{Mg}{k}(\sin\theta - \mu_s\cos\theta)$$

Caso *i*)

$$(x - L) \geq +\frac{Mg}{k}\sin\theta - \frac{Mg\mu_s}{k}\cos\theta = \frac{Mg}{k}(\sin\theta - \mu_s cos\theta)$$

Caso *ii*)

$$k(x - L) > Mg\sin\theta \implies |k(x - L) - Mg\sin\theta| =$$
$$|F_s| = k(x - L) - Mg\sin\theta$$
$$\leq \mu_s Mg\cos\theta \implies k(x - L) \leq Mg(\mu_s\cos\theta + \sin\theta)$$

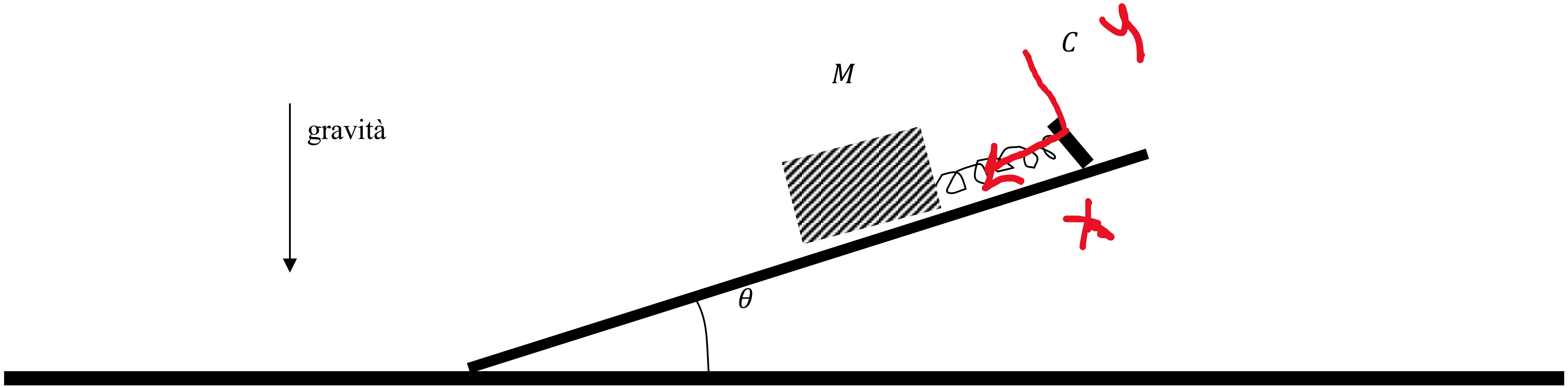
L'allungamento corrispondente è quindi:

$$(x - L) \leq \frac{Mg}{k}(\mu_s\cos\theta + \sin\theta)$$

Unendo le due condizioni si ottiene:

$$\frac{Mg}{k}(\sin\theta - \mu_s\cos\theta) \leq (x - L) \leq \frac{Mg}{k}(\mu_s\cos\theta + \sin\theta)$$

Esercizio.
Un blocco di massa $M = 100$ kg può muoversi senza attrito su un piano inclinato di un angolo $\theta = 30^{\text{o}}$ rispetto al piano orizzontale ed è connesso ad un chiodo C tramite una molla di costante elastica $k = 200\ \mathrm{N/m}$ e lunghezza a riposo $L = 2$ m (vedi figura). Si utilizzi un sistema di coordinate in cui l'asse x abbia origine in C e sia diretto in discesa lungo il piano inclinato. Per $t = 0$ la massa è ferma in $x = 0$.



Si calcoli, per $t > 0$, la legge oraria della massa ed il valore numerico del periodo delle sue oscillazioni.

L'equazione del moto lungo la direzione del piano è:

$$M\ddot{x} = -k(x - L) + Mg\sin\theta = -kx + kL + Mg\sin\theta$$

dalla quale: $\ddot{x} = -\frac{k}{M}\left(x - L - \frac{M}{k}g\sin\theta\right)$

ponendo $y = x - L - \frac{M}{k}g\sin\theta$ $\quad \ddot{y} = \ddot{x} \quad \dot{y} = \dot{x} \Longrightarrow \ddot{y} = -\frac{k}{M}y$

La cui soluzione è del tipo

$y(t) = A\cos(\omega t + \varphi)$ con $\omega = \sqrt{k/M}$

Dalle condizioni iniziali per t=0 $\Longrightarrow$ x(0)=0 e $\dot{x}(0)$=0 per cui:

$\dot{y}(0) = \dot{x}(0) = 0 = -A\omega\sin(\varphi) \Longrightarrow \varphi = 0$

$\ddot{y}(0) = -\frac{k}{M}\left(-L - \frac{M}{k}g\sin\theta\right) = -A\omega^2\cos(\varphi)$

per cui, indicando come al solito $\omega^2 = (k/M)$, si ottiene:

$A\cos(\varphi) = -L - \frac{M}{k}g\sin\theta$ che per φ=0 fornisce $A = -L - \frac{M}{k}g\sin\theta$

per cui $y(t) = \left(-L - \frac{M}{k}g\sin\theta\right)\cos(\omega t)$ e quindi

l'equazione del moto è $x(t) = \left(L + \frac{M}{k}g\sin\theta\right)(1 - \cos\omega t) \Longrightarrow$ampiezza $A = -L - \frac{M}{k}g\sin\theta$

Il periodo è chiaramente: $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{M}{k}}$

Forze apparenti

1) $\vec{a} = \vec{a}' + \vec{a}_T$ In un sistema inerziale si ha: $\sum \vec{F} = m\vec{a}$

dalla relazione 1) otteniamo: $\sum \vec{F} = m(\vec{a}' + \vec{a}_T)$ e quindi:

$$m\vec{a}' = \sum \vec{F} - m\vec{a}_T = \sum \left(\vec{F} + \vec{F}_{app}\right)$$

Definizione: definiamo **forza apparente** la grandezza $-m\vec{a}_T$ in modo da poter affermare che:
"in un sistema **qualunque** (inerziale e non inerziale) la massa per l'accelerazione è uguale alla somma delle forze reali $\left(\sum \vec{F}\right)$ e delle forze apparenti $(-m\vec{a}_T)$":

In un sistema inerziale $\vec{F}_{app} = 0$; si può osservare infatti in base alla definizione che le forze apparenti non nascono da interazioni fra corpi, ma sono un effetto (per l'appunto "apparente") dovuto al moto accelerato del sistema, per cui sono nulle in un sistema in moto rettilineo uniforme (inerziale). In altre parole **le forze apparenti "appaiono" solo in sistemi non inerziali**.

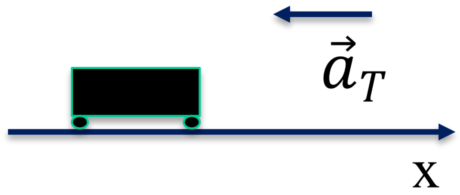
Attenzione! **Non usare mai una forza apparente** utilizzando la legge fondamentale della meccanica (cioè misurando forze ed accelerazioni) **in un sistema inerziale !**

Nota:una forza apparente non è una forza fra due corpi: **per essa NON vale il terzo principio** (azione e reazione); criterio per distinguere una forza apparente da una reale (per cui invece il principio vale).

Esempio: Un treno si muove in linea retta a $108\ \mathrm{km/h} = 30\ \mathrm{m/s}$, poi inizia a frenare con accelerazione costante e si ferma in $30\ \mathrm{s}$. Calcolare nel sistema di riferimento del treno le forze reali e quelle apparenti su un passeggero di massa $m = 50\ \mathrm{kg}$ che resta seduto al suo posto durante la frenata.

Soluzione.

L'accelerazione di trascinamento ha modulo: $|\vec{a}_T| = 1\ \mathrm{m/s^2}$ ed è diretta in verso opposto alla velocità del treno (che sta rallentando), per cui la forza apparente è



$$\vec{F}_{app} = -m\vec{a}_T = +50\ \mathrm{N}\ \hat{V}$$

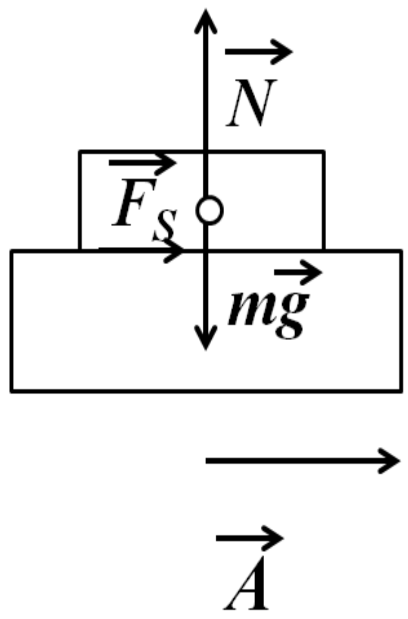
dove $\hat{V}$ è il versore della velocità del treno; la forza apparente quindi è diretta in avanti, nel verso della velocità. Rispetto al treno il viaggiatore è fermo per ipotesi (rimane al suo posto), per cui: $|\vec{a}'| = 0$. Pertanto:

$$m\vec{a}' = 0 = \sum(\vec{F} + \vec{F}_{app}) \ \Rightarrow \sum \vec{F} = -\sum \vec{F}_{app} = +\, m\vec{a}_T = -50\ \mathrm{N}\ \hat{V}$$

La risultante delle forze reali è quindi in verso opposto rispetto al moto del treno ed ha modulo 50 N. Le forze reali sono date dall'azione vincolare del sedile sul passeggero (se il passeggero deve reggersi durante la frenata) e dalla gravità (bilanciata sempre dal vincolo del sedile). Inoltre un osservatore inerziale a terra, che non misura forze apparenti, vede il passeggero compiere un moto uniformemente accelerato di accelerazione $\vec{a}_T$ in cui le uniche forze agenti sono quelle reali.

Esercizio. Un veicolo, con una cartellina appoggiata sul suo tetto, sta accelerando su una strada orizzontale e rettilinea con accelerazione $\vec{A}$ di modulo $2\ \mathrm{m/s^2}$.

1) Calcolare il minimo coefficiente di attrito statico fra superficie del tetto e cartellina in modo che essa non scivoli via.
2) Calcolare, invece, il moto della cartellina rispetto a terra e rispetto al veicolo se il coefficiente di attrito statico è inferiore al valore calcolato in (1) ed il coefficiente di attrito dinamico vale 0.15.



D1) Calcolare il minimo coefficiente di attrito statico fra superficie del tetto e cartellina in modo che essa non scivoli via

Soluzione.

1) Siccome la cartellina non scivola via, nel riferimento del veicolo $\vec{a}' = 0$

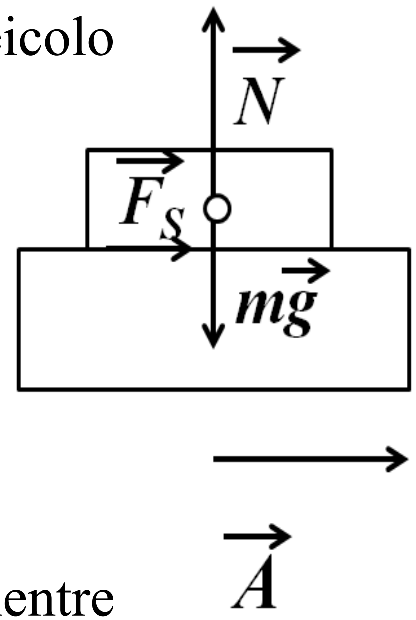
   e $\vec{a} = \vec{a}' + \vec{a}_T = \vec{a}_T = \vec{A}$.

L'equazione del moto nel sistema inerziale è:

$$m\vec{A} = \vec{F}_S + m\vec{g} + \vec{N};$$

$lungo\ y$: $N = mg$ $\quad$ *lungo x:* $F_s = mA \leq \mu_S mg$

$$\Longrightarrow \mu_S = \frac{A}{g} = 0.204$$



Si noti che l'accelerazione nel riferimento del veicolo è nulla, mentre in quello a terra è $|\vec{A}| = 2\ m/s^2$

D2.1) Determinare il moto della cartellina rispetto a terra se il coefficiente di attrito statico è inferiore al valore calcolato in (1) ed il coefficiente di attrito dinamico vale 0.15

2) Se $\mu_S < 0.204$, la cartellina scivola e l'accelerazione rispetto al riferimento a terra è:

$$m\vec{a} = \vec{F}_D \Longrightarrow \vec{a} = \frac{\vec{F}_D}{m} = \frac{\mu_D m g \hat{x}}{m} = 0.15 \times 9.8\ \mathrm{m/s^2}\ \hat{x} = 1.47\ \mathrm{m/s^2} \hat{x}$$

Rispetto al riferimento del veicolo:

$$\vec{a}' = \vec{a} - \vec{A} = (1.47 - 2)\ \mathrm{m/s^2}\ \hat{x} = -0.53\ \mathrm{m/s^2} \hat{x}$$

D2.2) Determinare il moto della cartellina rispetto al veicolo se il coefficiente di attrito statico è inferiore al valore calcolato in (1) ed il coefficiente di attrito dinamico vale 0.15

Rispetto al riferimento del veicolo:

$$\vec{a}' = \vec{a} - \vec{A} = (1.47 - 2)\ \mathrm{m/s^2}\ \hat{x} = -0.53\ \mathrm{m/s^2}\hat{x}$$

R2

Quindi rispetto a terra il moto è uniformemente accelerato con accelerazione, in avanti, di modulo $1.47\ \mathrm{m/s^2}$, mentre rispetto al veicolo è uniformemente accelerato con accelerazione, all'indietro, di modulo $0.53\ \mathrm{m/s^2}$.