

Corso di Fisica Generale – Pt1

Chimica Industriale 25/26



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Lez 4. Moti relativi

Docente:

Alessandro Patelli
alessandro.patelli@unipd.it

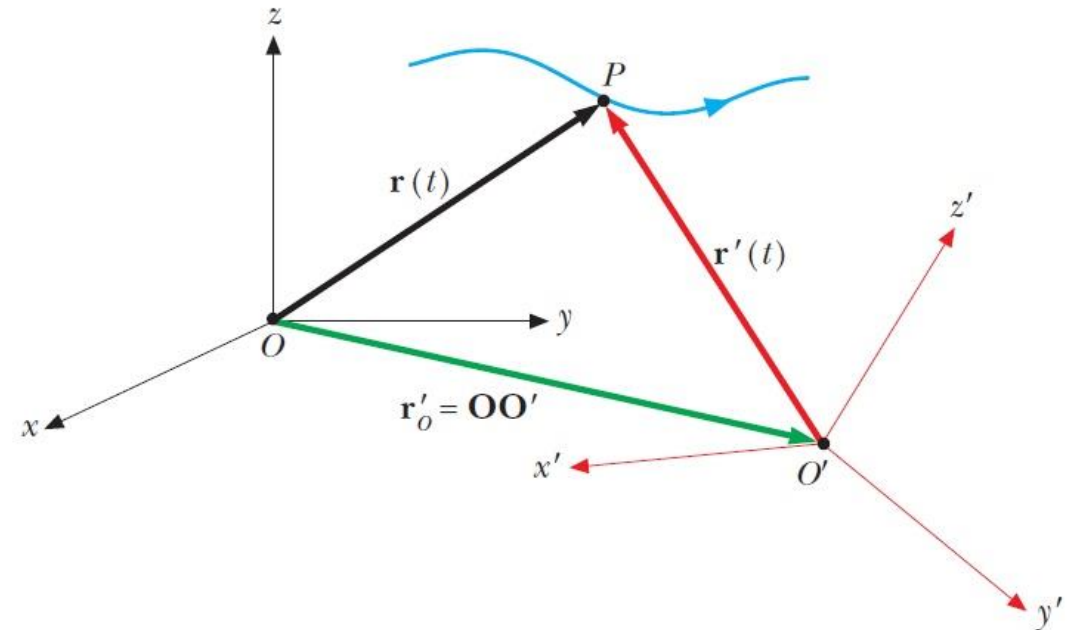




- Sistemi di riferimento in moto relativo
- Sistemi inerziali
- Sistemi non inerziali → forze apparenti
- Moti di trascinamento traslatorio rettilineo uniforme, accelerato e rotatorio

Le **leggi fisiche** non dipendono dalla scelta del sistema di riferimento e non esiste pertanto un **punto privilegiato dello spazio** e nemmeno **un'orientazione privilegiata**:
lo **spazio** appare **omogeneo e isotropo**.

Se ho due sistemi di riferimento **in moto** relativo fra di loro le **leggi fisiche** non possono dipendere dal sistema di riferimento a meno che il moto non abbia alcune caratteristiche.
Non sussiste una invarianza generale delle leggi fisiche fra due sistemi in moto relativo.



Un punto P descrive una traiettoria nello spazio

Definisco un sistema di riferimento fisso $S (x, y, z)$ ed uno mobile $S' (x', y', z')$.

Il punto P avrà rispettivamente posizione $r(t)$ e $r'(t)$.

Si può scrivere che

$$\vec{r}(t) = \vec{r}_{O'} + \vec{r}'(t)$$

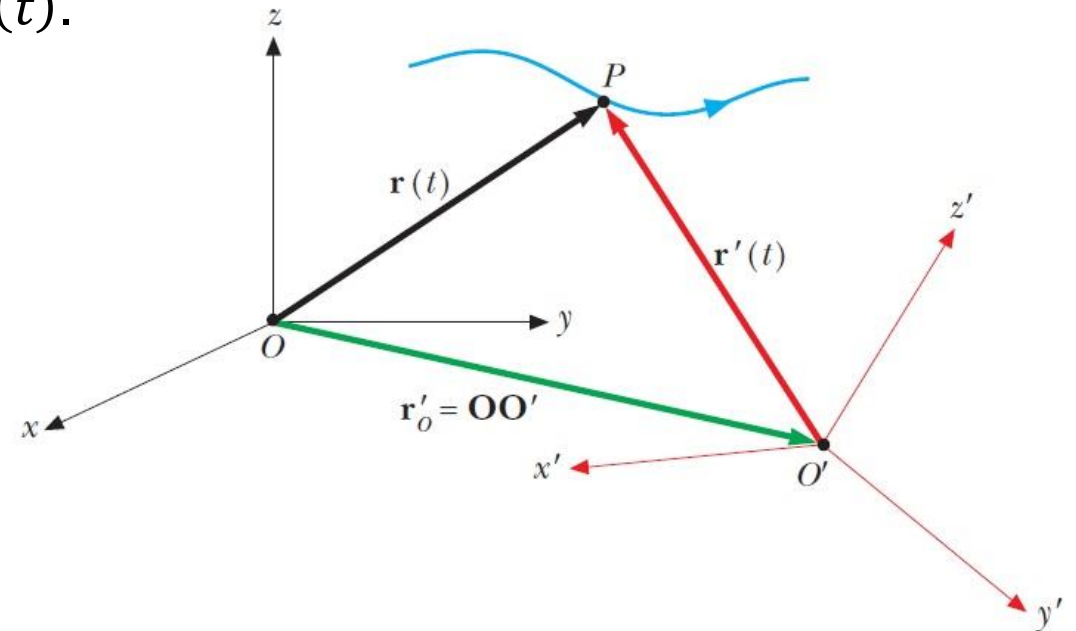
$$\vec{r}(t) = x\hat{u}_x + y\hat{u}_y + z\hat{u}_z$$

$$\vec{r}_{O'}(t) = x_{O'}\hat{u}_x + y_{O'}\hat{u}_y + z_{O'}\hat{u}_z$$

$$\vec{r}'(t) = x'\hat{u}_{x'} + y'\hat{u}_{y'} + z'\hat{u}_{z'}$$

La velocità del punto risulta

$$\vec{v}(t) = \vec{v}_{O'} + \frac{d\vec{r}'}{dt}$$



Sistemi di riferimento in moto relativo – velocità

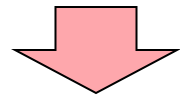
Esplicitiamo quindi la relazione $\vec{v}(t) = \vec{v}_O' + \frac{d\vec{r}'}{dt}$

$$\frac{d\vec{r}'}{dt} = \left(\frac{dx'}{dt} \hat{u}_x' + \frac{dy'}{dt} \hat{u}_y' + \frac{dz'}{dt} \hat{u}_z' \right) + \left(x' \frac{d\hat{u}_x'}{dt} + y' \frac{d\hat{u}_y'}{dt} + z' \frac{d\hat{u}_z'}{dt} \right)$$

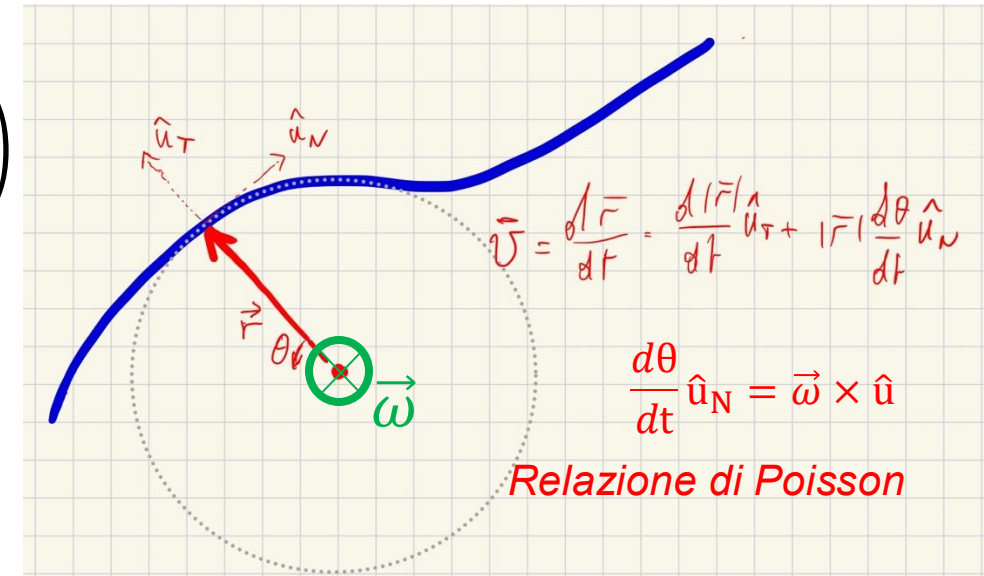
Velocità nel sistema S'

Rotazione del sistema S'

$$\frac{d\hat{u}}{dt} = \frac{d\theta}{dt} \hat{u}_N = \vec{\omega} \times \hat{u}$$



$$\begin{aligned} \frac{d\vec{r}'}{dt} &= \left(\frac{dx'}{dt} \hat{u}_x' + \frac{dy'}{dt} \hat{u}_y' + \frac{dz'}{dt} \hat{u}_z' \right) + (x' \vec{\omega} \times \hat{u}_x' + y' \vec{\omega} \times \hat{u}_y' + z' \vec{\omega} \times \hat{u}_z') \\ &= \vec{v}' + \vec{\omega} \times \vec{r}' \end{aligned}$$





Teorema delle velocità relative

Riprendendo ora la formula della velocità del punto P

$$\vec{v}(t) = \vec{v}_{O'} + \frac{d\vec{r}'}{dt} = \vec{v}' + \vec{v}_{O'} + \vec{\omega} \times \vec{r}' = \vec{v}' + \vec{v}_t$$

Velocità nel sistema S' *Velocità di trascinamento*

Possiamo definire due casi particolari

- Il sistema mobile **non ruota** rispetto a quello fisso ($\vec{\omega} = 0$). Si parla di moto relativo traslatorio tra i due sistemi, ovvero di **moto di trascinamento traslatorio**
- Il sistema mobile **non si sposta** rispetto a quello fisso ($\vec{v}_{O'} = 0$), ma ruota. Si parla di moto relativo rotatorio tra i due sistemi, ovvero di **moto di trascinamento rotatorio**.

$$\vec{v}(t) = \vec{v}' + \vec{v}_{O'}$$

$$\begin{aligned} \vec{v}(t) \\ = \vec{v}' + \vec{\omega} \times \vec{r}' \end{aligned}$$



Sistemi di riferimento in moto relativo – accelerazione

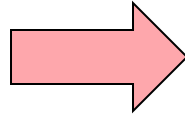
Ricaviamo ora la relazione che sussiste tra le accelerazioni del punto P rispetto ai due sistemi di riferimento S e S' in moto relativo.

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}'}{dt} + \vec{a}_{O'} + \vec{\omega} \times \frac{d\vec{r}'}{dt} + \frac{d\vec{\omega}}{dt} \times \vec{r}'$$

Come prima posso considerare che $\frac{d\vec{v}'}{dt} = \vec{a}' + \vec{\omega} \times \vec{v}'$

Posso anche considerare che

$$\begin{aligned}\vec{\omega} \times \frac{d\vec{r}'}{dt} &= \vec{\omega} \times (\vec{v}' + \vec{\omega} \times \vec{r}') \\ &= \vec{\omega} \times \vec{v}' + \vec{\omega} \times \vec{\omega} \times \vec{r}'\end{aligned}$$


$$\vec{a} = \vec{a}' + \vec{a}_{O'} + \vec{\omega} \times \vec{\omega} \times \vec{r}' + \frac{d\vec{\omega}}{dt} \times \vec{r}' + 2\vec{\omega} \times \vec{v}'$$

Accelerazione di trascinamento

$$\vec{a} = \vec{a}' + \underbrace{\vec{a}_{O'}}_{\text{Traslazione } O'} + \underbrace{\vec{\omega} \times \vec{\omega} \times \vec{r}'}_{\text{Accelerazione centripeta dovuta alla rotazione di } O'} + \underbrace{\frac{d\vec{\omega}}{dt} \times \vec{r}'}_{\text{Accelerazione tangenziale dovuta alla rotazione di } O'} + \underbrace{2\vec{\omega} \times \vec{v}'}_{\substack{\text{Accelerazione di} \\ \text{Coriolis}}}$$

Possiamo definire due casi particolari

- Il sistema mobile **non ruota** rispetto a quello fisso ($\vec{\omega} = 0$). Si parla di moto relativo traslatorio tra i due sistemi, ovvero di **moto di trascinamento traslatorio**

$$\vec{a} = \vec{a}' + \vec{a}_{O'}$$

- Il sistema mobile **non si sposta** rispetto a quello fisso ($\vec{v}_{O'} = 0$), ma ruota. Si parla di moto relativo rotatorio tra i due sistemi, ovvero di **moto di trascinamento rotatorio**.

$$\vec{a} = \vec{a}' + \vec{\omega} \times \vec{\omega} \times \vec{r}' + \frac{d\vec{\omega}}{dt} \times \vec{r}' + 2\vec{\omega} \times \vec{v}'$$



Sistemi di riferimento inerziali – Relatività galileiana

Definiamo come sistema di riferimento inerziale S , un sistema in cui vale il principio di inerzia.

➡ Un corpo non soggetto a forze o è in quiete o si muove di moto rettilineo uniforme.

➡ $\vec{F} = m\vec{a} = 0$

➡ $\vec{a} = 0$

Allora se definisco un altro sistema di riferimento S' per poter descrivere le stesse leggi fisiche occorre che

$$\vec{a}_{O'} + \vec{\omega} \times \vec{\omega} \times \vec{r}' + \frac{d\vec{\omega}}{dt} \times \vec{r}' + 2\vec{\omega} \times \vec{v}' \quad \Rightarrow \quad \begin{aligned} \vec{a}_{O'} &= 0 \\ \vec{\omega} &= 0 \end{aligned}$$

$= 0$

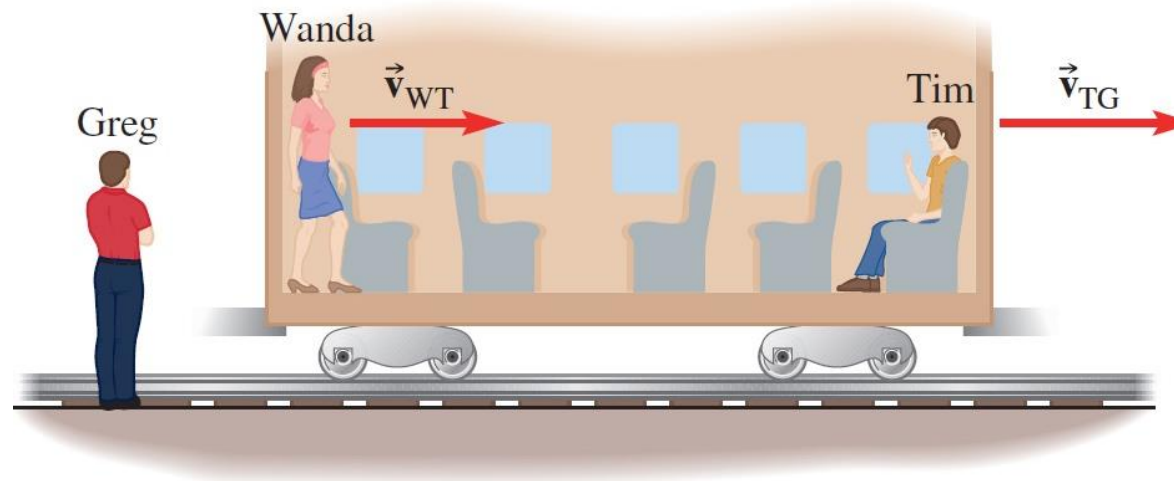
definito un sistema di riferimento inerziale, tutti gli altri sistemi in moto traslatorio rettilineo uniforme rispetto a questo sono anch'essi inerziali.



Moto di trascinamento rettilineo uniforme

Wanda sta camminando lungo il corridoio di un treno che si muove lungo i binari a velocità costante. Quanto velocemente cammina Wanda? Tim e Greg daranno risposte diverse.

La risposta alla domanda "Quanto velocemente?" dipende dall'osservatore.

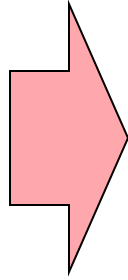


Moto di trascinamento rettilineo uniforme

$$\vec{a}_{O'} = 0$$

$$\vec{\omega} = 0$$

$$\vec{v}_{O'} = \text{costante}$$



$$\vec{v}(t) = \vec{v}' + \vec{v}_{O'} + \vec{\omega} \times \vec{r} = \vec{v}' + \vec{v}_{O'}$$

$$\vec{a} = \vec{a}' + \vec{a}_{O'} + \vec{\omega} \times \vec{\omega} \times \vec{r}' + \frac{d\vec{\omega}}{dt} \times \vec{r}' + 2\vec{\omega} \times \vec{v}' = 0$$

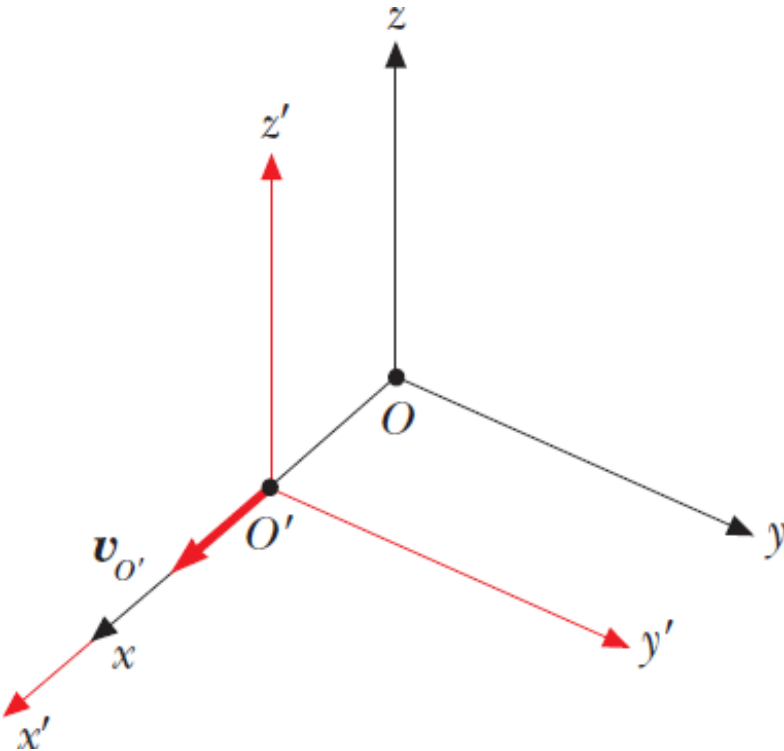
Si ha quindi come legame fra i due sistemi di riferimento

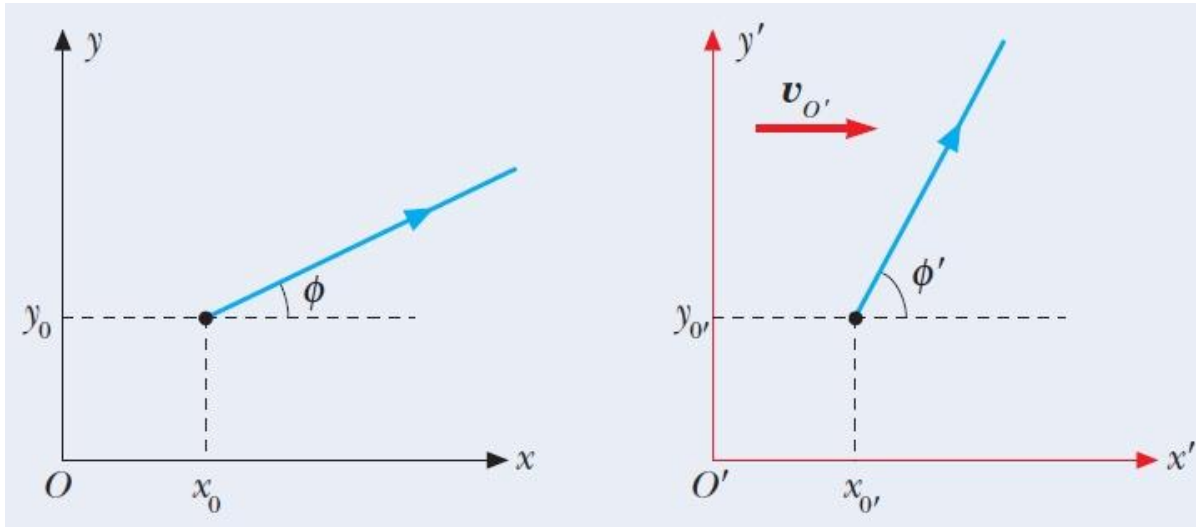
$$\vec{v}(t) = \vec{v}' + \vec{v}_{O'}$$

$$\vec{a} = \vec{a}'$$

Da cui segue per la posizione

$$\vec{r}(t) = \vec{r}' + \vec{v}_{O'}t$$





Un punto P descrive nel piano x, y un moto rettilineo uniforme con velocità v , di componenti v_x e v_y , partendo all'istante $t = 0$ dalla posizione di coordinate x_0, y_0 .

Determinare il moto visto dal sistema O' , in moto con velocità v_O parallela all'asse x .

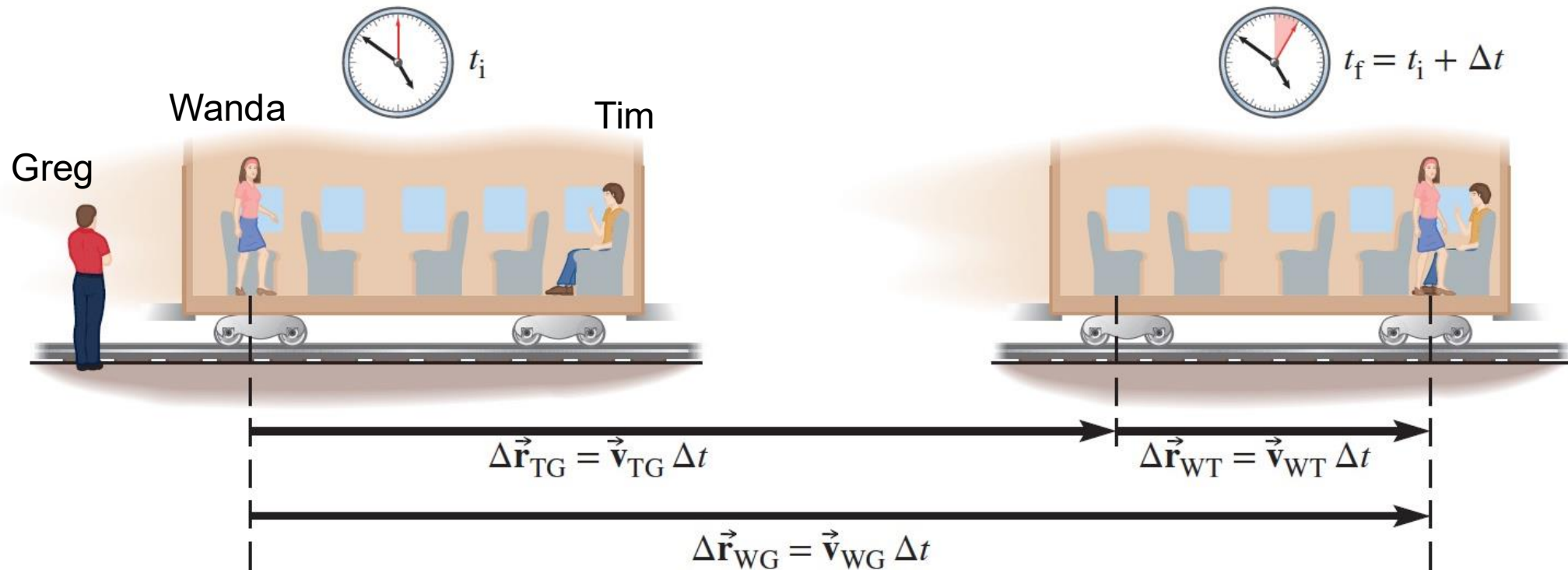
$$\begin{aligned} x &= x_0 + v_x t, & x' &= x - v_{O'} t = x_0 + (v_x - v_{O'}) t, \\ y &= y_0 + v_y t, & y' &= y = y_0 + v_y t, \\ z &= 0, & z' &= z = 0, \\ v'_x &= v_x - v_{O'}, & v'_y &= v_y = 0, & v'_z &= v_z = 0 \end{aligned}$$

il moto è rettilineo uniforme, ma inclinazione e modulo della velocità sono diversi

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \phi &= \frac{v_y}{v_x}, & \operatorname{tg} \phi' &= \frac{v'_y}{v'_x} = \frac{v_y}{v_x - v_{O'}}, \\ v &= \sqrt{v_x^2 + v_y^2}, & v' &= \sqrt{(v_x - v_{O'})^2 + v_y^2} \end{aligned}$$



Velocità relativa



$$\overrightarrow{v_{WT}} = \overrightarrow{v_{WG}} - \overrightarrow{v_{TG}}$$





Le equazioni del moto della palla sono

$$x = x_0 + v_0 \cos \theta t + v_{TG} t$$

$$x' = x_0 + v_0 \cos \theta t$$

$$y = y_0$$

$$y' = y_0$$

$$z = z_0 + v_0 \sin \theta t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$z' = z_0 + v_0 \sin \theta t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$\vec{v}(t) = \vec{v}' + \vec{v}_O,$$

$$\begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_x' \\ v_y' \\ v_z' \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} v_{TG} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Una ragazza pedalando in bici va a una velocità di 5 m/s in direzione Nord, osserva la pioggia cadere giù verticalmente.



Se aumenta la velocità fino a 10 m/s, la pioggia le appare caderle addosso a 45° rispetto la verticale.



Che velocità ha la pioggia?

In che direzione cade la pioggia per un osservatore fermo sul marciapiede?

Una ragazza pedalando in bici va a una velocità di 5 m/s in direzione Nord, osserva la pioggia cadere giù verticalmente.

$$\vec{v}(t) = \vec{v}' + \vec{v}_O$$

$$\vec{v}_r^{\text{rain}} = \vec{v}_{\text{girl}}^{\text{rain}} + \vec{v}_{\text{ciclo}}$$

$$\vec{v}_{\text{girl}}^{\text{rain}} = \vec{v}_r^{\text{rain}} - \vec{v}_{\text{ciclo}}$$

$$\vec{v}_{\text{girl}}^{\text{rain}} = \begin{pmatrix} v_{rx} \\ v_{ry} \end{pmatrix}$$

$$v_{rx} - v_{\text{ciclo},x} = 0$$

$$\begin{pmatrix} v_{\text{girl},x}^{\text{rain}} \\ v_{\text{girl},y}^{\text{rain}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_{r,x}^{\text{rain}} - v_{\text{ciclo},x} \\ v_{r,y}^{\text{rain}} \end{pmatrix}$$

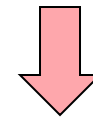
r -- sistema di riferimento del marciapiede

girl -- sistema di riferimento della ragazza

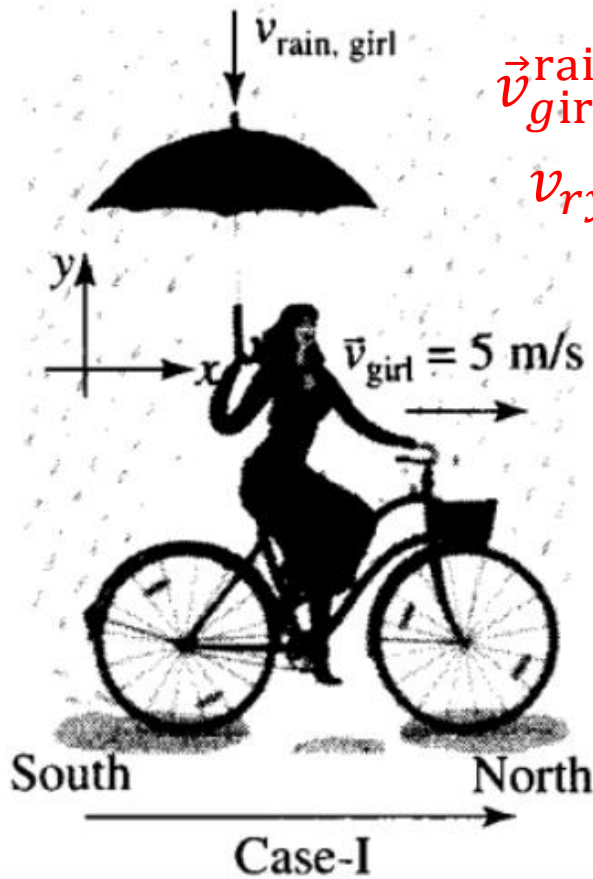
Caso I

$$\vec{v}_{\text{rain}} = v_{rx} \hat{x} + v_{ry} \hat{y}$$

$$v_{rx} - v_{\text{girl},x} = 0$$



$$v_{rx} = v_{\text{girl},x} = 5 \text{ m/s}$$

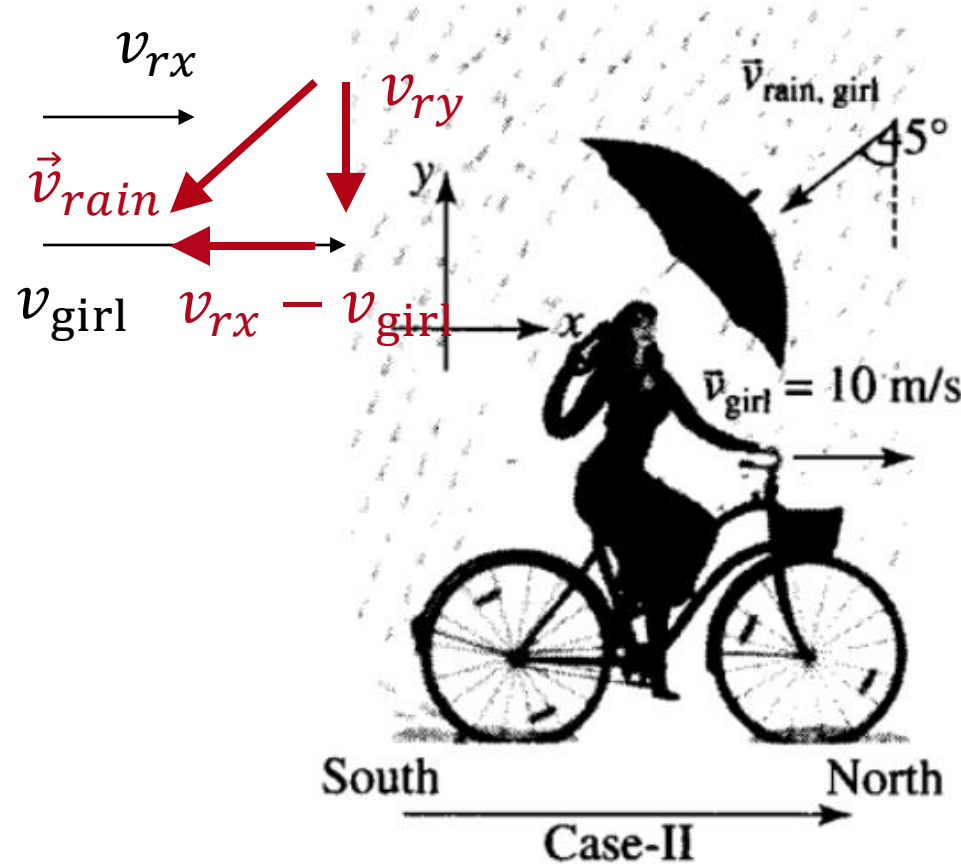
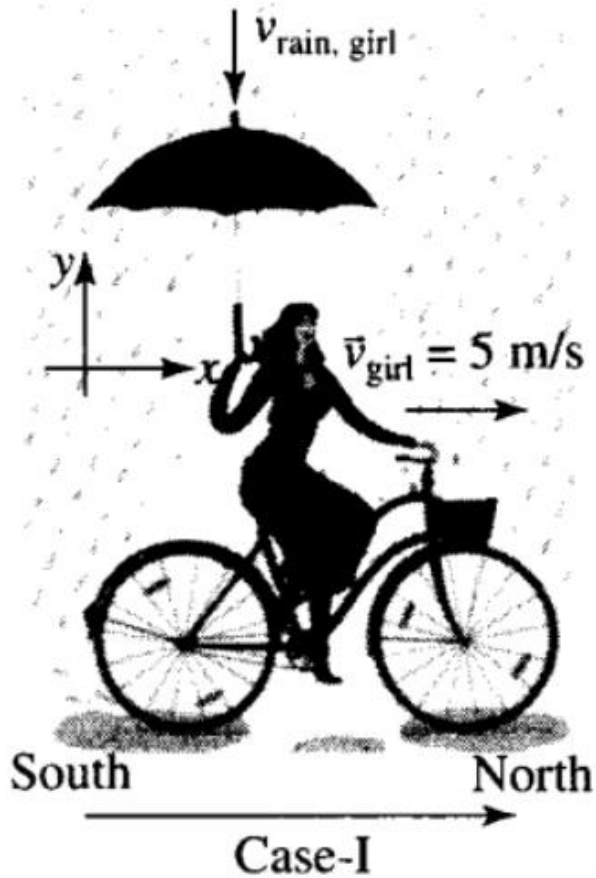


Una ragazza pedalando in bici va a una velocità di 5 m/s in direzione Nord, osserva la pioggia cadere giù verticalmente.

Se aumenta la velocità fino a 10 m/s, la pioggia le appare caderle addosso a 45° rispetto la verticale.

r -- sistema di riferimento del marciapiede

girl -- sistema di riferimento della ragazza



Caso II

$$v_{ry} = (v_{rx} - v_{girl,x}) \tan(45^\circ) = -5 \text{ m/s}$$

$$|\vec{v}_{rain}| = \sqrt{v_{rx}^2 + v_{ry}^2} = \sqrt{2} \cdot 5 \text{ m/s}$$



Qual è la direzione del vento apparente?







Sistemi non inerziali – Forze apparenti

Supponiamo di avere ho un sistema inerziale S in cui quindi la velocità di un corpo varia solo se interagisce con un altro corpo

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

Definiamo ora un altro sistema di riferimento S' con moto accelerato rispetto al precedente. Si ottiene

$$\vec{F} = m \left(\vec{a}' + \vec{a}_{O'} + \vec{\omega} \times \vec{\omega} \times \vec{r}' + \frac{d\vec{\omega}}{dt} \times \vec{r}' + 2\vec{\omega} \times \vec{v}' \right)$$
$$\vec{F} = m\vec{a}' + m\vec{a}_t + m\vec{a}_c$$

Il moto accelerato del sistema di riferimento si traduce nella presenza di forze apparenti

$$m\vec{a}' = \vec{F} + \vec{F}_t + \vec{F}_c \quad \longrightarrow \quad \begin{aligned} &\vec{F}_t = -m \left(\vec{a}_{O'} + \vec{\omega} \times \vec{\omega} \times \vec{r}' + \frac{d\vec{\omega}}{dt} \times \vec{r}' \right) \quad \text{Forza di trascinamento} \\ &\vec{F}_c = -2m\vec{\omega} \times \vec{v}' \quad \text{Forza di Coriolis} \end{aligned}$$



Sistemi non inerziali – Forze apparenti

Supponiamo di avere un sistema inerziale S in cui quindi la velocità di un corpo varia solo se interagisce con un altro corpo

Definiamo ora un altro sistema di riferimento precedente. Si ottiene

$$\vec{F} = m \left(\vec{a}' + \vec{a}_{O'} \right)$$
$$\vec{F} = m\vec{a}' + m\vec{a}_t + m\vec{a}_c$$

Risulta evidente che le **forze apparenti** non derivano dalle interazioni fondamentali ma dal moto del sistema di riferimento e non esistono in un sistema di riferimento inerziale. Inoltre, esse sono **sempre proporzionali alla massa** del punto e vengono pertanto chiamate anche **forze di inerzia**.

Il moto accelerato del sistema di riferimento si traduce nella presenza di forze apparenti

$$m\vec{a}' = \vec{F} + \vec{F}_t + \vec{F}_c \quad \longrightarrow \quad \begin{aligned} &\vec{F}_t = -m\vec{a}_{O'} \\ &\vec{F}_c = -m\vec{\omega} \times \vec{\omega} \times \vec{r}' + m \frac{d\vec{\omega}}{dt} \times \vec{r}' \\ &= -2m\vec{\omega} \times \vec{v}' \end{aligned}$$

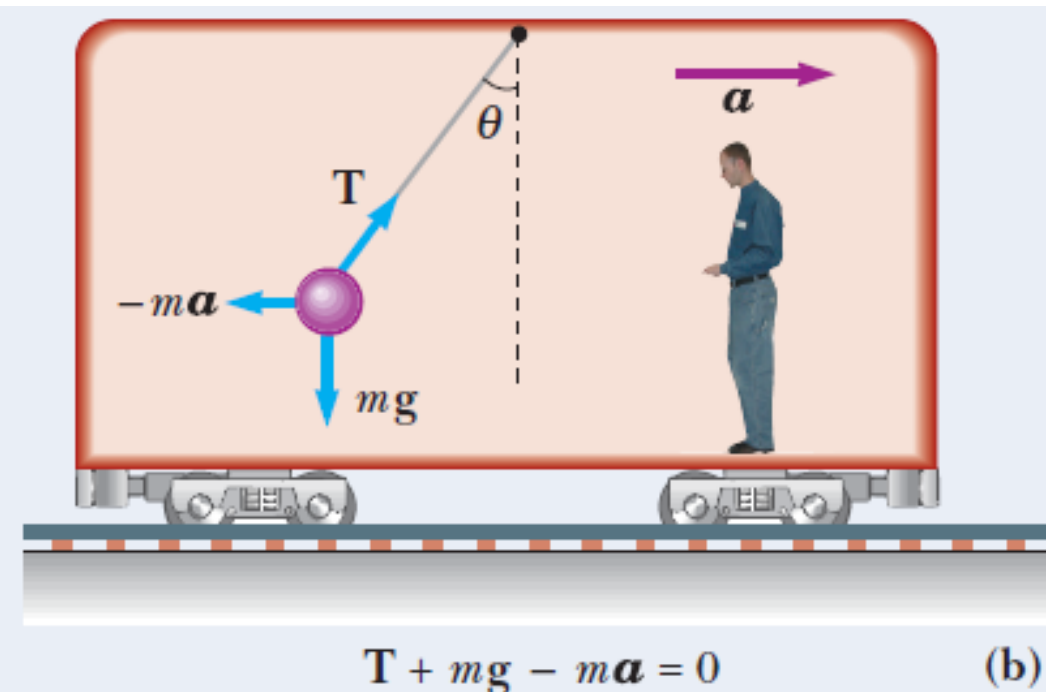
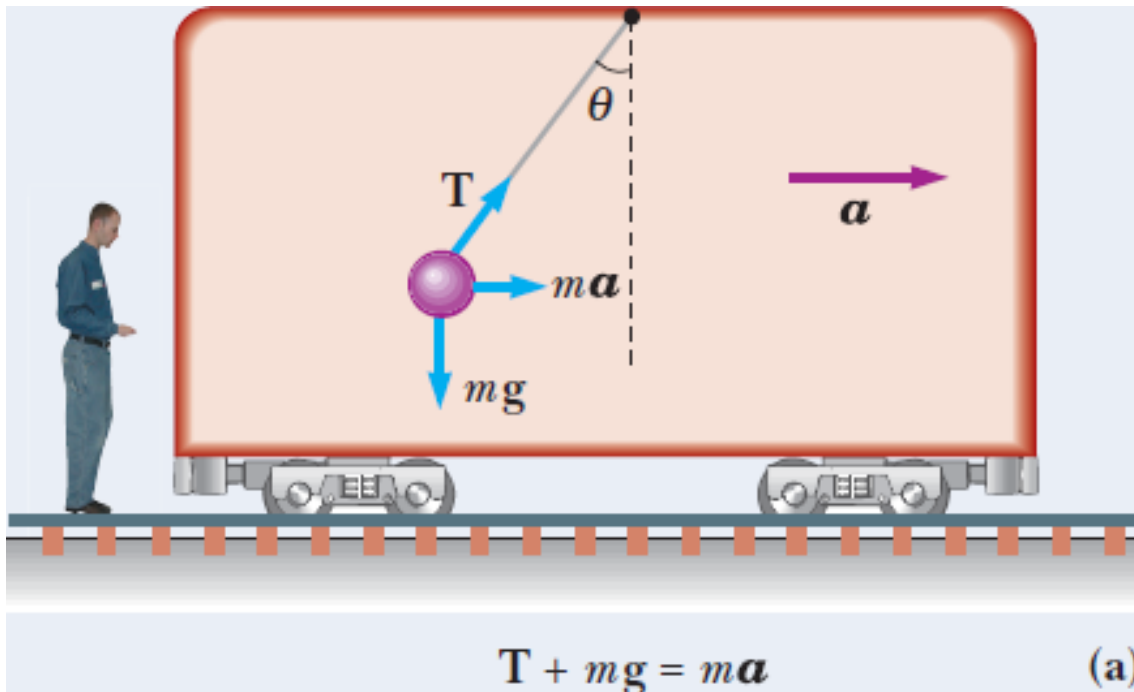
Forza di trascinamento

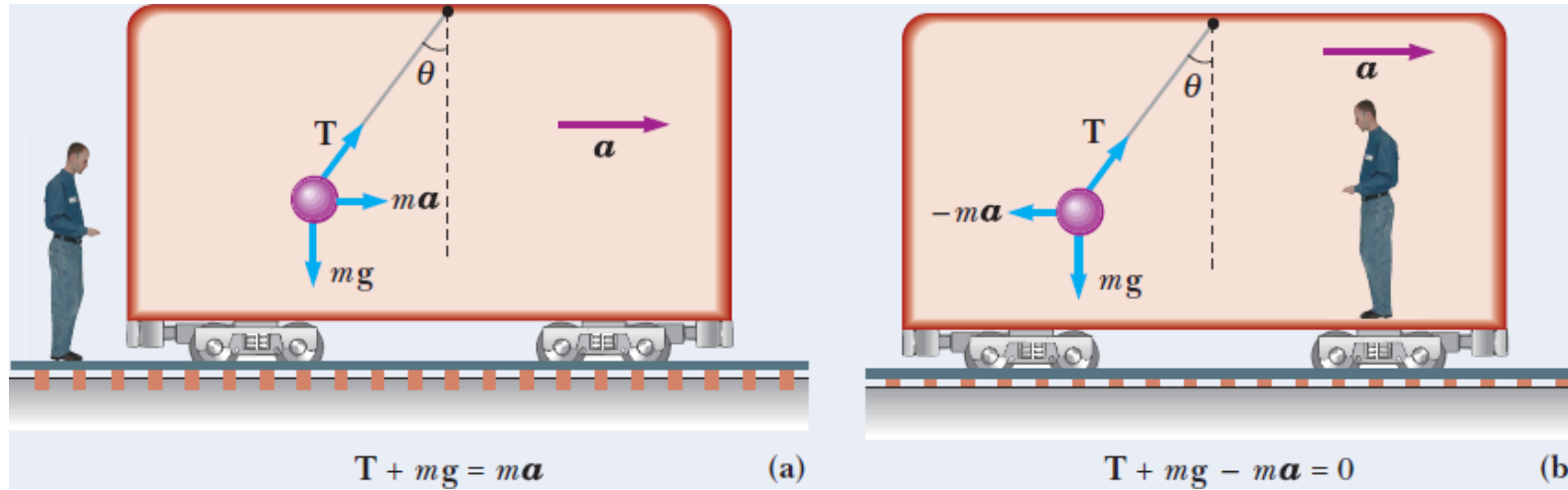
Forza di Coriolis

Moto di trascinamento traslatorio rettilineo accelerato

Una pallina di massa m è appesa tramite un filo al soffitto di un vagone. Quando il treno accelera con accelerazione a il filo si inclina formando un angolo θ con la verticale. Descrivere la situazione fisica vista da un osservatore iniziale O e da un osservatore O' situato sul vagone.

$$\vec{\omega} = 0$$

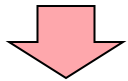




$$\vec{\omega} = 0$$

Nel sistema O

$$\vec{T} + m\vec{g} = m\vec{a}$$



$$\begin{aligned} T \cos\theta - mg &= 0 \\ T \sin\theta &= ma \end{aligned}$$

Nel sistema O'

$$\vec{T} + m\vec{g} + \vec{F}_{app} = m\vec{a}' = 0$$

$$\vec{a} = \vec{a}' + \vec{a}_{O'}$$

$$\begin{aligned} T \cos\theta - mg &= 0 \\ T \sin\theta - ma &= 0 \end{aligned}$$

Moto di trascinamento rotatorio uniforme

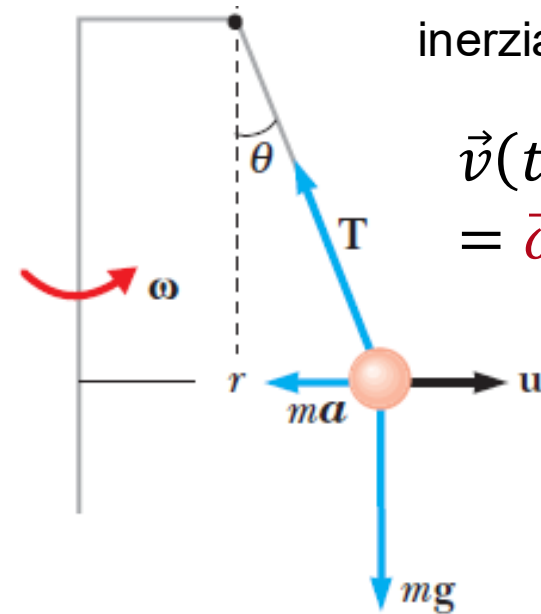
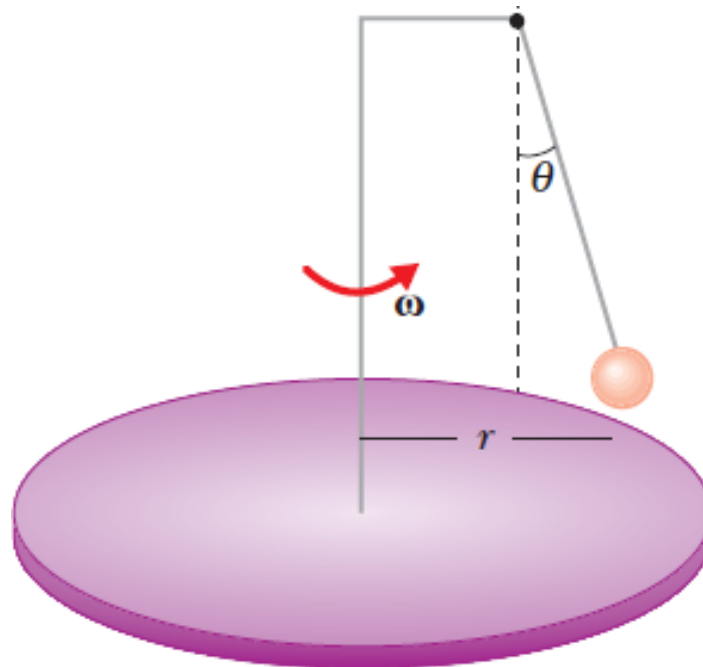
$$\vec{v}_{O'} = 0$$

$$\vec{a}_{O'} = 0$$

$$\vec{\omega} = \text{costante}$$

$$\vec{v}' = 0$$

Filo a piombo su una piattaforma orizzontale ruotante attorno ad un asse con il punto di sospensione fuori dell'asse di rotazione $\rightarrow \vec{v}' = 0$



inerziale

$$\vec{v}(t) = \cancel{\vec{v}'} + \vec{\omega} \times \vec{r}'$$

$$= \vec{\omega} \times \vec{r}'$$

inerziale

$$\vec{T} + m\vec{g} = m\vec{a} = -m\omega^2 r \hat{u}_r$$



$$T \cos \theta - mg = 0$$

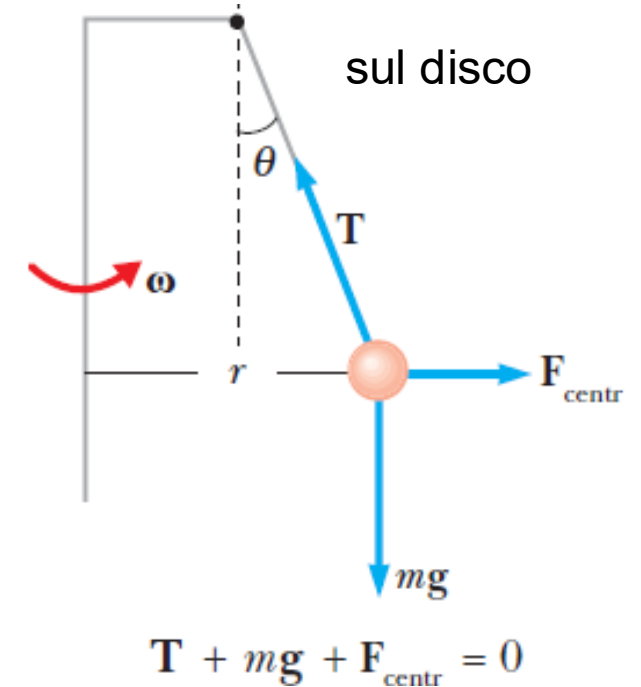
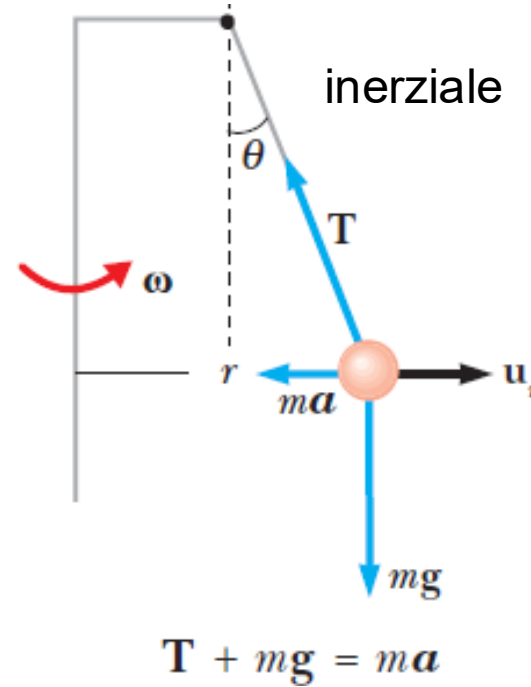
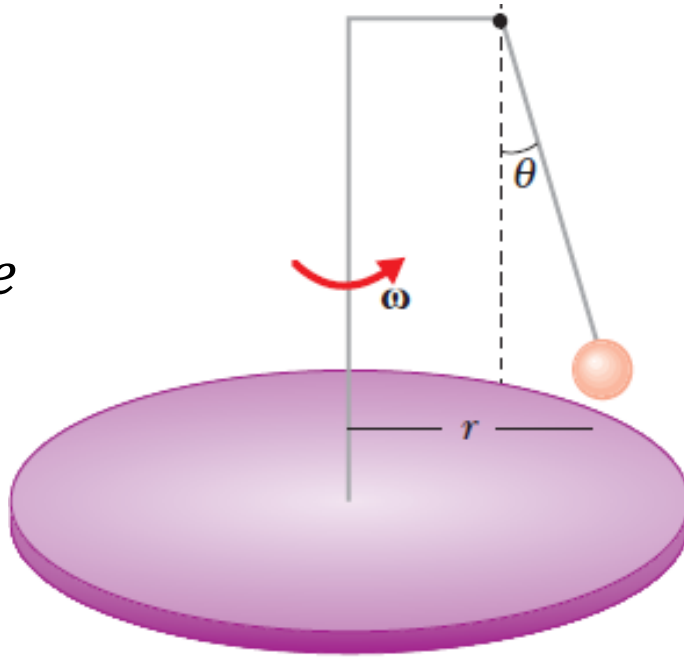
$$T \sin \theta = ma = m\omega^2 r$$



$$\tan \theta = \frac{\omega^2 r}{g}$$

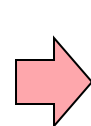
Moto di trascinamento rotatorio uniforme

$$\begin{aligned}\vec{v}_{O'} &= 0 \\ \vec{a}_{O'} &= 0 \\ \vec{\omega} &= \text{costante}\end{aligned}$$



sul disco

$$\vec{T} + m\vec{g} = m(\cancel{\vec{a}'} + \vec{\omega} \times \vec{\omega} \times \vec{r}' + \cancel{2\vec{\omega} \times \vec{v}'}) = m\vec{\omega} \times \vec{\omega} \times \vec{r}' = \vec{F}_{\text{centr}}$$



$$\begin{aligned}T \cos \theta - mg &= 0 \\ T \sin \theta - m\omega^2 r &= 0\end{aligned}$$



$$\tan \theta = \frac{\omega^2 r}{g}$$



Moto di trascinamento rotatorio uniforme

$$\vec{v}_{O'} = 0$$

$$\vec{a}_{O'} = 0$$

$$\vec{\omega} = \text{costante}$$

$$\vec{v} = \text{cost} \Rightarrow \vec{F} = 0$$

In questo caso

$$\vec{v}(t) = \vec{v}' + \vec{\omega} \times \vec{r}'$$

$$\cancel{\vec{F}} = m(\vec{a}' + \vec{\omega} \times \vec{\omega} \times \vec{r}' + 2\vec{\omega} \times \vec{v}')$$

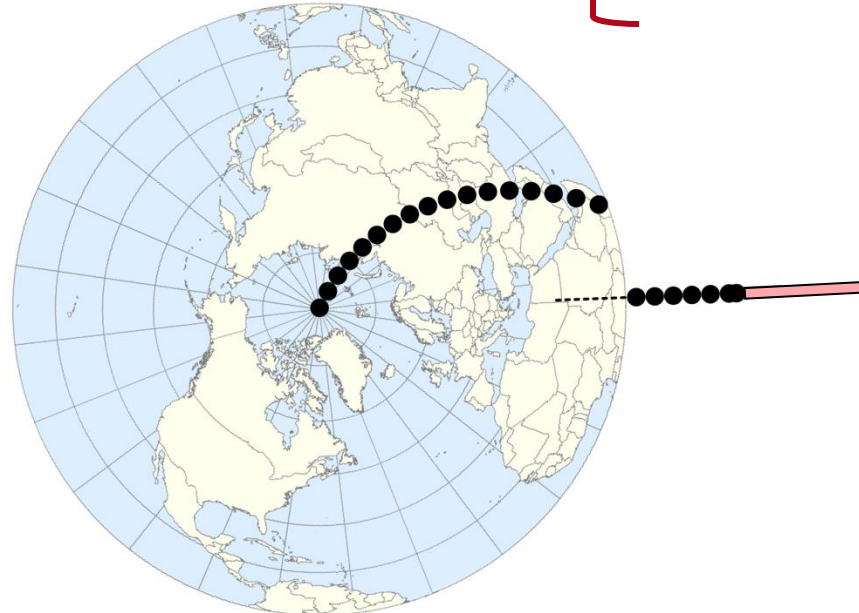
$$\vec{F}_{\text{centr}} + \vec{F}_{\text{coriolis}} = m\vec{a}'$$

$$\begin{cases} \vec{F}_{\text{centr}} = -m\vec{\omega} \times \vec{\omega} \times \vec{r}' \\ \vec{F}_{\text{coriolis}} = -2m\vec{\omega} \times \vec{v}' \end{cases}$$

Forza di Coriolis

https://javalab.org/en/coriolis_effect_en/

$$\vec{r} = \vec{v}t = vt\hat{u}_r$$



Proiettiamo lungo gli assi le forze apparenti

$$\vec{F}_{\text{coriolis}} = -2m\vec{\omega} \times \vec{v}' = +2m\omega\dot{y}'\hat{u}_x - 2m\omega\dot{x}'\hat{u}_y$$

$$\vec{\omega} \times \vec{v}' = \det \begin{pmatrix} \hat{u}_x & \hat{u}_y & \hat{u}_z \\ 0 & 0 & \omega \\ \dot{x}' & \dot{y}' & 0 \end{pmatrix} = -\omega\dot{y}'\hat{u}_x + \omega\dot{x}'\hat{u}_y$$

$$\vec{F}_{\text{centr}} = -m\vec{\omega} \times \vec{\omega} \times \vec{r}'$$

$$\vec{\omega} \times \vec{r}' = \det \begin{pmatrix} \hat{u}_x & \hat{u}_y & \hat{u}_z \\ 0 & 0 & \omega \\ x' & y' & 0 \end{pmatrix} = -\omega y'\hat{u}_x + \omega x'\hat{u}_y \quad \vec{\omega} \times \vec{\omega} \times \vec{r}' = \det \begin{pmatrix} \hat{u}_x & \hat{u}_y & \hat{u}_z \\ 0 & 0 & \omega \\ -\omega y' & \omega x' & 0 \end{pmatrix} = -\omega^2 x'\hat{u}_x - \omega^2 y'\hat{u}_y$$

Leggi del moto $\ddot{x}' - 2\omega\dot{y}' - \omega^2 x' = 0$

$$\ddot{y}' + 2\omega\dot{x}' - \omega^2 y' = 0$$

Condizioni
iniziali $x' = y' = 0$
 $\dot{x}' = v_{ox}; \dot{y}' = 0$

Si risolve combinando le due equazioni nel campo complesso

$$\alpha = x' + iy'$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \ddot{\alpha} + i 2\omega \dot{\alpha} - \omega^2 \alpha = 0 \\ \alpha = 0 \\ \dot{\alpha} = v_{ox} \end{array} \right.$$

Le radici del polinomio associato sono $\alpha = -i\omega \pm \sqrt{-\omega^2 + \omega^2} = -i\omega$

$$\alpha(t) = (A + Bt)e^{-i\omega t}$$

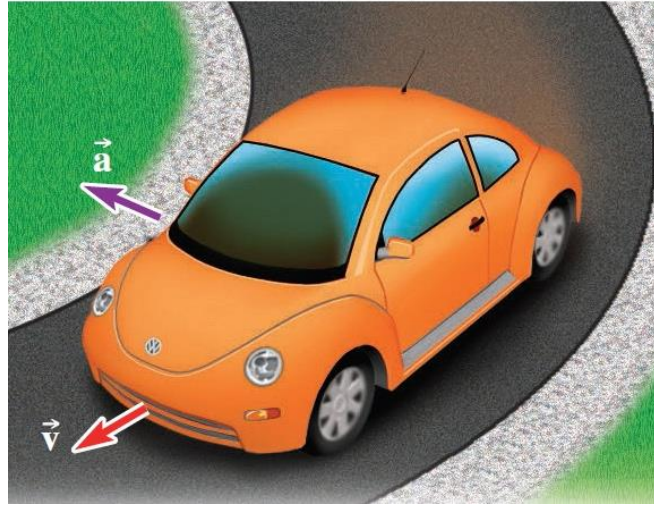
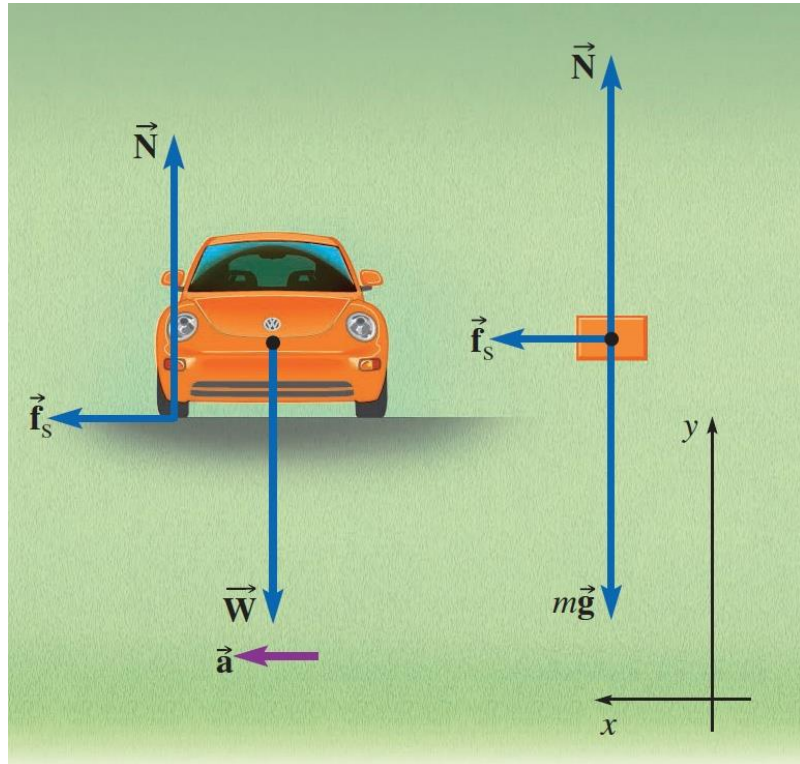
$$\alpha(0) = A = 0 \Rightarrow \alpha(t) = Bte^{-i\omega t}$$

$$\dot{\alpha}(t) = B(1 - i\omega t)e^{-i\omega t}$$

$$\dot{\alpha}(0) = B = v_{ox} \Rightarrow \alpha(t) = v_{ox}te^{-i\omega t} = v_{ox}t(\cos\omega t + i \sin\omega t)$$

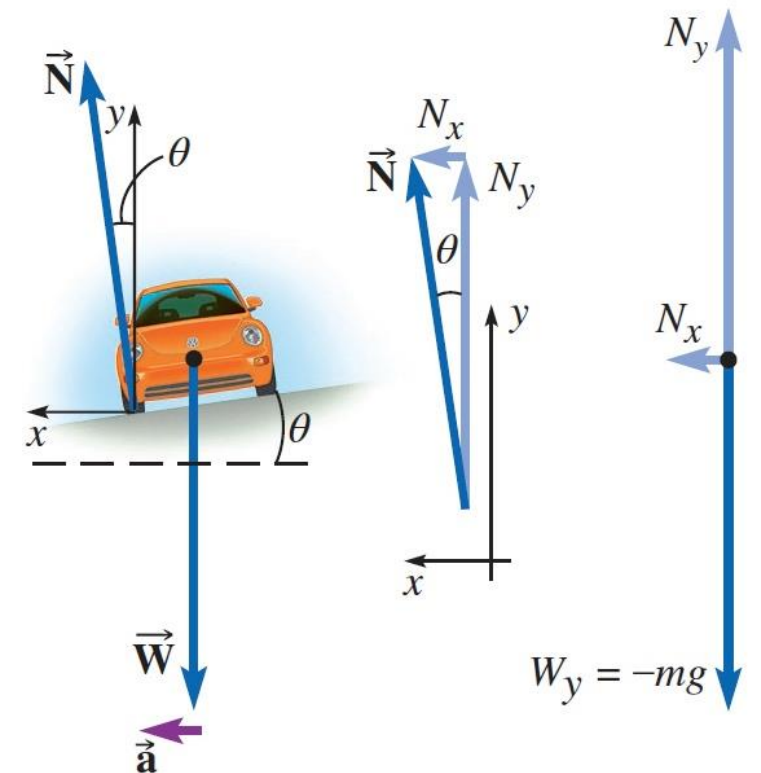
$$\begin{array}{l} x'(t) = v_{ox}t \cos\omega t \\ y'(t) = v_{ox}t \sin\omega t \end{array}$$

Unbanked



How the passenger feels the curve in the 2 cases?

Banked





Centrifuge

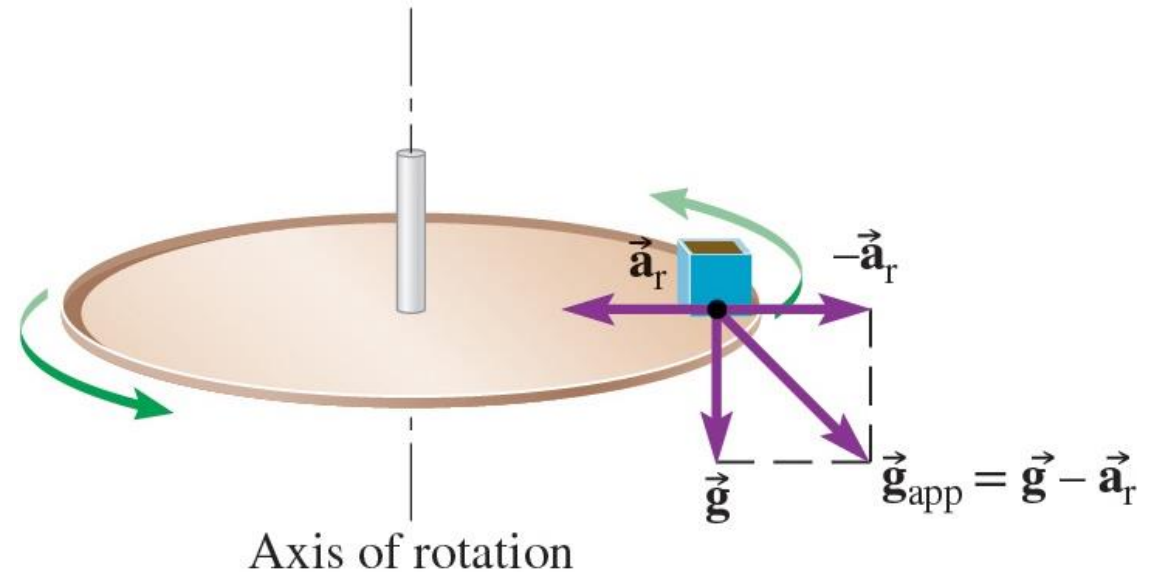
Certifications/Compliance	CE, ROHS, WEEE		
Controller Type	Touchscreen Interface		
Dimensions (HWD)	36.6 x 27.6 x 31.7 in. (93.0 x 70.0 x 80.5cm)		
Net Weight	658 lb. (299kg)		
Program Storage	120 programs with alpha-numeric naming		
Standards	IEC 61010-2-020 2nd Ed. or later		
Temperature Range	-10° to +40°C		
Capacity	4 x 1000mL		
Type	Superspeed centrifuge		
Max. Speed	24,000 rpm	ω	m/s
Max. RCF	68,905 x g	$a_r = \omega^2 r$	m/s^2
Refrigerated	Yes		
Noise Level	<59dBA		
Description	Sorvall LYNX 4000 Superspeed Centrifuge		



Un biologo sta studiando la crescita delle piante e vuole simulare un campo gravitazionale due volte più forte di quello terrestre.

Posiziona le piante su una tavola rotante orizzontale nel suo laboratorio sulla Terra a una distanza di 12.5 cm dall'asse di rotazione.

Quale velocità angolare darà alle piante un campo gravitazionale apparente $\vec{g}$ la cui grandezza è 2.0 g ?





Strategia Usa $a_t = \omega^2 r$ per trovare la velocità angolare richiesta. Il campo gravitazionale apparente totale è uguale alla somma vettoriale dell'intensità del campo gravitazionale e dell'accelerazione radiale.

Soluzione Calcola la velocità angolare.

$$g_{app}^2 = a_r^2 + g^2 = \omega^4 r^2 + g^2, \text{ so } \omega^4 r^2 = g_{app}^2 - g^2, \text{ or}$$
$$\omega = \left(\frac{g_{app}^2 - g^2}{r^2} \right)^{1/4} = \left(\frac{4.0g^2 - g^2}{r^2} \right)^{1/4} = \left[\frac{3.0(9.80 \text{ m/s}^2)^2}{(0.125 \text{ m})^2} \right]^{1/4} = \boxed{12 \text{ rad/s}}.$$

Un **sistema inerziale** è un sistema in cui un corpo non soggetto a forze (che non interagisce con altri corpi) o è in quiete o si muove di moto rettilineo uniforme.

I sistemi inerziali sono tra di loro o in quiete o si muovono di moto rettilineo uniforme e il moto dei corpi è descritto dalle stesse leggi fisiche.

Questa **invarianza delle leggi** fisiche deriva dal fatto che non ho un punto privilegiato dello spazio: lo **spazio appare omogeneo e isotropo**.

Se un sistema di riferimento si muove con **moto accelerato** rispetto ad uno inerziale appaiono delle **forze apparenti**

$$\vec{a} = \vec{a}' + \underbrace{\vec{a}_{O'}}_{\text{Traslazione } O'} + \underbrace{\vec{\omega} \times \vec{\omega} \times \vec{r}'}_{\text{Accelerazione centripeta dovuta alla rotazione di } O'} + \underbrace{\frac{d\vec{\omega}}{dt} \times \vec{r}'}_{\text{Accelerazione tangenziale dovuta alla rotazione di } O'} + \underbrace{2\vec{\omega} \times \vec{v}'}_{\substack{\text{Accelerazione di} \\ \text{Coriolis}}}$$