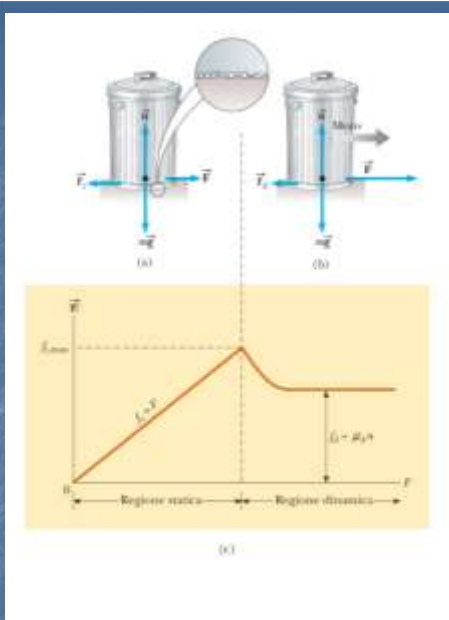


Serway, Jewett
Principi di Fisica
IV Ed.
Capitolo 5



di Fisica, IV Ed. – Capitolo 5
Sperimentalmente:

$$f_s \leq \mu_s n$$

Con μ_s costante di attrito statico; n =modulo della forza normale.

L'uguaglianza vale quando (in condizioni di moto imminente):

$$f_s = f_{s,max} = \mu_s n$$

Il modulo della forza di attrito dinamico agente tra due superfici è:

$$f_d = \mu_d n$$

μ_d nel modello semplificato non dipende dalla velocità.

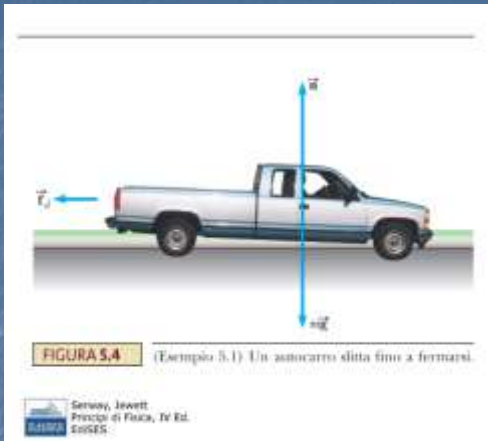
I valori dei coefficienti di attrito dipendono dalla natura delle superfici.

La direzione della forza di attrito è sempre opposta al moto.



$$\text{Vale: } \mu_d \leq \mu_s$$

Serway, Jewett – Principi di Fisica, IV Ed. – Capitolo 5



Esempio 5.1

Il guidatore di un veloce autocarro vuoto schiaccia i freni e l'autocarro slitta per fermarsi dopo una distanza d .

Se l'autocarro trasporta un carico pesante tale che la sua massa raddoppia, quale sarà la distanza di slittamento se parte con la stessa velocità iniziale? n

$$\Sigma F = -f_d = ma$$

$$\Sigma F_y = n - mg = 0 \Rightarrow mg = n$$

$$f_d = \mu_d n = \mu_d mg$$



Serway, Jewett – Principi di Fisica, IV Ed. – Capitolo 5

$$-\mu_d mg = ma$$

$$a = -\mu_d g$$

Accelerazione costante

$$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$$

$$0 = v_0^2 - 2(\mu_d g)d$$

$$d = \frac{v_0^2}{2\mu_d g}$$

Se la velocità iniziale dell'autocarro è dimezzata, quale sarà la distanza di slittamento?

$$d_1 = \frac{v_0^2}{2\mu_d g}$$

$$d_2 = \frac{\left(\frac{1}{2}v_0\right)^2}{2\mu_d g} = \frac{1}{4} \frac{v_0^2}{2\mu_d g}$$

$$d_2 = \frac{1}{4} d_1$$

Spunto di riflessione per i guidatori: dimezzando la velocità iniziale si riduce ad $\frac{1}{4}$ (riduzione 75%) lo spazio necessario per fermarsi.



Serway, Jewett – Principi di Fisica, IV Ed. – Capitolo 5



5.5 (Esempio 5.2) Un blocco su un piano a inclinazione variabile è usato per determinare il coefficiente d'attrito.

Esempio 5.2

Metodo per misurare i coefficiente di attrito.

Quale è il coefficiente di attrito statico correlato all'angolo critico a cui il blocco inizia a muoversi?

$$\sum F_x = mg \sin \theta - f_s = 0$$

$$\sum F_y = n - mg \cos \theta = 0$$

per $\theta = \theta_c$

$$mg \sin \theta_c = f_{s, \max} = \mu_s n$$

$$mg \cos \theta_c = n$$

$$\tan \theta_c = \mu_s$$



Serway, Jewett – Principi di Fisica, IV Ed. – Capitolo 5

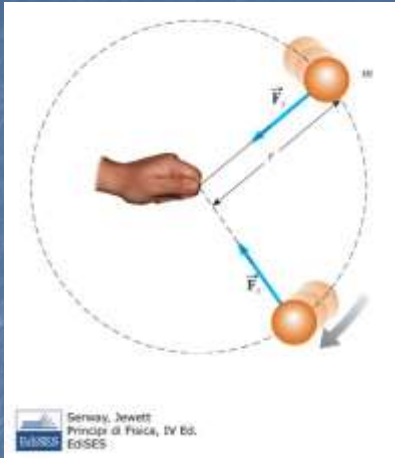
Come si può misurare il coefficiente di attrito dinamico?

Si deve determinare l'angolo con cui il blocco scivola giù con velocità costante:

$$\tan \theta'_c = \mu_d$$



Serway, Jewett – Principi di Fisica, IV Ed. – Capitolo 5



Seconda legge di Newton applicata ad una particella in moto circolare uniforme

Abbiamo visto $a_c = v^2/r$

Deve esserci una forza che determina questa accelerazione.

Consideriamo una massa m in moto circolare, vincolata ad una fune, su un piano senza attrito.

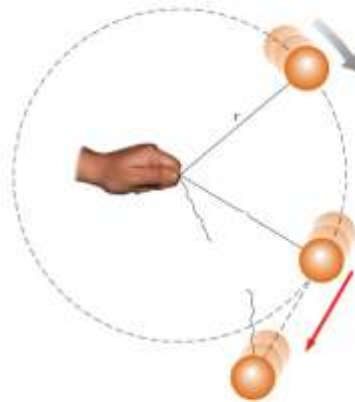
Secondo il principio di inerzia manterrebbe un moto rettilineo uniforme, quindi si muoverebbe lungo la direzione di v (tangente).

$$\Sigma F = ma_c = m \frac{v^2}{r}$$



Serway, Jewett – Principi di Fisica, IV Ed. – Capitolo 5

FIGURA 5.9. Visione dall'alto di una palla che si muove lungo una traiettoria circolare orizzontale. Quando il filo si spezza la palla si muove in direzione tangente alla circonferenza.

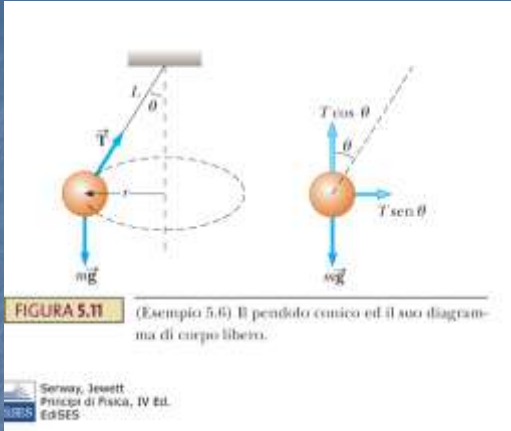


Serway, Jewett
Principi di Fisica, IV Ed.
EdiSES

Quando il filo si spezza



Serway, Jewett – Principi di Fisica, IV Ed. – Capitolo 5



Esempio 5.6 Il pendolo conico
Un piccolo corpo di massa m è sospeso ad un filo di lunghezza L . Il corpo ruota su una circonferenza orizzontale di raggio r con velocità costante in modulo, v . Poiché il filo descrive la superficie di un cono, il sistema è noto come pendolo conico.

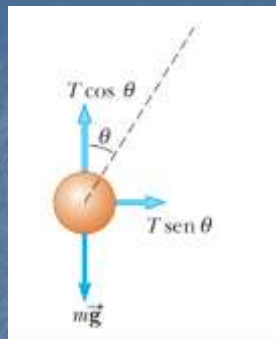
Trovare v .Componente orizzontale di T : $T \sin \theta$ Componente verticale di T : $T \cos \theta$

$$\sum F_y = 0 \quad T \cos \theta - mg = 0 \quad T \cos \theta = mg$$

$$\sum F_x = m a_c \quad T \sin \theta = m \frac{v^2}{r}$$



Serway, Jewett – Principi di Fisica, IV Ed. – Capitolo 5



$$\sum F_y = 0 \quad T \cos \theta - mg = 0$$

$$T \cos \theta = mg$$

$$\sum F_x = m a_c \quad T \sin \theta = m \frac{v^2}{r}$$

$$T \sin \theta = \frac{m v^2}{r}$$

$$v = \sqrt{r g \tan \theta}$$

$$r = L \sin \theta$$

$$v = \sqrt{L g \sin \theta \tan \theta}$$

Trovare il periodo di rotazione

$$T = 2\pi r / v =$$

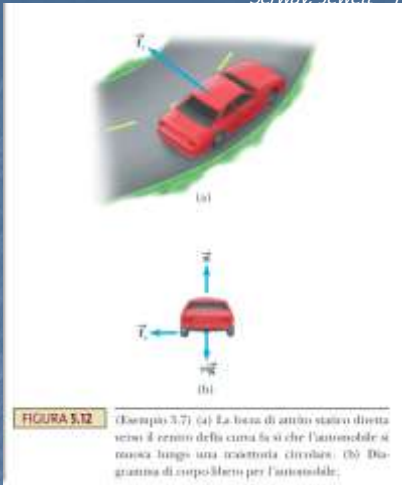
$$= \frac{2\pi r}{\sqrt{L g \sin \theta \tan \theta}} = \frac{2\pi \sqrt{L \sin^2 \theta}}{\sqrt{L g \sin \theta \tan \theta}}$$

$$= \frac{2\pi \sqrt{L \cos \theta}}{g}$$

Periodo indipendente dalla massa.



Serway, Jewett – Principi di Fisica, IV Ed. – Capitolo 5



Esempio 5.8 Massima velocità dell'auto

Un'auto di 1500 kg, si muove su una strada orizzontale piana, affronta una curva di 35 m di raggio. Se il coefficiente di attrito statico tra i pneumatici e l'asfalto asciutto è 0.523, trovare la velocità massima con cui l'auto può affrontare la curva.

Il pezzetto di pneumatico a contatto con la strada è istantaneamente fermo (ruota e non scivola).

$$\sum F_x = m a_x$$

$$F_s = m \frac{v^2}{r} \quad F_{s \max} = \mu_s n$$

$$\sum F_y = 0 \quad n - mg = 0 \quad n = mg$$



Serway, Jewett – Principi di Fisica, IV Ed. – Capitolo 5

$$\sum F_y = 0 \quad n - mg = 0 \quad n = mg$$

$$F_{s \max} = \mu_s mg$$

$$\mu_s mg = m \frac{v^2}{r}$$

$$\mu_{\max} = \sqrt{r g}$$

Con i dati: $v_{\max} = 13.4 \text{ m/s}$



di Fisica, IV Ed. – Capitolo 5

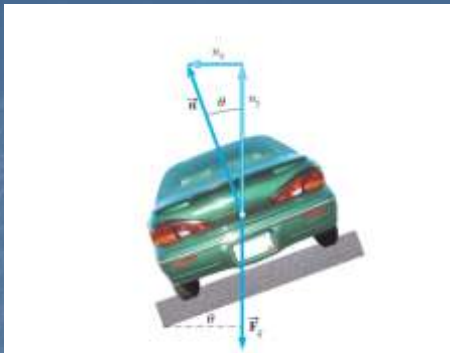


FIGURA 5.13 (Esempio 5.8) Un'auto percorre una curva su una strada sopraelevata di un angolo θ rispetto all'orizzontale. In assenza di attrito è la componente orizzontale della forza normale a causare l'accelerazione centripeta permettendo all'auto di mantenere la traiettoria circolare.

Esempio 5.8 La strada sopraelevata. Un ingegnere progetta la strada in modo che la curva dell'esempio precedente possa essere percorsa alla velocità prevista anche senza attrito (per esempio su ghiaccio). Una tale curva viene detta sopraelevata. Max velocità 13.4 m/s(48.2 km/h), raggio 35 m. Quale deve essere l'angolo di sopraelevazione?

Differenza con il caso precedente: La forza normale ha una componente in direzione radiale: $n_x = n \sin \theta$.

$$\sum F_{r,c} = n \sin \theta = \frac{mv^2}{r}$$

$$\tan \theta = \frac{v^2}{rg}$$

$$n \cos \theta = mg$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{13.4 \text{ m/s}}{(35.0 \text{ m})(9.8 \text{ m/s}^2)} \right) = 21.5^\circ$$

Angolo di sopraelevazione indipendente dalla massa. Se la velocità è minore, l'attrito serve ad evitare che l'auto scivoli. Se la velocità è maggiore l'attrito serve ad evitare slittamento verso l'alto.



Serway, Jewett – Principi di Fisica, IV Ed. – Capitolo 5

Moto circolare non uniforme

Componente radiale e tangenziale della forza.

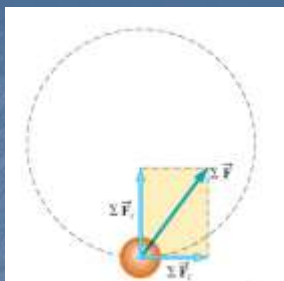


FIGURA 5.15 Quando la forza risultante su una particella che si muove lungo una traiettoria circolare ha una componente tangenziale $\sum \vec{F}_t$, il modulo della sua velocità cambia. Anche la forza totale sulla particella ha una componente radiale $\sum \vec{F}_r$ diretta verso il centro della traiettoria circolare. Quindi, la forza totale è $\sum \vec{F} = \sum \vec{F}_r + \sum \vec{F}_t$.

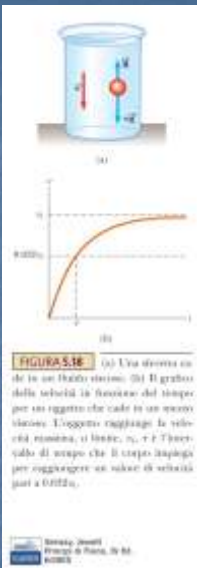
Edises
Serway, Jewett
Principi di Fisica, IV Ed.
Edises

$$\vec{a} = \vec{a}_r + \vec{a}_t$$

$$\sum \vec{F} = \sum \vec{F}_r + \sum \vec{F}_t$$



Serway, Jewett – Principi di Fisica, IV Ed. – Capitolo 5



Moto in presenza di forze d'attrito dipendenti dalla velocità (attrito viscoso).

Modello 1: attrito proporzionale alla velocità

$$\vec{R} = -b\vec{v}$$

b è una costante che dipende dalle proprietà del mezzo, dalla forma e dalle dimensioni dell'oggetto. R è opposta al moto.

$$\sum F_y = ma_y$$

$$mg - b\vec{v} = ma_y = m \frac{dv}{dt}$$

$$\frac{dv}{dt} = g - \frac{b}{m}v$$

Alle condizioni iniziali: $t=0$ $v=0$, $dv/dt=g$. Con il tempo, v aumenta e aumenta anche la forza viscosa e l'accelerazione diminuisce. Problema in cui a non è costante. Quando la forza viscosa diventa uguale alla forza peso, la velocità raggiunge un valore limite v_l .



Serway, Jewett – Principi di Fisica, IV Ed. – Capitolo 5

Ponendo $a=0$

$$mg - b\vec{v} = 0$$

Velocità limite:

$$v_l = \frac{mg}{b}$$

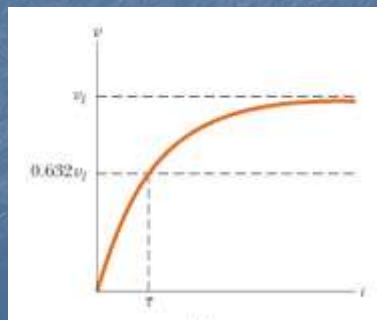
v_{limite} raggiunta esponenzialmente in t infinito

$$v = \frac{mg}{b} \left(1 - e^{-bt/m} \right) = v_l \left(1 - e^{-t/\tau} \right)$$

$$t = \tau$$

$$(1 - e^{-1}) = 1 - 0.368 = 0.632$$

Costante di tempo permette di confrontare il comportamento degli oggetti: tempo necessario perché l'oggetto raggiunga il 63.2% della velocità limite.



Serway, Jewett – Principi di Fisica, IV Ed. – Capitolo 5

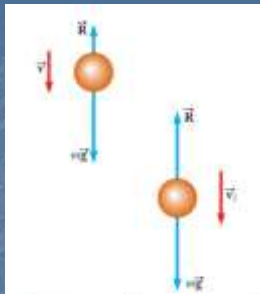


FIGURA 5.19 Un oggetto che cade attraverso l'aria è soggetto alla forza di attrito, \vec{R} , e alla forza di gravità, $\vec{F}_g = m\vec{g}$. L'oggetto raggiunge la velocità limite quando la forza risultante che agisce su di esso è nulla; cioè quando $\vec{R} = -\vec{F}_g$, o $R = mg$. Poiché ciò avviene, l'accelerazione sarà pari a zero e la velocità sarà costante secondo l'Equazione 5.11.

Modello 2: attrito proporzionale al quadrato della v .
In oggetti di grandi dimensioni che si muovono nell'aria con velocità elevate:

$$R = \frac{1}{2} D \rho A v^2$$

D = coefficiente di resistenza, dipende dalla forma
 A = area della sezione

$$\sum F = m a \quad mg - \frac{1}{2} D \rho A v^2 = m a$$

$$a = g - \left(\frac{D \rho A}{2m} \right) v^2$$

$$v_{rel} \quad \begin{matrix} g \\ \downarrow \\ 0 \end{matrix} \quad g - \frac{D \rho A}{2m} v^2 = 0$$

$$v_{rel} = \sqrt{\frac{2mg}{D \rho A}}$$

Edises

Serway, Jewett – Principi di Fisica, IV Ed. – Capitolo 5

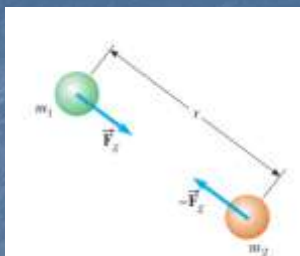


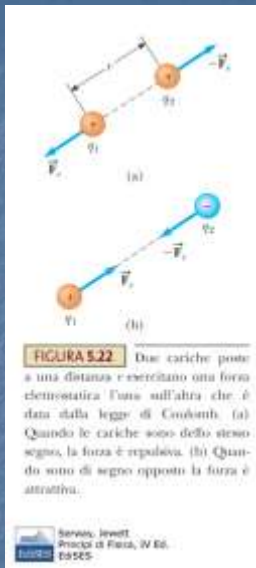
FIGURA 5.21 Due particelle di massa m_1 e m_2 si attraggono reciprocamente con una forza di modulo Gm_1m_2/r^2 .

Serway, Jewett
Principi di Fisica, IV Ed.
Edises

Le forze fondamentali della natura

Attrazione gravitazionale

Edises



Forza elettromagnetica

Forze nucleari