

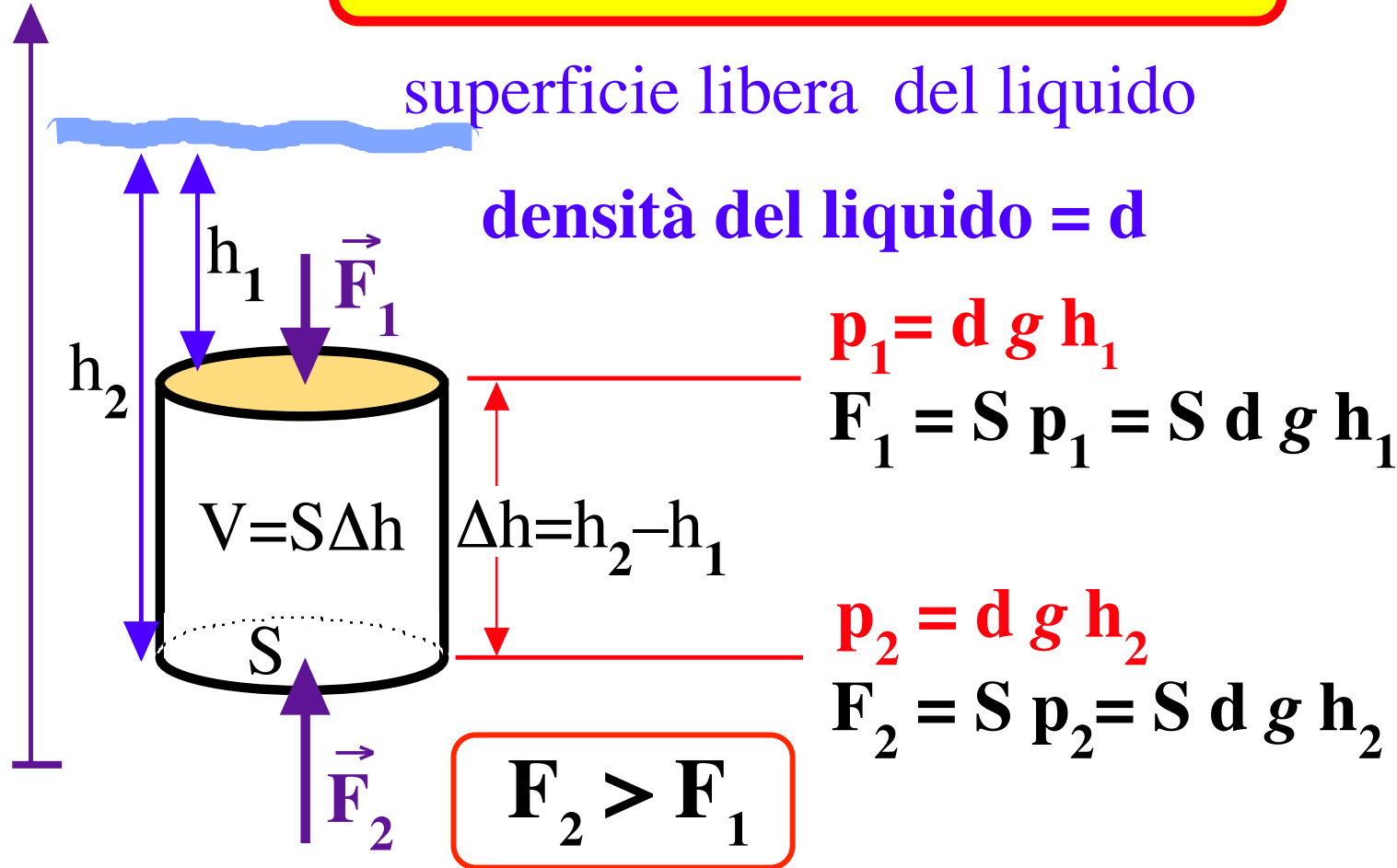
FENOMENI di TRASPORTO

- SPINTA DI ARCHIMEDE
- TRASPORTO IN REGIME VISCOSO
- SEDIMENTAZIONE
- MOTO CIRCOLARE UNIFORME
- CENTRIFUGAZIONE
- ELETTROFORESI

Lucidi del Prof. D. Scannicchio

SPINTA di ARCHIMEDE

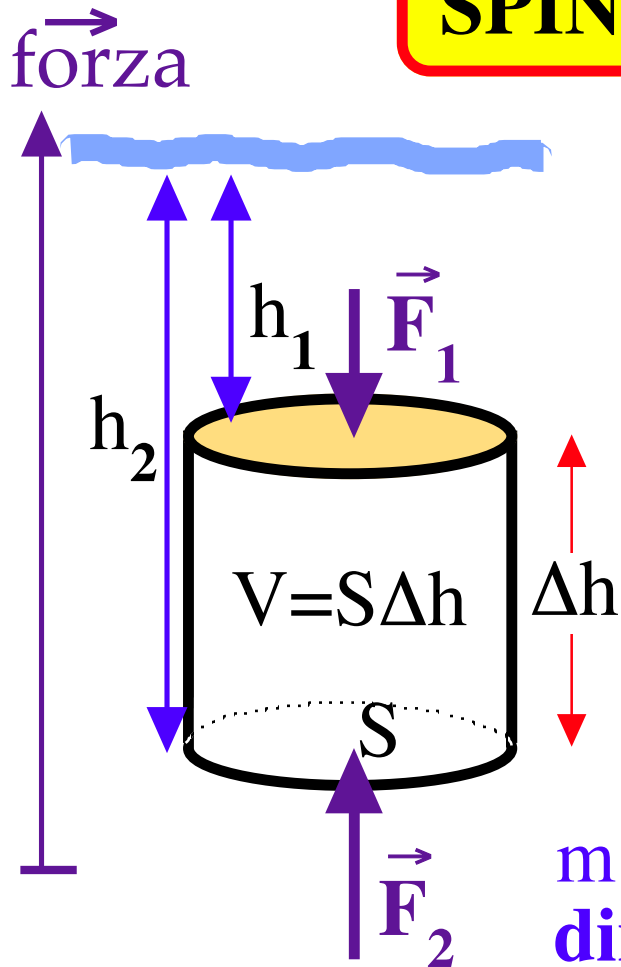
forza \vec{F}



$$\vec{S}_A = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \quad (\text{forze positive verso l'alto})$$

$$S_A = -F_1 + F_2 = F_2 - F_1 = S d g (h_2 - h_1) =$$

SPINTA di ARCHIMEDE



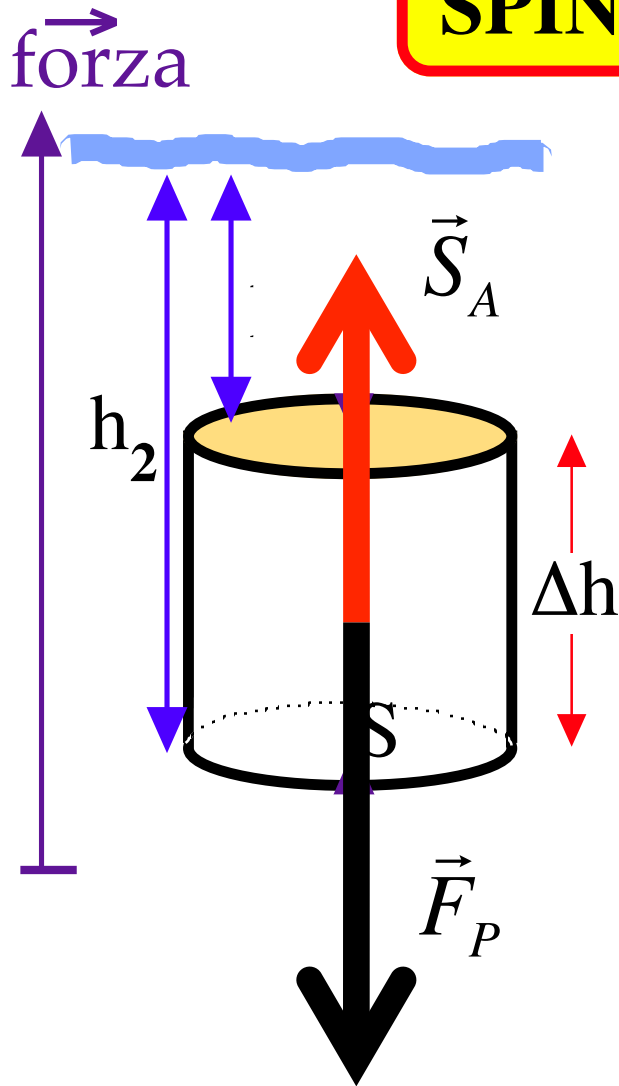
$$\begin{aligned}
 S_A &= -F_1 + F_2 = F_2 - F_1 = \\
 &= S d g (h_2 - h_1) = \\
 &= S d g \Delta h = V d g = \mathbf{m g}
 \end{aligned}$$

spinta di Archimede $S_A = m g$

variazione di pressione
idrostatica sul corpo

m = massa di liquido spostato
direzione e verso = **verticale verso l'alto**

SPINTA di ARCHIMEDE



$$\text{spinta di Archimede } S_A = m g = V d g$$

variazione di pressione
idrostatica sul corpo

Se il cilindro ha massa m'
e densità d'
e' soggetto ad una forza peso:

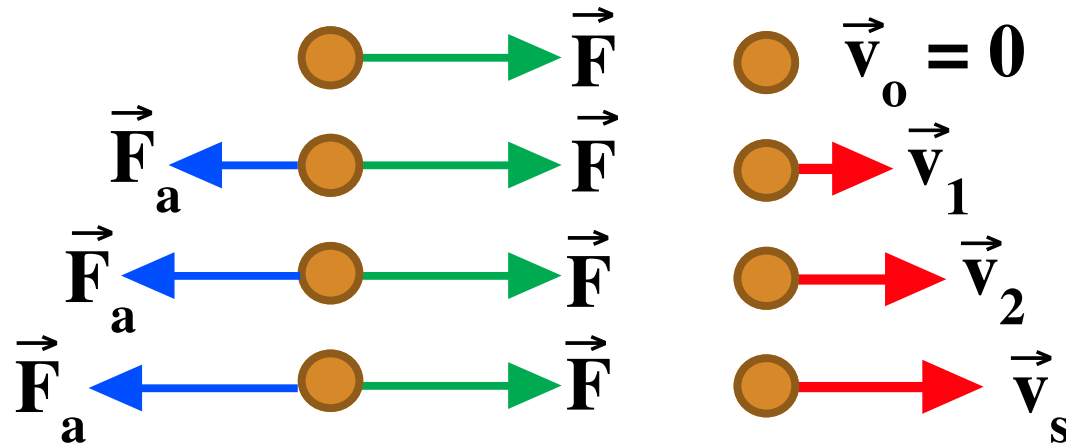
$$F_P = m' g = V d' g$$

Se $d' > d \Rightarrow$ corpo affonda
 $d' < d \Rightarrow$ corpo galleggia

TRASPORTO IN REGIME VISCOSO

\vec{F} = forza agente

$$\vec{F}_a = -f \vec{v}$$



sotto l'influenza di F il corpo inizia ad accelerare $\Rightarrow v > 0$

se $v > 0$ la forza di attrito aumenta

alla velocità v_s la forza totale agente è nulla
 \Rightarrow moto rettilineo uniforme con velocità v_s

equilibrio dinamico

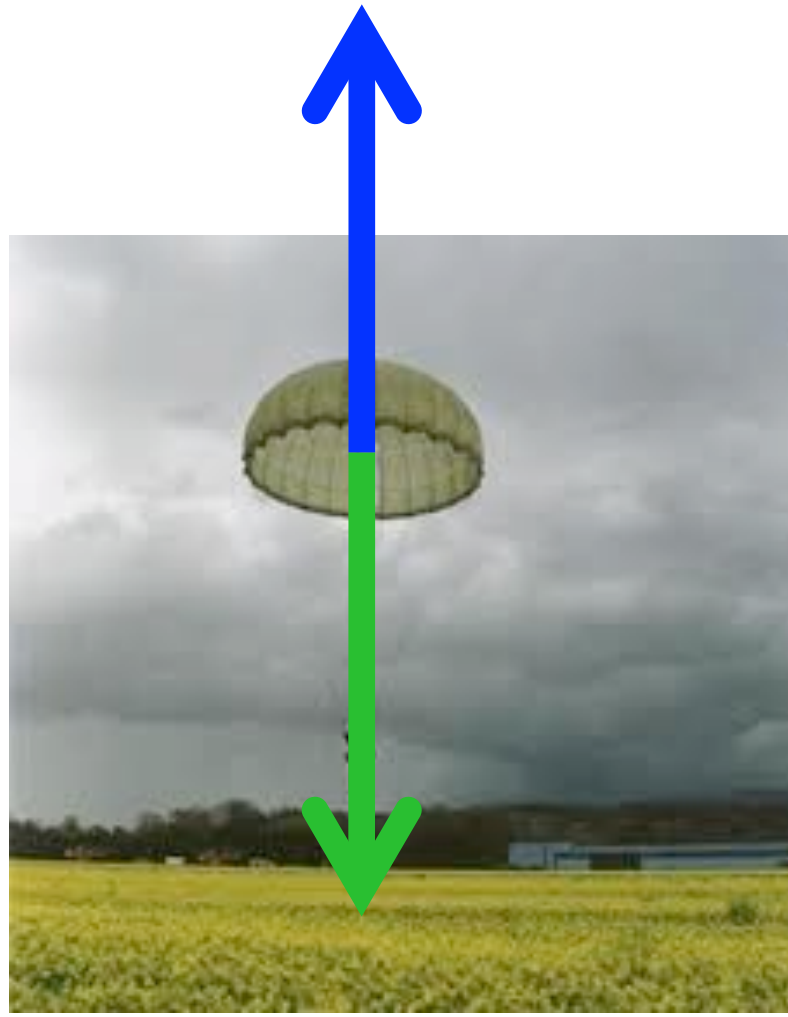
$$\vec{F}_a + \vec{F} = 0$$

velocità di spostamento

$$F_a = -F \quad \rightarrow \quad -f v = -F$$

$$v = v_s = \frac{F}{f}$$





TRASPORTO IN REGIME VISCOSO

velocità di spostamento

$$v = v_s = \frac{F}{f}$$

(anche detta
velocità di trascinamento
o velocità limite)

particella sferica
(legge di Stokes)

$$F_a = 6\pi \eta r v$$

$$f = 6\pi \eta r$$

$$v_s = \frac{F}{6\pi \eta r}$$

TRASPORTO IN REGIME VISCOSO

$$v_s = \frac{F}{f}$$

\vec{F} = forza peso* \rightarrow sedimentazione

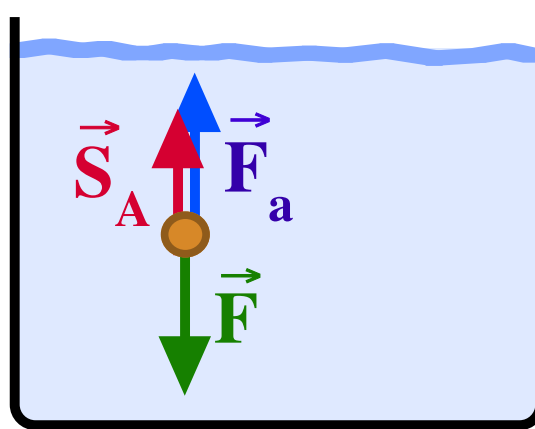
\vec{F} = forza elettrica \rightarrow elettroforesi

\vec{F} = forza centrifuga** \rightarrow centrifugazione

* spinta di Archimede idrostatica }
** spinta di Archimede centrifuga } fluidi

SEDIMENTAZIONE

m, V, d = massa, volume, densità particella
 m', d' = massa, densità liquido



$$\begin{aligned}\vec{F} &= m \vec{g} \\ \vec{S}_A &= -m' \vec{g} \\ \vec{F}_a &= -f \vec{v}\end{aligned}$$

equilibrio dinamico

$$\vec{F}_a + \vec{F} + \vec{S}_A = 0 \quad \rightarrow \quad F - S_A = F_a = f v = f v_s$$

$$v_s = \frac{F - S_A}{f} = \frac{mg - m'g}{f} = \frac{dVg - d'Vg}{f}$$

SEDIMENTAZIONE

$$v_s = \frac{F - S_A}{f} = \frac{mg - m'g}{f} = \frac{dVg - d'Vg}{f}$$

v_s = velocità di sedimentazione

$$v_s = \frac{Vg (d - d')}{f}$$

particella sferica \longrightarrow $f = 6\pi \eta r$

$$v_s = \frac{Vg (d - d')}{f} = \frac{\frac{4}{3} \pi r^3 g (d - d')}{6\pi \eta r}$$

$$v_s = \frac{2}{9} \frac{r^2 g (d - d')}{\eta}$$

VELOCITA' di ERITROSEDIMENTAZIONE

$$v_s = \frac{2}{9} \frac{r^2 g (d - d')}{\eta}$$

applicazione in Medicina :

velocita' di sedimentazione degli eritrociti nel sangue anche detta

Velocità di EritroSedimentazione = VES
(indice diagnostico)

VES normale $\approx 6 \div 7 \text{ mm ora}^{-1}$

La sedimentazione degli eritrociti e' un fenomeno complesso: dipende anche dalle dimensioni e dal numero di formazioni di aggregati di eritrociti e dalla composizione del plasma, i quali possono alterarsi in uno stato tossico od infettivo.

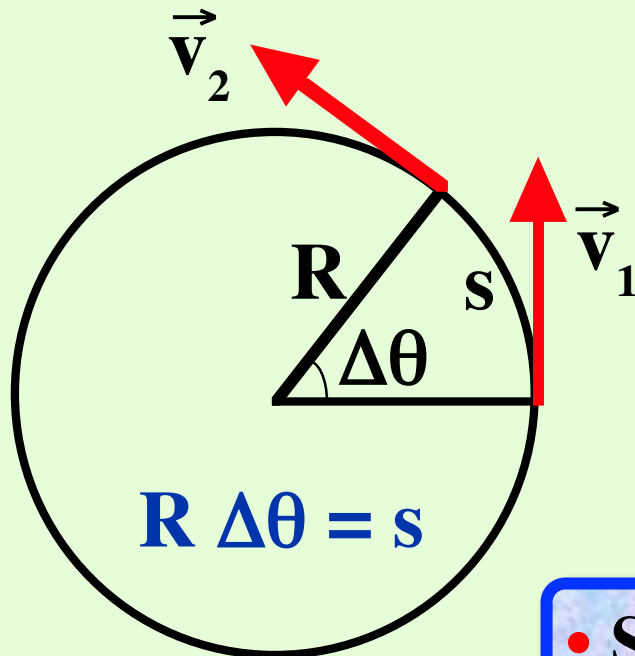
non utilizzabile per particelle più piccole
(necessario aumentare la forza agente \vec{F})



MOTO CIRCOLARE UNIFORME

traiettoria \equiv circonferenza **velocità** costante in modulo

$$|\vec{v}_1| = |\vec{v}_2| = v$$



velocità angolare

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

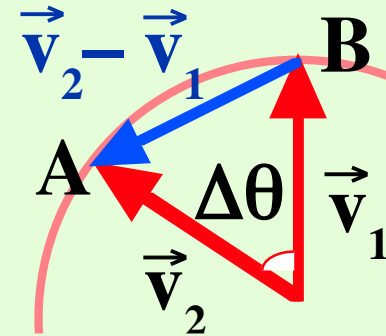
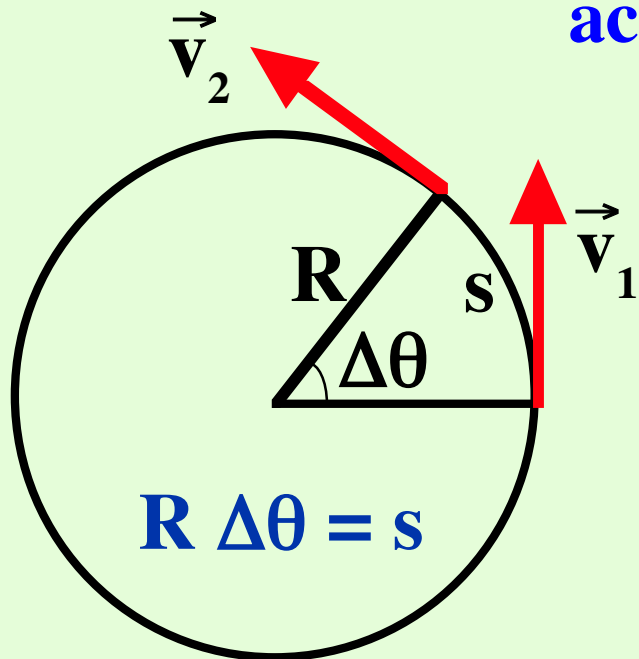
$$[\omega] = [t]^{-1}$$

• S.I. e C.G.S. $s^{-1} = \text{Hertz (Hz)}$

$$v = \frac{s}{\Delta t} = \frac{R \Delta\theta}{\Delta t} = R \omega \quad \longrightarrow \quad v = R \omega$$

MOTO CIRCOLARE UNIFORME

accelerazione



$$a = \frac{|\vec{v}_2 - \vec{v}_1|}{\Delta t} = \frac{|\vec{AB}|}{\Delta t} = \frac{\overline{AB}}{\Delta t} \approx \frac{\widehat{AB}}{\Delta t} = \frac{v \Delta\theta}{\Delta t} = v \omega = \omega^2 R$$

(Δt piccolo)

$$a = \omega^2 R$$

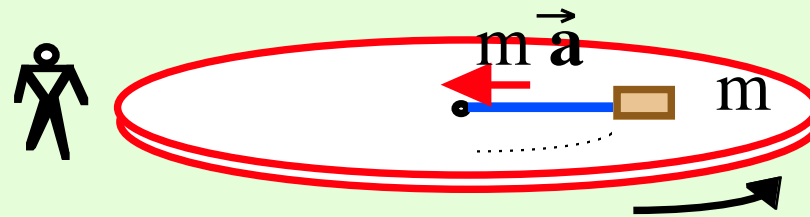
FORZA CENTRIFUGA

corpo massa m in moto circolare uniforme

sistemi di riferimento inerziali

A - OSSERVATORE INERZIALE

$$F_{\text{centripeta}} = m \omega^2 R$$



corpo si muove di moto circolare :

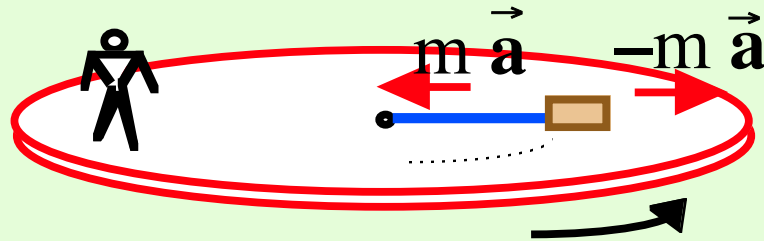
$$\vec{T} = m \vec{a}$$

fune applica forza \vec{T} che causa accelerazione centripeta



FORZA CENTRIFUGA

B - OSSERVATORE RUOTANTE (NON INERZIALE)



corpo fermo : $\vec{F}_{\text{totale}} = 0$

forza di tensione \vec{T} ($= m \vec{a}$) della fune controbilanciata da una forza apparente $\vec{F} = -m \vec{a}$ (forza centrifuga)

$$\mathbf{F} = m \omega^2 \mathbf{R}$$

direzione centrifuga

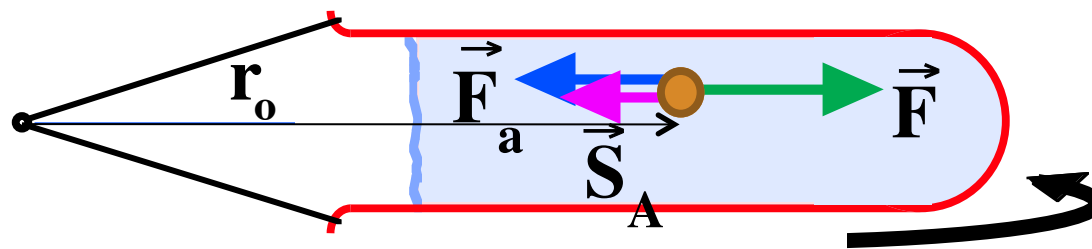




$F = m \omega^2 R$
direzione centrifuga

CENTRIFUGAZIONE

provetta in rotazione



$$\begin{aligned} \mathbf{F} &= m \omega^2 \mathbf{r}_o \\ \mathbf{S}_A &= -m' \omega^2 \mathbf{r}_o \\ \mathbf{F}_a &= -f \mathbf{v} \end{aligned}$$

(forza peso trascurabile)

(si trascurano anche le variazioni di r_o che usualmente e' molto piu' grande della distanza percorsa dalla particella nella centrifuga => $r_o \sim \text{cost.}$)

m, V, d = massa, volume, densità particella
 m', d' = massa, densità liquido

equilibrio dinamico $\vec{\mathbf{F}}_a + \vec{\mathbf{F}} + \vec{\mathbf{S}}_A = \mathbf{0}$

$$\mathbf{F} - \mathbf{S}_A = \mathbf{F}_a = f \mathbf{v} = f \mathbf{v}_s \quad \longrightarrow \quad \mathbf{v}_s = \frac{\mathbf{F} - \mathbf{S}_A}{f}$$



CENTRIFUGAZIONE

$$\begin{aligned} \mathbf{v}_s &= \frac{\mathbf{F} - \mathbf{S}_A}{\mathbf{f}} = \frac{m\omega^2 r_o - m'\omega^2 r_o}{\mathbf{f}} = \frac{dV\omega^2 r_o - d'V\omega^2 r_o}{\mathbf{f}} = \\ &= \frac{V\omega^2 r_o (d - d')}{\mathbf{f}} \end{aligned}$$

particella sferica \longrightarrow $\mathbf{f} = 6\pi \eta r$

$$\mathbf{v}_s = \frac{V\omega^2 r_o (d - d')}{\mathbf{f}} = \frac{\frac{4}{3} \pi r^3 \omega^2 r_o (d - d')}{6\pi \eta r}$$

CENTRIFUGAZIONE

$$\frac{V\omega^2 r_o (d - d')}{f}$$

particella sferica \longrightarrow $f = 6\pi \eta r$

$$v_s = \frac{V\omega^2 r_o (d - d')}{f} = \frac{\frac{4}{3} \pi r^3 \omega^2 r_o (d - d')}{6\pi \eta r}$$

$$v_s = \frac{2}{9} \frac{r^2 \omega^2 r_o (d - d')}{\eta}$$

CENTRIFUGAZIONE

esempio

centrifuga : raggio $r_0 = 10 \text{ cm}$, $\omega = 10000 \text{ r.p.m.} = 10^4 \text{ r.p.m.}$

- $\omega = 10000 \text{ r.p.m.} = \frac{10^4 2\pi}{60 \text{ s}} = 1.05 10^3 \text{ s}^{-1}$
- $a = \omega^2 r_0 = (1.05 10^3 \text{ s}^{-1})^2 \times 10 \text{ cm} = 1.1 10^7 \text{ cm s}^{-2}$
 $\approx 10^4 g$ (*g accelerazione di gravita'*)
(cioe' 10000 volte la forza di gravita' !!)

con questi valori di centrifugazione:

vel. sedimentazione di albumina in acqua $\sim 5 10^{-6} \text{ cm/s}$

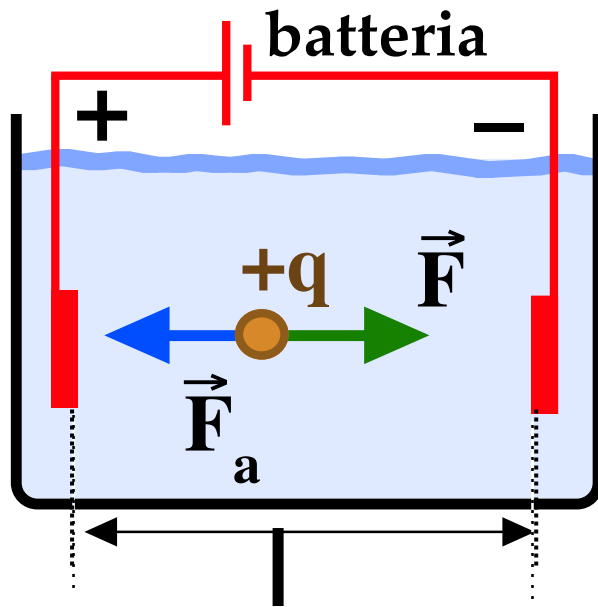
vel. sedimentazione del virus influenzale in acqua $\sim 7 10^{-4} \text{ cm/s}$



ELETTROFORESI

moto orizzontale

particella dotata di carica elettrica $+q$
sottoposta all'azione di un campo elettrico \vec{E}



$$\vec{F} = +q \vec{E} \quad \vec{F}_a = -f \vec{v}$$

equilibrio dinamico

$$\vec{F}_a + \vec{F} = 0 \rightarrow \mathbf{F} = \mathbf{F}_a = f \mathbf{v} = f \mathbf{v}_s$$

$$\mathbf{v}_s = \frac{\mathbf{F}}{f} = \frac{q \mathbf{E}}{f}$$

particella sferica : $f = 6\pi \eta r$

$$\mathbf{v}_s = \frac{q \mathbf{E}}{6\pi \eta r}$$