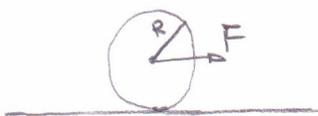


- Como ocorre o rolamento sem deslizamento?

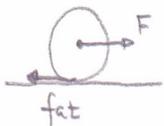
- Suponho um disco perfeito sobre superfície perfeita: só há um ponto de contato



Para iniciar o mov., aplico uma força  $F$  sobre o CM (ou sobre o eixo).

Com isso há um deslocamento do CM e do objeto todo.

O disco tende a deslizar <sup>p/ frente</sup> sobre a superfície. Assim, aparece uma  $f_{at}$  tentando evitar esse deslizamento: do zero para a esquerda, tentando impedir o mov. devido a  $\vec{F}$ .



O valor do  $f_{at}$  será exatamente o necessário p/ evitar o deslizamento (até o limite de  $\mu EN$ ).

Essa  $f_{at}$  faz com que o disco comece a rodar em torno de CM; giro um  $\omega$  no sentido horário.

O valor do  $f_{at}$  será tal que o ponto de contato não deslize, ou seja  $v_{cm} = \omega R$  (novamente até o limite  $\mu EN$ )

$$\begin{cases} F = m a_{cm} \\ f_{at} R = I \alpha \\ \alpha = \frac{a_{cm}}{R} \end{cases}$$

$$\rightarrow f_{at} = \frac{I}{R} \frac{a_{cm}}{R} = \frac{I}{R^2} \frac{F}{m} = \frac{I}{m R^2} F$$

Se  $F$  for muito grande pode haver deslizamento. A  $f_{at}$  não consegue produzir  $\alpha$  tal que  $\alpha = a_{cm}/R$

O valor máximo é'  $\boxed{\frac{I}{m R^2} F \leq \mu EN}$

- Se em algum momento  $F=0$  então  $f_{at}$  também vai a zero. O disco continua rolando sem deslizar com  $v_{cm} = WR$

→  $f_{at} = 0$  porque não há tendência a deslizamento. Só haverá se  $W$  ou  $v_{cm}$  mudar; o que necessita uma força!

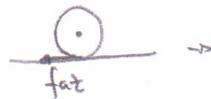
→ Suponho que por alguma razão:

i)  $v_{cm}$  diminui ou  $W$  aumenta → aparece  $f_{at}$  p/ frente



Ele vai "tentar" aumentar  $v_{cm}$  e diminuir  $W$ , até que  $v_{cm} = WR$ . Quando isso ocorre,  $f_{at} = 0$  novamente

ii)  $W$  diminui ou  $v_{cm}$  aumenta → aparece  $f_{at}$  p/ trás



Ele vai "tentar" diminuir  $v_{cm}$  e aumentar  $W$ , até que  $v_{cm} = WR$ . Quando isso ocorre,  $f_{at} = 0$  novamente

→ Pode parecer estranho que a  $f_{at}$  seja a responsável pela rotação ( $\tau^F = 0$ ) sendo que ele não realiza trabalho ( $f_{at}$  é estático).

Como ele gera energia cinética?

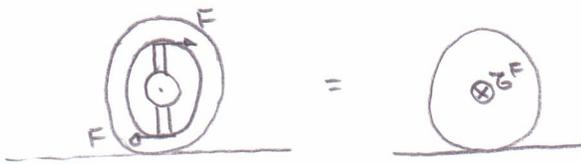
- Porém essa análise em termos de translação do CM + rotação em torno do CM é somente uma entre outras possíveis.

- Podemos imaginar o movimento como sendo rotação em torno do ponto de contato, a cada instante. Nesse caso o torque da  $f_{at}$  é 0 e o do  $F$  não.  $F$  produz a rotação e realiza o trabalho.

- No final o movimento tem como origem ambas as forças.

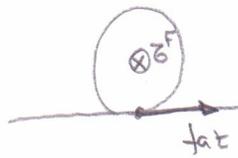
- Em geral, dizemos que parte do energia cinética, "visível" energia cinética de rotação é que  $K = \frac{I\omega^2}{2} + \frac{m\vec{v}_c^2}{2}$
- Mas quem transferiu parte de  $K$  para  $I\omega^2/2$ , se faz não realiza trabalho? Mas não é necessário  $W$  p/ essa transferência de energia, porque na verdade não houve transferência já que ambos são energias cinéticas. Essa distinção entre  $K$  de rotação e translação é somente "matemática" e conveniente.

É uma situação onde algum "motor" gera um torque "interno" sobre o disco ou rodo



$\tau^F$  irá produzir uma rotação no sentido horário.

Assim haverá um deslizamento e irá surgir uma  $f_{at}$  p/ frente



O valor de  $f_{at}$  irá ser o necessário p/ evitar o deslizamento, ou seja tal que  $v_{cm} = WR$  (até o limite  $\mu EN$ )

A  $f_{at}$  acaba tentando diminuir  $W$  e aumentar  $v_{cm}$  p/ que

$$v_{cm} = WR$$

As eq.s ficam

$$\left\{ \begin{array}{l} f_{at} = macm \\ \tau^F - f_{at}R = I\alpha \\ \alpha = \frac{acm}{R} \end{array} \right. \rightarrow f_{at} = \left[ \frac{mR}{I + mR^2} \right] \tau^F \leq \mu EN$$

$$a \leq \frac{\mu EN}{m}$$

Se  $\tau$  for muito grande haverá deslizamento!