1.2.15 Nakloněná rovina II

Předpoklady: 1214

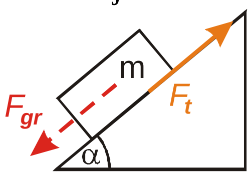
Pomůcky: siloměr 2,5 N, sada na měření třecí síly.

Pedagogická poznámka: V této a následující hodině se neprobírá žádná nová látka. Přesto jde o poměrně důležité hodiny, protože žáci se v nich učí postupovat fyzikálně logicky - rozebrat situaci a na základě této situace se v rámci pravidel rozhodnout o řešení. Ještě více než jindy je nutné, aby žáci příklady řešili samostatně. Jen tím si ozkouší, zda situaci rozumí a jen tak se projeví, čemu nerozumí.

Pedagogická poznámka: Pokud nemáte zavedený systém, který by žáky nutil k pamatování, doporučuji napsat na tabuli vzorce pro síly a rozklad gravitační síly na nakloněné rovině, aby se žáci mohli věnovat příkladům a neřešili neznalost vztahů.

Př. 1: Koeficient statického tření mezi krabičkou a dřevem je $f_0 = 0,3$. Urči maximální úhel nakloněné roviny, při kterém se krabička samovolně nerozjede. Jak se bude pohybovat, pokud do ní na nakloněné rovině s tímto úhlem strčíme? Proč?

Krabička se může pohybovat pouze ve směru roviny $\Rightarrow$ nakreslíme obrázek se všemi silami, které mají směr nakloněné roviny a působí na krabičku.



Se zvětšování sklonu roviny roste velikost rovnoběžné složky gravitační síly F_{gr} a zmenšuje se tření $\Rightarrow$ při maximálním úhlu se tyto dvě síly rovnají: $F_{gr} = F_t$.

Dosadíme: $F_{gr} = mg \sin\alpha$ $\qquad$ $F_t = N \cdot f = F_{gk} f = mg \cos\alpha \cdot f$

$$mg \sin\alpha = mg \cos\alpha f$$

$$\sin\alpha = \cos\alpha f$$

$$\frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = \mathrm{tg}\alpha = f$$

Dosazení: $\mathrm{tg}\alpha = f = 0,3 \Rightarrow \alpha = \mathrm{arctg} 0,3 = 16°42'$

Nakloněná rovina může mít maximálně úhel $16°42'$. Pokud do krabičky na takové rovině strčíme, začne se pohybovat, místo statického tření se objeví menší dynamické a krabička se bude pohybovat rovnoměrně zrychleně.

Pedagogická poznámka: Asi se najde někdo, kdo si nevzpomene, že na kalkulačce nemačká klávesu tan, ale klávesu $\tan^{-1}$.

Př. 2: Změř pomocí nakloněné roviny hodnotu klidového tření mezi dvěma povrchy. Ověř naměřenou hodnotu jinou metodou.

Využijeme řešení předchozího příkladu. Změříme maximální úhel nakloněné roviny, při kterém se krabička ještě nerozjede.
Například pro pokusný kvádřík na hrubém sololitu platí: $\alpha_{\max} = 32,5°$.
$f = \mathrm{tg}\,\alpha = \mathrm{tg}\,32,5° = 0,64$
Ověření: Můžeme koeficient tření určit ze vzorce $F_t = Nf$ tak, že určíme pomocí siloměru zavěšením kolmou tlakovou sílu N a rovnoměrným tažením třecí sílu F_t.
Platí: $N = 1,65\,\mathrm{N}$.
Jakou hodnotu F_t bychom měli naměřit?
$F_t = Nf = 1,6 \cdot 0,64\,\mathrm{N} = 1,0\,\mathrm{N}$
Naměřená hodnota $F_t = 0,8\,\mathrm{N}$. Proč hodnota neodpovídá?
Dva důvody:

- Měření siloměrem není přesné, pružina má hmotnost, která se projeví při zavěšování, ale neprojeví se při tažení ve vodorovném směru (tento rozdíl je přibližně 0,1 N).
- Na nakloněné rovině jsme měřili statické tření (kvádřík se nepohyboval), při tažení jsme měřili dynamické tření (kvádřík se pohyboval).

Pedagogická poznámka: O problémech s ověřování a chybách s žáky samozřejmě diskutujeme a nechávám jim čas na samostatné hledání.

Pedagogická poznámka: Před následujícím příkladem zdůrazňuji, že nejdůležitější je použít stále stejný postup na různé situace zadané v jednotlivých bodech. V žádném případě nejde o to zapamatovat si výsledky jednotlivých bodů.

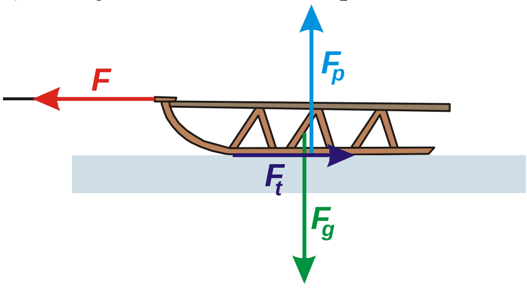
Pedagogická poznámka: Při řešení následujícího příkladu je nutné dát u slabších žáků pozor, zda si uvědomují, že rozkladem nahradili jednu sílu F_g dvěma silami F_{gr} a F_{gk}. Někteří stále uvažují všechny tři síly a diví se, proč se síla F_g do ničeho nezapočítává.

Pedagogická poznámka: Dosazování vztahů pro jednotlivé síly není hlavním cílem následujícího příkladu. stačí jej provést v několika prvních bodech a pak jít hlavně za tím, aby žáci v co největším počtem bodů provedli rozbor sil a zapsali základní vztah pro *F*.

Př. 3: Tatínek táhne silou *F* sáně o hmotnosti *m*. Koeficient smykového tření mezi saněmi a sněhem je *f*. Zapiš vztah pro velikosti síly *F*, pokud sáně
a) jedou rovnoměrně po vodorovné rovině,
b) jedou rovnoměrně nahoru do svahu s úhlem α,
c) jedou po vodorovné rovině a zrychlují se zrychlením *a*,
d) jedou rovnoměrně dolu ze svahu s úhlem α,
e) jedou nahoru do svahu s úhlem α a zrychlují se zrychlením *a*,
f) jedou po vodorovné rovině a zpomalují se zrychlením *a*,
g) jedou dolů ze svahu s úhlem α a zpomalují se zrychlením *a*,
h) jedou nahoru do svahu s úhlem α a zpomalují se zrychlením *a*,
ch) jedou dolu ze svahu s úhlem α a zrychlují se zrychlením *a*.

Ve všech bodech předpokládej, že situace je taková, že tatínek musí sáně táhnout silou, aby se pohybovaly požadovaným způsobem. Ve všech bodech nejdříve sestav vztah pro sílu F a pak do něj dosaď vyjádření vystupujících sil. Odpor vzduchu zanedbej.

a) sáně jedou rovnoměrně po vodorovné rovině



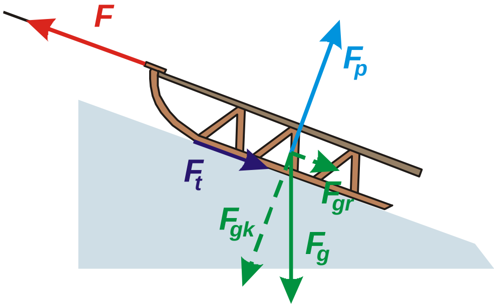
Na sáňky působí čtyři síly:

- gravitační síla F_g kolmo dolů,
- síla F_p podložky (sněhu) kolmo vzhůru,
- síla F tatínka vodorovně ve směru pohybu,
- třecí síla F_t vodorovně proti směru pohybu.

Sáně se pohybují rovnoměrně $\Rightarrow$ výsledná síla je nulová $\Rightarrow$ pro velikosti sil ve vodorovném směru platí $F = F_t$.

$$F = F_t = Nf = F_g f = mgf$$

b) sáně jedou rovnoměrně nahoru do svahu s úhlem α



Na sáňky působí čtyři síly:

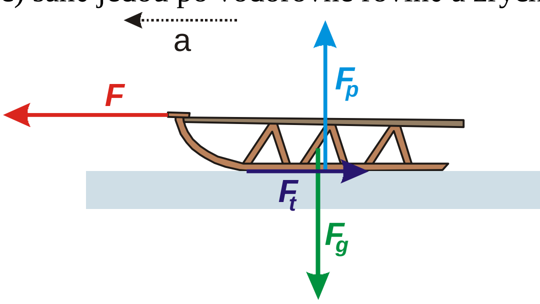
- gravitační síla F_g kolmo dolů,
- síla F_p podložky (sněhu) kolmo povrch,
- síla F tatínka ve směru pohybu,
- třecí síla F_t proti směru pohybu.

Gravitační sílu můžeme rozdělit na rovnoběžnou (F_{gr}) a kolmou (F_{gk}) složku.

Sáně se pohybují rovnoměrně $\Rightarrow$ výsledná síla je nulová $\Rightarrow$ pro velikosti sil působící rovnoběžně s nakloněnou rovinou platí $F = F_t + F_{gr}$.

$$F = F_t + F_{gr} = Nf + mg\sin\alpha = F_{gk} f + mg\sin\alpha = mg\cos\alpha f + mg\sin\alpha = mg\left(\cos\alpha f + \sin\alpha\right)$$

c) sáně jedou po vodorovné rovině a zrychlují se zrychlením a



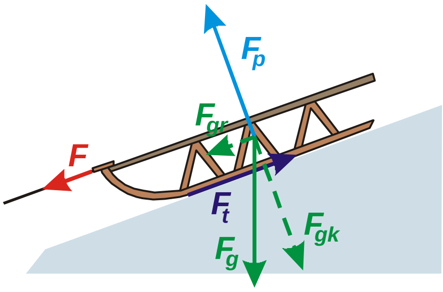
Na sáňky působí čtyři síly:

- gravitační síla F_g kolmo dolů,
- síla F_p podložky (sněhu) kolmo vzhůru,
- síla F tatínka vodorovně ve směru pohybu,
- třecí síla F_t vodorovně proti směru pohybu.

Sáně se pohybují se zrychlením $\Rightarrow$ výsledná síla je nenulová a je určena silami, které působí ve vodorovném směru $\Rightarrow$ $F_V = F - F_t$ $\Rightarrow$ $F = F_t + F_V$.

$$F = F_t + F_V = Nf + ma = F_g f + ma = mgf + ma = m\left(gf + a\right)$$

d) sáně jedou rovnoměrně dolu ze svahu s úhlem α



Na sáňky působí čtyři síly:

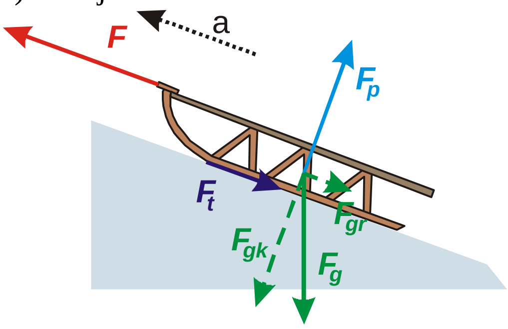
- gravitační síla F_g kolmo dolů,
- síla F_p podložky (sněhu) kolmo povrch,
- síla F tatínka ve směru pohybu,
- třecí síla F_t proti směru pohybu.

Gravitační sílu můžeme rozdělit na rovnoběžnou (F_{gr}) a kolmou (F_{gk}) složku.

Sáně se pohybují rovnoměrně $\Rightarrow$ výsledná síla je nulová $\Rightarrow$ pro velikosti sil působící rovnoběžně s nakloněnou rovinou platí $F + F_{gr} = F_t \;\Rightarrow\; F = F_t - F_{gr}$.

$$F = F_t - F_{gr} = Nf - mg\sin\alpha = F_{gk} f - mg\sin\alpha = mg\cos\alpha f - mg\sin\alpha = mg\left(\cos\alpha f - \sin\alpha\right)$$

e) sáně jedou nahoru do svahu s úhlem α a zrychlují se zrychlením a



Na sáňky působí čtyři síly:

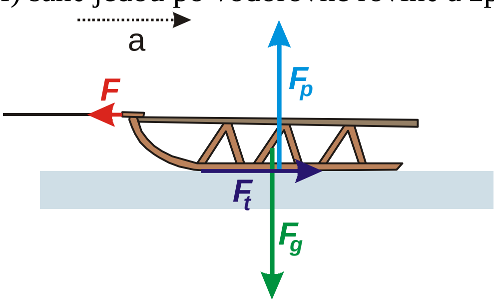
- gravitační síla F_g kolmo dolů,
- síla F_p podložky (sněhu) kolmo povrch,
- síla F tatínka ve směru pohybu,
- třecí síla F_t proti směru pohybu.

Gravitační sílu můžeme rozdělit na rovnoběžnou (F_{gr}) a kolmou (F_{gk}) složku.

Sáně se pohybují se zrychlením $\Rightarrow$ výsledná síla je nenulová a je určena silami, které působí rovnoběžně s nakloněnou rovinou: $F_V = F - F_t - F_{gr} \;\Rightarrow\; F = F_t + F_{gr} + F_V$.

$$F = F_t + F_{gr} + F_V = Nf + mg\sin\alpha + ma = F_{gk} f + mg\sin\alpha + ma = mg\cos\alpha f + mg\sin\alpha + ma$$

f) sáně jedou po vodorovné rovině a zpomalují se zrychlením a



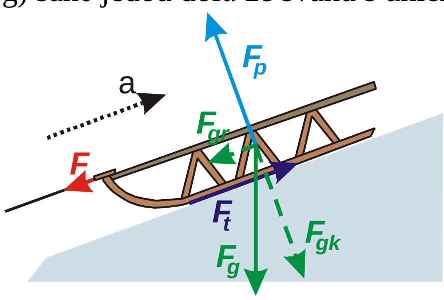
Na sáňky působí čtyři síly:

- gravitační síla F_g kolmo dolů,
- síla F_p podložky (sněhu) kolmo vzhůru,
- síla F tatínka vodorovně ve směru pohybu,
- třecí síla F_t vodorovně proti směru pohybu.

Sáně se pohybují se zrychlením $\Rightarrow$ výsledná síla je nenulová a je určena silami, které působí ve vodorovném směru $\Rightarrow$ $F_V = F_t - F \;\Rightarrow\; F = F_t - F_V$.

$$F = F_t - F_V = Nf - ma = F_g f - ma = mgf - ma = m\left(gf - a\right)$$

g) sáně jedou dolů ze svahu s úhlem α a zpomalují se zrychlením a



Na sáňky působí čtyři síly:

- gravitační síla F_g kolmo dolů,
- síla F_p podložky (sněhu) kolmo povrch,
- síla F tatínka ve směru pohybu,
- třecí síla F_t proti směru pohybu.

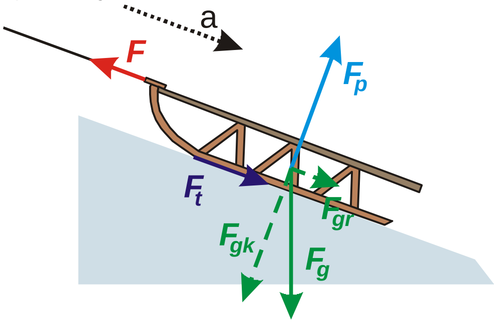
Gravitační sílu můžeme rozdělit na rovnoběžnou

(F_{gr}) a kolmou (F_{gk}) složku.

Sáně se pohybují se zrychlením $\Rightarrow$ výsledná síla je nenulová a je určena silami, které působí rovnoběžně s nakloněnou rovinou: $F_V = F_t - F - F_{gr} \;\Rightarrow\; F = F_t - F_{gr} - F_V$.

$$F = F_t - F_{gr} - F_V = Nf - mg\sin\alpha - ma = F_{gk} f - mg\sin\alpha - ma = mg\cos\alpha f - mg\sin\alpha - ma$$

h) sáně jedou nahoru do svahu s úhlem α a zpomalují se zrychlením a



Na sáňky působí čtyři síly:

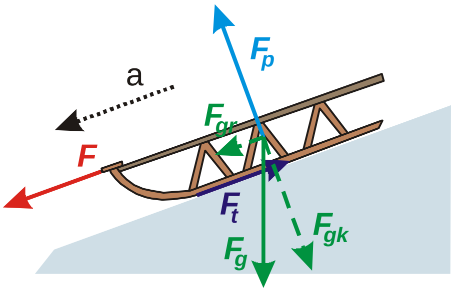
- gravitační síla F_g kolmo dolů,
- síla F_p podložky (sněhu) kolmo povrch,
- síla F tatínka ve směru pohybu,
- třecí síla F_t proti směru pohybu.

Gravitační sílu můžeme rozdělit na rovnoběžnou (F_{gr}) a kolmou (F_{gk}) složku.

Sáně se pohybují se zrychlením $\Rightarrow$ výsledná síla je nenulová a je určena silami, které působí rovnoběžně s nakloněnou rovinou: $F_V = F_t + F_{gr} - F \;\Rightarrow\; F = F_t + F_{gr} - F_V$.

$$F = F_t + F_{gr} - F_V = Nf + mg\sin\alpha - ma = F_{gk} f + mg\sin\alpha - ma = mg\cos\alpha f + mg\sin\alpha - ma$$

ch) sáně jedou dolu ze svahu s úhlem α a zrychlují se zrychlením a



Na sáňky působí čtyři síly:

- gravitační síla F_g kolmo dolů,
- síla F_p podložky (sněhu) kolmo povrch,
- síla F tatínka ve směru pohybu,
- třecí síla F_t proti směru pohybu.

Gravitační sílu můžeme rozdělit na rovnoběžnou (F_{gr}) a kolmou (F_{gk}) složku.

Sáně se pohybují se zrychlením $\Rightarrow$ výsledná síla je nenulová a je určena silami, které působí rovnoběžně s nakloněnou rovinou: $F_V = F + F_{gr} - F_t \;\Rightarrow\; F = F_t + F_V - F_{gr}$.

$$F = F_t + F_V - F_{gr} = Nf + ma - mg\sin\alpha = F_{gk} f + ma - mg\sin\alpha = mg\cos\alpha f + ma - mg\sin\alpha$$

Shrnutí: Různé příklady řešíme pomocí několika málo vzorců na základě konkrétní situace.