Kladky, od uplnych zakladov az k narocnejsim ukloham

Juro Tekel juraj(dot)tekel(at)gmail(dot)com

Poznamky k prednaske o tom, ako funguju lana a kladky a ako sa vysporiadat s ulohami o nich, od tych najjednoduchsich az po tie nie.

Jun 2010 *Lazy pod Makytou 2010*

Contents

1 Uvod

Zdroje prikladov ako aj odporucane citanie k tejto problematike je uvedene na zaver textu.

Priklady pochadzaju zvacsa zo zbierok FKS, FX, Naboja FKS a uloh Fyzikalnej Olympiady, autorom ktorych patri velka vdaka.

Co budeme potrebovat?

Nebudeme toho na zaciatok potrebovat vediet vela. Vystacime si z druhym Newtonovym zakonom

$$F = m \times a \tag{1}$$

ktory hovori, ze ak sa teleso hmostnosti m hybe so zrychlenim a, potom na neho musi posobit sila F. Toto mozno upravit na

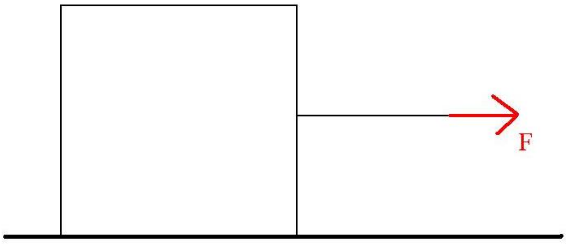
$$a = \frac{F}{m} \tag{2}$$

ktory hovori cosi trochu ine. Ak na teleso hmotnosti m posobi sila F, potom sa hybe so zrychlenim a.

O vsetkych lanach v tomto texte budeme predpokladat, ze su dokonale pevne. To znamena ze nech na ne posobi lubovolna sila, stale si drzia svoju povodnu dlzku. Tak isto ze su dokonale pevne, teda neroztrhnu sa pri lubovolnej posobiacej sile. A az na jeden priklad budeme povazovat vsetky lana za nehmotne.[1]

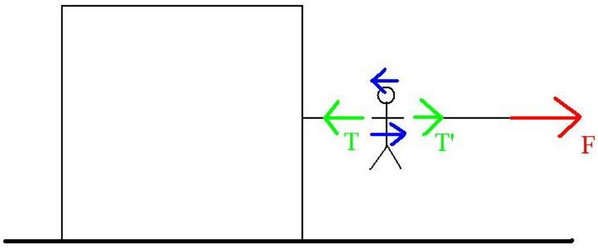
2 Ako to funguje s tahovymi silami v lanach

Na uvod je dolezite si uvedomit, co je a ako funguje tahova sila v lanach.



Tahajme nejaky predmet za spagat po podlozke bez trenia silou F. Klucove bude, ze v tomto pripade neposobime na teleso silou F! Posobime na spagat a spagat posobi na predmet nejakou silou. V celom lane teda vznikne nejaka sila, ktora 'prenesie' nase posobenie na tahany predmet. Tejto sile sa hovori tahova a budeme ju oznacovat T.

Pozrime sa teraz, co sa stane ked lano rozsekneme a na rozsenute miesto vlozime nehmotneho trpaslika, ktory bude drzat dva vzniknute konce.

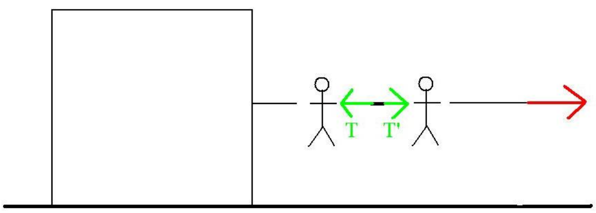


Trpaslik musi posobit silou, aby udrzal lano, preto aj lano musi posobit na trpaslika. Toto je prave nasa tahova sila, ktoru sme v obrazku oznacili T, T'. Vsimnime si, ze zatial nic nenuti tieto dve sily byt rovnake. Na trpaslika ale posobi vysledna sila $T - T'$. Kedze je nehmotny z rovnice 1 dostavame ze sila, ktora ne neho posobi musi byt

$$0 \times a = 0$$

To ale znamena ze $T = T'$ a v nejakom mieste lana posobi rovnako velka tahova sila oboma smermi.

Vlozme teraz vedla prveho trpaslika druheho.

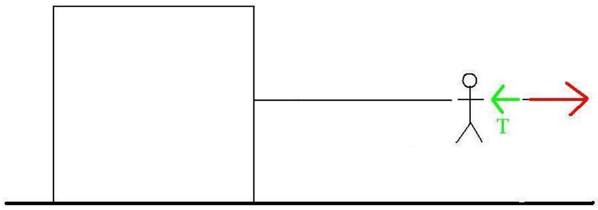


[1]Tento predpoklad sa da o cosi zjemnit ked by sme na miesto toho predpokladali, ze vsetky lana su ovela lahsie ako ostatne objekty, ktore sa budu vyskytovat. To znamena ze predpokladame ze tiaz lan je ovela mensia ako sily, ktorymi su lana namahane. Odporucam premysliet, ako by uvahy vyzerali s tymto predpokladom.

Sily, ktorymi posobia trpaslici na kusy lana opat nemusia byt rovnake a oznacili sme ich T, T'. Na kus lana, ktory sa nachadza medzi trpaslikmi posobi opat vysledna sila $T - T'$. Tento kusok ma vsak nulovu hmotnost a preto rovnako ako na trpaslika v predchadzajusom pripade na neho musi posobit nulova sila a dostavame $T = T'$. Takto sme prisli na velmi dolezity poznatok

Ak na koniec lana posobi sila, potom sa v lane vytvori tahova sila, ktora je rovnaka po celej jeho dlzke.

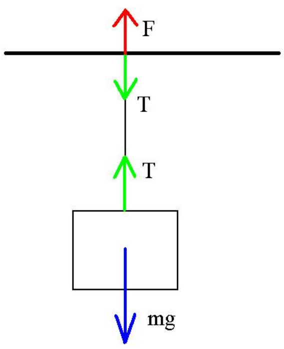
Umiestnime teraz trpaslika uplne na koniec lana, tesne pred miesto, kde posobime silou F.



Rovnakou uvahou ako v predchadzajucich pripadoch dostavame, ze $T = F$ a teda v lane vznikne tahova sila, rovnaka ako sila, ktorou posobime na konci lana.

Priklad 1. *Teleso hmotnosti m vysi na spagate zo stropu. Akou silou posobi na strop?*

Riesenie. V obrazku si vyznacime sily, tiazovu mg, tahovu silu lana T a silu stropu F.



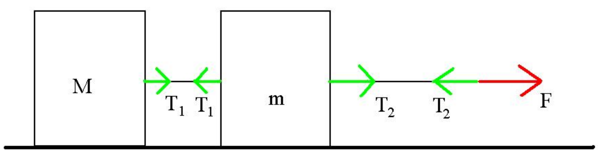
Teleso je v pokoji, takze vyslednica sil, ktore na neho posobia je nulova, preto $T = mg$. Tah v lane je vsade rovnaky, preto lano posobi rovnakou silou na strop a $F = mg$.

Vidime ze sme nedostali nic prekvapujuce, dolzeite je ale zas a opat si uvedomit dolezitu ideu totho, ze tu neposobi na strop teleso ale lano.

Pozrime sa na iny, o cosi zlozitejsi priklad.

Priklad 2. *Majme dve telesa hmotnosti M a m spojene lanom. Teleso hmotnosti m tahame za lano silou F. Urcte, s akym zrychlenim sa bude sustava pohybovat a ake budu tahove sily v jednotlivych lanach.*

Riesenie. Opat si nakreslime vsetky relevantne sily



Zamyslime sa teraz, ake vysledne sily posobia na telesa. Na teleso M posobi sila T_1 do prava, na teleso m posobi sila T_2 do prava a sila T_1 do lava. Uz vieme ze $T_2 = F$. Ak oznacime kladny smer do prava, potom su tieto vylsedne sily T_1 a $F - T_1$.

Teraz pride klucova uvaha celeho textu. Kedze lana su nenatiahnutelne, obe telesa sa budu pohybovat s rovnakym zrychlenim! Ak by zrychlenie telesa M bolo mensie, potom by sa vzdialenost medzi telesami zvacsovala a lano by sa natahovalo. Ak by toto zrychlenie bolo vacsie, ich vzdialenost by sa zmensovala, lano by prestalo byt natiahnute a prestalo by na telesa posobit silou.

Mame teda vysledne sily psoobiace na telesa, mame ich hmotnosti a ich zrychlenia, nic nam nebrani napisat pre nich pohybove rovnice (1)

$$\begin{aligned} T_1 &= Ma \\ F - T_1 &= ma \end{aligned}$$

Vidime ze sa jedna o sustavu dvoch rovnic o dvoch neznamich, ktoru ked vyriesite vasou oblubenou metodou, dostanete

$$\begin{aligned} a &= \frac{F}{m+M} \\ T_1 &= \frac{M}{m+M}F \end{aligned}$$

Pred tym ako s pocitom dobre vykonanej prace prejdeme dalej, zamyslime sa nad tym, co tieto dva vztahy znamenaju.

V prvom rade vidime ze $T_1 < F$. V druhom lane je tahova sila mensia, ako sila, ktorou posobime my. To je rozumne, nakolko na teleso m musi posobit nejaka vysledna sila smerom do prava, aby tam zrychlovalo. V pripade $m = 0$ dostavame $T_1 = F$, co je tiez fajn, pretoze tu funguje teleso m ako trpaslik z predchadzajucich uvah a musime teda dostat rovnaku silu napravo aj nalavo.

No a zrychlenie je rovnake, ako keby sila posobila na jedno teleso s hmotnostou $m + M$. To je tiez rozumne. Tieto dve telesa s lanami tvoria uzavretu sustavu a rovnica (2) plati pre lubovolnu sustavu, nie len pre jednotlive telesa. Vysledna vonkajsia sila posobiaca na sustavu je F (tahove sily su sili posobiace vo vnutry susatavy) a teda nic ine ako $F/(m + M)$ sme pre zrychlenie ani dostat nemohli.

Priklad 3. *Majme opat dve telesa hmotnosti M a m spojene lanom. Na teleso m nech teraz posobi sila F_1 a na teleso M sila F_2 opacnym smerom. Vypocitajte zrychlenie telies a tah v lane, ktore ich spaja.*

Riesenie. DOPLNIT

Nasleduju dva priklady, ktore nie su nutne potrebne na pochopenie zakladnych prikladov o kladkach, takze pri prvom citani ich mozno preskocit. Neskor sa vsak k nim odporucame vratit, nakolko ilustruju problem hmotneho lana.

Priklad 4. *Majme N zavazi, ktore su jedna na druhom zavesene zo stropu. Vypocitajte akou silou su namahane lana medzi jednotlivymi zavaziami.*

Riesenie. DOPLNIT

Priklad 5. *Slubeny priklad s hmotnym lanom. Lano dlzky L a hmotnosti M volne vysi zo stropu zavesene za jeden so svojich koncov. Vypocitajte, akou siliu je lano namahante vo vzdialenosti x od miesta zavesu. Ako tento priklad suvisi s predchadzajucim?*

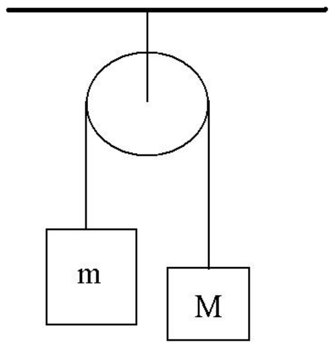
Riesenie. DOPLNIT

3 Kladky od zakladu a niekolko jednoduchsich uloh

Ako uz asi viete, kladka je koleso na oske, ktora sa da za cosi zavesit. Budeme predpokladat, ze kladka sa moze okolo tejto osky otacat bez trenia. Tiez budeme predpokladat, ze kladky su nehmotne, takze na ich pohyb a roztacanie nebude potrebna ziadna energia. No a nakoniec budeme predpokladat, ze lano sa moze po kladkach pohybovat bez trenia.

A zacnime hned zhurta, prikladom.

Priklad 6. *S akym zrychlenim sa budu pohybovat nasledujuce dve telesa*

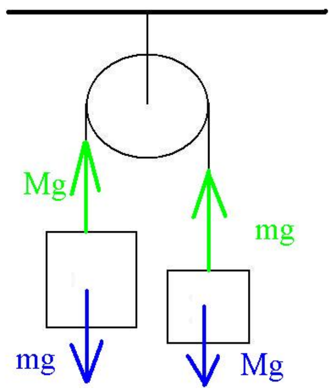


Akou silou je napinane lano, ktorym je kladna pripevnena k stropu?

Riesenie. Najskor si ukazeme zle riesenie tohto prikladu, potom si vysvetlime preco je zle, ako vyzera dobre a na zaver si uvedomime, ze tento priklad me uz vlastne vyriesili v predchadzajucej ulohe.

Takze nasleduje **zle** riesenie.

Do obrazka si nakreslime sily



Teleso m posobi na teleso M svojou tiazovou silou a naopak. Tu si teraz napiseme pohybove rovnice

$$\begin{aligned} MA &= Mg - mg \\ -ma &= -Mg + mg \end{aligned}$$

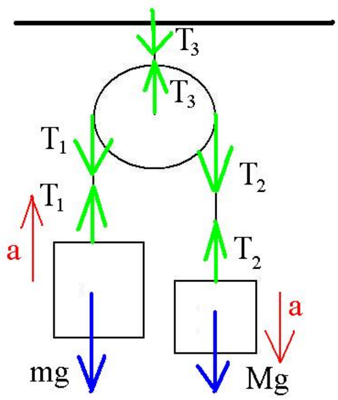
ktorych riesenim je

$$\begin{aligned} A &= \frac{M-m}{M} g \\ a &= \frac{M-m}{m} g \end{aligned}$$

Tento vysledok je nespravny hned z niekolkych dovodov. Napriklad sa pozrime na pripad $m = 0$. Dostavame $A = g$, co je fajn, avsak $a = \infty$, co uz fajn nie je. Toto predznamenava aj iny problem. Kedze $A \neq a$, lano spajajuce telesa by menilo svoju dlzku. To vsak nemoze byt, nakolke je nenatiahnutelne a v pripade, ze by sa niekde zmotavalo strtatilo by svoj tah. Ak sa pozrieme na kladku, na pravej a na lavej strane na nu lano posobi roznymi silami. Preto ju roztaca nenulovy moment sily. Avsak kedze je nehmotna znamenalo by to ze ma nekonecne uhlove zrychlenie, co je nemozme.

Kde sa teda stala chyba? V predpoklade ze teleso m posobi na telese M silou mg. Teleso m na teleso M neposobi!!! Posobi na lano, ktore svojou tahovou silou potom posobi na druhe teleso. Ak by to aj tak bolo, potom teleso M posobi na teleso m inou silou, co je zas v rozpore so zakonom akcie a reakcie.

Ako teda vyzera spravne riesenie? V prvom rade obe telesa sa musia pohybovat s rovnakymi zrychleniami, jedno nahor a druhe nadol. V tomto pripade sa dlzka lana nebude menit. Potom oznacime tah v jednej casti lana T_1 a tah v druhej casti lana T_2 a nakreslime obrazok



Vsimnite si ze tu nemozme len tak pisat $T_1 = T_2$ nakolko nasa uvaha s trpaslikmi tu nemusi platit koli klatke. Uz sme ale naznacili, ze ka by na kladku musi posobit nulovy moment sily, co rovnost sil T_1 a T_2 znamena. Oznacme teda $T = T_1 = T_2$. Z toho, ze aj vyslednica sil posobiacich na kladku musi byt nulova potom dostaneme $T_3 = 2T$. Nic nam teda nebrani napisat si pohybove rovnice pre obe telesa

$$\begin{aligned} \textit{hmotnost } \times \textit{zrychlenie} &= \textit{vyslednica posbiacich sil} \\ Ma &= Mg - T \\ ma &= T - mg \end{aligned}$$

Tuto sustavu opat vyriesime a dostaneme

$$\begin{aligned} a &= \frac{M-m}{M+m} g \\ T &= 2\frac{mM}{M+m} g \\ T_3 = 2T &= 4\frac{mM}{M+m} g \end{aligned}$$

Vidime, ze tieto vztahy uz prejdu vsetkymi testami spravnosti. Ak $m = M$ sustava sa nehybe, ak $m = 0$ alebo $M = 0$ potom $a = g$ a telesa volne padaju. V tomto pripade tiez $T_3 = 0$, co pri volnom pade ocakavame.

Pri prvom citani mozno nasledujucich par riadkov preskocit a pokracovat textom pred prikladom 8. Rozoberat bude teraz totiz detailnejsie prechadzajuci priklad z pohladu posobenia vonkajsich sil a tychto dvoch telies ako uzavretej sustavy.

Priklad 7. *V prechadzajucom priklade vypocitajte, akym zrychlenim sa bude pohybovat tazisko sustavy tychto dvoch telies.*

Riesenie. Uz sme vypocitali, ze telesa sa budu hybat so zrychlenim $\frac{M-m}{M+m}g$, teleso M nadol, teleso m nahor. Pre y-ove suradnice telies teda bude platit

$$\begin{aligned} y_M &= \frac{1}{2}\frac{M-m}{M+m}gt^2 \\ y_m &= y_0 - \frac{1}{2}\frac{M-m}{M+m}gt^2 \end{aligned}$$

kde y_0 je pociatocna poloha taziska telesa m. Nulovu hodnotu y-ovej suradnice sme zvolili v mieste, kde zacinalo svoj pohyb teleso M. Pre y-ovu suracnicu taziska bude platit

$$Y = \frac{my_m + My_M}{m+M} = y_0\frac{m}{m+M} + \frac{1}{2}\frac{\frac{M-m}{M+m}M - \frac{M-m}{M+m}m}{m+M}gt^2 = Y_0 + \frac{1}{2}\left(\frac{M-m}{M+m}\right)^2 gt^2$$

Vidime, ze tazisko bude konat rovnomerne zrychleny pohyb smerom nadol so zrychlenim

$$A = \left(\frac{M-m}{M+m}\right)^2 g$$

Vsimnite si, ze toto zrychlenie je vzdy kladne a tazisko sa bude pohybovat nadol.

Pozrime sa teraz na tieto dve telesa ako na uzavretu sustavu a spytajme sa Newtona a jeho rovnica (2) co on na to. Na nasu sustavu posobia tri vonkajsie sily. Tiazove sily telies a tahova sila lana, ktorym je kladka pripevnena k stropu. Vysledna vonkajsia sila posobiaca na sustavu je potom (vyuzivame vysledok ulohy 6)

$$F = mg + Mg - 4\frac{mM}{M+m}g = \frac{(m+M)^2 - 4mM}{M+m}g = \frac{m^2 + M^2 - 2mM}{m+M}g = \frac{(M-m)^2}{M+m}g$$

Celkova hmotnost sustavy je $M+m$, pri posobiacej sile F by sa teda jeho tazisko malo pohybovat zrychlenim

$$A = \frac{F}{m+M} = \frac{(M-m)^2}{(M+m)^2}g$$

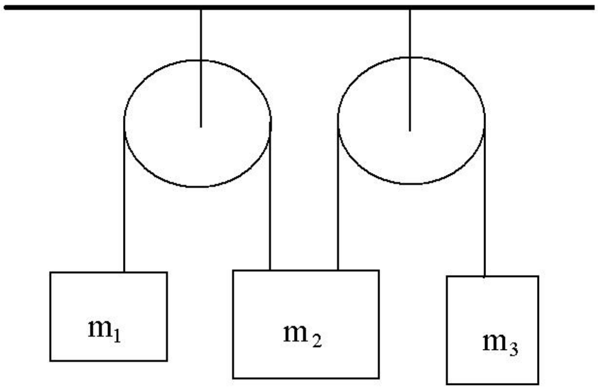
Neprekvapuje nas, ze to je presne zrychlenie, ktore vyslo v predchadzajucej ulohe.

Ako teda utocime na priklady s kladkami?

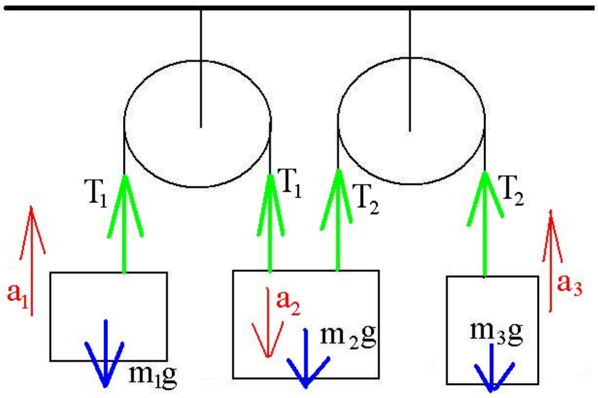
- Nakreslime si obrazok a pooznacujeme vsetky sily a vsetky zrychlenia.
- Tahy v tom istom lane musia byt vsade rovnake a zrychlenia telies na koncoch toho isteho lana musia byt tiez rovnake.
- Na kazdu kladku musi posobit nulova vyslednica cila a nulovy moment sil.
- Pre kazde teleso si napiseme pohybovu rocnicu 1
- Pripadne zaporne zrychlenia znamenaju, ze teleso sa v skutocnosti pohybuje opacnym smerom, ako sme oznacili.

Takato delostrelecka priprava nam teraz pomoze vyriesit kazdy priklad.

Priklad 8. *Vypocitajte zrychlenia telies.*



Riesenie. V obrazku si oznacime sily



Ked sa teleso 1 posunie o vzdialenost x nahor, o rovnaku vzdialenost klesne teleso 2 nadol. Aby sa toto nezacalo otacat, musi aj jeho druha strana klesnut o x nadol a teda teleso 3 o x nahor. Z toho dostavame $a_1 = a_2 = a_3$. Pohybove rocnice preto vyzeraju

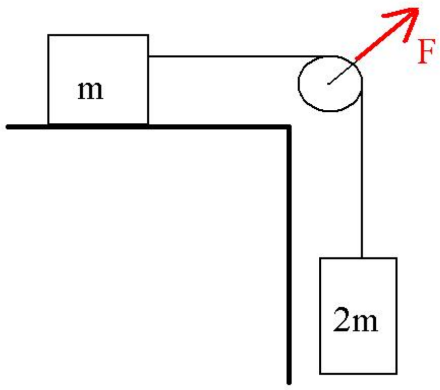
$$\begin{aligned} m_1 a &= T_1 - m_1 g \\ m_2 a &= -T_1 - t_2 + m_2 g \\ m_3 a &= T_2 - m_3 g \end{aligned}$$

S riesenim

$$a = \frac{m_2 - m_1 - m_3}{m_2 + m_1 + m_3} g$$

Vsimnime si, ze pre $m_1 + m_3 > m_2$ dostavame zaporny vysledok a teda teleso 2 pohybujuce sa nahor. To sme ocakavali, lebo v tomto pripade su krajne telesa tazsie a vytiahnu stredne teleso nahor.

Priklad 9. *Akym zrychlenim sa bude pohybovat tato sustava a akou silou F treba tahat kladku?*



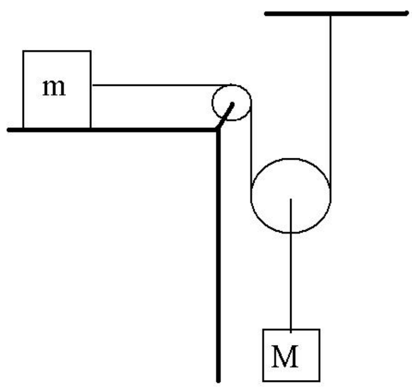
Vysledok. $a = \frac{2}{3}g, F = \frac{2\sqrt{2}}{3}mg$

4 Volna kladka a kladky s pruzinami

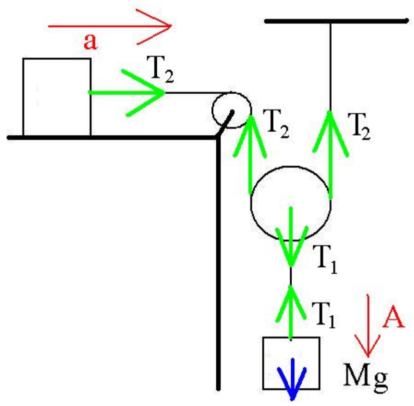
Doteraz sme sa zaoberali iba prikladmi, v ktorych bola oska kladky pripojena k niecomu fixovanemu. Ak ju vsak pripojime k niecomu, co sa moze volne pohybovat dostavame 'volnu' kladku. Opat vyslednica sil, ktore posobia na kladku musi byt nulova. Avsak volne kladky sa budu hybat so zrychleniami tak, aby sa lana ku ktorym su pripevnene nepredlzovali/neskracovali. Treba si premysliet, ze to neodporuje newtonovim zakonom, nakolko $F = ma$ je splnene pre lubovlne a ak $F = 0$ a $m = 0$.

A hor sa na priklad.

Priklad 10. *Akym zrychlenim sa budu pohybovat tieto telesa?*



Riesenie. Do obrazka podla nasich pravidiel zakreslime sily.

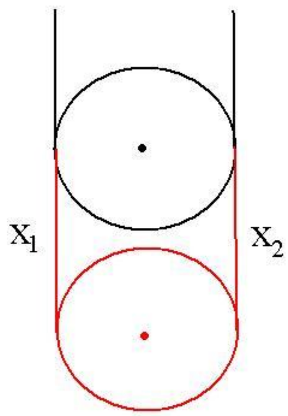


Pohybove rovnice nam hovoria

$$
\begin{aligned}
MA &= Mg - T_1 \\
ma &= T_2
\end{aligned}
$$

K tomu dostavame $2T_2 = T_1$. Avsak tentoraz nebude platit $A = a$.

Poztime sa, co sa stane ked sa teleso s hmotnostu m posunie o x do prava. Kedze lano musi byt neustale napnute, ale nesmie sa predlzit, kladka musi tiez klesnut. Pohladom na obrazok a trochou uvazovania dojdeme k zaveru, ze kladka mnusi klesnut o $x/2$.[2]

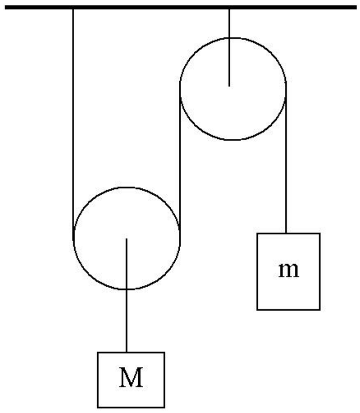


Tak dosiahneme, aby sa odmotana dlzka lana opat napla, ale nepredlzila. Platit preto bude $A = a/2$. Ak toto teraz dosadime do rovnic a tie vyriesime, dostaneme

$$
\begin{aligned}
A &= \frac{M}{4m + M} g \\
a &= \frac{2M}{4m + M} g
\end{aligned}
$$

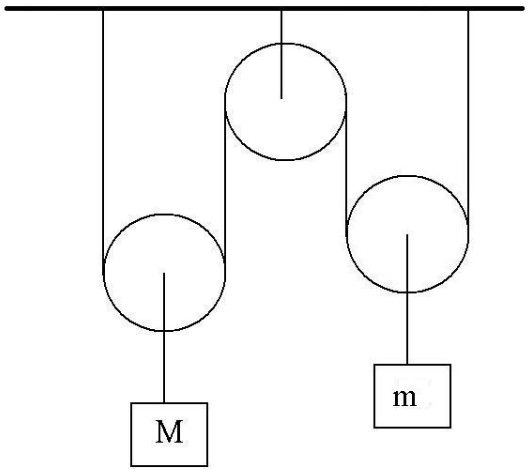
Priklad 11. *Ake budu zrychlenia telies v nasledujucej sustave?*

[2]Lano sa predlzilo o useky 1 a 2 na obrazku. Toto predlzenie kompenzuje posunutie horneho telesa o x, takze $x = x_1 + x_2$. Zrejme $x_1 = x_2$, z coho uz dostaveme posunutie kladky o $x/2$ nadol.



Vysledok. $A = \frac{2(M-2m)}{4m+M}g, a = \frac{M-2m}{4m+M}g$

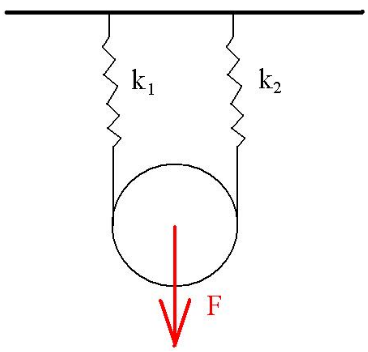
Priklad 12. *Ake budu zrychlenia telies v nasledujucej sustave?*



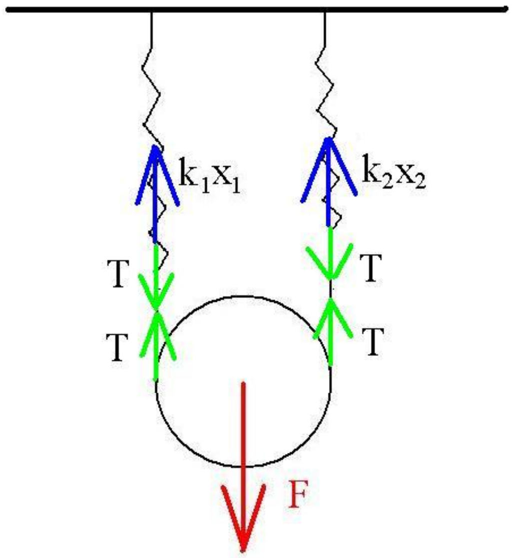
Vysledok. DOPLNIT

A pred o cosi tazsimi prikladmi si dajme dva priklady, ktore v sebe zahrnaju pruziny. Nasledujuce dva priklady sa daju preskocit na ceste za komplikovanejsimi prikladmi, kazdopadne su velmi poucne v uvedomeni si ako kladky funguju. Budeme potrebovat vediet, ze pruzina pri predlzeni o x posobi proti tomuto predlzeni silou $F = kx$, kde k je charakteristika pruziny.

Priklad 13. *O kolko sa v nasledujucom probleme posunie kladka nadol, ak posobime silou F?*



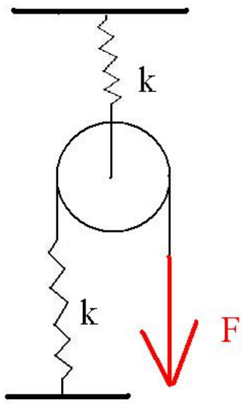
Riesenie. Oznacem predlzienie pruzin x_1, x_2. Ak sa kladka posunie o x nadol, potom musi platit $2x = x_1 + x_2$ (obrazok).



Kedze vsade v lane musi byt rovnaky tah, dostavame $x_1 k_1 = x_2 k_2$. Z nulovosti sil posobiacich na kladku dostavame $F = 2T = x_1 k_1 + x_2 k_2$. Tieto rovnice davaju vysledok

$$x = \frac{F}{4k_1} + \frac{F}{4k_2}$$

Priklad 14. *O kolko sa v nasledujucom probleme posunie koniec spagatu, ak posobime silou F?*



Riesenie. DOPLNIT

5 Tazsie ulohy o kladkach, kladky vo vytahu a kladky na kladkach

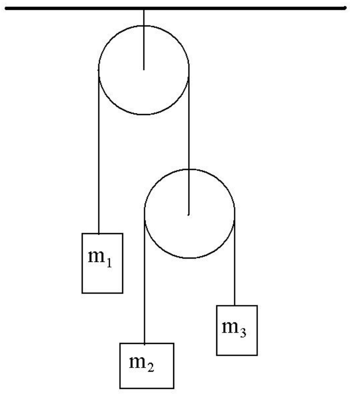
Na zaciatok jeden nie az tak zlozity priklad

Priklad 15. *Vypocitajte zrychlenia telies v ulohe 6, ak je sustava pripevnena k vytahu, ktory zrychluje nahor so zrychlenim A.*

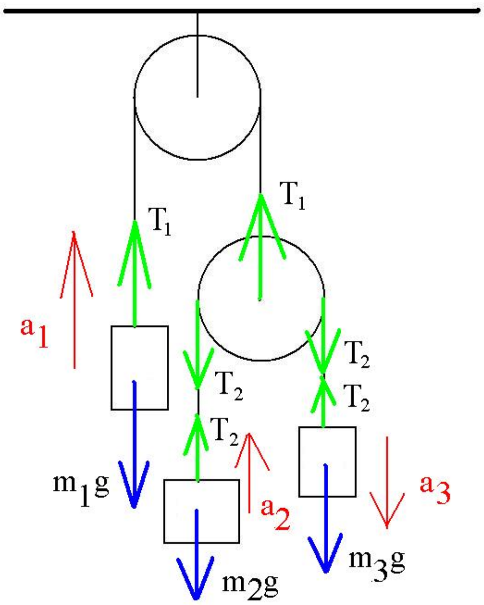
Riesenie. DOPLNIT

Je cas aby sa z chlapov stali chlapi a z priamociarych prikladov tazsie ulohy. Po doterajsich prikladoch by sme mali mat dostatocne vybavenie na utok na nasledujuci priklad. Priamociary utok, trochu finovy utok po kridle a na zaver narazacku na jeden dotyk s patickou do prazdnej brany.

Priklad 16. *Vypocitajte zrychlenia telies v nasledujucej ulohe.*



Riesenie. Tak podme na priklad pekne priamociaro. Nakreslime si obrazok a do neho sily a zrychlenia.



Rychlo dostavame $T_1 = 2T_2$, avsak dalej to uz nebude take jednoduche. Pozrime sa co sa stane, ak sa teleso 1 posunie o x nahor. Potom sa o rovnaku vzdialenost musi posunut volna kladka nadol. Teraz nech sa posunie teleso 2 o y nahor. Teleso 3 sa teraz musi posunut o $2x + y$ nadol, aby lano spajajuce telesa 2 a 3 prilahlo na volnu kladku. Inak by niektore z lan muselo zmenit svoju dlzku, co pocas celeho textu nepripustame. Dostavame teda $a_3 = a_2 + 2a_1$. Mame teda nasledujucu sadu styroch rovnic

$$\begin{aligned}
m_1 a_1 &= 2T - m_1 g \\
m_2 a_2 &= T - m_2 g \\
-m_3 a_3 &= T - m_3 g \\
a_3 &= a_2 + 2a_1
\end{aligned}$$

Nechame na citatelovi doriesit tuto sustavu k rieseniu

$$
\begin{aligned}
a_1 &= \frac{-m_1m_2 - m_1m_3 + 4m_2m_3}{m_1m_2 + m_1m_3 + 4m_2m_3}g \\
a_2 &= \frac{-m_1m_2 + 3m_1m_3 + 4m_2m_3}{m_1m_2 + m_1m_3 + 4m_2m_3}g \\
a_3 &= 2\frac{-m_1m_2 - m_1m_3}{m_1m_2 + m_1m_3 + 4m_2m_3}g
\end{aligned}
$$

Toto bolo priamociare riesenie hrubou silou. Skusme teraz pristupit k rieseniu o cosi menej hrubo. Napiseme si najskor rovnicu pre teleso 1

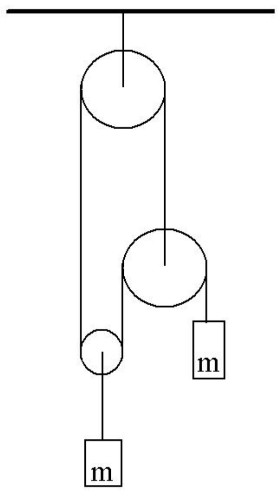
$$m_1a_1 = 2T - m_1g \quad \Rightarrow \quad a_1 = \frac{2T}{m_1} - g$$

Druha kladka bude s takymto zrychlenim klesat nadol. Na pohybove rovnice pore druhe dve telesa sa pozrieme v neinercialnej sustave spojenej s druhou kladkou. Tu vlasnte vyuzivame vysledok prechadzajucej ulohy. Veliciny spojene s touto sustavou budeme oznacovat ciarkou. V tejto sustave budu mat telesa 2 a 3 rovnake zrychlenie, oznacme ho a'. Nesmieme pritom ale zabudnut na zotrvacne sily, ktore musime zapocitat do pohyboveho zakona. Pre tieto dve telesa dostavame

$$
\begin{aligned}
m_2a' &= T - m_2g + m_2a_1 \\
-m_3a' &= T - m_3g + m_3a_1
\end{aligned}
$$

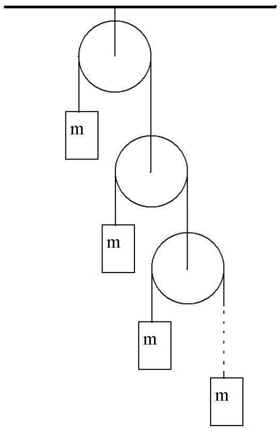
DOPLNIT

Priklad 17. *Akymi zrychleniami sa budu pohybovat telesa?*



Riesenie. DOPLNIT

Priklad 18. *S akym zrychlenim sa bude pohybovat prve z telies, teda to uplne na lavo? Predpokladajte, ze telies je nekonecne vela.*



Riesenie. DOPLNIT

6 Hmotne kladky a kladky s trenim

DOPLNIT

7 Za obzorom tychto poznamok

kladka ako jednoduchy stroj, technicke pouzitie kladiek, kladkostroje

8 Pouzita a odporucana literatura

- Zbierky riesenych uloh Naboja FKS, 1999 az 2009
- Zbierka riesenych uloh FX, 1. a 3. rocnik
- Archiv uloh Fyzikalneho Korespodencneho Seminara
- Archiv uloh Fyzikalenj Olympiady
- Studijne texty ceskej FO - Radmila Horkov, POHYB SOUSTAVY TELES SPOJENCH VLKNEM ;