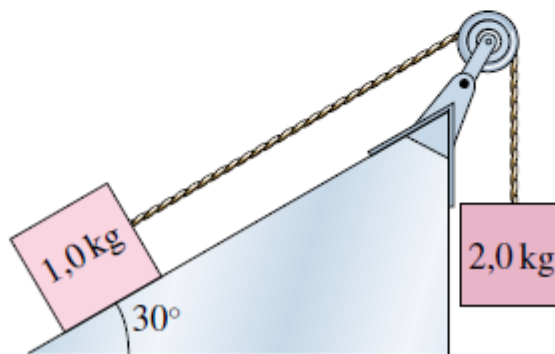


Příklady na zápočet, 2. sada

Mechanická práce, energie, hybnost

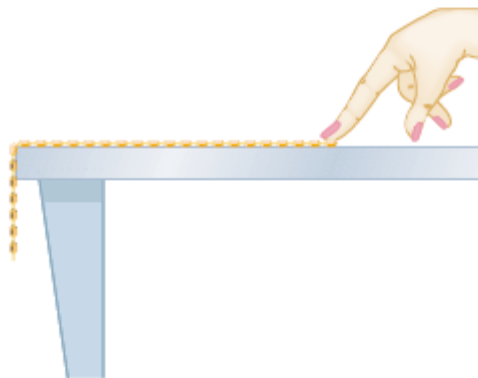
1. Řešte úlohu 30Ú:

30Ú. Nakloněná rovina v experimentu na obr. 8.39 je dokonale hladká, kladka má zanedbatelnou hmotnost a může se otáčet bez tření. Tělesa spojená napjatou nepružnou šňůrou jsou nejprve v klidu a pak je uvolníme. Jaká je celková kinetická energie soustavy v okamžiku, kdy těleso o hmotnosti 2,0 kg pokleslo o 25 cm?



2. Řešte úlohu 43Ú:

43Ú* Řetěz přidržíme na dokonale hladkém vodorovném stole tak, že jedna čtvrtina jeho délky visí přes okraj (obr. 8.45). Řetěz má délku L a hmotnost m . Jak velkou práci musíme vykonat, abychom vytáhli celý řetěz zpět na stůl?



Obr. 8.45 Úloha 43

3. Řešte úlohu 83Ú:

83Ú. Kámen o váze G (v newtonech) je vržen svisle vzhůru počáteční rychlostí v_0 . Předpokládáme, že na letící kámen působí stálá odporová síla vzduchu o velikosti F . (a) Ukažte, že kámen dosáhne maximální výšky

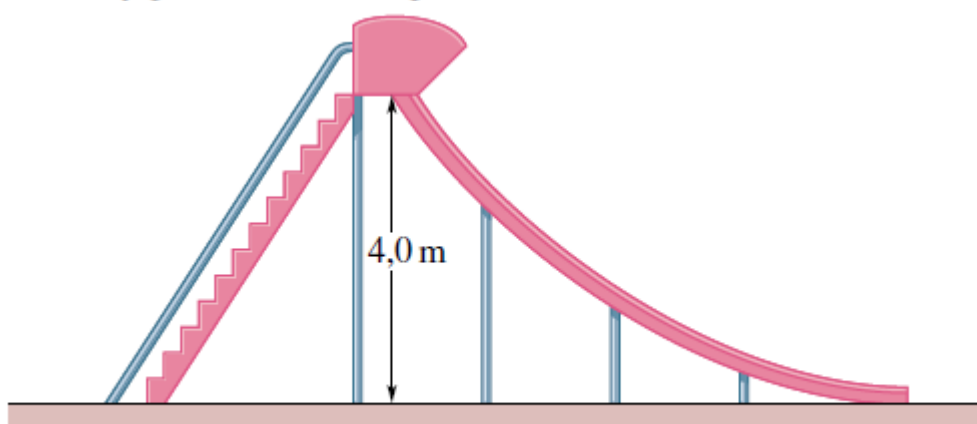
$$h = \frac{v_0^2}{2g(1 + \frac{F}{G})}.$$

(b) Dále ověřte, že rychlost kamene bezprostředně před dopadem na zem je

$$v = v_0 \left(\frac{G - F}{F + G} \right)^{1/2}.$$

4. Řešte úlohu 84Ú:

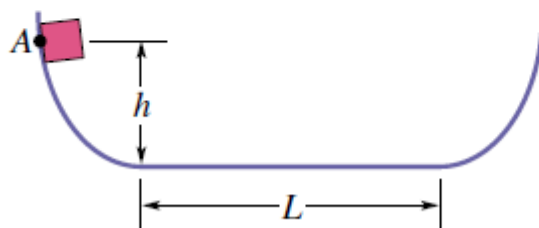
84Ú. Skluzavka ve tvaru kruhového oblouku o poloměru 12 m je vysoká 4,0 m a dotýká se povrchu Země (obr. 8.59). Dítě o hmotnosti 25 kg sjede z vrcholu skluzavky. Při nulové počáteční rychlosti je velikost jeho rychlosti na konci skluzavky $6,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. (a) Jaká je délka skluzavky? (b) Jaká je průměrná velikost třecí síly působící na dítě? Představme si nyní, že by skluzavka byla umístěna tak, aby svislá přímka procházející jejím nejvyšším bodem byla tečnou ke kruhovému oblouku. (c) Jaká by byla v tomto případě délka skluzavky a (d) průměrná velikost třecí síly působící na dítě při skluzu?



Obr. 8.59 Úloha 84

5. Řešte úlohu 85Ú:

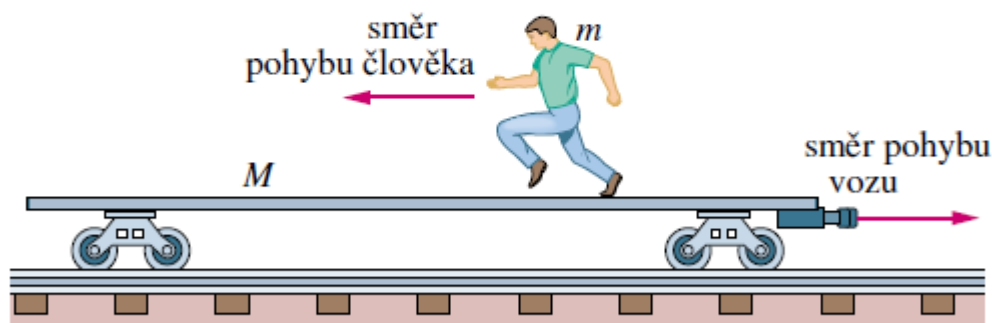
85Ú. Částice může klouzat po kolejnici upravené do tvaru znázorněného na obr. 8.60. Střední vodorovný úsek má délku L . Zakřivené úseky kolejnice jsou dokonale hladké, v rovném úseku však na částici působí třecí síla charakterizovaná koeficientem tření $f_d = 0,20$. Částice je volně vypuštěna z bodu A , ležícího ve výšce $h = L/2$ nad vodorovným úsekem. Kde se částice nakonec zastaví?



Obr. 8.60 Úloha 85

6. Řešte úlohu 38C:

38C. Plošinový železniční vůz o hmotnosti M se může pohybovat bez tření po přímé vodorovné trati. Na voze stojí člověk o hmotnosti m . Soustava se pohybuje vpravo rychlostí v_0 podle obr. 9.42. Jak se změní rychlost vozu, poběží-li člověk vlevo rychlostí v_{rel} vzhledem k vozu?



Obr. 9.42 Cvičení 38

7. Řešte úlohu 43Ú:

43Ú. Těleso, které bylo zpočátku v klidu, vybuchlo a rozpadlo se na tři části. Dvě z nich, o stejné hmotnosti, se rozletěly stejně velkými rychlostmi $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ do kolmých směrů. Třetí část měla třikrát větší hmotnost než každá z předchozích dvou. Určete rychlost (velikost a směr) třetí části po výbuchu.

8. Řešte úlohu 48Ú:

48Ú. Dělo o hmotnosti 1 400 kg vystřelilo náboj o hmotnosti 70,0 kg rychlostí o velikosti $556 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ vzhledem k hlavní děla. Hlaveň svírá s vodorovnou rovinou úhel $39,0^\circ$. Dělo je umístěno na vozíku, který se pohybuje bez tření. (a) Jaká je rychlost náboje vzhledem k zemi? (b) Pod jakým úhlem vzhledem k zemi je náboj vystřelen? (*Tip: Vodorovná složka hybnosti soustavy se během výstřelu nemění.*)

9. Řešte úlohu 49C:

49C. Raketa je v klidu v meziplanetárním prostoru, kde na ni nepůsobí gravitační síla. Její hmotnost je $2,55\cdot 10^5 \text{ kg}$, z toho $1,81\cdot 10^5 \text{ kg}$ paliva. Raketový motor spotřebovává palivo rychlostí 480 kg/s , rychlost zplodin vzhledem k raketě je $3,27 \text{ km/s}$. Zážeh motoru trvá 250 s . (a) Určete tah motoru. (b) Jaká je hmotnost rakety po vypnutí motoru? (c) Jaká je její výsledná rychlost?

10. Řešte úlohu 69C:

69C. Žena o hmotnosti 55 kg vyskočí z podřepu svisle vzhůru. V podřepu je její těžiště 40 cm nad úrovní podlahy. V okamžiku, kdy její chodidla ztrácejí s podlahou kontakt, je výška těžiště nad podlahou 90 cm , zatímco jeho největší výška nad podlahou činí 120 cm . (a) Jak velká průměrná síla působí na chodidla sportovkyně při odrazu? (b) Jak velká je největší rychlost jejího těžiště?

Srážky

1. Řešte úlohu 57Ú:

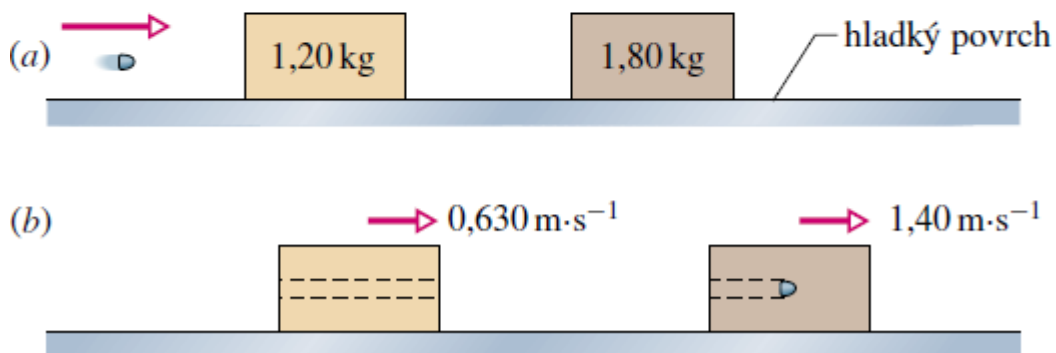
57Ú. Dvoje stejné sáně o hmotnostech $22,7 \text{ kg}$ stojí těsně za sebou podle obr. 10.45. Kočka o hmotnosti $3,63 \text{ kg}$, která na jedné sáně seděla, přeskočí najednou na druhou sáně a hned zase zpět. Při obou skocích má rychlost kočky vzhledem k zemi velikost $3,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Určete výsledné rychlosti sání.



Obr. 10.45 Úloha 57

2. Řešte úlohu 50Ú:

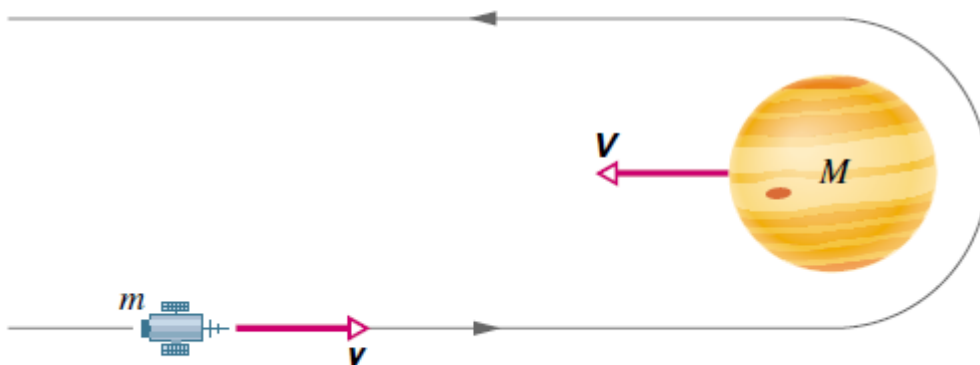
50Ú. Na dokonale hladké vodorovné podlaze leží dvě kostky o hmotnostech 1,20 kg a 1,80 kg. Kulka o hmotnosti 3,50 g je vystřelena ve vodorovném směru a zasáhne první kostku. Proletí jí a teprve ve druhé kostce uváže (obr. 10.41). První kostka se po průletu střely pohybuje rychlostí o velikosti $0,630 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, velikost výsledné rychlosti druhé kostky je $1,40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (obr. 10.41b). Určete (a) rychlost, kterou kulka vyletla z první kostky a (b) počáteční rychlost kulky. Zanedbejte změnu hmotnosti první kostky způsobenou průletem střely.



Obr. 10.41 Úloha 50

3. Řešte úlohu 27Ú:

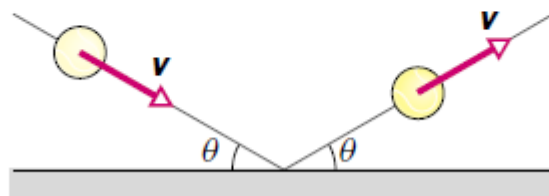
27Ú. Kosmická loď *Voyager 2* (hmotnost m a rychlost \mathbf{v} vzhledem ke Slunci) se přibližuje k planetě Jupiter (hmotnost M a rychlost \mathbf{V} vzhledem ke Slunci), jak ukazuje obr. 10.35. Loď obletí planetu a vrací se zpět v protisměru (gravitační prak). Určete výslednou rychlost lodi vzhledem ke Slunci. Předpokládáme, že $v = 12 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ a $V = 13 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ (oběžná rychlost Jupitera). Hmotnost Jupitera je mnohem větší než hmotnost kosmické lodi, $M \gg m$.



Obr. 10.35 Úloha 27

4. Řešte úlohu 21Ú:

21Ú. Na obr. 10.33 je míček, který narazil do podlahy rychlostí o velikosti $6,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ pod úhlem $\theta = 30^\circ$. Po odrazu měl míček stejně velkou rychlost, která svírala s podlahou úhel 30° . Srážka trvala 10 ms. (a) Vypočtete impulz síly, která při srážce působila na míček. (b) Jakou průměrnou silou působil míček na podlahu?



Obr. 10.33 Úloha 21

5. Řešte úlohu 22Ú:

22Ú. Automaticky řízená kosmická sonda o hmotnosti $2\,500 \text{ kg}$ letí stálou rychlostí o velikosti $300 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. V jistém okamžiku se zažehnou raketové motory, které mají tah $3\,000 \text{ N}$. Zážeh trvá $65,0 \text{ s}$. (a) Určete změnu hybnosti sondy, směruje-li tahová síla motorů vpřed, vzad nebo kolmo k okamžitému směru pohybu. (b) Pro každý z těchto případů určete odpovídající změnu kinetické energie sondy. Předpokládáme, že hmotnost paliva spotřebovaného při tomto krátkém zážehu je zanedbatelná vzhledem k hmotnosti sondy.

6. Řešte úlohu 14Ú:

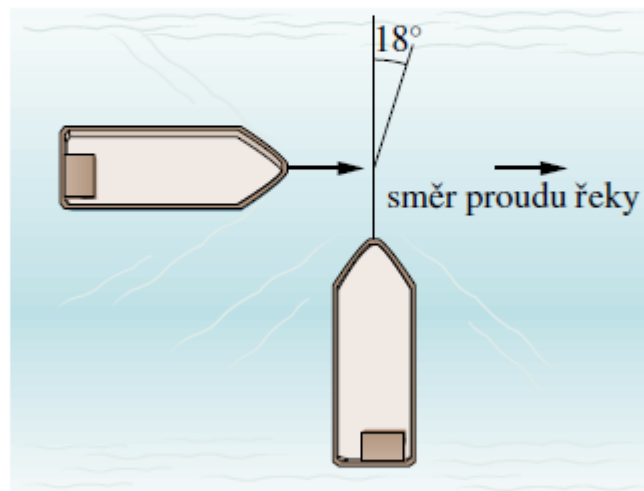
14Ú. Při stříbě ze samopalů používaného při natáčení filmů vylétují kulky o hmotnosti $50,0 \text{ g}$ rychlostí $1\,000 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Herec dokáže na samopal působit silou o velikosti nejvýše 180 N . Kolik ran za minutu může vypálit, aby samopal ještě udržel?

7. Řešte úlohu 15Ú:

15Ú. Filmového Supermana nelze zastřelit. Všechny střely se totiž od jeho hrudi odrazí (obr. 10.30). Předpokládejme, že zločinec vystřelí na Supermana 100 ran za minutu. Každá kulka má hmotnost 3 g a letí rychlostí $500 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Od Supermana se odráží zpět stejně velkou rychlostí. Jakou průměrnou silou působí tok kulek na Supermanovu hrud'

8. Řešte úlohu 73Ú:

73Ú. Nákladní loď o hmotnosti $1,50 \cdot 10^5$ kg pluje v husté mlze po proudu řeky rychlostí o velikosti $6,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Náhle narazí do boku druhé lodi, která přeplovává řeku napříč (obr. 10.49). Druhá loď má hmotnost $2,78 \cdot 10^5$ kg a pluje rychlostí $4,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Těsně po srážce se kurs druhé lodi odchýlí o 18° od původního směru a velikost její rychlosti vzroste na $5,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Rychlost toku řeky je zanedbatelná. (a) Určete rychlost první lodi (velikost a směr) po srážce a (b) úbytek celkové kinetické energie soustavy.



Obr. 10.49 Úloha 73

9. Řešte úlohu 72Ú:

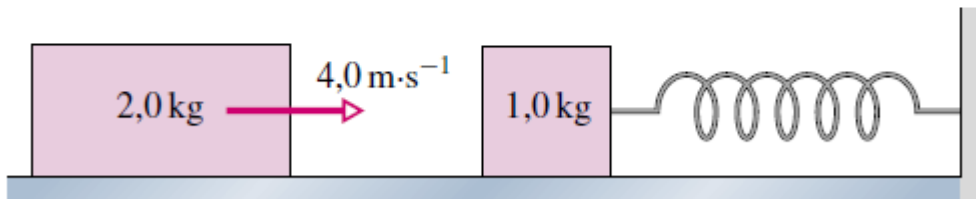
72Ú. Koule 1 (střela) narazí počáteční rychlostí $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ do dvojice stejných koulí, které jsou v klidu a dotýkají se. Spojnice jejich těžišť je kolmá na směr letící koule (obr. 10.48). Střela míří přesně do místa dotyku dvojice terčů. Určete rychlosti všech tří koulí po srážce. Třecí síly zanedbejte. (*Tip:* Při zanedbatelném tření mají impulzy sil, jimiž na sebe koule působí při srážce, směr spojnice jejich středů.)



Obr. 10.48 Úloha 72

10. Řešte úlohu 56Ú:

56Ú. Kostka o hmotnosti $1,0\text{ kg}$ leží na dokonale hladké podložce a je nenapjatou pružinou ($k = 200\text{ N/m}$) spojena se stěnou (obr. 10.44). Hranol o hmotnosti $2,0\text{ kg}$ do ní narazí rychlostí $4,0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ rovnoběžně s pružinou a pevně se s ní spojí. Určete stlačení pružiny v okamžiku, kdy je společná rychlost těles nulová.

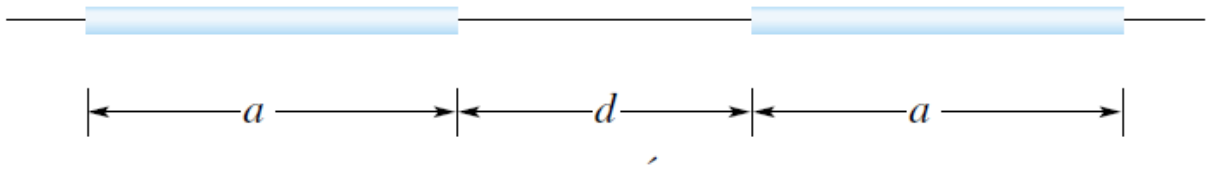


Obr. 10.44 Úloha 56

Gravitační pole

1. Určete, v jaké výšce nad povrchem Země je gravitační síla působící na těleso o hmotnosti m 10krát menší než na povrchu Země. Poloměr Země je 6378 km .
Návod: Vyjádřete sílu na povrchu Země vzorcem, a stejně tak i sílu ve výšce h . Nebudete muset znát ani hmotnost Země, ani hodnotu gravitační konstanty.
2. Vypočítejte, v jaké výšce nad zemským rovníkem se pohybuje geostacionární družice, tj. družice, která stále „visí“ nad stejným místem na povrchu Země.
3. Předpokládejme, že určité těleso, obíhající v gravitačním poli jiného centrálního tělesa o podstatně větší hmotnosti po kruhové dráze o poloměru R s periodou T , se při svém oběhu náhle zastaví. Jak dlouho bude trvat jeho pád na toto centrální těleso? Řešte nejprve obecně, pak pro dvojice Slunce – Země, Země – Měsíc. Návod: Použijte 3. Keplerův zákon, a uvažujte dráhu padajícího tělesa jako „nekonečně tenkou“ elipsu.
4. První kosmická rychlost, tj. kruhová rychlost při povrchu Země, je asi $7,9\text{ km/s}$. Nalezněte parametry Měsíce, vyjádřené pomocí odpovídajících parametrů Země, a vyjádřete pomocí nich odpovídající rychlost pro Měsíc. Bude kulka vystřelená z kulometu rychlostí 900 m/s při povrchu Měsíce ve vodorovném směru obíhat Měsíc po kruhové dráze?
5. Náboj je vystřelen svisle z povrchu Země s počáteční rychlostí 10 km/s . Jak vysoko nad povrch Země dolétne, jestliže zanedbáme odpor vzduchu.
6. Uvažujte Zemi jako homogenní kouli o poloměru R . Jestliže hodnota gravitačního zrychlení na jejím povrchu je a_{g0} , jaká hodnota a_g bude naměřena na dně šachty v hloubce h ? Náповěda: Využijte skutečnosti, že gravitační zrychlení v dutině homogenní kulové slupky je nulové ve všech bodech dutiny.
7. Z letadla letícího rychlostí 300 km/h ve výšce 50 m nad zemí byl svržen balíček s humanitární pomocí v aerodynamickém krytu bez padáku s nárazuvzdorným obsahem. V jaké vodorovné vzdálenosti od místa určení leží místo, nad kterým je nutno balíček svrhnout?

8. Jakou gravitační silou se přitahují dvě homogenní tenké tyče o hmotnosti m na obrázku?



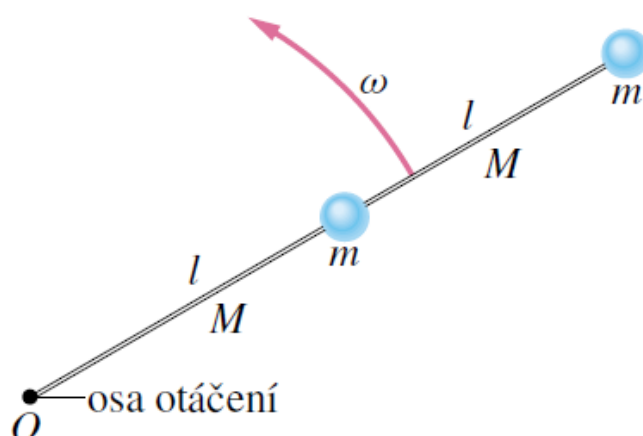
9. Gravitační síla k sobě přitahuje dvě částice o hmotnostech m a M , které se zpočátku nalézaly v klidu ve velké vzdálenosti. Ukažte, že v každém okamžiku je rychlost jedné částice vůči druhé rovna $\sqrt{2G(M + m)/d}$, kde d je jejich okamžitá vzdálenost. Návod: Použijte zákon zachování energie a zákon zachování hybnosti.
10. Hráč basebalu dokáže dohodit míč do vzdálenosti 60 m. Určete největší možnou výšku takového hodu.

Moment setrvačnosti

1. Vypočítejte moment setrvačnosti tenké čtvercové desky o hmotnosti m s hranou o délce a vzhledem k ose kolmé k rovině desky procházející jejím středem. Návod: Předpokládejte, že moment bude mít tvar $J = k * m * a^2$, kde k je nějaký multiplikativní faktor. Poté jej vyjádřete jako $J = 4 * J'$, kde J' je moment setrvačnosti čtvercové desky o hraně $a' = \frac{a}{2}$, vzhledem k ose procházející jejím vrcholem.
2. Vypočítejte moment setrvačnosti prstence vzhledem k ose procházející jeho středem, a ležící v rovině prstence.

3. Řešte úlohu 50C:

50C. Dvě částice se stejnými hmotnostmi m jsou spolu spojeny a připevněny k ose otáčení O dvěma tenkými tyčemi o délkách l a hmotnostech M (obr. 11.35). Soustava se otáčí úhlovou rychlostí ω . Odvoďte výraz pro (a) moment setrvačnosti soustavy vzhledem k ose O a (b) kinetickou energii jejího otáčivého pohybu vzhledem k této ose.

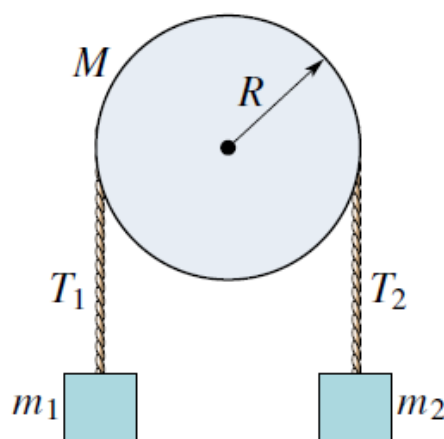


4. Řešte úlohu 79C:

79C. Tenký prstenec o hmotnosti 32,0 kg a poloměru 1,20 m má v jistém okamžiku $t = 0$ úhlovou rychlostí 280 ot/min. Během dalších 15,0 s se prstenec zastaví. (a) Vypočtěte práci brzdících sil a (b) odpovídající výkon.

5. Řešte úlohu 94Ú:

94Ú. Na obr. 11.49 jsou znázorněna dvě tělesa o hmotnostech $m_1 = 400$ g a $m_2 = 600$ g. Tělesa jsou spojena vláknem zanedbatelné hmotnosti, vedeným přes homogenní kladku o hmotnosti $M = 500$ g a poloměru $R = 12,0$ cm. Kladka se může otáčet bez tření kolem vodorovné osy. Vlákno po obvodu kladky neklouže. Soustavu uvolníme z klidové polohy. Vypočtěte (a) velikost zrychlení těles, (b) tahovou sílu T_1 v levé části vlákna a (c) tahovou sílu T_2 v pravé části vlákna.

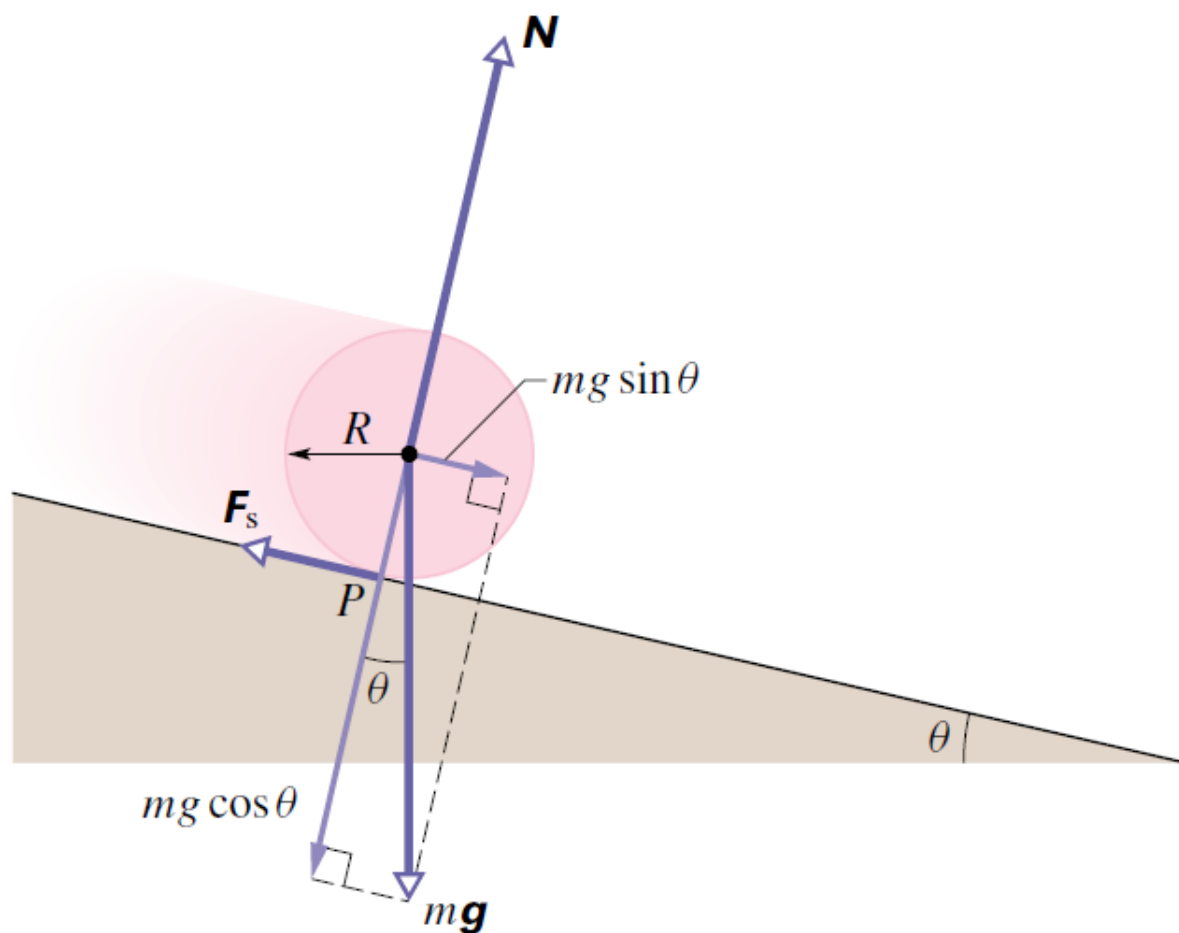


6. Řešte úlohu 93Ú:

93Ú. V následující tabulce jsou uvedeny souřadnice pěti částic ležících v rovině xy . Částice jsou pevně spojeny a tvoří tuhé těleso. Vypočtěte moment setrvačnosti tohoto tělesa (a) vzhledem k ose x , (b) vzhledem k ose y a (c) vzhledem k ose z . (d) Najděte polohu těžiště tělesa.

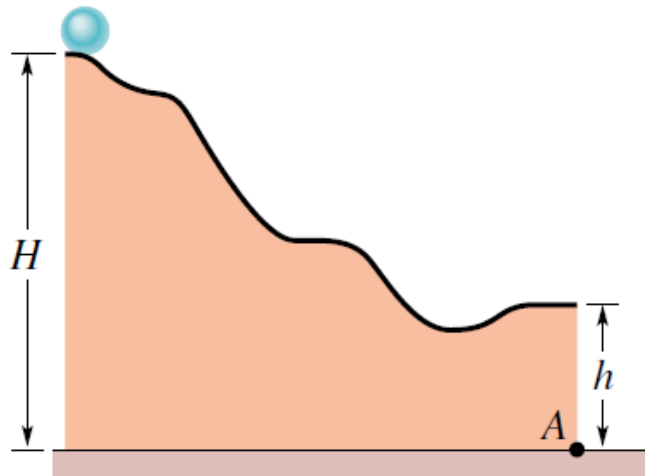
TĚLESO	1	2	3	4	5
Hmotnost (g)	500	400	300	600	450
x (cm)	15	-13	17	-4,0	-5,0
y (cm)	20	13	-6,0	-7,0	9,0

7. Určete velikost zrychlení tělesa kruhového průřezu (válece, popř. disku) znázorněného na obrázku ve směru nakloněné roviny a velikost třecí síly F_s .

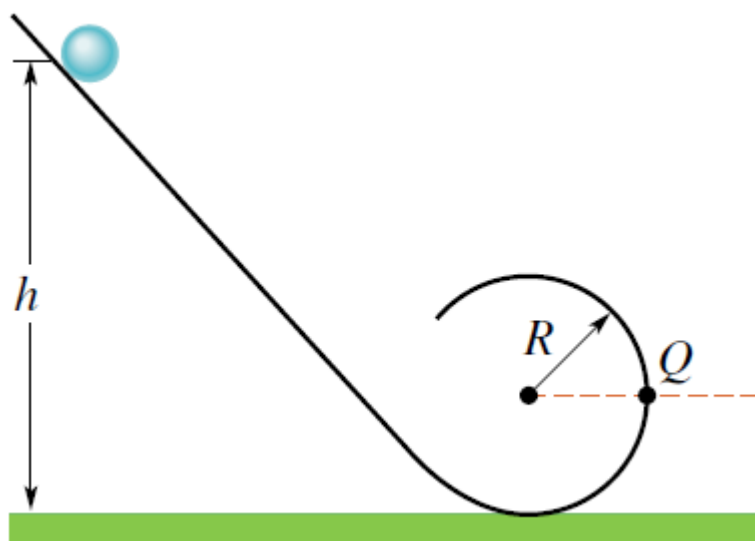


8. Řešte úlohu 12Ú:

12Ú. Homogenní koule je uvolněna z klidové polohy v nejvyšším bodě dráhy znázorněné na obr. 12.32 a valí se po ní bez klouzání. Dráha končí nad bodem A , který je v obrázku vyznačen. V okamžiku, kdy koule opustí dráhu, má její rychlost vodorovný směr. Pro hodnoty $H = 6,0$ m a $h = 2,0$ m zjistěte, jak daleko od bodu A dopadne koule na podlahu.



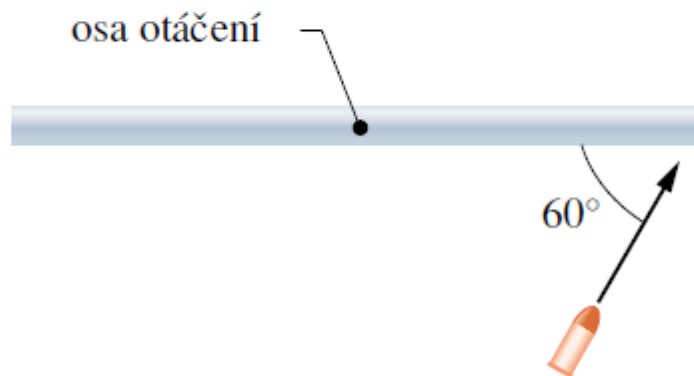
9. Řešte úlohu 15Ú:



15Ú. Malá plná kulička o hmotnosti m a poloměru r se valí bez klouzání po nakloněné rovině zakončené smyčkou podle obr. 12.34. Kulička byla uvolněna ve výšce h nad úrovní vodorovné podlahy. (a) Určete nejmenší hodnotu h , při které kulička ještě projde vrcholem smyčky. Poloměr R smyčky je mnohonásobně větší než poloměr r kuličky. (b) Pro hodnotu $h = 6R$ vypočtete vodorovnou složku síly, kterou působí dráha na kuličku v bodě Q .

10. Řešte úlohu 65Ú:

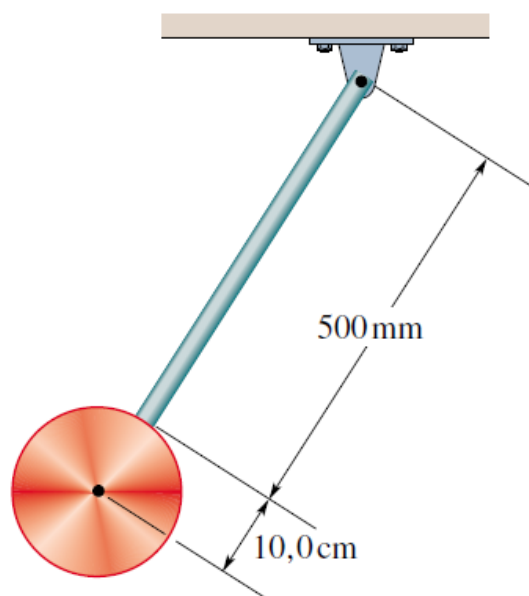
65Ú. Tenká homogenní tyč o délce 0,50 m a hmotnosti 4,0 kg se může otáčet ve vodorovné rovině kolem svislé osy vedené jejím středem. Tyč je zpočátku v klidu. Na konec tyče narazí střela o hmotnosti 3,0 g. Dráha střely je vodorovná a svírá s osou tyče úhel 60° (obr. 12.44). Střela se do tyče zaryje a roztočí ji úhlovou rychlostí 10 rad/s. Jakou rychlostí střela do tyče narazila?



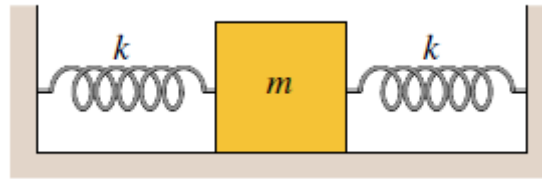
Mechanický oscilátor

1. Řešte úlohu 67C:

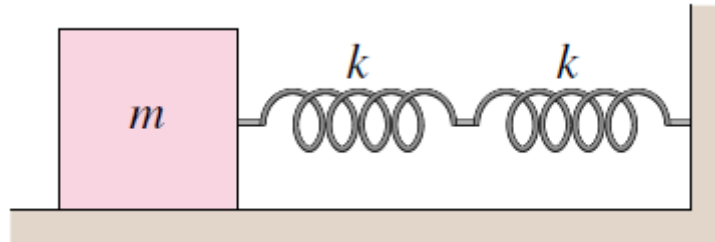
67C. Kyvadlo je tvořeno homogenním diskem o poloměru 10,0 cm a hmotnosti 500 g, spojeným s homogenní tyčí délky 500 mm a hmotnosti 270 g (obr. 16.41). (a) Vypočtěte moment setrvačnosti kyvadla vzhledem k vodorovné ose procházející bodem závěsu. (b) Jaká je vzdálenost mezi bodem závěsu a těžištěm kyvadla? (c) Vypočtěte periodu kmitů.



2. Dvě stejné pružiny jsou jedněmi konci připevněny ke dvěma protilehlým stěnám kvádru hmotnosti m a druhými vetknuty do protilehlých stěn, viz. obr. dole. Kvádr klouže po vodorovné podložce bez tření. Určete vztah pro frekvenci harmonických kmitů kvádru.



3. Předpokládejme, že dvě pružiny v předchozí úloze mají různé tuhosti k_1, k_2 . Napište vztah pro frekvenci f soustavy pomocí frekvencí f_1, f_2 , kde f_1 , popř. f_2 , jsou frekvence oscilátorů tvořených kvádrem a pouze pružinou 1, popř. kvádrem a pouze pružinou 2.
4. Harmonický oscilátor je tvořen soustavou stejných sériově propojených pružin o tuhosti k , spojených jedním koncem s kvádrem o hmotnosti m , který klouže bez tření po vodorovné podložce, a druhým koncem ke stěně, viz. obr. Určete vztah pro frekvenci harmonických



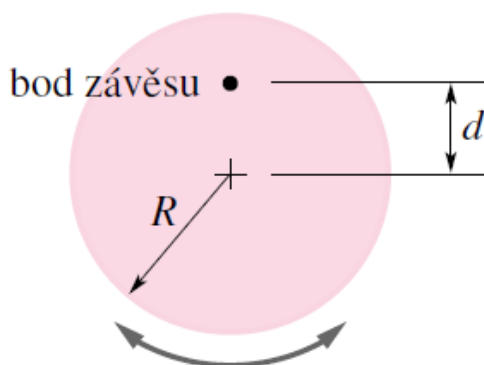
kmitů kvádru.

5. Řešte úlohu 63C:

63C. Fyzické kyvadlo je tvořeno tyčovým metrem. Ve vzdálenosti x od rysky, která označuje 50 cm, je vyvrtán malý otvor. Tímto otvorem prochází osa rotace. Kyvadlo má periodu 2,5 s. Určete vzdálenost x .

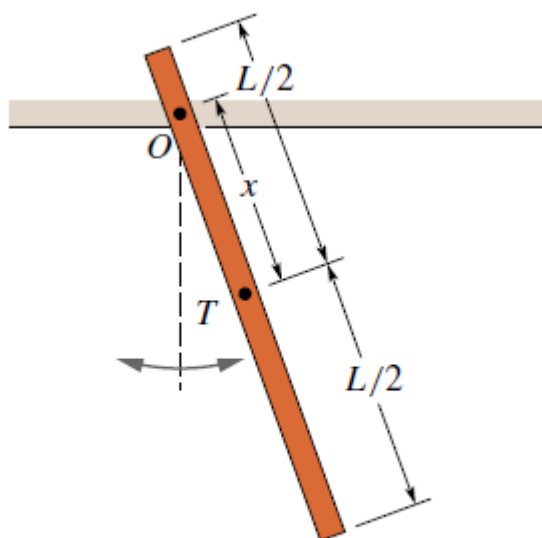
6. Řešte úlohu 65C:

65C. Fyzické kyvadlo je tvořeno pevným homogenním diskem (poloměru R a hmotnosti M), otáčivým ve svislé rovině kolem bodu závěsu, který je umístěn ve vzdálenosti d od středu disku (obr. 16.40). Disk vychýlíme o malý úhel z rovnovážné polohy a uvolníme. Určete periodu výsledného harmonického pohybu.



Obr. 16.40 Cvičení 65

7. Řešte úlohu 71Ú:



Obr. 16.42 Úloha 71

71Ú. Fyzické kyvadlo na obr. 16.42 je tvořeno tyčí délky L , zavěšenou v bodě O . (a) Vyjádřete periodu kyvadla pomocí délky tyče L a vzdálenosti x těžiště od bodu závěsu. (b) Pro kterou hodnotu podílu x/L je perioda pohybu nejkratší? (c) Ukažte, že pro $L = 1,00$ m a $g = 9,80$ m·s⁻² je nejkratší perioda v části (b) rovna 1,53 s.

8. Řešte úlohu 73Ú:

73Ú. Přesně vzato, na různých místech povrchu Země má tíhové zrychlení g poněkud odlišnou hodnotu. Tato skutečnost byla objevena Jeanem Richerem, který v roce 1672 na svých cestách převezl kyvadlové hodiny z Paříže do města Cayenne ve francouzské Guyaně a zjistil, že hodiny se za den zpožďují o 2,5 minuty. Jestliže tíhové zrychlení v Paříži činí $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, jaká je jeho velikost v Cayenne?

9. Řešte úlohu 74Ú:

74Ú. Vědci prováděli přesná měření tíhového zrychlení v určitém místě v Indickém oceánu. Místo bylo zvoleno na rovníku. Při měření se zjišťovala perioda kmitů precizně konstruovaného fyzického kyvadla. K zajištění přesně definovaných podmínek se měření uskutečnilo na palubě ponořené ponorky. Označme g_p přesnou hodnotu tíhového zrychlení v daném místě. Po vyhodnocení výsledků bylo zjištěno, že změřená hodnota g_m závisí na tom, zda se ponorka v průběhu měření pohybovala východním, nebo západním směrem. Velikost její rychlosti přitom v obou případech činila $16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Objasněte pozorovanou diferenci a vypočtete relativní chybu $(g_m - g_p)/g_p$ pro oba směry plavby ponorky.

10. Řešte úlohu 77Ú:

77Ú. Matematické kyvadlo délky L a hmotnosti m je zavěšeno v automobilu, který se pohybuje rychlostí stálé velikosti v po kruhové dráze poloměru R . Kyvadlo se pohybuje v radiálním směru (kmitá ve svislé rovině, procházející bodem závěsu a středem kruhové dráhy). Určete frekvenci jeho pohybu.