A 2008/2009. tanévi FIZIKA Országos Középiskolai Tanulmányi Verseny első fordulójának

feladatai és megoldásai

II. kategória

A dolgozatok elkészítéséhez minden segédeszköz használható. Megoldandó az első három feladat és a 4./A és 4./B sorszámú feladatok közül egy szabadon választott. Csak 4 feladat megoldására adható pont. Ha valaki 5 feladat megoldását küld be, a 4./A és 4./B feladat közül a több pontot elérő megoldást vesszük figyelembe.

Minden feladat teljes megoldása 20 pontot ér.

Részletes, egységes pontozás nem adható meg a feladatok természetéből következően, ugyanis egy-egy helyes megoldáshoz több különböző, egyenértékű helyes út vezethet.

A feladat numerikus végeredményével megközelítően azonos eredményt kihozó megoldó erre a részfeladatra 0 pontot kap, amennyiben elvileg helytelen úton jut el. Fizikailag értelmes gondolatmenet estén a kis numerikus hiba elkövetése miatt (a részfeladat terjedelmétől függően) 2 – 3 pont vonható le.

1. *Mennyi ideig esett az 5 m/s kezdősebességgel vízszintesen elhajított test, amely a kidobás helyétől 20 m-re került?*

Megoldás:
Adatok: $\alpha = 0$, $v_0 = 5$ m/s, $r = 20$ m

A test elmozdulás-vektorának hossza a két koordinátájának négyzetösszegéből vont négyzetgyökkel egyenlő:

$$r^2 = r_x^2 + r_y^2 = x^2 + y^2,$$

(ha az origóból dobtuk el a testet). Ezek a koordináták az idő függvényében felírhatók, amivel a megadott elmozdulás:

$$r^2 = (v_0 t)^2 + \left(\frac{1}{2} g t^2\right)^2.$$

Rendezés után:

$$g^2 t^4 + 4 v_0^2 t^2 - 4 r^2 = 0.$$

Ennek megoldása t^2-re (csak a pozitív megoldást megtartva):

$$t^2 = \frac{-4v_0^2 + \sqrt{16v_0^4 + 16g^2r^2}}{2g^2} = \frac{2v_0^2}{g^2}\left(\sqrt{1+\frac{g^2r^2}{v_0^4}} - 1\right).$$

Innen az eltelt idő:

$$t = \frac{v_0}{g}\sqrt{2}\cdot\sqrt{\left(\sqrt{1+\frac{g^2r^2}{v_0^4}} - 1\right)} = \frac{5\frac{m}{s}}{10\frac{m}{s^2}}\cdot\sqrt{2}\cdot\sqrt{\left(\sqrt{1+\frac{100\ m^2s^{-4}\cdot 400\ m^2}{625\ m^4s^{-4}}} - 1\right)} = 1,88\,s.$$

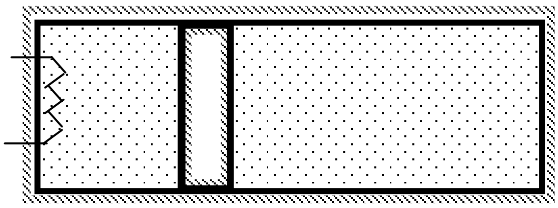
Ellenőrzés:

$$x = 5\frac{m}{s}\cdot 1{,}88\ s = 9{,}4\ m$$

$$y = 5\frac{m}{s^2}\cdot 1{,}88^2\,s^2 = 17{,}67\ m$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{9{,}4^2\,m^2 + 17{,}67^2\,m^2} = \sqrt{400{,}59\ m^2} = 20{,}01m \approx 20\ m.$$

2. *A teljesen hőszigetelő falú gáztartályt hőszigetelő, könnyen mozgó és rögzítetlen dugattyú osztja ketté, éspedig kezdetben úgy, hogy a dugattyútól jobbra eső gáztérfogat kétszerese a baloldalinak. Mindkét térfogatrészben ugyanaz a gáz van, kezdetben ugyanakkora hőmérsékleten és ugyanakkora nyomáson. A baloldali részt elhanyagolható térfogatú elektromos fűtőszállal lehet melegíteni. A fűtőszállal a baloldali gázt felmelegítjük annyira, hogy térfogata kétszeresére nő.*



Hányszorosa lesz a baloldali gáz új hőmérséklete a jobboldali gáz új hőmérsékletének?

Megoldás:

Legyen a kiinduló közös hőmérséklet T_1, a mindkét oldali nyomás p_1, a baloldali térfogat V_1. Mindkét oldali gázra felírjuk az egyesített gáztörvényt, illetve a jobboldali részre adiabatikus változást leíró Poisson-egyenletet. Tehát a baloldali részre:

$$\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2 2V_1}{T_2} ,$$

ahol a kettes index a felmelegítés utáni állapotjelzőket jelöli. A jobboldali részre egyrészt

$$\frac{p_1 2V_1}{T_1} = \frac{p_2V_1}{T_3},$$

ahol T_3 a jobboldali gáz adiabatikus felmelegedése következtében beálló hőmérséklete, másrészt

$$p_1(2V_1)^\kappa = p_2 V_1^{\kappa},$$

ahol κ a tartályban lévő gáz $\frac{c_p}{c_V}$ hányadosa. Innen $p_2 = 2^\kappa p_1$ adódik. Ezt a baloldali gázrész egyesített gáztörvényébe beírva, T_2-re azt kapjuk, hogy $T_2 = 2^{\kappa+1} \cdot T_1$.
Hasonlóan a jobboldali gázrész egyesített gáztörvényéből T_3 hőmérsékletre

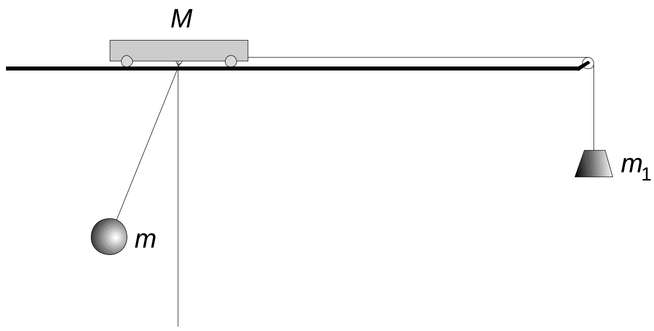
$$T_3 = 2^{\kappa-1} \cdot T_1$$

adódik. A két utóbbi eredményt egyesítve a feltett kérdésre adandó választ:

$$\frac{T_2}{T_3} = \frac{2^{\kappa+1} \cdot T_1}{2^{\kappa-1} \cdot T_1} = 2^2 = 4,$$

vagyis $T_2 = 4T_3$. Ha tehát a baloldali gázrészt annyira felmelegítjük, hogy térfogata kétszeresére nő, más szóval térfogatot cserél a jobboldalival, akkor új hőmérséklete négyszerese lesz a jobboldali rész beálló hőmérsékletének.

3. *Vízszintes sínen könnyen gördülő M = 6 kg tömegű kocsiról vékony szálon m = 4 kg tömegű teher lóg le az ábra szerint. A kocsihoz kötött, csigán átvetett fonál másik végére m_1 = 8 kg tömegű nehezék van erősítve, amelyet kezdetben nyugalomban tartunk. A nehézségi gyorsulás* $g = 10\ m/s^2$.



a) *Mekkora szöget zárjon be a teher fonala a függőlegessel, hogy a terhet és a nehezéket egyszerre elengedve ez a szög a mozgás során végig állandó maradjon?*

b) *Mekkora erőt fejtenek ki a fonalak? (Az indításkor a fonalszakaszok egyenesek.)*

Megoldás.

Adatok: M = 6 kg; m = 4 kg; m_1 = 8 kg.

a) Ha a fonál iránya nem változik, a kocsi és a teher egyetlen merev rendszernek tekinthető, így gyorsulásuk megegyezik. A mozgásegyenlete a teherre:

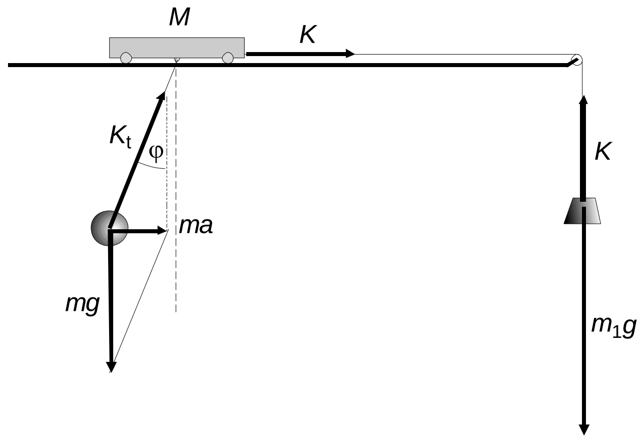
$$m_1 g - K = m_1 a,$$

míg a kocsira + nehezékre:

$$K = (M + m)a.$$

(Függőleges irányban a kocsi nem gyorsul.)

A fenti két egyenletből a gyorsulásra:



$$a = \frac{m_1}{m_1 + M + m} \cdot g.$$

adódik. Továbbá amint az az ábráról látható:

$$mg\mathrm{tg}\varphi = ma.$$

Innen

$$\mathrm{tg}\varphi = \frac{a}{g} = \frac{m_1}{m_1 + M + m} = \frac{8}{4+6+8} = \frac{4}{9}.$$

Így a keresett szög nagysága:

$$\varphi = \mathrm{arctg}\frac{4}{9} \approx \mathbf{24°}$$

A nehezékre ható fonálerő:

$$K = (M + m)a = \frac{(M+m)m_1}{M+m+m_1}g = \frac{(6+4)8\ \mathrm{kg}^2}{(6+4+8)\ \mathrm{kg}}10\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} \approx \mathbf{44,4\ N}.$$

A teherre ható fonálerő pedig

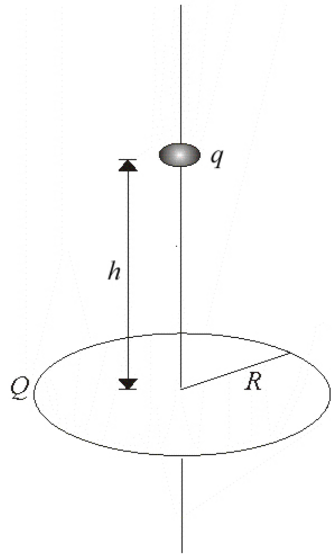
$$K_\mathrm{t} = \frac{mg}{\cos\varphi} = \frac{4\ \mathrm{kg} \cdot 10\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}}{\cos\ 24°} = \mathbf{43,8\ N}.$$

4/A. *A Q elektromos töltésű, R sugarú, vízszintes síkú karika szimmetriatengelyén lévő szigetelőanyagból készült rúdon súrlódás nélkül mozoghatnak gyöngyszemek.*

a) *A karika középpontjától messziről lassan mozgatunk lefelé egy q elektromos töltésű gyöngyöt. Mekkora a gyöngy tömege, ha a karika közepétől h_1 távolságra már nem kell tartanunk? Milyen jellegű a gyöngy egyensúlyi helyzete?*

b) *Egy másik alkalommal a karika középpontjától lassan mozgatunk felfelé egy másik gyöngyöt, amelynek elektromos töltése szintén q. Mekkora ennek a gyöngynek a tömege, ha a karika közepétől h_2 távolságra már nem kell emelnünk? Milyen jellegű a gyöngy újabb egyensúlyi helyzete?*

c) *Az m_3 tömegű, q elektromos töltésű gyöngynek van-e egyensúlyi helyzete a karika szimmetriatengelyén? Ha van, akkor hol? Ha nincs, akkor miért nincs?*

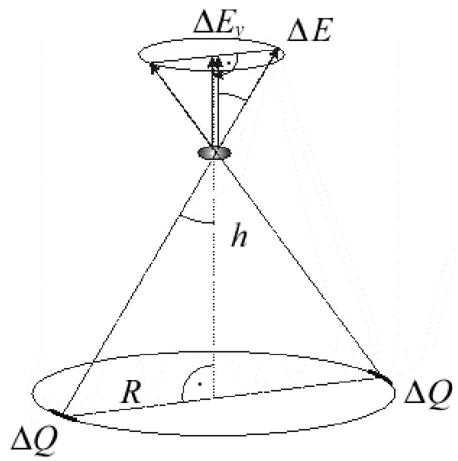


Adatok: $Q = 10^{-6}$ C, $R = 10$cm, $q = 10^{-7}$ C, $h_1 = 10$ cm, $h_2 = 3$ cm, $m_3 = 4$ g, $g = 10\ m/s^2$.

Megoldás:

Először adjuk meg az elektromos töltéssel rendelkező karika elektromos terét a szimmetriatengelye mentén.

Osszuk fel a kör kerületét sok pici, ΔQ elektromos töltésű részre. A karika középpontjától *h* távolságra az elektromos térerősséget megkapjuk a ΔQ elemi töltések által okozott ΔE elektromos térerősségek ΔE_y függőleges komponenseinek összegeként:



$$E_{(h)} = \sum k \cdot \frac{\Delta Q}{R^2 + h^2} \cdot \frac{h}{\sqrt{R^2 + h^2}}$$

Az összegből emeljük ki az állandó tényezőket:

$$E_{(h)} = \frac{k \cdot h}{\left(R^2 + h^2\right)^{\frac{3}{2}}} \cdot \sum \Delta Q$$

A $\sum \Delta Q$ összeg a kör mentén *Q*-val egyenlő. Így

$$E_{(h)} = k \cdot \frac{h}{\left(R^2 + h^2\right)^{\frac{3}{2}}} \cdot Q .$$

A *h* magasságban lévő *q* elektromos töltésre ható elektromos erő felfelé mutat, nagysága:

$$F_{(h)} = k \cdot \frac{h}{\left(R^2 + h^2\right)^{\frac{3}{2}}} \cdot Q \cdot q .$$

Ez az erő a $h=0$, valamint a $h=\infty$ helyen nulla értéket, közben pozitív értéket vesz fel. Vizsgáljuk meg, hol veszi fel a legnagyobb értékét?

1. módszer:

A *h-x* (*x* sokkal kisebb mint *h*) helyen az elektromos erő értéke:

$$F^* = F_{(h-x)} = k \cdot \frac{h-x}{\left(R^2+(h-x)^2\right)^{\frac{3}{2}}} \cdot Q \cdot q\,.$$

Vizsgáljuk külön az:

$$\mathrm{N} = \left(\mathrm{R}^2+(\mathrm{h}-\mathrm{x})^2\right)^{-\frac{3}{2}} = \left(\mathrm{R}^2+\mathrm{h}^2-2\mathrm{hx}+\mathrm{x}^2\right)^{-\frac{3}{2}}$$

mennyiséget. Ha x sokkal kisebb mint *h*, akkor x^2 elhanyagolható az összegben, valamint a kiemelés után:

$$\mathrm{N} = \left(\mathrm{R}^2+\mathrm{h}^2\right)^{-\frac{3}{2}} \cdot \left(1-\frac{2\cdot\mathrm{h}}{\mathrm{R}^2+\mathrm{h}^2}\cdot\mathrm{x}\right)^{-\frac{3}{2}}.$$

Kicsi *x* esetén használható a $(1-\mathrm{x})^{\alpha} \approx 1-\alpha\cdot\mathrm{x}$ közelítés. Így

$$\mathrm{N} = \left(\mathrm{R}^2+\mathrm{h}^2\right)^{-\frac{3}{2}} \cdot \left(1+\frac{3\cdot\mathrm{h}}{\mathrm{R}^2+\mathrm{h}^2}\cdot\mathrm{x}\right).$$

A maximum helyen az F^*/F hányados értéke kis *x* értékekre nem tartalmazhat *x*-ben lineáris tagot, csak x^2-tel arányosat. Írjuk fel az

$$\frac{F^*}{F} = \frac{k\cdot Q\cdot q\cdot(h-x)}{\left(R^2+(h-x)^2\right)^{\frac{3}{2}}} \cdot \frac{\left(R^2+h^2\right)^{\frac{3}{2}}}{k\cdot Q\cdot q\cdot h}$$

hányadost, majd használjuk fel a fenti közelítést. Ekkor *x*-ben lineáris tagokig bezárólag

$$\frac{\mathrm{F}^*}{\mathrm{F}} \approx 1-\frac{\mathrm{x}}{\mathrm{h}}+\frac{3\cdot\mathrm{h}}{\mathrm{R}^2+\mathrm{h}^2}\cdot\mathrm{x}\,.$$

Így annak feltétele, hogy ne legyen *x*-ben lineáris tag az, hogy

$$\frac{3\cdot\mathrm{h}}{\mathrm{R}^2+\mathrm{h}^2}-\frac{1}{\mathrm{h}}=0\,.$$

Ebből *h* értéke könnyedén megkapható: $h=\frac{\sqrt{2}}{2}\cdot R$.

Tehát, a $h=\frac{\sqrt{2}}{2}\cdot R = 7{,}07\ \mathrm{cm}$ magasságban a gyöngyre ható erő maximális, értéke

$$F_{max} = k \cdot \frac{h}{\left(\frac{3}{2} \cdot R^2\right)^{\frac{3}{2}}} \cdot Q \cdot q \, .$$

Az adatokat behelyettesítve: $F_{max} = 0{,}0346 \text{ N}$.

2. módszer:

A maximum helyet megkapjuk differenciálszámítással is. Milyen *h* esetén lesz az első derivált nulla?

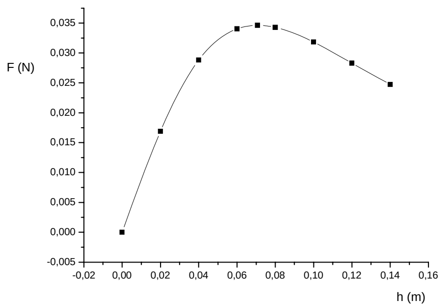
$$F_{(h)}^{/} = \left(k \cdot \frac{h}{\left(R^2 + h^2\right)^{\frac{3}{2}}} \cdot Q \cdot q \right)^{/} = \frac{k \cdot Q \cdot q}{\left(R^2 + h^2\right)^3} \cdot \left[1 \cdot \left(R^2 + h^2\right)^{\frac{3}{2}} - h \cdot \frac{3}{2} \cdot \left(R^2 + h^2\right)^{\frac{1}{2}} \cdot 2 \cdot h \right]$$

Elég azt vizsgálni, hogy a szögletes zárójelben lévő kifejezés milyen *h* esetén nulla:

$$\left(R^2 + h^2\right)^{\frac{3}{2}} = 3 \cdot \left(R^2 + h^2\right)^{\frac{1}{2}} \cdot h^2 \, .$$

Az egyszerűsítések és a lehetséges összevonás után: $h = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot R$ adódik.

(Az F^* függvény második deriváltja a $h = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot R$ helyen negatív, ami azt jelenti, hogy ezen a helyen valóban maximuma van a függvénynek.)



Az $F_{(h)} = \frac{0{,}0009 \cdot h}{\left(0{,}01 + h^2\right)^{\frac{3}{2}}}$ *elektromos erő- hely grafikon*

Ha a gyöngy olyan *h* helyen van egyensúlyban, ahol 0<*h*<$\frac{\sqrt{2}}{2} \cdot R$, akkor az elektromos erő hely-függvénye növekedő, ezért az egyensúlyi helyzet labilis. (Ha a testet kicsit lefelé elmozdítjuk, akkor az elektromos erő csökken, így a test tovább esik lefelé.)

Ha a gyöngy olyan *h* helyen van egyensúlyban, ahol $\frac{\sqrt{2}}{2} \cdot R$<*h*, akkor az elektromos erő hely-függvénye csökkenő, ezért az egyensúlyi helyzet stabilis.

Ilyen megfontolások után válaszoljunk a feladat kérdéseire:

a) A karika középpontjától h_1 távolságra lévő gyöngy egyensúlyban van, a rá ható elektromos-, és nehézségi erő nagysága egyenlő:

$$k \cdot \frac{h_1}{\left(R^2 + h_1^2\right)^{\frac{3}{2}}} \cdot Q \cdot q = m_1 \cdot g \, .$$

Ebből m_1 kifejezhető:

$$m_1 = \frac{k}{g} \cdot \frac{h_1}{\left(R^2 + h_1^2\right)^{\frac{3}{2}}} \cdot Q \cdot q = 3{,}182 \text{ g}$$

(A q töltésű gyöngy tömege $m_1 = 3{,}182 \text{ g}$.)

Mivel a fenti egyenlet megoldása $h_1 > \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot R$, ezen a helyen az elektromos erő helyszerinti függvénye csökkenő, ez a hely **stabilis egyensúlyi helyzet**.

b) A karika középpontjától h_2 távolságra lévő gyöngy egyensúlyban van, a rá ható elektromos-, és nehézségi erő nagysága szintén egyenlő:

$$k \cdot \frac{h_2}{\left(R^2 + h_2^2\right)^{\frac{3}{2}}} \cdot Q \cdot q = m_2 \cdot g \, .$$

Ebből m_2 kifejezhető:

$$m_2 = \frac{k}{g} \cdot \frac{h_2}{\left(R^2 + h_2^2\right)^{\frac{3}{2}}} \cdot Q \cdot q = 3{,}22 \text{ g}$$

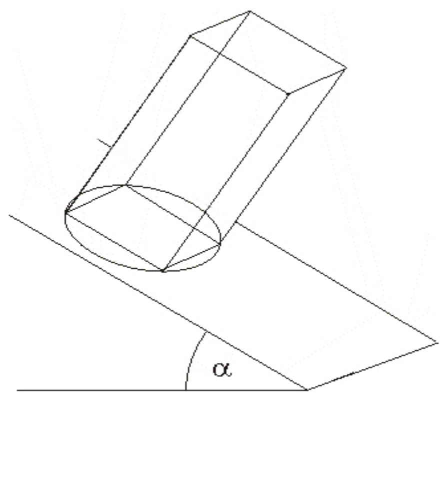
(A q töltésű gyöngy tömege $m_2 = 2{,}37 \text{ g}$.)

Mivel ekkor $h_2 < \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot R$, ezen a helyen az elektromos erő helyszerinti függvénye növekedő, ez a hely **labilis egyensúlyi helyzet**.

c) Az $m_3 = 4 \text{ g}$ tömegű gyöngyre ható 0,04 N nehézségi erő nagyobb az elektromos erő $F_{\max} = 0{,}0346 \text{ N}$ legnagyobb értékénél. Ezért ennek a gyöngynek **nem lesz egyensúlyi helyzete**.

4/B. *Egy homogén anyagú, négyzet alapú, egyenes hasáb mindkét kisebb oldaléle 10 cm, a nagyobbik 20 cm. A téglatest egyik csúcsával lefelé elhelyezve nem csúszik le a* 30°*-os lejtőn.*

***a)** Legalább mekkora a lejtő és a test között a tapadási súrlódási együttható?*



b) *A testet a kisebb lapjával a lejtőre helyezzük. A helyzete a lejtőhöz képest véletlenszerű. Az elengedése után mekkora valószínűséggel borul fel a test?*

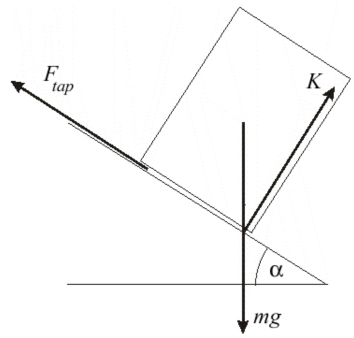
(A véletlenszerű lejtőre helyezés lényege a következő: A lejtőre rajzolunk egy kört, melynek átmérője megegyezik a test kisebb lapjának átlójával. A hasábot minden alkalommal úgy helyezzük a lejtőre, hogy az alsó négy csúcsa a körre illeszkedjen, valamint bármely csúcsa ugyanakkora valószínűséggel kerüljön a körvonal bármelyik 1 cm hosszú ívére.)

Megoldás:

Adatok: $\alpha = 30^\circ$, a = 10 cm

a) A test a lejtőn egyensúlyban van. Ennek feltétele, hogy a testre ható erők eredője nulla.

A lejtőre merőlegesen két erő hat a testre: a nehézségi erő lejtőre merőleges $m \cdot g \cdot \cos\alpha$ komponense, és a lejtő által kifejtett K kényszererő, amelyek ellentétes irányúak és azonos nagyságúak:



$$K = m \cdot g \cdot \cos\alpha .$$

A lejtővel párhuzamosan szintén két erő hat a testre: a nehézségi erő lejtővel párhuzamos $m \cdot g \cdot \sin\alpha$ komponense, és a lejtő által kifejtett tapadási erő. Egyensúlyban

$$F_{tap} = m \cdot g \cdot \cos\alpha .$$

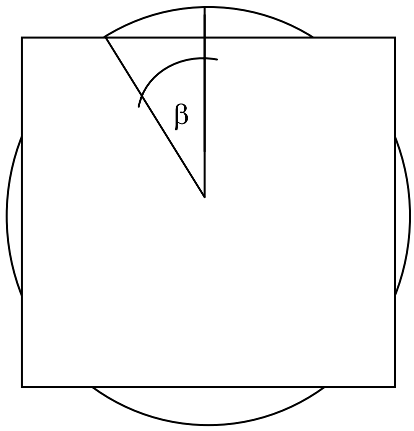
A szükséges tapadási súrlódási együttható legkisebb értékét akkor kapjuk, ha a testre a tapadási erő maximuma hat, azaz $F_{tap} = \mu_0 \cdot F_{ny}$. A fenti egyenletek, valamint az $F_{ny} = K$ feltétel figyelembevételével adódik:

$$\mu_0 = tg\alpha = 0{,}58 .$$

A tapadási súrlódási együttható **legalább 0,58** kell legyen.

b) A lejtőre helyezett téglatest akkor nem billen meg, ha a rá ható három (nem párhuzamos) erő hatásvonala egy pontban metszi egymást. Az F_{tap} tapadási erő és a K kényszererő a hasáb lejtővel érintkező lapjának valamelyik pontjában metszi egymást. Ezért a megbillenésnek az a feltétele, hogy az mg nehézségi erő hatásvonala a négyzet alakú alaplapon kívül messe a lejtőt.
A hasáb középpontja a = 10 cm-re van a lejtő síkjától. A nehézségi erő ebben a pontban hat a testre. Hatásvonala $r = a \cdot tg\alpha = 0{,}58 \cdot a$ -ra döfi a lejtőt a hasáb lejtőre illeszkedő lapjának középpontjától. Rajzoljuk meg a közös középpontú a oldalú négyzetet, és az r sugarú kört. A hasáb akkor borul fel, ha a nehézségi erő hatásvonala a négyzet alakú alaplapon kívül metszi az r sugarú kört.
Határozzuk meg az ábrán jelölt β szöget

$$\cos\beta = \frac{\frac{a}{2}}{r} = \frac{\frac{a}{2}}{a \cdot tg\alpha} = \frac{\sqrt{3}}{2} \Rightarrow \beta = 30^\circ$$



A felborulás valószínűsége: $w = \frac{8 \cdot \beta}{360^\circ} = \frac{2}{3} = 66{,}7\%$. Ez azt jelenti, hogy az esetek **2/3** részében a hasáb felborul, **1/3** részében megáll.

Pontozási útmutató II. kategória:

1. feladat

Az elmozdulás nagyságának a keresett idővel való helyes kifejezése: **8 pont**
A t^2 –ben vegyes másodfokú egyenlet helyes felírása: **4 pont**
Az egyenlet t^2-re való helyes megoldása: **2 pont**
Az egyenletből t reális értékének helyes kiszámítása: **6 pont**

2. feladat

A baloldali részre a gáztörvény felírása: **4 pont**
A jobboldali részre a gáztörvény felírása:**4 pont**
A jobboldali gáz adiabatikus egyenletének felírása:**4 pont**
A jobboldali rész hőmérsékletének megadása: **3 pont**
A baloldali rész hőmérsékletének megadása: **3 pont**
A két hőmérséklet aránya: **2 pont**

3. feladat

Annak felismerése, hogy a kocsi és a teher a folyamat alatt merev rendszerként viselkedik: **5 pont**
A két mozgásegyenlet helyes felírása: **4 pont**

A gyorsulás-nagyságok meghatározása: **2 pont**

A keresett szög meghatározása: **5 pont**

A két fonálerő helyes meghatározása egyenként **2-2 pont**

4/A feladat

A karika szimmetriatengelyén lévő gyöngyre ható elektromos erő megadása a karika középpontjától mért távolság függvényében: **2 pont**
Az elektromos erő – hely függvény jellemzése, a maximum helyének és értékének megadása: **4 pont**
Az egyensúlyi helyzet milyenségének (stabilis, labilis) jellemzése a hely függvényében: **2 pont**
a)
Az egyensúlyi helyzet dinamikai feltételének megfogalmazása: **1 pont**
A gyöngy tömegének kifejezése és numerikus megadása: **2 pont**
Az egyensúlyi helyzet jellegének megadása indoklással: **2 pont**
b)
Az egyensúlyi helyzet dinamikai feltételének megfogalmazása: **1 pont**
A gyöngy tömegének kifejezése és numerikus megadása: **2 pont**
Az egyensúlyi helyzet jellegének megadása indoklással: **2 pont**
c)
Annak felismerése, hogy a gyöngyre ható nehézségi erő nagyobb, mint az elektromos erő legnagyobb értéke: **1 pont**
Az egyensúlyi helyzet hiányának kimondása: **1 pont**

<u>4/B feladat</u>

a)
A lejtőre helyezett test egyensúlyának dinamikai feltétele: **2 pont**
A tapadási súrlódási együttható legkisebb értékének meghatározása: **2 pont**
b)
A téglatest megbillenésének feltétele: **4 pont**
A nehézségi erő hatásvonala által a lejtőből kimetszett pont és a hasáb lejtőre illeszkedő lapjának középpontja közötti r távolság meghatározása: **4 pont**
A téglatest felborulását jellemző β szög meghatározása: **4 pont**
A felborulás valószínűségének megadása: **4 pont**.