A fizika OKTV-t az előző évek gyakorlatához hasonlóan az elmúlt tanévben is három kategóriában és három fordulóban rendezték meg. Az első (iskolai) és a második (megyei) fordulón elméleti problémákat, a harmadik fordulón pedig mérési feladatokat oldottak meg a versenyzők. A végső sorrendet a második és a harmadik fordulóban elért pontszám összege alapján állapította meg a versenybizottság.
Az alábbiakban ismertetjük a verseny II. fordulójának feladatait és azok megoldását.[1] A III. (kísérleti) fordulóról a FIZIKA Módszertani Lapok 1996. szeptemberi számában olvasható részletes beszámoló.

Az I. kategória (szakközépiskolások) feladatai

1. feladat. *Egy m_0 tömegű karika csúszásmentesen legördül egy α hajlásszögű lejtőn. Az indulás pillanatában a P pontra száll egy m tömegű bogár. Milyen erővel kell kapaszkodnia a bogárnak $5/4$ fordulat befejezésekor, hogy megtartsa magát a karikán? ($\alpha = 20^\circ$, $m = 1$ g, $m_0 \gg m$.)*

(Jurisits József)

Megoldás. A bogár szerepe elhanyagolható a karika mozgásában. A karika a gyorsulására és β szöggyorsulására felírható egyenletek:

$$m_0 g\sin\alpha - S = m_0 a, \quad SR = m_0 R^2\beta, \quad a = R\beta,$$

ahol a a karika középpontjának gyorsulása. Az egyenletrendszerből adódik, hogy:

$$a = \frac{g\sin\alpha}{2}. \tag{1}$$

5/4 fordulat, vagyis $s = 5R\pi/2$ út megtétele után a középpont sebességének négyzete:

$$v^2 = 2as = \frac{5}{2}R\pi g\sin\alpha. \tag{2}$$

A kérdéses időpillanatban a bogár gyorsulásának radiális komponense egy egyenesbe esik a karika középpontjának gyorsulásával és a karika bogár által elfoglalt pontjának (a karikával együtt haladó – de nem forgó – koordináta-rendszerben mért) centripetális gyorsulásával (*2. ábra*). Ez utóbbi iránya ellentétes a középpont lejtő menti gyorsulásával, tehát a bogárnak ebben a pillanatban az inerciarendszerben középpont irányában (vagyis a lejtő mentén): $a_r = v^2/R - a$, a karika érintőjének irányában (vagyis a lejtőre merőlegesen) pedig a gyorsulása van.

Vegyük fel koordináta-rendszerünket a lejtőhöz rögzítve, azzal párhuzamos x és rá merőleges y tengelyekkel (*3. ábra*)! A bogár gyorsulását a nehézségi erővel együtt a kapaszkodással biztosított K erő hozza létre, amelynek komponensei K_x és K_y nagyságúak.

A bogár mozgásegyenlete x és y irányokra:

$$K_x - mg\sin\alpha = m\left(\frac{v^2}{R} - a\right), \tag{3}$$

$$mg\cos\alpha - K_y = ma. \tag{4}$$

(3)-ból (1) és (2) behelyettesítésével:

$$K_x = mg\sin\alpha + m\frac{5}{2}\pi g\sin\alpha - m\frac{g\sin\alpha}{2} = 2{,}8\cdot 10^{-2}\ \text{N},$$

$$\text{(4)-ből pedig} K_y = mg\left(\cos\alpha - \frac{\sin\alpha}{2}\right) = 7{,}5\cdot 10^{-3}\ \text{N}.$$

Az eredő kapaszkodási erő: $K = \sqrt{K_x^2 + K_y^2} = 2{,}9\cdot 10^{-2}$ N. (Látható, hogy ekkora sebességnél már a sugárirányú gyorsulás dominál.) Az eredő erő iránya a lejtő lapjához viszonyítva: $\operatorname{tg}\gamma = K_y/K_x = 0{,}27$, innen $\gamma = \operatorname{arc\,tg}\ 0{,}27 = 15^\circ$.

2. feladat. *Soros RLC-körre $U = 200\ \text{V}\cdot\sin\,(628\ \text{s}^{-1}\cdot t)$ feszültséget kapcsolunk. Az áramerősség $I = 7{,}07\ \text{A}\cdot\sin\,(628\ \text{s}^{-1}\cdot t - \pi/4)$ függvény szerint változik. Az önindukciós együttható $L = 143$ mH.*

a) *Határozzuk meg R és C értékét!*

b) *Határozzuk meg a tekercsen és a kondenzátoron a feszültség–idő függvényeket!*

(Blészer Jenő)

Megoldás. a) Mivel az áram késik a feszültséghez képest, a kör induktív jellegű. A fáziskésés nagysága $\varphi = \pi/4\ \text{rad} = 45^\circ$. Az impedancia:

$$Z = \frac{U_{\text{eff}}}{I_{\text{eff}}} = \frac{U_{\max}}{I_{\max}} = \frac{200\ \text{V}}{7{,}07\ \text{A}} = 28{,}3\ \Omega.$$

[1] *

Az ohmikus ellenállás:

$$R = Z \cdot \cos 45^\circ = 28{,}3\ \Omega \cdot \cos 45^\circ = 20\ \Omega.$$

A *4. ábrán* látható egyenlő szárú derékszögű háromszögből $X_L - X_C = R$, vagyis $\omega L - 1/(\omega C) = R$. Innen

$$C = \frac{1}{\omega(\omega L - R)} = 22{,}8\,\mu\mathrm{F}.$$

b) A tekercsen a feszültség maximuma $U_{\mathrm{L\ max}} = I_{\max} X_L$, így a feszültség csúcsértéke a tekercsen:

$$U_{\mathrm{L\ max}} = I_{\max} \cdot \omega L = 7{,}07\ \mathrm{A} \cdot 628\ \mathrm{s}^{-1} \cdot 0{,}143\ \mathrm{H} = 635\ \mathrm{V}.$$

Mivel a tekercs feszültsége a kör U feszültségéhez képest $\pi/4$ szöggel siet, a tekercsen eső feszültség időfüggvénye:

$$U_{\mathrm{L}} = 635\ \mathrm{V} \cdot \sin\left(628\ \frac{1}{\mathrm{s}} \cdot t + \frac{\pi}{4}\right).$$

A kondenzátoron a feszültség maximuma:

$$U_{\mathrm{C\ max}} = I_{\max} X_C = I_{\max} \frac{1}{\omega C} = 494\ \mathrm{V},$$

és mivel a kondenzátoron eső feszültség a kapocsfeszültséghez képest $3\pi/4$ szöggel késik, a feszültség időfüggvénye:

$$U_{\mathrm{C}} = 494\ \mathrm{V} \cdot \sin\left(628\ \frac{1}{\mathrm{s}} \cdot t + 3\frac{\pi}{4}\right).$$

3. feladat. *A természetben található kálium egy része olyan izotóp (jelölése* $^{40}\mathrm{K}$*), amely radioaktív bomlással argonná alakul. A bomlás felezési ideje* $1{,}2 \cdot 10^9$ *év, ami azt jelenti, hogy ennyi idő alatt csökken a radioaktív magok száma a kezdeti érték felére, kétszer annyi idő alatt a negyedére, háromszor annyi idő alatt a nyolcadára és így tovább …*

Az Apolló-program keretében egy olyan követ hoztak a Holdról a Földre, amely $4{,}0$ g *káliumot tartalmazott, amelynek* $0{,}01\%$*-a* $^{40}\mathrm{K}$ *izotóp volt. Miközben a követ egy lezárt kályhában felmelegítették, a kőből argon szabadult ki. A kiszabadult argongáz térfogatát* $20\ ^\circ\mathrm{C}$ *hőmérsékleten,* $101{,}3$ kPa *nyomáson* $2{,}4\ \mathrm{cm}^3$*-nek találták.*

Számítsuk ki ennek alapján, hogy minimálisan milyen öreg lehet a Hold, ha feltételezzük, hogy a radioaktív kálium bomlása során keletkező összes argon a kőben maradt, továbbá más módon nem került argon a kőbe!

(Honyek Gyula)

Megoldás. 4 g kálium majdnem pontosan $0{,}1$ mol, a benne található $^{40}\mathrm{K}$ mennyisége tehát $n_{(^{40}\mathrm{K})} = 10^{-5}$ mol. Az argon mennyisége a $pV = nRT$ gáztörvény alapján: $n_{\mathrm{Ar}} \approx 1 \cdot 10^{-4}$ mol. A kezdeti $^{40}\mathrm{K}$ mennyisége tehát

$$n_{(^{40}\mathrm{K})}(0) = n_{(^{40}\mathrm{K})}(t) + n_{\mathrm{Ar}} = 10^{-5}\ \mathrm{mol} + 10^{-4}\ \mathrm{mol} = 1{,}1 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{mol}.$$

A bomlástörvény alapján:

$$n_{(^{40}\mathrm{K})}(t) = n_{(^{40}\mathrm{K})}(0) \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$$

Ebből $t = 3{,}46 \cdot T_{1/2} = 4{,}15 \cdot 10^9$ év adódik. A Hold tehát több mint 4 milliárd éves.

A II. és a III. kategória (valamennyi gimnazista) feladatai

1. feladat. *Egy* $L = 3$ m *hosszúságú,* $M = 3$ kg *tömegű, homogén tömegeloszlású merev rudat vízszintes asztalon lévő két egyforma, vékonyfalú hengerre fektetünk. A két henger tengelye egymástól* $d = 2$ m*-re van, továbbá a rúd szélső, ill. a másik végétől számított harmadoló pontja van a hengerek tengelye fölött. A hengerek egyenként* $m = 1$ kg *tömegűek. A rúdra* $F = 12$ N *vízszintes irányú, állandó nagyságú húzóerő hat. Mindkét henger csúszásmentesen gördül.*

a) *Mekkora sebességre gyorsul fel a rúd, miközben a bal oldali vége éppen a bal oldali henger tengelye fölé kerül?*

b) *Mekkora súrlódási erő és legalább mekkora súrlódási együttható szükséges a tiszta gördüléshez a hengerek és a rúd között?*

c) *Legalább mekkora a súrlódási együttható az asztal és a hengerek között?*

(Zsúdel László)

Megoldás. Tekintsük először a vékonyfalú hengereket! A rúdtól származó $\mathbf{S}$ súrlódási erő nyilvánvalóan a rúd haladásának irányába mutat. A talajnál ható $\mathbf{F_s}$ súrlódási erőt vegyük fel ugyanebbe az irányba. (Az egyenletrendszer megoldása után F_{s}-re kapott előjel eldönti a valódi irányát.)

A hengerek tömegközéppontjára vonatkozó mozgásegyenlet az erők koordinátáival (egy egyenesbe eső vektorok lévén): $S + F_{\mathrm{s}} = m a_s$, ahol a_{s} a henger tömegközéppontjának gyorsulása. A forgatónyomaték-tétel szerint: $(S - F_{\mathrm{s}})r =$

$\Theta_s\beta$. A csúszásmentesség kinematikai kényszerfeltétele: $a_s = r\beta$. Ezekből az egytenletekből kifejezhetjük a talaj által kifejtett súrlódási erőt:

$$F_s = \frac{mr^2 - \Theta_s}{\Theta_s + mr^2} S = 0.$$

(Felhasználtuk, hogy a vékonyfalú henger tengelyére vonatkozó tehetetlenségi nyomatéka $\Theta_s = mr^2$.) Az asztal és a hengerek között tehát nem hat súrlódási erő. Ezek szerint a hengerek csúszás nélkül gördülnek akár a *tökéletesen sima* felületen is!

Térjünk át most a hengerek és a rúd kapcsolatára! A rúd is csúszásmentesen mozog a hengereken (*6. ábra*), ezért a hengerek legfelső pontjainak sebessége és gyorsulása azonos a rúdéval. Ha viszont a talajon nincs súrlódás, akkor a rúddal érintkező pontokban ható súrlódási erőnek meg kell egyezni mindkét henger esetében, mert csak úgy lehet mindkettőjük gyorsulása azonos. Ez tehát annak ellenére is úgy van, hogy a rúd mozgása közben a rúd és a henger között ható N_1 és N_2 (normál irányú) kényszererők állandóan változnak. N_1 nagysága $Mg/4$-ről indul és maximális értéke $3Mg/4$ a folyamat végén, míg N_2-re mindez fordítva érvényes: $3Mg/4$-ről $Mg/4$-re csökken (miközben mindvégig $N_1 + N_2 = Mg$). Ez természetesen csak úgy teljesülhet, hogy a hengerek és a rúd közötti tapadási súrlódási együttható olyan nagy legyen, hogy a minimális normálerő esetén is biztosítsa az aktuális S súrlódási erőt.

A mozgásegyenlet a rúdra: $F - 2S = Ma$. A tömegközéppont mozgásának tétele bármelyik hengerre: $a_s = S/m$. A mindkét felületen való csúszásmentes gördülés megköveteli, hogy $a_s = a/2$ legyen. Így $a/2 = S/m$, vagyis $2S = ma$. Ezt a mozgásegyenletbe helyettesítve: $F - ma = Ma$, azaz

$$a = \frac{F}{m+M} = 3 \text{ m/s}^2 \quad \text{illetve} \quad S = \frac{m}{2(m+M)} F = 1,5 \text{ N}.$$

Így a rúd és hengerek közötti minimális súrlódási együtthatóra

$$\mu_{\min} = \frac{S}{N_{\min}} = \frac{4S}{Mg} = 0,2$$

adódik. A rúd végsebessége: $v = \sqrt{2a(2L/3)} = 3,46$ m/s.

2. feladat. *A régiek úgy gondolták, hogy a Föld egy nagy, lapos korong. Képzeljük el, hogy a Föld valóban nem R sugarú gömb, hanem igen nagy sugarú, H vastagságú lapos korong. Mekkora H vastagság esetén tapasztalnánk a korong felszínén (a szélétől messze), hogy a gravitációs gyorsulás ugyanakkora, mint amekkorának a gömb alakú Föld felszínén tapasztaljuk? ($R = 6370$ km. A két „Föld"-modellben a sűrűségeket tekintsük állandónak és egymással egyenlőnek.)*

(Szegedi Ervin)

Megoldás. Ismeretes, hogy az R sugarú, M tömegű, ϱ sűrűségű Föld felületén a gravitációs gyorsulás a következő alakban adható meg:

$$g = \gamma \frac{M}{R^2} = \gamma \frac{\varrho \cdot (4R^3\pi/3)}{R^2} = \frac{4}{3}\gamma\varrho R\pi. \tag{1}$$

A feladat megoldásához meg kell határoznunk egy H vastagságú, igen nagy sugarú, ϱ_m sűrűségű korong fedőlapján a gravitációs gyorsulás nagyságát (távol a korong szélétől). Viszonylag könnyen célt érhetünk, ha kihasználjuk az elektrosztatikus és gravitációs kölcsönhatás erőtörvénye közötti analógiát.

Pontszerű, nyugvó elektromos töltésekre ható elektrosztatikus erő, illetve a pontszerű testek között ható gravitációs erőhatás erőtörvényei azonos jellegűek:

$$\mathbf{F} = -\gamma \frac{m_1 m_2}{r^3} \cdot \mathbf{r}, \quad \text{illetve} \quad \mathbf{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^3} \cdot \mathbf{r},$$

ahol $k = 1/(4\pi\varepsilon_0)$. Látható, hogy az m tömegnek („gravitációs töltésnek") a q elektromos töltés, a γ gravitációs állandónak az $1/(4\pi\varepsilon_0)$ és a $g = F/m$ gravitációs gyorsulásnak az $E = F/q$ elektromos térerősség felel meg. Ha tehát meghatároztuk egy homogén töltéssűrűségű, nagyon nagy sugarú korong elektromos térerősségét a korongon kívül, a megfelelő mennyiségek helyettesítésével a gravitációs gyorsulást is megkapjuk a hasonló geometriával bíró tömegeloszlás esetén.

Az elektromos megfelelőt Gauss tétele alapján határozhatjuk meg: $N_E = (1/\varepsilon_0)\sum q$, ahol az elektromos „forrás-erősség" a *7. ábrán* látható elrendezésben $N_E = 2AE$. Ha az elektromos töltéssűrűség ϱ_q, akkor a zárt mérőfelület által körülölelt összes töltés $\sum q = \varrho_q AH$, tehát $2EA = \frac{1}{\varepsilon_0}\varrho_q AH$, ahonnan az elektromos térerősség

$$E = \frac{1}{\varepsilon_0}\frac{\varrho_q H}{2}. \tag{2}$$

A gravitációs gyorsulás tehát az egymásnak megfelelő mennyiségek átírásával (2)-ből:

$$g = 4\pi\gamma \frac{\varrho_m H}{2}.$$

Ennek kell a homogénnek tekintett Föld felszínén mérhető gravitációs gyorsulással megegyeznie, amely (1) alapján:

$$g_{\text{gömb}} = g_{\text{korong}} = \gamma \frac{4R\pi \varrho_m}{3} = 4\pi\gamma \frac{\varrho_m H}{2},$$

ahonnan a „lapos Föld” korongjának vastagsága:

$$H = \frac{2}{3}R = \frac{2}{3} \cdot 6370 \text{ km} = 4250 \text{ km}.$$

3. feladat. *Egy m tömegű, q töltésű kicsiny gyöngyöt R sugarú, szigetelő anyagból készült, vízszintes síkú, vékony karikára fűzünk. A körpályán a gyöngy súrlódás nélkül mozoghat és kezdetben nyugalomban van. Ezután olyan (a t tengelyre) hengerszimmetrikus mágneses mezőt hozunk létre, amelyben a mágneses indukció pályasíkra merőleges komponense csak a középponttól mért r távolságtól és a t időtől függ: $B(r,\ t) = E_0 \cdot t/r$, ahol E_0 adott konstans. (Az $r = 0$ elhanyagolható kiterjedésű környezetében az indukció valamilyen véges érték.)*

a) *Határozzuk meg a gyöngy sebesség–idő függvényét!*

b) *Hogyan alakul a gyöngy és a pálya között ható nyomóerő sugárirányú komponense az idő függvényében?*

(Szegedi Ervin)

Megoldás. a) Határozzuk meg a körpálya által körülvett fluxust az idő függvényében! Mivel az indukció a sugár mentén változik, olyan kis tartományokra osztjuk a körterületet, amelyeken belül a mágneses mező homogénnek vehető (*9. ábra*).

Jelöljünk ki ezért egy r sugarú, $\Delta r \ll r$ szélességű körgyűrűt, amelynek fluxusa: $\Delta\Phi = B(r,\ t) \cdot 2r\pi \cdot \Delta r$. A feladat követelménye szerint $\Delta\Phi = \dfrac{E_0}{r} t \cdot 2r\pi \cdot \Delta r$. Összegezzük az elemi fluxust:

$$\Phi(t) = \sum \Delta\Phi = 2\pi E_0 t \sum_i \Delta r_i = 2\pi E_0 t R,$$

azaz $\Phi(t) = 2\pi E_0 R t$.

A hengerszimmetria miatt a kialakuló indukált elektromos mező is hengerszimmetrikus, és így térerőssége a gyöngy helyén:

$$E(R) = \frac{1}{2\pi R} \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{1}{2\pi R} \cdot \frac{2\pi R E_0 \Delta t}{\Delta t} = E_0.$$

A gyöngyre érintő irányban állandó nagyságú elektromos erő hat, tehát sebessége az idő függvényében: $v(t) = \dfrac{E_0 q}{m} \cdot t$.

b) Sugár irányban alkalmazva a mozgásegyenletet: $qvB + N = mv^2/R$, ahol N a pálya által kifejtett kényszererő. Ennek nagysága $v(t)$ fentebb kiszámított kifejezésének felhasználásával:

$$N = qvB - m\frac{v^2}{R} = q \cdot \frac{E_0 q}{m} t \cdot \frac{E_0 t}{R} - \frac{m}{R} \frac{E_0^2 q^2 t^2}{m^2} = 0.$$

A gyöngyszem és a karika között tehát nem hat erő az ilyen szerkezetű mágneses mezőben. Mivel a pálya nem fejt ki sugárirányú nyomóerőt, akár ott sem kell lennie! Ez a *betatron részecskegyorsító* elve.

A fizika I. kategória végeredménye

1. **Guti Lajos** (Budapest, Puskás Tivadar Távközlési Technikum, III. o.t.),
tanára: Beregszászi Zoltán;
2. **Prókai Tibor** (Szeged, Déri Miksa Ip. Szki., IV. o.t.),
tanára: Horváth László;
3. **Vörös Sándor** (Paks, Energetikai Szakképzési Int., III. o.t.),
tanára: Árokszállási Tibor;

4. *Simon Kornél* (Miskolc, Andrássy Gy. Műsz. Szki., IV. o.t.), tanára: Dobos Zsolt; 5. *Erdei Zoltán* (Bp., Bolyai J. Műsz. Szki., IV. o.t.), tanára: Jakab Emese; 6. *Molnár Zsolt* (Paks, Energetikai Szakképzési Int., IV. o.t.), tanára: Csajági Sándor; 7. *Kiss Béla* (Vác, Boronkay Gy. Műsz. Szki., IV. o.t.), tanára: Arany Tóth László; 8. *Pap Gábor* (Bp., Trefort Á. Műsz. Szki., III. o.t.), tanára: Pecsenye Sándor; 9. *Dányádi Attila* (Kaposvár, Eötvös L. Műsz. Szki., III. o.t.), tanára: Sárdi Zoltán; 10. *Pribelszki János* (Bp., Puskás T. Távk. Techn., IV. o.t.), tanára: Nagy Józsefné; 11. *Mészáros Balázs* (Paks, Energetikai Szakképzési Int., IV. o.t.); 12. *Sebestyén Balázs* (Bp., Újpesti Műsz. Szki., IV. o.t.); 13. *Brezniczky János* (Eger, Gép- és Műszerip. Szki., III. o.t.); 14. *Mikó Péter* (Debrecen, Gábor D. Műszaki Középisk., IV. o.t.); 15. *Szabadi Péter* (Paks, Energetikai Szakképzési Int., IV. o.t.); 16. *Jurácz László* (Vác, Boronkay Gy. Műsz. Szki., IV. o.t.).

A fizika II. kategória végeredménye

1. **Tóth Gábor Zsolt** (Budapest, Árpád Gimn., IV. o.t.), tanára: Vankó Péter;
2. **Várkonyi Péter** (Fazekas M. Főv. Gyak. Gimn., III. o.t.), tanára: Horváth Gábor;
3. **Böde Csaba** (Nagykanizsa, Batthyány Lajos Gimn., IV. o.t.), tanára: Soós Sándor;

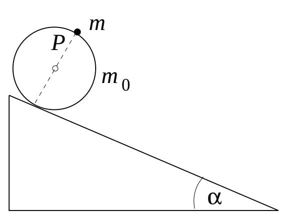
4. *Kovács Baldvin* (Fazekas M. Főv. Gyak. Gimn., IV. o.t.), tanára: Horváth Gábor; 5. *Vörös Zoltán* (Tiszavasvári, Váci M. Gimn., IV. o.t.), tanárai: Víg Csaba, dr. Szegedi Ervin; 6. *Perényi Márton* (Fazekas M. Főv. Gyak. Gimn., IV. o.t.), tanára: Horváth Gábor; 7. *Hegyi Barnabás* (Zalaegerszeg, Zrínyi M. Gimn., IV. o.t.), tanára: Orbán Edit; 8. *Tóth Péter* (Miskolc, Földes F. Gimn., IV. o.t.), tanára: Zámborszky Ferenc; 9. *Bárász Mihály* (Fazekas M. Főv. Gyak. Gimn., IV. o.t.), tanára: Horváth Gábor; 10. *Elek Péter* (Budapest, Árpád Gimn., IV. o.t.), tanára: Vankó Péter; 11. *Király Csaba* (Fazekas M. Főv. Gyak. Gimn., IV. o.t.); 12. *Braun Gábor* (Bp., Szent István Gimn., IV. o.t.); 13. *Göller Ákos* (Fazekas M. Főv. Gyak. Gimn., IV. o.t.); 14. *Frenkel Péter* (Fazekas M. Főv. Gyak. Gimn., III. o.t.); 15. *Burcsi Péter* (Pápa, Türr I. Gimn., IV. o.t.); 16. *Gyukics Mihály* (Szolnok, Varga K. Gimn., IV. o.t.); 17. *Péli Gergely* (Fazekas M. Főv. Gyak. Gimn., IV. o.t.); 18. *Wagner Róbert* (Pannonhalma, Bencés Gimn., IV. o.t.); 19. *Koncz Imre* (Fazekas M. Főv. Gyak. Gimn., III. o.t.); 20. *Laczkó Gábor* (Pécs, Janus Pannonius Gimn., IV. o.t.); 21. *Hegedűs Márton* (Fazekas M. Főv. Gyak. Gimn., IV. o.t.); 22. *Várszegi Zsolt* (Zalaegerszeg, Ságvári E. Gimn., III. o.t.); 23. *Varró Gergely* (Fazekas M. Főv. Gyak. Gimn., III. o.t.); 24. *Mátrai Tamás* (Fazekas M. Főv. Gyak. Gimn., III. o.t.).

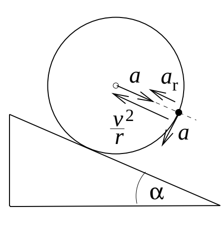
A fizika III. kategória végeredménye

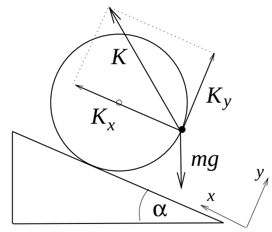
1. **Lovas Rezső** (Debrecen, KLTE Gyak. Gimn., IV. o.t.), tanárai: Dudics Pál, dr. Kirsch Éva, dr. Szegedi Ervin;
2. **Lestyán Zsolt** (Kecskemét, Katona József Gimn., IV. o.t.), tanára: dr. Szablics Bálint;
3. **Várnagy Gábor** (Budapest, ELTE Apáczai Csere János Gyak. Gimn., IV. o.t.), tanára: Flórik György;

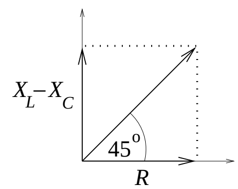
4. *Véber Miklós* (Veszprém, Lovassy L. Gimn., IV. o.t.), tanára: Schultz Zoltán; 5. *Pongrácz Gergely* (Mosonmagyaróvár, Kossuth L. Gimn., IV. o.t.), tanárai: Horváth László, Sipőcz István; 6. *Fabó Márton* (Bp., Berzsenyi D. Gimn., III. o.t.), tanára: Gyenes Gábor; 7. *Holcsek Balázs* (Veszprém, Lovassy L. Gimn., IV. o.t.), tanára: Király László; 8. *Kurucz Zoltán* (Szolnok, Varga K. Gimn., IV. o.t.), tanára: Vincze Gábor; 9. *Fábián Zoltán* (Kecskemét, Katona József Gimn., IV. o.t.), tanára: dr. Szablics Bálint; 10. *Agod Attila* (Debrecen, Tóth Á. Gimn., IV. o.t.), tanára: Kovács Miklós; 11. *Volk János* (Bp., ELTE Radnóti M. Gyak. Gimn., IV. o.t.); 12. *Gubás Lóránd* (Miskolc, Földes F. Gimn., III. o.t.); 13. *Gombkötő Ákos* (Bp., ELTE Radnóti M. Gyak. Gimn., IV. o.t.); 14. *Rácz Attila* (Debrecen, KLTE Gyak. Gimn., IV. o.t.); 15. *Payrits Szabolcs* (Sopron, Széchenyi I. Gimn., IV. o.t.); 16. *Szabó Gábor* (Veszprém, Lovassy L. Gimn., IV. o.t.); 17. *Pályi Balázs* (Szeged, JATE Ságvári E. Gyak. Gimn., IV. o.t.); 18. *Nős Bálint* (Pécs, Széchenyi I. Gimn., IV. o.t.); 19. *Vágvölgyi Attila* (Bp., ELTE Radnóti M. Gyak. Gimn., IV. o.t.); 20. *Bartal Balázs* (Pécs, JPTE Babits M. Gyak. Gimn., IV. o.t.).

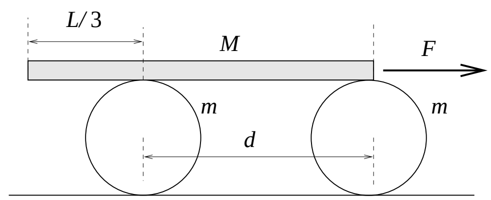
Holics László

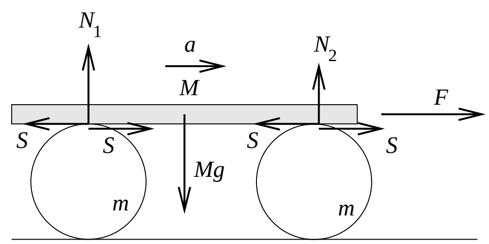


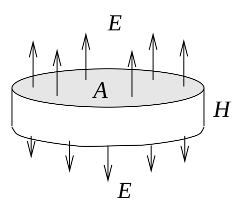


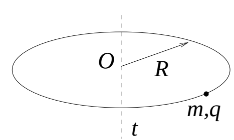

K
K_y
K_x
mg
y
x
α

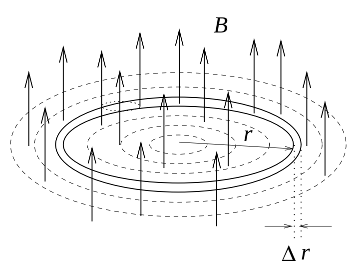

$X_L - X_C$
45°
R


L/3
M
F
m
m
d


N_1
a
N_2
M
F
S
S
S
S
Mg
m
m


E
A
H
E


O
R
m,q
t


B
r
Δ r