Celoslovenský korešpondenčný seminár z fyziky pre žiakov ZŠ a OG

Vzorové riešenia 3. série letnej časti

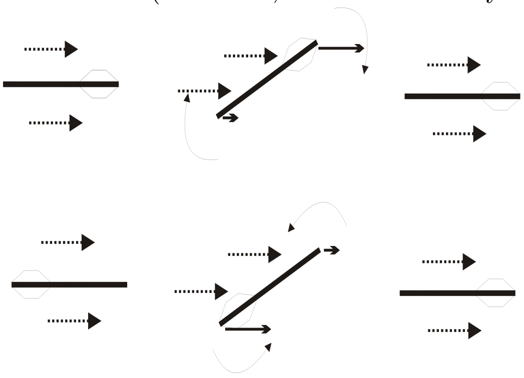
Pikofyz, 11. ročník www.p-mat.sk/pikofyz šk. rok 2008/2009

Milá riešiteľka naša, milý riešiteľ náš! *Po poslednej sérii tohoto školského roka sú tu aj posledné vzorové riešenia, ako zvyčajne plné fyziky a samozrejme čo najsprávnejších riešení našich príkladov. Želáme Ti krásne prázdniny a ak patríš medzi pozvaných, tak sa tešíme na stretnutie s Tebou na letnom sústredení, ktoré bude už tradične plné hier, zábavy a najmä ešte zaujímavejšej fyziky :-).*

Príklad 1 - Šípy *opravovali Emília Rigdová - Milka, Matúš Rybák - Tumáš*

Takže zasa nás tu prekvapila škaredá obludka - krátky a jednoduchý príklad, ale náročný na riešenie :). Väčšina z Vás správne uviedla, že letky slúžia na stabilizáciu trajektórie šípu (pri bezvetrí, s vetrom to už je ťažšie).

Pozrime sa, čo sa stane, ak sa šípka mierne vychýli. Dovtedy takmer nulová plocha letiek, na ktorú tlačil prúd vzduchu, sa podstatne zväčší, čo sa prejaví pôsobením odporovej sily. Odporová sila smeruje proti letu šípu a je na vychýlené letky teda „šikmá“. Túto silu rozložíme na zložku rovnobežnú s letkami - tá šíp spomľuje a na zložku kolmú k letkám - práve táto zatlačí letky späť do pozície rovnobežnej so smerom letu (a stratí sa, lebo si tak sama vynuluje odporovú silu, z ktorej pochádza).



Čo sa stane, ak by sa letky nachádzali pri hrote? Stane sa presne to isté, lenže teraz sila kolmá na letky nezatláča tento koniec šípu do pozície kde začínal (do čela letu), ale opäť do pozície „vzadu“. Obrázky hádam podávajú dostatočné vysvetlenie :).

Dá sa na to pozrieť aj ako na **páku**, kde pri vychýlení pôsobí istá odporová sila na hrot a výrazne väčšia odporová sila na letky, vytvárajúc tak príslušné momenty síl vzhľadom na ťažisko, čo zapríčiňuje otáčavý pohyb šípu smerom späť k rovnovážnej polohe.

Za relevantný argument sme uznávali aj to, že letky vpredu by znižovali **účinnosť šípu pri zásahu**. Ale je to len podružný dôvod (ak so šípom s letkami vpredu zasiahnem nepriateľa na 300 m, tak mi už je srdečne jedno, či ho to prepichne celého alebo iba do polovice :).

Mnohí z Vás uvádzali ako príčinu vyrovnávania sa šípu to, že letky svojou hmotnosťou vyvažujú hrot a posúvajú tak **ťažisko** dozadu. To síce platí, ale na stabilite letu šípu to nič nemení - ťažisko sa dozadu posunie len minimálne. Ale máme zaujímavý protipríklad - prečo tak škaredo vyvážená vec akou je oštep tak skvelo letí, a to bez ohľadu na to, či ho hodíme iba pomocou ruky alebo tzv. vrhača (pôsobíme silou na koniec oštepu, podobne ako pri streľbe lukom) ? Takže toto sme, bohužiaľ, nemohli uznať ako správne riešenie, aj keď nejaké bodíky Vám to pridalo.

Ďalším dôvodom, spomínaným v riešeniach, bola lepšia **aerodynamika**. Vo fyzike je častokrát narábanie s odporovými silami hraním sa s ohňom, ale nech. Navyše ste sa líšili v tom, čo si pod aerodynamikou predstavujete. Ak si pod ňou predstavujete **odpor vzduchu** - ten závisí v našom prípade od tzv. čelnej plochy, ktorá je rovnaká v prípade, že sú letky vpredu aj vzadu. Ak ste si predstavovali **laminárne/turbulentné** prúdenie vzduchu, tak ste sa s tým ohňom hrali aj naozaj, pretože rôzne úvahy v tomto smere sa len veľmi ťažko podopierajú bez serióznych výpočtov a teórie.

Posledným z častejšie uvádzaných vysvetlení bola **vztlaková sila**, vytváraná prúdením vzduchu okolo letiek podobne ako na lietadlách. Reálne je ale zanedbateľná - ako zaujímavý námet na premýšľanie ponechávame prípad, keby zanedbateľná nebola a teda ovplyvňovala pohyb šípu.

Dôležité bolo nezabehnúť do evidentne nepravdivých tvrdení - veľmi častým bolo to, že šíp s letkami vpredu spadne ihneď na zem; že letky zvyšujú rýchlosť šípu atď.

Ako sme si všimli, link `www.sslk.sk/Text_1/vyber_sipov.pdf` zafungoval :). Je fajn, ak sa snažíte riešenie nájsť aj v literatúre či na nete, ale uvedené vysvetlenie nám nie úplne postačovalo. Nepopisuje totiž, prečo by to nefungovalo pri letkách vpredu:)

Ešte jedna poznámka - často sa využívala analógia s **lietadlami**, ktoré majú výškové/smerové kormidlá na konci trupu. Tu ste sa nechali zviesť všeobecnou predstavou lietadla - existujú totiž aj typy, ktoré majú kormidlá v prednej časti (napr. JAS-39 Grippen). Naopak, ak ste argumentovali stabilizátormi leteckých bômb, mohli ste si pripísať dodatočné body - tie totiž fungujú rovnako ako šípy.

Na záver - je veľmi pravdepodobné, že v krátkom čase pribudne na komunitách na stránke p-mat.sk poučné video…:)

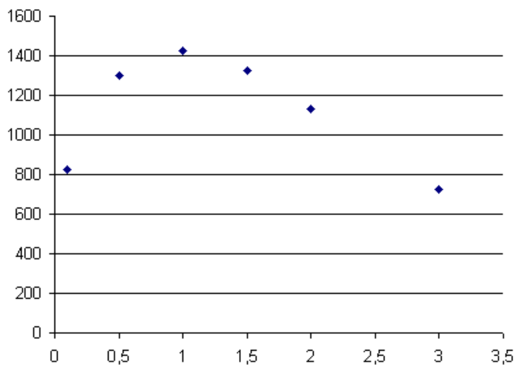
Bodovanie: *Za konštatovanie, že letky zlepšujú stabilitu letu a ich umiestnenie vzadu je výhodnejšie, sme dávali* $1,5$ *b. Za rozumné priblíženie sa k riešeniu ste získavali* 3 *b-*4 *b, za dobré vysvetlenie bolo pochopiteľne* 5 *b. Prilepšovali sme za pekné príklady zo života, zaujímavé postrehy, atď.; bodíky zasa od vás utekali za evidentné fyzikálne nezmysly.*

Príklad 2 - Lešenárske trubky *opravoval Tomáš Jediný - Tomino*

Najprv opíšem, ako som meral, a potom vysvetlím, prečo som nameral také hodnoty a čo sa vlastne deje.

Ako každé správne meranie, aj toto som opakoval viackrát. Konkrétne trikrát a do grafu som vynášal priemernú hodnotu. Papiere som roloval a na krajoch zalepil páskou tak, aby mali nasledovné priemery: 0, 0,5, 1, 1,5, 2 a 3 cm. Zrolovať na 0 cm sa mi však nepodarilo, a preto mali priemer dutiny 0,1 cm. Od nuly som chcel ísť preto, aby som overil, ako sa bude správať plná tyč. Postavil som dve stoličky 20 cm od seba (aby na meranie nevplývali kraje, ktoré som pri lepení páskou trochu postláčal). Do stredu som zavesil igelitku a vkladal do nej závažia. Hmotnosť v tabuľke je vždy posledná pred prelomením trubky. Prvý stĺpec je priemer trubky v cm, ďalšie sú výsledky merania a nakoniec priemerná hodnota v g. V grafe je na X-ovej osi priemer dutín v cm, na Y-ovej nosnosť v g.

pr. trubky [cm]	**1.**	**2.**	**3.**	**priem. hodnota [g]**
0,1	700	850	925	825
0,5	1300	1325	1275	1300
1,0	1525	1350	1400	1425
1,5	1350	1300	1325	1325
2,0	1175	1300	1025	1133
3,0	725	750	700	725



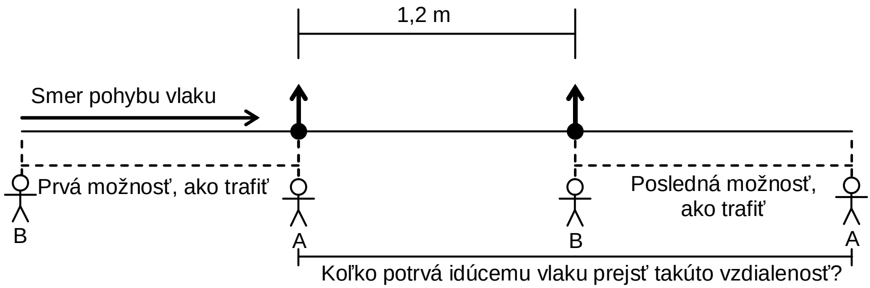
Ako vidno, zo začiatku pevnosť rastie s rastúcim priemerom dutiny, a potom sa začne zmenšovať. Väčšina z Vás tento okamih nezachytila, pretože ste začali na pomerne veľkých hodnotách priemerov, ktoré nedobre hovoria o tom, čo sa deje s plnou tyčou.

Ide tu o deformovanie ohybom a pri tom sú najviac namáhané časti na povrchu. Časti blízko pri strede zas neprenášajú až toľko zo síl, ktoré tam pôsobia, preto je trubka pri malých priemeroch slabá. S priveľkým priemerom sa ale začne prejavovať, že steny sú tenšie, vznikne deformácia na žaťaženej strane, tá sa potom už šíri ďalej a trubka sa láme. Takisto veľa z Vás spájalo v grafe navzájom hodnoty, ktoré Vám vyšli pri prvom, druhom či treťom meraní. To by sa vpodstate robiť nemalo, pretože ste zakaždým použili nový papier a preložiť čiaru (nemusí to byť priamka) je dobré až priemernými hodnotami. Preto ste mali v grafe štyri čiary a tá jedna podstatná sa medzi nimi strácala.

Bodovanie: *Bolo treba opísať svoju aparatúru a postup merania* 2,5 *b, nakresliť tabuľku a graf* 2 *b a popísať svoje výsledky porovnania plnej tyče a dutých tyčí rôznych parametrov* 0,5 *b.*

Príklad 3 - Vlaky *opravovala Ivana Švihranová - Wiva*

Vlaky idúce oproti sebe majú rovnakú rýchlosť $60\,\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$. Táto rýchlosť sa pre oba meria vzhľadom na zem. Ale čo ak by sme jeden z nich „zastavili“, tvárili sa, že je stredobodom vesmíru a pohyb ostatných telies merali vzhľadom na tento vlak? V takomto prípade by mal pohybujúci sa vlak vzhľadom na vlak zbavený pohybu rýchlosť $60\,\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}} + 60\,\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}} = 120\,\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}} = \frac{100}{3}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$. Chlapci, ktorí sú od seba vzdialení presne 1,2 m (na opačných krajoch jedného okna, dajme tomu, že sú v idúcom vlaku) sa snažia trafiť okno na stojacom vlaku, ktoré má rovnakú šírku (1,2 m). Koľko času majú na to, aby sa trafili?



Vidíme, že šanca, aby sa trafil aspoň jeden z nich je v čase, keď chlapec A už má šancu trafiť sa až kým chlapec B už nemá šancu trafiť sa. A to je práve toľko času, odkedy sa chlapec A dostane do obzoru okna, kým sa z neho chlapec B nedostane, a to je práve toľko času za koľko prejde idúci vlak dvojnásobnú dĺžku okna, t.j. 2,4 m. Toto si už ľahko zrátame:

$$\frac{2{,}4\,\mathrm{m}}{\frac{100}{3}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}} = \frac{\frac{24}{10}}{\frac{100}{3}}\,\mathrm{s} = \frac{72}{1000}\,\mathrm{s} = 0{,}072\,\mathrm{s}$$

Takýmto spôsobom si to môžeme dovoliť počítať, keď predpokladáme nulovú vzdialenosť medzi vlakmi a nulovú veľkosť rajčiny. Je to vcelku nereálny obraz, ale pre tieto účely nám postačí. Ako by to bolo, keby sme chceli prísť do reality aspoň v týchto dvoch bodoch? Veľkosť rajčiny by samozrejme o málinko ovplyvnila časový interval poskytnutý na trafenie sa. Ale čo tá vzdialenosť? Rajčina letí kolmo na vlak a vždy rovnakým spôsobom. Ak sú teda vlaky od seba vzdialené, tak jediné, čo sa mení, je v ktorom okamihu už chlapci môžu trafiť a v ktorom okamihu už nemôžu trafiť (kým doletí rajčina k druhému vlaku, tak ten sa o kus posunie). Oba okamihy sa posúvajú o rovnaký čas rovnakým smerom. Preto interval, v ktorom trafiť môže aspoň jeden z nich ostáva rovnaký.

Bodovanie: *Za správne riešenie* 5 *b, nevysvetlené (nesprávne vysvetlené) kroky* -1 *b. Za správne úvahy v nesprávnom postupe/riešení sa nazbierali nejaké (pol)bodíky.*

Príklad 4 - Teplo v Alexandrii *opravoval Vladimír Boža - Usama*

Skúsme sa zamyslieť nad tým, že od čoho závisí teplota vzduchu a ako sa počas dňa mení. Keď cez deň svieti Slnko, tak neohrieva priamo vzduch, ale ohrieva súš/more a od neho sa ohrieva vzduch. Aký jav nastáva v noci? Čo je hlavná príčina toho, že sa vôbec v noci ochladzuje? Tu je v podstate len jeden hlavný vplyv a to, že teplo sa vyžaruje do okolitého vesmíru. Ale ochladzuje sa len vzduch? Nie neochladzuje. Musí sa ochladiť aj súš/more pod ním. Proste akonáhle klesne teplota vzduchu, tak odrazu má vzduch nižšiu teplotu ako súš/more pod ním a tým pádom sa ona ochladzuje a vzduch od nej ohrieva (reálny dôsledok je taký, že teplota vzduchu klesá o niečo pomalšie).

No a tu sa dostávame k podstate veci. Je ľahšie ochladiť kus kameňa alebo vodu? No stačí si porovnať tepelnú kapacitu vody a tepelnú kapacitu kameňa a vidíme, že pri vode to chce omnoho viac tepla. Aký to má dôsledok? Máme 2 masy vzduchu, jednu nad vodnou hladinou, druhú nad súšou. Začne sa noc a obidve masy začnú chladnúť. Vďaka tomu, že voda ďaleko pomalšie chladne, tak aj udrží dlhšie teplotu vzduchu nad ňou. O tom to celé je. (Samozrejme je tu tichý predpoklad, že štartovacie podmienky vody a súše sú rovnaké - dá sa to povedať z toho, že vzduch má rovnakú teplotu cez deň).

Niekoľko ďalších dôsledkov tohoto javu:

- V prvom rade tento jav fičí aj obráteným spôsobom. Súš sa rýchlejšie otepľuje ako voda, takže vnútrozemie je cez deň teplejšie ako prímorská oblasť.
- Tento jav sa prejavuje aj globálne. Väčšinou sú rozdiely medzi zimou a letom ďaleko väčšie vo vnútrozemí ako pri mori.
- Typickým dôsledkom sú monzúny. V lete je vnútrozemie teplejšie ako oblasť pri mori, takže vietor fúka zo studenej oblasti do teplej (od mora na súš, čo prináša vlhký vzduch so záplavami) a v zime je to zase naopak.
- Dá sa všimnúť, že pri vodných plochách je vzduch mierne iný ako v blízkych oblastiach bez vody. Nedá sa povedať, že či bude teplejší alebo studenší, keďže nevieme nič povedať o teplote vody a závisí to hlavne od nej.

Niektorí z Vás mali tendenciu argumentovať morskými prúdmi (tu asi ale treba uvedomiť, že toto platí aj pre oblasti bez prúdov; navyše tie prúdy majú aj celkom silný vnútrozemský dosah) alebo vlhkosťou vzduchu (tu si treba uvedomiť, že vo vzduchu je zanedbateľné množstvo vody oproti tej v mori).

Bodovanie: *Kto argumentoval rozumným smerom, mal aspoň* 3 *b. Pokiaľ ste spomenuli to, že voda dobre drží teplo bez toho, aby ste povedali slovo o tepelnej kapacite, tak ste stratili väčšinou 1 bod.*

Príklad 5 - Alexandrijský bicykel *opravoval Martin Lauko - Logik*

Čaute bicyklisti! Tento príklad nebol ťažký, čo sa prejavilo aj dobrým bodovým ziskom.

Predné ozubené koleso je spojené s pedálmi a má $z_1 = 33$ zubov, zadné ozubené koleso má $z_2 = 22$ zubov. Najskôr si musíme uvedomiť, že ozubené kolesá sú spojené retiazkou. To znamená, že sa obe otočia o rovnaký počet zubov.

Napríklad ak sa predné otočí jeden krát (o 33 zubov), zadné koleso sa otočí

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{33}{22} = 1{,}5 \text{ krát.}$$

Predné koleso sa otáča 74 krát za minútu, zadné 1,5 krát viac. Teda zadné koleso bicykla sa otočí $74 \cdot 1{,}5 = 111$ krát za minútu.

Akú vzdialenosť pri tom prejde? Pri jednom otočení prejde $o = 210\,\mathrm{cm} = 2{,}1\,\mathrm{m}$. O toľko sa posunie aj bicykel (keďže všetky časti bicykla držia pokope a spolu sa aj pohybujú :).

Označme s dráhu, ktorú prejde bicykel za $t = 1\,\mathrm{min} = 60\,\mathrm{s}$. Zadné koleso sa otočí 111 krát, preto $s = 111 \cdot 2{,}1\,\mathrm{m} = 233{,}1\,\mathrm{m}$. Rýchlosť bicykla potom bude

$$v = \frac{s}{t} = \frac{233{,}1\,\mathrm{m}}{60\,\mathrm{s}} = 3{,}885\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = 13,986\,\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}} \doteq 14\,\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}.$$

Bodovanie: *Za úplne správne riešenie* 5 *b, ak chýbal komentár* -1 *b. Za nie celkom správne riešenie som dával* 2 *b až* 3 *b.*

Príklad 6 - Plávajúci stôl *opravoval Ondrej Bogár - Bugẏ*

Tento príklad vyzeral na prý pohľad veľmi jednoducho. Chcel by som však upozorniť, že sa treba zamysliet aj nad výsledkami, ktoré nám vídu. Tam sa stáva, že výsledok je v rozpore so zadaním a tak niekde bude asi chyba a treba ju nájsť.

Stôl pláva na hladine preto, lebo tiažová sila, ktorá pôsobí na stôl, je kompenzovaná vztlakovou silou. Skôr ako začneme počítať si všetko premeňme na rovnaké jednotky.

$\rho_{H_2O} = 1\,\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3}$ $\quad\rho_1 = 0{,}45\,\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3}$ $\quad\rho_2 = 0{,}7\,\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3}$ $\quad\rho_3 = 0{,}66\,\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3}$ $\quad m = 1200\,\mathrm{g}$

Pri pohľade do zadania nevieme povedať, aká časť nôh je ponorená. To si veľmi ľahko zistíme. Rovnostranný trojuholník vieme ťažnicami rozdeliť na tri rovnako veľké, a teda aj ťažké časti. Môžeme preto jednu tretinu hmotnosti dosky stola pripočítať ku každej nohe. Úloha sa nám takto zjednoduší, lebo môžeme počítať rovnosť vztlakovej a tiažovej sily pre každú nohu zvlášť. Najviac informácii máme o prvej nohe. Z rovnosti vztlakovej a tiažovej sily platí pre jednu nohu:

$$S_1 h_1 \rho_{H_2O} g = \frac{m}{3} g + (V_1 \rho_1 g)$$

$$h_1 = \frac{\frac{m}{3} + (V_1\rho_1)}{S_1 \rho_{H_2O}} = \frac{5345}{3}\,\mathrm{cm} \doteq 178,3\,\mathrm{cm}$$

No keď sa však pozrieme na objem nohy a obsah podstavy tak táto noha má dĺžku $h_1 = \frac{V_1}{S_1} = 100\,\mathrm{cm}$. Tu vzniká problém! Tento výsledok vysvetlíme tak, že aj časť dosky stola bude ponorená. Aby stôl bol v rovnováhe tak musí byť výslednica sil pôsobiaca na každú nohu byť rovnaká. Vypočítame aký je rozdiel medzi vztlakovou a gravitačnou silou na prvej nohe.

$$V_1\rho_{H_2O}g - \left(\frac{m}{3}g + (V_1\rho_1 g)\right) = -2{,}35\,\mathrm{N}$$

Znamienko mínus znamená, že výsledná sila smeruje smerom dole. Tak aby sa splnila podmienka, že stôl je v rovnováhe, tak musí byť pri každej nohe taký istý rozdiel síl. Napíšeme si rovnicu pre druhu a tretiu nohu.

$$\underbrace{S_2h_2}_{V_2}\rho_{H_2O}g - \left(\frac{m}{3}g + S_2h_2\rho_2 g\right) = -2{,}35\,\mathrm{N}$$

Teraz vieme vyjadriť a vypočítať h_2 a h_3 .

$$h_2 = \frac{2{,}35\,\mathrm{N} - \frac{m}{3}g}{S_2 g(\rho_{H_2O} - \rho_2)} = \frac{2{,}35\,\mathrm{N} - \frac{1200\,\mathrm{g}}{3}0{,}01\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{g}}}{3\,\mathrm{cm}^2 0{,}01\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{g}}(1\,\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3} - 0{,}7\,\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3})} \doteq 92\,\mathrm{cm}$$

Obdobne spočítame aj tretiu nohu. $h_1 = 100\,\mathrm{cm}$, $h_2 \doteq 92\,\mathrm{cm}$, $h_3 \doteq 121\,\mathrm{cm}$. Takýmito dĺžkami nôh sme zabezpečili aby stôl bol v rovnováhe. Teraz sa vrátme dozadu a položme si otázku, že či stôl bude plávať. Výslednica síl na nohu stola smeruje dole. To spôsobí, že sa ponorí pod hladinu aj časť dosky stola. Na ponorený objem dosky posobí vztlaková sila. Ak táto dodatočná vztlaková sila bude rovná 2,35 N tak stôl bude plávať. To viem dosiahnuť vhodnou voľbou hrúbky dosky ale aj jej hustoty. Vo všeobecnosti musí platiť $\rho_\mathrm{d} < \rho_{H_2O}$. Takže sme fyzikálnou úvahou dokázali, že pre naše vypočítané nohy môže stolček plávať na hladine. A príklad je vyriešený.

Bodovanie: *Za rovnice vztlakovej sily* 1 *b. Za rovnováhu stola* 2 *b, za dlžku nôh* 2 *b a za slovný komentár max* 1 *b. Ak ste neurobili úvahu o hustote dosky stola* −0,1 *b.*

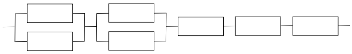
Príklad 7 - Thovtova otázka *opravoval Martin Veselý - Maves*

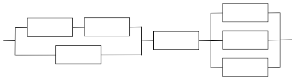
K správnemu vyriešeniu tejto úlohy ste potrebovali vedieť iba dva vzťahy. Jeden na výpočet celkového odporu rezistorov zapojených v sérií, t.j. $R = R_1 + R_2 + \ldots + R_\mathrm{n}$ a ten druhý na výpočet celkového odporu rezistorov zapojených navzájom paralelne, t.j. $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots + \frac{1}{R_\mathrm{n}}$.

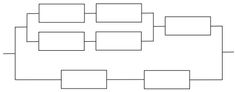
Celkový odpor zapojenia sa vypočíta tak, že sa obvod postupne zjednodušuje. Takže keď je zapojenie zmiešané (obsahuje sériovo aj paralelne zapojené rezistory), tak sa najskôr riešia čisto paralelné alebo sériové zapojenia. Tieto sa v zapojení „nahradia“ jedným rezistom s výsledným odporom a pokračuje sa v riešení. Správnych riešení je viac.

Tu je príklad pre každé zo zadaných zapojení:

7Ω 

4Ω 

2Ω 

1Ω 

Bodovanie: *Vašou úlohou bolo nakresliť 4 zapojenia. Za každé správne zapojenie ste získali* 1 *b. Ďalší* 1 *b ste získali, ak ste napísali vzťahy na výpočet výsledého odporu, alebo ste ich použili vo výpočtoch.*

Príklad 8 - Pyramída z pohárov *opravovala Anna Zahoranová - Anka*

Predstavme si pohárovú pyramídu. Najvrchnejší pohárik pôsobí nadol tiažovou silou $F_{\text{tiaž}} = m \cdot g = 0{,}1\,\text{kg} \cdot 10\,\frac{\text{N}}{\text{kg}} = 1\,\text{N}$. Keďže stojí na dvoch pohárikoch druhého radu, táto tiaž sa medzi ne rozdelí, na každý bude pôsobiť silou $0{,}5\,\text{N}$. Čiže tieto druhoradé poháriky pôsobia nadol silou $1\,\text{N}$ (vlastná tiaž pohárika) $+\ 0{,}5\,\text{N}$ (tiaž „zdedená“ po poháriku nad sebou. Takto môžme pokračovať stále nižšie. Krajné poháriky v treťom rade pôsobia nadol silou $1\,\text{N} + \frac{1{,}5\,\text{N}}{2} = 1{,}75\,\text{N}$, čo je opäť vlastná tiaž pohárika plus tiaž polovice pohárika nad ním (ktorého tiaž sa rozložila na dve časti). Dostali sme sa k štvrtému, predposlednému poschodiu. Krajný pohárik pôsobí nadol silou veľkosti $1\,\text{N} + \frac{1{,}75\,\text{N}}{2} = 1{,}875\,\text{N}$ Keďže opäť stojí na dvoch pohárikoch, na krajný pod ním (čo už je krajný pohárik spodného radu) pôsobí polovica tejto sily, čiže $0{,}9375\,\text{N}$, čo je náš hľadaný výsledok.

Bodovanie: *Za výsledok* $0{,}9375\,N$*, prípadne v zlomku* $\frac{15}{16}\,N$ *ste dostali* 5 *b, ak bol Váš postup nedostatočne odôvodnený, stratili ste* 0,5 *b, rovnako pri malej chybe vo výpočte. častou chybou bolo, že ste dospeli k hodnote* $1{,}875\,N$*, ale neuvedomili ste si, že táto sila, ktorou pôsobí krajný pohárik v štvrtom rade, sa rozdelí medzi dva, na ktorých stojí, čiže výsledkom je polovica tejto hodnoty. Aj za nesprávne výsledky sa bodíky získať dali, hodnotené boli správne myšlienky pri riešení.*