Celoslovenský korešpondenčný seminár z fyziky pre žiakov ZŠ a OG

PIKOFYZ

Vzorové riešenia 1. série zimnej časti

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

Milá riešiteľka naša, milý riešiteľ náš! *Dostávajú sa Ti do rúk prvé tohtoročné vzorové riešenia. Sú v nich nielen správne výsledky k úlohám prvej série, ale aj čo-to k fyzike príkladov a nejaké rady do ďalšieho riešenia. Takže či už si mal prvú sériu bez chybičky alebo sa Ti zrovna nevydarila, určite si tu nájdeš niečo užitočné. Prajeme Ti veľa zábavy pri riešení ďalšej série.*

Príklad 1 - Potápač *opravoval Juraj Čechvala - jurino*

Potápač Omo potrebuje ku svojej práci malú pomôcku - závažie. Pokiaľ sa Omo ponorí do vody bez závažia, výslednica na neho pôsobiacich síl je F_o. Tá mu na rýchle ponorenie nestačí, preto si z kameňov vyrobil závažie.

Závažie má pod hladinou svoju vlastnú výslednicu pôsobiacich síl F_z (všetky Omove fyzikálne vlastnosti budeme indexovať písmenkom „o“ a tie patriace závažiu „z“). Keď si Omo pripne závažie na nohy, tak sa jeho výslednica síl sčíta s výslednicou závažia a na Oma bude pôsobiť nová sila F. Omo chce, aby bola F 5krát väčšia ako jeho pôvodná výslednica F_o. Čo zapíšeme matematicky:

$$F = F_\mathrm{o} + F_\mathrm{z} = 5F_\mathrm{o}$$

$$F_\mathrm{z} = 4F_\mathrm{o}$$

Táto posledná rovnica nám hovorí, že výslednica síl pôsobiacich na závažie, musí byť 4krát väčšia ako Omova výslednica. Pozrime sa teraz zvlášť na každú z výsledníc.

Omova výslednica F_o je zložená zo **vztlakovej sily** pôsobiacej nahor, ktorú spočítame z **Archimedovho zákona** (ρ_v je hustota miestnej vody) $F_\mathrm{VZo} = V_\mathrm{o}\rho_\mathrm{v}g$ a z **tiažovej sily** pôsobiacej nadol $F_\mathrm{Go} = m_\mathrm{o}g$. Okrem týchto fyzikálnych vťahov ešte použijeme jednodchý $V = \frac{m}{\rho}$ a môžeme sa pustiť do vyjadrenia Omovej výslednice pomocou veličín, ktoré máme v zadaní:

$$F_\mathrm{o} = F_\mathrm{Go} - F_\mathrm{VZo} = m_\mathrm{o}g - V_\mathrm{o}\rho_\mathrm{v}g = m_\mathrm{o}g - \frac{m_\mathrm{o}}{\rho_\mathrm{o}}\rho_\mathrm{v}g = m_\mathrm{o}g\left(1 - \frac{\rho_\mathrm{v}}{\rho_\mathrm{o}}\right)$$

Dosádzanie čísel si necháme na koniec a pozrieme sa na sily pôsobiace na Omovo kamenné závažie.

Výslednicu síl pôsobiacich na Omovo závažie spočítame úplne rovnako, iba vymeníme F_o, m_o, V_o, ρ_o za F_z, m_z, V_z, ρ_z. Výsledok:

$$F_\mathrm{z} = m_\mathrm{z} g \left(1 - \frac{\rho_\mathrm{v}}{\rho_\mathrm{z}}\right)$$

Kde m_z je neznáma hmotnosť závažia. Hodnotu F_z tiež nepoznáme, ale na začiatku sme si ukázali, že $F_\mathrm{z} = 4F_\mathrm{o}$ a F_o už teraz máme. Takže:

$$m_\mathrm{z} g \left(1 - \frac{\rho_\mathrm{v}}{\rho_\mathrm{z}}\right) = 4F_\mathrm{o}$$

$$m_\mathrm{z} = \frac{4F_\mathrm{o}}{g\left(1 - \frac{\rho_\mathrm{v}}{\rho_\mathrm{z}}\right)} = \frac{4m_\mathrm{o} g\left(1 - \frac{\rho_\mathrm{v}}{\rho_\mathrm{o}}\right)}{g\left(1 - \frac{\rho_\mathrm{v}}{\rho_\mathrm{z}}\right)} = 4m_\mathrm{o}\frac{1 - \frac{\rho_\mathrm{v}}{\rho_\mathrm{o}}}{1 - \frac{\rho_\mathrm{v}}{\rho_\mathrm{z}}}$$

Ešte predtým ako dosadíme čísla, všimnime si, že tiažové zrýchlenie g sa nám vykrátilo, takže výsledok je ten istý, či sme brali $g = 10\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}}$ alebo $g = 9{,}81\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}}$. Teraz už spokojne dosadíme a správny výsledok (zaokrúhlený na desatiny) je 12,8 kg. Takmer nikto nedosádzal čísla až do výsledného vzťahu, a teda ste zaokrúhľovali už medzivýsledky. Tieto zaokrúhlenia sa „zozbierali“ a finálny výsledok sa potom odlišoval od 12,8 kg. Toto som Vám ale za chybu nepočítal. Vaše najčastejšie chyby boli zabudnutie na tiažovú alebo vztlakovú silu pôsobiacu na Oma alebo jeho závažie. Mnohí ste si tiež neuvedomili, že ak sa má byť po pripnutí závažia celková výslednica $5 \cdot F_\mathrm{o}$, tak F_z sa rovná „iba“ $4 \cdot F_\mathrm{o}$.

Bodovanie: *Za správny postup bolo* 5 *b. Za zabudnutie na vztlakovú silu závažia bol* -1 *b. Tiež za opomenutie toho, že* $F_z = 4F_o$ *bol* -1 *b. V prípade vážnejších chýb som dával podľa uváženia od* 0 *do* 3 *bodov.*

Príklad 2 - Záhada sviečky *opravoval Matúš Rybák - Tumáš*

Tento experiment sa síce mnohým z Vás páčil, ale nedopadol práve najlepšie. Poďme sa teda pozrieť, ako to malo vyzerať.

Samotný experiment. Zostaviť aparatúru bola síce maličkosť, ale na následných meraniach ste strácali hromady bodov. Nestačí urobiť dve či tri merania a čakať za to plný počet bodov. V ideálnom prípade ste mali aspoň po 3 merania pre 3 rôzne výšky podstavca. Práve na malom počte pohorelo veľa z Vás, hoci vysvetlenie meranej závislosti mali výborné. V rámci medzí som toleroval, ak ste mali síce len po 1 pokuse pre 1 výšku, ale zato veľké množstvo rôznych výšok podstavca.

Vysvetlenie. Prečo vôbec sviečka zhasne? Nuž, pri horení sa v krátkosti spotrebuváva kyslík O_2a vytvára oxid uhličitý CO_2. Oheň bez prítomnosti kyslíka jednoducho nefunguje. Sviečka si postupom času mení O_2 na CO_2 a ak ju necháme v priestore s obmedzeným množstvom vzduchu (teda aj kyslíka), po určitom čase si minie všetok O_2 (ktorý nahradí oxidom uhličitým) a zhasne.

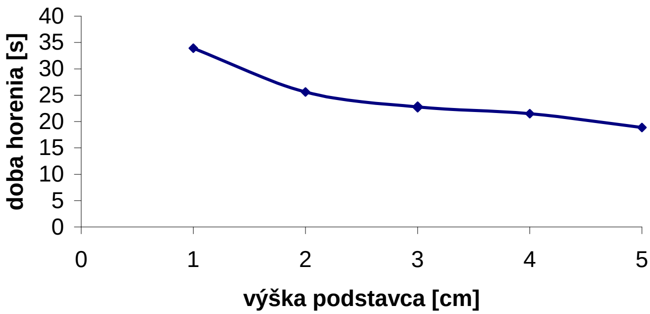
Mnohí z Vás uvádzali, že príčinou danej závislosti je zmenšenie objemu vzduchu, ktorý zaberie podstavec, a teda, že sviečke ostane menej kyslíku na spálenie. Áno, hrá to svoju rolu, avšak oveľa viac sa prejavuje to, že sviečka v skutočnosti sebou vyprodukovaný oxid uhličitý aj zohrieva. CO_2 je síce „ťažší" ako O_2 s rovnakou teplotou, v tomto prípade je ale oveľa teplejšie a tak stúpa nahor. Pohár sa tak zaplňuje oxidom uhličitým **od vrchu**. Takže čím vyššie bude sviečka (čím vyšší bude podstavec), tým skôr bude obklopená čistým CO_2 bez prístupu kyslíka a tým skôr zhasne.

Presnosť našich meraní je ale ovplyvnená viacerými faktormi. Najväčší efekt má to, že sviečka pri jednotlivých experimentoch nehorí rovnako intenzívne (teda za jednotku času vyprodukuje rôzne množstvo CO_2). Navonok sa to prejavuje veľkosťou plameňa - od takmer neviditeľného po niekoľkocentimetrové. Toto nám spôsobuje veľkú nepresnosť . Ak ste tento jav nikde nespomenuli, alebo ho nevylúčili dostatočným množstvom pokusov, mohli ste stratiť až 1 bod. Tu výrazne pomôže, ak ste na každý experiment použili novú sviečku (tie horia spočiatku viac-menej rovnako). Pokiaľ ste spomenuli ľudský faktor (naša nepresnosť, reakčná doba), rôzne zanedbania, nepresnosti merania atď., prišli ste o podstatne menej ako o ten 1 bod, prípadne o nič.

Ešte by som chcel spomenúť dve veci - presnosť údajov, ktoré meriate. Ak niekto meral výšku podstavca „od oka" (rôzne kocky a pod.) a uviedol čas v tisícinách sekundy (ľudský faktor limituje jeho presnosť rádovo na desatiny), pri odchýlkach aké boli v tomto prípade, nemôže čakať nič dobré :-).

Druhou je graf - ak nakreslíte priamku a dopĺňate body na osiach tak, aby Vám to sedelo s meraniami, hoci nemáte na osi rovnako veľké dieliky, nemáte to v princípe zle, ale chváliť Vás za to nikto nebude. Radšej si najskôr nakreslite body zistené z meraní a tie spájajte.

Na ukážku je tu graf a tabuľka s hodnotami. Na x-ovej osi grafu je nanesená výška podstavca v cm, na y-ovej dĺžka horenia sviečky v sekundách.



	Výška podstavca [cm]				
Meranie	1	2	3	4	5
1.	54 s	23 s	21 s	23 s	23 s
2.	27 s	34 s	16 s	16 s	16 s
3.	36 s	20 s	31 s	25 s	22 s
4.	20 s	31 s	23 s	18 s	11 s
5.	33 s	20 s	23 s	22 s	23 s
Priemer	33.9 s	25.6 s	22.8 s	21.5 s	18.9 s

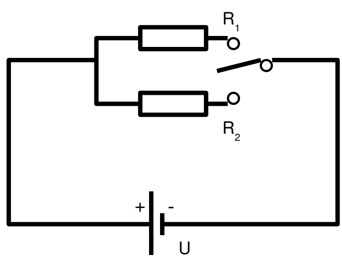
Bodovanie: *Za správnu odpoveď bolo* 5 *b. Za správne prevedenie experimentu bolo* 2 *b. Za správny graf bol* 1 *b. Za správne zdôvodnenie bolo* 2 *b. Ak ste nemali zdôvodnenie s* CO_2*, ale spomenuli ste jav, ktorý, hoci aj v zanedbateľnej miere ovplyvňoval tento pokus, mohli ste získať maximálne* 4,5 *b. Za príliš presné údaje (stotiny až desaťtisíciny sekundy) som Vám strhával max.* 0,2 *b. Za príliš málo pokusov ste prichádzali o najviac* 0,5 *b. Za chýbajúci rozbor odchýlok ste strácali max.* 1 *b.*

Príklad 3 - Amulet *opravoval Matej Duník - Matt*

Celý príklad je zložený z dvoch častí - jedna je veľmi jednoduchá a tá druhá trošku ťažsia. Zistiť hustoty „materiálov“ je tá jednoduchšia časť. Stačí zrátať objemy $V_1 = 6\cdot 6\cdot 6\,\mathrm{cm}^3 - 3\cdot 3\cdot 3\,\mathrm{cm}^3 = 189\,\mathrm{cm}^3$ a $V_2 = 3\cdot 3\cdot 3\,\mathrm{cm}^3 = 27\,\mathrm{cm}^3$ a prislúchajúce hmotnosti $m_1 = 15\,\mathrm{g}$ a $m_2 = 5\,\mathrm{g}$. Čiže podľa známeho vzťahu $\rho = \frac{m}{V}$ dorátame hustoty $\rho_1 = \frac{m_1}{V_1} = 0{,}079\,\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3} = 79\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$ a $\rho_2 = \frac{m_2}{V_2} = 0{,}185\,\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3}$. Pozornému oku určite neunikli celkom nízke hodnoty hustôt. Už len nájsť, čo by to tak mohlo byť. Troška hľadania a najbližšie k malej časti (s väčšou hustotou) som našiel balzové drevo ($0{,}17\,\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3}$). Tá väčšia by mohla byť napríklad penový polystyrén (ktorého hustota je od 0,02 do $0{,}06\,\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3}$.

Bodovanie: *Za nenájdenie materiálu som ubral* 0,7 *b, za nevypočítanie hustoty* 1,3 *b. Iné inak :-).*

Príklad 4 - Kúzelná pec *opravovala Lucia Komendová - Lusi*



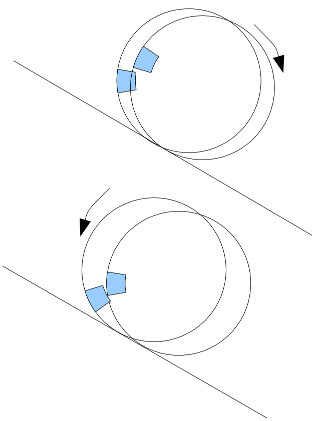
Najskôr skúsime vymyslieť nejaké elektrické zapojenie, ako by mohla taká elektrická platnička vyzerať vo vnútri. Majú sa dať prepínať dva rôzne výkony, preto tam musia byť dve vetvy (prúd potečie vždy len jednou). Medzi nimi chceme prepínať, buď dvojpolohovým prepínačom, alebo dáme do každej vetvy jeden vypínač. Jedna možná schéma je nakreslená na obrázku.

Ešte môžeme pridať aj hlavný vypínač, ktorý vypne zdroj úplne, aby sme varnú platničku nemuseli vždy vytrhávať zo zásuvky :-). Podľa polohy prepínača tečie prúd buď len špirálou s odporom R_1 alebo druhou s odporom R_2.

Aké majú byť tieto odpory si ľahko vypočítame. Poznáme vzťah pre výkon elektrického prúdu $P = U \cdot I$. Pri obidvoch výkonoch je elektrické napätie U rovnaké a to 230 V, ale rezistormi prechádza rôzny prúd $I = \frac{P}{U}$. Aké majú byť odpory špirál zapojených na napätie U, aby nimi prechádzal prúd I, zistíme ľahko z **Ohmovho zákona**: $U = R \cdot I$. Keď si vyjadríme odpor z týchto dvoch vzťahov, dostaneme $R = \frac{U^2}{P}$ a po dosadení zistíme, že odpory špirál majú byť približne 132 Ω pre výkon 400 W a 76 Ω pre výkon 700 W.

Bodovanie: *Za správnu (teda hlavne funkčnú :-) schému bolo 2,5 b. Za správny výpočet takisto 2,5 b. Takže ak ste mali príklad úplne dobre, mali ste 5 b. Inak podľa môjho vedomia a svedomia.*

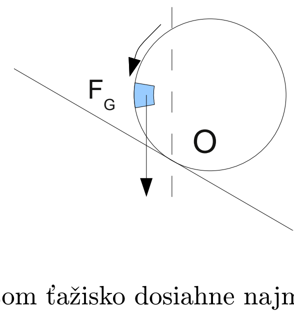
Príklad 5 - Tancujúci bambus *opravoval Vladimír Boža - U$Ama*



Dohodnime sa najprv na tom, že bambus sa pohybuje bez prešmykovania (dosť nám to uľahčí situáciu). Vysvetliť prečo sa bambus pohne nahor sa dá 2 spôsobmi. Každý z nich ale využíva, že ťažisko celej sústavy bambus+závažie nie je v strede bambusu, ale vychýlené smerom k závažiu (pri dosť veľkej hmotnosti závažia sa bude nachádzať v závaží).

Jeden prístup využíva to, že každé teleso má snahu dostať svoje ťažisko čo najnižšie. Teraz skúsme bambus trochu pootočiť do oboch smerov a všimnime si, čo sa stane s ťažiskom. Ak ho pootočíme smerom dolu po naklonenej rovine, tak ťažisko prekvapujúco stúpne (lebo stúpne aj závažie). Pri pootočení opačným smerom, ale ťažisko klesne, a preto sa bambus bude pohybovať týmto spôsobom (viď obrázok naľavo).

V druhom prístupe sa pozrieme na polohu ťažiska a osi otáčania (v obrázku napravo O). Vidíme, že gravitačna sila pôsobí tak, že chce otáčať bambus proti smeru hodinových ručičiek. A keďže žiadna iná sila nemôže bambus otáčať (lebo ostatné sily od podložky pôsobia v osi otáčania), tak sa bambus naozaj otočí proti smeru hodinových ručičiek. Bambus neprešmykuje, teda sa musí pohnúť celý nahor.



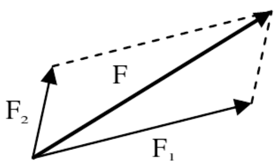
Teraz poďme ešte zistiť, ako ďaleko môže vystúpať. Najprv tažisko klesá, čiže klesá potenciálna energia bambuse a premieňa sa na pohybovú energiu. Potom ťažisko dosiahne najmenšiu možno výšku. To nastane vtedy, keď sa bude nachádzať presne nad osou otáčania (rozmyslite si prečo). A následne pôjde ešte trochu ďalej. Ako presne dôjde ďaleko? Pri takmer nulovom sklone prejde skoro celú polotáčku. Ale určite prejde trochu ďalej ako za pozíciu, keď sa ťažisko nachádza nad osou otáčania. Takže akákoľvek hodnota v tomto rozsahu je rozumná.

Bodovanie: *Za vysvetlenie prečo sa to môže hýbať smerom nahor max.* 3,5 *b. Za akýkoľvek pokus, ktorý obsahoval niečo, čo súviselo s dôvodmi pohybu som dával aspoň* 2 *b. Za odhad max.* 1,5 *b.*

Príklad 6 - Hroší trus *opravoval Martin Veselý - MaVes*

Táto úloha sa dala riešiť graficky. To znamená, že su ste nepotrebovali nič počítať a k správnemu výsledku vám stačilo len pravítko, ceruzka a kružidlo.

Skôr ako sa pozrieme na samotné grafické riešenie, tak si povedzme trošku teórie, ktorú sme potrebovali. Ak sú sily, ktoré sčítavame rovnobežné a opačného smeru, tak ich môžeme jednoducho od seba odčítať. Výsledná sila bude mať smer väčšej sily. Ak majú rovnaký smer, tak sily spočítame. Sily, ktoré sú rôznobežné, sa skladajú inak. Celé to má ale jednu podmienku – že skladané sily musia pôsobiť v jednom bode (v našom prípade stred lavóra alebo ťažisko). Šípky, ktoré reprezentujú sily si doplníme na silový rovnobežník, to znamená, že spravíme rovnobežku s prvou šípkou tak, aby prechádzala koncom druhej šípky a rovnobežku s druhou šípoku tak, aby prechádzala koncom prvej šípky. Šípku reprezentujúcu výslednú silu nájdeme dokreslením uhlopriečky tohto rovnobežníka.



Na začiatok grafického riešenia si musíme zvoliť mierku, v ktorej budeme pracovať. To znamená, že koľko newtonov bude predstavovať jeden centimeter v našom riešení. Zo zadania vieme, že jeden dielik má predstavovať 10 N. To je veľmi dôležité a mnohí ste na to zabudli. Na lavór pôsobí až 5 rôznych síl. Vyberieme si dve z nich a podľa hore napísaných pravidiel ich zložíme. Potom zoberieme ďalšie dve a tiež ich zložíme do jednej. Dve vzniknuté nové sily môžeme opäť zložiť rovnakou metódou. Teraz nám ostali už len dve rôznobežné sily. Doplníme ich na rovnobežník a nakreslíme výslednicu. Smer pôsobenia výslednej sily je zrejmý z obrázka. Tento smer je presne opačný ako smer sily F_1 (jediná sila smerujúca nahor).

Určíme už len veľkosť výslednej sily. Na to nám poslúži mierka, ktorú sme si predtým zvolili a v ktorej je celé riešenie narysované. Pravítkom zmeriame dĺžku výslednej sily a pomocou mierky prevedieme na silu v newtonoch. Ak sme si zvolili mierku 1 dielik = 1 cm, tak výslednica meria približne 2,8 cm. To znamená, že výsledná sila má 28 N.

Bodovanie: *Za správne grafické riešenie boli* 3 *b. Za správne numerické riešenie boli ďalšie* 2 *b. Za zlé priraďovanie veľkostí silám som strhával* 1 *b. Za nepresnosti a drobné chyby som strhával* 0,1 *b až* 0,5 *b.*

Príklad 7 - Búrka *opravovala Katarína Baxová - b1*

Ahojte. K tomuto príkladu ste potrebovali tri veci: krátku úvahu, štipku trpezlivosti a vzorec $s = v \cdot t$.

Začneme tou úvahou. Akonáhle sa zablyslo, svine začali utekať s Omom a Ukelelem na chrbte. O 35 sekúnd počuli chlapci hrom, teda svine bežali $t = 35\,\mathrm{s}$ svojou rýchlosťou v_s ku zdroju hromu a hrom šiel taký istý čas (t) k nim rýchlosťou $v_\mathrm{h} = 343\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$.

Keby chlapci so sviňami ostali stáť na mieste, počuli by hrom o sekundu neskôr, teda za čas $t + 1\,\mathrm{s}$ by hrom prešiel takú dráhu, ktorú prešiel za čas t plus dráhu, ktorú svine s chlapcami prešli za ten čas. Teda $s = s_\mathrm{h} + s_\mathrm{s}$, rozpísané:

$$v_\mathrm{h} \cdot (t + 1\,\mathrm{s}) = v_\mathrm{h} \cdot t + v_\mathrm{s} \cdot t$$

Riešením tejto rovnice zistíme, že $v_\mathrm{s} = 9{,}8\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = 35{,}28\,\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$.

Dá sa na to však prísť aj inak. Keby Omo, Ukelele a svine nebežali, počuli by hrom o sekundu skôr, teda zabehli presne takú vzdialenosť (za 35 sekúnd), ktorú hrom ujde za sekundu.

$$v_\mathrm{h} \cdot 1\,\mathrm{s} = v_\mathrm{s} \cdot 35\,\mathrm{s}$$

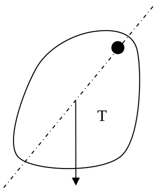
Chcela by som pochváliť všetkých, ktorí mali tento príklad správne vyriešný a dobre okomentovaný.

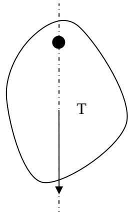
Bodovanie: *Na dosiahnutie plného počtu bodov bolo treba napísať správnu úvahu, riešenie po krokoch a komentár k riešeniu. Body som strhávala napríklad za neúplný alebo nedostatočný komentár k riešeniu, nesprávnu úvahu alebo keď chýbalo odôvodnenie, ako ste prišli na hodnotu dráhy $s = 343\,m$. Výstraha, že opisovať sa nemá, bola myslená vážne a riešitelia, ktorých riešenia sa líšili iba farbou pera alebo rukopisom, dostali* 0 *b.*

Príklad 8 - Neposlušné písmenká *opravoval Bugý*

Experimentálne príklady patria k tým najkrajším a dá sa pri nich pekne zahrať. Skôr než sa však pustíme do samotného merania, je dobré si uvedomiť, čo ideme merať a aké fyzikálne zákony budeme využívať.

Každý predmet si môžeme rozdeliť na veľmi malé časti. Môžu to byť napríklad malé štvorčeky $1\,\mathrm{mm} \times 1\,\mathrm{mm}$ alebo to môžu byť až atómy. Proste to najmenšie, čo si viete predstaviť. A na každú takúto malú časť pôsobí v našom prípade tiažová sila. Keďže máme malú časť, tak aj tiažová sila je veľmi malá. Keď sčítame všetky malé tiažové sily pôsobiace na jednotlivé časti, dostaneme výslednú tiažovú silu na teleso. Ako ste sa učili v škole, tak táto sila pôsobí v ťažisku. Teda všetky sily, ktoré pôsobia na teleso, môžeme nahradiť jedinou silou pôsobiacou v ťažisku. Výhodou kreslenia jednej sily do ťažiska je, že teleso sa bude správať rovnako, ako keby sme nakreslili všetky sily na všetky malé kúsky telesa.





Teóriu ako merať si urobíme všeobecne pre nejaké teleso. Keď zavesíme teleso v ktoromkoľvek jeho bode, vždy sa otočí tak, aby jeho ťažisko bolo čo najnižšie. Prečo? Tiažová sila pôsobí smerom kolmo nadol. Nakreslíme si ju pôsobiacu v ťažisku, a teda tiažová sila ťahá ťažisko smerom dole. Keď už bude najnižšie, tak sa nebude mať kam pohnúť a celé teleso ostane v kľude. No a keď si to trochu premyslíte, tak najnižšie bude vtedy, keď na priamke, ktorá predstavuje smer tiažovej sily, bude ležať aj ťažisko a zároveň aj bod, v ktorom je teleso zavesené. Presne tak, ako je to na obrázku vľavo.

Tak a teraz vieme, že ťažisko musíme hľadať na priamke, ktorá prechádza bodom zavesenia a pôsobí v smere tiažovej sily (kolmo dole). Ako nájsť túto priamku? Použijeme na to šnúrku, na ktorej konci zavesíme niečo ťažké (takáto pomôcka sa volá olovnica). Keď ju zavesíme, tak kvôli tiažovej sile pôsobiacej na závažie, sa olovnica ustáli tak, že šnúrka bude natiahnutá v smere pôsobenia tiažovej sily. A presne to sme chceli, lebo teraz poznáme smer priamky, na ktorej bude ležať ťažisko.

Zoberieme si jedno z písmeniek. Na dvoch (môže byť aj viac) rôznych miestach si doň urobíme dierku, za ktorú ho zavesíme. Ja som písmenká zavesil na zapichnutý špendlík. O špendlík priviazal dlhú šnúrku a na jej koniec som si zavesil závažie (napr. kľúče). Písmeno aj šnúrku som zavesil a počkal, kým sa prestali kývať. Potom som ceruzkou nakreslil na písmenko, kadiaľ smerovala šnúrka. To isté som urobil aj pre druhý bod, v ktorom som zavesil písmenko. No a kedže ťažisko musí byť na **každej** z týchto priamok, tak logicky ho nájdeme ako ich priesečník. Nech by sme písmenko zavesili do akéhokoľvek bodu, tak všetky priamky by sa pretli v jedinom bode, ktorý je ťažiskom celého písmenka.

Pri niektorých písmenkách sa mohlo stať, že sa vám priamky pretli mimo písmenka. To nevadí! Nikde totiž nie je napísané, že ťažisko musí byť v telese. Aby ste to mohli pekne dokresliť bolo si treba po prevedení experimentu dolepiť k písmenkám papier, predĺžiť priamky nakreslené na písmenku a nájsť ich priesečník.

Bodovanie: *Za opis metódy ako merať tažisko* 1 *b. Za správne určenie tažiska všetkých písmen* 3 *b. Za nakreslenie tažníc priamo na vystrihnuté písmená* 1 *b. Za nepresné určenie tažiska* $-0,5$ *b.*