

Triky s vajíčkom

V minulom roku sa súťažiaci oboznámili s vnútrom vajíčka,. V tomto roku sme sa zamerali na jeho škrupinu. Pozrieme sa na jej vlastnosti, a to očami biológie, chémie a fyziky.

Samotný experiment a jeho vyhodnotenie vám nezaberie veľa času, odpovede na niektoré otázky však pravdepodobne budete musieť hľadať aj v učebniciach a encyklopédiách.

Pri vypracovávaní riešenia nám opíšte, ako ste riešili jednotlivé úlohy a čo ste zistili. Nezabudnite tiež zodpovedať na všetky otázky, ktoré sa v texte k úlohám vyskytli. Aby ste na nič nezabudli, všetky úlohy, otázky a miesta na doplnenie odpovedí majú zelenou farbou zvýraznený podklad.

Svoje odpovede vpisujte rovno do tohto textu (máte v ňom pripravené aj potrebné tabuľky). Dokument doplnený o vaše odpovede nám odošlite do 1.4.2013 pomocou portálu <http://www.ijso.sk>.

Čo budete potrebovať?

Pomôcky na experiment by ste mali nájsť doma alebo v drogérii. Budete potrebovať niekoľko slepačích vajíčok, kuchynské váhy, pravítko, veľký hrniec, sklenú fľašu so širokým hrdlom (1l fľaša od mlieka alebo aspoň 500 ml fľaša od kečupu), dosku na krájanie, papierové obrúsky, ocot a zopár ďalších drobností.

1. Z čoho je urobená škrupina?

Škrupina vajíčka má hlavne ochrannú funkciu. Na jednej strane musí byť dosť pevná, aby ochránila vajíčko pred nechceným poškodením, na druhej strane musí byť dostatočne priepustná, aby cez ňu prešlo dostatočné množstvo kyslíka (potrebného na dýchanie zárodka) a oxidu uhličitého (odpadový produkt metabolizmu)

Čo je hlavným stavebným prvkom vaječnej škrupiny? Ako je zabezpečený prestup plynov cez škrupinu?

Olympiáda mladých vedcov 2013

Zadanie experimentálnej úlohy

Škrupina obsahuje najmä: uhličitan vápenatý (CaCO_3)

Prestup plynov zabezpečuje: prítomnosť pórov v škrupine

1. Skúmame mechanickú odolnosť škrupiny.

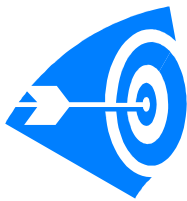
Oválny tvar škrupiny vajíčka zabezpečuje jej pomerne vysokú odolnosť na vonkajší tlak napriek tomu, že samotná škrupina je pomerne tenká. Tento princíp sa využíva v prírode pomerne často. Napríklad aj váš mozog je chránený lebkou, ktorá má podobný tvar a takisto prekvapivo vysokú odolnosť pri náraze. V tomto experimente zmeriame, akú záťaž vydrží vajíčko, kým pukne.

Akú záťaž (v kilogramoch) vydrží typická ľudská lebka? Samozrejme, máte to zistiť v učebniciach a encyklopédiách, nie na sebe 😊

Typická ľudská lebka vydrží záťaž (v kilogramoch): Tvar ľudskej lebky umožňuje veľmi efektívnu ochranu mozgu. Maximálna únosná záťaž závisí od toho, na ktoré miesto presne pôsobí, no orientačne, lebka by mala vydržať aj 650 kg! (Uznávali sme ale aj iné rozumné odhady.)

Pre zistenie odolnosti vajíčka urobíme nasledujúci pokus.

1. Vajíčko položíme na stôl na papierový obrúsok. Papierový obrúsok jednak vyrovná drobné nerovnosti na stole alebo vajíčku (tam by mohlo vajíčko skôr puknúť), jednak zachytí obsah vytečený z puknutého vajíčka na konci experimentu. Nájďme dve doštičky (alebo niečo podobné – napríklad knihy zabalené do plastového vrečka) s hrúbkou iba o pár milimetrov väčšou, než je vajíčko. Doštičky umiestnime z oboch strán vajíčka. Na vajíčko položíme ďalší papierový obrúsok, navrch položíme plochú dosku na krájanie a na ňu veľký hrniec (obrázok 1).



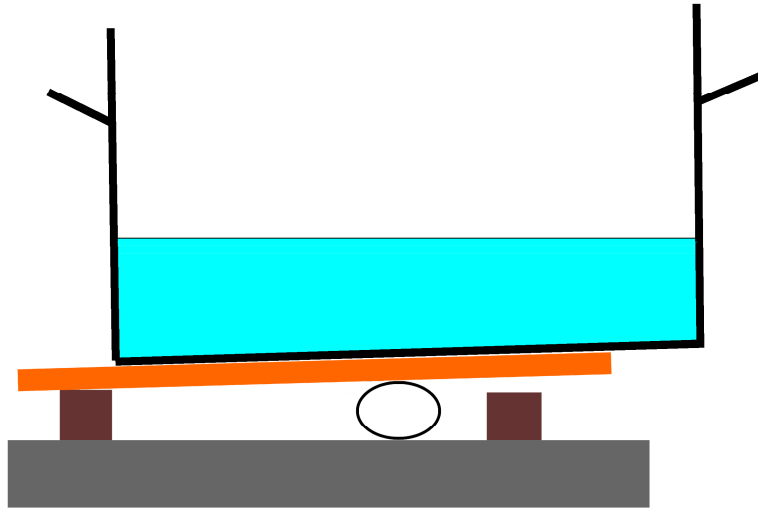
Doštičky, okrem toho že podpierajú (spolu s vajíčkom) dosku na krájanie s hrncom, slúžia aj na zachytenie hrnca po puknutí vajíčka. Inak by sa totiž hrniec veľmi naklonil a voda z neho by sa mohla vyliť.

2. Skontrolujte, že vajíčko sa nachádza v blízkosti stredu hrnca. Správnu polohu hrnca nájdete tak, že pri miernom posunutí hrnca na opačnú stranu sa už hrniec „prekotúľa“ po vajíčku na opačnú stranu. V ideálnom prípade nesie vajíčko takmer celú hmotnosť hrnca a doštičky na krájanie. Jednej z dvoch podporných doštičiek sa doska na krájanie dotýka iba zľahka.
3. Teraz do hrnca postupne pridávajte vodu. Po naliatí vždy niekoľko sekúnd počkajte, kým sa voda ustáli. Pokračujte dotedy, kým vajíčko nepukne a doska na krájanie s hrncom nedosadnú na dve podporné doštičky.
4. Odvážte hrniec s vodou a dosku na krájanie na kuchynských váhach.

Olympiáda mladých vedcov 2013
Zadanie experimentálnej úlohy

Aká záťaž (v kilogramoch) už spôsobila puknutie vajička?

Vajičko puklo pri záťaži s hmotnosťou (v kg): nám vyšlo 4,5 kg, závisí to ale od konkrétneho vajička



Obrázok 1. Meranie mechanickej odolnosti vajička

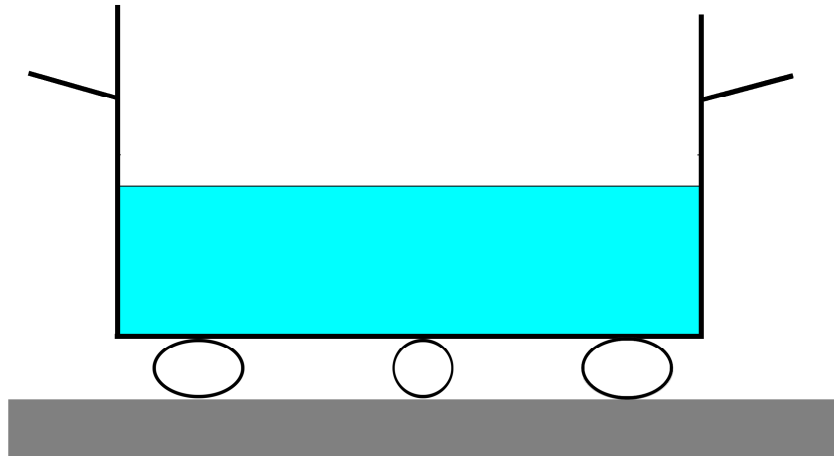
Veľmi prekvapujúci (pre neznalých ľudí) je experiment s tromi vajičkami. Keďže už viete, koľko vydrží jedno vajičko, tri vajička by mali vydržať trojnásobok (alebo aspoň dvojnásobok, ak chcete mať rezervu).



Tento experiment veľmi odporúčame robiť vonku, aby ste náhodou nevyliali plný hrniec vody doma na dlážku.

Vajička položte na papierový obrúsok na stole (alebo inej hladkej rovnej ploche) do vrcholov pomyselného rovnostranného trojuholníka (obrázok 2). Na ne položte ďalší papierový obrúsok a hrniec. Hrniec dajte presne nad ťažisko pomyselného trojuholníka, aby nebolo jedno z vajíčok zaťažené výrazne viac, než ostatné. Potom už môžete pred očami divákov nalievať do hrnca vodu a nechať ich tipovať, či to vajička ešte vydržia ☺.

Olympiáda mladých vedcov 2013
Zadanie experimentálnej úlohy



Obrázok 2. Experiment s tromi vajčkami podopierajúcimi hrniec

Ako to, že hoci vajíčko vydrží pomerne veľký tlak (ako ste sa mohli presvedčiť), pukne aj pri veľmi malom náraze? Je to preto, lebo je krehké – jeho škrupinu nemožno stlačením veľmi prehnúť bez toho, aby pukla.

Na zistenie pružnosti vajíčka najprv urobíme ďalší pokus. Zistíme, z akej výšky môžeme pustiť vajíčko na stôl, aby ešte nepuklo.

Najprv však vajíčko odvážeme (jeho hmotnosť budeme potrebovať neskôr).

Odvážte vajíčko na váhach.

Vajíčko má hmotnosť (v g): naše vajíčko malo 58 g

Teraz už môžeme začať pokus.

1. Na stôl položte papierový obrúsok (na vyrovnanie drobných nerovností).
2. Zdvihnite vajíčko do malej výšky nad stolom (začnite od niekoľkých milimetrov). Výšku vajíčka nad stolom (vzduchovú medzeru medzi spodkom vajíčka a stolom) odmerajte pravítkom.
3. Vajíčko pustite. Ak nepuklo, pokračujte bodom 2, ale z výšky väčšej o zopár milimetrov.

Pri páde z akej výšky už vajíčko puklo?

Vajíčko puklo pri páde z výšky (v mm): 30 mm, ale opäť sa to jemne líši v závislosti od konkrétneho vajíčka

Teraz už môžeme vypočítať, o koľko možno stlačiť škrupinu vajíčka, kým pukne. Na výpočet využijeme fakt, že pôvodná gravitačná energia (zdvihnutie vajíčka) sa premenila na energiu stlačenia vajíčka.

Olympiáda mladých vedcov 2013

Zadanie experimentálnej úlohy

Získaná alebo stratená energia W súvisí s pôsobiacou silou F a s prejdenou dráhou s podľa vzťahu

$$W = F \cdot s \quad (1)$$

kde silu dosadzujeme v newtonoch (N), dráhu v metroch (m) a výsledok je v jouloch (J).

Na vajíčko s hmotnosťou m pôsobí gravitačná sila $F_g = m \cdot g$, kde $g = 10 \text{ m/s}^2$ je tzv. gravitačné zrýchlenie. Ak ho zdvihneme do výšky h , získa energiu

$$W_g = m \cdot g \cdot h \quad (2)$$

Pri akej gravitačnej energii už vajíčko po páde puklo?

Hmotnosť vajíčka (zmerali ste ju vyššie) v kilogramoch je: 0,058 kg

Výška, keď už vajíčko puklo (v metroch) je: 0,03 m

Energia, pri ktorej už vajíčko puklo (v jouloch) je: aby sme vypočítali hľadanú energiu, stačí naše namerané hodnoty dosadiť do vzťahu (2), vyjde 0,0174 J

Počas pádu vajíčka sa jeho gravitačná energia premieňa na pohybovú (jeho rýchlosť rastie). V okamihu dotyku s podložkou sa začína vajíčko deformovať. Proti tejto deformácii pôsobí sila pružnosti škrupiny. Na začiatku, keď sa škrupina iba začína deformovať, je sila deformácie veľmi malá. S narastajúcou deformáciou (stláčaním) škrupiny táto sila postupne narastá, až po dosiahnutí kritickej hodnoty škrupina pukne. Túto kritickú silu vieme vypočítať zo skôr nameranej záťaže vajíčka, pri ktorej už puklo.

Pri akej záťažovej sile už vajíčko po páde puklo? Silu vypočítajte z už skôr nameranej maximálnej hmotnosti záťaže a z gravitačného zrýchlenia (bola to gravitačná sila, ktorá rozpučila vajíčko).

Sila, ktorá už spôsobila puknutie škrupiny, (v newtonoch) je: $m \cdot g = 0,058 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2 = 0,58 \text{ N}$

Zo vzťahu (1) môžeme vypočítať, na akej dlhej dráhe sila pružnosti pôsobila, čiže ako veľmi sa škrupina zdeformovala, kým pukla. Vieme už, akú pohybovú energiu malo vajíčko v okamihu dotyku s podložkou. Rovnako veľkú prácu musela vykonať aj sila pružnosti, aby vajíčko zastavila.

Situáciu iba trochu komplikuje fakt, že sila pružnosti nie je stále rovnaká, ale postupne rastie z nuly až na maximálnu hodnotu. Pri výpočte deformácie vzťahom (1) preto použite priemernú hodnotu sily. Ak predpokladáme, že sila s narastajúcou deformáciou stúpa priamo úmerne, priemernou hodnotou sily je polovica maximálnej hodnoty sily.

Aká je veľkosť deformácie škrupiny, ktorá už spôsobila jej puknutie?

Veľkosť deformácie (v milimetroch), ktorá už spôsobila puknutie škrupiny, je:

podľa vzťahu (1) $s = W/F = 0,0174 \text{ J} / (0,58 \cdot 0,58 \text{ N}) = 0,0174 \text{ J} / 0,3364 \text{ N} = 0,0517 \text{ m} = 5,17 \text{ mm}$

Olympiáda mladých vedcov 2013

Zadanie experimentálnej úlohy

Pozn.: V skutočnosti sa neukladá všetka energia získaná z gravitačného poľa do deformácie pružiny, časť sa stratí napríklad v pohyboch pružného vnútra vajíčka. Preto deformácia potrebná na rozbitie škrupinky bude ešte menšia.

2. Skúmame chemickú odolnosť škrupiny.

Vaječnú škrupinu rozkladajú kyseliny. Bežnou kyselinou používanou v domácnosti je ocot: $\text{CH}_3 - \text{COOH}$. Je to slabá organická kyselina, ktorá do vody uvoľňuje vodík naviazaný na kyslík (vo vzorci je červenou farbou). Používa sa najčastejšie ako konzervačný prostriedok (kyselina zabíja mikróby) alebo ako regulátor chuti (okyslovadlo).

Postup experimentu

1. Vajíčko dôkladne umyte a vložte do pohára.
2. Vajíčko v pohári zalejte kuchynským octom
3. Ak sa všetko podarilo, zo škrupiny budú unikať bublinky plynu
4. Vajíčko z octu vyberte a opláchnite ho vodou, v experimente budeme pokračovať neskôr

Aký plyn sa uvoľňuje zo škrupiny?

Napíšte stechiometricky vyváženú rovnicu chemickej reakcie, ktorá prebieha v pohári.

Pomenujte vzniknuté zlúčeniny.

Zo škrupiny uniká plyn: oxid uhličitý (CO_2)

Rovnica prebiehajúcej chemickej reakcie:



Názvy produktov reakcie: octan vápenatý, voda, oxid uhličitý.

Kyslé prostredie škodí aj našim zubom - narušuje ich sklovinu a uľahčuje tak vznik zubného kazu. Zubná sklovina obsahuje tvrdý minerál s vysokým podielom vápnika a fosforu.

Ktorý tvrdý minerál obsahuje zubná sklovina? Napíšte chemický vzorec zlúčeniny, ktorá tvorí tento minerál. Napíšte chemický názov tejto zlúčeniny. Aký je hmotnostný zlomok (v %) Ca v tejto zlúčenine? Koľko mg Ca sa nachádza v jednom zube, ak hmotnosť tohto minerálu v ňom je 0,2 g?

Zubná sklovina obsahuje tvrdý minerál: hydroxylapatit

Jeho chemický vzorec je: $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ resp. $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$

Názov zlúčeniny je: hydroxyfosforečnan vápenatý

Hmotnostný zlomok Ca v zlúčenine (uved'te aj výpočet) je:

$$\begin{aligned} \text{Mr}(\text{hydroxyapatit}) &= 5 \cdot \text{Ar}(\text{Ca}) + 3 \cdot \text{Ar}(\text{P}) + 13 \cdot \text{Ar}(\text{O}) + 1 \cdot \text{Ar}(\text{H}) = \\ &= 5 \cdot 40 + 3 \cdot 31 + 13 \cdot 16 + 1 \cdot 1 = 502 \end{aligned}$$

Olympiáda mladých vedcov 2013

Zadanie experimentálnej úlohy

$$w = 5.40/502 = 0,398 = 39,8\%$$

Hmotnosť Ca v jednom zube je:

$$m = 0,398 \cdot 0,2 \text{ g} = 0,0796 \text{ g} = 79,6 \text{ mg}$$

Dobrá zubná pasta má okrem estetickej funkcie aj ochrannú – napríklad aj zvyšuje odolnosť zubov voči kyslému prostrediu. Účinok vašej zubnej pasty môžeme overiť na vajíčku.

Pokračovanie experimentu

1. Vajíčko opláchnite vodou, polovičku vajíčka dôkladne natrite zubnou pastou a nechajte pastu asi 10 minút pôsobiť.
2. Vajíčko opláchnite, dajte do pohára s octom a počkajte 45 minút.
3. Porovnajte tvrdosť škrupiny na ošetrovej a neošetrovej časti. Ak je tvrdá, pokračujte bodom 1, až kým škrupina nezmäkne.

Pozorovali ste rozdiel v rýchlosti mäknutia škrupiny v ošetrovej a neošetrovej časti vajíčka?

Použil(a) som zubnú pastu značky: Elmex

Porovnanie mäknutia ošetrovej a neošetrovej časti škrupiny: Časť škrupiny natretá zubnou pastou zmäkla neskôr. Rovnako ako naše zuby ošetrené zubnou pastou, bola odolnejšia voči pôsobeniu kyseliny

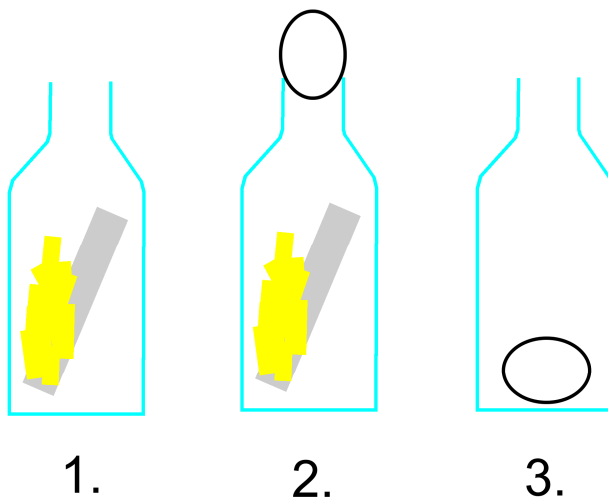
Vajíčko so zmäknutou škrupinou odložte, ešte ho budete potrebovať.

3. Na záver jeden trik.

Na internete nájdete veľa efektných videí ukazujúcich trik s natvrdo uvareným vajíčkom, ktoré možno pomocou kúska zapáleného papierika vtiahnuť do fľaše (obrázok 3). Horšie je to už s vysvetlením celého javu.

Postup:

1. Z drobnejšieho vajíčka uvareného natvrdo olúpte škrupinu.
2. Do sklenej fľašky so širokým hrdlom (iba o trochu užším než je priemer vajíčka, napríklad od mlieka alebo od kečupu) vhoďte širší pruh horiaceho papiera (napríklad z papierového obrúska).
3. Na hrdlo fľaše ihneď položte uvarené vajíčko.
4. Po chvíľke, keď papier zhasne, je vajíčko vtiahnuté do fľaše.



Obrázok 3: Vtiahnutie uvareného vajíčka do fľaše

Prečo sa vajíčko vtiahne do fľašky?

Molekuly papiera obsahujú hlavne uhlík a vodík. Pri horení uhlíka z molekúl papiera sa spotrebuje kyslík a uvoľní oxid uhličitý. Pri horení vodíka z molekúl papiera sa spotrebuje kyslík a uvoľní voda. Kvôli týmto reakciám sa mení počet molekúl plynu vo fľaši, a teda aj objem plynu. Objem plynu pri danej teplote je úmerný jeho počtu molekúl.

Napište chemické reakcie horenia uhlíka a vodíka z molekúl papiera. Ako sa pri nich zmení počet molekúl plynu vo fľaši?

Chemická reakcia horenia uhlíka: C (tuhá látka) + O_2 (plyn) \rightarrow CO_2 (plyn)

Počet molekúl plynu sa horením uhlíka (zníži / zvýši / nezmení): nezmení

Chemická reakcia horenia vodíka: $2H_2$ (tuhá látka) + O_2 (plyn) \rightarrow $2H_2O$ (plyn)

Počet molekúl plynu sa horením vodíka (zníži / zvýši / nezmení): počet molekúl plynu sa zvýši, môže však opäť klesnúť v prípade, ak voda skondenzuje

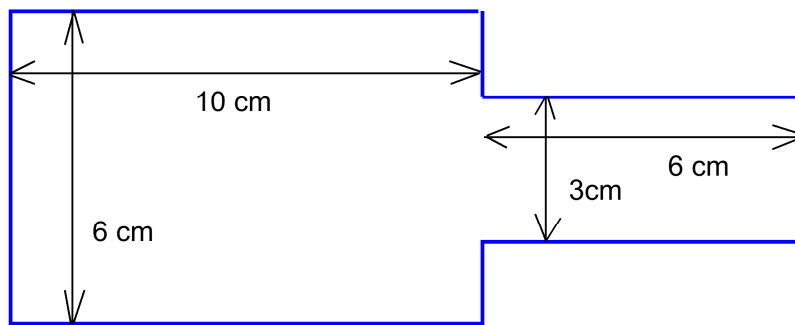
Pri horení však dochádza aj k ohrievaniu vzduchu vo fľaši. Plameň rozohreje vzduch, ktorý zväčší svoj objem (nadbytočný vzduch vyfučí cez hrdlo fľaše). Po zhasnutí plameňa vzduch vo fľaši opäť ochladne a zmenší svoj objem. Tým by mohol vtiahnuť vajíčko do fľaše.

Vieme, že objem plynu uzavretého vo fľaši je priamoúmerný jeho absolútnej teplote. Absolútna teplota T sa meria v Kelvinoch (K) a jej súvis s teplotou t meranou v $^{\circ}C$ je:

$$T = t + 273$$

Predpokladajme, že na pokus sme použili fľašku od kečupu s rozmermi ako na obrázku 4:

Olympiáda mladých vedcov 2013
Zadanie experimentálnej úlohy



Obrázok 4: Model fľaše

Hrdlo fľaše je dlhé 6 cm a má vnútorný priemer 3 cm. Širšia časť fľaše má dĺžku 10 cm a vnútorný priemer 6 cm.

Pri uzavretí fľaše položením vajíčka na jej hrdlo má ohriaty vzduch objem rovnajúci sa objemu celej fľaše. Po ochladení na izbovú teplotu musí plyn zabrať objem menší, než je objem širšej časti fľaše, inak by vajíčko neprešlo celou dĺžkou hrdla.

Vypočítajte teplotu (v °C), na ktorú musíme ohriať vzduch vo fľaši, aby pri jeho ochladení prešlo vajíčkom celým hrdlom. Teplotu v miestnosti predpokladajte rovnú 22°C.

Objem širšej časti fľaše (uvedte aj výpočet) je:

$$\pi \cdot (6 \text{ cm} / 2)^2 \cdot 10 \text{ cm} = 282,6 \text{ cm}^3$$

Objem hrdla fľaše (uvedte aj výpočet) je:

$$\pi \cdot (3 \text{ cm} / 2)^2 \cdot 6 \text{ cm} = 42,4 \text{ cm}^3$$

Objem celej fľaše (uvedte aj výpočet) je:

$$282,6 + 42,4 = 325 \text{ cm}^3$$

Teplota v miestnosti (v K) je:

$$273 + 22 = 295 \text{ K}$$

Teplota (v K), na ktorú treba ohriať vzduch, je (uvedte aj výpočet): v texte sme sa dočítali, že objem plynu uzavretého v sklenenej fľaši, je priamo úmerný jeho teplote, odtiaľ teda vieme, že (teplota v miestnosti)/(objem širšej časti fľaše) = (teplota ohriateho vzduchu)/(objem celej fľaše)

$$295 \text{ K} \cdot 325 \text{ cm}^3 / 282,6 \text{ cm}^3 = 339,3 \text{ K}$$

Teplota (v °C), na ktorú treba ohriať vzduch, je:

$$339,3 - 273 = 66,3 \text{ °C}$$

Ktoré z uvedených dvoch vysvetlení javu sa vám zdá pravdepodobnejšie a prečo?.

Odpoveď:

Olympiáda mladých vedcov 2013 Zadanie experimentálnej úlohy

Pravdepodobnejšia je druhá možnosť, nezdá sa byť problémom ohriať plyn plameňom aj na podstatne vyššiu teplotu, než je vypočítaná. Pri horení sa počet molekúl plynu pravdepodobne neznižuje. Navyše, plameň po položení vajíčka rýchlo zhasne, takže po uzavretí plynu reakcie rýchlo skončia.

Rovnakým spôsobom sa pokúste vziať do fľaše aj vajíčko s mäkkou škrupinou (po pobyte v octe). Ako ste dopadli? Ako si to vysvetľujete?

Odpoveď:

Pri vťahovaní vajíčka s mäkkou škrupinou cez užšie hrdlo fľaše sa obvykle roztrhne blana vajíčka. Vo fľaši teda nájdeme už iba roztrhané vajíčko. Na úspešné vťahnutie vajíčka s mäkkou škrupinou by musel byť priemer vajíčka iba nepatrne väčší, než je priemer hrdla fľaše.

Želáme Vám veľa zábavy pri riešení úloh. Svoje riešenie nezabudnite včas (do 1.4.2013) odoslať organizátorom súťaže IJSO pomocou portálu <http://www.ijso.sk>.

Ak ste pri riešení úlohy urobili peknú fotografiu alebo nakreslili obrázok, môžete nám na portáli súťaže odoslať okrem riešenia aj ich digitálnu podobu (môžete poslať aj niekoľko samostatných dokumentov, nie nevyhnutne iba jeden súbor s riešením).

*Kolektív autorov: František Kundracik, Martin Plesch
a Renáta Dörnhöferová*



APVV

Súťaž podporila Agentúra na podporu výskumu a vývoja
v projekte LPP-0179-09