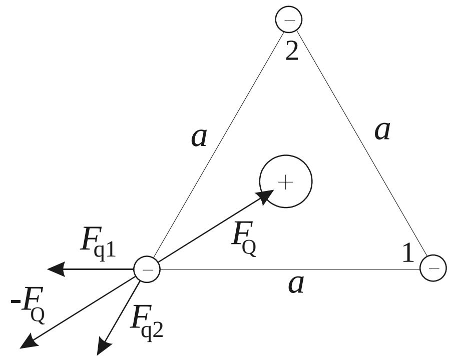
FYZIKÁLNY KOREŠPONDENČNÝ SEMINÁR

vzorové riešenia 1. série
A-kategória (starší)
letný semester
školský rok 2000/2001

FKS, KZDF MFF UK
Mlynská dolina, 842 48 Bratislava
fks@center.fmph.uniba.sk
www.ddp.fmph.uniba.sk/fks

A–1.1 Lítium (opravil Stano)

a) Prvú časť úlohy úspešne zvládla väčšina z vás. K správnemu výsledku sa dá dopracovať viacerými spôsobmi. Ja uvediem ten najkratší, aby som sa príliš nerozpisoval ☺. Celá situácia vyzerá asi takto:



$\vec{F}_q$ je sila, ktorou medzi sebou pôsobia náboje q a $\vec{F}_Q$ je sila medzi nábojmi Q a q. Aby boli záporné náboje v rovnováhe, musí pre každý osobitne platiť:

$$\vec{F}_{q1} + \vec{F}_{q2} + \vec{F}_Q = 0$$

Pričom z Coulombovho zákona:

$$F_Q = k\frac{Qq}{\left(a/\sqrt{3}\right)^2}, \text{ kde } k = \frac{1}{4\pi\varepsilon}.$$

$$F_{q1} = F_{q2} = k\frac{q^2}{a^2}$$

Vzdialenosť nábojov Q a q som rovno napísal ako $a/\sqrt{3}$, čo nie je problém zistiť ak vieme, že táto vzdialenosť je $2/3$ z výšky (ťažnice, osi uhla) nášho rovnostranného trojuholníka.

Pre súčet síl $\vec{F}_{q1} + \vec{F}_{q2}$ platí $\left|\vec{F}_{q1} + \vec{F}_{q2}\right| = 2F_{q1}\cos 30° = F_{q1}\sqrt{3}$. Zároveň má tento súčet orientáciu totožnú so silou $\vec{F}_Q$, ale opačný smer. A preto môžeme napísať $F_{q1}\sqrt{3} = -F_Q$:

$$k\frac{q^2}{a^2}\sqrt{3} = -kQq\frac{3}{a^2}$$

$$Q = -q/\sqrt{3}$$

Tým je dokázaná rovnováha záporných nábojov, na čo však väčšina z vás zabudla je, že treba spomenúť aj rovnovážnu polohu kladného náboja, čo jasne vyplýva zo symetrie sústavy.

b) Keď som túto úlohu vymýšľal, mal som na mysli hlavne dôvody, na ktoré by mohli prísť aj ľudia v minulosti. A to je v podstate päť odvôvodnení:

- Ak považujeme záporné náboje za elektróny a kladný náboj za jadro, musí pre neutrálny atóm platiť $Q = 3q$, čo zjavne teraz nie je pravda.
- Ľudia zistili, že všetky náboje v prírode sú vždy celočíselnými násobkami akéhosi náboja e = 1,602.10^{-19} C. A odmocnina z troch je predsa iracionálny násobok!

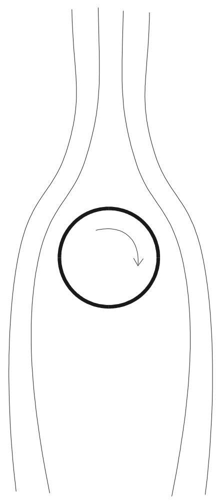
- Tretím dôvodom je stabilita. Ak vychýlime napríklad jeden záporný náboj smerom ku kladnému, príťažlivá sila vzrastie viac ako odpudivá, a to z dôvodu klesania elektro-statickej sily s druhou mocninou vzdialenosti. Tento náboj sa teda už nevráti naspäť do pôvodnej polohy, ale celá sústava sa rozpadne.
- Nakoniec je dobrým argumentom proti existencii takéhoto atómu aj neobmedzenosť veľkosti strany trojuholníka.
- Piaty dôvod sa týka rozmerov. Celá úloha je uvažovaná v rovine, ale svet je trojrozmerný a tu by sa systém okamžite rozpadol (kladný náboj by utiekol dopredu alebo doazdu).

To sú rozumné a jednoduché argumenty proti tomuto modelu. Prišlo však veľa riešení používajúcich „novodobé poznatky“. Nesnažte sa zbytočne používať argumenty, ktorým sami úplne nerozumiete. To od vás predsa nemôžeme chcieť a ani nechceme! V mnohých prípadoch ste uvádzali údaje vytrhnuté z kontextu, ktoré sa v skutočnosti nedali v našom prípade vôbec použiť. Išlo hlavne o poznatky týkajúce sa kvantových modelov atómov. Energetické hladiny elektrónov, spinové čísla a *p*,*s*-orbitály nemajú čo robiť v modeli stojacich elektrónov.

Celá úloha vyzerala zo začiatku veľmi ľahká, ale ako sami vidíte na bodovom ohodnotení, mnoho z vás ju nedotiahlo do konca. Preto netreba nič podceňovať a vždy hľadať to najjednoduchšie, ale správne riešenie.

A-2.2 Točená (opravoval Martin Plesch)

Začnime najskôr s odpoveďou na jednoduchšiu časť otázky, a to je: ktorým smerom sa má točiť za letu futbalová lopta okolo svojej osi, aby zatáčala doprava? Okrem pár výnimiek ste všetci prišli na to, že doprava, teda v smere hodinových ručičiek. Dôvody ste uvádzali rôzne, od praktických skúseností či pozerania televízie až po fyzikálne výpočty.

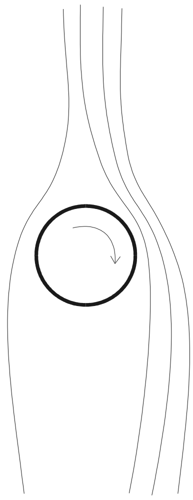


Vo výsledku ste mali pravdu, skutočne lopta zatáča do tej strany, do ktorej sa točí okolo vlastnej osi. Prečo ale zatáča práve tam? Je rozumný predpoklad, že keby lopta letela vo vákuu, nikam by nezatáčala, jednoducho by sa otáčala ďalej okolo vlastnej osi a letela rovno (kto neverí, nech sa zamyslí nad starým známym zákonom ešte kdesi zo základnej školy, že teleso zotrváva v rovnomernom priamočiarom pohybe pokiaľ naňho nepôsobí vonkajšia sila a rotujúca futbalka je rovnako dobré teleso ako vesmírna loď alebo celá Zem). Potrebujeme teda vzduch.

Väčšina z vás sa s týmto uspokojila (bohužiaľ) a pokúsila sa jav vysvetliť len pomocou prúdenia vzduchu okolo lopty a Bernoulliho rovnice, bez uvažovania s trením. Tento prípad je nakreslený na prvom obrázku. Vzduch obteká okolo lopty súmerne (zatiaľ zanedbávame trenie vzduchu o loptu). Lopta sa točí doprava a teda v pravej časti sa povrch lopty pohybuje **v smere** prúdiaceho vzduchu, vzájomná rýchlosť vzduchu a lopty v pravej časti bude **menšia** ako rýchlosť letu lopty. Naopak, v ľavej časti sa povrch lopty pohybuje **proti smeru** prúdenia vzduchu a vzájomná rýchlosť je **väčšia**. Z rovnice $1/2\,\rho v^2 + p = Const$ dostávame (tu treba poznamenať, že jej použitie nie je celkom namieste, lebo platí pre nestlačiteľné kvapaliny a tou vzduch nepochybne nie je, ale na účely odhadov na tento problém na chvíľu pozabudneme), že na pravej strane je z dôvodu menšej rýchlosti väčší tlak ako na strane ľavej. Vzduch na pravej strane loptu tlačí **doľava silnejšie** ako vzduch na ľavej strane, ktorý loptu tlačí doprava. Dráha lopty, rotujúcej v smere hodinových ručičiek, sa teda podľa Bernoulliho rovnice bude zakrivovať doľava!!!!!!

Lenže zo skúsenosti veľmi dobre vieme, že to nie je pravda. Bohužiaľ, väčšina z vás túto dilemu (česť výnimkám) vyriešila tak, že kdesi v úvahe vhodným spôsobom vymenili smery síl alebo znamienka rýchlosti tak, aby výsledok vyšiel podľa očakávania. Za podobný postup ste si vyslúžili paušálne 1.5 bodu.

Skutočné riešenie sa totiž skrýva kdesi inde. Musíme zobrať do úvahy aj trenie vzduchu a lopty. Vtedy situácia vyzerá podľa druhého obrázka takto: lopta rotujúca doprava strháva vzduch prichádzajúci spredu viac na pravú ako na ľavú stranu. Vzduch na pravej strane musí prúdiť rýchlejšie ako na ľavej a tento rozdiel rýchlostí medzi stranami je **väčší** ako efekt, ktorý sme počítali v predošlej časti. Tentokrát máme teda väčšiu rýchlosť na pravej strane, tým pádom aj menší tlak a výslednú silu doprava.



Je žiaduce spýtať sa, odkiaľ viem, že tento efekt, nazývaný Magnusov jav, bude silnejší ako efekt čistej rotácie lopty spomínaný vyššie či niektoré ďalšie efekty, ktoré sa tu uplatňujú. Odpoveď je veľmi zložitá. Existujú spôsoby, ako to všetko spočítať, ale to nie je účelom tohoto riešenia. Druhá možnosť je uveriť a tretia je zobrať loptu a ísť si to vyskúšať. Možno keď sa budete veľmi snažiť a zoženiete veľmi hladkú loptu zistíte, že niekedy sa naozaj dokáže točiť aj opačne. A to vtedy, keď bude trenie medzi loptou a vzduchom dostatočne malé na to, aby bol prvý spomínaný efekt silnejší.

A-1.3 Acid Rain (opravoval Matúš)

Na úvod mi nedá nepochváliť Vás za naozaj dobré riešenia. Zdatne ste sa chopili najmä vymýšľania spôsobov na meranie spomínaného objemu, no praktické prevedenie za tým omnoho nezaostávalo. Horšie to bolo s popisom podmienok a určovaním chýb, ale však k tomu sa o chvíľu dostaneme…

Najprv spôsoby merania. Časť z nich sa zaoberala jedinou dažďovou kvapkou a určením jej objemu. Sem patrí meranie hmotnosti kvapky na elektronických váhach, táto hmotnosť po predelení hustotou dá hľadaný objem kvapky. Ďalej je možné skúmať kvapku po dopade na podložku. Jej tvar je pomerne komplikovaný, avšak po prijatí istého modelu je možné objem vypočítať. V závislosti od rozmerov kvapky sú vhodnými modelmi guľový vrchlík, alebo valec. Problémom tejto metódy je malá presnosť merania potrebných rozmerov, rovnako ako obtiažnosť spočítateľným spôsobom popísať tvar kvapky.

Situácia sa zjednoduší, ak kvapku vložíme medzi dve sklíčka, ktoré pritlačíme k sebe na presne definovanú vzdialenosť (medzi sklíčka stačí vložiť žiletku). S trochou šťastia sa kvapka rozleje na kruhovú škvrnu, ktorú môžeme dobre aproximovať valcom s malou výškou a jej objem je ľahké vypočítať. Iným riešením je fotografovať padajúcu kvapku spolu s dĺžkovým meradlom a z fotky rozmery odčítať ešte kým má prijateľnejší (zhruba guľový) tvar. Problémom je potreba krátkej expozičnej doby, zdatnejší fotografi vedia, čo všetko Vám potom môže krásne plány zmariť.

Posledný spôsob, ako obísť komplikované tvary je nechať kvapku vsať sa do podkladu (tým môže byť napríklad pijavý papier) a merať obsah vzniknutej škvrny. Ten je zrejme priamo úmerný objemu kvapky. Možnosti praktického riešenia sú opäť dve. Buď meriame rozmery škvrniek hneď po dopade (za vlhka), alebo papier zafarbíme vodovými farbami. Tak zabezpečíme, že stopy po dopadoch kvapiek ostanú čitateľné aj po dlhšom čase.

Ďalšou možnosťou je uvedomenie si, že rýchlosť pádu kvapky je závislá od jej veľkosti. Vzhľadom na to, že pozorujeme rýchlosť blízku ustálenej, môžeme ju vypočítať porovnaním tiažovej sily a odporovej sily vzduchu, ktoré pôsobia na padajúcu kvapku. Práve pri ustálenej rýchlosti nastáva rovnosť týchto síl. Zapísaním vzťahov dostaneme

$$\tfrac{1}{2}\, C\, S\, \rho_0\, v^2 = V \rho\, g$$

Tu C je koeficient aerodynamického odporu, pre guľu číslo blízke jednotke, pre kvapku zrejme o čosi menej. ρ_0 je hustota vzduchu a ρ je hustota dažďovej kvapky. Ak dosadíme za S a V to, ako závisia od polomeru kvapky (obsah kruhu a objem gule), môžeme vyjadriť závislosť rýchlosti pádu v kvapky od jej polomeru r. Ak túto rýchlosť určíme meraním, hodnotu r ľahko dopočítame Ale ako ju určiť? Napríklad technicky – za použitia fotoaparátu opakovanou expozíciou so známymi časovými intervalmi. Druhou, menej presnou, no ľahko realizovateľnou možnosťou je merať sklon stôp dažďových kvapiek na oknách vlaku. Rýchlosť vlaku je známa (stačí sa spýtať sprievodcu :–) zvislá rýchlosť kvapiek sa ľahko dopočíta. Treba však pamätať na to, že kvapky sú "vetrom" okolo vlaku strhávané, získavajú vodorovnú rýchlosť a naše výsledky strácajú presnosť.

Ostávajú spôsoby zaoberajúce sa meraním priemerného objemu kvapiek. Prvým je samozrejme zachytávanie do odmerného valca spojené s ich počítaním. Pri hustom daždi je však počítanie ťažké. A kým nazbierate dostatočne veľké (merateľné) množstvo vody, dosť sa načakáte. Počítanie kvapiek sa dá zjednodušiť odmeraním počtu kvapiek za kratší čas na začiatku a na konci merania. Ak predpokladáme, že počas celého merania sa uplatnil práve priemer z týchto dvoch hodnôt, stratíme trochu presnosti, no ušetríme veľa práce. A pre vytrvalé novembrové dažde, ktorých intenzita sa príliš nemení sa až tak veľkej chyby nedopustíme. Že je marec? No dobre...

Podobným spôsobom je zachytávanie kvapiek do savej podložky. Po ich spočítaní a určení zmeny hmotnosti podložky už hľadaný objem ľahko určíme.

Toľko k možným spôsobom merania. Nemuseli ste napísať všetky, podstatnejšie bolo uvedomiť si chyby tých, ktoré ste použili, možné zdroje chýb. No a samozrejme, ak niektorý postup prakticky realizujete, je dôležité hodnotu týchto chýb (nepresnosti výsledku) aj vypočítať. Alebo aspoň odhadnúť. Zabúdať prirodzene netreba na popis podmienok, ktoré boli pri meraní a posúdenia toho, ako by ich zmena ovplyvnila výsledok. To je dôležité najmä pri danom experimente, no napriek tomu sa len málokto z Vás poveternostnou situáciou zaoberal.

Na záver pripojím už len stručný prehľad toho, čo ste mohli namerať. Tak predovšetkým, objem kvapiek je veľmi rôznorodý. A to nielen pri rôznych dažďoch, ale aj v danom okamihu k nám na zem dopadajú rôzne veľké plody oblohy. Pri kvapkách, ktoré väčšinou voláme malé sa skúmaný objem pohybuje do 5 mm^3, veľké kvapky presahujú hodnotu 0,05 ml. Najväčšia zaznamenaná kvapka z Illinois mala priemer 9 mm, čomu zodpovedá objem priližne 0,40 ml.

Teším sa na skoré stretnutie pri ďalších dobre zvládnutých experimentálkach.

A-1.4 Sounds of silence (opravila Kika)

Ako všetci vieme, ucho sa skladá z 3 základných častí – z vonkajšieho, stredného a vnútorného ucha. Pre vnímanie zvuku je najdôležitejšia úloha bubienka – tenkej blany oddeľujúcej vonkajšie ucho od vnútorného. Postupujúca zvuková vlna rozkmitá bubienok, z ktorého sa vibrácie prenášajú cez 3 kostičky do vnútorného ucha, kde sa nachádza vlastný sluchový receptor.

Dutina stredného ucha je Eustachovou trubicou spojená s nosohltanom. Tento kanál slúži na vyrovnávanie tlakov medzi stredným uchom a vonkajším prostredím. Za normálnych okolností je trubica uzavretá. Otvára sa pri prehĺtaní, zívaní a žuvaní. Frekvencia týchto činností stačí na to, aby sa za fyziologických podmienok zabezpečila rovnováha tlakov. Výnimku predstavujú okolnosti, kedy dochádza k relatívne veľkej zmene tlakov v prostredí (v lietadle, pri potápaní…). Subjektívne to pociťujeme ako zaľahnutie v ušiach, objektívne sa to prejavuje zhoršenou kvalitou zvukových vnemov, nakoľko pri rozdieloch tlakov na oboch stranách bubienka dochádza k jeho vyklenutiu a zhoršeniu vibračných schopností. Preto sa za týchto okolností odporúča napr. široko otvoriť ústa. Otvorí sa Eustachova trubica, dôjde k vyrovnaniu tlakov a bubienok sa vráti do pôvodnej polohy.

Tento efekt sa môže uplatniť aj pri počúvaní veľmi slabých zvukov, kde sa môže mierne zvýšiť kvalita počutia, keďže sa vyrovnajú aj slabé tlakové rozdiely vznikajúce pri vyklenutí bubienka po zachytení zvukovej vlny.

Okrem toho, ústna dutina môže pracovať ako rezonátor, čo sa uplatňuje aj pri vlastnom generovaní zvukov hlasivkami. Preto pri otvorených ústach sa akustické vlnenie dostáva do ústnej dutiny, vzniká stojaté vlnenie a dochádza k rezonancii. Zosilnený signál sa cez otvorenú Eustachovu trubicu dostáva do stredného ucha, kde rozkmitá bubienok, čo zlepšuje kvalitu počutia.

No a ešte mi nedá nespomenúť jednu vec. Keď človek otvára ústa, môže sa mierne naťahovať ucho a vyrovnať sa vonkajší zvukovod, čo môže zlepšiť jeho funkciu prijímača.

Eto vsjo.

Informácia o LTT

Všetci riešitelia FKS, ktorí práve končia prvý a druhý ročník gymnázií plus dievčatá tretiačky pozor! Aj tento rok pripravujeme Letný Tábor Trojstenu pre mladých riešiteľov korešpondenčných seminárov z fyziky, matematiky a programovania. Okrem trochy prázdninového vzdelania Vás čaká deväť dní dobrej zábavy so skvelými priateľmi. Tábor sa uskutoční od 18. do 27. júla v Gelnici a jeho cena určite nepresiahne 2000 Sk. Pozvánky naň budeme rozposielať už čoskoro so vzorovými riešeniami druhej série FKS.