



Fyzikálny korešpondenčný seminár 28. ročník, 2012/2013

FKS, KTFDF FMFI UK, Mlynská dolina, 84248 Bratislava

e-mail: otazky@fks.sk

web: <http://fks.sk>

Vzorové riešenia 1. kola zimnej časti 2012/2013

1.1 B-0 Odparovanie z celého objemu (opravoval Mišo)

Hovorí sa, že pri normálnom atmosférickom tlaku a teplote $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ sa voda odparuje z celého svojho objemu. Ako treba tomuto výroku rozumieť? Prečo sa neodparí celá v jednom momente, ak sa odparuje v celom svojom objeme?

Začneme pojednaním o tom, ako vyzerá kvapalina na molekulárnej úrovni. Molekuly vykonávajú chaotický pohyb, to znamená, že pri svojom pohybe sa zrážajú s ostatnými molekulami. Takto sa pri priblížení molekul prejavujú odpudivé sily. Príťažlivé sily sa naopak prejavujú na väčších vzdialenostiach a sú zodpovedné za to, že kvapalina sa nerozletí do priestoru, pokiaľ do nej nehodíme granát. Ak chce molekula opustiť objem kvapaliny, musí prekonať tieto príťažlivé sily.

Nuž poďme si povedať, čo sa deje keď začneme zohrievať vodu. Energia z ohrievača je absorbovaná molekulami vody¹, ktoré sú v tom okamihu bezprostrednom kontakte s ohrievačom. Keďže v kvapaline sa molekuly pohybujú, narážajú do seba a odovzdávajú si energiu, čím sa energia šíri do celého objemu kvapaliny. To sa navonok prejavuje zvyšovaním teploty vody. Teda môžeme hovoriť, že teplota vody je spojená s energiou molekúl.

Keďže molekuly vody majú rôzne rýchlosti a tým pádom energie, môžeme tvrdiť, že pri každej teplote nižšej ako bod varu a väčšej ako bod zamrznutia sa nájdu molekuly, ktoré majú dostatočnú energiu na opustenie kvapaliny čiže na vyparenie. Čím je teplota vody väčšia, tým viac je takýchto molekúl. Avšak, molekula má šancu preniknúť mimo objem len z povrchovej vrstvy, pretože v objeme kvapaliny by sa inak zrazila s molekulami, z ktorých drvivá väčšina by mala energiu nižšiu. Tým pádom by uprchlíka „schladili“. Situácia sa začne meniť keď sa dosiahne teplota varu, vtedy sa molekula aj v objeme vody môže stretnúť s molekulou, ktorá má tiež dostatočnú energiu na prekonanie príťažlivých síl. Takto vo vode vznikajú bublinky. A kvapalina sa neodparí celá hneď preto, lebo sa v nej stále nachádzajú aj tie molekuly, ktoré nemajú dostatočnú energiu na prekonanie príťažlivých síl.

1.2 B-1 Vtáčiky (opravovala Tinka)

Prečo môžu vtáky sedieť na drôtoch vysokého napätia a nezabije ich elektrina? Svoje vysvetlenie podložte kvantitatívne.

Už po prečítaní si zadania a povšimnutí si slovíčka *kvantitatívne* sa dá všeličo vytušiť. Napríklad že vysvetlenie vedúce k záveru, že vtákom netečie žiaden prúd, nebude správne. Alebo že budeme veľa googlovať.

¹Straty môžeme zanedbať



Seminár podporujú:

Prúd ním pretekať bude, potrebujeme však odhadnúť aký a porovnať to s prežiteľnou hranicou.

Situáciu, keď vták sadne na vedenie si môžeme v hrubom priblížení predstaviť ako paralelné zapojenie rezistora s uzlami v paprčkách. Druhým rezistorom je samotný kábel, ktorý tiež má svoj – síce malý, ale predsa – odpor. Jednoduchou úvahou² a použitím Ohmovho zákona³ dostaneme, že pomer prúdu pretekajúceho cez vtáka resp. cez kábel je úmerný pomeru odporu daného kusu vodiča a vtáka (s nejakou konštantou nie veľmi rôznou od jedna).

Tu nastáva prvý googliaci moment. Odpor vtáka môžeme považovať za porovnateľný s ľudským. Jeho hodnota veľmi závisí od podmienok ako napríklad vlhkosť, či neporušenosť kože, zoberieme preto najhorší možný prípad – čo najmenší odpor. Aj ten sa pohybuje v stovkách Ohmov na meter. Pri kábli to závisí od použitého materiálu, ale najmä od prierezu. Vezmime si reálny príklad a to austrálske vedenie vysokého napätia Banana. To má pri priemere 1,3 mm deklarovaný odpor 0,000582 Ω /m pri striedavom prúde frekvencie 50 Hz. To znamená, že vtákom sediacim na Banáne preteká približne milióntina celkového prúdu. Ak by sa niekomu zachcelo slovenskejších dát, nech sa páči.

Otázkou preto je, aký prúd to vlastne delíme medzi vtáka a vodič. Ohmov zákon nevyužijeme (to, že sa jedná o vedenie vysokého napätie neznamena, že poznáme napätie na týchto rezistoroch!). Znova sa uchýlime k inžinierskym praktikám – okrem iných zaujímavých vlastností sa pri kábloch uvádza aj to, na aký maximálny prúd sú dimenzované⁴ (napríklad aby sa netavilo nič). Vo všeobecnosti, čím väčší prierez, tým väčší prúd⁵. Naš Banana má zaručené, že môže viesť 141 Ampérov. V takom prípade by vtákom prechádzalo rádovo 0,1 miliampéru. To je strašne málo, až prúdy okolo jedného miliampéru sú cíiteľné. Nečudo, inak by si tam tie vtáky nesadali.

1.3 B–2 Oceľové lano zapiera (opravovala Kaja)

Bolo raz zavesené jedno oceľové lano hmotnosti 100 kg. To lano môžete vidieť na obrázku. V bodoch upevnenia zvieralo s horizontálnym smerom uhol 45° . Aké napätie pôsobí v jeho najnižšie položenom bode?

Kým nemáme zadaný prierez lana, stačí pod napätím rozumieť silu, ktorou je lano napínané.

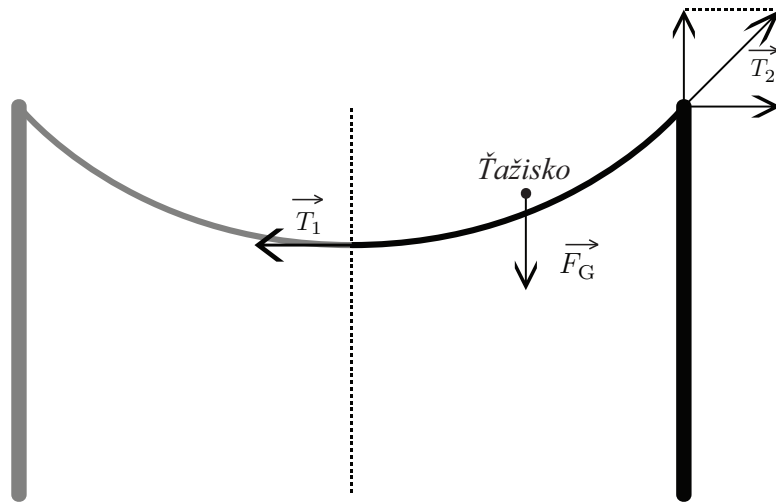
Keďže náš jav je symetrický, skúsme sa zaoberať len polovicou lana. Aké sily naň pôsobia? No v prvom rade je to jej tiažová sila $\frac{1}{2}F_G = \frac{m}{2}g$ pôsobiaca rovnomerne na každý kúsok našej polovice lana vo vertikálnom smere. Ďalej je to sila T_2 , ktorou naň pôsobí stĺp v mieste úchytu v smere lana (resp. dotyčnice k lanu). A nakoniec tu máme silu T_1 , ktorou ho ťahá druhá polka lana v mieste ich stretu v horizontálnom smere. A práve táto sila bude zodpovedať napätiu lana. Poďme si teda vyrátať jej veľkosť.

²ak vtáka zdvojnásobíme, bude mať dvakrát tak ďaleko paprče a zároveň sa správať ako dva vtáky zapojené za sebou

³napätie na oboch rezistoroch je rovnaké

⁴Po anglicky je to ampacity = amper capacity, po slovensky prúdová zaťažiteľnosť = pružiteľnosť

⁵Týmto trochu ospravedľujeme voľbu konkrétneho prierezu vedenia.



Obr. 1: Lano

Lano (ani jeho polovica), sa nehýbe, takže výslednica síl na neho pôsobiacich je nulová.

$$\frac{1}{2}\vec{F}_G + \vec{T}_2 + \vec{T}_1 = \vec{0}$$

Tieto vektory si rozložíme na x -ovú a y -ovú zložku:

$$T_1 = T_2 \cos 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2} T_2 \quad (1)$$

$$mg/2 = T_2 \sin 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2} T_2 \quad (2)$$

Riešením rovníc 1, 2 dostávame

$$T_1 = mg/2,$$

A to je hľadaná veľkosť napätia v lane :-).

Mnohým z vás vyšla dvojnásobná hodnota napätia, pretože sčítali napínanie lana v najnižšom bode v tomto a v opačnom smere. Prečo to tak nie je? Nuž, to vyplýva z definície napätia. Ale predstavte si radšej situáciu, že voľajaké teleso visí na lane. Akou silou ho bude napínať? Iba tiažovou silou, hoci každý kúsok lana musí pôsobiť aj sila opačná, aby bolo v pokoji.

1.4 B–3/A–1 Klacek (opravoval Maťo Chudjak)

Vyhľadajte si vo svojom okolí nejakú rieku a odmerajte čo najpresnejšie jej rýchlosť.

Čo meriame? Ešte pred začiatkom experimentu sa zamyslíme, čo to vlastne ideme merať. V zadaní sa píše: zmerajte čo najpresnejšie rýchlosť rieky. Treba si však uvedomiť, že rýchlosť rieky nie je vo všetkých miestach rovnaká. Rieka tečie najpomalšie pri krajoch a najrýchlejšie v strede. Preto bolo potrebné merať rýchlosť rieky dosť ďaleko od kraja. Aby si z vášho merania vedel čitateľ urobiť obraz o tom, ako rýchlo rieka tečie, bolo aspoň u väčších riek tiež treba uviesť ako ďaleko od brehu ste to merali (strede, v tretine...). Za túto časť ste mohli získať 2 body.

Spôsob merania Ďalšie 3 body ste mohli dostať za dostatočné popísanie metódy merania. Napríklad: „Na breh som si zapichol dvakrát po dva papeky, čím som vytvoril štart a cieľ. Zobral som kus dreva a hodil ho približne do stredu rieky, do dostatočnej vzdialenosti pred prvý papek na brehu, aby sa plávajúce drevo už pohybovalo ustálenou rýchlosťou keď plávalo okolo 1. papeku zapichnutého na brehu. Rýchlo som bežal k prvému papek priložil k nemu oko tak, aby som videl papek na brehu oproti, napäto čakal kedy štartom prejde drevo, a vtedy som stlačil stopky. Znova som uháňal, čo mi čongále stačili, až do cieľa, priložil oko a keď drevo prešlo cieľom, stlačil som stopky.“

Presnosť merania Keď už máme nameraný väčší počet meraní, zamyslime sa ešte, aké nepresnosti vplývajú na náš experiment. Ak ste poslali aspoň 5 meraní, mohli ste dostať 1 bod.

- a.) nepresnosť v meraní času, za ktorý prejde objekt hodený do vody danú dráhu. Odhad tejto nepresnosti môžeme získať tak, že zopakujeme experiment 10-krát a zrátame smerodajnú odchýlku z takéhoto súboru dát.
- b.) nepresnosť v meraní polohy – táto nepresnosť sa prejavila hlavne ak ste si nezapichli dva papeky oproti sebe. Ak máme 2 papeky oproti sebe, pri potokoch so šírkou do cca 2 m môžeme odhadnúť nepresnosť v určení dráhy, ktorú papek prešiel, na 1 cm. To, či to nebolo viac, závisí hlavne od dôslednosti, s akou ste meranie robili a nakoľko boli papeky oproti sebe.

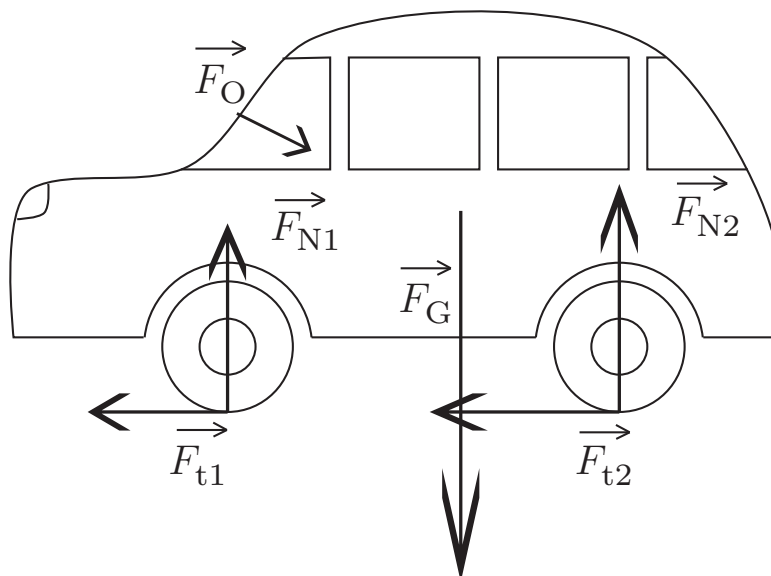
Výsledú nepresnosť v určení rýchlosti potoka môžeme odhadnúť metódou najhoršieho prípadu. Platí $v = (s \pm \Delta s)/(t \pm \Delta t)$. Teda v bude najväčšia, ak v čitateli zvolíme $+$ a v menovateli $-$ a naopak najmenšia, ak to bude naopak. Skutočná rýchlosť, akou rieka tečie sa nachádza medzi týmito dvoma hodnotami. Za dostatočný komentár presnosti merania ste mohli získať 3 body.

1.5 B-4/A-2 Sila motora (opravoval Andrej)

Po diaľnici uháňa rovnomernou priamočiарou rýchlosťou 100 km/h auto. Zakreslite všetky relevantné sily, ktoré naň pôsobia a vysvetlite, ktoré sily sú zodpovedné za jeho pohyb vpred.

Čo rozbieha auto? No predsa motor. Nakreslíme vektor sily motora teda smerom dopredu. Ešte by tam mala pôsobiť gravitačná sila a reakcia od podložky. A pridáme odporovú silu vzduchu dozadu spolu s trením, veď obe tie veci brzdia. Hurá, riešenie je na svete. Lenže zlé riešenie. A to prečo?

Predstavte si, že položíte takto fungujúce auto vášho tata na veľmi klzký ľad a šliapnete na plyn. Malo by zrýchľovať ešte lepšie než na asfalte, veď ho dopredu ťahá sila motora a žiadne trenie nebrzdí, no nie? Zo skúsenosti vieme, že auto na klzkej podložke sa nepohne, len roztočí kolesá.



Obr. 2: Auto

Sila motora je vnútorná sila, nie je to chápadlo z nekonečna ťahajúce auto dopredu, ale pôsobí na súčiastky auta. Tie pôsobia reakciou späť a vykompenzujú sa na aute ako celku. Za zrýchlenie celého auta musí byť zodpovedná teda nejaká vonkajšia sila, nie sila súčiastky o súčiastku. A my vo vodorovnom smere na klzkom ľade žiadnu nemáme. A keďže platí $F_x = ma_x$: žiadna sila, žiadne zrýchlenie (no money, no honey).

Keď zameníme za ľad asfalt, pribudne nám jedine trecia sila. Zrejme ona by mohla byť za niečo zodpovedná (veď auto sa na asfalte rozbehne). Poďme sa pozrieť, ktorým smerom naozaj pôsobí.

Chcete pridať. Šliapnete na plyn a motor vám roztočí rýchlejšie kolesá. Tým pádom sa dotykový bod kolesa pohybuje dozadu vzhľadom na asfalt ($v_{kol} < \omega_{kol} r_{kol}$). Ktorým smerom naňho pôsobí trecia sila? Dopredu.

Celé auto funguje teda jednoducho: motor roztočí koleso, trenie ho rozpohybuje dopredu.

1.6 A-3 Snehové delo (opravoval Petrik)

Snehové delo funguje veľmi jednoducho. Pod vysokým tlakom je do neho z najbližšieho potrubia privádzaná voda, ktorú potom v malých kvapôčkach vystrekuje von. Ak vonku práve mrzne, voda stihne zamrznúť a na zem už dopadá sneh.

Odhadnite, aká musí byť veľkosť kvapôčok vody striekaných snehovým delom, aby stihli pred dopadom na zem zamrznúť na sneh.

Milé deti. Toto bol príklad, v ktorom ste si mohli vyskúšať riešenie nekonvenčných, priam na hlavu padnutých problémov. Že ale autor úlohy nie je zrelý na psychológa, dokazuje napr. slávny fyzik Enrico Fermi, ktorý študentom na skúške rád zadával úlohu „Odhadnite, počet klavírov v Chicagu“. Ja som mal na svojej IB maturite podobne skvostnú otázku: „Koľko váži vesmír?“. A svetoví zamestnávateľia, ako napr. Google, sa na interviách uchádzačov radi pýtajú, koľko

ľudí je na Facebooku v San Franciscu o pol tretej v piatok.⁶ Principiálne ide o rovnaké problémy, len tie naše sú trochu viac fyzikálne.

Ako teda vedecky formulovať otázku, na ktorú sa snažíme odpovedať? Ako kvapka vody padá, uniká z nej teplo do okolitého vzduchu. Musí z nej uniknúť presne $Q = mL_v$ tepla, kde m je jej hmotnosť a L_v merné skupenské teplo tuhnutia.⁷ Podarí sa jej to, kým nedopadne na zem?

Padanie na zem

Nech má kvapka tvar gule s polomerom R . Ak skutočne veľmi malá (čo je rozumný predpoklad), odporová sila vzduchu veľmi skoro vykompenzuje silu tiažovú a kvapka tak padá na zem rovnomernou rýchlosťou.

$$mg = \frac{1}{2}C\rho_v S v^2,$$

kde $\rho_v = 1,3 \text{ kg/m}^3$ je hustota vzduchu, $S = \pi R^2$, $C = 0,5$ je koeficient odporu pre sféru, $g = 10 \text{ m/s}^2$ gravitačné zrýchlenie a v rýchlosť. Samozrejme ešte platí, že $m = 4/3\rho_0\pi R^3$, kde $\rho_0 = 1000 \text{ kg/m}^3$ je hustota vody.

Po úprave, ktorú rád prenechám na čitateľa,

$$v^2 = \frac{8}{3} \frac{\rho_0 g}{\rho_v C} R,$$

Pre čas dopadu teda platí,

$$\tau_1 = \frac{y}{v},$$

kde y je vertikálna vzdialenosť. Ale pozor! Aká je vlastne trajektória dopadu? Nie nadarmo sa snehovému delu hovorí snehové delo – veď vodu vystrekuje pod uhlom podobným skutočnému delu strieľajúcemu tie veľké čierne gule.⁸ Ako teda spočítame vzdialenosť, ktorú kvapka prejde? Bez udania počiatočnej rýchlosti a uhlu asi len ťažko, takže si ju musíme tipnúť. Kvapky v podstate kopírujú dráhu šikmého vrhu, ktorej vrchol je nejakých 5 metrov. Nech je teda efektívna dráha, ktorú dosadíme do veličiny y , a v ktorej je zahrnuté stúpanie aj klesanie, 10 metrov.⁹

Teda platí:

$$\tau_1 = y \sqrt{\frac{3\rho_v C}{8R\rho_0 g}},$$

Unikanie tepla

S teplom je to podobné ako s elektrinou – tečie vždy tam, kde je rozdiel teplôt (resp. potenciálov). Podľa tejto múdrosti si môžeme definovať tepelný tok $\Phi = \lambda \Delta T / \Delta x$, ktorý sa

⁶Zdrojom je stránka <http://www.glassdoor.com/blog/top-25-oddball-interview-questions-2011/> Zasmejte sa na zvyšných otázkach a nezabudnite si pozrieť odpovede. A mimochodom, víťazom rebríčka v roku 2010 je otázka „Keby ste sa zmenšili na veľkosť ceruzky a niekto by vás strčil do mixéra, ako by ste sa dostali von?“

⁷Predpokladáme, že snehová vločka je v podstate malý kúsok ľadu.

⁸Okrem toho sa ešte na zasnežovanie využíva taká dlhá tyč, ktorá vodu strieka vodorovne z výšky asi 5 metrov.

⁹Keby sa niekto pýtal na spomaľovanie okolo najvyššieho bodu trajektórie, tak možno povedať, že bolo vykompenzované počiatočnou rýchlosťou vody striekajúcej z dela.

meria vo W/m^2 . λ je konštanta úmernosti menom *tepelná vodivosť*. Potom celkové teplo, ktoré opustí kvapku za nejaký čas τ_2 , je súčin toku, povrchu kvapky a času:¹⁰

$$Q = \Phi S \tau_2,$$

kde $S = 4\pi R^2$. Teda

$$Q = mL_v = \lambda 4\pi R^2 \frac{\Delta T}{\Delta x} \tau_2.$$

Čo teraz s $\Delta T/\Delta x$? Pozornejší čitateľ si domyslel, že tými deltami sa snažíme vyhnúť výrazu pre deriváciu teploty podľa súradnice a iným príšerným veciam. Takže to spravíme tak jednoducho, ako sa len dá: odhadneme teplotný rozdiel na nejakej pre kvapku typickej vzdialenosti a budeme sa tváriť, že takto to je fajn. Typický teplotný rozdiel je teplota kvapky – najnižšia možná, teda 0°C – a okolitého vzduchu, dajme tomu -10°C . Typická vzdialenosť (resp. hrúbka vrstvy), cez ktorú prechádza teplo, je polomer kvapky R .

$$\frac{\Delta T}{\Delta x} \approx \frac{T}{R},$$

Pre čas τ_2 teda platí:

$$\tau_2 = \frac{\rho_0 l_v}{3\lambda T} R^2,$$

A teraz nám už nič nebráni vyhlásiť, že na to, aby kvapka dopadla na zem ako sneh, musí platiť $\tau_2 \leq \tau_1$. Po úpravách sa vynorí výraz:

$$R \leq \left(\frac{27\rho_v C \lambda^2}{8\rho_0^3 g l_v^2} T^2 y^2 \right)^{\frac{1}{5}},$$

Číselne to je $R \leq 4 \times 10^{-4}$ m (zaokrúhľujem všetky desatinné čísla, keďže ide o odhad).

Je toto číslo v súlade so selským rozumom? „Tak určite,“ povedal by hokejista, necelého pol milimetra vyzerá reálne. Ako sami vieme, kvapky sú dosť malé na to, aby nepríjemne štípali tvár, čo znamená, že by nemali mať viac ako milimeter.

Osobne si ale myslím, že by mohli byť ešte o rád menšie. Ako odhad veľkosti drobných kvapiek môže poslúžiť taká tá vec na striekanie okien, ktorou čistíme sklá. Čo si spomínam, takto vytvorené kvapky sú voľným okom nerozlišiteľné, čo teda znamená, že sú naozaj menšie ako milimeter.

Kde má naša úvaha slabé miesta? V prvom rade by to chcelo lepší model unikania tepla, čo však v prípade procesov ako tuhnutie vôbec nie je jednoduché.¹¹ Jednoduchšou otázkou je, ako veľmi sa zmení výsledok, ak je vonku len -5 . Pri tejto teplote má kvapka $0,3$ mm, teda stále zostávame v ráde desiatín milimetra. V prípade, že efektívna dráha kvapky y je 20 m, sa tiež až tak veľa nezmení – výsledkom je $0,5$ mm. Ako vidno, vzorec s piatou odmocninou je dosť necitlivý na zmeny, čo je pre nás celkom dobré.

Vo vašich riešeniach ste všetci predpokladali, že kvapka padá šikmým vrhom. Ak si ale dobre zaspomíname na poslednú lyžovačku, uvidíme (vnútorným okom), že kvapky z dela sa pohybujú rovnomerne, takže voľný pád rozhodne nie je dobrý model. Ďalšou občasnou chybou bol

¹⁰Pre jednoduchosť predpokladáme, že teplo uniká konštantným tempom, i.e. nezávisí od času.

¹¹Snehová vločka je celkom komplikovaná vec, ktorá sa rozhodne na guľu nepodobá.

predpoklad, že teplo uniká žiarením (čierneho telesa), a nie vedením. Pri pozornom pohľade si všimneme, že Boltzmanova konštanta σ sa rovná len 5×10^{-8} , zatiaľ čo konštanta $\lambda = 0,6$, takže žiarenie možno pri nízkych teplotných rozdieloch zanedbať.

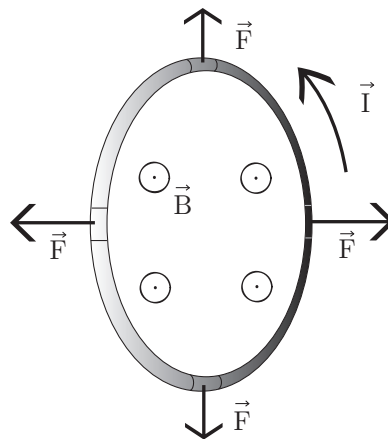
Na záver by som snáď dodal, že takýchto príkladov sa rozhodne netreba báť! Prišlo relatívne málo riešení, z čoho som bol celkom sklamaný. Nebojte sa experimentovať, vymýšľať jednoduché modely a nachádzať s nimi rozumné výsledky. A – ako ste sa mohli dočítať v prvom odseku – schopnosť riešiť takéto problémy je veľmi príťažlivá pre mnohých zamestnávateľov.

1.7 A–4 Magnetické pole na úrade práce (opravovala KatkaT)

Magnetická sila je vždy kolmá na smer pohybu náboja/prúdu. Ako nás na mechanike učili, sila kolmá na smer pohybu nikdy nekoná prácu. Preto by ani magnetická sila nikdy nemala konať prácu.

Uvažujme však uzavretú slučku v homogénnom magnetickom poli, ktorou preteká prúd. Na túto slučku pôsobí nenulový moment sily, ktorý vieme využiť na konanie práce. Vysvetlite, ako je toto konzistentné s predošlým tvrdením.

Tere, milé magnetické semenáčky. V každom kúsku drôtu sa bude pole snažiť pôsobiť na elektróny, ktoré sa hýbu v drôte, takže tie začnú zahýbať v smere kolmo na plochu drôtu. Zoberme si malý kúsok drôtu. Magnetická sila v ňom má tendenciu hromadiť všetky elektróny v jednej časti. To sa ale nepáči kovu – keďže veľa záporného náboja v ňom je na jednej kope, na opačnej strane drôtu sa jeho nedostatok prejaví nejakým kladným nábojom drôtu. Tieto náboje sa teda pritiahnu elektrickými silami na pôvodné miesta. Keďže ale aj elektróny silovo pôsobia na kov, on sa trochu pohne v smere, kde sa hromadili – teda v smere magnetickej sily. A toto sa veľa krát opakuje, teda drôt sa bude pohybovať v smere, ktorým pôsobí magnetická sila na elektróny. Teraz sa pozrime, ktorým smerom teda tieto sily na drôt pôsobia:



Obr. 3: Závit

Vidíme, že dokopy sily na dané kúsky drôtu roztáčajú našu slučku. Hurá. Keďže elektrické sily ale otáčajú slučkou v smere, ktorým pôsobia, konaajú prácu. Trikrát hurá, zachránili sme svoju myseľ pred nekonzistentnosťou.

Ešte malá poznámočka. Rovnaký výsledok dostaneme, keby sme sa na interakciu drôt – elektrón pozerali ako na zrážky loptičiek a ťažkej steny.