FYZIKÁLNY KOREŠPONDENČNÝ SEMINÁR

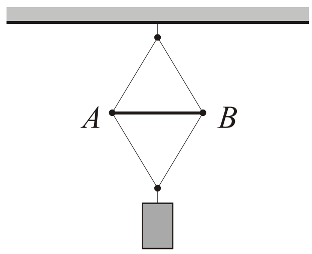
3. séria letnej časti 17. ročníka
A – kategória (starší)
školský rok 2001/2002
termín príchodu riešení
15. 5. 2002

www.fks**.sk**

FKS, KZDF FMFI UK
Mlynská dolina
842 48 Bratislava
riesenia@fks.sk
info@fks.sk

A – 3.1 Svetový rekord (5 bodov)
Na rovníku a na severnom póle boli postavené dve dokonalé (a klimatizované) športové haly. Majstrovstvá sveta sa uskutočnili v tej „polárnej". Rekord v hode guľou do diaľky bol na súťaži zlepšený o jeden centimeter. Ak by sa hádzalo v „rovníkovej" hale, bol by svetový rekord tiež prekonaný? O koľko? Predpokladajte, že na oboch miestach by športovci podávali rovnaké fyzické výkony.

A – 3.2 Virtuálna práca (5 bodov)
Na obrázku je závažie hmotnosti m zavesené na jednoduchej konštrukcii zloženej zo síce nehmotných, no neohybných tyčí. Dĺžka tyčí na obvode je a, dĺžka tyče medzi bodmi A a B je d. Určte, akou silou je stláčaná táto tyč!



A – 3.3 Jupiter (5 bodov)
Predstavte si, že by Jupiter obiehal Slnko nie po svojej doterajšej dráhe, ale po dráhe Marsu. Pozreli by sme sa naň vo chvíli, kedy by bol k Zemi najbližšie. Koľkokrát viac svetla Jupitera (oproti súčasnej situácii) by dopadalo do nášho oka?

Ak to dokážete, zistite, akej hviezdnej veľkosti (magnitúde) to zodpovedá. Pri hľadaní potrebných hodnôt vám určite pomôže Encyklopédia astronómie. Tam zistíte aj to, čo je vlastne zač tá hviezdna veľkosť.

A – 3.4 Tenisík (5 bodov)
Dominik, veľký to tenista, sa jedného dňa rozhodol, že si nacvičí špeciálne podanie. Podá prudkú loptu (ktorá bude letieť skoro úplne rovno, ako keby tam ani gravitácia nebola), ktorá sa po dopade na súperovu časť ihriska odrazí späť na Dominikovu polovicu ihriska.

Má význam, aby Dominik takéto podanie trénoval? Ak áno, ako by musel udierať do loptičky? Ak nie, prečo?

Tento seminár je organizovaný s podporou
Nadácie Pre Otvorenú Spoločnosť - Open Society Fund
a KZDF FMFI UK

FYZIKÁLNY KOREŠPONDENČNÝ SEMINÁR

vzorové riešenia 2. série
A – kategória (starší)
17. ročník
letný semester
školský rok 2001/2002

www. **.sk**

FKS, KZDF FMFI UK
Mlynská dolina
842 48 Bratislava
riesenia@fks.sk
info@fks.sk

A – 2.1 Motor (opravoval Braňo)

Skoro každé nové auto sa chváli tým, že má nižšiu spotrebu ako predchádzajúci model. Ešte pred pár rokmi „žrali“ autá bežne 6 litrov na 100 km, dnes to je často menej ako 5. Pokúste sa odhadnúť, aká je minimálna spotreba bežného rodinného auta, ak sa v lete za dobrého počasia pohybuje ustálenou rýchlosťou 100 km/h po rovnej diaľnici. A ako je to s jazdou po meste? Poznámka: Všetky potrebné vzorce a konštanty nájdete v tabuľkách.

Na auto idúce po diaľnici rovnomerným pohybom pôsobia dve dôležité odporové sily, ktoré je treba brať do úvahy – odporová sila vzduchu F_O a sila valivého trenia F_T. Pri prekonávaní týchto síl koná auto prácu, na ktorú potrebuje energiu zatiaľ skrytú v benzíne. Pozrime sa teda na tieto sily pekne zblízka.

Pre odporovú silu vzduchu platí vzťah $F_O = \rho C S v^2/2$, kde ρ je hustota vzduchu, C je koeficient odporu vzduchu, ktorý závisí od tvaru obtekaného predmetu (v našom prípade auta), S je aktívna plocha (u nás obsah čelného priemetu auta) a v jednoducho rýchlosť, ktorou si naše auto razí cestu. Pri hustote a rýchlosti nie je o čom, plochu S si môžeme zmerať (pre rodinné Lamborghini Diablo je to 1,85 m^2, pre rodinnejšiu Vectru alebo Passat detto, ale taký Jeep Cherokee má už plochu 2,4 m^2).

Zaujímavé to začína byť pri koeficiente C, to je totiž niečo s čím sa konštruktéri radi pochvália. Nechvália sa zasa ale až tak často a už vôbec ho nenájdete v technickom preukaze. Odkiaľ ho teda dostať? Vo fyzikálnych príručkách možno nájsť koeficienty pre nejaké štandardné tvary, ale dajú sa použiť? Nie celkom dobre, lebo rozdiely sú veľké. Už len u kusa plechu záväzí, či je štvorcový ($C = 1{,}17$) alebo dlhý obdĺžnikový ($C = 2$). Pre porovnanie má stojaci človek hodnoty 1,0 – 1,3 a taký Empire State Building 1,3 – 1,5 (pre iné stavby New Yorku som dáta nenašiel). Vráťme sa ale k autám, lebo tie sú kľúčové. Okrem pomerne rozšírenej informácie, že športové autá s výborným aerodynamickým profilom majú tento koeficient blížiaci sa číslu 0,3, sa dá poobzerať aj po zaujímavých detailnejších údajoch (napr. http://www.teknett.com/pwp/drmayf/tbls.htm). Potom si môžete lámať hlavu nad tým, prečo má Passat údaj úplne totožný s modelom McLaren F1 ($C = 0{,}31$), alebo hľadať hodnoty pre terénnejšie ladené autá, akým je napríklad už spomínaný Jeep Cherokee ($C = 0{,}45$).

Valivý odpor je už kapitola jednoznačnejšia. Vo vzťahu $F_T = \xi F_N / r$ je totiž r polomer pneumatík (povedzme 0,28 m), ξ rameno valivého odporu s tabuľkovou hodnotou pre gumené kolesá na asfalte $\xi = 1{,}6.10^{-3}$ a F_N prítlačná sila, ktorou pôsobí auto na cestu, teda $F_N = mg$, pre rodinné auto okolo $F_N = 1200\ \mathrm{kg}.9{,}81\mathrm{ms}^{-2} = 11770\ \mathrm{N}$.

Sila, ktorú auto musí prekonávať je $F_T + F_O$, takže na dráhe s vykoná prácu $W = s(F_T + F_O)$. Motor však premení spotrebovaný benzín na viac energie, keďže jeho účinnosť býva len 20 – 30%, teda položme $\mu = 0{,}25$. Ešte v tabuľkách nájdeme výhrevnosť benzínu ($h = 4{,}27.10^7$ J/kg) a jeho hustotu ($\rho_B = 700\ \mathrm{kg/m^3}$), aby sme mohli s kľudným svedomím zostaviť rovnicu $W = V \rho_B \mu h$, kde V je hľadaný objem.

Zamiešame, povaríme a vykypí nám toto:

$$V = \left(\frac{1}{2}C\rho S v^2 + \frac{\xi m g}{r}\right)\frac{s}{h\mu\rho_B}.$$

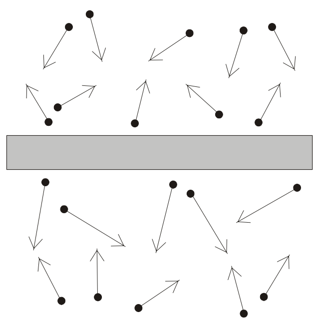
Keď všetko pozorne dosadíme, ako sme sa dohodli, v hrnci nám po 100 kilometroch ostane číslo $4{,}51.10^{-3}$. To je naša odhadnutá spotreba na 100 km v metroch kubických, teda v litroch máme krásnych 4,51 l. To je spotreba na diaľnici, ale pretože svet nie je lízanka, v zadaní bola ešte provokačná otázka o spotrebe v meste. Vy ste sa ale vyprovokovať nedali a povačšine ste sa alibisticky skryli za konštatovanie, že v meste je tá spotreba horšia. Pravda je, že v meste je to stále iné, ale to neznamená, že sa o nejaký model nemôžeme pokúsiť.

Najjednoduchšie je predpokladať, že v meste sa auto valí nejakou nízkou rýchlosťou rovnomerne. To ale dostaneme spotrebu ešte nižšiu ako na diaľnici, čo sa prieči reálnej skúsenosti. Dôvod je ten, že v meste je to skôr o systéme brzda–plyn, teda buď brzdíme, ale zrýchľujeme. Ak model upravíme tak, že polovicu cesty brzdíme a polovicu ideme zrýchlením 1 ms^{-2} (čo je ekvivalent známeho zrýchlenia z 0 na 100 km/h za čas 27 s), pričom celý čas nejdeme do vysokých rýchlostí, potom nám stačia nasledovné zmeny: Pridáme silu potrebnú na zrýchlenie $F = ma$, ktorou však auto pôsobí len na polovici dráhy, teda celkovo sa energetická požiadavka zvýši o $Fs/2 = mas/2 = 1200.1.50000 = 6.10^7$ J. Zároveň ju ale znížime o prácu vynaloženú na prekonanie odporu vzduchu, ktorá klesá s rýchlosťou kvadraticky a pri nízkej rýchlosti bude oproti predchádzajúcej zložke zanedbateľná. Spolu s energiou vynaloženou na prekonanie valivého odporu ($6{,}7.10^6$ J) dostaneme po dosadení výsledok 8,9 litra čo je aj vzhľadom na realitu pomerne dôveryhodný výsledok.

My vám na záver želáme veľa šťastných kilometrov a pri ďalšom vydaní *Zákruty* sa stretneme opäť zajtra.

A – 2.2 Rozprávková úloha (opravoval Matúš)

Hlúpemu Janovi sa pokazil lietajúci koberec a dumal, ako si pomôcť. Nebol až také úplné poleno a vymyslel si náhradu. Bola ňou vodorovná platňa s obsahom 1 m^2, ktorej horný povrch mal teplotu 0°C, dolný mal 100°C. Teplota vzduchu okolo bola pritom 20°C. Čím je spôsobené nadľahčovanie takéhoto zázraku? Odhadnite veľkosť sily, ktorá pôsobí na platňu proti jej tiaži.



Tak najprv: „Prečo?“ Svetlo do temnôt vrhne obrázok vpravo, kde je (neproporcionálne) znázornená platňa a molekuly vzduchu, ktoré na ňu dopadajú zhora i zdola (o dopadoch zboku zrejme nie je potrebné uvažovať).

Podľa zadania má spodný povrch nášho zázraku vyššiu teplotu než horný. Preto sa pomalé chladné molekuly vzduchu na ňom zohrievajú – zväčšia odrazom svoju rýchlosť. Naopak horný povrch je studenší ako vzduch a molekuly sa od neho odrážajú pomalšie (pozri obrázok). Zjavne je pri spodnom povrchu platne väčšia zmena hybnosti jednotlivých molekúl. No a kedy sa mení hybnosť? Ak pôsobí sila. Keďže zdola narážajúce molekuly viac menia svoju hybnosť, pri každom náraze pôsobia na dosku väčšou silou ako pomalé molekuly zhora. Počet nárazov zhora i zdola je pritom rovnaký (teplota okolitého vzduchu i jeho hustota sú nad i pod doskou rovnaké). Preto je sila zdola väčšia nielen pri jednom náraze, ale aj pri súčte všetkých nárazov za zvolený časová interval. Prevaha síl smeruje nahor proti tiaži a Janov výmysel je teda skutočne nadľahčovaný!

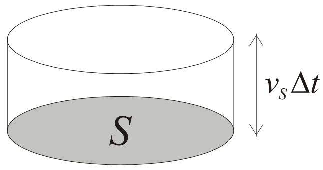
Už neostáva nič iné len odhadnúť veľkosť výslednice pôsobiacich síl. Na to si však situáciu trochu zjednodušíme (presne tak ako v tretiackej učebnici fyziky…). Vieme, že vzduch je vlastne množstvo molekúl pobiehajúcich rôznymi smermi a rôznymi rýchlosťami (bezhlavo sa pritom zrážajú). Isté je iba to, že ak by sme odchytávali molekuly a počítali ich priemernú kinetickú energiu, tá by sa dala zapísať v tvare $E_K = mv_S^2 / 2$, kde rýchlosť v_S súvisí s teplotou vzťahom $v_S = \sqrt{3kT / m_0}$. V ňom k je Boltzmannova konštanta, m_0 hmotnosť jednej molekuly plynu a T naša stará známa teplota. Privrime teraz jedno oko a predpokladajme, že rýchlosť všetkých molekúl vzduchu je rovnaká (a teda určite rovná práve tejto v_S). Navyše si predstavme, že molekuly nelietajú všetkými možnými smermi, ale iba v smere osí x, y a z, ktoré máme orientované tak, že os z je kolmá na našu vodorovnú platňu. Zrejme v každom z týchto smerov lieta tretina všetkých molekúl vzduchu...

Do dosky narážajú iba molekuly lietajúce v smere osi z a to kolmo na jej povrch. Zdola naň dopadajú rýchlosťou v_S zodpovedajúcou teplote plynu $T_0 = 20°C$, odrážajú sa rýchlosťou zodpovedajúcou teplote dolného povrchu dosky $T_1 = 100°C$. Pri odraze teda molekuly zmenia veľkosť svojej rýchlosti, a jej smer na opačný. Preto zmena hybnosti jednej molekuly pri náraze je $\Delta p = m_0 v_S(100°C) + m_0 v_S(20°C)$. Po dosadení vzťahu pre v_S dostaneme

$$\Delta p = m_0\left(\sqrt{kT_1 / m_0} + \sqrt{kT_0 / m_0}\right).$$

Aká sila je výsledkom tohto? No predsa $F = \Delta p/\Delta t$. Skúmajme teda, aká bude celková zmena hybností molekúl za čas Δt. Za tento čas do dosky s plochou S narazia molekuly z objemu $Sv_S(20°C)\Delta t$. To preto, lebo tie čo sú od povrchu platne ďalej ako $v_S(T_0)\Delta t$, za čas Δt sa k nej rýchlosťou v_S nedostanú (pozri obrázok). No a ak označíme objemovú hustotu molekúl vzduchu n, potom je jasné, že počet nárazov N za daný čas bude

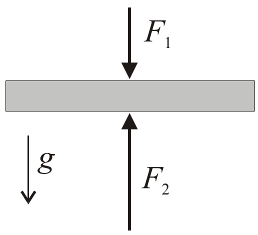
$$N = n\, S\, v_S(T_0)\, \Delta t / 6.$$



Faktor 1/6 je tam preto, lebo zo všetkých molekúl vo vypočítanom objeme iba 1/3 má rýchlosť v smere osi z a z nich iba polovica smeruje k doske. Iba tieto molekuly do nej za čas Δt skutočne narazia!

S pomocou posledných dvoch vzťahov máme celkovú zmenu hybnosti za nejaký čas Δt rovnú $N\Delta p$. Teraz vyjadríme silu F_1 pôsobiacu zdola dosadením tejto hodnoty do vzťahu $F = \Delta p/\Delta t$. Dostaneme tak

$$F_1 = \frac{N\Delta p}{\Delta t} = \frac{1}{6} nS\sqrt{kT_0 / m_0}\left(\sqrt{kT_1 / m_0} + \sqrt{kT_0 / m_0}\right)m_0 .$$



Vyjadrenie sily F_2 by bolo presne také isté, jediný rozdiel by vznikol zamenením T_2 za T_1. Výsledná sila N nadľahčujúca dosku je daná rozdielom proti sebe pôsobiacich F_1 a F_2, preto

$$N = F_1 - F_2 = \frac{1}{6} nSk\sqrt{T_0}\left(\sqrt{T_1} - \sqrt{T_2}\right).$$

Otázkou už ostáva iba hustota molekúl n vo vzduchu okolo platne, zrejme platí $n = N/V$. O hodnote N hovorí jasnou rečou stavová rovnica: $pV = NkT$. Preto $n = p/kT$, čo nám po dosadení do vzťahu pre nadľahčujúcu silu N dá konečný výsledok

$$N = \frac{pS}{6\sqrt{T_0}}\left(\sqrt{T_1} - \sqrt{T_2}\right).$$

Po číselnom dosadení zadaných hodnôt zistíme, že „lietajúcu dosku“ nadnáša sila veľkosti zhruba 2700 N. Ak nie je Janova hmotnosť väčšia ako 27 kíl (mínus hmotnosť dosky), doska lietajúci koberec nahradí. To by však Jano musel zrejme dosť schudnúť. Navyše, sú tu ďalšie problémy. Zahrievať povrchy platne na také rôzne teploty nie je ľahké a chce to dosť veľký dodávaný výkon. Navyše by Jano primŕzal k tomu studenému (0°C), čo by sa pravda dalo napraviť zmenou teplôt oboch povrchov. Poloha platne vznášajúcej sa vo vzduchu je nestabilná – jej malé naklonenia majú sklon sa zväčšovať a zhodiť Jana dole.

No a ešte je tu istý nedostatok vo fyzikálnej stránke riešenia. Konkrétne ide o predpoklad, že ak molekula s teplotou T_0 narazí na povrch teploty T_1, odrazí sa takou rýchlosťou, ktorá už zodpovedá teplote T_1. No a to asi nie je úplná pravda, ona sa k tej rýchlosti iba priblíži a dosiahla by ju (približne) až po niekoľkých ďalších nárazoch. Veď si spomeňte ako vetráte v zime. Otvoríte okno dokorán a vzduch okolo sa rýchlo ochladí. Stačí chvíľka. Steny však majú omnoho vyššiu tepelnú kapacitu a teplotu si nejaký čas udržia. Preto si môžeme predstaviť, že po zavretí okna máme studený vzduch zavretý v miestnosti s teplými stenami. Ak by sa molekuly pri dopade na ne „ohrievali" okamžite, vzduch v miestnosti by sa ohrial zhruba tak rýchlo, ako rýchlo by stihli všetky molekuly dopadnúť na steny. No a pri ich rýchlostiach rádovo stovky metrov za sekundu im to v bežnej panelákovej izbe netrvá veľmi dlho. Nuž a to je v rozpore s našimi pozorovaniami – vzduch sa v izbe neohrieva okamžite, ale mu to hodnú chvíľku trvá. Pri tejto úvahe nehľadíme na vzájomné zrážky molekúl, ktoré situáciu určite ovplyvnia, no niečo pravdy na týchto riadkoch určite je. Takže zhrnutie: našu nie veľkú nadľahčujúcu silu sme výpočtom určite precenili.

A – 2.3 A predsa sa točia! (opravoval Tomáš)

Možno ste už videli, ako sa v magnetofóne prehráva kazeta. Otáčaním tých malých koliesok sa páska posúva z jednej "strany" kazety na druhú. Na základe experimentu rozhodnite, či pritom zostáva konštantná uhlová rýchlosť otáčania sa tých malých koliesok, rýchlosť posuvu pásky, alebo prípadne ani jedna z týchto veličín.

Ahoj deti. Páska v magneťáku sa, ako ste skoro všetci napísali, pohybuje konštantnou posuvnou rýchlosťou. Môžeme sa o tom presvedčiť experimentom: budeme merať priemer kotúča, na ktorý sa páska navíja a jeho periódu. Z týchto údajov dostaneme posuvnú rýchlosť pásky. Ak máme kotúč s priemerom d milimetrov a tento za minútu spraví n otáčok, znamená to, že posuvná rýchlosť pásky je $dn\pi/600$ cm/s. Môžeme teda merať:

priemer [mm]	otáčky [min^{-1}]	rýchlosť pásky [cm/s]
44	18	4,1
42	21	4,6
32	28	4,7
22	39	4,5

Z tabuľky je vidieť že posuvná rýchlosť pásky je naozaj približne rovnaká. Isté odchýlky tu sú, no ak uznáme, že je ťažko zmerať polomer kotúča s presnosťou väčšou ako 1 mm a počet otáčok presnejšie ako o 1, máme chybu merania asi 0,4 cm/s.

Iný, ešte jednoduchší experiment sa dá spraviť napríklad tak ako ho spravil Tomáš Dzetkulič: Pásku previnutú úplne na jeden kotúč nechal najprv určitý čas hrať a potom meral, koľko bude hrať opačná strana až po koniec pásky, pričom tieto dva časy porovnával. Nakoľko tieto časy boli rovnaké, vyplýva z toho, že posuvná rýchlosť pásky je konštantná. Aby bol tento experiment presvedčivý, treba ho zopakovať pre niekoľko rôznych časov.

Najvyšší čas povedať si niečo o konštrukcii magneťákov a walkmanov. Ako sa zabezpečí, aby posuvná rýchlosť pásky bola konštantná? Walkman má v sebe dva kotúče, pričom vždy sa točí iba ten, na ktorú stranu sa páska namotáva. Okrem týchto dvoch kotúčov má walkman v sebe aj dva valčeky, ktoré pri stlačení PLAY dosadnú na pásku, zovrú ju medzi ďalšie dva gumené valčeky a svojím rovnomerným otáčaním zabezpečujú konštantnú rýchlosť pásky. Otáčanie kotúča, na ktorý sa páska namotáva má za úlohu pásku iba dopínať. Na niektorých walkmanoch môžete počuť záznam zrýchlene vtedy, keď tlačidlo PLAY úplne nedotlačíte a stane sa teda to, že hlava síce dosadne na pásku, ale valčeky nezovrú pásku pevne medzi seba.

Úloha bola ľahká a zvládli ste ju v podstate dobre, akurát u niektorých mi chýbalo vysvetlenie pozorovaných javov. Len tak na okraj – keď sme už merali rýchlosť pásky, môžeme zrátať, že v 90 minútovej kazete je až 120 m pásky, hrúbka pásky je iba 0,01 mm. Dobré, nie ? :–)

A – 2.4 Počítanie v daždi (opravoval Roman)

Poznáte to: raz, dva, tri a zrazu ste mokrí a zázrační, pretože dážď je úžasná vec. Kvapky padajú a trieštia sa a po tvárach vám stekajú pramienky vody. Dažďová inšpirácia; a tá nie je len tak zadarmo… Skúste odhadnúť minimálnu veľkosť kvapky, aby sa pri dopade z mrakov roztrieštila na menšie.

Tak teda skúsme odhadnúť veľkosť nestabilnej rozpadajúcej sa dažďovej kvapky (ďalej už len kvapky) pri dopade na tvrdú Zem.

Vyvstáva nám otázka, aká fyzika je skrytá za rozpadom kvapky. Naša kvapka padá na Zem (odhliadnuc od nepravidelností spôsobených prúdením vzduchu) viac–menej ustálenou rýchlosťou *v*. Rýchlosť *v* môžeme považovať za ustálenú, lebo kvapka padá zo značných výšin, vo väčšine prípadov viac ako 500 m. Veľkosť rýchlosti *v* môžeme určiť z podmienky rovnováhy síl pôsobiacich na teleso pohybujúce sa ustálenou rýchlosťou.

Na kvapku pôsobia gravitačná sila $F_G = mg$, vztlaková sila: $F_V = V\rho_A g$ a sila pôsobiaca na teleso pohybujúce sa v prostredí s odporom – F_O. Hmotnosť kvapky je $m = 4/3\ \pi\rho r^3$, V jej objem, ρ_A hustota vzduchu.

Vztlakovú silu môžeme oproti ostatným silám zanedbať. Ostáva nám potom iba rovnováha medzi silou gravitačnou, ktorá ťahá kvapku k Zemi a silou odporovou, ktorá kvapku brzdí:

$$mg = F_O.$$

Tu vyvstáva ďalšia otázka, čože je tá odporová sila zač? Známe odporové sily Stokesova a Newtonova vyzerajú trochu podobne ale predsa len... (keby boli rovnaké, sila by sa asi volala Newton – Stokesova :). Stokesov vzťah platí pre pohyb gule malými rýchlosťami, alebo lepšie povedané, pri laminárnom obtekaní telesa viskóznym prostredím.

$$F_{OS} = 6\pi\eta rv,$$

η je dynamická viskozita prostredia, r polomer gule a v jej rýchlosť.

Newtonov vzťah platí skôr pre pohyb väčšími rýchlosťami alebo taký pohyb, pri ktorom pri obtekaní kvapky vzduchom vzniká turbulencia.

$$F_{ON} = \frac{1}{2} C\rho S v^2,$$

C je koeficient odporu telesa pre daný tvar, S je prierez telesa kolmý na smer jeho pohybu, ρ je hustota prostredia a v rýchlosť telesa.

Ergo, ktorá sila je vhodná pre náš prípad? Skúsení ľudia vedia, že charakter pádu kvapky vo vzduchu je zložitá záležitosť :) Preto som si urobil tabuľku, v ktorej sú vypočítané ustálené rýchlosti pádu kvapky pre laminárne (Stokes) a turbulentné (Newton) prúdenie. Pre zasvätených – okrem toho som si vypočítal hodnotu Reynoldsovho čísla (Re), ktoré hovorí o turbulentnosti pohybu telesa. Čím je väčšie, tým je pohyb turbulentnejší, pričom názory na kritickú hodnotu Re, pri ktorom začínajú turbulencie, sa veľmi rôznia (od 200 do 2000).

r [mm]	v_L [m/s]	v_T [m/s]	Re_L	Re_T
0,1	1,3	2,1	18,1	20,8
0,2	2,9	2,6	61,1	38,3
0,2	6,5	3,1	206	70,4
0,3	14,6	3,8	696	130
0,5	32,9	4,7	2350	237
0,8	73,9	5,8	8.10^3	436
1,1	16.10^1	7,0	3.10^4	801
1,7	37.10^1	8,6	9.10^4	1470
2,6	84.10^1	10,6	3.10^5	2700
3,8	19.10^2	12,9	1.10^6	4970

Z tabuľky sa dá usúdiť, že pre rozumne veľké kvapky ($r > 1$ mm) platí Newtonov vzťah (Stokes dáva v tomto prípade rýchlosť kvapiek, ktorú by málokto uvítal). Teraz už teda poznáme rýchlosť dopadajúcej kvapky

$$v = \sqrt{\frac{8}{3} \frac{\rho_d}{\rho_a} \frac{g}{C} r},$$

kde ρ_d je hustota kvapky a ρ_a hustota vzduchu.

Pri dopade sa s kvapkou dejú veľké veci. Deformuje sa, zohrieva sa, triešti sa na menšie kvapky, pričom súčet povrchov menších kvapiek je väčší ako povrch pôvodnej. Všetky tieto procesy uberajú kvapke z jej pôvodnej kinetickej energie. Pokiaľ nás zaujíma minimálna veľkosť kvapky taká, aby sa rozpadla na menšie kvapky, mali by sme sa zaoberať vzrastom povrchovej energie E_S

$$\Delta E_S = \sigma \Delta S$$

pri jej rozpade (σ je povrchové napätie). Pre jednoduchosť zoberme prípad, že sa kvapka rozpadne na dve rovnako veľké kvapky s polomermi r_1. Pre objemy, polomery a zmenu povrchu kvapiek môžeme napísať:

$$V = kr^3 = 2kr_1^3, \qquad r = 2^{1/3}\, r_1, \qquad \Delta S = 4\pi\,(2r_1^2 - r^2),$$

z čoho pre zmenu povrchovej energie vyplýva

$$\Delta E_S = \sigma\, 4\pi r^2\, (2^{1/3} - 1) \cong 0{,}26\, \sigma\, 4\pi r^2.$$

Predpokladajme že z pôvodnej kinetickej energie kvapky $mv^2/2$ sa využije na zväčšenie povrchu kvapky časť x. Potom pre polomer kvapky „rozpadnuvšej sa“ na polovicu platí

$$r = \frac{3}{2}\sqrt{0{,}26\frac{\sigma}{x}\frac{\rho_a}{\rho_d^{\,2}}\frac{C}{g}}.$$

Pre konkrétne hodnoty $\sigma = 73.10^{-3}$ N/m; $\rho_a = 1{,}2$ kg/m^3; $\rho_d = 1000$ kg/m^3; $C = 0{,}5$ a pri odhade $x = 0{,}5$ (*) dostaneme

$$r = 0{,}07 \text{ mm.} \qquad (**)$$

(*) Prečo $x = 0{,}5$? Lebo nie celá energia sa spotrebuje na zväčšenie povrchu a ťažko odhadnúť, koľko je to naozaj.

(**) Čo nám hovorí výsledok 0,07 mm? Nie to trochu málo?... Buď sa aj tie najmenšie kvapôčky trieštia pri dopade na Zem, alebo čosi nie je v poriadku s odhadom. Vzhľadom na jednoduchosť modelu trieštenia kvapky a malé množstvo zanedbaní vidím najväčšiu citlivosť výsledku práve vo faktore x ktorý nie je určený fyzikálnou cestou. Predpokladám, že faktor x je v skutočnosti o dosť menší, čo povedie k reálnejšiemu odhadu r.

FYZIKÁLNY KOREŠPONDENČNÝ SEMINÁR

výsledková listina A – kategórie po 2. sérii letného semestra 17. ročníka

	Priezvisko	Meno	Trieda	Škola	①	A-2.1	A-2.2	A-2.3	A-2.4	☠	Σ
1.	Dzetkulič	Tomáš	4 A	G PH Michalovce	18,5	4,5	4,5	5,0	5,0	-1	36,50
2.	Smrek	Ján	se. N	1SG BA Čapkova	12,5	4,5	2,0	4,0	5,0	-1	28,03
3.	Galovič	Marián	3 B	G Kurzw.–Eisenstadt	12,4	–	1,5	4,0	4,0	-1	22,44
4.	Skopalová	Eva	4 A	G Poprad Popr. nábr.	15,5	–	–	–	5,0	-1	19,50
5.	Pitňa	Alexander	se. B	OG Štúrovo	11,5	1,5	0,5	4,0	–		18,76
6.	Rybár	Jozef	se. B	G BA sv. Uršule	7,8	1,5	3,0	4,0	1,0	-2	16,81
7.	Chudý	Michal	4 B	G AV Levice	10,5	3,5	2,5	0,5	–	-1	16,00
8.	Kálnai	Peter	4 A	G Levice	7,5	3,5	3,0	0,5	–	-1	13,50
9.	Osuský	Andrej	4 B	G BA J. Hronca	10,5	–	–	–	–		10,50
10.	Rjaško	Michal	se.	G Vranov nad Topľou	9,4	–	–	–	–		9,44
11.	Sütőová	Helena	se.	OG Štúrovo	5,5	–	–	–	–		5,49
12.	Adamec	Michal	3 B	G BA J. Hronca	0,0	–	0,5	2,5	0,5		3,50
13.	Mazánová	Silvia	se.	OG Štúrovo	3,4	–	–	–	–		3,37
14.	Stribula	Tomáš Timotej	4 B	G AV Levice	1,5	–	–	–	–		1,50
15.	Závodný	Jakub	sx.	G BA Grösslingova	0,6	–	–	–	–		0,65