

## 16. Úloha

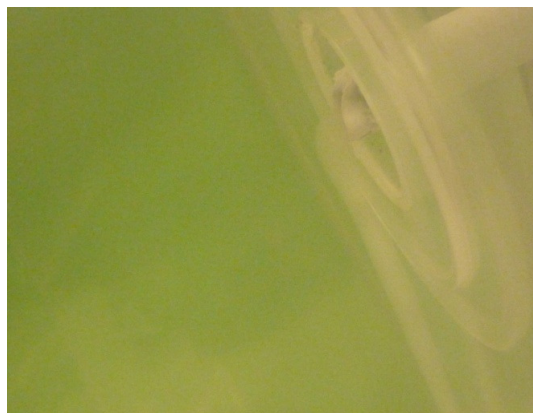
### I. Zadání

#### Smoke stream

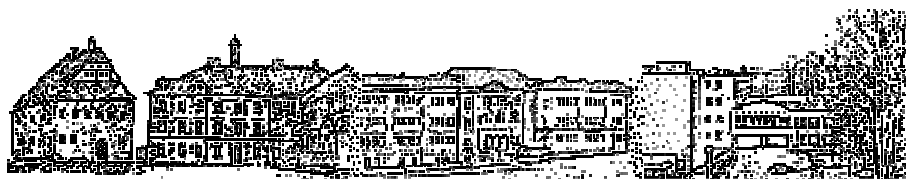
A glass jar is covered with cellophane. A tightly folded paper tube of length 4-5 cm is inserted hermetically into the jar through the cellophane cover. The tube is oriented horizontally. If one burns the outside end of the tube the dense smoke flows into the jar. Explore this phenomenon.

### II. Úvod

Zadání slibovalo velice zajímavý fenomén, a proto jsme začali nejprve s experimenty. Pozorovali jsme hustý kouř, který laminárně vtékal do nádoby, usazoval se na jejím dně a vytvářel dokonalou hladinu, jejíž rozhraní se dalo celkem dobře pozorovat. Kouř nepadal rozptýleně, jak je to pozorovatelné třeba u cigaret, ale jeho proud byl kompaktní a snadno rozlišitelný, jak můžete vidět zde:



Zajímavé bylo, že kouř začal vtékat až od určité délky spáleného papíru. Níže se tedy pokusíme vysvětlit, proč kouř do nádoby vůbec vtéká, proč tak „hezky“ a proč až od určité délky vypálené trubičky.

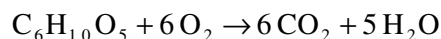


### III. Teorie

Kouř nemá napohled žádný důvod vtékat do nádoby. Je horký, hoří vně nádoby, měl by tedy stoupat nahoru. Co ho tedy nutí se pohybovat jiným směrem než má? Jediným rozumným vysvětlením se zde ukazuje pouze rozdíl tlaků mezi nádobou a okolím, kouř je tudíž nasáván dovnitř - jedná se tedy o podtlak. Co ho ale způsobilo? Jelikož okolo neprobíhají žádné jiné děje vyjma hoření, musí ho tedy způsobovat tento proces. To by také zároveň vysvětlovalo, proč se kouř začne nasávat až od určité délky (respektive doby hoření) - musí vzniknout dostatečný podtlak. Musí se v tom případě spotřebovat určité množství vzduchu v nádobě. Protože toto množství je konstantní, bude rychlost vytvořeného podtlaku záviset na poměru:

$$\frac{V_{\text{spotřebovaný}}}{V_{\text{počáteční}}}$$

Čím menší bude nádoba, tím rychleji vznikne podtlak a tím dříve se začne kouř nasávat. Bude potřeba znát rychlost spalování, aby se dala odhadnout spotřeba kyslíku v nádobě. Kouř musí také překonat protisílu táhnoucí ho nahoru a bylo by také dobré kvantifikovat rychlost nasávaného kouře. Problém je, že se vzduch konverguje jak z nádoby, tak z okolí, a je obtížné zjistit, v jakém poměru tato množství jsou. Ve výpočtech budeme vycházet z rovnice spalování papíru, který pokládáme za celulózu:



ze které lze odhadnout, pro jaké množství spotřebovaného vzduchu odpovídá určité množství spáleného papíru. Změřili jsme, že se ruličky o průměru 7,5mm (papír o rozměrech 10,5x15cm) spálí za 1 minutu 0,5 cm papíru. Tomu při jeho hustotě 80g/m<sup>2</sup> odpovídá hmotnost 0,06g  $\approx 3,703 \cdot 10^{-4}$  mol. Tudíž se s ním spálí  $4,44 \cdot 10^{-3}$  mol/min kyslíku  $\approx 0,1\text{dm}^3/\text{min}$  kyslíku. Nevíme ale, kolik se spotřebuje z nádoby. Prvotní představa je, že se bude vycházet z Boyle-Mariottova zákona:

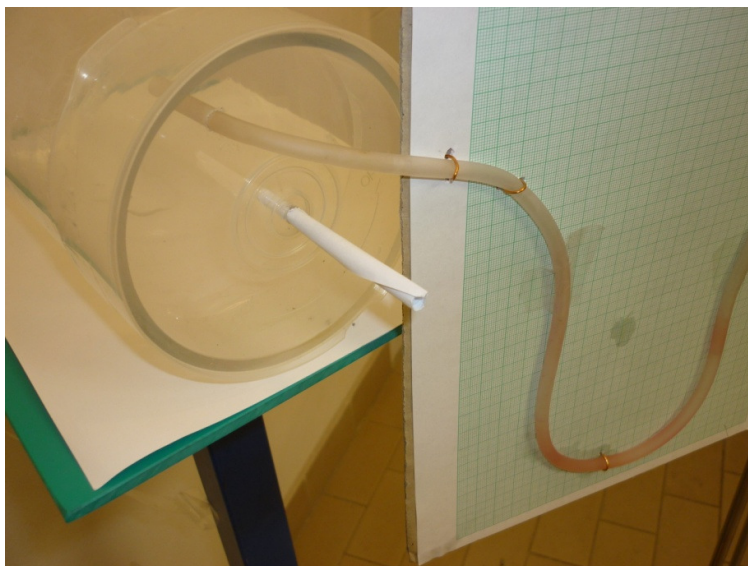
$$pV = \text{konst}$$

takže budeme moci ze změny objemu určit změnu tlaku.

V úvodu jsme také uváděli, že kouř padal dolů laminárně, téměř jako kapalina. Vysvětlením může být ochlazení kouře při průchodu trubičkou.

## IV. Experimenty

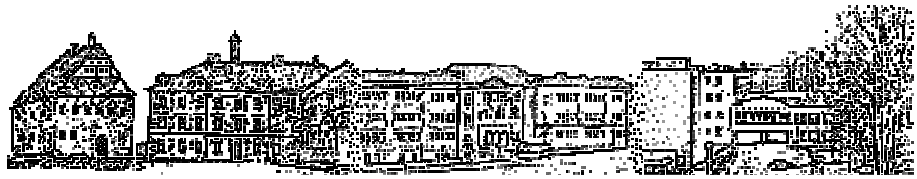
Prvotní experimenty jsme uvedli již v úvodu. Aparaturu můžete vidět zde:



Nyní jsme prozkoumávali vliv objemu nádoby a další parametrů. Regulovat teplotu plamene a pozorovat jeho vliv by bylo nesmírně zajímavé, avšak u různých druhů papírů velké odlišnosti v tomto parametru nejsou. Ale co ovlivňovaly druhy papírů, bylo to, jestli vůbec k nasávání došlo - některé shořely ve velmi krátkém čase a vtékání kouře jsme nepozorovali. Vliv celofánu na efekt jsme nezaznamenali. Pro zjištění změny tlaku jsme použili jednoduchý manometr, který nám ale bohužel nic neukázal. Zkoušeli jsme prozkoumat, zde bude kouř druhým koncem vytékat, i když trubička nebude v nádobě. Překvapivě jsme zjistili, že ano.

### Porovnání

Experimenty vesměs nepotvrdily ani nevyvrátily naši teorii o tlakovém gradientu. Zjištění, že kouř vytéká druhým koncem i bez podtlaku nepotvrdila zcela naši teorii. Bylo by také vhodné mít co nejúžší hadičku manometru, protože i přes vzniklý podtlak nebude schopna tlaková síla vodní sloupec dostatečně zvednout, proto se může v měření tlaku vyskytnout větší odchylka. Kouř, který vytékal z volně hořící trubičky, mířil nahoru, nestihl se tedy při průchodu trubičkou ochladit. Naše teorie o ochlazování je tedy špatná.



20.9.2012

## V. Závěr

Úloha se zdála na pohled jednoduchá, avšak během řešení se objevilo ještě mnoho neočekávaných parametrů, které měly na jev vliv. Můžeme třeba ještě zjistit, jestli rychlost padání kouře odpovídá volnému pádu, nebo jestli se už jedná o nasávání.