



Středoškolská technika 2013

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

STUDIE MEDOVÝCH SMYČEK

Anh Ngo Ngoc (Anička)

Gymnázium Cheb
Nerudova 7, Cheb

Anotace

Tato studie byla využita při práci na úlohách jedné z nejnáročnějších středoškolských soutěží – Turnaje mladých fyziků a při soutěži Němčina pro bystré hlavy, kde se s ní její autorka probojovala až do celostátního finále mezi 7 nejlepších. Cílem této práce bylo vysvětlit a popsat, proč se med či jiná kapalina s podobnými parametry stáčí při volném pádu do smyček.

Úvod do problematiky

Zadání (převzato z oficiálních stránek Turnaje): „A thin, downward flow of viscous liquid, such as honey, often turns itself into circular coils. Study and explain this phenomenon.“

Naším úkolem je prozkoumat jev, který vzniká, pokud med či jiná viskózní kapalina stéká volným pádem na libovolný vodorovný hladký povrch. Tato úloha je ryze experimentální, všechny výsledky získané z experimentálních pozorování jsou pouze kvalitativní. V našem řešení se budeme zabývat pozorováním daného jevu a jeho důkladnou analýzou, která bude kombinovat teoretické i experimentální poznatky. V našem řešení samozřejmě nechybí matematizace, která je nezbytnou součástí řešení této úlohy.

Analýza problému

Každá vědecká práce pro mě začíná analýzou problému a již dostupné literatury. Tyto nabyté poznatky mohou následně zúročit v teoretické a potažmo experimentální části studie. Při analýze vycházím ze zadání, které se snažím rozebrat do nejmenšího detailu.

Nyní začneme s pojmem „thin flow“, který značí tenký pramínek dané kapaliny, který stéká volným pádem na libovolný vodorovný povrch. Naším úkolem bude teoreticky i experimentálně stanovit hodnoty, za kterých bude efekt, který jsme si nazvali „smyčkové stáčení“, pozorovatelný.

Dalším pojmem je „viscous liquid“ neboli viskózní kapalina. Dalším z našich cílů by totiž měla být definice viskózní kapaliny a opět teoretické i experimentální stanovení viskozity, kterou vyžaduje tento efekt. Měli bychom si také položit otázku, zda je možné tohoto efektu docílit pouze s medem, či lze využít rozličné viskózní kapaliny.

Posledním pro nás důležitým bodem je „circular coils“, v překladu smyčky. V naší vědecké práci bychom se měli snažit je definovat a zjistit, proč se med stáčí zrovna do smyček.

Historické pozadí výzkumu aneb co již bylo řečeno před naší prací

Problematika viskózních výstřiků, pramínek kapalin nebo tekutých provazů je studována již několik desetiletí experimentálně, analyticky i numericky. V roce 1957 byla publikována první práce na toto téma v American Journal of Physics, autory byli George Barnes a Richard Woodcock. Toto první formální zkoumání bylo pojmenováno „The Liquid Rope-Coil Effect“ a zmiňovalo podobnosti mezi efektem smyčkového stáčení a stáčení provazu, který pustíme z výšky na podlahu. Barnes a MacKenzie porovnávali výšku pádu proti frekvenci smyčkového

stáčení a do své práce publikované v roce 1958 přidali i povrchové napětí. Úplně první průzkumy byly čistě experimentální.

V roce 1968 provedl G. I. Taylor první teoretický výzkum smyčkového stáčení viskózních kapalin a navrhl formálněji než Barnes a Woodcock, že nestabilita způsobující deformaci se podobá deformaci stlačeného provazu. Problém byl odložen stranou po několik dekád - problém byl zřetelně komplexní a nutné numerické nástroje pro zkoumání ještě neexistovaly.

O dvacet let později se Cruikshank v roce 1988 a Tchavdarov et al. v roce 1993 vrátili k tématu z teoretické stránky, použili lineární analýzu stability a byli schopni stanovit výšku pádu a frekvenci pro začátek smyčkového stáčení. V roce 1996 napsali L. Mahadevan a J. Keller na univerzitě ve Stanfordu a Illinois práci na téma stáčení pružných provazů, která určila stupeň oživení výzkumu smyčkového stáčení. Mahadevan a Keller brali na zřetel gravitaci, ztuhlost, rychlost a výšku pádu provazu. Vyřešili také výsledný nelineární systém rovnic pomocí numerické metody zvané pokračování řešení, později využitý ke kritickému dokazování smyčkového stáčení.

V roce 1998 publikovali Mahadevan, Ryu a Samuel krátký článek v Nature, kde předpověděli změny frekvence, při kterých se tekutina bude stáčet. Tyto změny závisí na vyvážení viskózní, setrvačné a gravitační síly. V této práci byly popsány také nějaké experimentální výsledky se silikonovým olejem, které nepřímo potvrdily jejich předpovědi. O dva roky později byly publikovány další opravy a vylepšení k rovnicím z článku uveřejněného v časopisu Nature.

V roce 2004 byla publikována první více obsáhlá studie stáčení viskózních kapalin na pevném povrchu, jejímž autorem je Neil M. Ribe. Ve své práci „Coiling of Viscous Jets“ analyzuje fyzikální systém, aby získal systém diferenciálních rovnic, které mohou být numericky řešeny (s využitím stejných metod, které používal Mahadevan pro elastický provaz) a využity k předpovědi frekvence smyčkového stáčení, jež má „vlákno kapaliny“ v závislosti na jeho průměru, objemovém průtoku, výšce pádu a viskozitě. Jeho model předpovídá tři režimy: gravitační (stejný jako u javorového sirupu padajícího na palačinky), setrvačnostní (pozorovatelný, pokud lijeme sirup ve stoje) a viskózní (pozorovatelné u zubní pasty, která je vytlačována na zubní kartáček). Numerické metody nabízí grafické simulace každého režimu, ale jeden z hlavních aspektů této studie, změna průměru a frekvence, může být získán bez použití počítače [8].

Maleki et al. (2004), Ribe et al. (2006) a Habibi et al. (2006) využívali při experimentálním pozorování dvou experimentálních soustav tak, aby mohli pozorovat pokud možno co největší možný rozsah výšek pádu a frekvencí. V první soustavě, která byla vytvořena pro vyšší frekvence, kapalina odkapávala skrze díru v nádobě, která byla udržována v konstantní výšce. Ve druhé soustavě stékala kapalina stabilním objemovým průtokem Q z injekční stříkačky, která byla poháněna šlapacím motorem. To dovolovalo dosáhnout velmi nízkých hodnot výšky pádu a frekvence [1].

Základní fyzikální principy

Při volném pádu viskózní kapaliny dochází ke zrychlování proudu, které je způsobeno gravitačním zrychlením. Gravitační zrychlení způsobuje zužování daného proudu. Jakmile dojde ke styku s libovolným vodorovným povrchem, proud se zpomalí a jeho průměr vzroste.

Síla v proudu postupuje výš, proud se tedy ohne v nejužším místě a vznikne efekt smyčkového stáčení. Jedná se o zvláštní typ pružné srážky, která s časem zaniká.

V minulém odstavci jsem zmínila síly. O jaké síly jde? Protože se jedná o volný pád, existuje zde gravitační síla. Protože se jedná o viskózní kapalinu, působí v ní viskózní síla. Dále se zde nachází síla dostředivá, která je výslednicí síly gravitační a viskózní a také síla setrvačností, která má za následek souvislý efekt smyčkového stáčení.

Co chceme řešit experimentálně?

Protože by naše práce neměla být založena pouze na teorii, potřebujeme vědět, co bude cílem našich experimentálních pozorování tak, aby bylo naplněno zadání, které nám ukládá popsat efekt smyčkového stáčení.

Experimentálně bychom chtěli prozkoumat vliv výšky, ze které kapalina padá volným pádem na vodorovný povrch, vliv průměru stékajícího proudu a vliv viskozity.

Nechceme úlohu řešit matematicky, byť matematizace problematiky existuje. Chtěli bychom se zaměřit zejména na experimenty a na důkladné porozumění dané problematice, případně jejímu dalšímu možnému využití pro vědu a výzkum.

Experimentální bádání

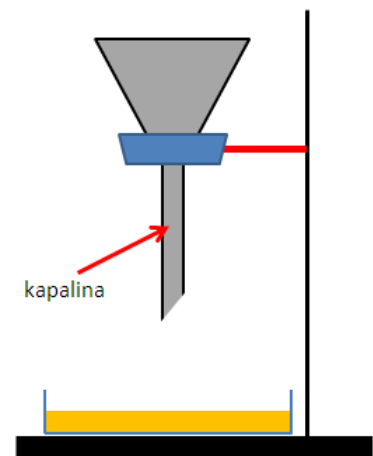
V našich experimentálních bádáních jsme pracovali s modelem, který můžete vidět na obrázku. Trychtýř jsme vybrali proto, aby bylo splněno kritérium volného pádu. Dalším modelem pak byla práce s tyčí, kterou jsme vkládali do nádoby s viskózní kapalinou.

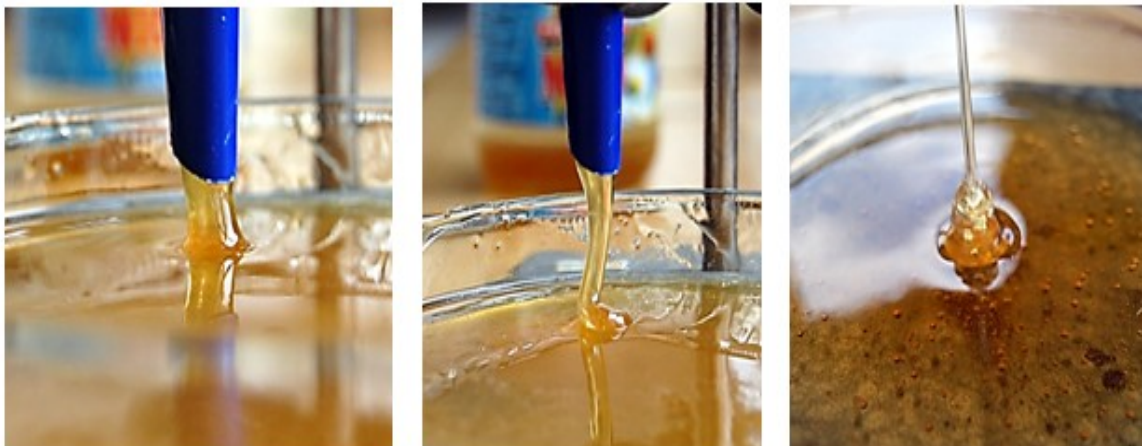
V našich experimentálních observacích jsme se důkladně zabývali analýzou volného pádu všech viskózních kapalin, které jsme využili. U všech kapalin jsme změřili hustotu, viskozitu a povrchové napětí - tyto parametry považujeme za klíčové a podle našich teoretických úsudků mají vliv na průběh efektu.

I když se v zadání mluví o medu, rozhodli jsme se využít v našich experimentech i jiné viskózní kapaliny, abychom byli schopni definovat minimální hodnotu viskozity, kterou musí použítá kapalina mít, abychom mohli daný jev pozorovat. Rozhodli jsme se využít běžně dostupné viskózní kapaliny - šampon na vlasy, sprchový gel, pěnu do koupele, slunečnicový olej a med. Chceme demonstrovat, že s pozorovaným jevem se může každý setkat v běžném životě a že se nejedná o čistě vědeckou záležitost.

Nejprve jsme zkoumali vliv počáteční výšky. Došli jsme k závěru, že s rostoucí výškou klesá průměr proudu, což znamená větší rychlost a větší výšku, které dosáhnou smyčky před svým zánikem.

Dále jsme zkoumali vliv průměru proudu. Zjistili jsme, že se vzrůstajícím průměrem proudu stoupá také velikost smyček, naopak klesá výška, kterou smyčky dosáhnou.





PS – To, že v textu není daná literatura citována, neznamená, že jsme ji nevyužili. Tento seznam obsahuje veškerou literaturu, kterou jsme využívali po celou dobu práce na problému a je možné, že jsme časem usoudili, že daný zdroj není nutné využít. Uvádíme ji zde jen jako orientační přehled toho, co lze během studia této problematiky využít.

Použitá literatura

- [1] RIBE, N. M., HABIBI, M., BONN, D. The Cook's Instability: Coiling of a Thread of Honey. In 18ème Congrès Français de Mécanique. Grenoble, 27-31 août 2007.
- [2] MAHADEVAN, L., William S. RYU a Aravinthan D. T. SAMUEL. Fluid 'rope trick' investigated. Nature. 1998, Vol 392. Dostupné z: <http://www.deas.harvard.edu/softmat/downloads/pre2000-11.pdf>
- [3] BATTY, Ch., BRIDSON, R. Accurate Viscous Free Surfaces for Buckling, Coiling, and Rotating Liquids. In Eurographics/ ACM SIGGRAPH Symposium on Computer Animation. 2008.
- [4] RIBE, N. M., HUPPERT, H. E., HALLWORTH, M. A., HABIBI, M., BONN, D. Multiple coexisting states of liquid rope coiling. In J. Fluid. Mech. Vol. 555, p. 275-297. Cambridge University Press. 2006.
- [5] RIBE, Neil M. Coiling of viscous jets. Coiling of viscous jets [online]. 2004 [cit. 2012-12-20]. Dostupné z: <http://rspa.royalsocietypublishing.org/content/460/2051/3223.full.pdf>
- [6] KOŠKIN, N. J. a M. G. ŠIRKEVIČ. Základy fyziky. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1963, s. 48-49.
- [7] LEPIL, Oldřich. Malý lexikon fyziky. 1. vyd. Praha: Prometheus, 1995. ISBN 80-85849-77-1.
- [8] DUDLEY, Carmel. Viscous coiling [online]. [cit. 2013-02-25].