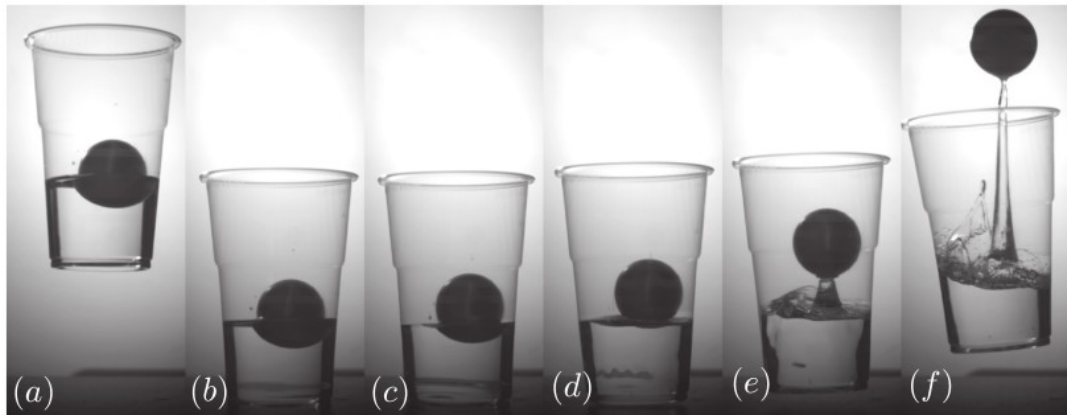


Pingpongová raketa

Pingpongový míček je umístěn v nádobě s vodou. Když nádobu upustíme, pingpongový míček vyskočí do velké výšky. Jak **nejvýše může míček vyskočit**, použijeme-li vodu o objemu do **dvou litrů**?



Triviální úvaha

- Zákon zachování energie
- Část potenciální energie se přemění na kinetickou energii míčku

- Problém
 - Není známo, jak velká část původní energie
 - Musí jít o malou část – předpovědi by byly obrovské
 - Nelze řešit ze zákona zachování energie
 - Otázka je, jaký je mechanismus přeměny kinetické energie dopadu.

Kde začít

Oficiální “reference kit”:

https://kit.ilyam.org/FDD_2024_IYPT_Reference_kit_IM.pdf

- B. Andreotti, W. Toutain, C. Noûs, S. El Rhandour-Essmaili, G. Pérignon-Hubert, and A. Daerr. The ping pong ball water cannon. [arXiv:2010.06713](https://arxiv.org/abs/2010.06713) [physics.ed-ph]
- A. Kiyama, Y. Tagawa, K. Ando, and M. Kameda. Effects of a water hammer and cavitation on jet formation in a test tube. *J. Fluid Mech.* 787, 224-236 (2016)
- TOP 41 amazing tricks and science experiments (youtube, Mr. Hacker, 26.07.2017), <https://youtu.be/mPOcFSHyd9o>
- A. Antkowiak, N. Bremond, S. Le Dizès, and E. Villermaux. Short-term dynamics of a density interface following an impact. *J. Fluid Mech.* 577, 241-250 (2007)
- M. Lavrentiev and B. Chabat. Effets Hydrodynamiques et modeles mathématiques (Mir, 1980)
- S. Gekle and J. M. Gordillo. Generation and breakup of Worthington jets after cavity collapse. Part 1. Jet formation. *J. Fluid Mech.* 663 293-330 (2010)
- В. В. Майер. Кумулятивный эффект в простых опытах. М.: Наука, 1989
- IPT 2020 Online edition: PF2, Cumulative cannon, Colombia vs Russia (youtube, International Physicists' Tournament, 10.05.2021), <https://youtu.be/4hJRDSrC58Q>
- International Physicists' Tournament 2020 Final Live Stream! (youtube, International Physicists' Tournament, 27.09.2020), <https://www.youtube.com/watch?v=5m0uE7vejZ0>
- IPT 2020 Online edition: PF3, Cumulative Cannon, USA vs India (youtube, International Physicists' Tournament, 09.01.2021), <https://youtu.be/sPc8y66KbGE>
- Cumulative Cannon (youtube, Projets Scientifiques en Équipe, 30.06.2020), <https://youtu.be/mnbN12XtbQE>

Kde začít

Oficiální “reference kit”:

https://kit.ilyam.org/FDD_2024_IYPT_Reference_kit_IM.pdf

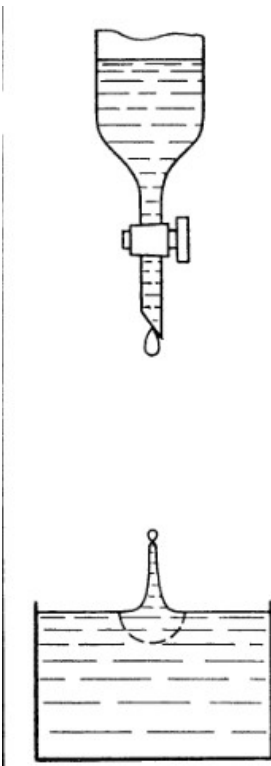
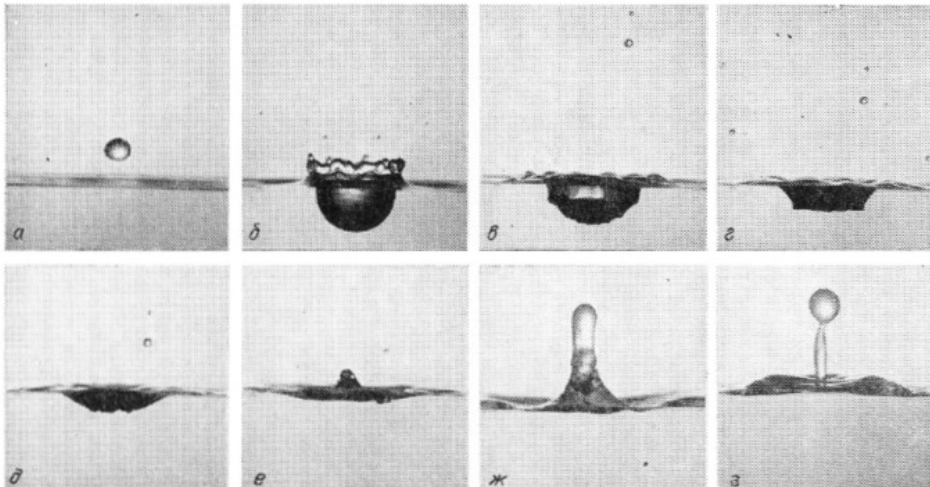
Poznámka k videím:

- Velmi podobná úloha byla řešena v roce 2020 v IPT
 - Videá obsahují různé teorie
 - Nenechte se příliš ovlivnit – místy řeší nepodstatné věci
 - Inspirace spíše z hlediska technických řešení

- Lépe vycházet z článků, které obsahují i poměrně přesná měření
 - Některá by bylo možno ověřit
 - Ideálně zkusit něco, co nebylo měřeno

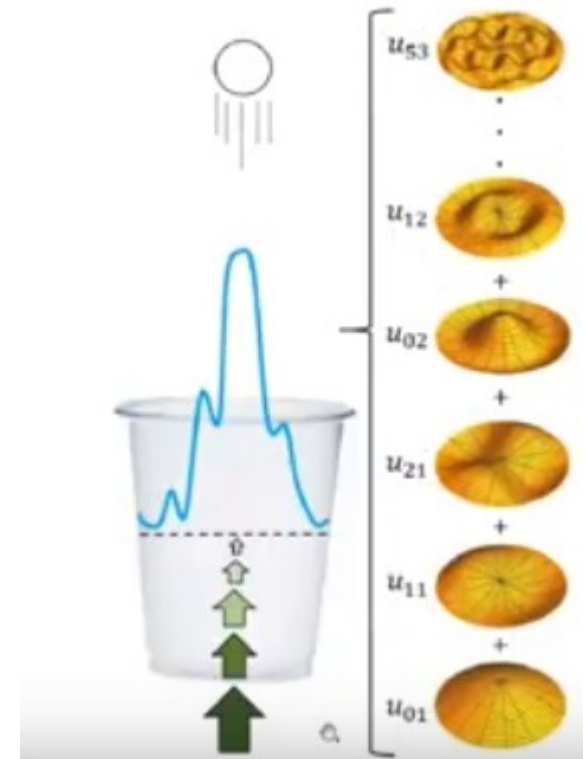
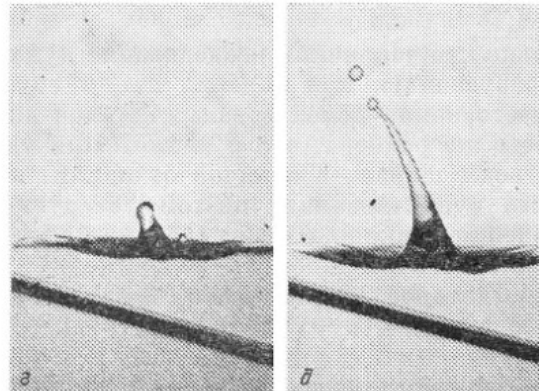
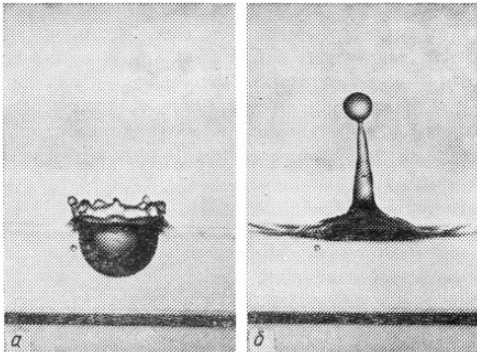
Základní pojmy?

- Tzv. kumulativní efekt
 - Přenesená energie se ve výsledku soustředí do výtrysku vody, který s sebou nese míček
- Zajímavé efekty jsou v referenci
 - В. В. Майер. Кумулятивный эффект в простых опытах. М.: Наука, 1989
 - Bohužel pouze Rusky



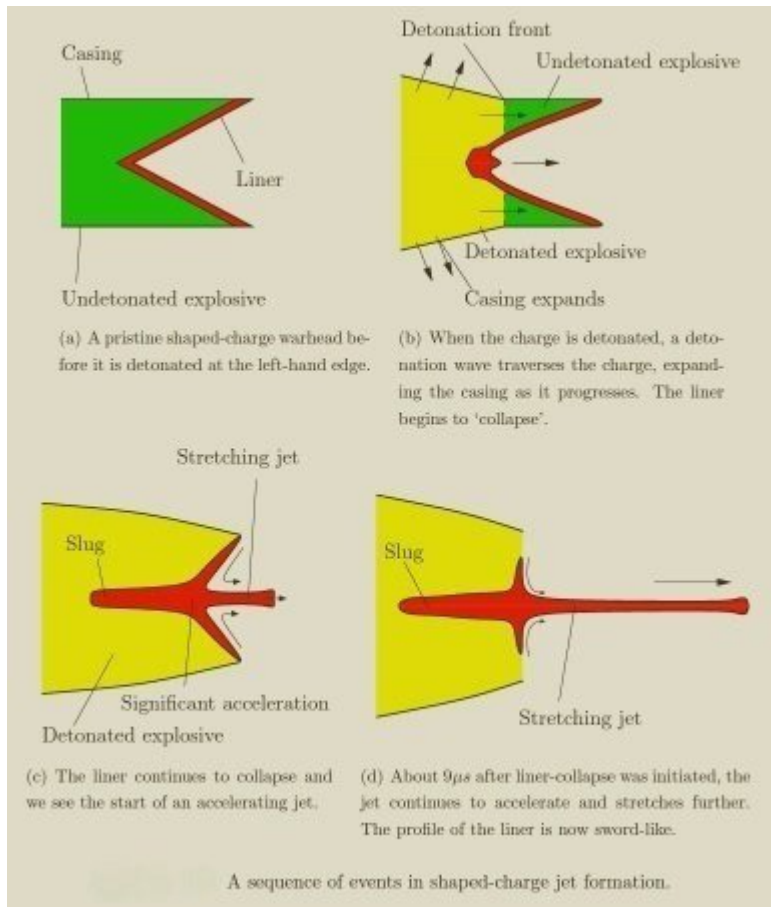
Možné efekty

- Úloha trochu připomíná pád kapky do vody
 - Interference vln
 - Tím je inspirováno i jedno řešení z videa
 - To ale nemusí být ten hlavní efekt
 - Relativně dlouhá časová škála (než se výtrsk vyvine)
- Důsledky:
 - Efekt může nastat jen ve středu nádoby
 - Čekal bych malou účinnost přenosu energie
 - Velmi specifická závislost na výšce hladiny
 - Asi velmi malá závislost na vlastnostech míčku
 - Viskozita bude důležitá

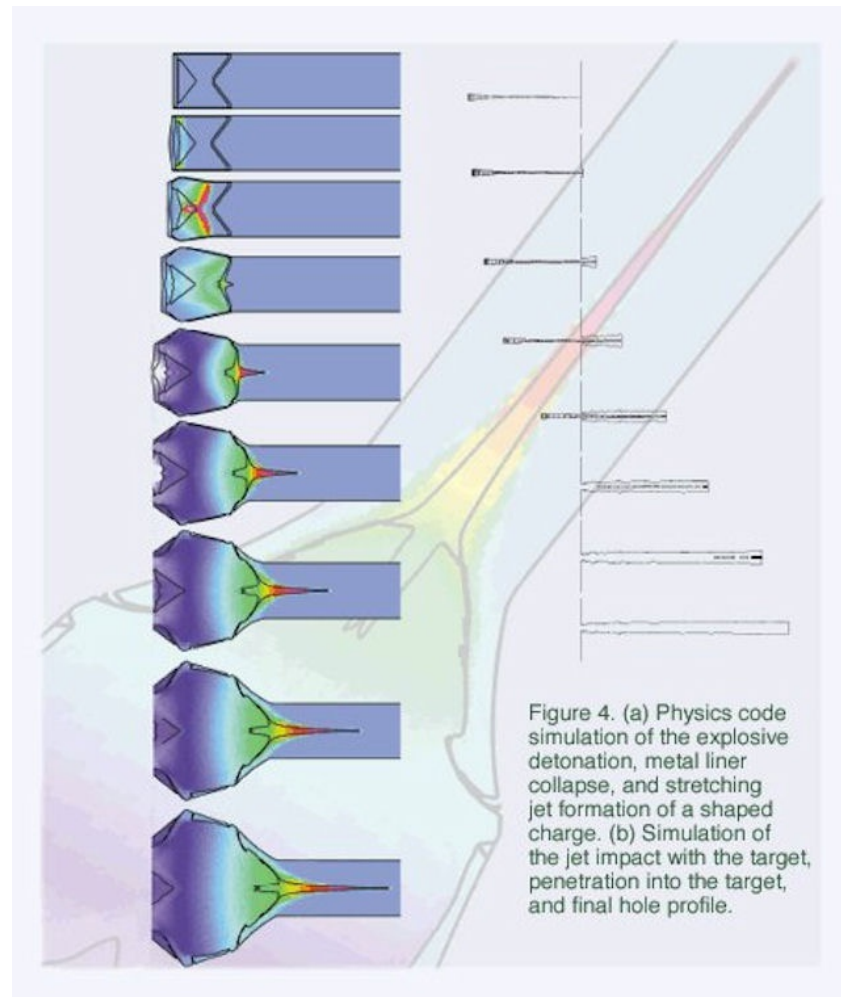


Možné efekty

- Spíše připomíná „Monroe effect“
 - Tvarování explozí - řezání kovu



<https://www.youtube.com/watch?v=Li2Kt4DtUdY>



Možné efekty

- Pokrovski experiment

Short-term dynamics of a density interface following an impact
[Journal of Fluid Mechanics](#) , Volume 577 , 25 April 2007 , pp. 241 - 250 DOI:
<https://doi.org/10.1017/S0022112007005058>
https://hal.science/file/index/docid/126025/filename/pokrovski_8_0_R1_light.pdf

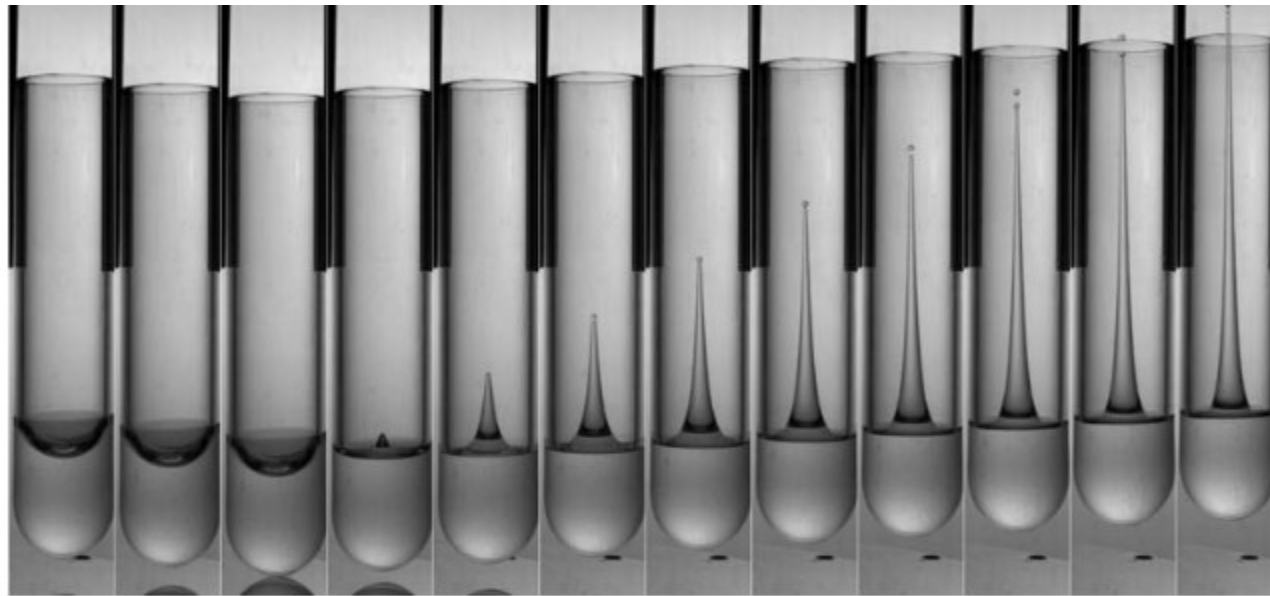


FIGURE 1. A tube filled with a wetting liquid and falling under gravity gives birth to a strong jet after impact. The interval separating each snapshot of this sequence is 5.5 ms.

Možné efekty

- Pokrovski experiment
- Vliv tvaru hladiny na výtrysk
 - Povrchové napětí
 - Nebo balonek

Short-term dynamics of a density interface following an impact
Journal of Fluid Mechanics , Volume 577 , 25 April 2007 , pp. 241 - 250 DOI:
<https://doi.org/10.1017/S0022112007005058>
https://hal.science/file/index/docid/126025/filename/pokrovski_8_0_R1_light.pdf

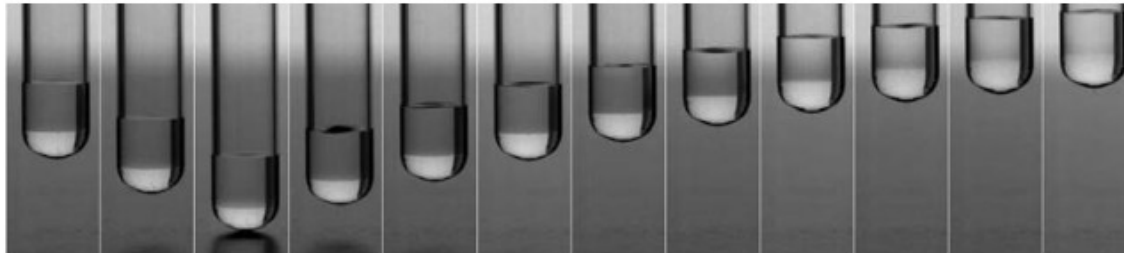


FIGURE 2. When the tube wall is made hydrophobic (silanization), the interface is initially flat, and not deformed after rebound.



FIGURE 3. A liquid with a free surface is falling as a whole under gravity. A bubble at the free surface gives rise to a strong jet after impact. The interval separating each snapshot of this sequence is 1 ms.

Možné efekty

- Pokrovski experiment
- Vliv tvaru hladiny na výtrysk
 - Povrchové napětí
 - Nebo balonek
- Vliv zanoření balonku
 - Efekt povrchového napětí během volného pádu
 - Zanoření závisí na době letu
 - efekt by měl saturovat v závislosti na výšce?

Short-term dynamics of a density interface following an impact

Journal of Fluid Mechanics, Volume 577, 25 April 2007, pp. 241 - 250 DOI:

<https://doi.org/10.1017/S0022112007005058>

https://hal.science/file/index/docid/126025/filename/pokrovski_8_0_R1_light.pdf

The ping pong ball water cannon.

<https://arxiv.org/abs/2010.06713>

Suction-ejection of a ping-pong ball in a falling water-filled cup

DOI:10.1051/emsci/2022002

<https://emergent-scientist.edp-open.org/articles/emsci/pdf/2022/01/emsci210004.pdf>

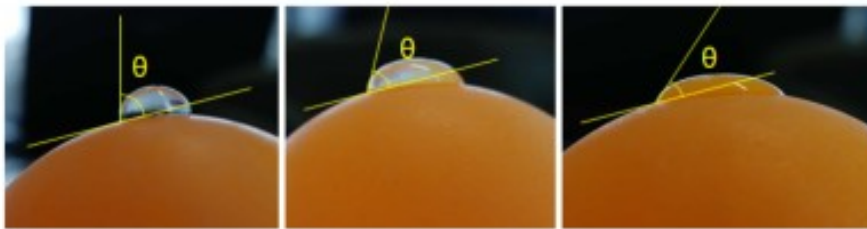
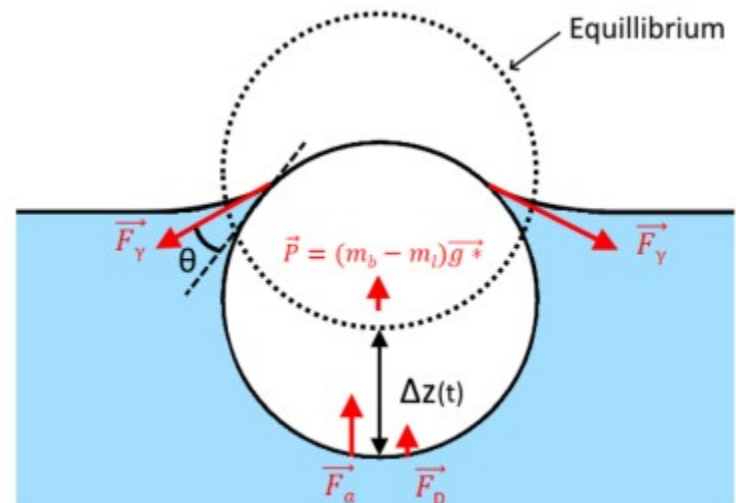
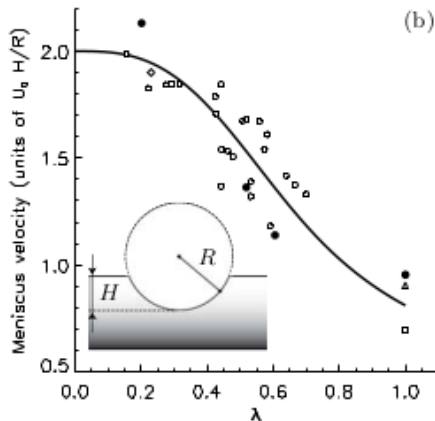


Fig. 3. Measurement of the contact angle using a water drop on ping-pong balls with different wetting properties. From left to right, $\theta = 79.5^\circ$, 65.5° and 48.1° .



Teoretický přístup (jeden možný)

- „Pressure impulse theory“
 - Zjednodušení založené na rychlém průběhu změny hybnosti
 - Vznikne gradient tlaku
- Dobře rozvinutá teorie
 - Asi to nespočítáte
 - Možná simulace
- Dává zajímavé předpovědi
 - Výtrysk se vytvoří pod míčkem
 - Závislost na velikosti míčku vůči nádobě
 - Závislost na výšce
 - Rozložení rychlostí



Short-term dynamics of a density interface following an impact
Journal of Fluid Mechanics, Volume 577, 25 April 2007, pp. 241 - 250 DOI:
<https://doi.org/10.1017/S0022112007005058>
https://hal.science/file/index/docid/126025/filename/pokrovski_8_0_R1_light.pdf

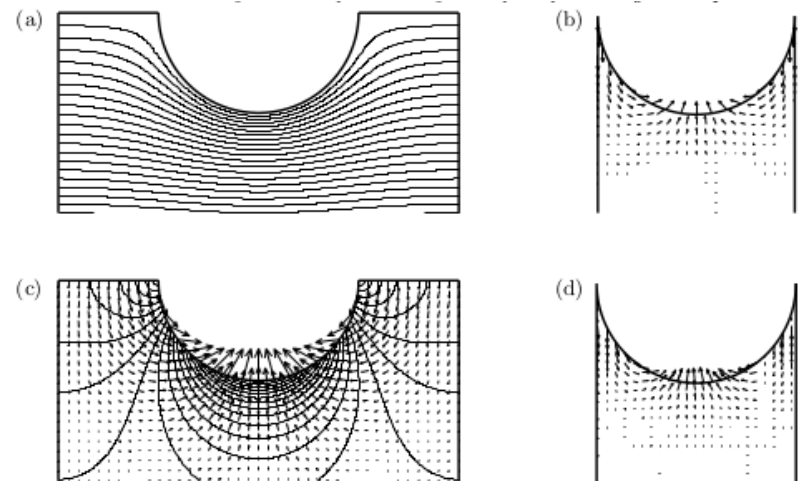
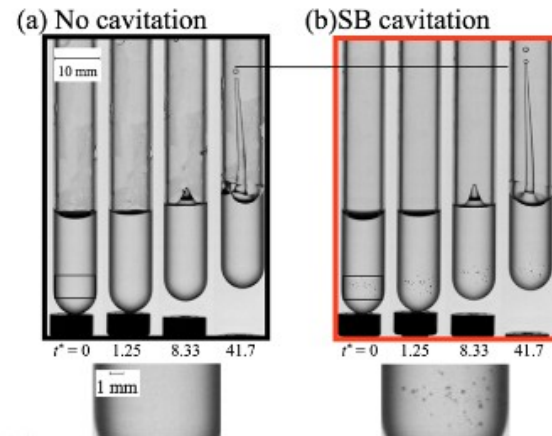


FIGURE 5. Left: pressure levels (a) and velocity field (c) obtained with the cylindrical representation for a value of the confinement factor of $\lambda = 0.5$. (a) : the isobars are equipaced with a step of $0.08\rho U_0 R$. (c) : along with the velocity vectors are represented the levels of the pressure gradient norm. These are equipaced with a step of $0.12\rho U_0$. Right: the theoretical velocity field for the confined geometry ($\lambda = 1$) is represented figure (b), whereas a typical velocity field obtained experimentally after PIV treatment is plotted figure (d).

Kam dál

- Existuje velké množství článku na hesla: „pressure impuls theory“, “liquid jets”
 - Studují se různé podobné problémy
 - Šlo by se inspirovat v tom, co měřit podrobněji

Enhancement of Focused Liquid Jets by Surface Bubbles
<https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.langmuir.8b00246>



A pressure impulse theory for hemispherical liquid impact problems
 European Journal of Mechanics / B Fluids 67 (2018) 417–426
<http://www.lmm.jussieu.fr/~lagree/TEXTES/PDF/philippiEJMB.pdf>

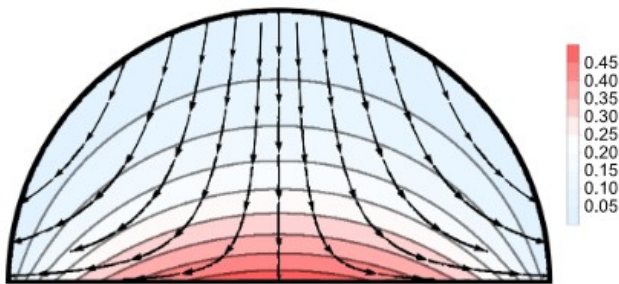
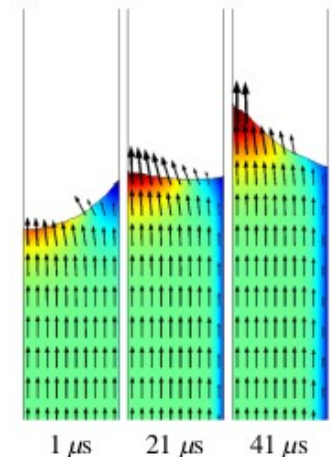
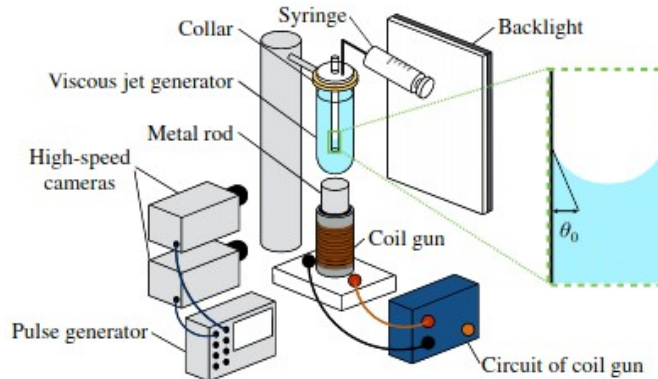


Fig. 10. Streamlines of the flow induced by the impact extracted from equation (14). The pressure field developing inside the drop is represented in the background.

Highly Viscous Microjet Generator

https://www.researchgate.net/publication/320486650_Highly_Viscous_Microjet_Generator



Jak úlohu řešit

- Komplexní, dobře pozorovatelný jev
 - není těžké udělat základní experiment
 - složitější dostat experiment pod kontrolu
- Existují modely, ale jejich aplikace je složitá
 - dávají ale základní kvalitativní předpovědi, které se mohou dost lišit

Z hlediska porotce:

- Přesvědčte mne, že mohu věřit tomu, co ukazujete
 - Měření maximální výšky může být problematické kvůli fluktuacím
 - Konzistence počátečních podmínek: výška, kolmost dopadu, poloha míčku, ...
 - Dostatečná přesnost - statistika
- Vysvětlete mi, proč chcete danou věc měřit
 - Není nutné mít teoretické výpočty, ale alespoň nějaké rozumné předpoklady
 - nepoužívejte zbytečně složitou teorii, pokud z ní nic nevyplývá
 - Zkuste ověřit základní závislosti
 - Velký plus je, pokud máte dvě různé teorie s různými předpověďmi
- Vyvodte z měření závěry
 - Mohou být i kvalitativní
 - Ideálně srovnání s předpovědí