



13. Urychlovač špaget (Spaghetti Accelerator)

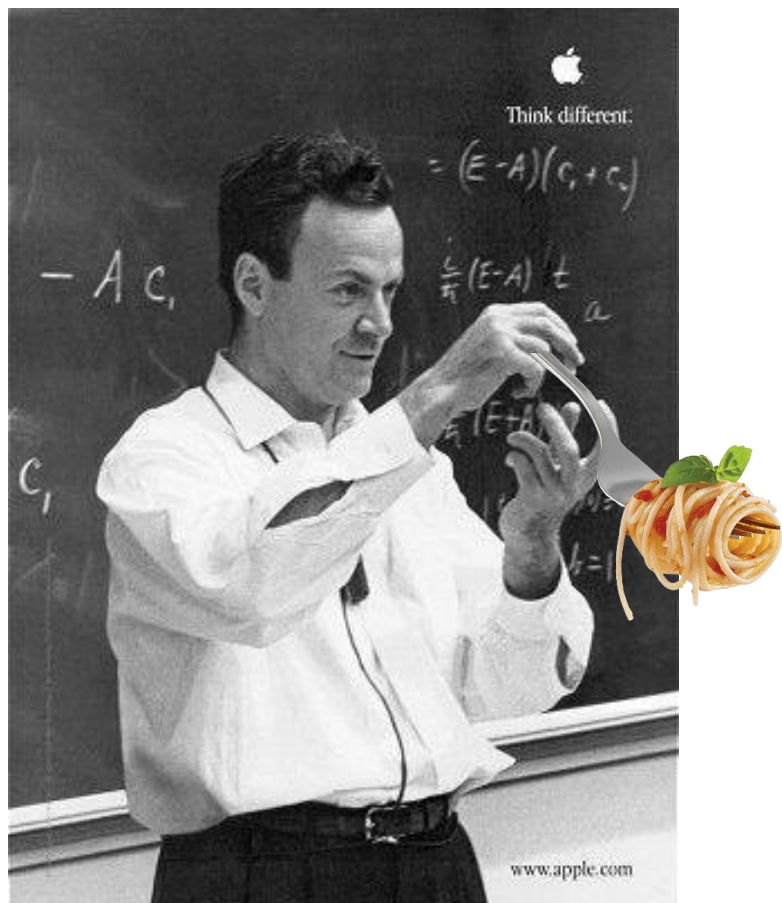
Kamila Moriová (MFF UK, kamila.moriova@matfyz.cuni.cz)

Zadání úlohy

- Natlačíme-li do ohnuté trubky špagetu, mohou její malé úlomky vylétnout z opačného konce trubky překvapivě velkou rychlostí. Prozkoumejte tento jev.
- *When a piece of spaghetti is pushed into a bent tube, small debris of spaghetti may be ejected from the other end of the tube at a surprisingly high speed. Investigate this phenomenon.*



Feynmanovo lámání špaget



- Proč se špagety lámou na 3 a více kousků a téměř nikdy na dva?

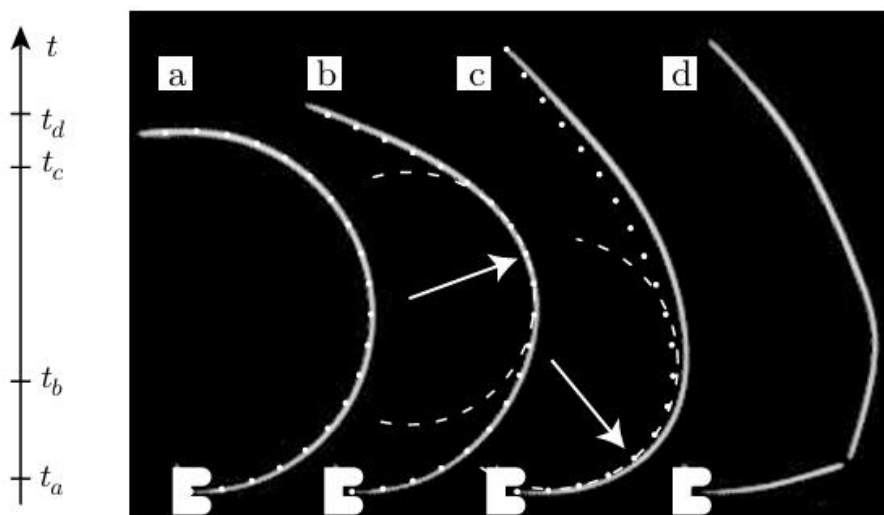
... ani nobelista na to po několika hodinách a mnoho rozlámaných špagetách nakonec nepřišel. 😊



C. Sykes (ed.) No ordinary genius: the illustrated Richard Feynman (WW Norton & Co., New York, 1996), pp. 180-181

První vysvětlení mechanismu (2005)

Za tento výzkum byla uvedena parodická Ig Nobelova cena v roce 2006. 😊



Ohnutá špageta dosáhne svého mezního zakřivení a zlomí se v prvním bodě. Fragmenty se začnou vlnit (flexural waves), což může lokálně zvětšit zakřivení opět nad mezní úroveň a nastane další lom. To vede ke kaskádovému lámání (vlastnost křehkých elastických tyčí).

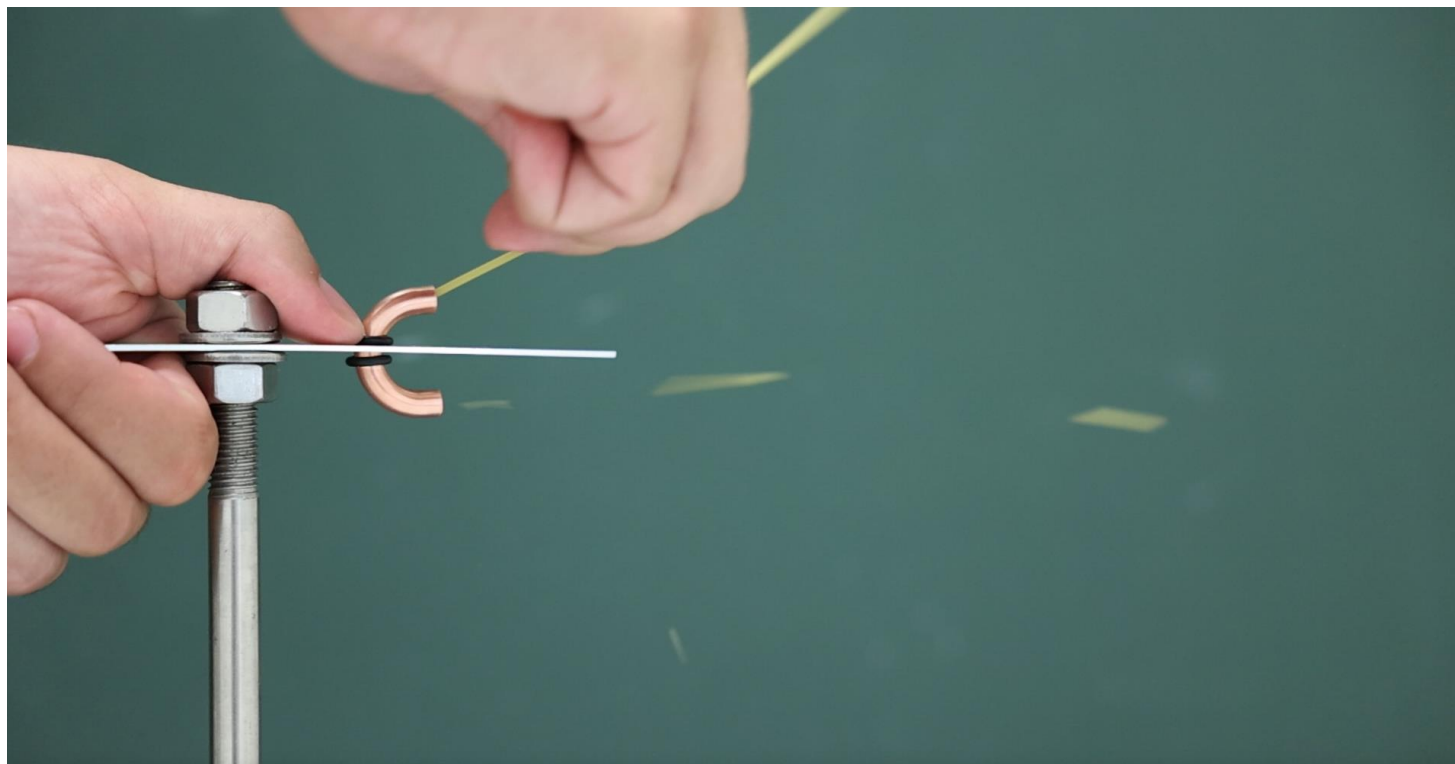
B. Audoly and S. Neukirch. Fragmentation of rods by cascading cracks: Why spaghetti does not break in half. Phys. Rev. Lett. 95, 9, 095505 (2005)

Motivace k výzkumu lámání špaget

- Lámání špaget může přispět k pochopení procesu fragmentace a vzniku mikrotrhlin např. v nanotrubičkách.
- Pochopení toho, jakým mechanismem se věci lámou, nám pomůže předcházet deformacím u trubkových materiálů (a stavět odolnější struktury). Špagetové lámání je něco, čemu se inženýři při konstrukcích snaží vyhnout.
- Špagety jsou podobné široké škále předmětů od průmyslových řezných nástrojů až po neprůstřelné vesty.

Urychlovač špaget

Poznámka: Ohnutou trubku je třeba řádně upevnit, aby se během provánění experimentu nepohnula.



Video: [Spaghetti Accelerator](#)

Nápady a návodné otázky

- Zkuste sehnat a využít vysokorychlostní kameru
- Jaký má tvar trubky vliv na výsledek?
 - Různě zohýbejte tenké kovové trubky nebo je vytiskněte na 3D tiskárně
 - Tip: použijte rozpůlenou trubku, ať vidíte, jakým způsobem fragmentace uvnitř probíhá
- Jaký má vliv na výsledek tloušťka a délka špaget?
- Je rychlost fragmentů vždy stejná? Na čem závisí?
 - Zamyslete se, odkud kinetická energie létajících fragmentů pochází

Poznámka: Mechanismus lámání špaget je poměrně složitý. Špagety navíc určitě nejsou z homogenního materiálu a budou obsahovat trhliny. To proces lámání také ovlivní. K úloze ale lze přistupovat i vcelku jednoduše. Můžete sledovat a popsat trajektorii jednotlivých fragmentů vylétávajících z trubky. Podle směru natočení trubky to bude svislý, vodorovný nebo šikmý vrh. Vystačíte si tedy se základními vzorečky z mechaniky. Rotaci a vibraci fragmentů můžete zanedbat.

Zajímavé čtení

- Mechanismus lámání špaget:
 - B. Audoly and S. Neukirch. Fragmentation of rods by cascading cracks: Why spaghetti does not break in half. *Phys. Rev. Lett.* 95, 9, 095505 (2005)
 - J. R. Gladden, N. Z. Handzy, A. Belmonte, and E. Villermaux. Dynamic buckling and fragmentation in brittle rods. *Phys. Rev. Lett.* 94, 3, 035503 (2005)
 - Y. Zhang, X. Li, Y. Dai, and B. Sun. Spaghetti breaking dynamics. Preprints 2021030311 (2021)
- Jak předejít kaskádovému lámání pomocí kroucení špaget:
 - R. H. Heisser, V.P. Patil, N. Stoop, E. Villermaux, and J. Dunkel. Controlling fracture cascades through twisting and quenching. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(35), 8665-8670. (2018)
- **Nebojte se článků (často je to náročné čtení i pro nás matfyzáky), využijte konzultace.**

Klíčová slova

- Young's modulus
 - Cascading fracture
 - Brittle failure
 - Buckling
 - Kirchhoff equations
-
- Doporučuji vyhledávat materiály především v angličtině
 - Zkuste využít umělou inteligenci ([ChatGPT](#))
 - Překlady, pomoc s psaním textu a vysvětlením některých pojmů
 - Pozor: dobrý sluha, ale špatný pán

Další doporučení:

- **Videa:**
 - [The Secrets of Breaking Spaghetti](#)
 - [Secret of Snapping Spaghetti in SLOW MOTION - Smarter Every Day 127](#)
- **Úloha č. 4 z IYPT 2011: Breaking spaghetti**
 - Podobná úloha, na internetu lze nalézt stará řešení úlohy
 - Může posloužit jako inspirace 😊
- **Neváhejte požádat konzultanty o pomoc**
 - Diskuze nápadů a řešení
 - Možnost zapůjčení pomůcek (např. 3D tiskárny)
 - Zpřístupnění literatury