

## Úloha I.E ... Pechschnitte

12 bodů; (chybí statistiky)

*Padá krajíc namazanou stranou dolů? Zkoumejte experimentálně tento Murphyho zákon s důrazem na statistiku! Záleží na rozměrech krajíce, složení a typu vrstvy? K experimentálním výsledkům hledejte teoretická zdůvodnění. Pro vaše měření použijte toastový chléb.*

*Terka má stůl ve špatné výšce.*

Snad každý z nás už se nad tímto podivným tvrzením několikrát pozastavil a chtěl vědět, zda na tom opravdu něco je nebo je to jen mýtus. V této experimentální úloze padání chlebu na namazanou stranu podrobíme důkladné fyzikální zkoušce a na závěr rozhodneme, zda je na tomto Murphyho zákoně něco pravdy.

## Teorie

Tento experiment je díky velkému množství volných parametrů (například výška dopadu, způsob upuštění chleba, počáteční rotace chleba, tloušťka vrstvy namazání, rozměry krajíce atd.) velice komplikovaný. Abychom se do toho nezamotali, je nutné na začátku stanovit omezující podmínky, kterých bude hned několik. Budeme měřit četnost dopadu chleba na namazanou stranu jen v závislosti na následujících parametrech:

1. Rozměr krajíce.
2. Tloušťka namazané vrstvy.
3. Typ pomazánky.
4. Výška, ze které bude krajíc chleba padat.
5. Způsob upuštění chleba.

Jistě by mohl každý namítat, že svou roli bude hrát ještě velké množství jiných parametrů, ale vzhledem k rozsahu této úlohy závislost na ostatních parametrech zkoumat nebudeme (pokud to někdo ve své vzorovém řešení udělal, může získat bonusové body).

Teoretický popis pádu chleba je z hlediska fyziky velice komplikovaný (zejména z důvodu mnoha vstupních parametrů). Chleba bychom mohli při troše zjednodušení popsat jako nehomogenní kvádr a potom by bylo potřeba řešit pád tohoto nehomogenního kvádrů v homogenním gravitačním poli s vlivem odporu prostředí (včetně rotace při pádu) a ještě nějakým způsobem fyzikálně popsat dopad chleba na podložku. Přesný fyzikální popis tohoto procesu je příliš komplikovaný, proto se jím nebudeme dále zabývat. Tento experiment bude zaměřen na samotné měření a následné statistické zpracování naměřených hodnot.

## Experiment

Dalším krokem je určení způsobu měření a popis měřící aparatury.

V našem experimentu budeme používat pouze čtvercový toustový chléb standardní velikosti. Při měření, zda strana dopadu závisí na velikosti chleba, budeme potom používat toustový chléb, který v každém ze dvou rozměrů (tloušťku ponecháme stejnou) rozpůlíme (tedy obsah bude čtvrtinový oproti původnímu stavu). Původní velikost krajíce toustového chleba budeme označovat jako „velká“ a zmenšenou velikost budeme označovat „malá“.

Tloušťku namazané vrstvy na krajici chleba budeme měřit pomocí hmotnosti rovnoměrně rozetřené pomazánky na celém krajici chleba. Před opakováním experimentu vždy převážáním zajistíme, aby na chlebu bylo stejné množství pomazánky. Měření budeme provádět pro 2 různé

vrstvy pomazánky na chlebu. Jako „malou“ vrstvu označíme případ, kdy na celý krajíc chleba namažeme 5 g pomazánky a jako „velkou“ vrstvu budeme označovat případ, kdy na celý krajíc chleba namažeme 15 g pomazánky. V případě „malé“ velikosti chleba bude tedy „malá“ vrstva pomazánky znamenat 1,25 g pomazánky a „velká“ vrstva pomazánky bude znamenat 3,75 g pomazánky.

V našem experimentu budeme zkoušet jen 2 typy pomazánky, a sice klasické máslo a lučinu.

Budeme pouštět chleba z různé výšky, abychom proměřili také závislost orientace chleba při dopadu na výšce, ze které byl chleba upuštěn. Nejvíce se zaměříme na výšku odpovídající výšce běžného kuchyňského stolu (80 cm), výšku, kde se nachází ústa běžně urostlého sedícího člověka (110 cm) a výšku, ve které má běžně urostlý stojící člověk ústa (150 cm). Tyto 3 výšky pracovně označíme jako „malá“, „střední“ a „velká“ výška. Právě z těchto třech výšek bude v praktickém životě namazaný chleba nejčastěji padat.

Důležitou věcí je správné popsání upouštění namazaného chleba a dodržování tohoto postupu při všech měřeních. V celém našem experimentu budeme namazaný chleba pomalu sunout přes hranu stolu (nebo jiné vodorovné plochy). Tímto se zajistí, že chleba nebude mít na počátku pádu žádnou (nebo jen zanedbatelnou) vodorovnou složku rychlosti ani žádnou rotaci. Orientace chleba budeme měnit a budeme měřit závislost na orientaci. Budeme zkoušet pouze 2 polohy. První poloha bude taková, že hrana chleba bude rovnoběžná s hranou desky (pracovně tuto polohu označíme jako „rovnoběžná“) a druhá poloha bude taková, že hrana desky a hrana chleba budou svírat úhel  $45^\circ$  (pracovně tuto polohu označíme jako „přes roh“).

## Měření

Pro jednotlivé konfigurace vstupních parametrů, jak jsou popsány výše, jsme provedli vždy 10 pokusů upuštění chleba. Jelikož pokus mohl dopadnout vždy jen dvěma způsoby, jimiž jsou pád na namazanou stranu nebo pád na nenamazanou stranu, není nutné uvádět výsledky jednotlivých pokusů, postačí pokaždé uvést počet pádů na namazanou stranu. Výsledky měření včetně odhadů pravděpodobnosti pádu chleba na namazanou stranu a její směrodatné odchylky můžeme vidět v tabulkách 1 a 2.

## Diskuze

Z naměřených výsledků je vidět, že hlavním faktorem, který má vliv na dopad chleba, je výška, ze které chléb upustíme. Je to díky tomu, že chléb při pádu rotuje a výška upuštění rozhoduje o době trvání pádu a ta rozhoduje o počtu otáček (nebo pílotaček), které chléb při pádu vykoná. Rotaci chléb získá díky způsobu upouštění, kdy se převálí přes hranu stolu. Jediným dalším faktorem, který ovlivňoval četnost pádu chleba na namazanou stranu významněji než v rámci směrodatné odchylky, byla tloušťka namazané vrstvy (pouze v případě střední výšky upuštění), kdy se ukazuje, že chleba s velkou vrstvou pomazánky má menší četnost pádu na namazanou stranu než chleba s malou vrstvou pomazánky (tento efekt je ovšem pozorovatelný pouze u velké velikosti chleba, při použití malého chleba není tolik významný). Toto je pravděpodobně způsobeno tím, že chléb s větší vrstvou pomazánky při pádu rotuje rychleji, a proto je zde větší pravděpodobnost, že během pádu vykoná celou jednu otáčku, a dopadne tedy na nenamazanou stranu zatímco chléb s malou vrstvou pomazánky díky pomalejší rotaci pravděpodobně vykoná jen polovinu otáčky a dopadá tedy častěji na namazanou stranu. Vliv tohoto

Tab. 1: Naměřené četnosti dopadu chleba na namazanou a nenamazanou stranu v závislosti na zvolených parametrech (první polovina měření).

výška	vrstva	mazání	velikost	shazování	namaz. stranou	odhad psti.	směr. odchylka
malá	malá	máslo	velká	rovnoběžné	10	1	–
malá	malá	máslo	velká	přes roh	10	1	–
střední	malá	máslo	velká	rovnoběžné	8	0,8	0,13
střední	malá	máslo	velká	přes roh	7	0,7	0,15
velká	malá	máslo	velká	rovnoběžné	0	0	–
velká	malá	máslo	velká	přes roh	0	0	–
malá	velká	máslo	velká	rovnoběžné	10	1	–
malá	velká	máslo	velká	přes roh	10	1	–
střední	velká	máslo	velká	rovnoběžné	5	0,5	0,17
střední	velká	máslo	velká	přes roh	5	0,5	0,17
velká	velká	máslo	velká	rovnoběžné	0	0	–
velká	velká	máslo	velká	přes roh	0	0	–
malá	malá	lučina	velká	rovnoběžné	10	1	–
malá	malá	lučina	velká	přes roh	10	1	–
střední	malá	lučina	velká	rovnoběžné	8	0,8	0,13
střední	malá	lučina	velká	přes roh	8	0,8	0,13
velká	malá	lučina	velká	rovnoběžné	0	0	–
velká	malá	lučina	velká	přes roh	0	0	–
malá	velká	lučina	velká	rovnoběžné	10	1	–
malá	velká	lučina	velká	přes roh	10	1	–
střední	velká	lučina	velká	rovnoběžné	5	0,5	0,17
střední	velká	lučina	velká	přes roh	6	0,6	0,16
velká	velká	lučina	velká	rovnoběžné	0	0	–
velká	velká	lučina	velká	přes roh	0	0	–

Tab. 2: Naměřené četnosti dopadu chleba na namazanou a nenamazanou stranu v závislosti na zvolených parametrech (druhá polovina měření).

výška	vrstva	mazání	velikost	shazování	namaz. stranou	odhad psti.	směr. odchylka
malá	malá	máslo	malá	rovnoběžné	10	1	–
malá	malá	máslo	malá	přes roh	10	1	–
střední	malá	máslo	malá	rovnoběžné	7	0,7	0,15
střední	malá	máslo	malá	přes roh	6	0,6	0,16
velká	malá	máslo	malá	rovnoběžné	0	0	–
velká	malá	máslo	malá	přes roh	0	0	–
malá	velká	máslo	malá	rovnoběžné	10	1	–
malá	velká	máslo	malá	přes roh	10	1	–
střední	velká	máslo	malá	rovnoběžné	5	0,5	0,17
střední	velká	máslo	malá	přes roh	5	0,5	0,17
velká	velká	máslo	malá	rovnoběžné	0	0	–
velká	velká	máslo	malá	přes roh	0	0	–
malá	malá	lučina	malá	rovnoběžné	10	1	–
malá	malá	lučina	malá	přes roh	10	1	–
střední	malá	lučina	malá	rovnoběžné	7	0,7	0,15
střední	malá	lučina	malá	přes roh	6	0,6	0,16
velká	malá	lučina	malá	rovnoběžné	0	0	–
velká	malá	lučina	malá	přes roh	0	0	–
malá	velká	lučina	malá	rovnoběžné	10	1	–
malá	velká	lučina	malá	přes roh	10	1	–
střední	velká	lučina	malá	rovnoběžné	6	0,6	0,16
střední	velká	lučina	malá	přes roh	6	0,6	0,16
velká	velká	lučina	malá	rovnoběžné	0	0	–
velká	velká	lučina	malá	přes roh	0	0	–

parametru je ale v porovnání s vlivem výšky upuštění chleba malý. Ostatní zkoumané parametry podle naměřených výsledků nemají na stranu dopadu chleba žádný statisticky významný vliv (všechny rozdíly v četnostech pádů na namazanou stranu jsou v rámci statistické chyby a nemohou tedy být považovány za statisticky významné).

Na závěr musíme uvést, že naše naměřená data potvrzují doporučení kuchařského guru Ládi Hrušky, že pokud nechcete, aby vám při snídani spadl namazaný chléb namazanou stranou dolů, měli byste snídat buď na podlaze, nebo u stropu (zdroj: <https://www.youtube.com/watch?v=4r7SGcA2fLE>).

*Michal Nožička*  
nozicka@fykos.cz

---

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty MFF UK. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci MFF UK a podporován Ústavem teoretické fyziky MFF UK, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported. Pro zobrazení kopie této licence navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.