

Papírová fyzika

Vojtěch Žák

Vojtech.Zak@matfyz.cuni.cz



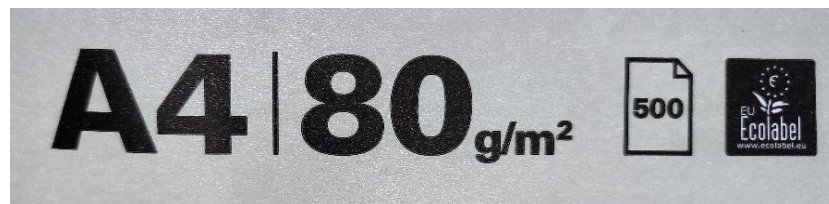
FACULTY
OF MATHEMATICS
AND PHYSICS
Charles University

Co můžu nabídnout?

několik **fyzikálních experimentů**
využívající obyčejný **kancelářský papír**
vhodné jako **žakovské experimenty**
zvyšující **zájem o fyziku**, přírodní vědy
a vedoucí k **hlubšímu myšlení**
jak pro **2. stupeň ZŠ**, tak pro **SŠ**
jen **několik snadno dostupných pomůcek** k jejich přípravě a provedení, např. nůžky, pravítko
některé **propojují fyziku s matematikou**
jako **badatelsky orientovaná výuka (IBSE)**, a mohou tedy podporovat **vědecké myšlení**



Obyčejný kancelářský papír



Hmotnost listu kancelářského papíru

Který z předmětů váží méně než jeden list kancelářského papíru formátu A4?

Potřebujeme např. ...

Výsledky

Všechny předměty jsou lehčí než list papíru (5,0 g).

→ **odhad hmotnosti**

Proč často odhadujeme, že některé předměty jsou těžší, než ve skutečnosti jsou?



Objem listu kancelářského papíru

Jak si můžeme co nejlépe představit, že list kancelářského papíru formátu A4 má také objem?

Nápad

Udělejme z listu papíru **krychli**!

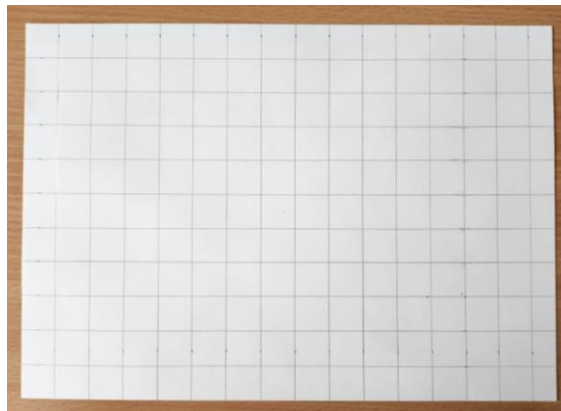
Potřebujeme

list kancelářského papíru (A4), tužku, pravítko, nůžky

Řešení – jedno z možných...

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{a^3} \rightarrow a = \sqrt[3]{\frac{m}{\rho}} = \sqrt[3]{\frac{0,005 \text{ kg}}{800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}}} \approx 1,84 \text{ cm}$$

→ překvapivě velký objem



Měření čísla π

Potřebujeme

list kancelářského papíru (A3), kružítko,
tužku, pravítko, nůžky, váhy

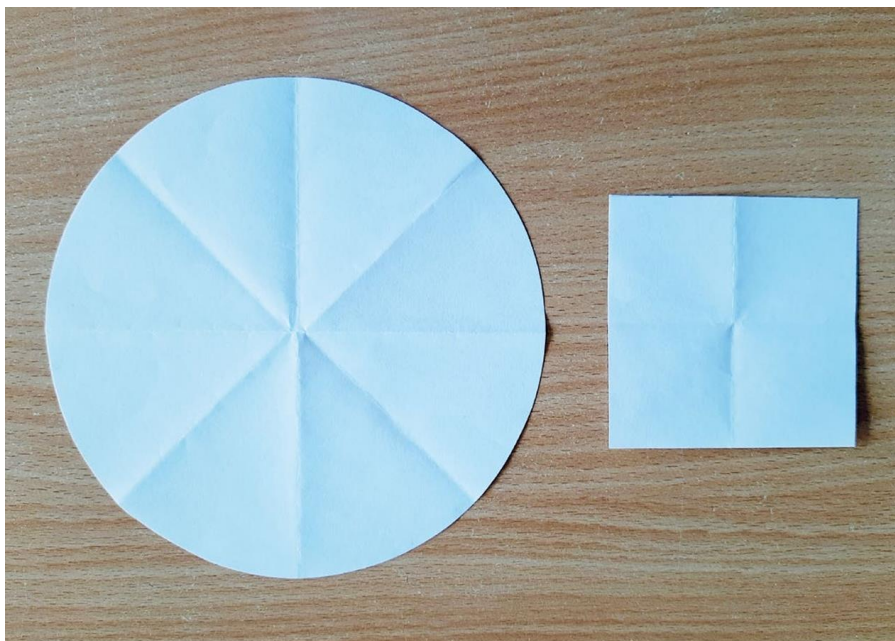
Nápad (označení: c – kruh, s – čtverec)

$$\frac{m_c}{m_s} = \frac{S_c}{S_s} = \frac{S_c}{r^2}$$

Výsledky

r / cm	m_s / g	m_c / g	m_c / m_s
8	0,52	1,60	3,077
10	0,80	2,54	3,175
12	1,17	3,63	3,103

$$\rightarrow \frac{S_c}{r^2} \approx 3,12 \rightarrow S_c = \pi r^2$$



Mez pevnosti papíru

Jaká je zhruba mez pevnosti v tahu kancelářského papíru?

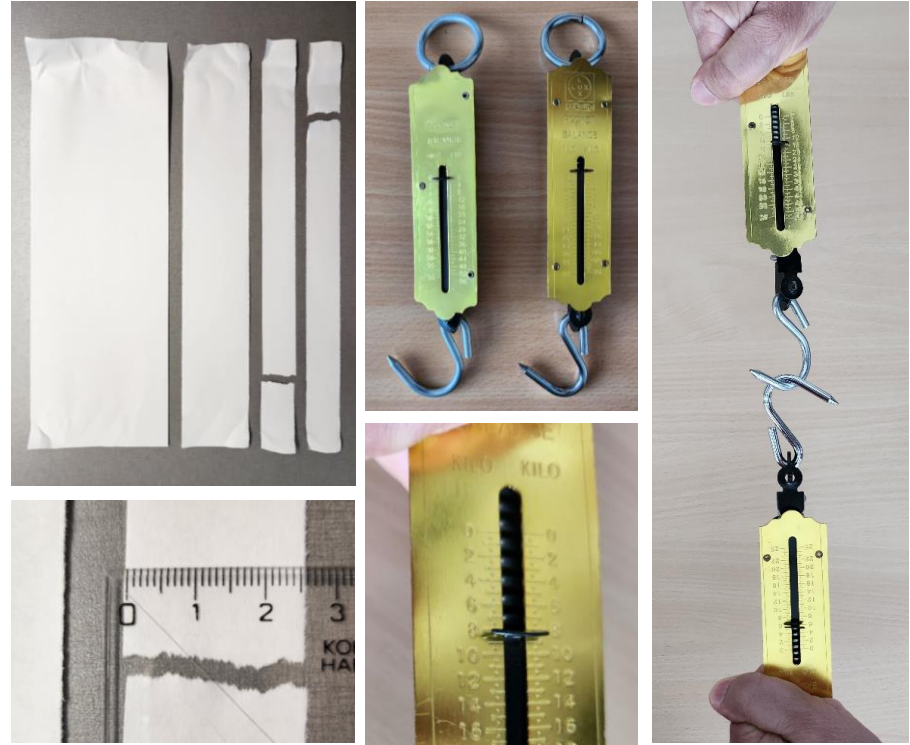
Potřebujeme

dvoje „pérové váhy“, list kancelářského papíru, pravítko

Výsledky

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{80 \text{ N}}{0,1 \text{ mm} \cdot 2,5 \text{ cm}} \approx 3 \cdot 10^7 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \approx \\ \approx 10 \text{ až } 100 \text{ MPa}$$

→ srovnatelná se dřevem a plasty



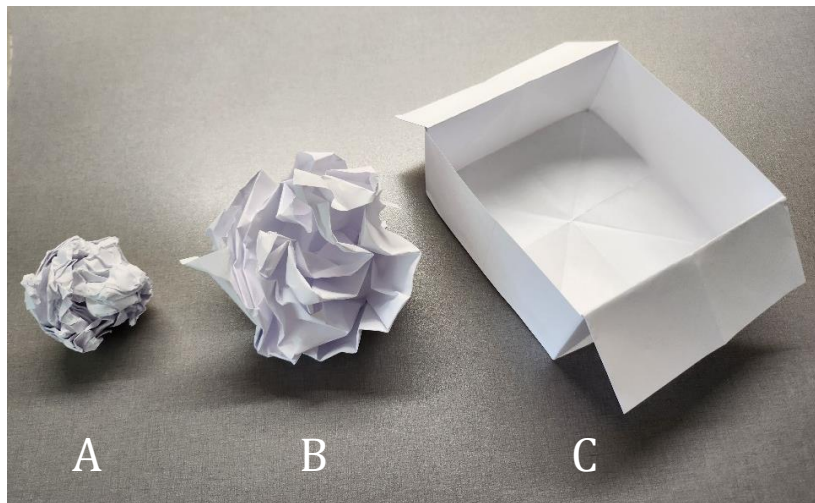
Padající papír různého tvaru

Nechte padat kancelářské papíry formátu A4 různého tvaru z výšky 2 m. Jak se liší doba jejich pádu, když budou padat svisle dolů?

Potřebujeme
několik listů kancelářského papíru formátu A4

Výsledky
 $t_A < t_B < t_C$

→ tvar (a proto odporová síla)
hraje důležitou roli



Padající papírové kornouty

*Jak závisí doba pádu papírových kornoutů na jejich počtu (hmotnosti)?
Použijte čtyři stejné kornouty a nechte je padat z výšky 1,8 m,
jejich vrcholy směrem dolů.*

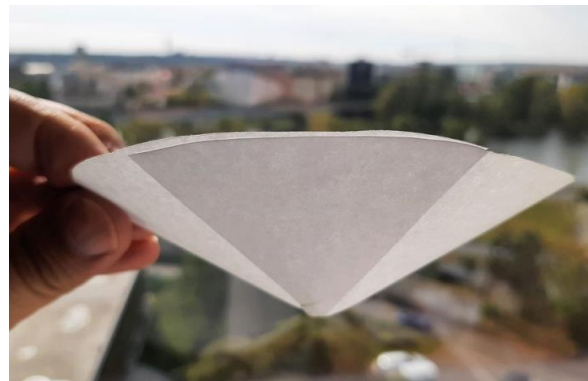
Potřebujeme

několik listů kancelářského papíru (A4), kružítko, tužku,
pravítko, nůžky, lepidlo, stopky (např. na mobilním telefonu)

Výsledky

počet kornoutů	1	2	3	4
t / s	1,55	1,17	1,02	0,82

→ Pokud se **počet kornoutů zvětšuje** (roste hmotnost),
doba pádu se zmenšuje. Nicméně **nejde o nepřímou**
úměrnost, ale přibližně **poloviční doba pádu** je dosažena,
když padají **čtyři kornouty**.



Pád papírové „misky“

Z kancelářského papíru vystříhneme čtverec o straně 14 cm a vytvarujeme z něj „misku“ s čtvercovým dnem o straně 10 cm (strany budou 2 cm vysoké). Necháme ji padat („dnem dolů“) z výšky 2 m. Jaká bude doba pádu?

Pokud papír padá svisle dolů rovnoměrným pohybem,
podle druhého Newtonova pohybového zákona platí: $mg = \frac{1}{2} C \rho S v^2$

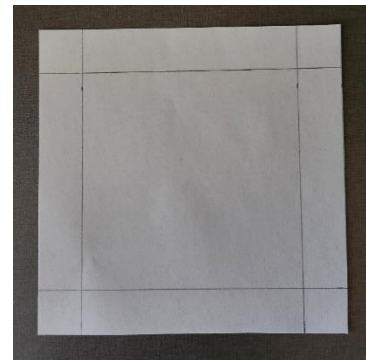
Řešení

$$t = \frac{s}{v} = s \sqrt{\frac{C \rho S}{2mg}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{1,2 \cdot 1,2 \cdot 0,01}{2 \cdot 1,57 \cdot 10^{-3} \cdot 9,8}} \text{ s} \approx 1,37 \text{ s}$$

Experiment: 1,6 s

Volný pád: 0,64 s

→ odporová síla vzduchu hraje velmi důležitou roli



„Nasákavost“ kancelářského papíru

Kolik vody může jeden list kancelářského papíru absorbovat?

Potřebujeme

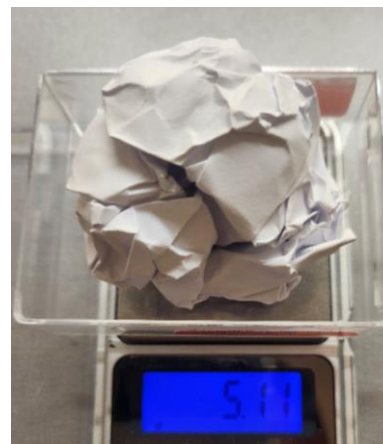
jeden list kancelářského papíru (A4), misku, váhy, vodu

Výsledky

přibližně 9 g (9 cm^3) vody, což znamená, že hmotnost vzrostla přibližně o 170 %

→ pórovité materiály

Ale jeden list má objem $V = 0,01 \text{ cm} \cdot 21 \text{ cm} \cdot 29,7 \text{ cm} \approx 6,2 \text{ cm}^3$ a 9 cm^3 vody se tam nevejde!



Mokrý papír podruhé

Změní list papíru po namočení do vody svoje rozměry?

Potřebujeme

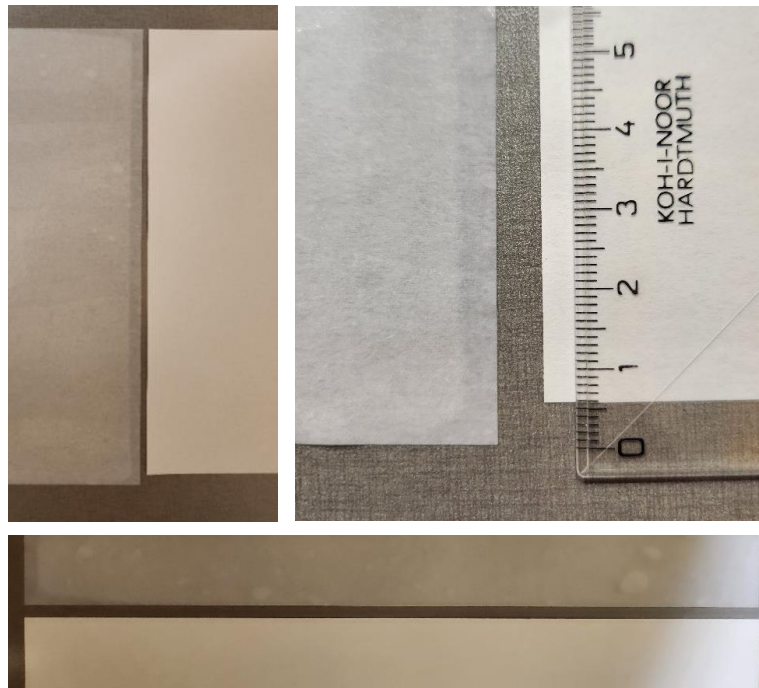
dva listy kancelářského papíru (A4), vodu, pravítko

Výsledky

List kancelářského papíru nezmění svůj rozměr v jednom směru, ale změní ho ve druhém (kolmém).

Vzrostl o $0,6 \text{ cm} / 21 \text{ cm} \approx 3 \%$.

→ **anizotropie**



Velikost listu papíru

Jak velký list papíru je a co vlastně „velikost“ znamená?

Je dost velký na to, aby jím bylo možné „projít“?

Potřebujeme

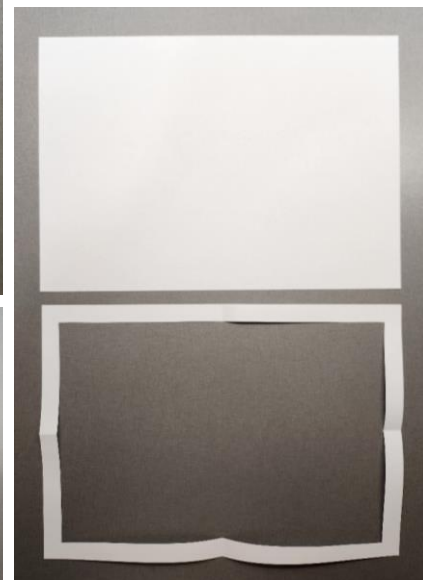
jeden list kancelářského papíru (A4), nůžky

Výsledky

... nemožné...

... je to možné!

→ **relativně malá plocha může mít velký „obvod“**



Děkuji za pozornost...

... mohu poslat prezentaci s ještě větším počtem „papírových experimentů“...

Vojtech.Zak@matfyz.cuni.cz