

# Hystereze nejen s mobilním telefonem

Jednoduchá demonstrace magnetické hystereze a aplikace HysteresisLogger

Pavel Masopust, Jiří Kohout

Oddělení fyziky, FPE ZČU v Plzni

Veletrh nápadů učitelů fyziky 31

## Hystereze = paměť systému

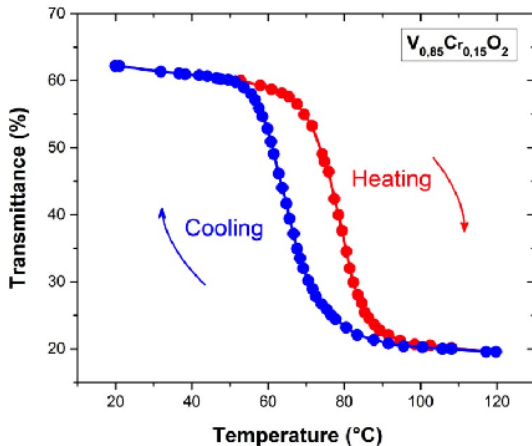
Stav nezávisí jen na aktuální hodnotě vstupní veličiny, ale také na předchozím vývoji.

- ve škole se typicky objevuje u magnetismu,
- stejný princip se ale objevuje u mechanických, tepelných, fázových i společenských systémů,
- cílem je ukázat hysterezní smyčku jednoduše a názorně.

## Didaktický cíl

Žáci nemají vidět hysterezi jako izolovaný graf z magnetismu, ale jako obecný jev s pamětí.

# Hystereze není jen magnetismus



- magneticky tvrdé a měkké materiály,
- mechanická hystereze při zatěžování a odlehčování,
- fázové přechody a inteligentní okna,
- termostaty a regulační systémy,
- klimatické body zvratu,
- ekonomie a pedagogický výzkum.

Fázová hystereze  $\text{VO}_2$  dopovaného chromem: jiný průběh při zahřívání a ochlazování.

## Klasické měření magnetické hystereze

Detailní proměření bývá technicky náročné: osciloskop, speciální moduly, laboratorní sestavy.

- ne vždy dostupné na školách,
- obtížné připravit pro více skupin,
- pro demonstraci často stačí kvalitativní smyčka.

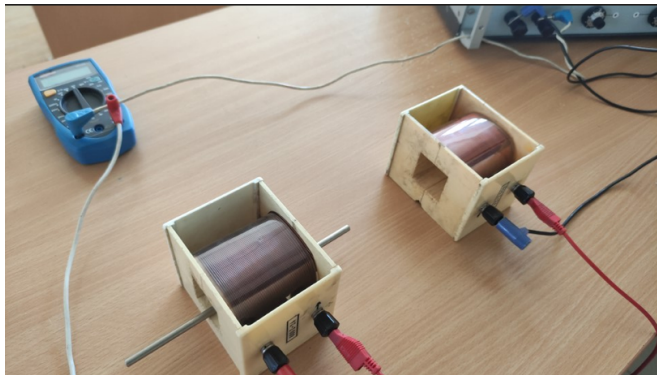
## Náš záměr

Využít běžné školní cívky a magnetometr v mobilním telefonu.

## Výsledek

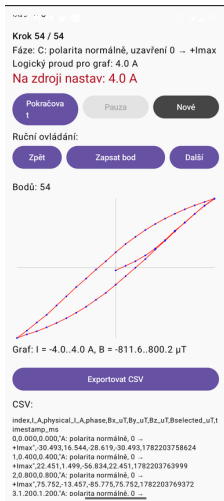
Rychlá laboratorní práce, kterou lze zvládnout i se základním zpracováním během jedné vyučovací hodiny.

# Uspořádání experimentu



- dvě souosé cívky,
- magnetická pole cívek mají ve středu opačný směr,
- bez vzorku se pole v měřicím bodě téměř kompenzují,
- feromagnetický vzorek vložený do jedné cívky kompenzaci naruší,
- telefon zaznamená dodatečné pole vzorku.

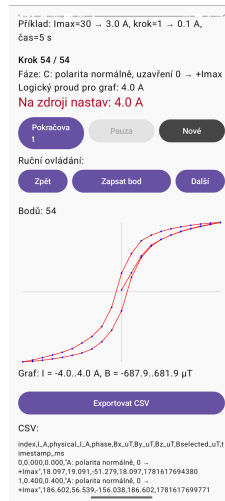
V našem uspořádání: dvě cívky délky přibližně 5 cm, každá se 600 závitů.



## Co aplikace dělá

Námi vyvinutá aplikace HysteresisLogger pro OS Android čte senzor TYPE\_MAGNETIC\_FIELD v jednotkách  $\mu$ T.

- zobrazuje složky  $B_x$ ,  $B_y$ ,  $B_z$  a velikost  $|B|$ ,
- vede měření krok po kroku změnou proudu,
- ukládá průměr z konce měřicího intervalu,
- exportuje CSV a rovnou zobrazuje graf.



## Proudové kroky

Aplikace postupně vede měření přes čtyři části smyčky:

- 1 růst proudu do kladného maxima,
- 2 pokles proudu,
- 3 změna polarity a růst záporného proudu,
- 4 návrat do kladné oblasti.

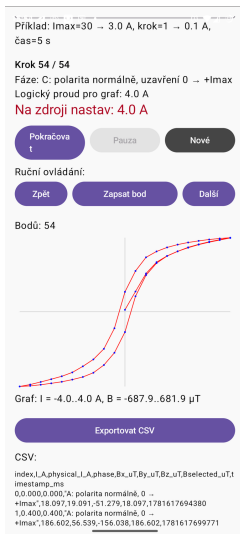
## Důležité pro výuku

Žákům se neztratí postup měření: aplikace vždy ukazuje, jaký proud mají nastavit, kolikátý bod měří a jak vzniká smyčka.

## Sdílení výsledků

Aktuální hodnoty a průběh měření lze zobrazit ve webovém prohlížeči na zařízení ve stejné Wi-Fi síti.

# Co vlastně měříme?



## Mobilní telefon neměří magnetizaci vzorku přímo

Měří lokální magnetickou indukci v místě svého senzoru: příspěvek Země, cívek, vzorku i okolního rušení.

$$\Delta B_{\text{probe}} = B_{\text{probe se vzorkem}} - B_{\text{probe bez vzorku}}$$

- graf  $I$  proti  $\Delta B_{\text{probe}}$  je především kvalitativní hysterezní smyčka,
- ukazuje remanenci, změnu znaménka příspěvku a přibližné nasycení.



## Dipólová aproximace

Pro dostatečně vzdálený měřicí bod lze vzorek přibližně považovat za magnetický dipól.

$$M \approx \frac{2\pi r^3}{\mu_0 V} \left[ 1 - \left( \frac{l}{2r} \right)^2 \right]^2 \Delta B_{\text{probe}}$$

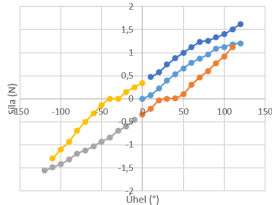
- vztah vyžaduje znalost geometrie a splnění předpokladů modelu,
- blízké pole vzorku už nemusí odpovídat jednoduchému dipólu,
- výsledek ovlivňuje ustavení cívek, rušení, zemské pole, orientace telefonu i poloha senzoru,
- proto mluvíme o relativní nebo kvalitativně kalibrované smyčce.

Vztah viz Horák, Krupka: *Fyzika I, II*. Praha: SNTL, 1981.

# Mechanická hystereze jako doplněk



Mechanická hystereze



- aparatura PHYWE: momentový kotouč, torzní tyče a siloměr,
- měří se vztah mezi silou (momentem síly) a úhlem zkroucení,
- při odlehčování je pro stejný moment jiný úhel než při zatěžování,
- lze proměřit kompletní hysterezní smyčku v obou směrech.

## Proč mechanická hystereze?

Ukazuje, že hystereze není specifickou vlastností magnetických materiálů, ale obecnějším projevem „paměti“ systému.

## Magnetická hystereze s telefonem

Rychlá laboratorní práce: měření trvá jen několik minut, základní zpracování lze zvládnout v jedné hodině.

- limit: dvě vhodné cívky pro každou skupinu,
- výhoda: okamžitý graf a export dat,
- alternativa: Phyphox + zpracování dat na PC.

## Závěr pro žáky

Hystereze znamená, že systém má paměť. Stejná aktuální hodnota vstupu nemusí znamenat stejný stav systému.

## Závěr pro učitele

Mobilní telefon může být nejen měřidlo, ale i nástroj pro zpřístupnění pokročilejších fyzikálních jevů.



Šmíd V.: Magnetická hystereze. In: *Sborník konference Veletrh nápadů učitelů fyziky 1*. Praha 1996.



Zouini M. a kol.: Information Restitution in the Optical Memories using a Thin Layer of the Vanadium Dioxide. *Journal of Engineering Science & Technology Review* 2018, 11(5), 26.



Horák Z., Krupka F.: *Fyzika I, II*. Praha: SNTL, 1981.

Obrázky uspořádání a aplikace: vlastní fotografie/screenshot autorů.