

# SEMINÁŘE Z FYZIKY

## 2. blok: Krátký kurz elektřiny a magnetizmu

(leden 2004)

---

Elektřina i magnetizmus jsou disciplíny, které se vztahují k mimořádně širokému okruhu jevů. Uveďme alespoň několik konkrétních příkladů:

- Vzhledem ke zvláštním zákonitostem v mikrosvětě a elektrickým silám mezi základními stavebními elementy (protony, neutrony, elektrony) existují atomy, které se – opět díky těmto zákonitostem – spojují a tvoří tak různé materiály s rozmanitými fyzikálními vlastnostmi.
- Bez uvážení elektrických jevů by nebylo možné vysvětlit procesy v živých organizmech.
- Uvádí se, že k obraně, lovu, orientaci nebo dorozumívání je asi pět set druhů živočichů (převážně ryb) vybaveno elektrickými „bateriemi“ a receptory elektrického pole. Například rejnok elektrický je schopen ke své obraně či při lovu vyslat pulzy elektrického proudu až o velikosti desítek ampérů při napětí přibližně sedmdesát voltů.
- Za mimořádnými možnostmi naší civilizace, od telekomunikací až po kuchyňské spotřebiče, stojí opět zákony elektromagnetizmu. Díky technickému rozvoji máme v každodenním životě možnost pozorovat jevy, které byly našim předkům skryty: makroskopické elektromagnetické jevy a děje, které probíhají v okolní přírodě, jsou totiž relativně slabé (zemské magnetické pole, vertikální gradient elektrického pole) na to, aby je mohl člověk vnímat<sup>1</sup>, popřípadě trvají velmi krátkou dobu (blesk, úder elektrické ryby). Bez speciálních přístrojů, jako je kompas, tedy nelze nic říci o zemském magnetickém poli. Bez rychloběžné kamery a osciloskopu lze těžko studovat fáze úderu blesku. I rána rejnoka elektrického je bez měřicích přístrojů jev, z nějž příjemce těžko vydedukuje obecnější zákonitost.

Některé elektrické i magnetické jevy jsou popsány již ve starověkých pramenech. V roce 900 př. n. l. byl například znám magnetovec – nerost s vlastnostmi permanentního magnetu, který se hojně vyskytuje v oblasti Malé Asie zvané Magnesia. Pověst praví, že pastýři jménem Magnus vytáhly valouny magnetovce, když po nich krácel, železné hřebíky ze střevíců. Magnetovec byl rovněž znám Číňanům, kteří jej využívali ke konstrukci kompasu. Thalés Milétský popisuje, že jantar třený srstí přitahuje zlomky pírek.

---

<sup>1</sup>Dodejme, že člověk není vybaven smysly pro detekci elektromagnetických polí.

## Přehled prováděných experimentů

Přednáškově-experimentální blok sestává ze tří částí. V první části projdeme s pomocí běžných pomůcek (lepící páska, zapalovač plynového sporáku) část cesty k objevu zákonů elektromagnetizmu. Druhou část bude tvořit výklad doprovázený experimenty, strukturovaný obvyklým způsobem: od elektrostatiky po elektromagnetickou indukci. Na závěr provedeme pro ilustraci experimenty s elektromagnetickým vlněním.

*Všeobecná poznámka:* I k těm nejjednodušším experimentům potřebujeme fyzikální objekty, které se v okolní přírodě obvykle nevyskytují. K pokusům z elektrostatiky používáme pomůcky, které jsou schopny udržet na daném místě nevykompenzovaný elektrický náboj (materiály s velmi vysokým objemovým i povrchovým odporem). K pokusům s elektrickým proudem potřebujeme několik metrů elektrického vodiče s izolací a zdroj elektromotorického napětí. Ke studiu magnetizmu jsou nezbytné speciální materiály v různých úpravách.

### Experimenty k elektrostatice:

#### Prostřednictvím experimentů

- se seznámíme s pojmem elektrický náboj, se zákonem zachování elektrického náboje a s elektrostatickým silovým působením mezi nabitými objekty,
- zavedeme fyzikální veličiny intenzita elektrického pole a elektrický potenciál,
- zformulujeme princip superpozice elektrického pole,
- všimneme si chování vodiče a dielektrika z hlediska elektrostatiky (rozložení náboje a popis elektrického pole v jejich okolí),
- zmíníme se o izolačních vlastnostech plynů.

Pro účely experimentů bude elektrický náboj generován různými generátory: elektrostatickým generátorem pracujícím na principu tření, generátorem pracujícím na principu elektrostatické indukce, piezokeramickým generátorem, zkonstruujeme i elektrodynamický generátor. Efektů elektrostatické silové interakce využijeme při konstrukci elektrostatického motorku. Sestavíme rovněž jednoduchý detektor elektrického náboje a zobrazíme přibližný tvar elektrických siločar v okolí nabitého vodiče. K měření budeme používat elektrostatický i elektronický elektroskop.  $\diamond$

### Experimenty s elektrickými proudy:

#### Prostřednictvím experimentů

- se seznámíme s pojmem elektrický proud, s vodiči a s vedením elektrického proudu,
- zavedeme pojem zdroj elektromotorického napětí,
- všimneme si silového působení mezi proudovodiči,
- zformulujeme princip superpozice pro vektory magnetické indukce,
- zformulujeme Ampérův zákon,
- zavedeme pojem elektrický odpor a zformulujeme Ohmův zákon.

Experimentální doprovod umožní demonstrovat vznik elektromotorického napětí a jeho měření. Silové působení mezi proudovodiči bude demonstrováno mimo jiné jednoduchým elektromotorem, sestavíme také jednoduchý ampérmetr. Zobrazíme magnetické pole v okolí proudovodičů i permanentních magnetů.  $\diamond$

#### Experimenty k magnetizmu:

V této části zavedeme pojmy

- feromagnetismus,
  - paramagnetismus,
  - diamagnetismus.
- $\diamond$

#### Experimenty k elektromagnetizmu:

Prostřednictvím experimentů

- se seznámíme s Faradayovým zákonem elektromagnetické indukce,
  - všimneme si funkce transformátoru, generátoru a dynama,
  - zmíníme se o energii elektromagnetického pole.
- $\diamond$

#### Experimenty s elektromagnetickými vlnami:

S použitím generátorů centimetrových vln, mikrovlnné trouby a Lecherových drátů provedeme některé pokusy s decimetrovými a centimetrovými vlnami.  $\diamond$

## Náměty k přemýšlení

1. Silový zákon pro elektrostatickou interakci mezi dvěma náboji  $Q_1, Q_2$  ve vzdálenosti  $r$  vyslovil v roce 1785 Charles Augustin Coulomb (Coulombův zákon): pro velikost elektrostatické síly mezi těmito náboji platí vztah

$$|\vec{F}| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2},$$

kde  $\epsilon_0$  je permitivita vakua. Jsou-li znaménka nábojů souhlasná, jde o odpuzivou sílu, v opačném případě jde o přitažlivou sílu.

Tento silový zákon byl určen experimentálně měřením závislosti velikosti síly na vzdálenosti nábojů pomocí torzních vah. Z podstaty fyzikálního měření plyne, že naměřená data jsou vždy zatížena určitou chybou. Coulombův zákon tedy můžeme psát ve tvaru

$$|\vec{F}| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^{(2+\epsilon)}},$$

kde  $\epsilon$  je malé číslo určující chybu experimentálního zjištění exponentu.

Pokuste se navrhnout jednoduchý experiment, který by v rámci stanovené chyby poskytl odpověď na otázku, zda je velikost exponentu v Coulombově zákonu rovna číslu 2.

2. V technické praxi se k pohonům používají téměř výhradně elektrické motory pracující na elektromagnetickém principu (tj. principu silového působení na proudovodič v magnetickém poli). Proč neexistují motory založené na principu elektrostatické interakce?
3. Na jakém principu pracuje elektrostatický větrníček, tvořený vodivým drátem, který je otočně uložený podél osy kolmé na drát, procházející jeho středem? Drát má zостřené konce zahnuté tečně ke kružnici otáčení.
4. Je nezbytné při tzv. zelektrování izolátoru třením, aby se oba povrchy po sobě smýkaly?
5. Uvádí se, že Faradayova klec ochrání před elektrickým výbojem objekty nacházející se uvnitř tím, že odstiňuje vnější elektrické pole. Je možné se do Faradayovy klece dovolat mobilním telefonem? Odpověď zdůvodněte.