

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM FJFI ČVUT V PRAZE

Datum měření: 5.5.2011	Jméno: Jakub Kákona
Pracovní skupina: 4	Ročník a kroužek: Pa 9:30
Spolupracovníci: Jana Navrátilová	Hodnocení:

Úloha 1: Kondenzátor, mapování elektrického pole

Abstrakt

Cílem našeho měření bylo ověření silového působení mezi náboji a zmapování rozložení elektrického pole.

1 Úvod

1.1 Zadání

1. DÚ: Připomeňte si odvození kapacity deskového kondenzátoru.
2. DÚ: Bezpečnostní normy připouštějí maximální náboj $50\mu C$ na deskách kondenzátoru. Stanovte jednu náhodnou geometrii deskového kondenzátoru, který by překročil tuto normu při napětí $100kV$.
3. Změřte přitažlivé síly mezi deskami kondenzátoru pro různé vzdálenosti desek. Náboj přivádějte až do průrazu mezi deskami kondenzátoru. Napětí odhadněte z dielektrické pevnosti vzduchu. Naměřené hodnoty silového působení změřené na vahách porovnejte s předpovědí ze vztahu h .
4. Změřte přitažlivé síly mezi deskami kondenzátoru pro tři různé vzdálenosti desek (dle distancí). Náboj přivádějte až do průrazu na kulovém jiskřišti Wimshurstovy elektriky. Ze silového působení spočtete napětí h a ze vztahu h se pokuste určit neznámou funkci $f(s/D)$. Experimentální data a nalezenou funkci zpracujte do grafu.
5. Zvolte si různé konfigurace elektrod, nastavte na nich napětí cca $10V$ a zmapujte potenciál v síti 12×12 bodů. Vyhodnoňte pomocí příslušného software v systému Linux (odečítání dat voltmetru, gnuplot). Data si zazálohujte a proveďte důkladné vyhodnocení v domácím zpracování.

2 Experimentální uspořádání a metody

2.1 Pomůcky

Wimshurstova elektrika, váhy, deskový kondenzátor, podstavec, vodiče, sada distancí, zkrateč, regulovatelný zdroj $20V$, souprava pro mapování elektrostatického pole, voltmetr.

2.2 Teoretický úvod

2.3 Kondenzátor

Kondenzátor je soustava dvou elektrod, které umožňují uchovávání elektrického náboje. Důležitá charakteristika kondenzátoru je jeho kapacita C – konstanta úměrnosti mezi velikostí náboje Q na každé z elektrod a přivedeným napětím U .

$$Q = C \cdot U. \quad (1)$$

Kapacita kondenzátoru závisí na geometrickém uspořádání elektrod a relativní permitivitě okolního prostředí.

Speciálně pro kondenzátor tvořený dvěma rovnoběžnými deskami (ve vzájemné vzdálenosti d) ve vzduchu ($\varepsilon \simeq \varepsilon_0$), lze kapacitu najít využitím Gaussova zákona:

$$U = E \cdot d \stackrel{\text{Gauss}}{=} \frac{\sigma d}{\varepsilon} = \frac{d}{\underbrace{\varepsilon S}_{1/C}} Q \Rightarrow C = \frac{\varepsilon S}{d}. \quad (2)$$

Bezpečnostní normy připouštějí maximální náboj $50\mu C$ na deskách kondenzátoru. Uvažujeme - li napětí 100 kV a plochu deskového kondenzátoru, dostáváme mezní vzdálenost kondenzátorových desek

$$d = \frac{\varepsilon S U}{Q} = 1.77 \text{ cm}. \quad (3)$$

Nabitě desky kondenzátoru na sebe vzájemně působí elektrostatickou přitažlivou silou

$$F = \varepsilon \frac{U^2 S}{2d^2} \quad (4)$$

Napětí na kondenzátoru je však shora omezeno dielektrickou pevností okolního prostředí (v našem případě vzduchu: 30 kV cm^{-1}). V pracovním úkolu 4 využijeme dobře definovaného průrazného napětí na kulovém jiskřišti

$$U_a = 27.75 \left(1 + \frac{0.757}{\sqrt{\delta D}}\right) \delta \frac{s}{f} \quad \delta = \frac{b}{760} \cdot \frac{273 + 20}{273 + t} \quad (5)$$

kde U_a je napětí [kV], s doskok, tedy vzdálenost mezi kuličkami jiskřiště [cm], D průměr koulí [cm], relativní hustota vzduchu, b barometrický tlak [mm rtuňového sloupce], t teplota v místnosti [$^{\circ}\text{C}$] a funkce f je závislá na poměru s/D a na poloze jiskřiště proti zemi.

3 Výsledky a postup měření

3.1 Kondenzátor

3.1.1 Průraz na deskách kondenzátoru

Po maximálním vyrovnání desek jsme zvyšovali jejich náboj až do průrazného napětí a zároveň sledovali silové působení na analytické váze.

3.1.2 Průraz na jiskřišti

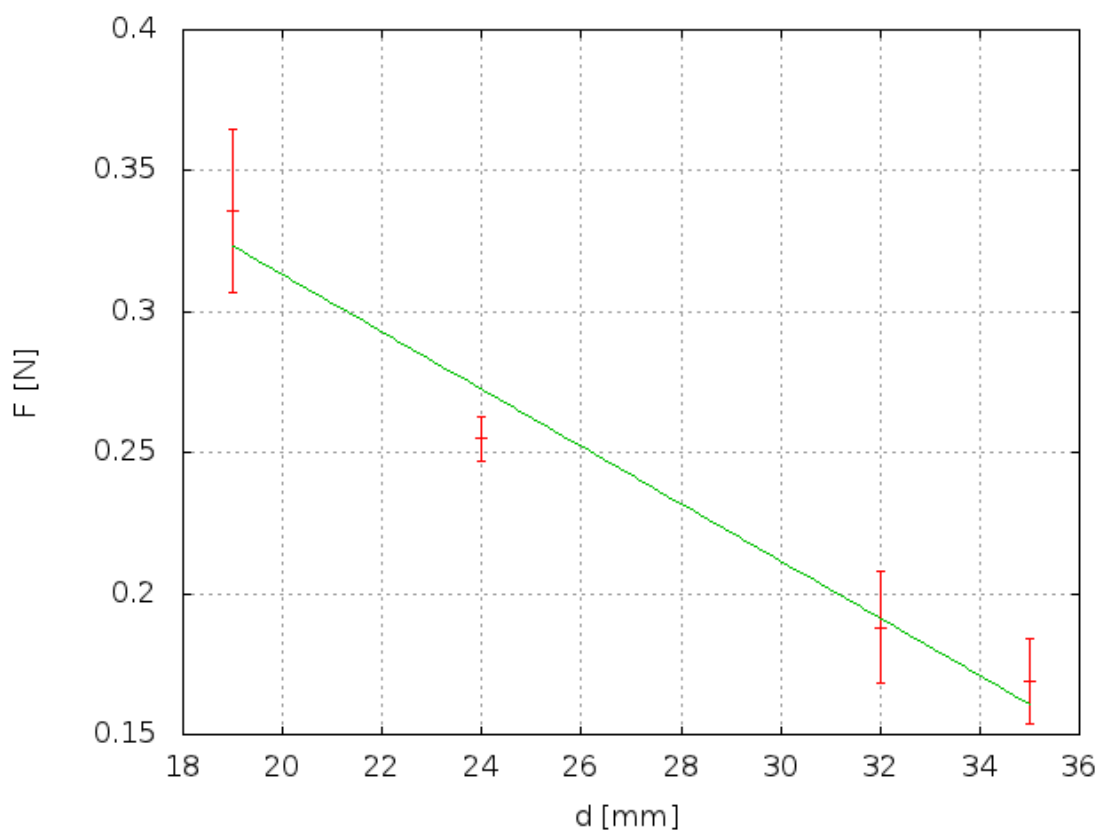
Měření probíhalo za teploty $25,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ A tlaku 764 Torr (101858 Pa).

Nalezená funkce

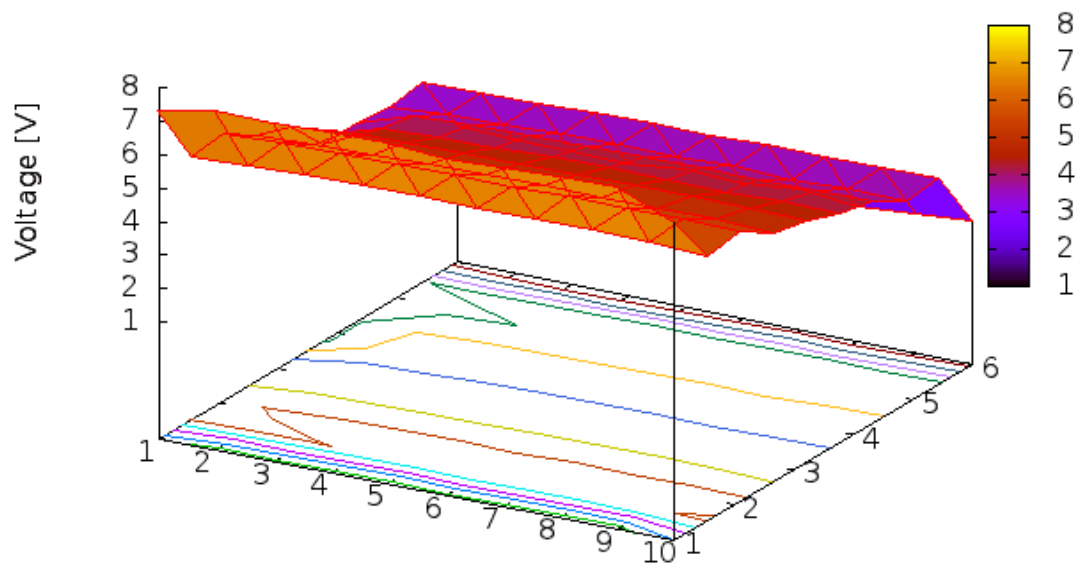
$$f(s) = 31.1 \times d + 886.9$$

d [mm]	U [kV]	m [g]	F [N]	chyba
24	72	26	0.255	0.008
19	57	34.2	0.336	0.029
32	96	19.15	0.188	0.020
35	105	17.2	0.169	0.015

Tabulka 1: Naměřené a vypočtené hodnoty pro průřez na deskách kondenzátoru



Obrázek 1: Naměřené hodnoty síly působící na desky v závislosti na jejich vzdálenosti



Obrázek 2: Rozložení pole pro případ dvou paralelních elektrod opačných potenciálů

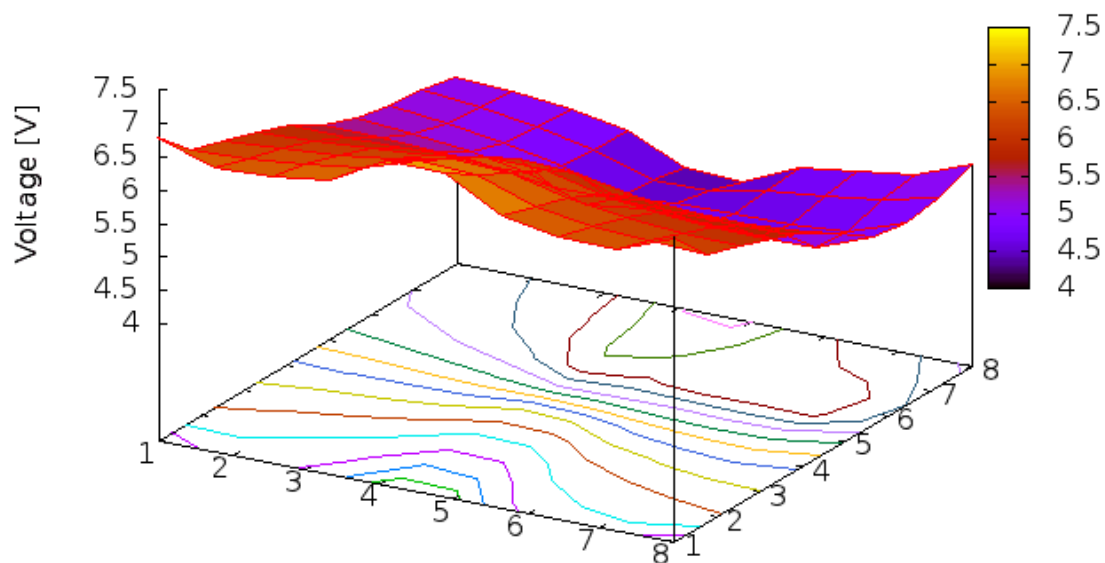
3.2 Mapování elektrického pole

Mapování elektrického pole bylo realizováno měřením potenciálu ve skleněné kádince naplněné vodou ve které byly umístěny elektrody v několika konfiguracích. Rozložení pak bylo měřeno ve čtvercové síti s rastroem 5mm.

4 Diskuse

- Zopakovali jsme si odvození kapacity deskového kondenzátoru
- Zjistili jsme, že deskový kondenzátor o ploše 1m^2 nabitý na 100kV začíná být podle norem nebezpečný při vzdálenosti desek menší, než 1cm . Vzhledem k rozměrům kondenzátoru v praktiku a elektrické pevnosti vzduchu, není reálně možné bezpečnostní normu překročit.
- Změřili jsme silové působení desek kondenzátoru při mezním průrazném napětí, avšak naměřený výsledek se příliš neshoduje s předpokládanou konstantní přitažlivou silou $0,9\text{ N}$, které jsme při měření nedosáhli. Navíc měřená síla v průběhu měření klesala i přes to, že by měla být v tomto rozsahu nezávislá na vzdálenosti desek. Pravděpodobně to bylo způsobeno zbytkovou ionizací prostředí okolo kondenzátoru, kterou se nepodařilo odstranit ani výměnou vzduchu.
- Podařilo se určit neznámou funkci $f(s)$ jako

$$f(s) = 31.1 \times d + 886.9$$



Obrázek 3: Rozložení pole pro případ dvou bodových elektrod opačných potenciálů

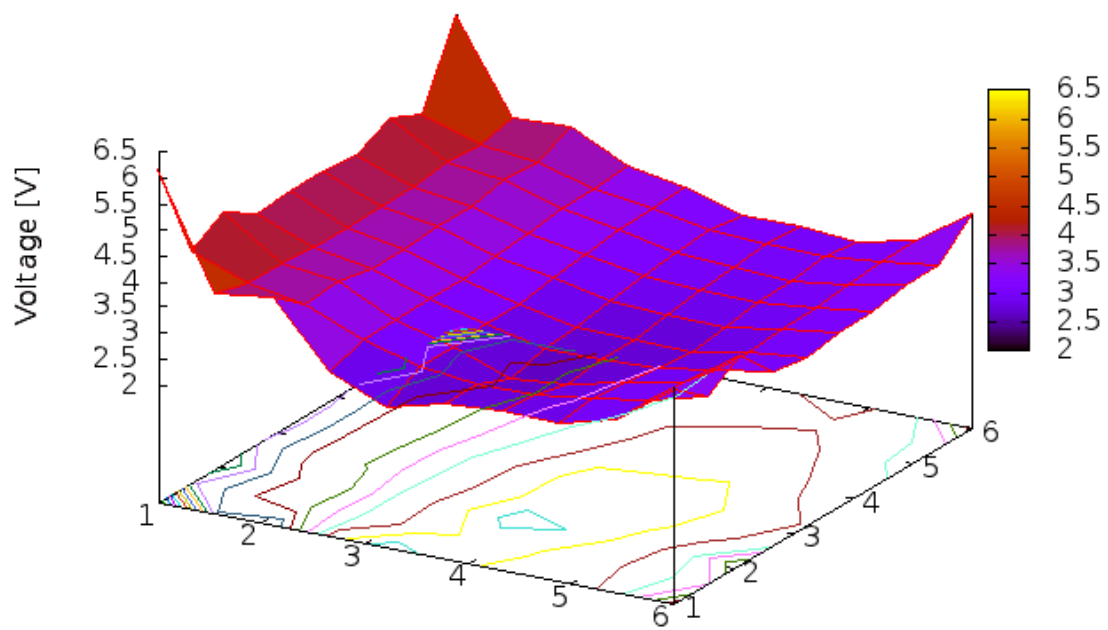
- Zmapovali jsme pole v hrubé síti mezi elektrodami různých konfigurací.

5 Závěr

Měřením byla úspěšně potvrzena většina teoretických předpokladů, kromě předpokládané konstantní závislosti působící síly mezi deskami kondenzátoru s napěťovým omezením daným elektrickou pevností dielektrika.

Reference

<http://praktika.fjfi.cvut.cz/Kondenzator/> cit 5.5.2011



Obrázek 4: Rozložení pole pro případ dvou bodových elektrod stejného potenciálu