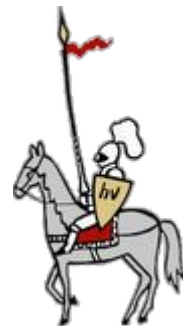


13 – Charge Meter



Náměty a poznámky k úloze IYPT 2024
Úvodní soustředění TMF 2024, 21. až 22. 10. 2024

Karel Kolář, k.kolar@email.cz

Úvod – 13 – Charge Meter

- Nečekejte řešení
- Interpretace zadání může být i jiná než předložená
- Hlavně náměty, na co asi narazíte/měli byste vyřešit
- Připomínka – důležitý je vlastní experiment!
- Slidy jsou trochu “ukecanější”, aby byly čitelné i na webu
- (změna čísla úlohy, původně 4)

Zadání

A lightweight ball is suspended from a thread in the area between two charged plates. If the ball is also charged it will be deflected to one side at a certain angle. What is the accuracy of such a device for measuring the amount of charge on the ball? Optimise your device to measure the smallest possible charge on the ball.

Lehká kulička je zavěšena na vlákně v prostoru mezi dvěma nabitými deskami. Pokud je kulička též nabitá, odkloní se o určitý úhel na jednu stranu. Jaká je přesnost tohoto zařízení na měření náboje na kuličce? Optimalizujte svoje zařízení, aby bylo možné měřit co možná nejmenší náboj na kuličce.

Co je cílem?

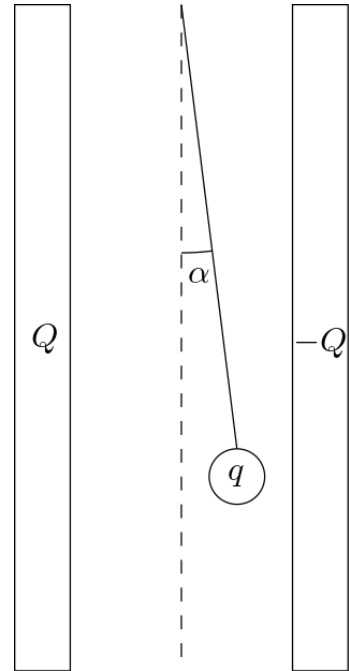
A lightweight ball is suspended from a thread in the area between two charged plates. If the ball is also charged it will be deflected to one side at a certain angle. **What is the accuracy** of such a device for measuring the amount of charge on the ball? **Optimise your device** to measure the **smallest possible charge** on the ball.

- Dotaz na přesnost – nutné určovat
 - Nejspíš rozdílná pro různě velké náboje
- Hlavní úkol optimalizace na měření co nejmenšího náboje
 - Nemusí být velká relativní přesnost, ale možnost měření co nejmenšího absolutního náboje
- Můžeme si sami zvolit všechno uspořádání a jenom “dostáváme náboj”? → předpokládejme...

Uspořádání zařízení

A lightweight ball is suspended from a thread in the area between two charged plates. If the ball is also charged it will be deflected to one side at a certain angle. What is the accuracy of such a device for measuring the amount of charge on the ball? Optimise your device to measure the smallest possible charge on the ball.

- Vpravo náčrt
- Moc velká výchylka \rightarrow dotek \rightarrow předání náboje \rightarrow převod na úlohu 3 IYPT 2004 (odrazy, nabíjení)
 - Co nejmenší náboj \rightarrow výchylka bez odrazů
- Problém měření malých úhlů \sim malé výchylky
- Otázka měření přivedeného náboje
- *(obrázky jsou pouze schematicky-ilustrační)*

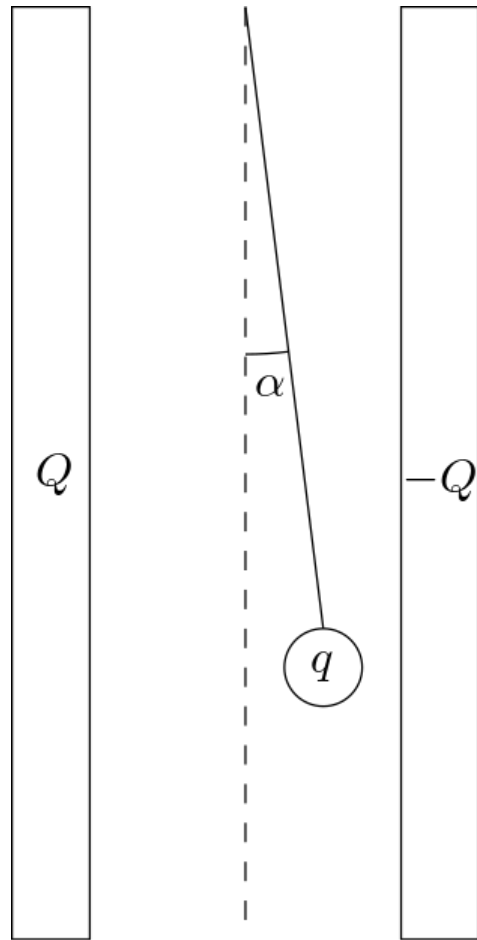


Uspořádání zařízení – kondenzátor?

- Náboj kondenzátoru lze určit ze vztahu pro deskový kondenzátor

$$Q = CU = \frac{\epsilon S}{d} U$$

- C – kapacita kondenzátoru
 - ϵ – permitivita (mezi deskami)
 - S – plocha desek
 - d – vzdálenost desek
- U – napětí, které se měří dobře



Intenzita a síla el. pole, výchylka

- E – intenzita elektrického pole
- F_e – elektrická síla (vektor, bereme velikost)
- F_g – tíhová síla
- m – hmotnost kuličky
- g – tíhové zrychlení

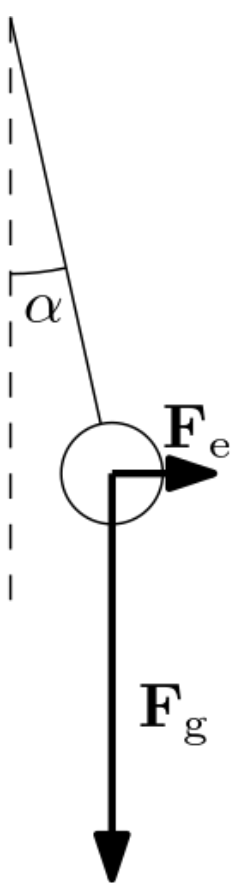
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F_e}{F_g} = \frac{qU}{mgd}$$

$$Q = CU = \frac{\varepsilon S}{d} U$$

$$E = \frac{U}{d}$$

$$F_e = qE = q \frac{U}{d}$$

$$F_g = mg$$



Zvyšování přesnosti/citlivosti

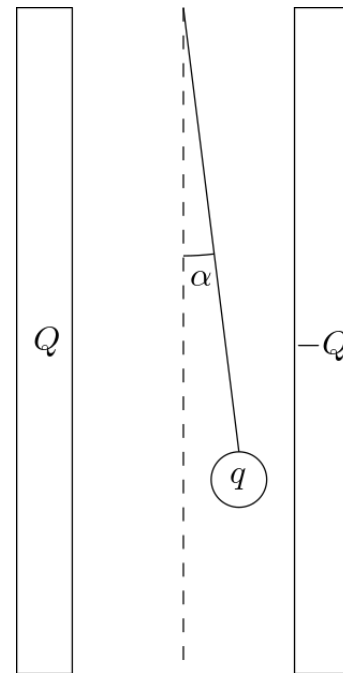
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F_e}{F_g} = \frac{qU}{mgd}$$

- q chceme co nejmenší, současně $\operatorname{tg} \alpha$ viditelné
- Zvýšení napětí, ale s omezeními
 - Probíjení, záleží na el. pevnosti materiálu
 - Polarizace?
- Menší hmotnost kuličky
- Tíhové zrychlení neovlivníme
- Menší vzdálenost desek
 - Jde přímo proti požadavku, že $\operatorname{tg} \alpha$ má být viditelné
 - Současně omezuje poloměr kuličky $r \rightarrow$ menší r , lepší

Uspořádání zařízení

A lightweight ball is suspended from a thread in the area between two charged plates. If the ball is also charged it will be deflected to one side at a certain angle. What is the accuracy of such a device for measuring the amount of charge on the ball? Optimise your device to measure the smallest possible charge on the ball.

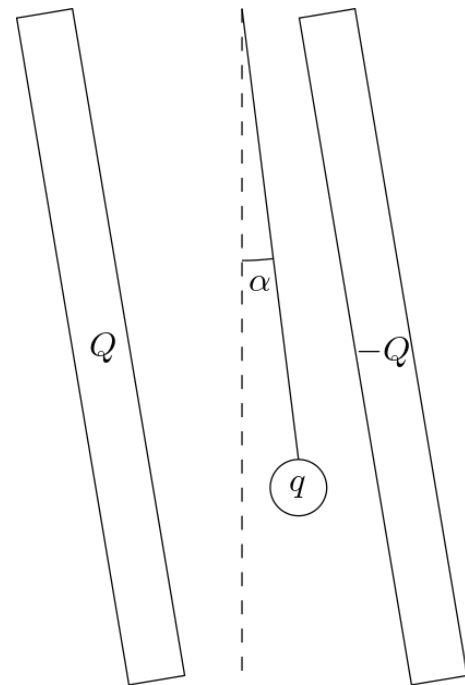
- Jediná interpretace?
 - Ne... Pouze začátek



Uspořádání zařízení

A lightweight ball is suspended from a thread in the area between two charged plates. If the ball is also charged it will be deflected to one side at a certain angle. What is the accuracy of such a device for measuring the amount of charge on the ball? Optimise your device to measure the smallest possible charge on the ball.

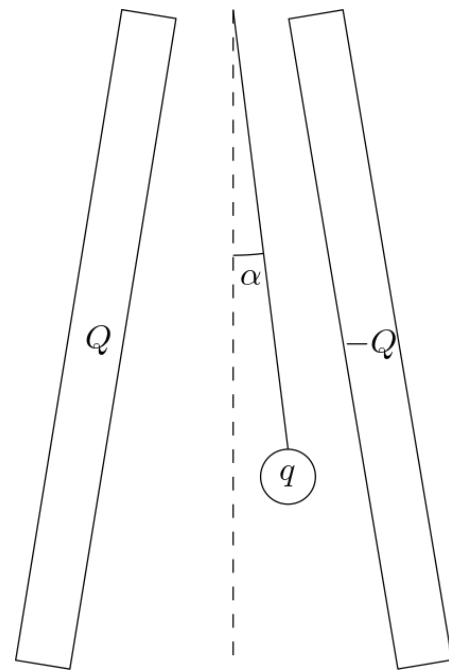
- Kde v zadání vidíte “vertical”?
- Asi můžete mít v řešení pouze svislé desky, ale pokud by se hodilo použít jinou orientaci, zadání tomu nebrání.
- Zadání asi brání vodorovnému umístění (nedojde k výchylce)
- Začínají se komplikovat výpočty
 - V náčrtu již nejsou desky přímo proti sobě



Uspořádání zařízení

A lightweight ball is suspended from a thread in the area between two charged plates. If the ball is also charged it will be deflected to one side at a certain angle. What is the accuracy of such a device for measuring the amount of charge on the ball? Optimise your device to measure the smallest possible charge on the ball.

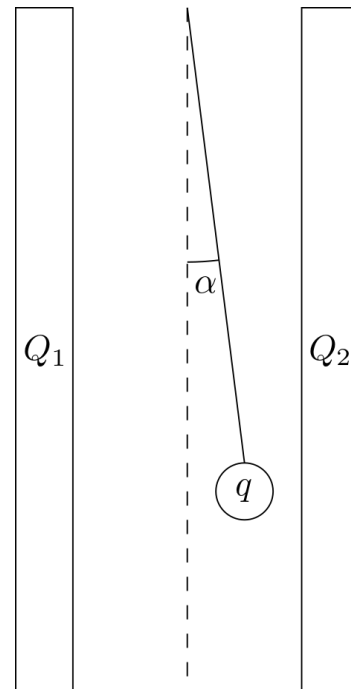
- Je v zadání “parallel”?
- Další možné variace ve 3D
- Vztah pro deskový kondenzátor už nemůžeme použít bez úprav



Uspořádání zařízení

A lightweight ball is suspended from a thread in the area between two charged plates. If the ball is also charged it will be deflected to one side at a certain angle. What is the accuracy of such a device for measuring the amount of charge on the ball? Optimise your device to measure the smallest possible charge on the ball.

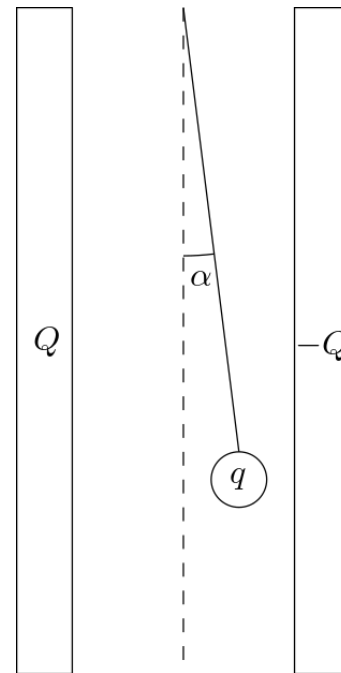
- Mají mít desky stejný náboj opačného znamení?
- Obě desky musí mít nějaký náboj



Uspořádání zařízení

A lightweight ball is suspended from a thread in the area between two charged plates. If the ball is also charged it will be deflected to one side at a certain angle. What is the accuracy of such a device for measuring the amount of charge on the ball? Optimise your device to measure the smallest possible charge on the ball.

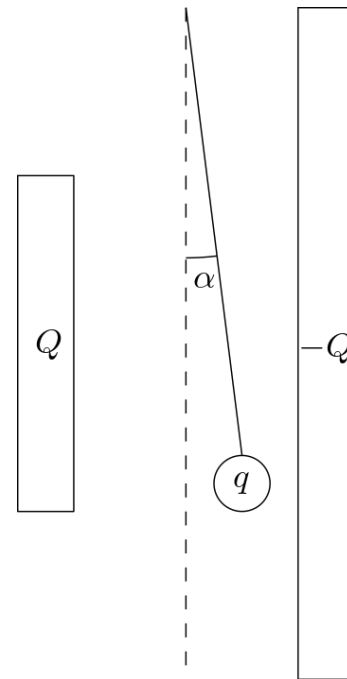
- Má být kulička ve vzduchu? Nutně ne
- Elektricky pevná tekutina může omezit probíjení
- Kapalinou se zmenší "efektivní" g (musíte započíst vztlakovou sílu) → potenciální výhoda
- Náměty
 - [3M™ Novec™ 1230](#) (zhášecí kapalina)
 - $> 170 \text{ kV/cm}$ ~ 7x pevnost čistého N_2 , čirá kapalina
 - $1,6 \text{ l/dm}^3$, snadno se vypařuje, nižší σ než u vody
 - může vyjít draho, [stahuje se z trhu...](#)
 - Transformátorový olej, elektricky pevné oleje etc.
 - Musí být průhledný/průsvitný
- Akorát má být kulička "lightweight"... V kapalině bude lehčí...



Uspořádání zařízení

A lightweight ball is suspended from a thread in the area between two charged plates. If the ball is also charged it will be deflected to one side at a certain angle. What is the accuracy of such a device for measuring the amount of charge on the ball? Optimise your device to measure the smallest possible charge on the ball.

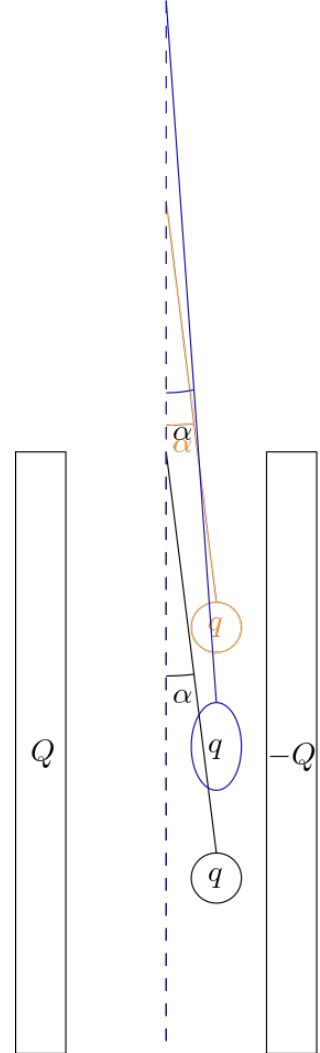
- Musí být desky stejně velké?
- Různé → asi zbytečná komplikace



Uspořádání zařízení

A lightweight ball is suspended from a thread in the area between two charged plates. If the ball is also charged it will be deflected to one side at a certain angle. What is the accuracy of such a device for measuring the amount of charge on the ball? Optimise your device to measure the smallest possible charge on the ball.

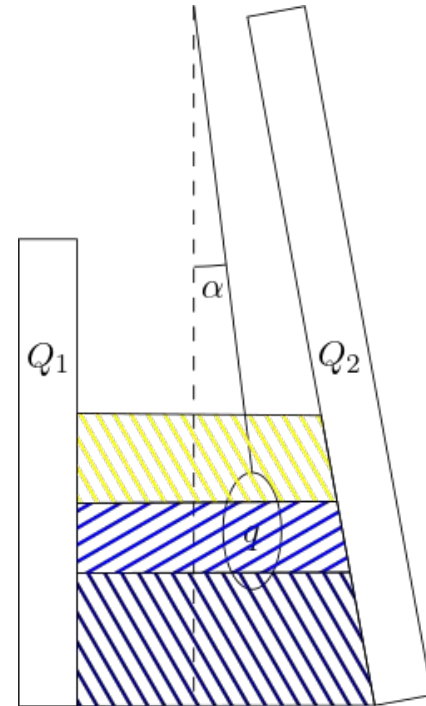
- Místo a délka závěsu?
- Dlouhý závěs \rightarrow větší výchylka pro stejný úhel \rightarrow lépe měřitelné (kamerou apod.)
- Co nejvíce kulatý míček?
 - Opět asi praktičtější než jiný
- Uprostřed kondenzátoru (3D) nejvíce homogenní pole
- Roli může hrát materiál závěsu
 - Opět bude asi vhodné potlačit



Využití všech volností = potenciální komplikace?

A lightweight ball is suspended from a thread in the area between two charged plates. If the ball is also charged it will be deflected to one side at a certain angle. What is the accuracy of such a device for measuring the amount of charge on the ball? Optimise your device to measure the smallest possible charge on the ball.

- Musí vůbec na vlákně viset? Nestačí aby plaval?
 - Raději hustota míčku > hustota tekutiny
 - Pro kapaliny bude lepší trochu těžší míček než ve vzduchu
- Kombinace tekutin
 - Asi zbytečně složitější výpočet i realizace
 - Probije v místě nejméně el. pevné tekutiny
- Složité určení pole obecně



Na co by bylo dobré si odpovědět? Další náměty?

- Bude lepší vodivý, nebo nevodivý materiál míčku?
 - Hraje roli pouze povrch, nebo i vnitřek míčku?
Rozložení náboje?
- Jakou látku (tekutinu) mít mezi deskami?
- Jaký zdroj náboje (napětí) použít?
 - Vhodný regulovatelný & vysoké napětí (elektrostatický?)
- Ovlivní materiál desek elektrické pole?
- Je pole dostatečně homogenní? Či je potřeba dělat korekce?
- Bude hrát roli polarizace míčku?

Na co by bylo dobré si odpovědět? Další náměty?

- Jakou jinou metodou měřit náboj míčku pro srovnání?
- Jak míček umístit do místa měření bez změny náboje na něm?
- Může se hodit hýbat s deskami?

Na co by bylo dobré si odpovědět? Další náměty?

- Co měřit sílu působící na závěs místo výchylky? Jde o přidané zařízení, ale v principu ne zakázané. Vhodné pouze, pokud umíte měřit malé rozdíly sil.
+ Musí dojít k výchylce pro splnění zadání.
- Hlavně ukázat, že s nějakou určitelnou (ne)přesností dokážete měřit co nejmenší náboj!
- Ale je dobré mít zařízení, co zvládne široké spektrum velikostí náboje.

Závěr

- Úloha skýtá mnoho možností
- U většiny byste měli být schopní snadno najít argumenty, proč jste vybrali konkrétní uspořádání
- Určitě nemusíte zkoumat všechno, jenom co nejvíce ;-)
- Splňte zadání! Měřit co nejmenší náboj pomocí tohoto zařízení tak, abyste byli schopni určovat chybu.
- “Prodejte” své řešení

Děkuji za pozornost!

Nechť vás provází štěstěna!

Karel Kolář, k.kolar@email.cz

Úvodní soustředění TMF 2024, 21. až 22. 10. 2024