

10. ročník, úloha I. 3 ... ponořit se či neponořit? (4 body; průměr ?; řešilo 71 studentů)

Velká nádoba je naplněna tekutým dielektrikem hustoty ρ a relativní permitivity ϵ_r . Na dně nádoby je tenká kovová deska o ploše S . Nad ní plave vodivý hranol hustoty $\rho_0 < \rho$, jehož podstava má obsah S . Na hranol přivedeme elektrický náboj Q (viz obr. 1). Jak ovlivní elektrické pole hloubku ponoru hranolu, víte-li, že

- deska na dně je uzemněna,
- deska není uzemněna?

Zaveďte takové zjednodušující předpoklady, abyste byli schopni úlohu řešit, a pokuste se odhadnout chybu, kterou vaše zjednodušení do výsledku vnesou.

Pro jednoduchost budeme předpokládat, že je deska stejně velká jako podstava plovoucího kvádru a vrstva nevodivého dielektrika mezi nimi je dostatečně tenká na to, aby v ní bylo elektrické pole homogenní.

Pokud je deska na dně uzemněná, nabije se opačným nábojem stejné velikosti jako kvádr. Systém pak bude podobný deskovému kondenzátoru a velikost elektrické intenzity v něm můžeme vyjádřit jako

$$E' = \frac{U}{d} = \frac{Q}{Cd} = \frac{Q}{\epsilon S}$$

Jedna deska samozřejmě vytváří pouze poloviční intenzitu

$$E = \frac{Q}{2\epsilon S}$$

a na kvádr působí síla

$$F = QE = \frac{Q^2}{2\epsilon S},$$

kteřá se musí vykompenzovat přírůstkem síly vztlakové. Všimněte si, že síla nezávisí na vzdálenosti hranolu a dna. Změna hloubky ponoru tedy bude

$$\Delta h = \frac{F}{\rho g S} = \frac{Q^2}{2\epsilon S^2 g \rho}.$$

Jestliže však tento výraz vyjde větší než byla výška původně neponořené části hranolu, k vyrovnání sil nedojde, hranol klesne až na dno, kde se vybijí, a pak se vrátí zpět do počáteční polohy.

Pokud deska na dně uzemněná není, budou se na ní pouze indukovat povrchové náboje, jejichž silové působení se však vykompenzuje, používáme-li výše popsané přiblížení.

Kdybychom měli úlohu řešit beze všech aproximací, museli bychom numericky propočítat pole v dielektriku s uvažováním povrchových nábojů, které zde budou hrát určitou roli i v případě, že je deska nekonečně tenká. V jejím středu se totiž v důsledku větší intenzity pole kvádrů budou indukovat náboje opačného znaménka, než má kvádr, a tyto náboje pak budou chybět na okraji. Přitažlivá síla se tedy vytvoří v každém případě.

Michal Fabinger

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty UK MFF. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci UK MFF a podporován Ústavem teoretické fyziky UK MFF, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.