

Martin Macháček

Proč se kondenzátor vybije?

*Rozhledy matematicko-fyzikální*, Vol. 81 (2006), No. 1, 25–28

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/146129>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2006

Institute of Mathematics of the Czech Academy of Sciences provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.

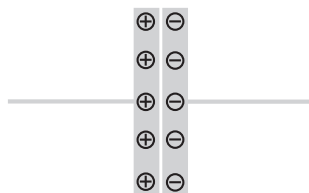


This document has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://dml.cz>

## Proč se kondenzátor vybije?

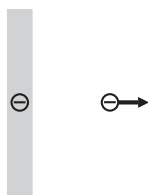
*Martin Macháček, Ondřejov*

Když vodivě spojíme kladnou a zápornou elektrodu nabitého kondenzátoru, kondenzátor se vybije. Elektronů ze záporné elektrody se tedy budou pohybovat směrem *od kladné elektrody* (obr. 1). Proč, když je přece kladná elektroda přitahuje značnou silou?

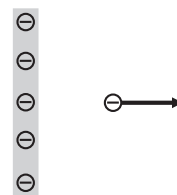


Obr. 1

Abychom na tuto otázku odpověděli, připomeňme, co je podstatou kondenzátoru. Představme si nejdřív, že shromažďujeme elektrony na osamoceném vodiči ve tvaru desky. První elektron dostaneme ze země na vodič snadno, žádnou sílu překonávat nemusíme. Při přidávání druhého elektronu (obr. 2) už musíme konat práci, protože překonáváme odpudivou sílu prvního elektronu (na obrázku je naznačena šipkou). Čím víc elektronů na vodiči je, tím větší práci  $W$  musíme vykonat při přenesení dalšího elektronu ze země na vodič, protože síla, která tento elektron odpuzuje, je větší (obr. 3).



Obr. 2

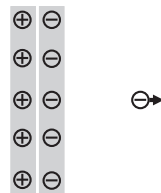


Obr. 3

*Napětí*  $U$  našeho vodiče vzhledem k zemi je tato práce (potřebná k přenesení) dělená nábojem:  $U = W/e$ . Přímo úměrně k tomu, jak náboje na vodiči přibývá, se zvětšuje odpudivá síla, tím i práce  $W$ , a tím i napětí  $U = W/e$  vodiče vzhledem k zemi.

*Kapacita* vodiče je podíl  $C = Q/U$ . Protože u osamělého vodiče je i při malém náboji  $Q$  napětí  $U$  velké, je tento podíl malý. Kapacita osamělého vodiče, jak je naznačen na obr. 2 a 3, je tedy malá.

Jestliže však v blízkosti vodiče, který nabíjíme záporně, je jiný vodič, který současně nabíjíme kladně, pak se odpudivá síla elektronů na záporném vodiči skládá s přitažlivou silou kladných iontů na kladném vodiči a výsledná odpudivá síla je daleko *menší* (obr. 4). Práce potřebná k přenesení dalšího elektronu ze země na záporný vodič je tedy také menší, a proto je menší i napětí mezi zápornou deskou a zemí.



Obr. 4

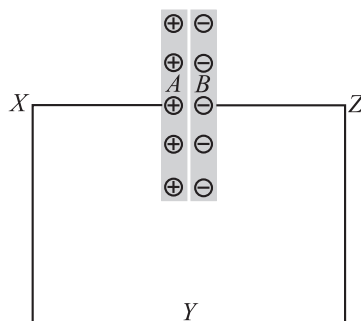
Druhou desku nabijeme kladně velmi snadno: spojíme ji vodivě se zemí. Jak nabíjíme první desku záporně, elektrony z druhé jsou vypuzovány směrem do země a druhá deska tedy automaticky získá „správný“ kladný náboj. Napětí mezi zápornou deskou a zemí je pak současně napětím mezi zápornou deskou a kladnou deskou; kapacita je rovna náboji na jedné desce dělenému tímto napětím mezi deskami.

Vhodným geometrickým uspořádáním obou desek lze dosáhnout toho, že se pole záporného a kladného náboje „co nejdokonaleji“ vyruší, tedy že kapacita je co největší. Za prvé je výhodné, když je vzdálenost obou desek co nejmenší. Za druhé je výhodné, když mají desky hodně velký obsah, protože když stejný náboj rozložíme na velkou plochu, jeho plošná hustota je malá, tudíž je malá i intenzita elektrického pole v jeho blízkosti. Proto se kondenzátory dělají ve tvaru desek přiložených těsně k sobě a platí známý vztah mezi obsahem desek, jejich vzdáleností a kapacitou kondenzátoru.

Podstatné ovšem je, že práce nutná k přenesení dalšího elektronu na zápornou desku je *stále kladná*, i když menší než u izolovaného vodiče. To proto, že když se s elektronem blížíme „z vnějšku“ k záporné desce, je přitahující kladná deska vždy *dál* než odpuzující deska záporná; jejich síly se tedy nevyrovňají přesně. Názorně je to vidět na běžně známých obrázcích siločar elektrického pole okolo dvou opačně nabitých elektrod. Takový obrázek je např. v učebnici [1] (obr. 1-15 na str. 23); vpravo od záporné elektrody má elektrické pole směr doleva, to znamená, že tam působí na záporný elektron elektrická síla směrem doprava,  *pryč od záporné elektrody*. Na obr. 1-13 je v učebnici [1] i fotografie z experimentu, při kterém jsou tyto siločáry zviditelněny zrnky krupice na oleji okolo dvou přibližně bodových elektrod. Z obou obrázků je patrné, že elektrické pole je nenulové *všude* v okolí elektrod, že tedy na elektron v okolí záporné elektrody vždy působí odpudivá síla.

Změníme-li tvar elektrod z malých kuliček na větší ploché desky, změní se samozřejmě detailní tvar siločar, ale tato obecná vlastnost zůstane zachována. Pole na *vnější straně desek* bude sice daleko slabší než mezi deskami, ale určitě nebude nulové. Jestliže se tedy v [1] na str. 40 píše „Mezi deskami vznikne homogenní elektrické pole s intenzitou  $E = U/d$ , vně kondenzátoru se pole obou desek vzájemně vyruší“, je to pravda jen přibližně. Pole obou desek se vně kondenzátoru *skoro* vyruší, ale ten nepatrný rozdíl, který zůstane, stále stačí k tomu, aby „postrkoval“ elektrony od záporné elektrody ke kladné.

To, že pole vně kondenzátoru nemůže být nulové, plyne ostatně i jednoduchou úvahou ze zákona zachování energie (obr. 5). Kdyby totiž bylo pole jen mezi deskami a jinde by se vyrušilo, mohli bychom nabítkou částic obíhat okruh  $AXYZBA$ ; mezi deskami (v úseku  $BA$ ) by na náboj působila elektrická síla, ale ve zbylé části okruhu už ne. Při každém oběhu bychom tedy získali nenulovou práci, aniž by se na okolí něco změnilo – měli bychom perpetuum mobile.



Obr. 5

Ze zákona zachování energie tedy plyne, že práce získaná na úseku  $BA$  je přesně stejně velká jako práce „ztracená“ (tj. práce, kterou musíme vykonat my) na úseku  $AXYZB$ . Na úseku  $BA$ , mezi deskami, je ovšem velká síla a malá dráha, na úseku  $AXYZB$ , vně desek, je naopak velká dráha a malá síla.

Jestliže spojíme obě elektrody kovovým drátem, elektrické pole se v něm a v jeho okolí ještě před vybitím kondenzátoru změní – volné elektrony v drátu se přemístí a jejich pole se složí s polem nabitých desek. Elektrická síla působící na volné elektrony v kovu bude pak mít směr podél drátu, ne už směr, který ukazují siločáry okolo izolovaných desek kondenzátoru. Nicméně *práce* potřebná k přenesení elektronu z kladné desky na zápornou zůstane stejná – podle zákona zachování energie musíme na přenos elektronu „oklikou“, drátem, vynaložit přesně stejnou práci jako na přenos elektronu nejkratší cestou z jedné desky na druhou. Proto bude elektrická síla odpuzovat elektrony od záporné desky (vybíjet kondenzátor) i v tom případě,

když desky spojíme drátem. To je odpověď na otázku v záhlaví tohoto článku.

Zkusme domyslet, co by se stalo, kdyby bylo elektrické pole vně desek přesně nulové. Pak bychom mohli kondenzátor nabíjet na libovolný náboj s vynaložením nulové práce. Kapacita takového kondenzátoru by byla nekonečně velká, protože potenciál desek by zůstával nulový. A kdyby dokonce síla, která působí na elektrony přenášené na zápornou desku, byla přitažlivá, jak naznačuje úvodní otázka, byla by kapacita kondenzátoru záporná, kondenzátor by se nabíjel sám od sebe, konal by při tom práci, jeho energie  $\frac{1}{2}Q^2/C < 0$  by byla tím menší, čím větší náboj by na něm byl shromážděn ... a skončilo by to nějakým velkým třeskem. Jako vždy, když přestanou fungovat přírodní zákony.

#### Literatura:

- [1] LEPIL, O., ŠEDIVÝ, P.: *Fyzika pro gymnázia. Elektřina a magnetismus*. Praha, Prometheus 2003

\* \* \* \* \*

#### IN VINO VERITAS \*)

*Jakýsi básník řekl: „Celý vesmír je v poháru vína.“ Nikdy se asi nedozvíme, co tím chtěl básník říci; básníci nepíšou proto, aby jim bylo rozuměno. Pravdou však je, že při pozorném pohledu na pohár vína uvidíme celý vesmír. Jsou v něm věci, jimiž se zabývá fyzika: vrtkává tekutina, která se vypařuje v závislosti na větru a počasí, odrazy ve skle a naše představivost přidává atomy. Sklo je destilátem zemských hornin a v jeho skladbě vidíme tajemství vesmírného věku a vývoj hvězd. Jak divná směs chemikálií je ve víně! Jak se tam dostaly? Jsou tam kvasinky, enzymy, substráty a sloučeniny. Ve víně nalézáme velké zobecnění: všechno život je kvašením. Nikdo nemůže objasnit chemii vína, aniž by podobně jako Louis Pasteur neobjevil příčinu mnohých chorob. Jak živé je červené víno vtiskující svou existenci do vědomí, jež ho pozoruje! Jestliže naše chabá mysl z jakýchsi praktických důvodů rozdělí tento pohár vína, tento vesmír, na části – fyziku, chemii, biologii, geologii, astronomii, psychologii atd. – pamatujme, že příroda o tom nic neví. Proto složme to všechno zpět dohromady a nezapomeňme nakonec, čemu má sloužit. Ať nám připraví ještě jedno, závěrečné potěšení: vypijme ho a na všechno zapomeňme!*

*Richard Feynman (pil červené)*

\*) Z publikace *Historiky o slavných matematicích a fyzicích* autora Ivana Štolla, Praha, Prometheus 2005