

K čemu se hodí stará dobrá žárovka, aneb fyzikálně nostalgické ohlédnutí za jedním zajímavým technickým zařízením

PAVEL KONEČNÝ

Přf, Masarykova univerzita, Brno

Abstrakt

Žárovka je z hlediska fyzikálního principu funkce relativně jednoduché technické zařízení. K efektivní výrobě vlákna žárovky, zejména té klasické na síťové napětí, je však zapotřebí sofistikované technologie. V současné době je žárovka na prudkém ústupu, z velké části v důsledku legislativních opatření. I když možnosti jejího dalšího vývoje vzhledem k vyšší účinnosti zcela vyčerpán nebyl, ve srovnání s jinými fyzikálními principy generování fotonů z viditelného oboru je tepelný zářič z hlediska účinnosti jako zdroj viditelného světla neperspektivní. Ale tam, kde je zapotřebí nahradit slunce nejen v jeho světle, ale i tepelném záření, (chovatelství), tam jsou úsporné zářivky a LED svítidla k ničemu. Nadšení z nových úsporných zdrojů světla nebývají zpravidla ani ti výtvarníci a grafici, kteří ještě netvoří pomocí počítače. Klasická žárovka je docela zajímavá z hlediska školské fyziky. Představuje totiž velmi levnou, na podtlak odolnou průhlednou komůrku se dvěma elektrickými průchodkami, kterou je možné ji využít k pokusům s elektrickými výboji. Vláknem žárovky lze využít jako teplotní čidlo (25W žárovka má ohmický odpor kolem 165 Ω). Vzhledem ke konvektivní cirkulaci ochranné atmosféry kolem horkého vlákna, která vlákno chladí a jejíž intenzita závisí na tíhovém zrychlení, funguje žárovka také jako akcelerometr.

Žárovka jako komůrka pro elektrické výboje.

Žárovky nízkých výkonů s patičí E 27 se toho času prodávají pod názvem „topné těleso“ apod. Mají průměr baňky kolem 55 mm a velmi tenkou stěnu. Za předpokladu kulového tvaru a síle stěny 0.5 mm je při vnějším přetlaku 0.1 MPa sklo zatíženo cca 2,8 N mm⁻² v tlaku. Praktická pevnost masivního skla je udávána 500-2000 MPa na tlak a 40-100 MPa v tahu. Je tedy víc než řádová rezerva pevnosti. To platí ovšem jen za předpokladu, že ve skle není zbytkového pnutí. Proto nelze implozi a explozi vyloučit a je tedy nutno dbát na ochranu zraku všech přihlížejících.

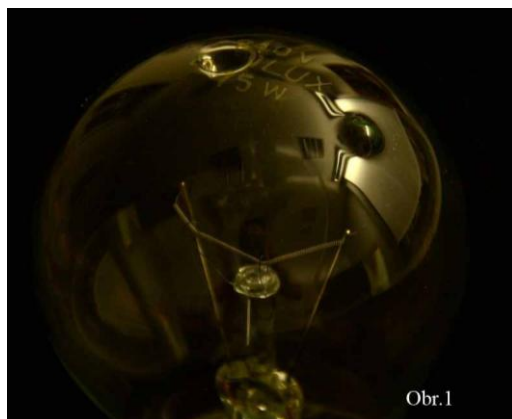
Provrtání otvoru žárovky

„Oficiální“ vstup do žárovky vede tenkou zatavenou trubičkou pod patičí, kterou je třeba odpreparovat (postup viz [1]). Pokud má zůstat patice zachována, což je praktické a pokud není nutno žárovku znovu uzavřít zátavem, je lepší vytvořit otvor přímo ve stěně baňky. Lze to provést různě. Velmi jednoduchý a rychlý způsob je protavením malým soustředěným plamínkem. Vhodné jsou miniaturní hobby propanbutanové hořáčky. Existuje mnoho typů, nejlepší je provedení v podobě zapalovače. Velký

výběr k datu 2014 poskytne internetový vyhledávač po zadání hesla *Plynový pájecí hořák a zapalovač*, v ceně cca 100-400 Kč. Plamínek by měl být ostrý, seřiditelný na průměr centrální části cca 2 mm a délku 10-20 mm. V žárovce plněné ochranným plynem je za studena mírný podtlak, kolem 80 % atmosférického tlaku [1]. Je-li veden plamínek na stěnu žárovky svrchu, protavený otvor má okraj vtažený dovnitř, což je žádoucí, protože do takového otvoru lze zasunout hadičku, popřípadě jej ucpat zátkou. Je-li protavováno zespodu, konvekci se ochranný plyn v žárovce rychleji prohřeje, zpravidla přesáhne atmosférický tlak a sklo se vyfoukne směrem ven. Protavený otvor má průměr v nejširším místě cca 5 až 8 mm. Je nutno si uvědomit, že po takovém zásahu zůstane ve skle v okolí otvoru značné pnutí. Zkušenost ukazuje, že další zapravování okrajů otvoru plamínkem nebo pokus o relaxační žihání velmi výrazně zvyšuje pravděpodobnost popraskání žárovky. Stejně tak zabrušování okrajů otvorů. Při těchto operacích je třeba dbát na ochranu zraku brýlemi nebo štítem!

Určení podtlaku či přetlaku

Uvedeného postupu lze použít pro důkaz podtlaku či přetlaku v žárovce. Pro omezení ohřevu ochranné atmosféry použijeme co nejostřejší plamínek. Působíme jím na stěnu baňky shora a velmi krátce jen do změknutí skla. Podtlak nebo přetlak pak prozradí důlek nebo kopeček ve skle. Například u vypnuté a následně zapnuté žárovky viz obr. 1. Opět je třeba zdůraznit nutnost ochrany zraku brýlemi nebo štítem!



Obr. 1

Demonstrace elektrického výboje v plynech

K demonstracím elektrických výbojů v plynech za sníženého tlaku je zapotřebí buďto sady speciálních trubic, nebo vakuové komory s průchodkami a vývěvou s mezním tlakem cca 1 Pa a čerpací rychlostí od 1 l/s. V školních podmínkách přichází v úvahu v podstatě jen dvoustupňová rotační vývěva. Cena nové je cca deset tisíc až několik desítek tisíc. Vyřazené laboratorní vývěvy, u kterých obvykle stačí propláchnutí a naplnění kvalitním rotačkovým olejem, lze sehnat zhruba o řád levněji. Namátkově velmi dobrá laboratorní vývěva Československé provenience VRO 05/2 i s motorem, údajně nepoužitá, za cca 13 000 Kč.

Jako vakuovou komůrku lze použít žárovku s přepáleným vláknem, s otvorem v baňce, kterou přisajeme přes o kroužek k vývěvě. Vstup vývěvy je nutno náležitě chránit před nasátím nečistot a zejména v případě imploze skleněných střípků alespoň jemným sítkem, nejlépe sítkem, úhlovou expanzní komůrkou a dalším sítkem.

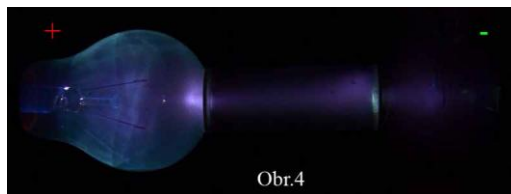
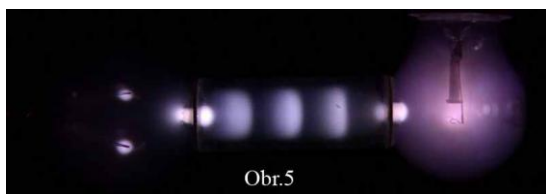
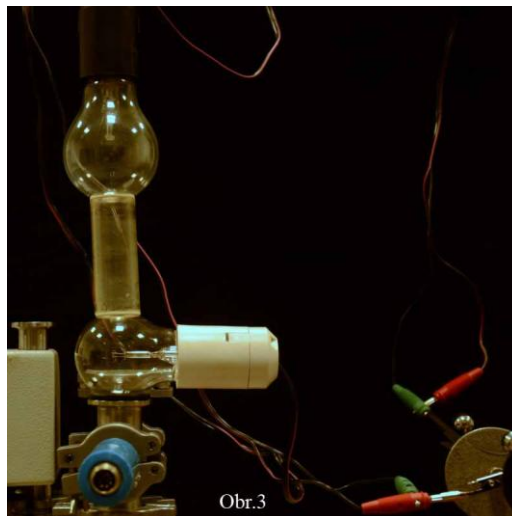
Zajímavější efekty umožňuje uspořádání dvou žárovek spojených skleněnou trubičkou. V popsaném experimentu byla použita trubička délky 74 mm vnější průměr 28mm a vnitřní



Obr. 2

24mm. Na oba konce trubičky je nalepena silikonovým lepidlem silikonová guma tloušťky cca 1mm jako těsnění. Sestava viz obr.2.

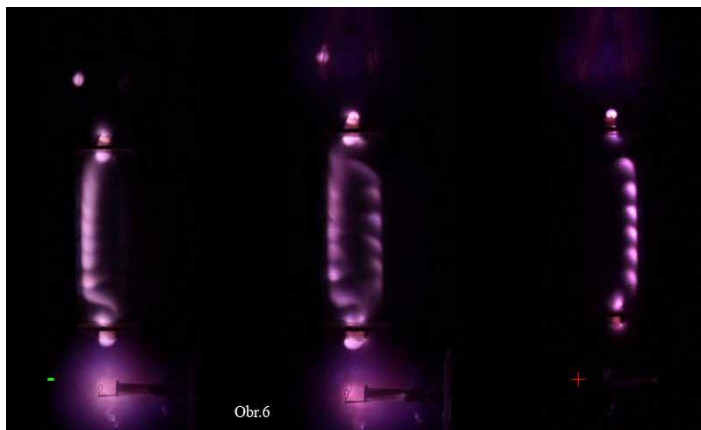
Žárovka u vývěvy musí mít otvory dva, nejlépe proti sobě, celek drží pohromadě atmosférickým tlakem. Natékání přes o kroužky a silikonová těsnění nehraje pro tlaky nad 1Pa větší roli. Celá sestava je dobře patrná z následujícího obrázku. Napájena je z Ruhmkorffova generátoru (dále R. g.), kde vysokonapěťový pulz vzniká vždy při rozepnutí obvodu primární cívky, při sepnutí vzniká napětí nižší a s opačnou polaritou. VN pulz má kladnou polaritu na spodní žárovce. V levém dolním rohu je vidět Piraniho vakuová měrka.



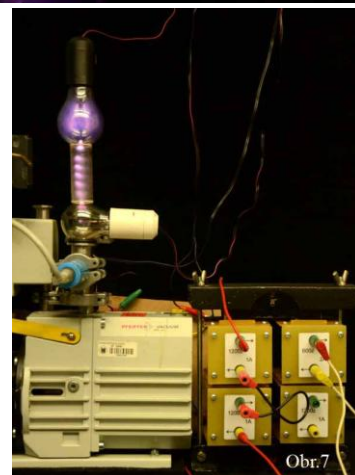
Obr 4. Expoziční doba 1/10 s, zdroj VN: R. g., polarita vyznačena, tlak cca 3 Pa. Na baňce na snímku vlevo (horní baňka) je pozorováno světélkování skla.

Obr 5. Expoziční doba 1/200 s, zdroj VN: R. g., tlak $p > 10\text{Pa}$, polarita pravděpodobně opačná.

Pro vyšší tlaky se výboj zapaluje v obou fázích. To je patrné z rozštěpení výboje po přiložení magnetického pole (vektor magnetické indukce směřuje kolmo z nákresny), Viz obr 6. Z leva do prava: dolní elektroda záporná, obě fáze, dolní elektroda kladná Synchronizační čas je 1/200, expoziční doba 1/400.



Zápalné napětí je tedy nižší. V takovém případě je výhodnější použít vysokonapěťový rozptylový transformátor doplněný usměrňovačem, výstup je lépe definován. Velmi měkký transformátor lze vytvořit spojením dvou U jader rozkladných transformátorů proti sobě. Viz Obr. 7. Na takto vzniklý magnetický obvod je možno umístit více cívek a získat jejich kombinacemi víc variant transformačního



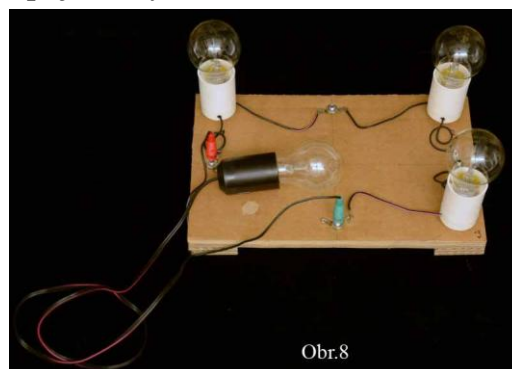
poměru. Vstup transformátoru je napájen z regulačního transformátoru. Spodní žárovka je připojena na kladné napětí. Tlak dle Piraniové měřky cca 80Pa. Na obr. 7, výboj v trubičce hoří v magnetickém poli feritového magnetu, magnetická indukce leží v nákrese.

Žárovka jako detektor zrychlení

Standardní klasická žárovka je pro potlačení sublimace W drátku plněna ochrannou atmosférou na cca 80% atmosférického tlaku [1]. Za takového tlaku se kolem žhavého vlákna vytváří konvektivní proudění, které jej ochlazuje. Intenzita a chladicí účinek tohoto proudění závisí na řadě parametrů, jedním z nich je tíhové zrychlení. Při nulovém tíhovém zrychlení by konvektivní proudění nevzniklo, teplota vlákna by byla za daných podmínek maximální. Přes efekt změny tíhového zrychlení zrychlením kinematickým se superponuje řada dalších jevů, především náklon žárovky, teplota okolí (okolního vzduchu) respektive teplota povrchu žárovky, intenzivní tepelné a světelné záření. Vzhledem poměrně vysoké hodnotě teplotního koeficientu elektrického odporu wolframu, cca $4,5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ jsou i poměrně malé změny teploty vlákna detekovatelné.

Pomocí jednoduchého můstkového zapojení jsou výše popsané jevy detekovatelné. Stačí k tomu obyčejný školní „bakelitový“ demonstrační přístroj s modulem 3-0-3 mA (vnitřní odpor 10Ω), zdroj cca 40 V DC a zapojení čtyř 25 W žárovek do Wheatstoneova můstku, z toho jedna pohyblivě na kabelu. Viz obr. 8

V tomto zapojení lze spolehlivě detekovat zrychlení žárovky v řádu ms^{-2} a změny teploty žárovky kolem 100 C. Uvedený miliampérmetr není optimální, sice umožňuje detekci změny v obou polaritách a je poměrně rychlý, zato má pro měření na můstku příliš malý vnitřní odpor. Vhodnější by byl voltmetr s rozsahem $\pm 1\text{V}$, což zhruba odpovídá změně tíhového zrychlení z 1g na 3g.



Obr.8

Literatura

- [1] H. G. Riveros, A. I. Oliva: *Experiment tests pressure in light bulbs*. 2006 Phys. Educ. 41. s.487,