

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Josef Hubeňák

Od uhlíkové žárovky k moderním zdrojům světla

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 55 (2010), No. 2, 111–124

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/141946>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2010

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*.



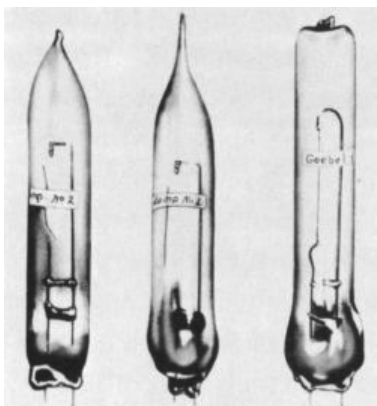
This document has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://dml.cz>

Od uhlíkové žárovky k moderním zdrojům světla

Josef Hubeňák, Hradec Králové

Žárovky, zářivky, výbojky jsou všude kolem nás a kdykoliv potřebujeme světlo, stačí otočit vypínačem. Postupný vývoj těchto zdrojů světla je příběhem, který začíná v polovině 19. století a dodnes nekončí.

Předchůdcem žárovky byly zdroje světla s rozžhaveným platinovým drátkem, známé ve 40. letech 19. století. Platina neoxiduje, je ale drahá a proud několika ampér brzy vyčerpá galvanické články, které sloužily pro napájení. První pokusy s platinovým drátkem patří siru Humphry Davymu. Pro žárovkové světlo ještě nebyly vhodné podmínky, navíc bylo již známé skvělé světlo elektrického oblouku. První pokusy s elektrickým obloukem popsal v knize vydané 1803 ruský vědec Vasilij Vladimírovič Petrov, v roce 1811 experimentuje s elektrickým obloukem také sir H. Davy a řešení stabilního oblouku přináší Jean Bernard Léon Foucault, Pavel Nikolajevič Jabločkov (vojenský inženýr žijící ve Francii) a pak ing. František Křížík (1880). Technika se často vrací k pozapomenutým principům a dnes oblouk svítí i v datových projektorech. Vraťme se ale k žárovce.



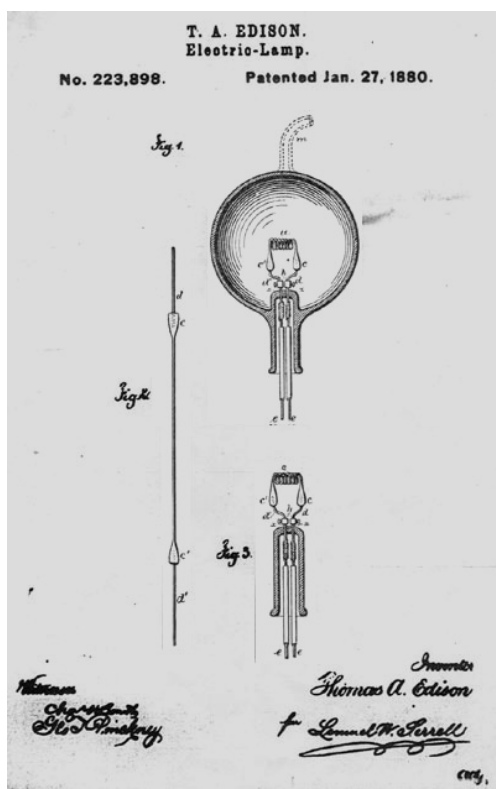
Obr. 1. Žárovky Heinricha Göbela – New York 1854

Na začátku vývoje žárovky byl Heinrich Göbel, jemný mechanik z Hannoveru, který v roce 1848 otevírá v New Yorku hodinářskou a optickou dílnu a do výkladu instaluje v roce 1854 osvětlení s uhlíkovou žárovkou vlastní výroby (obr. 1). Používá zuhelnatělé bambusové vlákno uchycené na drátcích a celek je zataven do vyčerpáné skleněné

Doc. RNDr. JOSEF HUBEŇÁK, CSc., Univerzita Hradec Králové, Pedagogická fakulta, Nám. Svobody 301, 500 02 Hradec Králové, e-mail: Josef.Hubenak@uhk.cz

baňky. Evakuace byla jednoduchá a účinná: hotovou žárovku naplnil rtutí a tu pak nechal vytéci tenkou trubičkou do nádoby se rtutí (Torricelliho pokus). Evakuovanou žárovku pak uzavřel zatažením čerpací trubičky – na snímku jsou její zbytky patrné nahoře. Jako zdroj proudu používal baterii galvanických článků, a to bránilo rozšíření elektrického světla.

Další vynález patří Thomasu Alva Edisonovi. Ten si byl vědom komerčního významu elektrické žárovky a intenzivně hledá vhodnou technologii. Ještě uprostřed experimentů s různými zuhelnatělými vlákny přihlašuje patent na uhlíkovou žárovku s vláknem z bavlněné příze (4. 11. 1879) a patent je mu udělen 27. ledna 1880. Z laboratorního deníku lze vyčíst, co vše Edison zkoušel: bavlněné a lněné příze, bambusové třísky, saze, grafit, papírové proužky atd. Do výroby však připravil žárovku s bambusovým vláknem a opatřil ji kovovou patičkou se závitem, jak ji známe dodnes, viz obr. 2.



Obr. 2. Patentová listina – Edisonova žárovka

Edisonova uhlíková žárovka svítila načervenalým světlem a její životnost byla v průměru 600 hodin. Byla citlivá na otřesy a pro výrobu nebylo snadné kombinovat sklo, kovy a křehké zuhelnatělé vlákno. Ve vysokém vakuu rozžhavené vlákno z uhlíku poměrně rychle sublimuje, a to omezuje životnost žárovky. V Evropě pokračovalo hledání vhodného kovu pro vlákno žárovky a bylo zřejmé, že rozhodující je dosažení

co nejvyššího bodu tání. První úspěch patří rakouskému chemikovi jménem Karl Auer von Welsbach. V roce 1900 použil pro vlákno žárovky osmium s bodem tání 3050° C.

Osmium bylo ale velmi těžce zpracovatelné a vlákna se vytvářela tak, že prášek osmia a organické pojivo daly pastu, z té se vytlačilo vlákno, které se vypálilo a procházející proud slil k sobě povrchy zrn. Šlo o základ práškových technologií. V roce 1903 byla v Berlíně vyrobena první žárovka s tantalovým vláknem. Tantal má jen o něco nižší bod tání 2996° C, je ale tažný a výroba vlákna je poměrně snadná. Má bohužel menší rezistivitu a uvnitř žárovky bylo třeba umístit až 70 cm dlouhé vlákno, aby mohla pracovat s napětím 110 V. V roce 1905 Auerova společnost vyvinula vlákno z wolframu – opět práškovou metodou. Technologii zpracování wolframu poté zdokonalili v Americe ve firmě General Electric tak, že bylo možné vyrábět wolframová vlákna tažením. Klasická wolframová žárovka byla zdokonalena v r. 1912 tím, že místo vakua byl použit plyn, vlákno bylo svinuto do šroubovice a nakonec v r. 1934 do dvojité šroubovice. Plynová náplň omezila sublimaci wolframu i nebezpečné lokální přehřívání a vlákno dosahuje potřebných teplot asi 2800° C při nižším příkonu.

Významným a zatím posledním krokem byl vynález halogenové žárovky z roku 1959. Od roku 1950 probíhaly v laboratořích General Electric experimenty s baňkou z taveného křemene a vyššími teplotami wolframového vlákna. Rychlou sublimaci kovu a černání křemenné trubice se podařilo odstranit příměsí jódu – Elmer Fridrich a Emmet Wiley. Podrobné vysvětlení účinku halového prvku podal chemik Edward Zubler a halogenovou žárovku s obvyklou patičí, která může být použita bez dalších úprav svítidla, má patentovanu Frederick Mosby (obr. 3). Princip je ve sloučení halogenů s wolframem, který se uvolnil sublimací. Po vypnutí proudu se rychleji ochlazuje vlákno, na něm kondenzuje sloučenina wolframu s halovým prvkem a při dalším rozžhavení vlákna dojde k rozkladu na wolfram, který zůstává na vlákně a halový prvek se vrací do plynné náplně žárovky. Původní jódomá příměs je dnes nahrazena sloučeninami bromu a také fluoru. Halogenky poskytují podstatně vyšší světelný tok než klasická wolframová žárovka se stejným příkonem. V současnosti je měrný výkon klasických žárovek o příkonu do 150 W až 15 lm/W, kdežto u některých typů halogenových žárovek se běžně dosahuje 20 lm/W, a to při dvojnásobné době života. Také spektrum světla halogenové žárovky je bližší dennímu světlu, díky vyšší provozní teplotě.

Malý přehled vývoje žárovky

| Typ | Rok | Měrný výkon (lm/W) | Život zdroje T(h) |
|---|------|--------------------|-------------------|
| Uhlíková, vakuová | 1879 | 2 | 600 |
| Osmiová, vakuová | 1900 | | |
| Wolframová, vakuová, přímé vlákno | 1905 | 6–8 | 1000 |
| Wolframová, s plynem, – vlákno svinuté do šroubovice | 1912 | 9 | 1000 |
| Wolframová, s plynem, – vlákno svinuté do dvojité šroubovice | 1934 | 12–15 | 1000 |
| Halogenová | 1959 | 20–26 | 2000 |

(Převzato z [1] a upraveno)

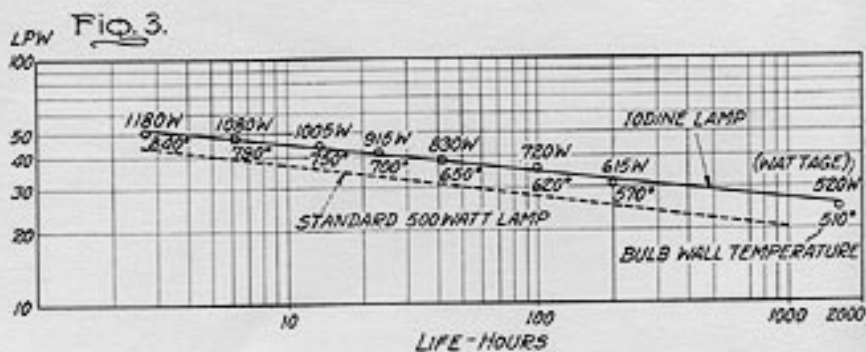
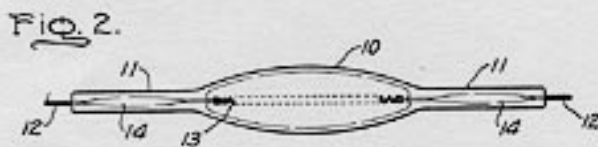
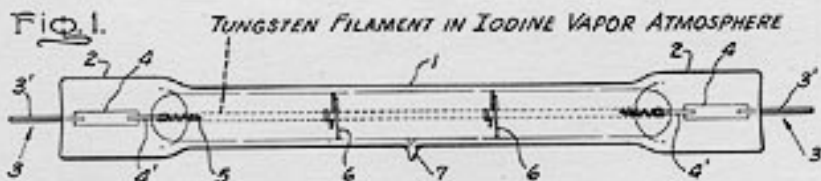
April 21, 1959

E. G. FRIDRICH ET AL

2,883,571

ELECTRIC INCANDESCENT LAMP

Filed March 3, 1958

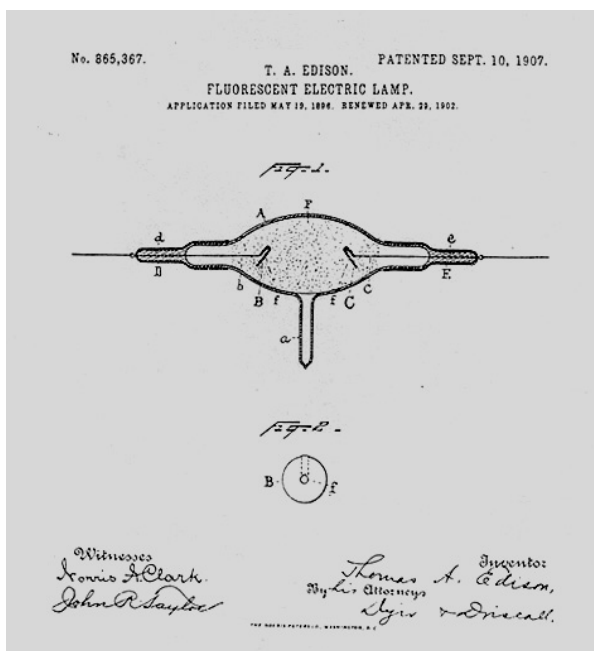


Inventors:
Elmer G. Fridrich,
Emmett H. Wiley,
by *Otto Felsky*
Their Attorney.

Obr. 3. Patentová listina halogenové žárovky

Zářivky – nízkotlaké výbojky

Zářivky, ačkoliv je vnímáme dnes jako velmi moderní zdroje světla, mají také svou stoletou historii. Počátek lze připsat profesorovi Plückerovi (Julius P., 1801–1868), který jako profesor matematiky a fyziky na univerzitě v Bonnu v letech 1857 až 1858 spolu s Johannem Wilhelmem Hittorfem experimentoval se spektrálními trubnicemi. Ty zhotovil sklář Heinrich Geissler. Plücker objevil v roce 1859 katodové paprsky a také fluorescenci jimi vyvolanou při dopadu na různé anorganické látky.



Obr. 4. Edisonův patent na fluorescenční zářivku s rentgenovým zářením

Když v roce 1895 oznámil Wilhelm Conrad Röntgen objev „paprsků X“, začal také Edison sérii pokusů s rentgenovými lampami vlastní konstrukce. Již v roce 1896 pracuje na fluorescenční lampě, ovšem jde o fluorescenci wolframnanu vápenatého, buzenou rentgenovými paprsky (obr. 4). Na tuto lampu získal v roce 1907 patent, ale do výroby a do prodeje se tento zdroj světla nedostal. Dnes můžeme říci naštěstí nedostal. Karcinogenní účinky rentgenového záření nebyly v té době obecně známy a taková lampy by byla životu nebezpečná. Konečně ani Edison v pokusech v této oblasti nepokračoval, zvláště po smrti asistenta Clarence Dally, způsobené zřejmě předávkováním paprsky X. Předchůdkyněmi dnešních zářivek byly neonové trubice, používané pro reklamní účely. Zářivky v dnešním pojetí, tj. s výbojem v parách rtuti a se žhavenými elektrodami se začaly vyrábět až ve 30. letech 20. století. Výboj poskytuje převážně ultrafialové záření a pro převod na viditelné světlo se využívá fluorescence. Luminofory jsou sírníky, oxidy nebo fosfáty různých kovů, které zachytí fotony s krátkou vlnovou délkou a vyzáří fotony ve viditelné oblasti. Ve 30. letech se

začínalo se zářivkami v USA a v Německu; dnes existuje celá řada zářivek, určených nejen pro osvětlovací účely. Volbou luminoforu a náplně je možné vyrobit zářivky, jejichž světlo se dá využít i k jiným účelům:

- zářivky germicidní pro ničení mikroorganismů, bakterií, plísní, kvasinek a virů,
- zářivky erytemální pro použití v soláriích,
- „černé zářivky“, tj. ultrafialové zářivky pro buzení fluorescence a luminiscence (ty znají dobře návštěvníci diskoték a v bankách se používají pro kontrolu bankovek).

Parametry typické zářivky FH28W/830E provozované s elektronickým předřadníkem (viz www.osram.cz):

| | |
|---|---------|
| příkon | 28 W |
| průměr | 16 mm |
| délka | 1200 mm |
| napětí výboje | 166 V |
| proud | 170 mA |
| světelný tok | 2700 lm |
| měrný výkon samotné zářivky bez předřadníku | 97 lm/W |
| index podání barev R_a ¹⁾ | > 80 |

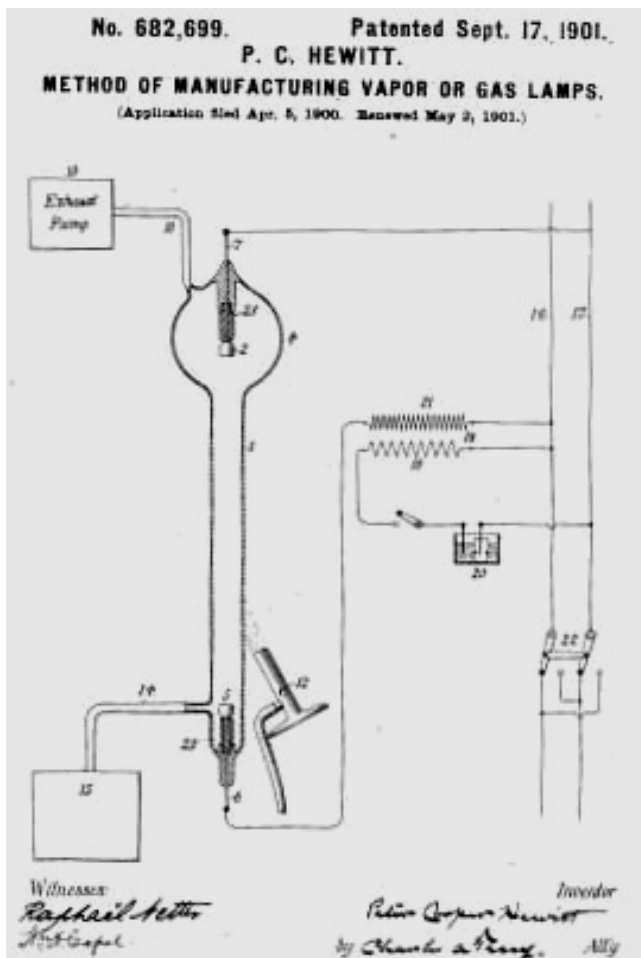
Život zářivek je podstatně delší než život žárovek. Při četnosti spínání 8 krát za 24 hodin vydrží 8000 až 12000 hodin a světelný tok poklesne asi na 85 %. To se uvádí pro lineární zářivky s indukčním předřadníkem. S kvalitním elektronickým předřadníkem doba života vzroste až na 15000 h a pokles světelného toku je menší (8 %). Klasická zářivka je dnes nahrazována kompaktní zářivkou s integrovaným předřadníkem. Má tutéž patici jako žárovka a kupujeme ji pod názvem „úsporná zářivka“. V principu jde o stejný systém, jen místo střídavého proudu s frekvencí 50 Hz je frekvence podstatně vyšší – 25 až 50 kHz.

Výbojová trubice tzv. indukčních zářivek nemá elektrody (viz obr. 14) a je sekundárním vinutím transformátoru. Pracují s frekvencí 225 kHz a vyšší.

Vysokotlaké výbojky

Peter Cooper Hewitt (1861–1921) získal první patent na rtuťovou vysokotlakou výbojku 17. září 1901. Tehdy používané Edisonovy žárovky měly účinnost kolem 5 % a zbytek elektrické energie měnily na teplo. Hewitt využil již známého jevu – výboje v plynech poskytovaly světlo také – a experimentoval s výbojem ve rtuťových parách. Ve vyčerpané trubici začínal výboj ve zbytku rtuťových par jako výboj doutnavý, rtuť odpařená z elektrod postupně zvyšuje tlak a výboj se stává výbojem obloukovým. Hewittovy rtuťové lampy měly až osmkrát lepší účinnost při přeměně elektrické energie na světlo a byly používány tam, kde modrozelené světlo a nepřirozené barvy nevadily. Je zajímavé, že tato světla svítala na scéně ve filmových ateliérech Hollywoodu v době,

¹⁾ Index podání barev charakterizuje věrnost vjemu barev ve světle daného zdroje. Dokonalý barevný vjem odpovídá $R_a = 100$.



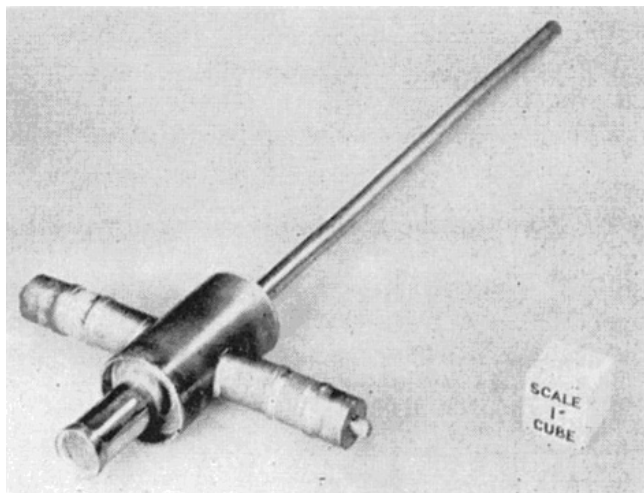
Obr. 5. Patent na vysokotlakou rtuťovou výbojku

kdy se používal jen černobílý film. Z patentové listiny je vidět, jak Hewitt řešil zapálení výboje při startu: použil impulzní transformátor.

Dnes rtuťové výbojky impulzní zapalování nepotřebují a zapálení výboje je řešeno vloženou třetí elektrodou.

Podání barev je upraveno tím, že celá výbojka je uvnitř skleněné baňky, pokryté zevnitř vhodným luminoforem. Hewittovy lampy byly také předchůdkyněmi rtuťových usměrňovačů pro velké proudy (řádově stovek ampér), které se používaly před nástupem výkonových polovodičových diod.

Dalším krokem byl objev vysokotlakých sodíkových výbojek. Na obr. 6 je jedna z prvních, vyvinutá v laboratořích britské firmy BLI v šedesátých letech minulého století. V korundové trubici hoří oblouk v parách sodíku a světlo vychází jen safírovým okénkem. Dnes se používají sodíkové výbojky, dávající intenzivní žluté světlo k osvětlování křižovatek, ulic a všude tam, kde podání barev je méně důležité než jejich



Obr. 6. Vysokotlaká sodíková výbojka

skvělá účinnost — 50 % energie přemění na světlo. Technologicky jsou ale náročnější, než výbojky rtuťové — hořák je např. 10 cm dlouhá trubička z čistého korundu (syntetický polodrahokam) o průměru 8 mm a start výboje zajišťuje impulzní zdroj s 5 kV na výstupu. Výrobu sodíkových výbojek v bývalém Československu úspěšně zavedla TESLA Holešovice a korundové trubice byly vyvinuty ve Výzkumném ústavu elektrotechnické keramiky Hradec Králové.

Porovnání parametrů vysokotlakých výbojek, obě s příkonem 250 W, pro síť 230 V a 50 Hz:

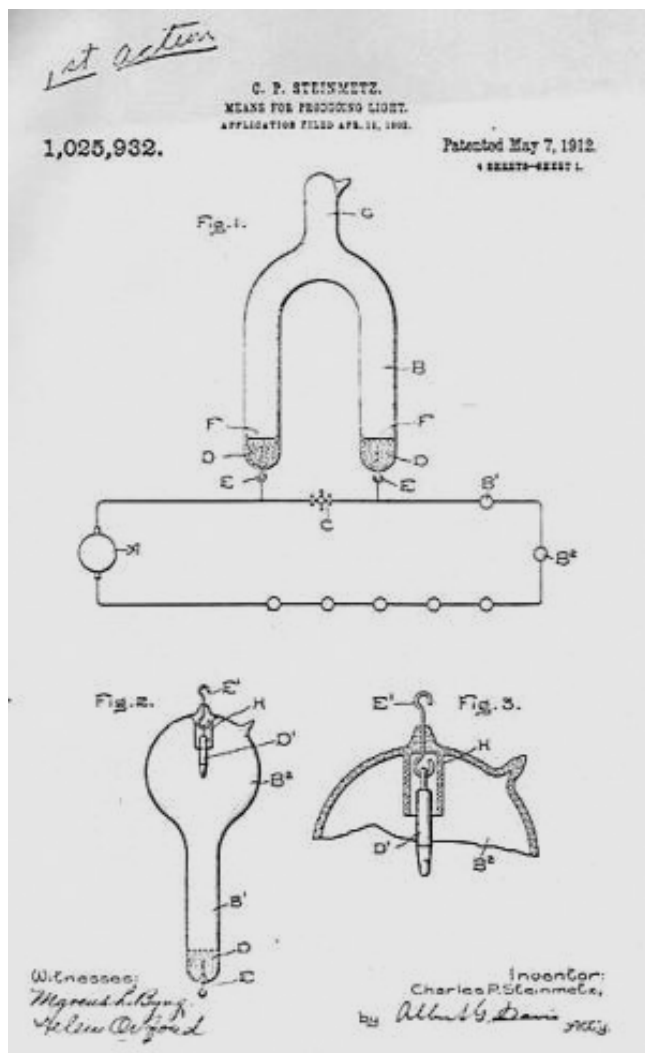
| | | |
|---------------------|----------|----------|
| | Hg | Na |
| zápalné napětí | 180 V | 5 kV |
| provozní napětí | 130 V | 100 V |
| proud ²⁾ | 2,15 A | 3,0 A |
| světelný tok | 12000 lm | 20000 lm |

Halogenidové výbojky

První rtuťové výbojky, které byly doplněny halovými sloučeninami kovů pro lepší podání barev, pocházejí z roku 1912.

Patentová dokumentace ukazuje řešení, které použil Charles Proteus Steinmetz (nar. 1865, Wroclaw, zemřel 1923, Schenectady, USA): výbojka má dva zásobníky se rtuť, na povrchu rtuť je vrstva halogenidu jiného kovu a po zapálení výboje se vytvoří elektrický oblouk (obr. 7). Nedostatkem byla nestabilita obloukového výboje. Teprve v roce 1960 se v laboratořích General Electric vrací fyzik Gilbert Reiling ke kombinaci

²⁾ Do série je zapojena tlumivka, takže proud je vůči napětí fázově posunut.



Obr. 7. Steinmetzova halogenidová výbojka

rtuť + kovové halogenidy a v roce 1964 obdržel patent na halogenidovou výbojku. Výboj hoří mezi wolframovými elektrodami v prostoru naplněném parami rtuti a jodidy ceru, samaria, cesia, sodíku, skandia, thalia, dysprosia a india. UV záření se mění přímo ve výboji na viditelné světlo a poměr příměsí umožňuje „namíchat“ výsledné spektrum blízké dennímu světlu. Halogenidové výbojky jsou zdrojem světla pro datové projektory a pro kvalitní zpětné projektory. Mají opět jen dvě elektrody a pro zapálení se používá impuls vysokého napětí, který musí vytvořit zapalovací obvod.

Parametry jedné z takových výbojek:

Philips, CDM-TD/942, příkon 150 W, teplota chromatičnosti 4200 K, světelný tok 12000 lm.



Obr. 8. Xenonová výbojka pro reflektory

Xenonové výbojky vysokotlaké

Výboj v xenonu za vysokého tlaku byl prvně použit v roce 1954 firmou OSRAM (dnes Sylvania Osram) pro filmové projektory. Ve spektru jsou vlnové délky od 200 nm až do 1500 nm a teplota chromatičnosti je 6000 K.

Z dosud používaných zdrojů se nejvíce blíží dennímu světlu. Pro reflektory automobilů je určena xenonka D1S OSRAM :

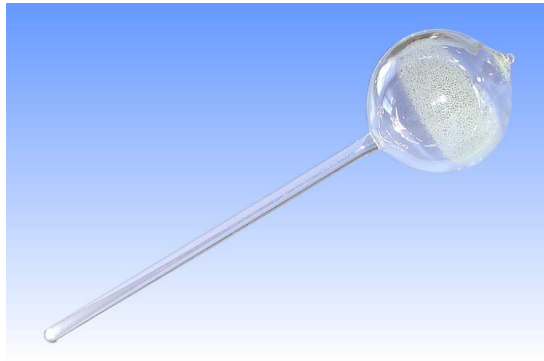
| | |
|--------------------|-------------------------------------|
| příkon | 35 W |
| světelný tok | 3200 lm |
| měrný světelný tok | 91 $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$ |
| barevná teplota | 4250 K |
| střední jas | 6500 $\text{cd}\cdot\text{cm}^{-2}$ |
| doba života | 1500 h |
| délka oblouku | 4,2 mm |

Pro zapálení výboje potřebuje napětí 600 V, a proto je vybavena speciálním předřadníkem, který ze 12 V vyrobí potřebný pulz a po zapálení udržuje proud asi 3 A.

Mikrovlnná výbojka s parami síry

Posledním objevem v osvětlovací technice je patrně mikrovlnná výbojka s parami síry.

Byla vytvořena v letech 1986 až 1990 Michaelem Ury a patent vlastní společnost Fusion Corp. Maryland v USA. V křemenné baňce je argon a na stěnách kondenzát síry. Ve vysokofrekvenčním poli magnetronu se síra odpaří, tlak vzroste na 5 atmosfér a bezelektrodový výboj poskytuje spojitě spektrum s maximem okolo 510 nm. Světelná účinnost je až 70%. Nevýhodou je zelený nádech výsledného světla a buzení výboje magnetronem. Optimálních hodnot dosahuje tato výbojka při výkonech nad 1 kW a



Obr. 9. Mikrovlnná výbojka

dosud se běžně nevyrábí. Na obrázku je výbojka, vyrobená na Technické univerzitě v Eindhovenu pro firmu Philips, z roku 1999.

Parametry:

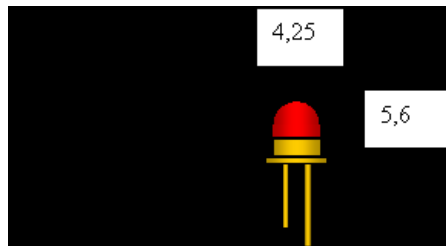
| | |
|--------------|-----------|
| příkon | 1000 W |
| frekvence | 250 kHz |
| materiál | křemen |
| průměr | 36 mm |
| světelný tok | 130000 lm |
| měrný výkon | 130 lm/W |

LED – světelné diody

V osmdesátých letech minulého století se v katalogu TESLA objevily první světelné diody československé výroby. První v řadě byla LQ 100, zářící červeným světlem. V katalogu najdeme údaje:

| | |
|-------------------------------|--------------------|
| svítivost | $0,8 \geq 0,2$ mcd |
| proud | 20 mA |
| napětí | $1,65 \leq 2$ V |
| vlnová délka λ_{\max} | 660 nm |

Jen pamětníci si ještě vzpomenou na rubínově zbarvenou diodu se zlatavým kovovým pouzdem na obr. 10.



Obr. 10. První LED z katalogu TESLA

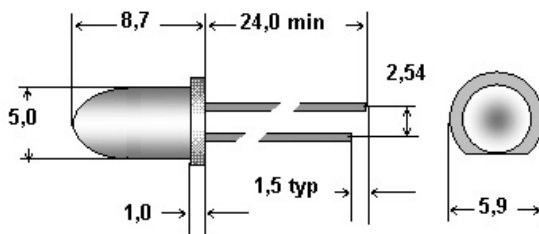
PN přechod schopný emitovat fotony byl vytvořen v GaAs. Ačkoliv dioda svítí červeně, zdaleka nejde o monochromatické světlo. Pološířka spektrální charakteristiky byla 150 až 300 nm.

Galium fosfidové diody bez příměsí září zeleně s maximem na vlnové délce 565 nm a žlutého světla lze dosáhnout příměsí teluru, zinku a kyslíku. Modře svítící diody měly PN přechod vytvořen v karbidu křemíku a příměsí dusíku, hliníku a bóru posouvaly dominantní vlnovou délku od 458 nm do 620 nm [2]. Děj, při kterém vznikají fotony, je přechod elektronu z polovodiče N do P a zachycení děrou. Přebytek energie elektron odevzdá mřížce a vzniká teplo; pouze 1 až 10 elektronů ze sta vytvoří při tomto ději foton.

Více než třicet let vývoje světelných diod podstatně změnilo parametry a dnes při stejném příkonu mají svítivosti hodnoty o čtyři řády vyšší. Několik příkladů z nabídky dodavatele OSHINO Lamps:

| Typ | | barva | λ_{\max} | proud I | napětí U | svítivost |
|------------|---------|----------------|------------------|---------|----------|-----------|
| SUR 50010, | InGaAlP | červená | 641 nm | 20 mA | 1,9 V | 7400 mcd |
| SUY 50010, | InGaAlP | žlutá | 590 nm | 20 mA | 2,0 V | 6200 mcd |
| SPG 50020, | GaN | zelená | 523 nm | 20 mA | 3,5 V | 7000 mcd |
| SUB 50010, | GaN | modrá | 470 nm | 20 mA | 3,5 V | 2500 mcd |
| SUW 50010, | GaN | bílá | | 20 mA | 3,2 V | 20000 mcd |

Konstrukčně jsou si uvedené typy zcela podobné:



Obr. 11. Rozměry LED

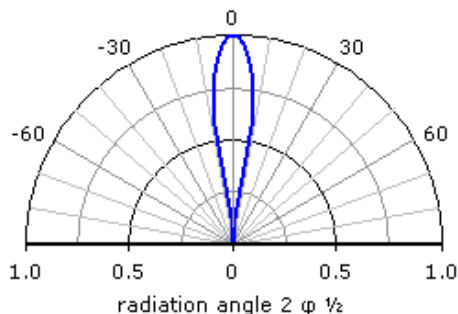
Na vysoké svítivosti se podílí soustředění světelného toku do malého vyzařovacího úhlu, což je dobře vidět na polárním grafu svítivosti na obr. 12.

LED s vysokou svítivostí a malým vyzařovacím úhlem se pro běžné osvětlování nehodí.

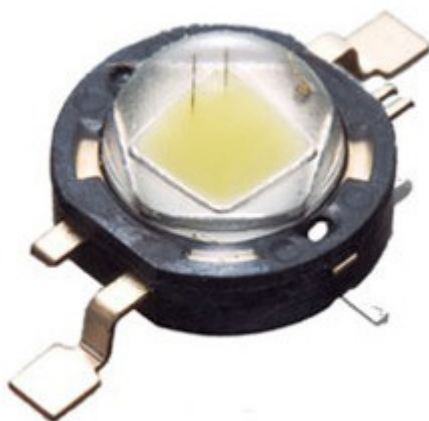
V posledních letech se dostávají na trh diody s velkým vyzařovacím úhlem a značným světelným tokem. Např. fy Seoul Semiconductor nabízí typ Z Power LED P4 s těmito parametry: napětí $V_F = 3,25$ V, proud $I_F = 350$ mA, teplota chromatičnosti 4000 K, index podání barev 93, vyzařovací úhel 124° , světelný tok 72 lm. Výpočtem zjistíme měrnou účinnost 63 lm/W a jsou již LED, které mají až 100 lm/W.

Z výkonových LED je třeba odvádět teplo, aby nedošlo k přehřátí polovodiče.

To se týká především současných výkonových LED a na obrázku 13 je patrná masivní kovová podložka pod čipem a prvky pro odvod tepla.



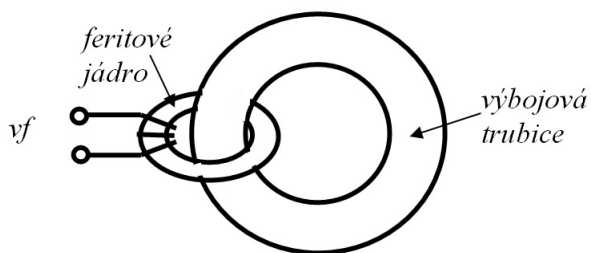
Obr. 12. Polární graf svítivosti



Obr. 13. Z Power LED P4 (72 lm)

Závěr

Vývoj elektrického osvětlení je dokladem schopnosti mnoha vynikajících vynálezců – známých i méně známých – uplatnit poznatky fyziky, zvládnout nezbytné technologie a vytvořit zdroje světla, dostupné každému. V příspěvku jsou uvedeni pouze sir Humphry Davy, Vasilij Vladimírovič Petrov, Jean Bernard Léon Foucault, Pavel Nikolajevič Jabločkov, František Křížík, Heinrich Göbel, T. A. Edison, Karl Auer von Welsbach, Elmer Fridrich a Emmet Wiley, Frederic Mosby, Edward Zubler, Julius Plücker, J. W. Hittorf, Heinrich Geissler, Wilhelm Conrad Röntgen, Clarence Dally, Charles Proteus Steinmetz, Gilbert Reiling s Michaellem Ury. Výsledky dnešní týmové práce již nelze připisat jednotlivcům a vývoj pokračuje dále. Obdiv si ale zaslouží každý z těch, kdo se podíleli na vývoji světelných zdrojů, a pro čtenáře, zvláště začínající fyziky a techniky, může být takové seznámení s historií dobrou inspirací.



Obr. 14. Princip a skutečná indukční výbojka.

L i t e r a t u r a

- [1] MIŠKAŘÍK, S.: *Moderní zdroje světla*. SNTL Praha 1979.
- [2] SVEČNIKOV, S. V.: *Základy optoelektroniky*. SNTL Praha 1975.

Doporučené odkazy

www.acriche.com/en/
www.oshino-lamps.de
www.pre.cz
www.energetik.cz
www.novalamp.cz
www.lighting.philips.com
www.uhp.philips.com
www.osram.cz
www.xenony.cz
www.americanhistory.si.edu/lighting/index.htm
www.sylvania.com
www.gelighting.com