

Plazmová koule

J. Filipská, F. Křížek, A. Letkovský

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1

jana.filipska@seznam.cz, krizefi1@fjfi.cvut.cz

Abstrakt

Za použití upraveného trafa, elektrody, skleněné koule, inertních plynů a dalších potřebných součástí se pokusíme sestrojít plazmovou kouli podobnou těm, které se prodávají v obchodech jako bytové dekorace. Pomocí sestrojené koule budeme zkoumat vliv napětí a použitých plynů na emitované světlo a intenzitu pozorovaných jevů. Případně provedeme další drobné pokusy.

1 Úvod

Plazma obecně je považováno za čtvrté skupenství hmoty a tvoří 99% hmoty ve vesmíru, ačkoliv na Zemi se běžně prakticky nevyskytuje. V oblasti výzkumu je dnes plazma velmi horkým tématem, hlavně ve spojení s termojadernou fúzí, která je nadějí lidstva na ekologický a nevyčerpatelný zdroj energie.

Plazmová koule je zajímavá fyzikální hříčka, která se používá pro dekorativní i výukové účely. Jejím autorem je fyzik William Parker, který ji v roce 1973 zkonstruoval při pokusech s elektrickými výboji v neonu a argonu. Plazmové koule byly nejvíce populární v 80. letech minulého století, kdy se staly efektním doplňkem interiéru téměř každé futuristické vědecké laboratoře ve sci-fi filmech.

2 Princip

Koule funguje tak, že v nádobě obsahující inertní plyn je umístěna elektroda, s jejímž povrchem plyn samozřejmě nereaguje. Elektroda je napájena vysokonapěťovým a vysokofrekvenčním zdrojem. Toto vysoké napětí okolo 20 kilovoltů způsobuje rozklad plynu a díky vysokým frekvencím se elektrické pole dostává i skrze sklo do okolního vzduchu. Při dostatečném napětí elektrony opouštějí elektrodu a při srážce s atomem nebo molekulou tyto částice ionizují a rozkládají. (Tento elektron musí mít minimální energii, tuto energii nazýváme ionizačním potenciálem). Negativní elektrony odtržené od jádra a pozitivní ionty se v plazmě pohybují a tím mění strukturu elektromagnetického pole. Veškeré tyto částice, jak elektrony, ionty, ale i atomy a molekuly v tomto poli díky přijaté tepelné energii excitují a začnou vyzařovat energii ve formě fotonů. Tento proces dává plazmě charakteristickou barvu záření, která je určena teplotou (v tomto případě tedy napětím) a typem použitého plynu. Viditelnost a množství vytvořené plazmy samozřejmě závisí i na materiálu ze kterého je naše elektroda.

Důležitou složkou pro pozorování tohoto jevu je i tlak v prostředí. I po tom co je v kouli vytvořeno částečné vakuum, stále obsahuje stovky miliard částic. Tím pádem nižší tlak v kouli zvyšuje délku dráhy, kterou musí elektron urazit, než se střetne s nějakou částicí. Toto tvoří prostor pro rozšíření plazmových proudů do většího prostoru. Harmonickým pohybem se zvětší dráha elektronu a tím se zvětší pravděpodobnost nabuzení nebo ionizace

srážkou s atomem. Pro zvětšení ionizace je dále příznivá okolnost, že amplituda kmitavého pohybu elektronu je srovnatelná s volnou dráhou elektronu. Částice v kouli mají samozřejmě tendenci stoupat k vrcholu, proto mají plazmové proudy při menším tlaku tendenci směřovat k vrcholu koule.

3 Výběr plynu

Co se výběru plynu týče, lehké plyny, jako je helium, se díky své nízké atomové hmotnosti chovají jako zředěný plyn i za normálního tlaku - proto se s ním také plní balóny. Lehký plyn obsahuje hodně atomů a proto je jeho výboj vodivý i při relativně vysokém tlaku, kdy je výboj vysoce svítivý. Ale ionizované helium vyzařuje vzhledem ke svým malým atomům převážně v ultrafialové oblasti, protože drobné atomy poutají své elektrony poměrně silně a plazmová koule plněná čistým heliem září jen nevýrazně modře. Těžší atomy poutají elektrony slaběji a barva výboje se přesouvá do viditelné oblasti spektra. Proto se pro barevné koule používá nejčastěji neon, který září sytě růžově (barvu neonu určitě znáte z doutnavek vypínačů na schodištích).

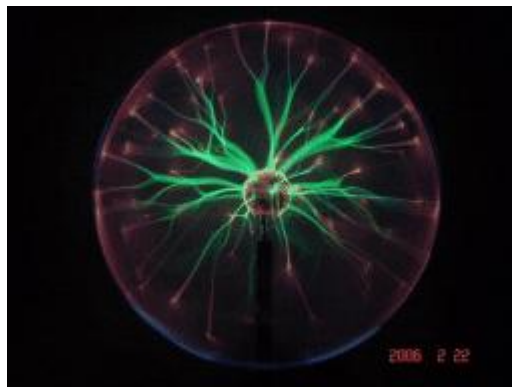
Neon má také výhodu v tom, že se velmi snadno ionizuje, a to dokonce nejsnáze z běžných plynů - zápalné napětí neónové doutnavky je nižší než 70 voltů. K ionizaci plynů dochází přeskoky a nárazy elektronů, které jsou elektrickým polem mezi sklem a centrální elektrodou urychlovány. V čistém vakuu by elektrony mohly postupně získat obrovskou rychlost až několika desítek kilometrů za sekundu - v plynech však dochází k tomu, že jakmile rychlost elektronů dosáhne několika stovek metrů za sekundu, roztříští nárazem na atomy jejich elektronové obaly za uvolnění dalších elektronů, které při návratu zpět k atomům vyzáří energii v podobě světla. Elektrony jsou tak neustále brzděny plynem jako člověk, který se prodírá zástupem a jejich rychlost zůstává víceméně stálá po celé dráze výboje - asi jako když se sněhová vločka snáší k zemi.



Obr. 1 Ilustrační obrázek plazmové koule

Těžké vzácné plyny (krypton, xenon) obsahují v atomech mnoho elektronů, které vyzařují množství čar pro celé šířce spektra - jejich výboje jsou proto velmi svítivé, ale z hlediska barvy poměrně nudné, protože převážně svítí bíle. Těžké atomy však své elektrony uvolňují lavinovitě - nárazem iontu se z atomu vysype mnoho dalších elektronů, které mohou po urychlení ionizovat další atomy. Proto mají tyto plyny sklon k tvorbě trsovitých až keříčkovitých výbojů a přidávají se k lehčím plynům, aby se výboj stal pohyblivější a zajímavější. Nejběžnější plazmové koule (jako je ta svítící růžovofialově na obrázku výše) jsou plněny směsí 95% neonu a 5% xenonu, plazmová koule s oranžovými trsy a zelenými provazci na obrázku níže obsahuje směs 95% neonu s 2.5% xenonu a 2.5% kryptonu při tlaku

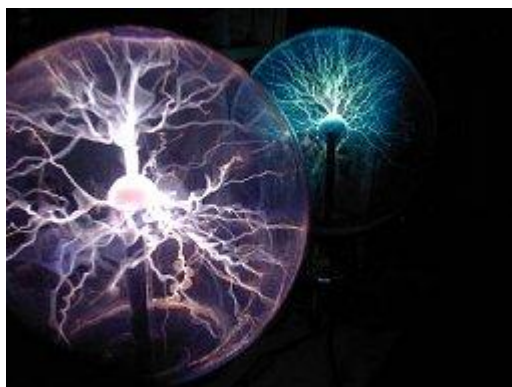
20 torrů. Torr je starší jednotka tlaku pojmenovaná po italském fyziku Torricelim a odpovídá milimetrům rtuťového sloupce, používaném ve rtuťovém barometru. Atmosferický tlak činí asi 760 torrů, za čehož vyplývá, že plyn je v kouli zředěn asi 50x oproti normálnímu tlaku. Jak již bylo uvedeno, provazcovité výboje a trsy vznikají lavinovitým mechanismem, který je při nižším tlaku potlačen, protože ionizované atomy musí urazit velkou dráhu, než se opět srazí. Při nižším tlaku proto v plynu nevznikají provazcovité výboje, jen difúzní **koróna**, která září jen slabě.



Obr. 2 Ilustrační obrázek plazmové koule

4 Tlak

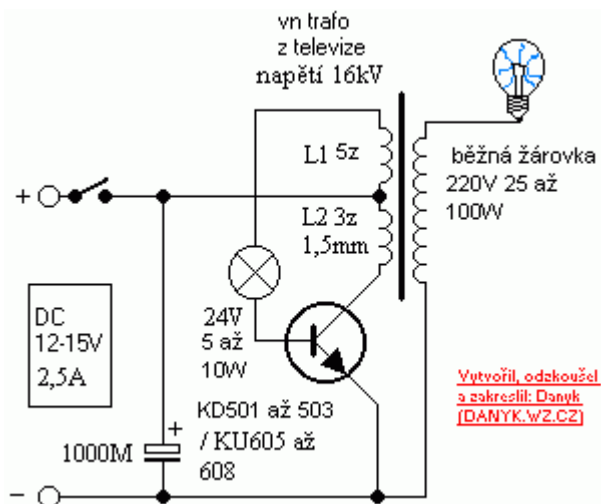
Při vyšším tlaku se výboj stává trsovitý až keříčkovitě rozvětvený jako u normálních blesků a stoupá jeho svítivost, ovšem tím také stoupá zápalné napětí, nutné pro vznik výboje. S rostoucím tlakem také narůstá počet čar ve spektrech v důsledku čím dál složitější vzájemné interakce atomů a mění se v souvislé pásy bez preferovaných barev. Z tohoto důvodu se vysokotlaké xenonové výbojky používají jako zdroje čistého bílého světla v automobilech, kinoprojektorech a všude tam, kde je zapotřebí intenzivní zdroj bodového světla. Výrobci plazmových koulí občas přidávají do plynů různé další přísady podle svých tajných receptů - např. páry bromu nebo jodu, které snižují zápalné napětí směsi plynů a fungují jako "katalyzátory". Jejich atomy vyzařují v silně krátkovlnné, ultrafialové části spektra, čímž okolní plyn ionizují a tím současně zvyšují intenzitu viditelného světla i vodivost výboje.



Obr. 3 Ilustrační obrázek plazmové koule

5 Realizace

Jako zdroj jsme použili VN trafo ze staré (černobílé) televize. Z něj jsme odstranili primární vinutí a navinuli nová (5 závitů a 3 závity) jako je to ve schématu. Sekundární vinutí jsme ponechali. Dále je zde výkonový tranzistor a žárovka sloužící jako odpor a současně signalizace zapnutí (lze jí nahradit odporem 50 až 100 Ohmů na 5 nebo lépe 10W). Kondenzátor snižuje vnitřní odpor zdroje. Napětí je zde asi 16kV a frekvence asi 25kHz. Záporný pól se musí uzemnit. Plazma kouli jsme nejdřív nahradili běžnou žárovkou.



Obr. 4 Schéma zapojení pro plánovaný zdroj

Bohužel naše zapojení bylo nefunkční. Museli jsme tedy použít Rutherfordův generátor.

Jakožto kouli jsme použili sklenici, kterou jsme uzavřeli víkem od krabičky na vakuování potravin. Zaizolovali jsme ji pomocí silikonu. Pomocí vakuové pumpičky (též na potraviny) jsme vysáli vzduch. Dále jsme za pomoci injekční stříkačky jsme pak dovnitř vsřikovali helium. Helium pro nás bylo bohužel jediným dostupným plynem. Na výstup generátoru jsme napojili naši plazmovou „kouli“.



Obr. 5 Odsávání vzduchu z vlastní plazmové koule

6 Závěr

Naším cílem bylo přiblížit princip plazmové koule a experimentálně ji vyrobit. První verze se nezdařila. V druhé plazmové kouli již byly výboje viditelné. Vzhledem k tomu, že helium září jen nevýrazně modře viditelné byly spíše výboje ve vzduchu zbarvené fialově díky velkému podílu dusíku.

7 Poděkování

Chtěli bychom poděkovat Ing. Svobodovi za jeho ochotu a zapůjčení pomůcek předběžné sestavení a vyzkoušení zapojení ve školních laboratořích pro fyzikální praktika.

Reference

- [1] kol. autorů, *Debye length*, http://en.wikipedia.org/wiki/Debye_length
- [2] D. P. Stern, *Plasma*, <http://www-spf.gsfc.nasa.gov/Education/wplasma.html>
- [3] M. Stutz, *Ionization (gas-filled) tubes*
http://www.allaboutcircuits.com/vol_3/chpt_13/9.html
- [4] J. Kleczek, *Velká encyklopedie vesmíru*, Academia, Praha 2002
- [5] Danyk.wz.cz, *Stránky věnované silnoprůdným zapojením*, <http://www.danyk.wz.cz/>
- [6] Milan Petřík, *Jak funguje plazmová koule?*,
<http://petrik.bigblogger.lidovky.cz/c/117003/Jak-funguje-plazmová-koule.html>
- [7] Tomáš Meravý, Jan Mrkos, *Domácí hrátky s plazmatem*,
<http://fyzsem.fjfi.cvut.cz/2009-2010/Zima09/html/zapocty.html>