

C6900 Biofyzikální faktory ŽP

Mgr. Ondřej Jašek Ph.D.

Biofyzikální efekty plazmatu

- Jak definujeme plazma?
- Obvykle se o plazmatu mluví jako o ionizovaném plynu, avšak v běžném prostředí každý plyn obsahuje určité množství nabitých částic např. v důsledku ionizace kosmickým zářením nebo elektrických výbojů v atmosféře
- Pokud vytvoříme dostatečně silné elektrické pole, dojde k urychlení částic a v důsledku vzájemných srážek k ionizaci dalších částic. Tyto částice jsou pak přitahovány k elektrodám a dojde k přeskupení částic (vytvoření prostorového náboje) a k vytvoření nového elektrického pole s opačnou polaritou. Nastane tak zdánlivé (potenciál mezi původními elektrodami je pořád stejný) oslabení původního elektrického pole.
- Poznámka: v češtině rozlišujeme ta plazma (krevní) a to plazma (ionizovaný plyn), angličtina „plasma“ nerozlišuje
- Běžná hmota (složená s kvarků a leptonů) ve Vesmíru je z 99 procent tvořena plazmatem. V běžném životě mimo blesků v atmosféře a ionizací ve vyšších částech atmosféry se s plazmatem setkáváme v podobě světelných zdrojů (kompaktní zářivky, neonové nápisy apod.)

Biofyzikální efekty plazmatu

- Fyzikálně se tedy plazma definuje jako kvazineutrální plyn nabitých a neutrálních částic, který vykazuje kolektivní chování.
- Z této definice můžeme odhadnout několik požadavků na prostředí, které nazýváme plazmatem (nebudeme se zabývat přesnými výpočty těchto parametrů).
- Kolik částic tedy plazma tvoří? Z definice a popsaného mechanismu je zřejmé, že $N_D \gg 1$.
- Index D se vztahuje k tzv. Debeyově sféře tj. kouli o poloměru Debeyovi délky.
- Debeyova délka vyplývá z naznačeného stínícího mechanismu a je mírou stínící vzdálenosti v plazmatu $\lambda_D = 69(T/n)^{1/2}$ [m], pokud je teplota v K, kde T je teplota, n je hustota plazmatu (částic).
- Pro efektivní fungování tohoto mechanismu je pak nutné, aby rozměr plazmatu byl mnohem větší než Debeyova délka $L \gg \lambda_D$
- Poslední podmínka se týká vzájemného působení mezi částice elektrickými silami a jejich srážením a požadujeme, aby charakteristická plazmová frekvence (frekvence oscilace částic způsobena změnou rozložení prostorového náboje) byla větší než frekvence vzájemných srážek.
- Nejjednodušším příkladem výboje je doutnavý vývoj za nízkého tlaku – viz. studijní materiály Martisovits-Zaklady_fyziky_plazmy.pdf strana 107 nebo prezentace https://nanoed.tul.cz/pluginfile.php/626/mod_resource/content/1/5_Stejnosc%C4%9Brn%C3%A9%20v%C3%BDboje.pdf
- Různých režimů výboje se používá k detekci jaderného záření – viz. ionizační komory, proporcionalní počítače, Geiger-Mullerovi počítače)

Biofyzikální efekty plazmatu

- V kvazineutrálním případě je $n_e \approx n_i$, hustota elektronů a iontů je stejná, u slabě ionizovaného plazmatu je počet nabitých částic mnohem menší než neutrálních, u silně ionizovaného plazmatu převažuje počet nabitých částic. Běžně se setkáváme především se slabě ionizovaným plazmatem, vysoko ionizované plazma vyžaduje teploty 10^5 K a výše.
- S hlediska teploty pak v plazmatu rozlišujeme situaci, kdy je teplota neutrálních částic a iontů (mají přibližně stejné hmotnosti) a elektronů (mají mnohem menší hmotnost viz. vlastnosti elementárních částic) stejná, pak mluvíme o izotermickém plazmatu nebo je rozdílná a pak je plazma neizotermické (neutrální plyn může mít několik desítek nebo stovek stupňů Celsia a elektrony tisíce nebo desetitisíce).
- Obecně by bylo možno říci, že za nízkých tlaků je plazma neizotermické, elektrony mají díky menší hmotnosti větší pohyblivost a mohou získat větší střední energii než těžké ionty ve stejném elektrickém poli. Naopak za tlaku atmosférického, kdy jsou hustoty částic velké a dochází k častým srážkám se plazma tzv. termalizuje tj. všechny složky mají stejnou teplotu.
- V plazmové medicíně se však často setkáme s bariérovými výboji za atmosférického tlaku, které jsou neizotermické a vysokoenergetické elektrony zde hrají důležitou roli.
- Přehled neizotermických a izotermických plazmových zdrojů, studijní materiály - brandenburg brno1_basics applications.pdf – strana 14

Biofyzikální efekty plazmatu

- Jakými vlivy tedy plazma působí na živé systémy nebo obecně na své okolí, prostředí, které je s plazmatem v kontaktu.
- Nabité částice – elektrony – díky vysoké energii u neizotermického plazmatu mohou iniciovat chemické reakce nebo nahradit tepelné působení, ionty
- Reaktivní částice – metastabilní (dlouho žijící) částice nebo radikály (reaktivní částice, která má jeden nebo více nepárových elektronů) – zvyšují oxidativní nebo redoxní reakce. Hrají rozhodující roli v aplikaci plazmatu, především za atmosférického tlaku.
- Elektromagnetické záření – především UV, ale také infračervené, viditelné nebo mikrovlnné záření. UV se projevuje především u nízkotlakých výbojů, u atmosférických je často značná část UV absorbována plazmatem a hraje jen minoritní roli.

Biofyzikální efekty plazmatu

- Aplikace plazmatu pro bioaplikace lze rozdělit do několika kategorií
- a) Úpravy povrchů – zde jde především aplikace funkčních vrstev nebo navázání funkčních skupin na povrch, které zajistí zlepšenou adhezi, smáčivost nebo odolnost povrchu nebo vytvoření spojení mezi povrchem a funkční molekulou pro navázání proteinů, antigenu apod. Tyto úpravy mají také výrazný vliv na adhezi a růst buněk na substrátu a lze takto potlačit nebo naopak podpořit růst buněčných kolonií.
- b) dekontaminace a sterilizace povrchů – čištění povrchu od organickým či anorganických látek a likvidace patogenních organismů na povrchu, vyvolání stavu apoptózy (kontrolované smrti buňky) nebo nekrózy, ničení bojových látek. Při nekróze dochází k uvolnění materiálu buňky do okolí což má často negativní účinky, kdežto u apoptózy je proces kontrolovaný a imunitní systém buňky může odstranit.
- c) terapeutické účinky plazmatu - koagulace krve, odstranění tkáně nebo moderní přístup s aktivací procesů uzdravení tkáně.
- Prokaryotické buňky jsou mnohem citlivější než eukaryotické u oxidačního zatížení a toho lze využít při ošetření v plazmatu.

Biofyzikální efekty plazmatu

- Proč plazma působí na živé organismy?
- a) plazma způsobuje zásadní změny v životním prostředí živých organismů (buněk)
- b) generuje oxidační látky, které jsou přítomny v okolí (kapalině), kde žijí buňky a mikroorganismy a tyto vlivy se přenáší i dovnitř buněk
- c) plazma generuje tzv. reactive oxygen species (ROS) a reactive nitrogen species (RNS), tj. reaktivní složky na bázi kyslíku a dusíku; ROS – peroxid vodíku (H_2O_2), ozon (O_3), superoxid anion ($\text{O}_2^{\bullet-}$), hydroperoxyl (HO_2^{\bullet}), alkoxy (RO^{\bullet}), peroxy (ROO^{\bullet}), singlet kyslíku ($^1\text{O}_2$), hydroxylový radikál ($^{\bullet}\text{OH}$), uhličitanový anion ($\text{CO}_3^{\bullet-}$). RNS - oxid dusnatý ($^{\bullet}\text{NO}$), oxid dusičitý ($^{\bullet}\text{NO}_2$), peroxyinitrit (ONOO^-), kyselina dusičná (OONOH) a alkyl kyseliny dusičné (ROONO)
- Generace ROS v malých kontrolovaných množstvích má stimulovat buněčné funkce, zatímco velká množství vedou k trvalému poškození DNA a buněčné membrány a smrti buněk.
- Effects of Atmospheric Pressure Plasmas on Isolated and Cellular DNA—A Review, Int. J. Mol. Sci. 2015, 16, 2971-3016

Atmosférické plazmové zdroje pro biomedicínu – objemový a povrchový bariérový výboj a plazmové trysky, zástupci výrobci a výzkumné instituce

