

Tabuľka 5.1

Emisné konštanty B' (v $\text{Acm}^{-2} \text{deg}^{-2}$) a výstupné potenciály π_a (vo voltach) pri niektorých kovoch

Kov	B'	π_a	Kov	B'	π_a
Pt	1700	6,3	W + Cs	3,2	1,36
W	60	4,5	W + Ba	1,5	1,56
Mo	55	4,2	W + Th	3,0	2,63
Th	70	3,4	W + BaO	1,18	1,84

Príklad 1. Pomocou vzorca (2) a údajov v *tab. 5.1* vypočítame hustotu emisného prúdu pri teplote $1\,000\text{ °K}$: 1. pre čistý volfrám a 2. pre volfrám pokrytý vrstvou cézia. Vychodí:

$$i_1 = 60 \cdot 1\,000^2 \text{ e}^{-\frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 4,5}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 1000}} \approx 1,3 \cdot 10^{-15} \text{ Acm}^{-2}$$

$$i_2 = 3,2 \cdot 1\,000^2 \text{ e}^{-\frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,36}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 1000}} \approx 0,46 \text{ Acm}^{-2}$$

5.2. Ionizácia plynov. Najdokonalejším izolátorom telies, ktorých teplota nie je veľmi vysoká, je absolútne vákuum. Plyny pod vyšším tlakom (aspoň niekoľko torrov) sa aj v silnejších elektrických poliach správajú tiež ako veľmi dobré izolátory. Ich elektrická vodivosť pri týchto podmienkach je veľmi malá, ale možno o nej aj experimentálne dokázať, že sa nikdy nerovná nule. To znamená, že objemová jednotka plynu obsahuje vždy určité množstvo voľných nosičov nábojov. Vo všeobecnosti týmito nosičmi môžu byť elektróny a kladné a záporné ióny. Vo svojich ďalších úvahách budeme však najprv predpokladať, že elektrickú vodivosť plynu zapríčiňujú len kladné a záporné ióny, pretože elektróny, keď sa do plynu nejakým spôsobom dostali, alebo sa v ňom vytvorili, veľmi rýchle sa spájajú s elektricky neutrálnymi molekulami plynu a menia sa takto tiež na záporné ióny.

Pri stretnutí sa kladného a záporného iónu s rovnako veľkými nábojmi (pri plyných iónoch je to najčastejšie jeden elementárny náboj kladný alebo záporný) môže nastať ich spojenie v neutrálnu molekulu. Tento dej sa nazýva *rekombinácia iónov*. Počet n párov iónov schopných sa rekombinovať v objemovej jednotke sa nazýva *koncentrácia iónov*. Možno predpokladať, že takéto dva ióny s opačnými elektrickými nábojmi sa vždy premenia na elektricky neutrálnu molekulu alebo molekuly, kedykoľvek sa stretnú, čiže kedykoľvek sa dostanú do malej vzájomnej vzdialenosti. Pravdepodobnosť stretnutia sa kladného iónu so záporným iónom je úmerná súčinu ich počtu v objemovej jed-

notke, t. j. mocnине n^2 . Pre počet párov iónov rekombinujúcich sa za jednotku času v objemovej jednotke môžeme preto písať:

$$- \Delta n = \gamma n^2 \quad (1)$$

Konštanta úmernosti γ sa nazýva *koefficient rekombinácie*.

Keby sa v plyne diala len rekombinácia iónov, po uplynutí nejakého času by sa všetky kladné ióny plynu stretli a spojili so zápornými iónmi, v plyne by nastala úplná neutralizácia iónov a elektrická vodivosť plynu by klesla na nulu. Skutočnosť, že plyny majú vždy určitú nenulovú elektrickú vodivosť, dokazuje, že okrem rekombinácie iónov v plyne súčasne prebieha aj opačný dej — tvorba iónových dvojíc z neutrálnych molekúl, čo sa nazýva *ionizácia plynu*. Pretože rozštiepenie molekuly na ióny je možné len za spotreby energie, pri ionizácii plynu musí na jeho molekuly pôsobiť určitý činiteľ, ktorý im odovzdáva svoju energiu alebo jej časť. Na plyn môže pôsobiť súčasne aj viac takýchto *ionizačných činiteľov*.

V ovzduší trvale pôsobia títo ionizační činitelia: *kozmičné žiarenie*, ktoré dopadá na našu Zem z vesmíru, a *rádiaoaktívne žiarenia* α , β a γ , vznikajúce pri premenách rádioaktívnych prvkov nachádzajúcich sa v atmosfére a v zemskej kôre. Pôsobením týchto žiarení vzniká v 1 cm^3 plynu za 1 s asi 5 iónových párov.

Ionizáciu plynu vyvolávajú aj *Röntgenove* a *ultrafialové lúče*. Aj vzájomné zrážky molekúl plynu pri ich tepelnom pohybe môžu byť príčinou ich ionizácie. Takáto tepelná ionizácia plynu sa však prejavuje až pri veľmi vysokých teplotách.

Konečne: keď sa plyn nachodí v elektrickom poli, pri dostatočne veľkej intenzite poľa nastáva jeho tzv. *ionizácia nárazom*. Keď je totiž pole dosť silné, ióny, ktoré sú v plyne vždy prítomné a ktoré pole uvádza do zrýchleného pohybu, na svojej voľnej dráhe medzi dvoma po sebe idúcimi zrážkami s molekulami plynu môžu nadobudnúť dostatočne veľkú kinetickú energiu, aby pri svojej nasledujúcej zrážke s neutrálnou molekulou vyrazili z nej elektrón, čiže zmenili ju na ión a voľný elektrón. Takto vznikajúce ióny a elektróny uvádza elektrické pole tiež do zrýchleného pohybu, a ony pri svojich zrážkach s neutrálnymi molekulami, ak už nadobudli na to potrebnú pohybovú energiu, vytvárajú ďalšie ióny atď. Tento dej vzniká pri určitej kritickej hodnote intenzity elektrického poľa a keď už začal, rozvíja sa *lavínovite*. Pri ionizácii nárazom základnú úlohu hrajú voľné elektróny. Pretože voľná dráha iónov a elektrónov v plyne sa s jeho klesajúcim tlakom zväčšuje, napätie potrebné na začatie ionizácie nárazom s klesajúcim tlakom plynu sa znižuje. Vo vzduchu za normálneho tlaku dochádza k ionizácii nárazom vtedy, keď intenzita elektrického poľa dosahuje hodnotu asi $30\,000 \text{ V/cm}$.

Začiatočným dejom pri ionizácii molekúl plynu je najčastejšie oddelenie elektrónu od zostávajúceho kladného iónu. Tento dej je spojený s vykonaním tzv. *ionizačnej práce*. Pretože túto prácu najčastejšie konajú elektróny *zrážajúce* sa s molekulami plynu, vyjadrujeme ju obyčajne v *elektrónvoltoch*. Jej číselná hodnota sa v tom prípade rovná číselnej hodnote tzv. *ionizačného potenciálu*, t. j. rozdielu V_i elektrických potenciálov v koncových bodoch dráhy, ktorú elektrón musí prebehnúť, aby získal kinetickú energiu rovnajúcu sa ionizačnej práci.

Ako sme už spomenuli, ionizačným činiteľom molekúl plynu môže byť aj ultrafialové svetlo, Röntgenove žiarenie a rádioaktívne γ -žiarenie, teda kvantá žiarivej energie, tzv. *fotóny*. Ich energia je daná súčinom Planckovej kvantovej konštanty $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ joule $\cdot$ s (pozri čl. 9.4) a frekvencie ν príslušného monochromatického žiarenia. Podľa toho ionizačná schopnosť svetla je tým väčšia, čím väčšia je jeho frekvencia, a teda čím menšia je jeho vlnová dĺžka. Viditeľné svetlo v dôsledku svojej pomerne malej frekvencie nemá ionizačné účinky. Ultrafialové svetlo vyvoláva ionizáciu pár alkalických kovov, ktoré sa vyznačujú malým ionizačným potenciálom. Röntgenové žiarenie a rádioaktívne γ -žiarenie však ionizujú všetky plyny, cez ktoré prechádzajú. Pri ionizácii fotónmi je energia fotónu buď celá pohltaná molekulou, alebo sa spotrebuje len jej časť. V poslednom prípade fotón nezaniká, avšak po zrážke s molekulou má už menšiu energiu, t. j. vyznačuje sa väčšou vlnovou dĺžkou.

Tabuľka 5.2

Ionizačné potenciály niektorých prvkov v plynnom skupenstve

Prvok	V_i [V]	Prvok	V_i [V]
H	13,5	O	13,5
H ₂	15,4	O ₂	12,5
Ne	21,5	Cs	3,9
Ar	15,7	K	4,3
N	14,5	Na	5,12
N ₂	15,8	Hg	10,4

Príklad 1. Vypočítame frekvenciu monochromatického svetla, pri ktorej práve už nastáva ionizácia pár sodíka. Podľa tab. 5.2 ionizačný potenciál pár sodíka je $V_i = 5,12$ voltov. Podľa vzťahu $h\nu = eV_i$, kde e je náboj elektrónu, hľadaná frekvencia musí byť aspoň $\nu = \frac{eV_i}{h}$ a zodpovedá jej vlnová dĺžka (vo vákuu)

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{ch}{eV_i} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 6,62 \cdot 10^{-34}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 5,12} \text{ m} = \frac{3 \cdot 6,62}{1,6 \cdot 5,12} 10^{-7} \text{ m} = \frac{3 \cdot 6,62}{1,6 \cdot 5,12} 10^2 \text{ m}\mu = 242 \text{ m}\mu$$

Sodíkové pary môže teda ionizovať len ultrafialové svetlo, ktorého vlnové dĺžky vyplývajú interval 10 až asi 400 m μ .

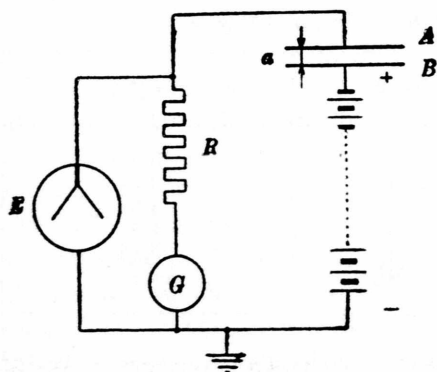
Účinnosť ionizačného činiteľa charakterizuje počet n' iónových párov, ktoré ionizačný činiteľ vytvára v objemovej jednotke za jednotku času. Veličina n' sa nazýva *intenzita ionizácie*. Keď ióny zanikajú v plyne len svojou rekombináciou, za rovnováhy počet vznikajúcich párov iónov sa rovná počtu párov rekombináciou zanikajúcich, takže $n' = \gamma n^2$, alebo

$$n = \sqrt{\frac{n'}{\gamma}} \quad (2)$$

Príklad 2. Z tzv. nasýteného prúdu pri vedení elektrického prúdu v suchom vzduchu (pozri čl. 5.3) vyplýva, že vplyvom ionizačných činiteľov, ktoré v ovzduší trvale pôsobia v 1 cm^3 vzduchu vzniká za 1 s asi 5 párov iónov. Pretože koeficient rekombinácie iónov vo vzduchu je asi $1,6 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$, pre koncentráciu iónov v ovzduší z týchto údajov dostávame:

$$n = \sqrt{\frac{n'}{\gamma}} = \sqrt{\frac{5 \text{ cm}^{-3} \text{ s}^{-1}}{1,6 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}}} = 10^3 \sqrt{\frac{5}{1,6}} \text{ cm}^{-3} = 1\,770 \text{ cm}^{-3}$$

5.3. Nesamostatné a samostatné elektrické výboje v plynoch. Majme na mysli elektrický okruh (obr. 5.1), v ktorom sú za sebou: meniteľný zdroj ems, medzera medzi kovovými doskami A a B so šírkou a , vyplnená plynom pod nejakým tlakom, úsek s veľkým odporom R a galvanometer G . Paralelne k odporu R a galvanometru je prípadne pripojený ešte citlivý elektrometer E .



Obr. 5.1.

Pretože v plyne medzi doskami A a B je vždy určitý počet iónov v okruhu je vždy elektrický prúd. Jeho intenzitu udáva galvanometer zaradený do okruhu, alebo ju — ak je príliš malá — počítame z údajov elektrometra podľa vzorca $I = \frac{u_R}{R}$, v ktorom u_R značí napätie udávané elektrometrom.

Pokiaľ napätie u medzi elektródami A a B je menšie, než je jeho kritická hodnota, pri ktorej pri danej vzájomnej vzdialenosti elektród nastáva už ionizácia molekúl plynu pôsobením elektrického poľa, ióny vznikajú v plyne len pôsobením vonkajších ionizačných činiteľov. Za týchto okolností ióny miznú v plyne jednak rekombináciou na elektricky neutrálné molekuly, jednak putovaním k elektródam za vedenia prúdu. Keď hustota tohto prúdu je i , v objeme plynu, ktorý sa nachádza medzi sebe zodpovedajúcimi plošnými jednotkami oboch elektród, stráca sa prúdom za jed-