

## Mlžná komora

*Pavel Motal, SOŠ a SOU Kuřim  
Martin Veselý, FJFI ČVUT Praha*

### Historie vývoje mlžné komory

Jelikož není možné částice hmoty pozorovat pouhým okem, bylo vyvinuto zařízení, jež zviditelňuje dráhy těchto částic vytvářením mlžné stopy v parami přesyćeném vzduchu. Toto zařízení se nazývá mlžná komora. Ta byla vynalezena v roce 1911 C. T. R. Wilsonem. Původní konstrukce využívala pro vytvoření nasycených par expanzi a následné ochlazení vzduchu (tzv. expanzní komora). Dnes používaná komora je založena na difúzi par z teplejší do chladnější oblasti (tzv. difúzní komora) a byla vynalezena v roce 1936 Langsdorfem a dále zdokonalena v 50. letech 20. století. Právě difúzní mlžná komora se používá dodnes, avšak její význam pro detekci částic je takřka nulový. Používá se spíše pro demonstraci různých procesů při výkladu částicové fyziky.

### Princip funkce mlžné komory

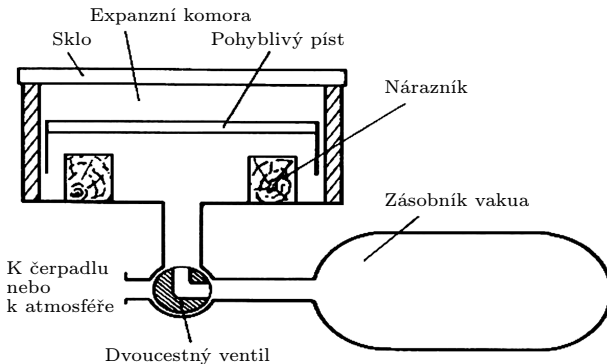
#### *Kondenzace par na iontech a ionizace prostředí*

Je známo, že se snižující se teplotou vzduchu klesá objem par, které může obsahovat. Pokud dojde při ochlazování vzduchu, jenž obsahuje stále stejné množství par, k dosažení tzv. teploty rosného bodu, vznikají tzv. nasycené páry. Při dalším ochlazování vzduchu začínají přebytečné páry kondenzovat, avšak podmínkou kondenzace je přítomnost tzv. kondenzačních jader. Pokud se kondenzační jádra ve vzduchu nevykytují, páry kondenzují až při vlhkosti vzduchu silně přesahující 100 %, tudíž vznikají tzv. přesyćené páry. Kondenzačními jádry mohou být prachové částice, krystaly solí, pylové částice, ale též ionty (objeveno právě C. R. T. Wilsonem v roce 1897). Právě ionty jsou podstatné pro funkci mlžné komory. Pokud skrze přesyćené páry v mlžné komoře prolétá částice, dojde k ionizaci prostředí a kondenzaci par na těchto iontech, čímž se zviditelní stopa částice. V případě, že má částice elektrický náboj,

dochází k ionizaci přímo působením elektrických sil na elektrony v molekulách prostředí (hovoříme pak o tzv. přímo ionizujícím záření). Pokud částice procházející mlžnou komorou nemá elektrický náboj, lze obvykle pozorovat tzv. sekundární jevy vyvolané průchodem této částice. Jejich výsledkem je vznik dalších částic, přičemž ty nabitě lze bez problémů v mlžné komoře pozorovat.

### *Princip expanzní mlžné komory*

Hlavní částí této komory je pohyblivý píst (obr. 1). Prostor nad pístem obsahuje směs čistého vzduchu (tj. bez kondenzačních jader) a par (např. vodních). Po spojení prostoru pod pístem se zásobníkem vakua prostřednictvím dvoucestného ventilu dojde k posunu pístu směrem dolů, čímž se prudce zvětší prostor nad pístem. Toto způsobí adiabatickou expanzi vzduchu. To znamená, že rozpínající se plyn koná práci, čímž ztrácí energii, a tudíž klesá jeho teplota. Toto ochlazení způsobí vznik přesycených vodních par. Po průchodu částice těmito parami dojde k procesu, jenž byl popsán výše, a zviditelní se tak stopa částice.

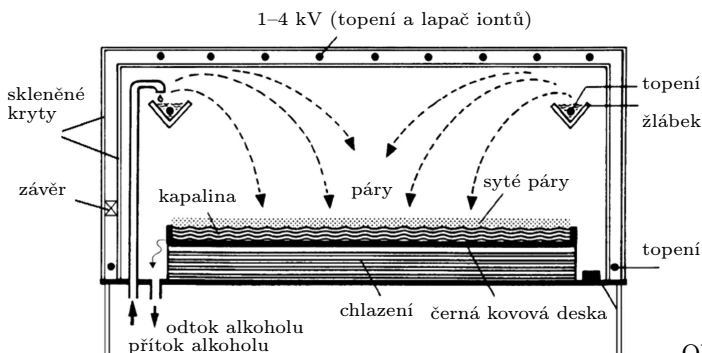


Obr. 1

### *Princip difúzní mlžné komory*

Nyní se podíváme na dokonalejší typ mlžné komory (obr. 2). Ve žlábkku, který je ohříván odporovým topením, se nachází organická sloučenina zvaná izopropylalkohol ( $\text{CH}_3\text{-CHOH-CH}_3$ ). Po ohřátí začne docházet k jeho odpařování. Jelikož je spodní část mlžné komory chlazena na teplotu  $-30\text{ }^\circ\text{C}$  (toho lze dosáhnout pomocí chladničky nebo suchého ledu -  $\text{CO}_2$ ), vzniká v komoře teplotní gradient (rozdíl dvou teplot při-

padaající na jednotkovou výšku). Jelikož se každá částice snaží mít co nejmenší energii, je důsledkem vzniku teplotního spádu difúze par z teplejší do chladnější oblasti. S klesající teplotou postupně roste nasycení vzduchu parami izopropylalkoholu, až dojde k jeho přesycení ve spodní části komory. Právě zde lze pozorovat mlžné stopy zanechané částicemi. Pozorování drah částic je usnadněno černou kovovou deskou a intenzivním osvětlením komory.



Obr. 2

Průhledné části mlžné komory jsou též vyhřívány prostřednictvím topných vodičů, aby na nich nekondenzovaly alkoholové páry, a nebylo tak znemožněno pozorování drah částic.

## Částice, které můžeme pozorovat

### Alfa záření

Alfa záření je tvořeno jádry helia  ${}^4_2\text{He}$ . Záření alfa je velmi málo pronikavé a zastaví jej i papír. Jelikož má toto jádro náboj  $2e$  a vysokou hmotnost, vytváří široké krátké stopy (obr. 3).



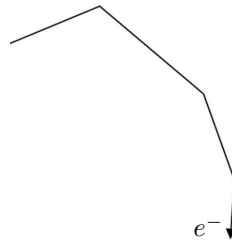
Obr. 3

*Beta záření*

Je nutné si uvědomit, že existují dva druhy tohoto záření, a to:

1.  $\beta^-$  (beta minus) – toto záření je tvořeno tokem elektronů, které vznikají při rozpadu neutronů v jádře atomu radioaktivního prvku, jež lze popsat jako  $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$ ; produktem beta minus rozpadu je proton, elektron a elektronové antineutrino.

2.  $\beta^+$  (beta plus) – tento druh záření je tok pozitronů (antičástice k elektronu) vznikajících při rozpadu excitovaného protonu v jádře (tzn. o vyšší energii, než je jeho energie klidová); proton musí být excitovaný, aby nebyl porušen zákon zachování energie; rozpad lze popsat jako  $n \rightarrow p + e^+ + \nu_e$ ; produktem tohoto rozpadu je neutron, pozitron a elektronové neutrino.

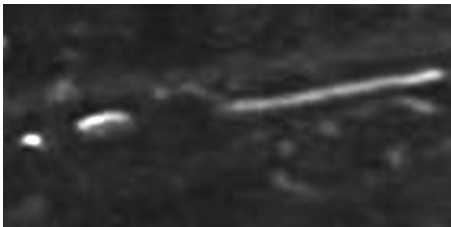


Obr. 4

Na obr. 4 je dráha nízkoenergetického elektronu. Kvůli své nízké hmotnosti a nízké energii se snadno odráží od okolních částic, čímž vzniká zakřivená dráha.

*Protony*

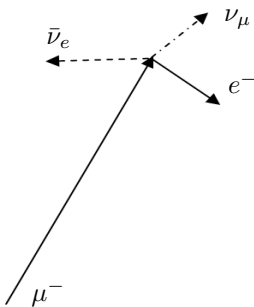
Protony jsou kladně nabitě částice, které se nacházejí v atomovém jádře. Zanechávají po sobě široké stopy, jež jsou podobné těm, které zanechávají alfa částice, avšak stopy protonů jsou delší kvůli nižší hmotnosti a náboji oproti alfa částicím (obr. 5).



Obr. 5

*Miony*

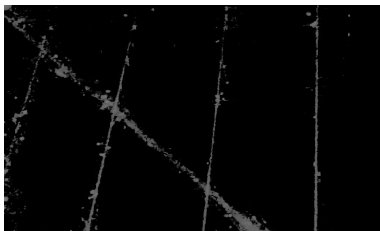
Jsou to těžké záporně nabitě elementární částice s dobou života asi  $2 \mu s$ . Po této době se rozpadají podle schématu  $\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$ . Rozpad je možné pozorovat v mlžné komoře (obr. 6), avšak neutrino a antineutrino ( $\nu_e$  – elektronové,  $\nu_\mu$  – mionové) viditelná nejsou, jelikož nezpůsobují ionizaci prostředí. To je způsobeno tím, že nemají elektrický náboj a mají velmi malou klidovou hmotnost ( $m_{\nu_e} \leq 10^{-8} \text{ GeV}/c^2$ ,  $m_{\nu_\mu} \leq 0,0002 \text{ GeV}/c^2$ ).



Obr. 6

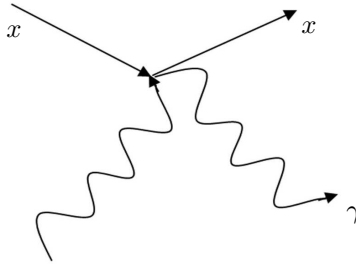
*Gama záření*

Gama záření je elektromagnetické vlnění (dále EMV) o frekvenci vyšší než  $10^{18} \text{ Hz}$ . EMV je rovněž možné popsat jako částici  $\gamma$  (foton) o energii  $E = hf$ , kde  $h$  je Planckova konstanta ( $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ ) a  $f$  je frekvence. Foton je částice bez náboje, proto není schopen vytvořit v mlžné komoře stopu, avšak lze jej identifikovat podle sekundárních jevů, které způsobuje. Mohou se vyskytnout tři sekundární jevy, přičemž pravděpodobnost výskytu jevu závisí na energii fotonu (resp. frekvenci EMV). Při nízkých energiích dochází k *fotoefektu*, což je emise elektronu z atomového obalu. Stopa emitovaného elektronu je již viditelná. Na obr. 7 jsou viditelné stopy takto emitovaných elektronů.



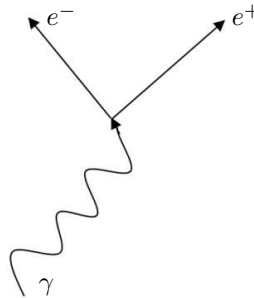
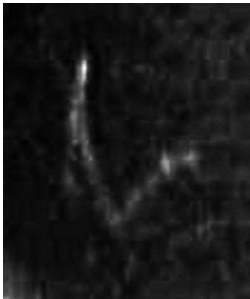
Obr. 7

Při vyšších energiích dochází k tzv. *Comptonovu rozptylu (jevu)*. Při nárazu fotonu do jiné částice  $x$  dojde k interakci, projevující se změnou směru pohybu obou částic (obr. 8). Změna směru pohybu částice  $x$  je již pozorovatelná. Při Comptonově jevu též dochází k předání části energie fotonu odražené částici (nastává tzv. nepružná srážka), tudíž vzroste její kinetická energie a sníží se energie fotonu (a tím i frekvence EMV ekvivalentní fotonu).



Obr. 8

Pokud energie fotonu přesáhne 1,022 MeV, může dojít ke kreaci páru elektron–pozitron. Stopy obou částic je opět možné pozorovat. Pro rozlišení elektronu a pozitronu je nutné do mlžné komory umístit zdroj magnetického (případně elektrického) pole, neboť obě částice se od sebe liší pouze znaménkem náboje. Kreace elektron-pozitronového páru je vidět na obr. 9.



Obr. 9

Při velmi vysokých energiích (více než 2,5 MeV) gama záření může také nastat tzv. *fotojaderná reakce*. Pokud jádro zachytí foton, může dojít k emisi částic, které tvoří jádro, a to buď ve formě jednotlivých částic (tedy protonů a neutronů) či jejich kombinací (např. alfa částice, deuterony, tritony, ...), případně k rozštěpení jádra. Pokud je emitovaná částice elektricky nabitá, lze ji v mlžné komoře snadno detekovat.