

Mlžná komora

Radana Janovská (Gymnázium T. G. M. Hustopeče)¹

Martin Veselý (SPŠ a VOŠ Příbram)²

Martin Václavek (Gymnázium J. K. Tyla, Hradec Králové)³

Pavel Motal (SOŠ a SOU Kuřim, s. r. o., Kuřim)⁴

¹ radanajanovska@seznam.cz

² martin.veslo@seznam.cz

³ martin.vaclavek.e1@email.cz

⁴ pavel.1@centrum.cz

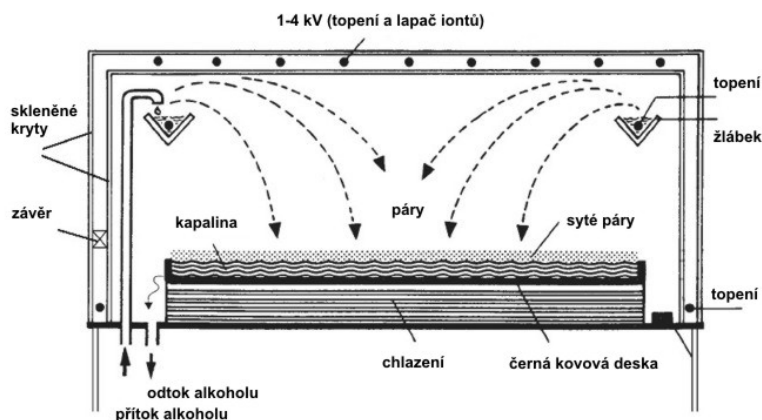
Abstrakt:

Naším úkolem bylo seznámit se s zařízením pro detekci částic, které stálo u zrodu moderní částicové fyziky. Výsledkem experimentu je série fotografií, z nichž je možno určit, o jaký druh částice se pravděpodobně jedná.

1 Historie mlžné komory

Částice není možno pozorovat pouhým okem, a proto bylo vyvinuto zařízení, jež zviditelňuje dráhy těchto elementů hmoty. Mlžná komora byla vynalezena v roce 1911 C. T. R. Wilsonem. Původní konstrukce využívala pro vytvoření nasycených par expanzi vzduchu (tzv. expanzní komora). Dnes používaná komora je založena na difúzi par z teplejší do chladnější oblasti (tzv. difúzní komora). Právě difúzní komora byla předmětem našeho bádání.

2 Princip difúzní mlžné komory



K pozorování drah částic je využívána pára izopropylalkoholu. Ta je vytvořena ve žlábků, který je ohříván odporovým topením. Takto vytvořené páry difundují do spodní části komory, kde je teplota -30°C . V této části zařízení se vytváří sytá pára. Pokud se v páře vyskytne tzv. kondenzační

jádro, dojde k jejímu zkapalnění. Kondenzačními jádry mohou být prachové částice i ionty. Průchod ionizující částice parou způsobí ionizaci prostředí (tvorbu iontů), čímž dojde ke zviditelnění její dráhy, kterou je již možno pozorovat pouhým okem.

Součástí mlžné komory mohou být zdroje magnetických polí. Tato pole působí na nabitě částice magnetickou silou, která způsobí zakřivení drah částic, což umožní přesnější identifikaci pozorovaných částic díky závislosti směru a velikosti magnetické síly na náboji (znaménku a velikosti) a rychlosti částice.

3 Detekce drah jednotlivých druhů částic

Snímky drah částic byly získány pomocí digitální kamery. Záznam se přenesl do počítače, kde byl analyzován. V případě zjištění určité částice byl záznam zastaven a provedlo se vystřížení daného snímku.

Rozměry stop částic jsou dány tzv. ionizačními ztrátami. Ty určují, kolik energie ztratí částice na určité dráze. Čím je ztráta energie vyšší, tím je prostředí více ionizováno a dráha částice je širší. Ionizační ztráty jsou dány Bethe-Blochovým vztahem:

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_{ion} = f(m, v, Ze).$$

Ze vztahu plyne, že ionizační ztráty jsou závislé na hmotnosti částice, na rychlosti a na jejím náboji (určen součinem Ze). Je však nutné si uvědomit, že závislost je popsána mocninnými a logaritmickými funkcemi. Délka dráhy závisí také na kinetické energii částice.

4 Výsledky experimentu

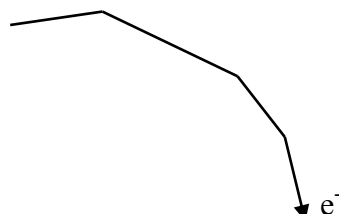
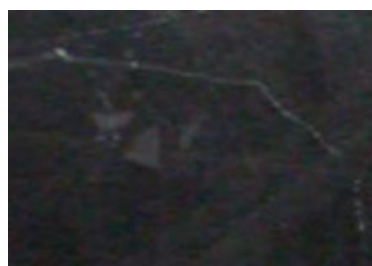
Výsledkem našeho experimentu je série fotografií.

- *Alfa částice* – Jedná se o jádra helia ${}^4_2\text{He}$. Jelikož má toto jádro náboj $2e$ a vysokou hmotnost, vytváří široké krátké stopy. Zdrojem alfa částic byl zářič ${}^{241}\text{Am}$ a náhodné procesy.

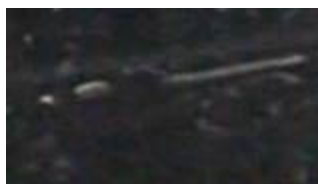


- *Beta částice* – Existují dva druhy beta záření:
 - 1) β^- - Toto záření je tvořeno tokem elektronů, které vznikají při rozpadu neutronů v jádře a to podle rovnice: $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$;
 - 2) β^+ - Tento druh záření je tok pozitronů (antičástice elektronů) vznikajících při rozpadu excitovaného protonu v jádře podle vztahu: $p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$.

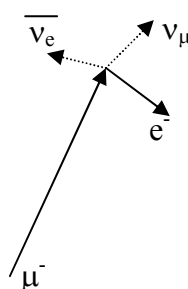
Na obrázku níže je dráha nízkoenergetického elektronu. Kvůli své nízké hmotnosti a nízké energii se snadno odráží od okolních částic, čímž vzniká zakřivená dráha.



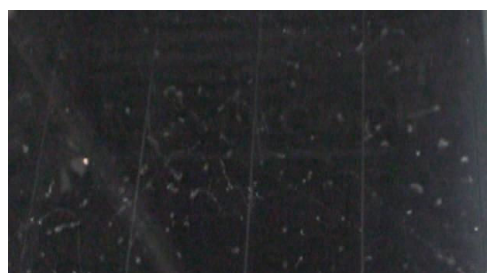
- *Protony* – Jsou kladně nabitě elementární částice nacházející se v atomovém jádře. Zanechávají po sobě široké stopy, jež jsou podobné těm, které zanechávají alfa částice, avšak stopy protonů jsou delší kvůli nižší hmotnosti a náboji.



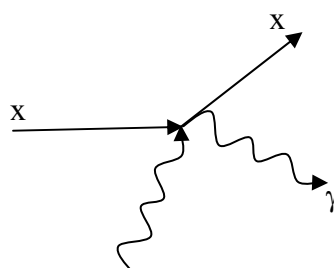
- *Miony* – Jsou to těžké záporně nabitě částice s dobou života cca 2 μs . Po této době se rozpadají podle vzorce: $\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$. Tento rozpad je možno pozorovat v mlžné komoře, avšak neutrina ($\bar{\nu}_e, \nu_\mu$) viditelná nejsou, jelikož nezpůsobují ionizaci prostředí.



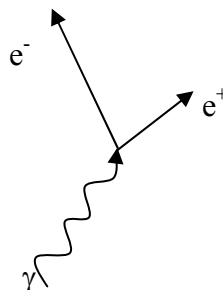
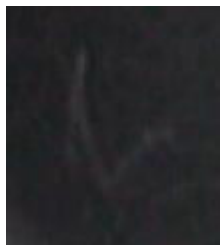
- *Gama záření* – Je elektromagnetické vlnění (dále EMV) s frekvencí vyšší než 10^{18} Hz. EMV je též možné popsat jako částici (tzv. foton) o energii $E = hf$, kde h je Planckova konstanta a f je frekvence EMV. Foton je částice bez náboje, proto není schopen vytvořit mlžnou stopu, avšak lze jej identifikovat podle sekundárních jevů, které způsobuje. Mohou se vyskytnout tři sekundární jevy, přičemž pravděpodobnost výskytu jevu závisí na energii fotonu. Při nízkých energiích dochází k fotoefektu, což je emise elektronu z atomového obalu. Stopa emitovaného elektronu je již viditelná. Na obrázku níže jsou viditelné stopy takto emitovaných elektronů (zdrojem gama záření byl ^{60}Co).



Při vyšších energiích dochází k tzv. Comptonovu rozptylu. Jelikož je foton hmotná částice, dojde při jeho nárazu do jiné částice (x) k odražení fotonu (γ) a změně směru pohybu obou částic (viz obrázek). Změna směru pohybu je již pozorovatelná.



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 na obrázku níže.



5 Závěr

Během našeho experimentu jsme zjistili, že částice neviditelné pouhým lidským okem lze detekovat pomocí jejich vizuálních projevů v mlžné komoře. Zároveň nás překvapilo, že i zařízení, jehož princip je znám již od roku 1911, má stále své místo v detekčních metodách částicové fyziky.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat našemu supervisorovi Bc.Václavovi Zycháčkovi za ochotu a trpělivost při vysvětlování dané problematiky, dále Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT za organizaci Fyzikálního týdne a Nadačnímu fondu teoretické fyziky za finanční podporu.

Reference:

- [1] kolektiv autorů: *Atomový věk* SNTL Praha, 1966, kap.14
- [2] <http://www.astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika5.htm>
- [3] <http://www.astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika2.htm>
- [4] <http://www.wikiweise.de/wiki/Bild%3ASpektrum.png>