

Detekce ionizujícího záření pomocí mlžné komory

Viktor Löffelmann

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1
loffelmann@centrum.cz

Abstrakt

Teoretická část této práce se zabývá popisem metod, používaných při detekci a identifikaci částic ionizujícího záření v mlžné komoře. V rámci praktické části byla použita difuzní mlžná komora s homogenním magnetickým polem a byly změřeny parametry 18 zaznamenaných stop.

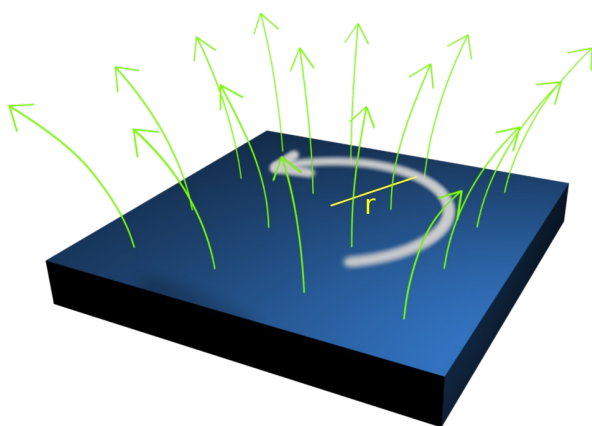
1 Princip mlžné komory

Mlžná komora patří mezi nejstarší dráhové detektory ionizujícího záření. Detekce částic v mlžné komoře je založena na jevech probíhajících při kondenzaci páry. Nabitě částice při průletu plynem ionizují molekuly plynu kolem své trajektorie. Vzniklé ionty přitahují okolní neutrální molekuly a vytvářejí tak skupiny částic, které fungují jako kondenzační jádra. Pokud tento jev proběhne v přesycené páře, začne se kapalina na kondenzačních jádrech podél trajektorie původní ionizující částice srážet a vytvářet kapky pozorovatelné proti tmavému dnu.

2 Využití magnetického pole

Pouhým pozorováním stop částic v mlžné komoře můžeme ne příliš spolehlivě rozlišit některé druhy částic podle tloušťky a délky vytvořených stop. Detailnější údaje můžeme získat, když v aktivní oblasti komory vytvoříme pokud možno homogenní vertikální magnetické pole. Na nabitě částice prolétající magnetickým polem působí Lorentzova síla ve směru kolmém na rovinu danou vektory magnetické indukce a rychlosti částice. Tato síla nemění velikost rychlosti částice (je na ni kolmá), zato však mění její směr a částice se pohybuje po šroubovici. Z předpokladu, že aktivní vrstva naší mlžné komory je tenká, můžeme usoudit, že dostatečně dlouhé stopy jsou vytvářeny částicemi pohybujícími se přibližně ve vodorovné rovině, čímž se šroubovice redukuje v kružnici.

Potom můžeme pro výpočet některých jejich vlastností použít relativistický vztah (1), dávající do souvislosti hmotnost (m_0), rychlost (v) a velikost náboje částice ($|Q|$), magnetickou indukci (B) a poloměr trajektorie (r).



$$r = \frac{m_0 \cdot \gamma \cdot v}{B \cdot |Q|}, \quad (1)$$

kde

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Obr. 1 Trajektorie nabitě částice v magnetickém poli

Z proměnných, vystupujících ve vztahu (1), můžeme přímo určit poloměr trajektorie a magnetickou indukci. Když odhadneme náboj částice zpravidla jako rovný elementárnímu náboji, můžeme spočítat relativistickou hybnost částice, která vystupuje v čitateli pravé strany vztahu (1). Pokud se nám nějak podaří určit druh pozorované částice, můžeme vyjádřit i její rychlost, respektive energii.

3 Další metody

Pokud neznáme směr pohybu pozorované částice, nemůžeme také určit znaménko jejího náboje. Směr můžeme určit tak, že do aktivní vrstvy komory vložíme vhodnou vertikální překážku, například olověný plech. Částice procházející olovem v něm ztratí část své kinetické energie, a když pokračuje v letu mlžnou komorou, pohybuje se po více zakřivené dráze. Takto můžeme stanovit znaménko náboje částice bez použití odhadů.

Dále můžeme naše odhady zpřesnit určením horní hranice pro klidovou hmotnost částice. Pokud známe poloměr trajektorie, náboj částice a magnetickou indukci, závisí kinetická energie dané částice na poslední proměnné, kterou je klidová hmotnost.

$$E_k = \sqrt{(r B |Q|)^2 \cdot c^2 + m_0^2 \cdot c^4} - m_0 \cdot c^2 \quad (2)$$

Částice s danou energií má však v prostředí mlžné komory omezený dolet, protože cestou ionizuje plyn a energii ztrácí. Pokud tedy vyhodnocujeme relativně dlouhou stopu, můžeme vyloučit všechny částice, které by s příslušnou energií měly dolet mnohem menší.

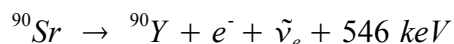
Pomocí pozorování trajektorií částic procházejících olověnou destičkou v magnetickém poli byly objeveny pozitron a mion. V obou případech byly využity i horní odhady hmotnosti částice. [1]

4 Uspořádání experimentu

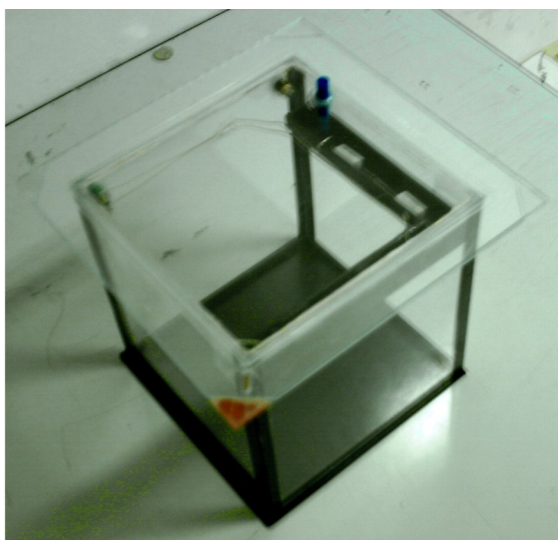
Byla použita difuzní mlžná komora čtvercové podstavy o hraně 25 cm a výšce 30 cm, zhotovená z neměkčeného polystyrenu. Dno bylo vyrobeno z měděného plechu o tloušťce 0.3 mm, polepeného jednou vrstvou černé izolační pásky. Jako zdroj par sloužil žlábek pod víkem komory s elektrickým ohřevem o výkonu 9 W. Pracovní kapalinou byl čistý isopropylalkohol. K chlazení byl použit suchý led ve formě pelet. Nebylo použito čistící napětí.

Magnetické pole bylo udržováno pomocí permanentního magnetu, umístěného pod dnem komory. K tomuto účelu byly postupně použity dva magnety: feritový 10×15 cm s výrobcem udávanou remanencí (0.39 ± 0.02) T a neodymový 10×10 cm s remanencí (1.32 ± 0.03) T [2].

Jediným použitým umělým zdrojem záření bylo stroncium 90:



(3) Obr. 2 Použitá mlžná komora



5 Výsledky experimentu

Prostřednictvím videozáznamu o celkové délce 20 min byly změřeny parametry 18 zachycených stop. Vypočítané hodnoty kinetické energie částic, odpovídající jednotlivým stopám, jsou uvedeny v tabulce 1. Vzhledem k nemožnosti stanovení hmotnosti částic jsou uvedeny hodnoty pro několik běžných částic různých hmotností: E_β pro elektron nebo pozitron, E_μ pro mion a E_p pro proton. Zbývající sloupce udávají změřený poloměr trajektorie (r) a použité magnetické pole (B).

Stopa	r (mm)	B (T)	E_β (keV)	E_μ (keV)	E_p (keV)
1	12	0,37	900	9	0,9
2	109	0,37	11700	701	79,2
3	185	0,37	20100	1991	226,3
4	25	0,37	2400	39	4,4
5	122	0,37	13100	875	98,9
6	33	0,37	3200	66	7,5
7	63	0,37	6400	230	26,0
8	43	0,37	4200	105	11,9
9	32	0,37	3100	59	6,7
10	56	0,37	5700	181	20,4
11	33	0,37	3200	64	7,2
12	138	0,37	14800	1105	125,1
13	26	1,3	9700	490	55,3
14	13	1,3	4700	127	14,4
15	9	1,3	3000	56	6,3
16	30	1,3	11200	642	72,6
17	70	1,3	26700	3434	392,9
18	57	1,3	21600	2292	260,9

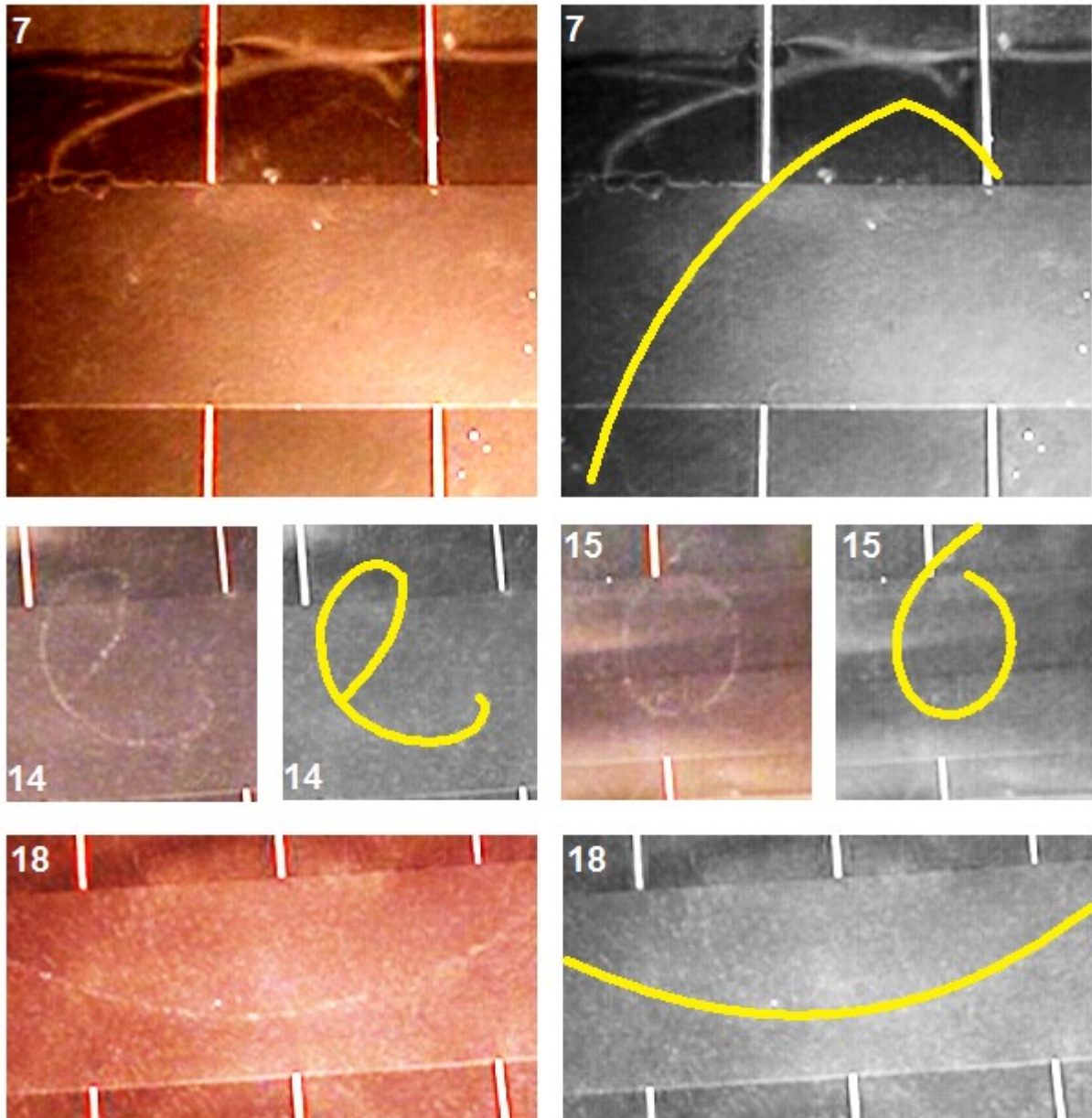
Tab. 1 Změřené parametry 18 stop a vypočtené hodnoty kinetické energie.

6 Závěr

Podle vypočtených hodnot energie pro protony můžeme ve všech případech vyloučit, že šlo o protony nebo těžší částice, které mají v daném prostředí dolet menší než 1 cm [3]. Pozorovanými částicemi tedy zřejmě byly vysokoenergetické leptony, pocházející pravděpodobně ze sekundárního kosmického záření.

Kromě 18 změřených stop bylo pozorováno několik desítek stop nepravidelných, nevytvářejících čistý oblouk, případně vyskytujících se mimo homogenní magnetické pole. Pozorovaná četnost stop je tedy v řádu jednotek za minutu. To ukazuje na relativně nízkou citlivost komory.

Při použití umělého zdroje záření beta, stroncia 90, byly pozorovány stopy částic pouze bez přítomnosti magnetického pole. S magnetickým polem o indukci 0.37 T nejrychlejší elektrony emitované stronciem krouží s poloměrem pouze okolo 7 mm a rozlišení použité mlžné komory neumožňuje jejich identifikaci.



Obr. 3 Čtyři dvojice snímků z mlžné komory.
 Na pravém snímku každé dvojice je pozorovaná stopa vyznačena žlutě.
 Čísla v rozích snímků odpovídají číslování v levém sloupci tabulky 1.

Reference

- [1] C. D. Anderson, The Positive Electron, Physical Review 1933
- [2] Neodymové magnety NdFeB, <http://neomag.cz/cz/katalog/neodymove-magnety/>
- [3] C. D. Anderson, The production and properties of positrons, Nobel Lecture 1936
- [4] I. Štoll. Elekřina a magnetismus, Vydavatelství ČVUT, Praha 1994, ISBN 80-01-01222-0