

Částicový film

A. Šolarová*, D. Popelová**, T. Hrubý***

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1

*ada.solar@seznam.cz, **dominika.popelova@gmail.com,

***tomman1@email.cz

Abstrakt

Cílem projektu je zkoumat vlastnosti částic v magnetickém poli a pokusit se ovládnout jejich pohyb. K tomu nám poslouží z běžně dostupných materiálů zkonstruovaná mlžná komora. Nejvyšším cílem je promítnout pohyblivý obrázek pomocí záření a magnetického pole a dokázat tak, že záření nemusí být nutně jen nebezpečné, ale také viditelné a zábavné.

1 Teoretický úvod

1.1 Ionizující záření

Záření neboli radiace, je proces, při němž dochází k přenosu energie formou vlnění nebo pohybem částic. Ionizující záření (zkráceně IZ) je souhrnný název pro takové záření, jehož kvanta mají dostatečnou energii na ionizaci atomů nebo molekul ozařované látky. Pod pojmem ionizace rozumíme vytrhávání elektronů z elektronových obalů atomů, při čemž z ionizovaného atomu vzniká kladný iont a zároveň letící elektron může reagovat s jiným atomem a vznikne iont záporný. K ionizaci je potřeba předat elektronu energii větší, než je ta jeho vazbová v atomu. Tuto energii nazýváme ionizační energií a například pro nejlehčí atom vodíku činí 13,6 eV. Za energetickou hranici ionizujícího záření se považuje energie 5 eV.

Přírodními zdroji IZ je kosmické nebo sluneční záření a přírodní radioizotopy, jejichž jádra jsou nestabilní a samovolně se za vzniku IZ přeměňují na jádra jiných prvků. Tento proces je označován jako přírodní radioaktivita. Některá původně stabilní jádra se ozařováním mohou stát radioaktivními, pak mluvíme o umělé radioaktivitě.

Do IZ se řadí záření alfa, beta, gama, rentgenové a neutronové záření. Záření gama, rentgenové a neutronové jsou vysoce pronikavá záření, interagující především s jádry atomů. Záření gama a rentgenové se řadí mezi záření vlnová, tedy taková, jejichž kvanta nemají žádnou klidovou hmotnost a pohybují se rychlostí světla. Po zabrzdění odevzdá vlnové záření veškerou svou energii a zaniká. Neutronové záření se řadí i spolu se zářeními alfa a beta mezi záření korpuskulární, tedy taková, jejichž kvanta mají nenulovou klidovou hmotnost a pohybují se rychlostí nižší než světlo. Jedná se o proud hmotných částic, jehož částice si svou existenci zachovávají i po úplném zabrzdění. Neutronové záření nenes elektrický náboj, a proto nemůže ztrácet energii přímou ionizací atomů.

V mlžné komoře nejčastěji pozorovaná záření jsou záření alfa a beta. Záření alfa je proud jader ${}^4_2\text{He}$. Původní jádro ztratí dva p^+ a dva n^0 a vznikne jádro nového prvku. Toto kladně nabitě záření je ve vzduchu pohlceno už na vzdálenost několika centimetrů. V mlžné komoře tedy tvoří velmi krátké rovné stopy, pro velikost alfa částice zřetelné a široké. Velmi podobné dráhy má i proton, který je však o něco lehčí a jeho dolet je tedy větší. Záření beta je dvojího druhu. Záření β^- tvoří proud rychle letících elektronů. Původní prvek se mění v prvek s protonovým číslem $Z+1$. Některé uměle vytvořené radionuklidy uvolňují z jádra kladné elektrony, tzn. pozitrony a vzniká tak záření β^+ . Elektrony i pozitrony jsou značně lehčí než protony nebo alfa částice a jejich dolet je také značně větší. Jejich dráha v mlžné komoře je velice úzká, často špatně viditelná a podle rychlosti zmíněných částic rovná, nebo různě zakřivená.

1.2 Detektory částic

Detektory částic jsou přístroje schopné zachytit některé vlastnosti záření. Existuje celá řada typů detektorů, například plynový ionizační detektor (zjišťující počet částic), polovodičové detektory (sledující změny v polovodiči, způsobené průchodem nabitě částice), nebo kalorimetry (používané v urychlovačích částic, měřící energii částic jejich zastavením).

My jsme využili principů Wilsonovy mlžné komory, která dokáže zobrazit dráhy nabitých částic. Wilsonova mlžná komora je uzavřená nádoba, v jejíž horní části je umístěn zdroj izopropylalkoholu (např. napuštěná textilie nebo žlábek), zkráceně IPA, který se dobře vypařuje a dokáže tak za relativně krátkou dobu naplnit celý prostor nádoby. Dno komory musí být zatemněno a chlazeno. Ke chlazení lze použít například suchý led (-79 °C), nebo tekutý dusík (-196 °C). Páry IPA klesají ke dnu komory a tam se ochlazují. S klesající teplotou vzduchu klesá také maximální počet částic, které může obsahovat. Po určité chvíli, kdy je prostor komory vyčištěn od rušivých elementů (např. prachových částic), vzniknou v malé podchlazené vrstvě na dně syté páry. Ty při průletu částice okamžitě kondenzují, a ačkoliv je částice za zlomek sekundy dávno pryč, dráhu jejího průletu je díky zkondenzovaným parám možné pouhým okem pozorovat ještě několik okamžiků poté.

2 Experiment

Stanovili jsme si čtyři cíle různého stupně obtížnosti.

- 1) Prvním cílem bylo uvést do provozu funkční mlžnou komoru.
 - 2) Dalším pozorovat částice v magnetickém poli a pokusit se cíleně zakřivit jejich dráhu.
 - 3) Třetím cílem bylo dosažení takové schopnosti ovládat směr letu částic, abychom byli schopni vytvořit z nich nějaký jednoduchý obrazec,
 - 4) a posledním vzniklý obrazec změnami intenzity magnetického pole rozpohybovat.
- V našem projektu se nám podařilo docílit jen prvního a částečně druhého cíle.

2.1 První cíl: Sestavení funkční mlžné komory

Mlžná komora je principem natolik jednoduché zařízení, že je možné sestavit jej i doma z běžně dostupných materiálů. Je například možné vytvořit malou komoru z Petriho misek, nebo třeba i z kelímku od piva. Na začátku našeho projektu jsme již měli k dispozici ne příliš funkční mlžnou komoru sestavenou z šestilitrového skleněného akvária. Ke chlazení jsme používali suchý led v polystyrenové misce.

2.1.1 První způsob sestavení

První verze naší komory naléhala na suchý led zatmaveným skleněným dnem. Výhodou takového řešení bylo, že ve spodní části komory nedocházelo k rušivému proudění. Tlusté skleněné dno však působilo zároveň jako tepelná izolace a nebylo možné jej dostatečně ochladit. Stopy částic byly velmi špatně pozorovatelné.

2.1.2 Druhý způsob sestavení

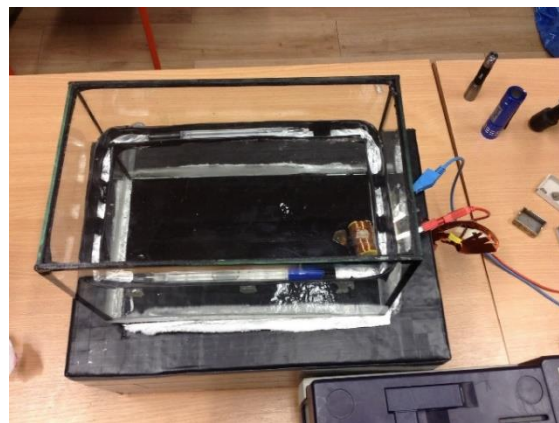
Proběhly proto dvě stěžejní technické úpravy. Komoru jsme otočili dnem vzhůru a na dno jsme položili tvrdý karton z jedné strany zatmavený černým nátěrem a z druhé chráněný allobalovou fólií, kterou bylo možné dno komory utěsnit.

2.1.3 Třetí způsob sestavení

V rámci druhé úpravy byla komora opatřena žlábkem na IPA (viz obrázek 1), což umožnilo pozorování experimentů přímo, bez zkreslení vzniklých sledování z boku.

2.2 Druhý cíl: Chování částic v magnetickém poli

Paralelně s úpravami mlžné komory již probíhala řada pokusů. Na to, v jaké fázi experimentu proběhly jaké úpravy komory, budeme odkazovat číslováním způsobů sestavení. (2.1.1) Nejprve jsme umístili na dno komory na opačné strany dva různé typy magnetů s cílem vytvořit homogenní magnetické pole dvou různých intenzit. Tlusté dno a k tomu ještě tloušťka magnetů však narušily chlazení komory natolik, že v okolí magnetů nebylo možné

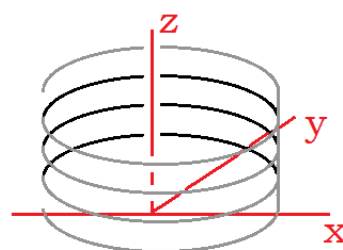


Obrázek 1: Třetí způsob sestavení mlžné komory

pozorovat žádné částice a tento experiment skončil neúspěchem. (2.1.2) Proto jsme magnety umístili do suchého ledu pod komoru. Pro tento účel nám byl zapůjčen feromagnet značně větší intenzity než magnety, které jsme používali doposud. Dovnitř komory jsme ještě umístili cesiový zářič. Po sestavení jsme pozorovali velké množství částic, jejichž původ pocházel pravděpodobně výhradně z kosmického záření, protože v okolí zářiče byla jejich intenzita stejná jako mimo něj. Některé částice jevíly známky zakřivení, ovšem z důvodu natáčení experimentu z boku nebyla data analyzovatelná, a proto nemůžeme jednoznačně určit příčinu zakřivení. (2.1.3) Ve třetí sadě experimentů jsme použili uraninit a do komory jsme umístili cívku pod proudem 480 mA. Dráhy částic byly velmi zřetelné a bylo možné dobře rozlišit protony a elektrony. Příliš pozdě jsme si uvědomili, že jsme cívku do komory položili nesprávně (naležato), takže směr Lorentzovy síly směřoval dolů (pro elektron), nebo nahoru (pro proton). Veškerá zakřivení, která jsme tedy pozorovali, byla pravděpodobně způsobena prouděním par IPA.

3 Výsledek

Analýzou dat z videozáznamů jsme zjistili, že některé částice jevíly jisté známky zakřivení a rozhodli jsme se tedy určit poloměr jejich křivosti. Pro výpočet poloměru potřebujeme určit, po jaké trajektorii se částice bude pohybovat. Vyjdeme z Lorentzovy síly a aplikujeme druhý Newtonův zákon. Dostaneme rovnici $m\ddot{\vec{r}}_t = q\dot{\vec{r}}_t \times \vec{B}_x$, kde vektor \vec{r}_t je polohovým vektorem částice. Odtud vypočítáme vektorový součin pro vektory v kartézském souřadném systému, kde vektor \vec{B} splývá s osou z : $\dot{\vec{r}}_t = (\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})$ a $\vec{B}(\vec{r}) = (0, 0, B)$. Získáme tím diferenciální rovnici $m\ddot{\vec{r}}_t = q(B\dot{y}, -B\dot{x}, 0)$, kterou můžeme rozepsat jako soustavu tří rovnic. Tuto soustavu vyřešíme pro počáteční podmínky v čase $t = 0$ a následně pro homogenní magnetické pole. Dostaneme tři pohybové rovnice: $\dot{x}(H) = \gamma \sin(\varphi_0 t)$, $\dot{y}(H) = \gamma \cos(\varphi_0 t)$ a $\dot{z}(H) = v_0$, na jejichž základě odhadneme trajektorii částice v homogenním poli jako šroubovici stoupající ve směru osy z (viz obrázek 2).



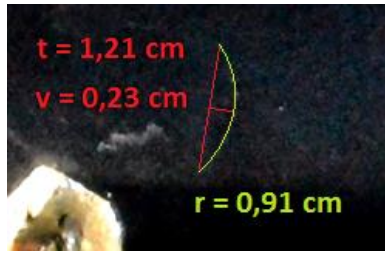
Obrázek 2: Trajektorie částice

Nyní již můžeme učinit předpoklad, že částice se bude v homogenním magnetickém poli pohybovat po kružnici. Nejjednodušší možností je spočítat poloměr graficky z fotografie. Vhodnou fotografii pro výpočet vidíme na obrázku 3. Poloměr určíme pomocí Pythagorovy

věty, známe-li velikost sečny t a výšky v , vztahem $r = \frac{\frac{1}{4}t^2 + v^2}{2v}$. Z obrázku 4 vidíme, že poloměr křivosti zachycené částice je 0,91 cm. Poloměr se dá vypočítat i pomocí Lorentzovy síly. Lorentzova síla se bude rovnat dostředivé, tedy $m\omega v = qvB$, z čehož získáme vztah



Obrázek 3: Viditelná trajektorie



Obrázek 4: Poloměr křivosti

$$r = \frac{mv}{qB(\vec{r})}, \text{ kde } m, v, q \text{ určují}$$

hmotnost, rychlost a náboj dané částice. Z určitého důvodu jsme uvedli vektor indukce závislý na poloze, protože částice z pokusu s cívkou se pohybují

v nehomogenním magnetickém poli a vektor magnetické indukce se v závislosti na vzdálenosti mění. Magnetickou indukci bychom pak počítali pomocí Biot-Savartova zákona, čímž by vznikl netriviální, analyticky jen špatně řešitelný problém.

4 Závěr

Určili jsme, že částice v homogenním magnetickém poli by měla vykonávat přibližně kruhový pohyb. Bohužel se nám nepodařilo vytvořit vhodné magnetické pole, abychom podobné zakřivení mohli sledovat. Povedlo se nám ovšem sestavit funkční mlžnou komoru. Řadou pokusů jsme se poučili, že je důležité nejprve učinit vhodné výpočty a teprve potom zhodnotit dostupnost potřebných materiálů a upravit podmínky experimentu. Máme nyní i několik nových nápadů, jak příště s magnetickým polem pracovat, abychom dosáhli lepších výsledků. Můžeme například umístit velkou cívku pod komoru a vytvořit tak regulovatelné homogenní magnetické pole, nebo vytvořit komoru kruhového půdorysu a tu následně ovinout vodičem, čímž bychom přímo z komory vyrobily cívku s potřebným polem.

5 Poděkování

Rádi bychom poděkovali našim pomocníkům, panu Mgr. Kamilu Daňkovi, Ph.D. a panu RNDr. Radvanu Hájkovi za odbornou instruktáž v souvislosti s určením trajektorie částice. Dále patří poděkování našemu spolužákovi Ondřeji Zajanovi, jenž pro účely experimentu zapůjčil cívku a sám se podílel na zapojování obvodu a pozorování experimentu. Nemalý podíl na realizaci našeho projektu má i pan Ing. Vojtěch Svoboda, CSc., jenž nám poskytl mnoho nezbytných prostředků, včetně dobrých rad, nápadů a volné místnosti. Také bychom rádi poděkovali našemu kolegovi z vyššího ročníku Adamu Keppertovi za zapůjčení stativu, nezbytného k pořízení kvalitních záznamů.

Reference

- [1] kol. autorů, Ionizující záření, <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/nuklearni/k22.htm>
- [2] kol. autorů, Jaderná a radiační fyzika, <http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika6.htm>
- [3] M. Šidlíková, Referát – jaderná fyzika, <http://www.pf.jcu.cz/stru/katedry/fyzika/prof/Svadlenkova/Alfa,beta,gama%20zareni.pdf>
- [4] J. Reichl, Detektory částic, <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/846-detektory-castic>
- [5] J. Reichl, Částice s nábojem v magnetickém poli, <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/293-castice-s-nabojem-v-magnetickem-poli>