

Postavme si mlžnou komoru

V. Boušek*, V. Svoboda**, D. Mikuš***

*Gymnázium Ch. Dopplera, Praha; vilda4169@seznam.cz

**Gymnázium J. Š. Baara, Domažlice; vsvoboda201@gmail.com

***Bilingválne gymnázium M. Hodžu, Sučany;

mikusdario@gmail.com

Abstrakt

Z důvodu přítomnosti kosmického záření a záření přirozeného radioaktivního pozadí jsme neustále vystavováni částicím ionizujícího záření. Toto záření není našimi smysly postřehnutelné, existují ale prostředky, díky kterým jsme schopni toto záření detekovat. Jedno z těchto zařízení je mlžná komora. Funkční mlžnou komoru je možné sestavit z volně dostupných materiálů. V této práci jsme se zaměřili na to, jak sestavit funkční mlžnou komoru a dosáhnout tak stavu, při kterém je možné pozorovat částice ionizujícího záření.

1. Základní pojmy a vztahy

Wilsonova mlžná komora je přístroj, který zachytává ionizující záření. Ionizující záření je takový druh záření, jehož částice mají energii dostatečnou na ionizaci atomu. Toto záření je děleno na čtyři podkategorie: těžké, středně těžké, lehké a fotonové. Nejlépe s mlžnou komorou interagují částice Alfa (těžké záření), protony (těžké záření), mezony (středně těžké záření) a částice Beta mínus neboli elektrony (lehké záření).

Částice Alfa: Alfa částice se skládají z dvou protonů a dvou neutronů. Jsou produkty rozpadu některých radioaktivních prvků (^{40}K , ^{220}Rn ...). Je to jádro hélia. Mají velmi krátký dolet a obvykle nepřeletí více než pár milimetrů. Alfa částice je možné zachytit pomocí mlžné komory. Všechny alfa částice zachycené mlžnou komorou jsou alfa částice, které vznikly uvnitř komory. To je způsobeno jejich velmi krátkým doletem, je téměř nulová pravděpodobnost, že by se Alfa částice dostala přes stěny mlžné komory

Částice Beta: Beta částice reprezentují buď elektrony, nebo pozitrony. Tyto částice jsou mnohem lehčí, než částice Alfa, proto mají mnohem delší dolet (cca 1m). Převážná většina beta částic zachycených v naší komoře pochází z beta rozpadů radioaktivních prvků uvnitř komory.

Mion: Mion vzniká přirozeně při rozpadu pionu. Piony vznikají v horních vrstvách atmosféry v důsledku interakce kosmického záření s atmosférou. Piony se velmi rychle, v průběhu několika nanosekund, rozpadají. Vzniklé miony se rovněž velmi rychle rozpadají (asi 2,2 mikrosekundy). Protože se však pohybují rychlostí blízkou rychlosti světla, dochází u nich ke znatelným relativistickým jevům, jmenovitě dilataci času. V důsledku dilatace času žijí déle a dokonce dopadají na zemský povrch. Toto je jediným typem částice, který pochází ze záření kosmického pozadí, jenž může

2. Mlžná komora

Mlžná komora je jedno z nejstarších, nejjednodušších a nejlépe dostupných zařízení používaných na detekci a zobrazování průletů ionizujících částic.

S prvním nápadem na vytvoření mlžné komory přišel na konci 19. století T. R. Wilson, skotský vědec a meteorolog. Wilson byl fascinován mraky a tvorbou mraků, svůj meteorologický výzkum aplikoval v praxi. Wilsonovým cílem bylo reprodukovat podmínky vzniku mraků. Za

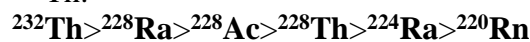
tímto cílem vytvořil zařízení složené z několika lahví, které mu dovozovaly expanzi objemu snížit tlak a teplotu v komoře. Tomuto typu mlžné komory se říká expanzní komora a je to první a nejjednodušší typ mlžné komory. Expanze vzduchu způsobila vznik kapiček vody, a to i přes to, že se v komoře nacházel přefiltrovaný vzduch, tedy vzduch zbaven nečistot, tedy potenciálních kondenzačních jader. To ho přivedlo k myšlence, že i ionty se mohou chovat jako kondenzační jádra. Wilson za svůj vynález mlžné komory získal v roce 1927 Nobelovu cenu.

Jeho mlžná komora ale měla i své nevýhody, bylo v ní například možné pozorovat částice, jen krátce po provedení expanze. Proto o několik let později vznikla komora difusní. Tento typ komory používáme při dnešním experimentu. Tato komora měla výhodu delšího pozorování, protože na rozdíl od expanzní komory jsou přítomné páry zásadní pro pozorování doplňovány kontinuálně.

Existuje několik druhů záření, které se kolem nás vyskytují každý moment. Nejdůležitější rozdělení je podle původu záření. Dva druhy dle tohoto rozdělení jsou záření kosmického pozadí a záření přirozeného radiačního pozadí. Záření kosmického pozadí na rozdíl od záření přirozeného radiačního pozadí pochází z vesmíru. Když dorazí do atmosféry, začne prudce ionizovat částice, do kterých po cestě narazí. Tyto ionizované částice pak spustí řetězovou reakci sériových ionizací, která vyústí v tzv. spršku sekundárního kosmického záření. Částice vzniklé takovýmto procesem jsou miony, elektrony, nebo fotony. Z těchto částic ale v naší komoře zachytíme pouze miony, protože Beta částice se k nám v důsledku své malé hmotnosti nedostanou, nebo neprojdou stěny mlžné komory.

Druhým typem pozorovatelného záření je záření přirozeného pozadí, to vzniká v prostoru kolem nás.

Mezi největší přirozené zdroje ionizujícího záření patří Radon (^{220}Rn) a Draslík (^{40}K). Těmto zdrojům záření jsme vystaveni po celý život, každý den. Radon je vázán v půdě a uvolňuje se ve formě plynu ve stavbách. Tento izotop Radonu vzniká rozpadem izotopu Thoria ^{232}Th :



Občas se ale stane zvláštní událost, která je spojena s dalším rozpadem ^{220}Rn na stabilní ^{208}Pb .
 $^{220}\text{Rn}(55,6\text{s}) \rightarrow ^{216}\text{Po}(0,145\text{s}) \rightarrow ^{212}\text{Pb}(10,64\text{h}) \rightarrow ^{212}\text{Bi}(60,55\text{min}) \rightarrow ^{212}\text{Po}(0,299 \times 10^{-6}\text{s}) \rightarrow ^{208}\text{Tl}(3,05\text{3min}) \rightarrow ^{208}\text{Pb}$

Při těchto rozpadech až na ^{212}Bi probíhá α přeměna, u zmíněného ^{212}Bi probíhá β^- přeměna. Časy v závorkách jsou poločasy rozpadu jednotlivých izotopů. Jak můžete vidět, tak doby poločasů jsou velmi krátké, což může způsobit téměř okamžitý rozpad částice. Pokud všechny tři rozpady proběhnou velmi rychle, pozorujeme tři stopy Alfa částic velmi blízko sebe. Draslík ^{40}K je izotopem standardního draslíku ^{39}K , jeho poločas přeměny je okolo 1,25 miliardy let. U tohoto izotopu probíhá jak β^- (uvolňuje se elektron, přeměna na ^{40}Ca) tak i β^+ (uvolňuje se pozitron, přeměna na ^{40}Ar) rozpad. Draslík ^{40}K je přítomen v zemské kůře, kde jeho průměrný obsah činí přibližně 0,003%. Díky takovéto koncentraci se jedná o jeden z nejrozšířenějších radionuklidů na světě. ^[1]

Princip

Částice kosmického pozadí neustále prolétají naší atmosférou, cestou interagují s částicemi hmoty. Při těchto interakcích dochází k ionizaci atomů. Ionizace je proces, při kterém předá ionizující částice část své energie elektronu jiného atomu až do takové míry, že elektron opustí el. Obal atomu. To dá vzniknout páru elektron, kationt. To je velmi důležité, tyto tímhle způsobem vzniklé ionty fungují, jako kondenzační jádra pro změnu skupenství metastabilní látky. To znamená, že když těmito párami projde ionizující částice, nechá za sebou, podél své trajektorie mnoho kationtů, na kterých se díky kondenzaci vytvoří kapičky. My tedy pozorujeme silnou kondenzaci par v okolí trajektorie částice.

Kondenzační čáry zanechané jednotlivými druhy částic se liší.

Metastabilní stav

Metastabilní stav je stav látek, při kterém se látka nachází v jiné fázi, než ve které se má podle fázového diagramu při dané teplotě a tlaku nacházet. Tohoto stavu docílíme pouze při nedostatku zárodečných center, jako např. částic prachu, shluky molekul, ionty. Pokud se v látce v metastabilním stavu nachází nedostatek zárodečných center, tak ihned po přidání dodatečného množství zárodečných center ihned dojde ke skupenské přeměně. V naší komoře se to projeví následovně: v komoře se nachází kapičky zkondenzované páry, avšak ihned po průletu částice a následném vytvoření iontů se vytvoří kolem iontů další kondenzát. Při následném přidání těchto jader do směsi dochází k intenzivní a náhlé látkové přeměně. Příkladem je třeba přesycená pára, utajený var, nebo podchlazená pára.

3. Stavba mlžné difuzní komory

Pomůcky

Suchý led: Na chlazení mlžné komory používáme “suchý led”, což je CO_2 v pevném skupenství, při teplotě -78 celsia, používáme ho kvůli jeho dostupnosti, V našem experimentu jsme použili suchý led od firmy Linde zakoupený ve formě pelet.

Isopropylalkohol ($\text{CH}_3\text{-CHOH-CH}_3$): K fungování mlžné komory je potřeba přesycená pára, kterou získáváme odpařováním isopropylalkoholu ze stropu mlžné komory. Používáme jej kvůli jeho vysoké těkavosti a funguje lépe než methanol, či ethanol. Dále jako IPA.

Styrodur: Extrudovaný polystyren, v naší mlžné komoře je použit jako izolace suchého ledu. Součásti ze styroduru jsou vyřezány z 3 cm tlustých plátů.

Hliníková podložka: Na suchý led jsme posadili desku z hliníku, ta byla z jedné strany nabarvena černě, aby kontrastovala s kapičkami alkoholu a stopy tak byly lépe viditelné.

Europřepavka: Klasická plastová šedá europřepavka. V našem experimentu slouží jako báze, do které vložíme izolaci a ve které bude celý experiment probíhat.

Akušroubovák: Akušroubovák jsme použili k vyvrtání děr pro nýty do podstavy faunária

Nýty: Slouží k připevnění filce na dno faunária

Faunarium: Slouží jako hlavní komora pozorování, nachází se zde také páry IPA.

Filc: Po napuštění, IPA slouží k dávkování alkoholových par, jde nahradit jakoukoliv látkou.

Zdroj světla: Jako zdroj světla potřebný pro zobrazení kapiček alkoholu jsme použili Cree XPE diodu. Tento zdroj světla je pro tento pokus optimální, tohle světlo nám dovoluje vidět kapičky, zároveň neoslňuje.

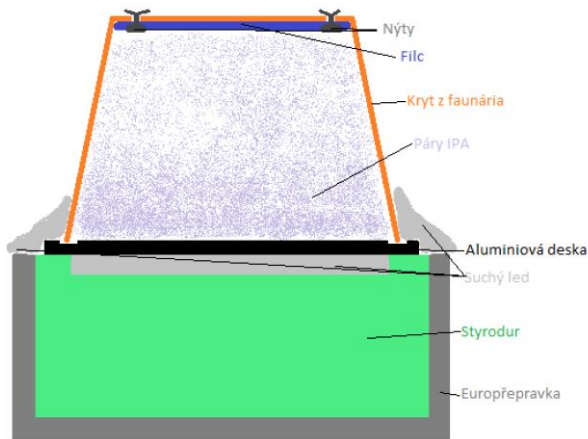
Zdroj záření: Ve druhém experimentu jsme do komory položili zdroje záření, nejdříve zářič z Americia (^{241}Am) a následně i punčošku z Thoria (^{232}Th)

Postup stavby

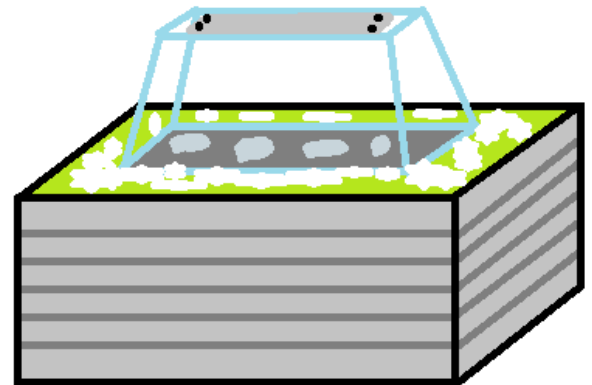
Nejprve jsme vyřezali ze Styroduru potřebné díly k sestavení izolace, vyřezaná díly musejí být rovné, aby nedošlo k naklonění hliníkové desky. Tyto vyřezané části naskládáme do europřepavky. Díly do sebe musí sedět, aby nedocházelo k úniku chladu. Kryt jsme sestrojili z plexisklového faurária, do kterého jsme vyvrtali 4 díry 1,5 cm od hrany podstavy pro nýty, které držely filc na dně faunária. Po připevnění filcu jsme byli připraveni na další fázi, přidání isopropylalkoholu a suchého ledu, tuto část jsme již prováděli v zatemněné laboratoři.

Na připravenou část s izolací jsme nasypali peletky suchého ledu, do vrstvy cca 1 cm tlusté. Suchý led jsme zde nasypali kvůli vzniku podchlazené páry a chlazení hliníkové podložky, kterou jsme na něj položili. Po položení začala hliníková destička vydávat pisklavý nepříjemný zvuk, který byl způsoben náhlou, prudkou změnou teploty. Isopropylalkohol jsme nanášeli pomocí rozprašovače na okna na filc (circa 40 dávek), který jej nasál. Po přiklopení krytu jsme

na hrany opět nanесли Isopropylalkohol a obsypali novou vrstvou suchého ledu. Museli jsme počkat několik minut, aby se ustálily vnitřní podmínky uvnitř komory, následně jsme namířili několik zdrojů světla na podložku a v kuželu jejich světla jsme po 10-12 minutách začali pozorovat první stopy částic.



Obr. 1: Průřez komorou.



Obr. 2: Schema komory.

4. Experiment

Při experimentu jsme dodržovali striktní bezpečnostní zásady. Po celou dobu jsme měli nasazené ochranné brýle, jako prevence před vniknutím ISA do očí. Při manipulaci s ISA, suchým ledem a při manuální práci na komoře jsme měli nasazené ochranné pracovní rukavice. Chránili jsme se tak proti omrzlinám z kontaktu se suchým ledem, kontaminací toxickým IPA a v neposlední řadě mechanickému poškození způsobeném nešikovnou manipulací s náradím a komorou. Experiment je nutno provést v temné místnosti, ale musí být otevřené okno, či zajištěno jiné větrání, IPA je těkavý a toxický.

Provedli jsme celkem tři experimenty. V prvním provedeném experimentu jsme sestavily paralelně dvě komory, obě jsme zásobili IPA a suchým ledem. Tento experiment nepřinesl téměř žádné výsledky. V komoře se sice vytvořily kapičky zkondenzované páry, avšak na přítomnost částic již nereagovala, tj. při průchodu částice nedošlo k zobrazení stopy.

Druhý experiment, již byl mnohem úspěšnější, obě komory jsme odklopili, vyčistili a opět jsme je naplnili IPA, do jedné jsme umístili Americiový zářič, do druhé Thoriovou punčošku. Obě komory nyní ukazovaly alespoň nějaké výsledky. Nebylo to však jen přiblížením dvou typů zářičů, ale i příhodnějšími podmínkami v komoře. Je velmi důležité, aby byla komora správně vymrzlá, nižší teplota stimuluje torbu sytých par, a tím ulehčuje následné pozorování průletů částic. Také je velmi důležité mít čistou komoru, pokud se v ní nachází nečistoty, tak na nich dochází ke skupenské přeměně sytých par. Tím se snižuje jejich koncentrace a tedy i velikost stopy prošlých částic.

Kvůli přítomným zářičům byla kvantita pozorovaných částic také velká.

Při třetím experimentu jsme se rozhodli vyzkoušet vytvořit mlžnou komoru z kelímku na pivo Lobkowitz. Do kelímku jsme položili toaletní papír, jež jsme saturovali IPA. Tento kelímek jsme otočili na zmrzlou desku a následně nechali ustálit. Situace se ustálila po cca třech minutách. Pozorovali jsme vytvoření kapek par. Po relativně krátké době došlo i k pozorování

průletu Alfa částice. Úspěch této komory připisujeme v době měření již téměř dokonale vymrzlé hliníkové podložce.

5. Závěr

Podařilo se nám vyrobit a sestavit funkční mlžnou komoru. Pozorovali jsme ionizující záření z přirozeného pozadí a také z radioaktivních zdrojů. Nejzajímavější bylo pozorování postupného rozpadu **Rn>Po>Pb**.



Obr. 3: Tři Alfa částice vznikající postupným rozpadem **Rn>Po>Pb**

6. Poděkování

Děkujeme pánovi doc. Mgr. Jaroslav Bielčík, Ph.D. za vedení našeho projektu. FJFI ČVUT za nádherný týden plný zajímavostí a poznání.

7. Použitá literatura

KUČERA, Petr. MOŽNOSTI EXPERIMENTŮ S DIFÚZNÍ MLŽNOU KOMOROU [online]. Plzeň, 2012 [cit. 2019-06-18]. Dostupné z:

<https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/5386/1/DP.pdf>. DIPLOMOVÁ PRÁCE. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Doc. Dr. Ing. Karel Rauner.

USAČEV, Sergej. Experimentální jadrová fyzika. Bratislava: Nakladatelství technické literatury, n. p. Praha, 1982. ISBN 63-559-82.