



Středoškolská technika 2023

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

Mlžná komora

Tomáš Drápal

Gymnázium Botičská

Botičská 424/1, Praha

Anotace

Cílem mé práce bylo sestavení plně funkční difúzní mlžné komory, jejíž konstrukce není finančně příliš náročná. Tato mlžná komora by zároveň měla nabídnout možnost kvalitního pozorování v domácích podmínkách. V práci jsem se zabýval historickým vývojem mlžné komory a principem, na kterém funguje. Práce také zahrnuje postup pro sestavení difúzní mlžné komory a mou konkrétní metodu konstrukce. Dále jsou v práci popsány problémy, které se v průběhu práce vyskytly. V rámci výsledků práce jsou obsaženy i fotografie nabitých částic, které jsem v komoře pozoroval.

Abstract

The goal of my thesis was to assemble a fully operational diffusion cloud chamber while maintaining reasonable costs. This cloud chamber should also offer the possibility of high-quality observation in home conditions. In this thesis, I mention the historical development of the cloud chamber and the principle on which it operates. The thesis also includes a procedure for assembling a diffusion cloud chamber and my specific construction method. Furthermore, my thesis describes complications that occurred during the construction and observation. The results of this thesis include photographs of charged particles that I observed in the chamber.

Obsah

Úvod	8
Přehled literatury.....	9
Historie	9
Princip funkce mlžné komory.....	10
Kondenzační jádra	10
Kondenzace par v mlžné komoře.....	10
Z čeho se skládá difuzní mlžná komora	11
Pozorovatelné částice	11
Protony.....	12
Beta částice	12
Alfa částice	12
Miony	13
Záření delta.....	13
Metodika.....	14
Materiály a pomůcky	14
Postup konstrukce.....	14
Průběh pozorování.....	15
Výsledky a diskuse.....	16
Fotografie stop částic	17
Orientační cena:.....	18
Závěr.....	20
Seznam literatury.....	21
Přílohy	23

Úvod

Mlžná komora je zařízení, které dnes již nemá uplatnění ve výzkumu. Pro pozorování nabitých částic pouhým okem je to však stále velice užitečný nástroj, který mne svou jednoduchostí, interaktivitou a názorností velmi zaujal. Rozhodl jsem se tedy, že v rámci své maturitní práce takovou komoru sestrojím. Cílem bylo, aby se komora svou konstrukcí trochu odlišovala od ostatních populárních způsobů sestavení, disponovala dobrým osvětlením a umožnila mi pořízení fotografií nabitých částic. Z toho důvodu se nejedná o komoru s minimálními finančními náklady, stále je však možné ji bez problémů sestavit doma za přijatelnou cenu. Mlžná komora je také zajímavým náhledem do historie výzkumu nabitých částic.

Přehled literatury

Historie

Za vynálezce mlžné komory je označován skotský fyzik Charles Thomson Rees Wilson. Jeho cílem bylo sestavení zařízení (komory) pro studování vzniku mraků a optických vlastností vlhkého vzduchu. Tento výzkum ho však příliš nezaujal. Po provedení pokusů s aparaturou produkující rentgenové záření zjistil, že takové záření zajistí vznik kondenzačních jader, na kterých se mohou vysrážet kapičky vody. Tento objev aplikoval při zdokonalování své první mlžné komory, sestavené v roce 1911. Tato původní mlžná komora fungovala na principu adiabatické expanze, proto se nazývá expanzní. Membrána v komoře zajistila expanzi vzduchu nasyceného vodní parou, došlo tak k jeho ochlazení. Pokud ionizující částice projde skrz komoru, pára na iontech zkondenzuje a zanechá viditelnou stopu. Wilson takto pozoroval řadu částic a záření, jeho objevy však nezískaly širší ohlas. Velkým zdokonalením výzkumů v komoře byly magnety, díky kterým bylo možné studovat vlivy magnetického pole na prolétávající částice. Za své objevy byl Wilson roku 1927 oceněn Nobelovou cenou. (1) (2)

V roce 1936 vyvinul americký fyzik Alexander Langsdorf difuzní mlžnou komoru, která je oproti komoře expanzní chlazená nepřetržitě a umožňuje delší pozorování. Jako zdroj páry se místo vody využívá alkohol, který má nižší teplotu varu. V horní části komory dochází k vypařování alkoholu, páry následně sestupují ke dnu komory, které je chlazené (např. pomocí suchého ledu nebo Peltierových článků). Tak se vytvoří vrstva přesycené páry, ve které je možné pozorovat prolétávající částice. (1)

Postupem času byly mlžné komory nahrazeny dokonalejší bublinkovou a jiskrovou komorou, v současné době se nejčastěji využívají komory drátěné. Pro svou názornost se však mlžné komory používají dodnes, např. jako učební pomůcky. (3) (4)



Obrázek 1 Originální expanzní mlžná komora (1)

Princip funkce mlžné komory

Mlžná komora je zařízení, sloužící k vizualizaci drah nabitých částic, které je následně možné vyfotografovat či pozorovat. Dráhy částic pozorujeme jako kondenzační stopy, které vznikají po průletu částice skrz přesycené páry uvnitř komory. (2)

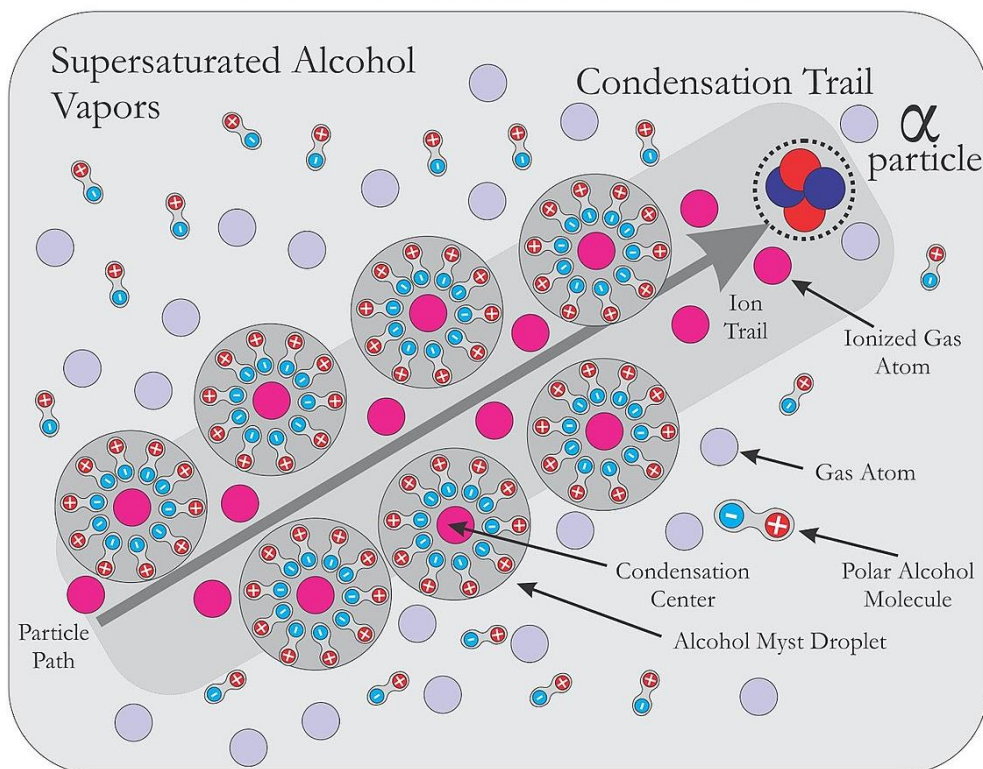
Kondenzační jádra

Malé aerosolové částice, které mají vhodné vlastnosti k přechodu látek z plynného do kapalného skupenství. Kondenzačními jádry mohou být např. pylové nebo prachové částice, krystalky solí, ale právě také ionty, které jsou pro funkčnost mlžné komory zásadní. (5)

Kondenzace par v mlžné komoře

Při ochlazování (za normálních podmínek) dosahuje pára ve vzduchu teploty, kdy začne kondenzace. Tato teplota se označuje jako rosný bod. Kondenzace par je však podmíněna přítomností již zmíněných kondenzačních jader. Pokud ve vzduchu žádná kondenzační jádra nejsou, pára se nevysráží ani při rosném bodě a dojde tak ke vzniku přesycené páry. Pokud přesycenou parou proletí nabitá částice, dojde k ionizaci molekuly plynu v místě průletu. Vzniklé ionty přitahují okolní neutrální molekuly, vytvoří se tak částice, které plní funkci kondenzačních jader. (6) (7)

How Diffusion Cloud Chamber Works



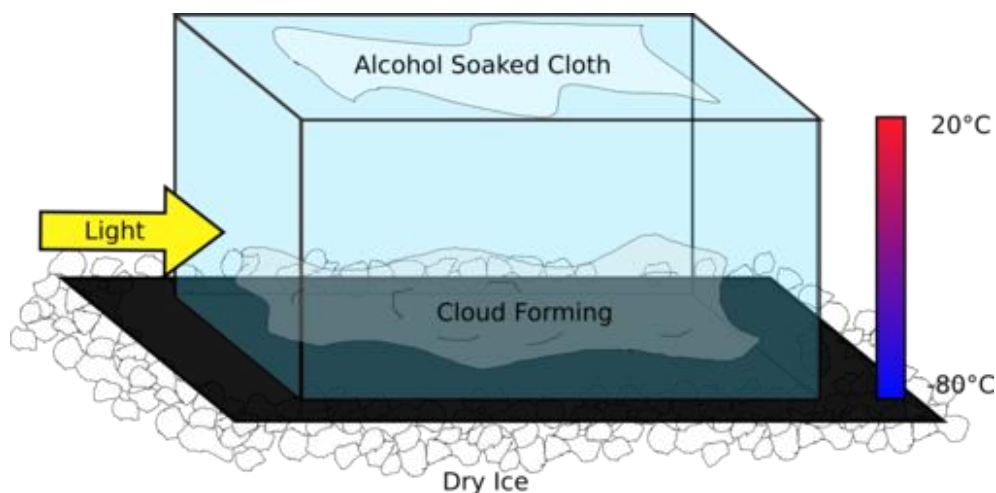
Obrázek 2 Princip formace stopy (1)

Z čeho se skládá difuzní mlžná komora

V této kapitole se budu zabývat obecným způsobem sestavení difuzní mlžné komory. Svým konkrétním způsobem sestavení komory se zabývám v následující kapitole *Metodika*.

Pro sestavení difuzní mlžné komory jsem se rozhodl nejen proto, že její konstrukce je méně komplikovaná než u komory expanzní, ale také proto, že umožňuje provádět delší pozorování. Pro následnou fotodokumentaci je tedy praktičtější.

K sestavení jednoduché mlžné komory toho není potřeba mnoho. Základem je průhledná, ideálně skleněná nádoba, která má hladké stěny. Nádoba by měla být dostatečně velká, aby bylo možné částice dobře pozorovat. Jako dno komory se využívá kovový plech, který efektivně odvádí teplo z komory. Povrch plechu však není pro pozorování částic ideální, protože odráží světlo, což pozorování značně komplikuje. Proto by se měl plech natřít černou (nejlépe matnou) barvou, zajistí se tak vhodná kontrastní plocha. Dno komory se poté umístí nad zdroj chlazení, kterým je většinou suchý led, je ale možné využít i Peltierovy články, které však konstrukci dále komplikují, protože samy vyžadují výkonné chlazení. Teplota, na kterou je komora chlazena, by měla sahat pod $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zdrojem páry je kapalina, přesněji alkohol, který má nižší teplotu varu než např. voda. Nejčastěji se využívá čistý isopropanol nebo methanol. Pro zadržení alkoholu v nádobě je nejnázší umístit savou tkaninu do horní části nádoby a poté ji alkoholem napustit. Nakonec je vhodné komoru nějakým způsobem nasvítit, aby mlžné stopy lépe vynikly. (8)



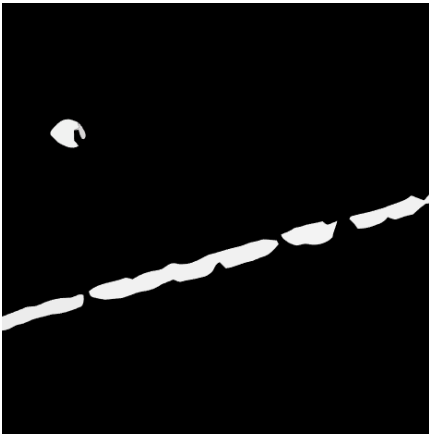
Obrázek 3 Schéma mlžné komory (8)

Pozorovatelné částice

Zde se zaměřím na nabitě částice, které by mělo být možné v komoře pozorovat. Některé z následujících částic jsou pozorovatelné spíše vzácně (miony, záření delta), avšak protony, elektrony, pozitrony a alfa částice půjde pravděpodobně zachytit snadno. (9)

Protony

Patří mezi nejzákladnějších částice hmoty. Jeden proton se skládá ze 3 kvarků (kvark d a 2 kvarky u). Mají stejně velký elektrický náboj jako elektrony, ale kladný. Protony zanechávají rovnou mlžnou stopu přes celou komoru, může být ale kratší, nebo i v podobě tečky (záleží na úhlu, pod kterým proton vletne do komory.) (9) (10) (11)



Obrázek 4 Proton (9)

Beta částice

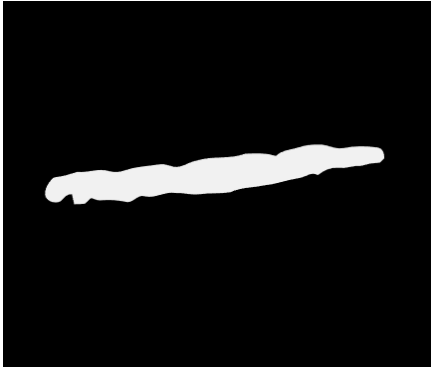
Částice vznikající v jádře atomu při přeměně neutronu na proton. Existují dva druhy beta částic – **elektrony** a **pozitrony**. Elektron se označuje jako β^- , pozitron je jeho antičásticí a označuje se β^+ . Beta částice tvoří různorodé, tenké, nepravidelné i přímé stopy. Tvar stop je ovlivněn energií beta částic, čím přímější stopa je, tím větší měla částice energii. Dráhy elektronů i pozitronů jsou identické, pokud komoru neumístíme do magnetického pole – pak by se stáčely na opačné strany. (9) (10)



Obrázek 5 Beta částice (9)

Alfa částice

Jádra helia vzniklá rozpadem nestabilního jádra atomů. Skládá se ze 2 protonů a 2 neutronů. Alfa částice zanechávají kratší a silnější mlžné stopy. (9)

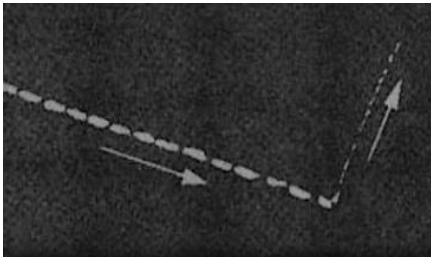


Obrázek 6 Alfa částice (9)

Miony

Jedná se o nestabilní, krátce žijící elementární částice se záporným nábojem. V komoře vytváří stopy velmi podobné elektronům, které jsou ale velmi rovné, protože miony mají vysokou energii.

Od elektronu je možné stopu odlišit, pokud dojde k rozpadu mionu – vznikají tak neutrina a elektron. Protože neutrina není možné v komoře detekovat, viditelná stopa po rozpadu mionu je slabší. Šance na zpozorování rozpadu je však malá, proto může dojít záměně s elektronem. (9) (7) (12)



Obrázek 7 Rozpad mionu (7)

Záření delta

Záření delta je viditelné, pokud komorou proletí těžká nabitá částice s velkou energií a vytrhne elektrony z molekul isopropylalkoholu. Kolem mlžné stopy těžké částice (např. protonu) pak vidíme slabé stopy elektronů. (9) (13)



Obrázek 8 Záření delta (9)

Metodika

Cílem mé práce bylo sestavení jednoduché difuzní mlžné komory (má komora bude ochlazována pomocí suchého ledu), ve které následně provedu pozorování drah nabitých částic.

V této kapitole zmíním, jaké materiály a pomůcky bylo zapotřebí využít a také důvody k jejich výběru. Dále popíšu přesný postup práce, podle kterého jsem komoru sestavoval a zprovoznil. Výsledkem mé práce bude fotodokumentace z pozorování částic v úspěšně sestavené mlžné komoře.

Materiály a pomůcky

1. skleněné akvárium (rozměr 30×18×24 cm, tloušťka stěny 5 mm)
2. hliníkové plechy (přibližně 30×18 cm a 35×23 cm, tloušťka plechu 1 mm)
3. dřevěná plotová prkna (6×2,6 cm)
4. dřevěná lišta (2×2,7 cm)
5. matná černá barva
6. plst'
7. LED pásek (přibližně 1 m, 1650 lm, 4000 K)
8. montážní lepidlo
9. hřebíky, vruty
10. isopropanol (99,9 %)
11. pelety suchého ledu (3 mm)
12. ochranné rukavice (k práci se suchým ledem)
13. nůžky na plech, pila, dláto, řezák, vrtačka, šroubovák, pilník, kladivo, metr, pravítko, lihový fix, tužka
14. fotoaparát (mobilní telefon)
15. radioaktivní zářič (v ideálním případě)

Postup konstrukce

Z hliníkového plechu (1×0,3 m) jsem pomocí nůžek na plech a řezáku vyřízl část, která slouží jako kontrastní plocha. Nůžky se neukázaly jako ideální, protože plech příliš křivily, a tak jsem plech nařízl řezákem a potřebnou část odlomil. Poté jsem plech nastříkal třemi vrstvami (další vrstvu vždy po 20 minutách) matné černé barvy. Z plsti (se samolepicí vrstvou na druhé straně) jsem vystříhl odpovídající část tak, aby bylo možné ji přilepit na dno akvária. Tato vrstva je určena k zadržení isopropylalkoholu, který se odtud odpařuje. Ke konstrukci rámu pro akvárium jsem využil 2 plotová prkna, která jsem rozřezal na 4 kusy (2 kusy po 30 cm a 2 po 23 cm). Kvůli umístění LED pásku po obvodu rámu bylo nutné do zatím nespojených prken udělat zhruba 0,3 cm hlubokou a 1 cm širokou drážku pomocí dláta. Vodorovné drážky jsem umístil 2 cm od části prkna, která se bude dotýkat země. Poté, co jsem

zkontroloval, že rám bude okolo akvária dobře sedět, jsem do 2 kratších prken vyvrtal díry (do každého prkna 4) pro snadnější práci s vruty. Následně jsem prkna sešrouboval vruty, na styčné plochy jsem nanesl trochu lepidla pro větší pevnost. Když byl rám pevně spojen, tak jsem vyvrtal otvor pro zavedení LED pásku, který jsem vlepil do drážek po obvodu celého rámu. Ze zbytku hliníkového plechu jsem vyřízl část, která slouží jako dno pro dřevěný rám. Plech jsem k rámu připevnil pomocí hřebíků. Z dřevěné lišty jsem odřízl 2 kusy, každý zhruba 28 cm dlouhý. Jeden kus jsem přilepil na delší vnitřní stranu rámu tak, že se dotýkal hliníkového dna a nepřesahoval nad drážku s LED páskem, druhý kus jsem přilepil stejným způsobem na protilehlou stranu rámu. Pro uvedení komory do provozu je potřeba vnitřní prostor v rámu naplnit suchým ledem, překrýt černým plechem a na plech postavit akvárium otočené dnem vzhůru.

Průběh pozorování

Poté, co jsem si připravil vhodný pracovní prostor pro pozorování, jsem pomocí lopatky naplnil komoru peletami suchého ledu. Plst' na dně akvária jsem nechal nasáknout isopropanolem, jehož přebytek bylo nutné odlít zpět do nádoby. Akvárium jsem následně umístil nad hliníkový plech. Rozsvítil jsem LED pásek a nastavil jas na požadovanou hodnotu. Nyní bylo nutné počkat, až se podmínky v komoře stabilizují. Po asi 10 minutách se v komoře začaly objevovat slabé první stopy a po zhruba 15 minutách bylo pozorování optimální. Procesy v komoře jsem zachycoval na video, aby bylo později možné vybrat vhodné záběry mlžných stop.

Protože se mi nezdálo, že bych v komoře spatřil alfa částice, rozhodl jsem se pozorování zopakovat, tentokrát jsem však do komory umístil americium-241, které posloužilo jako zářič. Nyní byly alfa částice velmi dobře pozorovatelné.

Výsledky a diskuse

Sestavená difuzní mlžná komora byla plně funkční, cíl své práce se mi tedy podařilo splnit. Úspěšně jsem provedl pozorování částic beta, jejichž zdrojem bylo kosmické záření. Dále jsem pozoroval částice alfa, které se mi bez zdroje pozorovat nezdařilo, jako zdroj jsem tedy využil americium-241. Mimo tyto částice, které převažovaly, jsem zpozoroval i dráhu protonu a pravděpodobně i mionu. Všechny zmíněné částice jsem také vyfotografoval a zachytil na videu. Určení typů částic bylo poměrně snadné. Stopy, které jsem zachytil, téměř přesně odpovídaly profesionálním pozorováním. K omylu mohlo dojít asi pouze v případě mionu, jehož stopa se velmi podobá stopám elektronů. K definitivnímu určení by bylo nutné zachytit jeho rozpad, který se podaří zpozorovat velmi vzácně.

Nejnáročnější částí práce však nebyla samotná konstrukce komory, nýbrž sehnání potřebných materiálů, zejména suchého ledu. Původně jsem předpokládal, že bude problém sehnat 99,9% isopropanol, který se ale dá jednoduše pořídit online. Suchý led prodává online pouze několik výrobců, největší komplikací je ale doprava. Pokud by došlo k problému s doručením, suchý led by mezitím vysublimoval. I tak se mi nakonec podařilo sehnat dostatečné množství pro toto pozorování (z objednaných 5 kilogramů ledu jsem ale obdržel pouze 3,4 kilogramů). Ostatní materiály potřebné ke konstrukci se dají zakoupit v různých hobbymarketech.

Díky využití silného LED osvětlení, které je zabudované po celém obvodu komory, jsem byl schopen částice pozorovat a vyfotografovat bez větších problémů. Isopropanol jsem se v komoře pokoušel zachytit různými způsoby, např. nádobkou uchycenou na stěně akvária, i přesto se však plst' přilepená na dně ukázala jako nejlepší řešení, protože se isopropanol odpařoval v celé komoře rovnoměrně. Další výhodou tohoto způsobu bylo výrazně jednodušší doplňování isopropanolu.

Při pozorování se také vyskytly drobnější komplikace. Z počátku v komoře žádné stopy patrně nebyly. První pozorovatelné stopy se objevily až po asi 12 minutách od počátku pozorování, ideální podmínky pro vytváření stop v komoře totiž nastávají až po určité době. Přesto bylo prvních pozorovatelných stop velmi málo a objevovaly se pouze v některých místech v komoře. Tento problém byl nejspíše způsoben nerovnoměrným zchlazením hliníkového plechu. Dosypáním a zarovnáním většího množství suchého ledu jsem se zbavil míst, kde plech nebyl v kontaktu s ledem, částice se pak již objevovaly rovnoměrně. Poslední komplikací bylo pozorování alfa částic. Předpokládal jsem, že je bude možné pozorovat bez zářiče, což se mi ale nedařilo. Pokusil jsem se tedy najít nějaké zdroje alfa záření, které se mohou vyskytovat v domácnosti. Jedním z takových zdrojů je tritium, které se nachází v ručičkách některých náramkových hodinek (jako zdroj osvětlení). Hodinky s tritiem mám sice k dispozici, ale jako zdroj alfa záření nefungovaly, sklo na hodinkách většinu záření nejspíše zablokovalo. Dalším možným zdrojem mohou být ionizační kouřové

detektory, které většinou obsahují izotop americium ^{241}Am . Ze starého detektoru kouře jsem tedy vyjmul část, ve které je americium obsaženo. Improvizovaný zářič z americiumu se ukázal jako efektivní zdroj alfa částic, které jsem nyní mohl také pozorovat.

Po dokončení pozorování jsem také zjistil, že je důležité nechat komoru důkladně vyschnout. Na černě nabarvený plech totiž v uzavřené komoře působily zbytky isopropanolu, přes noc tak došlo ke kompletnímu odlepení barevné vrstvy od hliníkového plechu. Při krátkodobém kontaktu barvy s isopropanolem k poškození nedošlo.

Fotografie stop částic



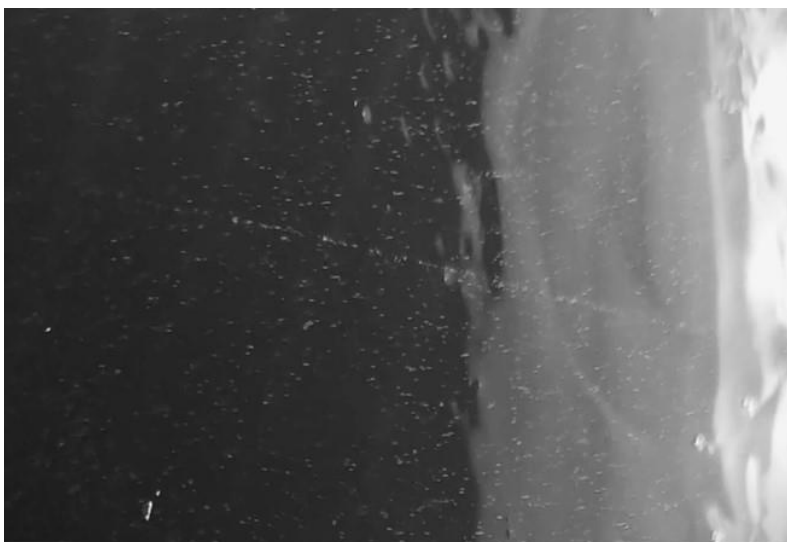
Obrázek 9 Stopa protonu



Obrázek 10 Stopy beta částic



Obrázek 11 Stopy alfa částic a zářič



Obrázek 12 Stopa mionu

Orientační cena:

Položka	Cena
Akvárium	700,00 Kč
LED osvětlení	900,00 Kč
Hliníkový plech	250,00 Kč
Černá barva	150,00 Kč
Dřevo	200,00 Kč
Lepidlo	140,00 Kč
Plst'	50,00 Kč
Isopropylalkohol	270,00 Kč
Suchý led	515,00 Kč
Celkem	3 130,00 Kč

Ceny v tabulce odpovídají cenám, za které jsem materiály pořídil. Jednotlivé položky je ale možné pořídit i za výrazně odlišné ceny, hodnoty jsou tedy orientační. Je také nutné poznamenat, že jsem mezi náklady nezařadil nástroje běžně dostupné v domácnosti, jako např. hřebíky. Nějaké nástroje jsem však musel dokoupit, reálné náklady na konstrukci komory proto byly o něco vyšší. Funkční mlžnou komoru je samozřejmě možné sestavit za nižší cenu, já jsem se ale rozhodl využít kvalitnější materiály a silné osvětlení, což se na výsledné ceně projevilo. Cena je také ovlivněna například nutností pořídit větší hliníkový plech, protože menší rozměry se neprodávají.

Závěr

Podařilo se mi sestavit difúzní mlžnou komoru a provést v ní pozorování nabitých částic. U několika typů takových částic jsem pořídil záběry jejich stop. Díky této práci jsem získal nové zkušenosti, jako je například řešení potíží, které se při konstrukci a pozorování mohou vyskytnout. Dozvěděl jsem se také různé informace z historie výzkumu a pozorování nabitých částic.

Seznam literatury

1. Cloud chamber. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2023-03-14]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Cloud_chamber
2. Wilsonova mlžná komora. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2023-03-14]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Wilsonova_ml%C5%BEn%C3%A1_komora
3. CLOSE, Frank. *Particle physics: a very short introduction*. I. Title. New York: Oxford University Press, 2004. ISBN 0-19-280434-0.
4. Wire chamber. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2023-03-14]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Wire_chamber
5. Kondenzační jádro. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2023-03-15]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Kondenza%C4%8Dn%C3%AD_j%C3%A1dro
6. MOTAL, Pavel a Martin VESELÝ. Mlžná komora. In: *Rozhledy matematicko-fyzikální* [online]. 3. Praha: Jednota českých matematiků a fyziků, 2008, s. 12-17 [cit. 2023-03-14]. ISSN 0035-9343. Dostupné z: https://dml.cz/bitstream/handle/10338.dmlcz/146256/Rozhledy_083-2008-3_2.pdf
7. VLKOVÁ, Kateřina a Viktor LÖFFELMANN. *Difúzní mlžná komora* [online]. Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1, 2010 [cit. 2023-03-16]. Dostupné z: <http://fyzsem.fjfi.cvut.cz/2009-2010/Zima09/proc/mlznakomora.pdf>. ČVUT, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská.
8. ANSELL, Dave. Cloud Chamber. In: *The Naked Scientists* [online]. Cambridge: The Naked Scientists, c2000–2020, 12 July 2010 [cit. 2023-03-14]. Dostupné z: <https://www.thenakedscientists.com/get-naked/experiments/cloud-chamber>
9. *Nuledo* [online]. Praha, c2023 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://www.nuledo.com/>
10. LEPIL, Oldřich, Milan BEDNAŘÍK a Radmila HÝBLOVÁ. *Fyzika pro střední školy*. 4. vydání. Praha: Prometheus, 2020. ISBN 978-80-7196-429-2.
11. ÚLEHLA, Ivan, Zbyšek TRKA a Michal SUK. *Atomy, jádra, částice*. Praha: Academia, 1990. ISBN 80-200-0135-2.
12. Mion. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia

13. Cloud Chamber: Why the cloud chamber?. *FZU* [online]. Praha, c1998–2023 [cit. 2023-03-16]. Dostupné z: <https://www.fzu.cz/en/popularization/for-schools/cloud-chamber>

Přílohy



Obrázek 13 Barvení plechu



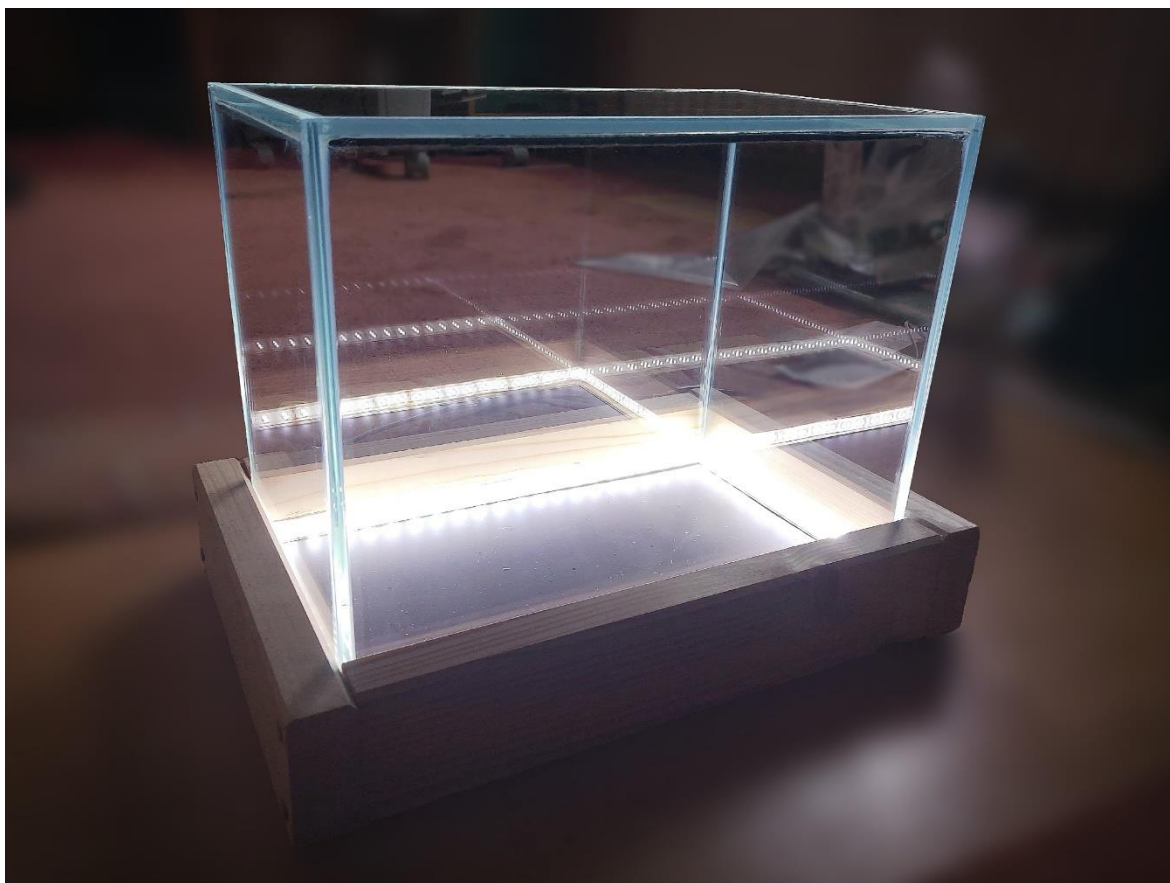
Obrázek 14 Tvorba drážky pro osvětlení



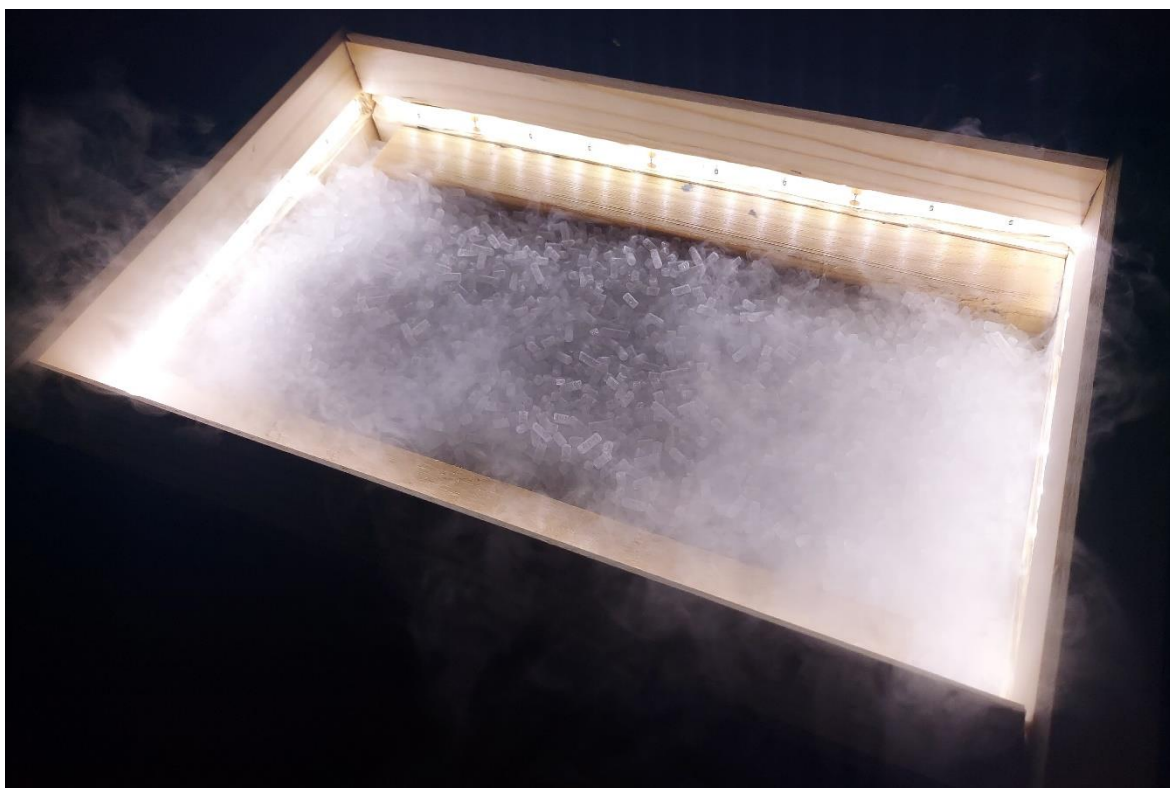
Obrázek 15 Výroba rámu



Obrázek 16 Instalace osvětlení



Obrázek 17 Hotová mlžná komora



Obrázek 18 Suchý led v mlžné komoře



Obrázek 19 Zářič s americiem