



STŘEDNÍ PRŮMYSLOVÁ ŠKOLA SDĚLOVACÍ TECHNIKY

110 00 Praha 1, Panská 856/3,

☎ 221 002 111, 🌐 www.panska.cz, ✉ sekretariat@panska.cz



ABSOLVENTSKÝ PROJEKT

Detektory částic

Autor: **Michal Cihlář**

Studijní obor: **78-42-M/01 Technické lyceum**

Školní rok: **2012/2013**

Kód třídy: **09L**

ANOTACE:

Fyzikální principy detektorů částic nejsou většinou příliš složité. Složitá je pouze technologie výroby, aby detektory splňovaly náročné požadavky na přesnost. Přesto je možné některé detektory vyrobit i s jednoduchými pomůckami. V práci jsou popsány fyzikální principy detektorů i návod na výrobu jednoho z nich spolu s problémy, které se při konstrukci mohou vyskytnout.

ANNOTATION:

Physical principles of particle detectors aren't usually too complex. Complex is only the production technology demanding high accuracy. Nevertheless, it is possible to make some detectors with simple tools. The thesis describes the physical principles of detectors and instructions for making one of them. The thesis also involves description of problems which may occur during the construction.

1. ÚVOD

Vždy mě zajímaly otázky ohledně vzniku vesmíru. Co se odehrálo v prvních zlomcích sekund po Velkém třesku? To je jen jedna z mnoha otázek k cestě za pochopením světa. Poté, co jsem shlédl film „CERN neboli Továrna na absolutno“, začal jsem svět kolem sebe vnímat jinak, než do té doby. Uvědomil jsem si, že vše kolem nás je tvořeno tak malými částicemi, že je jednotlivě nelze ani vidět. A to mě velice zaujalo. Chtěl jsem se dozvědět něco víc. Tak mě napadlo, že spojím příjemné s užitečným, a vytvořím tento absolventský projekt, který navazuje na mé ročníkové práce z fyziky ze druhého a třetího ročníku.

Původně jsem měl v úmyslu zaměřit práci zpočátku více teoreticky a teorii později použít k analýze skutečných dat získaných např. v CERNu. Byl jsem již domluven s doc. Jiřím Dolejším z MFF UK v Praze, který by mi umožnil proniknout více do tajů částicové fyziky s využitím matematicko-fyzikálních poznatků. Tyto poznatky dle jeho slov mírně převyšovaly běžnou středoškolskou látku, ale po několika schůzkách s ním jsem nabyt dojmu, že tento směr mé další práce na absolventském projektu nebude vhodný. Ačkoliv mám v plánu po absolvování střední školy studovat právě jadernou a částicovou fyziku a tedy bych poznatky získané na konzultacích s doc. Dolejším jistě využil, pochopil jsem, že bude lépe zaměřit práci jiným směrem. Na matematické odvozování vlastností částic si tedy počkám až na vysokou školu.

Tato práce se bude skládat z teoretické části a praktické části. V teoretické části práce popíši různé typy detektorů částic, jejich historii objevu, fyzikální princip činnosti a výsledky, které byly s jednotlivými detektory dosaženy. V rámci praktické části sestrojím, spolu s návodem k použití, jeden z typů detektoru - mlžnou komoru. Nakonec provedu pozorování a zhodnotím pozorované jevy.

2. TEORETICKÁ ČÁST

V této části práce se budu zajímat o vývoj a historické pozadí pozorování a zkoumání částic. Začnu na začátku 20. století a postupně se dostanu až do současnosti. Zpočátku budu popisovat nejprimitivnější přístroje, které vědci sestavovali ke zkoumání částic, a končit budu u zatím nejsložitějších detektorů - například ze Švýcarského CERNu nebo z Amerického Fermilabu.

2.1 Detektory částic

Používání detektorů částic je jeden ze základních způsobů, jak studovat částice. V závislosti na použitých fyzikálních principech existuje řada detektorů částic.

2.1.1 Wilsonova mlžná komora

2.1.1.1 Vynález

Wilsonovu mlžnou komoru (obr. 2) vynalezl v roce 1912 skotský fyzik Charles Thomson Rees Wilson (1869 - 1959) zobrazený na obr. 1, po kterém je i pojmenována. Tento objev se stal průlomem v pozorování elementárních částic. Wilson za sestavení tohoto přístroje získal v roce 1927 Nobelovu cenu za fyziku. Zajímavostí je, že Wilson nebyl fyzik ani chemik, ale meteorolog. Zabýval se vytvářením skutečných mraků. V laboratoři simuloval podmínky vzniku mraků pomocí uzavřené nádoby, ve které prudkou expanzí podchlazoval nasycenou vodní páru. Díky znalosti objevu rentgenového záření německým fyzikem Wilhelmem Conrad Röntgenem (1845 - 1923) předpokládal, že ionty vzniklé v komoře ozářením mohou způsobit vznik obláček. Toto se mu povedlo experimentálně ověřit. Při těchto experimentech zjistil, že částice prolétávající nádobou s vytvořenými mraky za sebou nechávají stopy v podobě kapiček kondenzované páry. Na základě toho je možno pozorovat trajektorie těchto částic.



obr. 1 Charles Thomson Rees Wilson

2.1.1.2 Princip

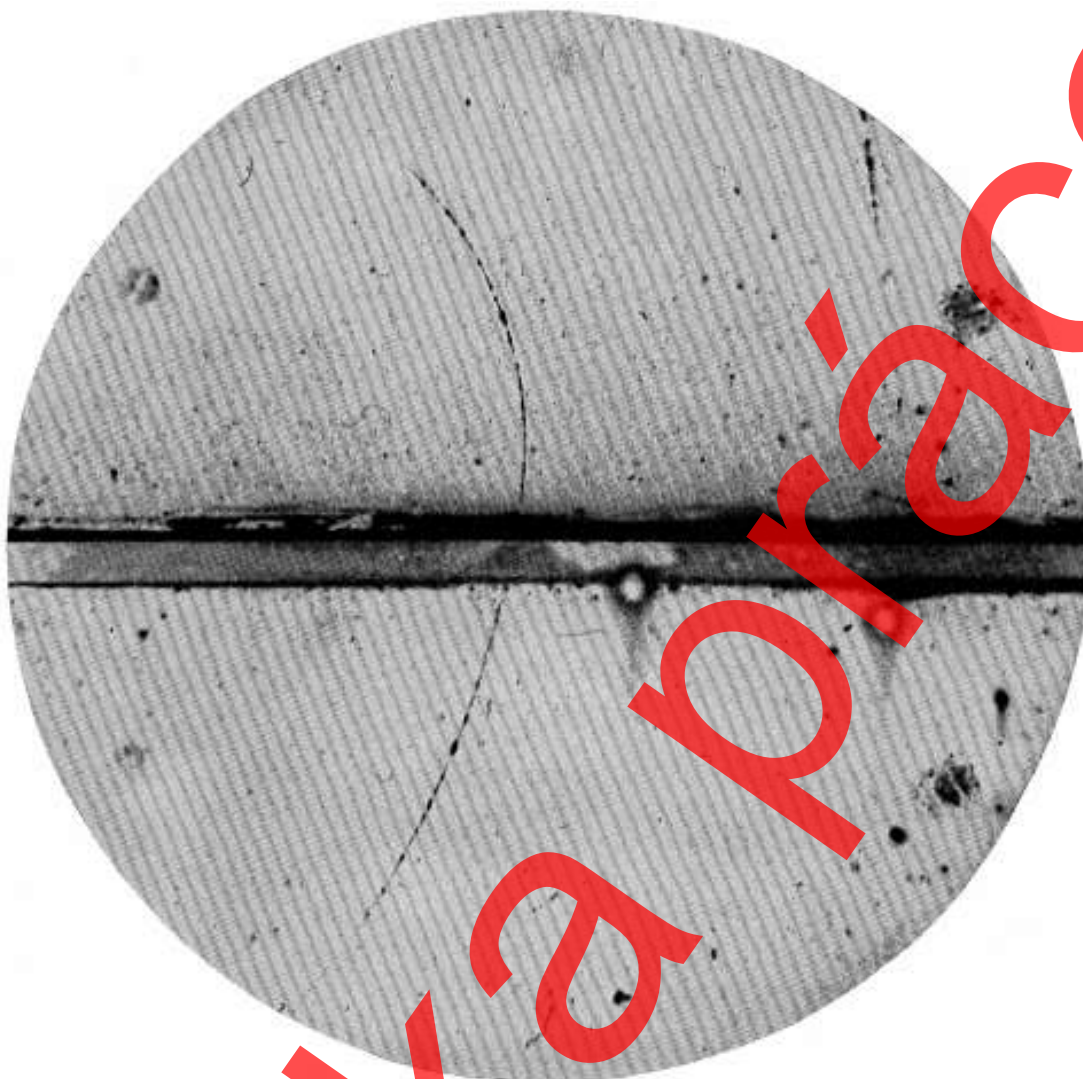
Jak jsem již zmínil, v komoře je vrstva nasycených par, nejčastěji se jedná o etanol nebo propyletanol. Částice prolétávající nasycenou párou vytvářejí ionty. Ionty se stávají kondenzačními jádry, na nich kondenzuje nasycená pára a v důsledku toho se poté vytvářejí malé kapky. Tyto kapky pozorujeme jako bílou stopu na pozadí nasycených par.



obr. 2 Původní mřížná komora sestrojena Charlesem T. R. Wilsonem

2.1.1.3 Měřitelné veličiny

- Trajektorie částice
- Rychlost, hybnost
- Měrný náboj



obr. 3 První fotografie zachycující stopu po průletu pozitronu

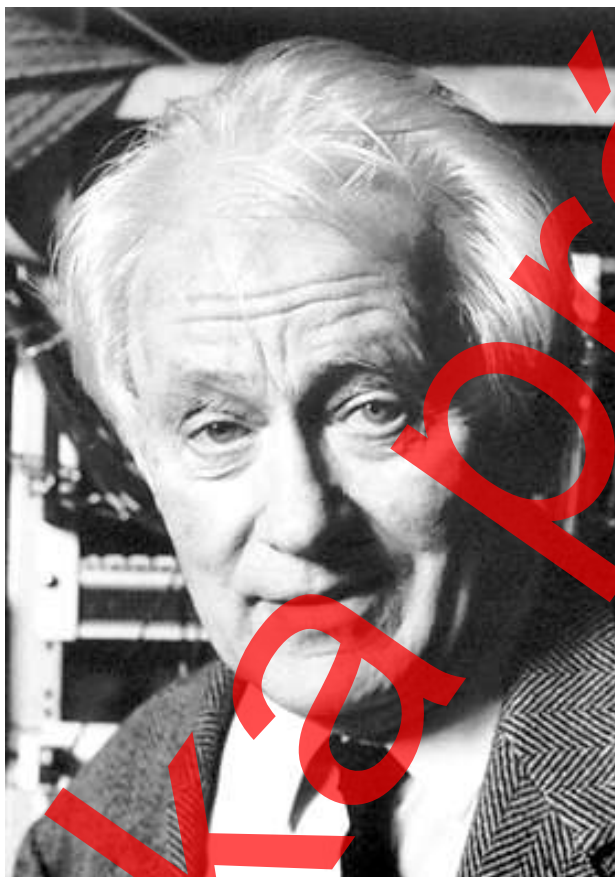
2.1.1.4 Objevy

- Pozorování α částic, β částic, γ záření, protonů, mionů
- Objev pozitronu, který je zobrazen na obr. 3 byl učiněn v roce 1932. 2. srpna 1932 během fotografování stop kosmického záření americký experimentální fyzik Robert Andrews Millikan (1868 - 1953) a jeho, taktéž americký, kolega Carl David Anderson (1905 - 1991) pozorovali stopu částice se stejnou hmotností, jako má elektron, ale s kladným nábojem. Jak se píše v práci, jejíž jedna stránka je zobrazena na obr. 4, touto částicí byl pozitron.

2.1.5 Drátová komora

2.1.5.1 Vynález

Drátovou komoru, v angličtině *Multi-Wire Proportional Chamber* (MWPC), vynalezl v roce 1968 francouzský fyzik Georges Charpak (1924 - 2010), který je zobrazen na obr. 14. Za tento objev mu byla udělena Nobelova cena za fyziku v roce 1992.



obr. 14 Fotografie Georgese Charpaka z [14]

2.1.5.2 Princip

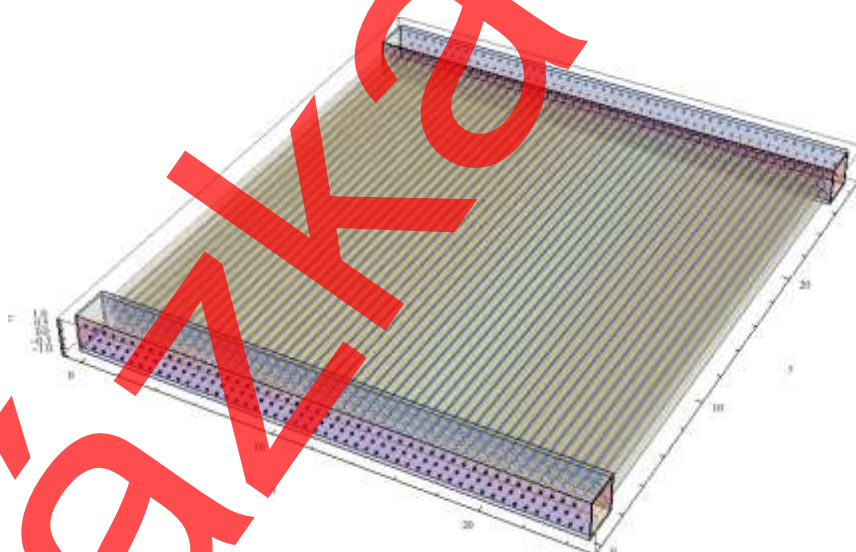
Drátová komora (obr. 16) vychází z podobného principu jako předchozí detektor, Giegerův-Müllerův počítač. Tvoří ji dvě plošné katody, mezi kterými je nataženo několik navzájem rovnoběžných drátů tvořících anody. Komora je vyplněna takovým plynem, aby průlet částice ionizoval pouze malý počet atomů. Nejčastěji se jedná o směs argonu a metanu. Elektrony a ionty vznikající při ionizaci atomů plynu prolétávající částicí způsobují další ionizaci. Vzniká elektronová lavina, která způsobuje průchod elektrického proudu anodou.



obr. 15 Georges Charpak se spolupracovníky, při stavbě drátové proporcionální komory v roce 1970 v CERNu

2.1.5.3 Měřitelné veličiny

- Trajektorie částice s mnohem větší přesností než u starších typů detektorů
- Počet částic
- Energie částic



obr. 16 Náčrsk drátové komory

2.1.5.4 Objevy

- Ve drátové komoře byl objeven top kvark ve Fermilabu, kde byly drátové komory součástí detektoru na experimentu CDF.

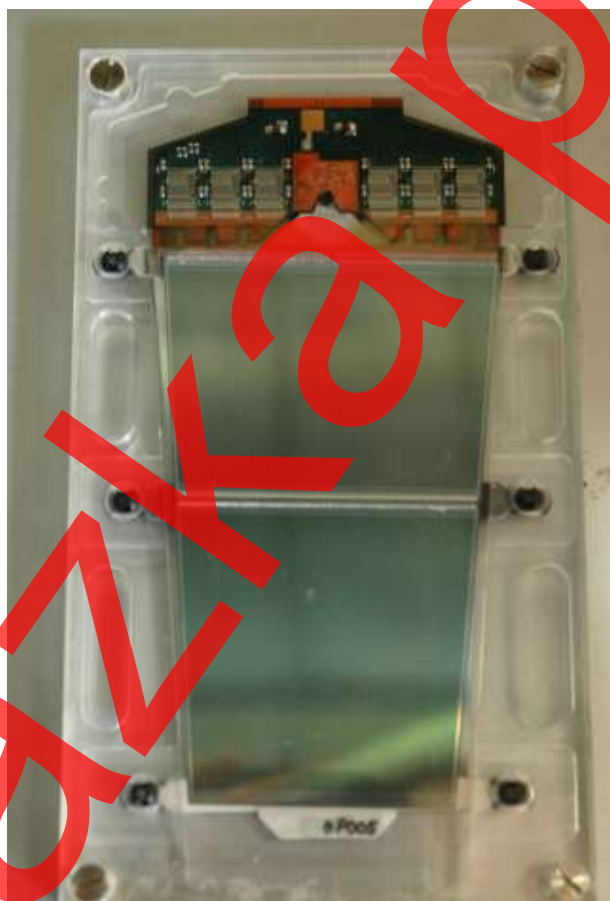
2.1.6 Polovodičové detektory

2.1.6.1 Vynález

Polovodičové detektory (obr. 17) se začaly využívat v 70. letech 20. století, tedy v době, kdy se začaly používat obecně i polovodičové součástky.

2.1.6.2 Princip

Polovodičové detektory fungují na stejném principu jako ionizační komora. Plyn používající se v ionizační komoře je zde nahrazen polovodičem. Z toho vyplývá několik výhod. Energie potřebná k vytvoření páru elektron – díra je asi o řád menší než u páru elektron – iont. Nejčastěji se detektory vyrábějí z dopovaného křemíku. Polovodičový detektor lze vyrobit i z diamantu, ale je to mnohem dražší i náročnější na technologii výroby. Většinou se polovodičové detektory používají jako tenké proužky, v tom případě se jim říká stripové detektory. Takovéto uspořádání v proužcích má velkou rozlišovací schopnost, i když pouze jednorozměrnou. Někdy se používají i tzv. pixelové detektory, které jsou na rozdíl od stripových detektorů tvořeny obdélníkovými polovodičovými prvky.



obr. 17 Fotografie stripového detektoru

2.1.6.3 Měřitelné veličiny

- Intenzita záření

2.2 Současné experimenty

V současnosti se největší experimentální zařízení sloužící ke studiu vlastností částic soustředí na několika místech na světě. Je to hlavně z důvodu vysokých nákladů na výstavbu a provoz celého zařízení včetně vývoje potřebných nových technologií. Mezi nejvýznamnější centra částicové a jaderné fyziky patří např. švýcarsko-francouzský CERN, americký Fermilab či SLAC nebo japonský KEK.

Místní název u experimentálního zařízení (např. „švýcarsko-francouzský“ CERN) znamená pouze umístění celého zařízení (většinou jsou jak budovy s experimentálním zařízením, tak budovy sloužící pro provozní potřeby i pro administrativu umístěné v jednom místě). Zaměstnanci (zejména odborníci podílející se na provozu experimentů) jsou většinou téměř z celého světa. Vybudovat zařízení pro studium částic je finančně i organizačně velmi náročné, a proto se na stavbě, přípravě technologií i na vlastním provozu podílejí vědci, inženýři a technologové z řady zemí světa. Podle míry zastoupení jednotlivých zemí (finance, technologie nebo jiné služby - v závislosti na konkrétních smlouvách o spolupráci) pak mohou tyto země využívat dané experimentální zařízení pro své vlastní experimenty, podílet se na změnách a podobně.

2.2.1 CERN

Evropská organizace pro jaderný výzkum (francouzsky *Conseil Européen pour la recherche nucléaire*) je mezinárodní organizace založená v roce 1954. Je umístěná na hranicích mezi Švýcarskem a Francií nedaleko od Ženevy (viz (obr. 24) obr. 24). V CERNu si vědci pokládají závažné a přitom přirozené otázky: co je to hmota, jak vznikla, jaké jsou vlastnosti částic tuto hmotu tvořících atd. Česká republika se stala členem CERNu v roce 1993 spolu se Slovenskem. V současné době má CERN 20 členských zemí, Srbsko a Israel jsou skoro členy a Rumunsko je kandidát na člena. CERN má také tzv. pozorovatelské státy. Těchto států je 5 společně s Evropskou Unií a organizací UNESCO. CERN dále spolupracuje s dalšími 55 státy jako jsou např. Kanada, Kuba nebo Katar.

Skutečnost, že detektory organizace CERN popíšu detailněji, než detektory ostatních laboratoří, má dva důvody. Prvním z nich je fakt, že CERN je ze všech popisovaných středisek z České republiky nejbližší. Druhým, výrazně silnějším důvodem, je fakt, že jsem se do tohoto střediska mohl osobně podívat v roce 2012 při exkurzi, kterou SPSŠT Panská pořádala.



obr. 24 Mapa CERNu a LHC s vyznačenými experimenty a švýcarsko – francouzskou hranicí

2.2.1.1 LHC

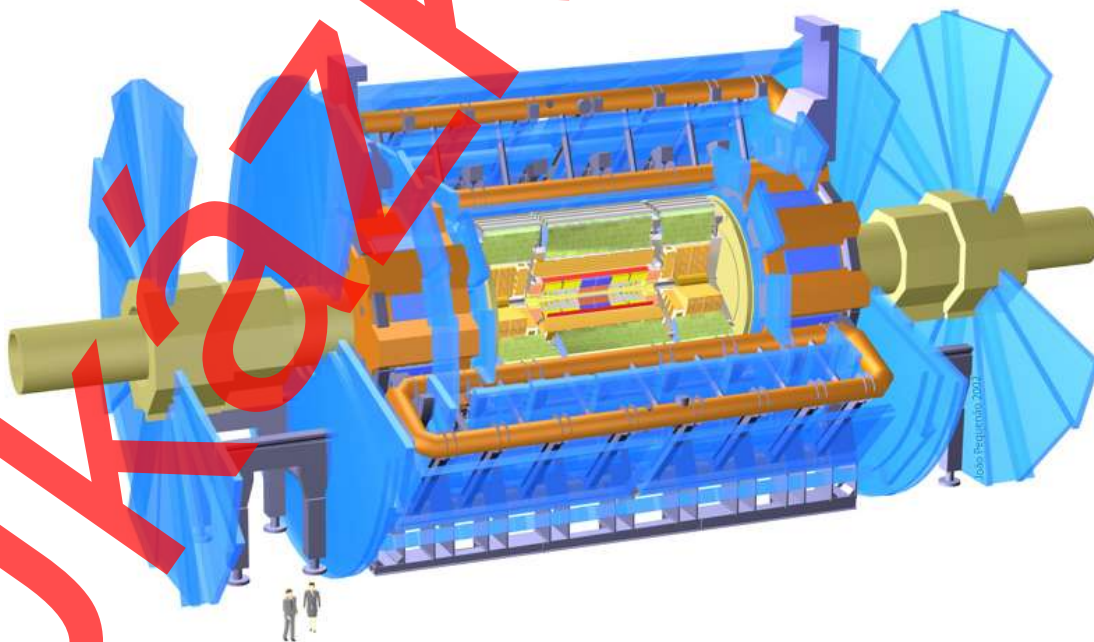
LHC je zkratka z anglického *Large Hadron Collider*. Jedná se o největší urychlovač částic na světě, který se nachází v CERNu blízko u Ženevy. LHC je kruhový urychlovač umístěný v podzemním tunelu v hloubce 50 m - 150m o obvodu přibližně 27 km. Při stavbě LHC bylo nutno objevit, navrhnout a odzkoušet řadu nových technologií (např. supravodičové magnety, které by mohly vyvinout magnetické pole s magnetickou indukcí o velikosti až 8 T).

V rámci urychlovače LHC bylo vybudováno několik typů detektorů, které budou dále popsány.

2.2.1.1.1 ATLAS

Jedním z detektorů urychlovače LHC je detektor ATLAS (*A Toroidal LHC Apparatus*). Schematicky je tento, jeden ze dvou hlavních univerzálních detektorů urychlovače LHC, zobrazen na obr. 25. Díky ATLASu lze zkoumat velkou část částicové fyziky včetně hledání Higgsova bosonu, extra dimenzí a částic, které by mohly tvořit temnou hmotu. ATLAS zaznamenává trajektorie, energie a identity částic vzniklých při srážkách. ATLAS je složen ze šesti různých subsystémů detektorů. Tyto subdetektory rozpoznávají druh částic a měří jejich hybnosti a energie. Aby bylo možné měřit hybnosti nabitých částic, je v detektoru ATLAS vytvářeno silné magnetické pole. Ke konci roku 2012 spolupracovalo na experimentu ATLAS přes 3000 vědců ze 174 institucí ve 38 zemích po celém světě.

Detektor ATLAS je 46 metrů dlouhý a při průměru 25 metrů má hmotnost 7000 tun. Je to největší částicový detektor, který byl kdy zkonstruován. Kdyby ATLAS zapisoval data ze všech srážek, které zaznamená, byla by nutná tato data zapsat na 100000 CD za sekundu. Ve skutečnosti ATLAS ukládá pouze zajímavé srážky, které vybírá takzvaný trigger. Jedná se o 100 srážek za sekundu, což odpovídá ekvivalentní rychlosti zápisu 27 CD za minutu. Zde je vhodné poznamenat, že na CD se data ve skutečnosti neukládají - CD zde byla použita pouze pro dokreslení množství dat, která je nutné v reálném čase zaznamenávat. Pro záznam dat ze všech experimentů v CERNu se používá velmi propracovaný a zabezpečený systém záznamu na magnetické pásky.

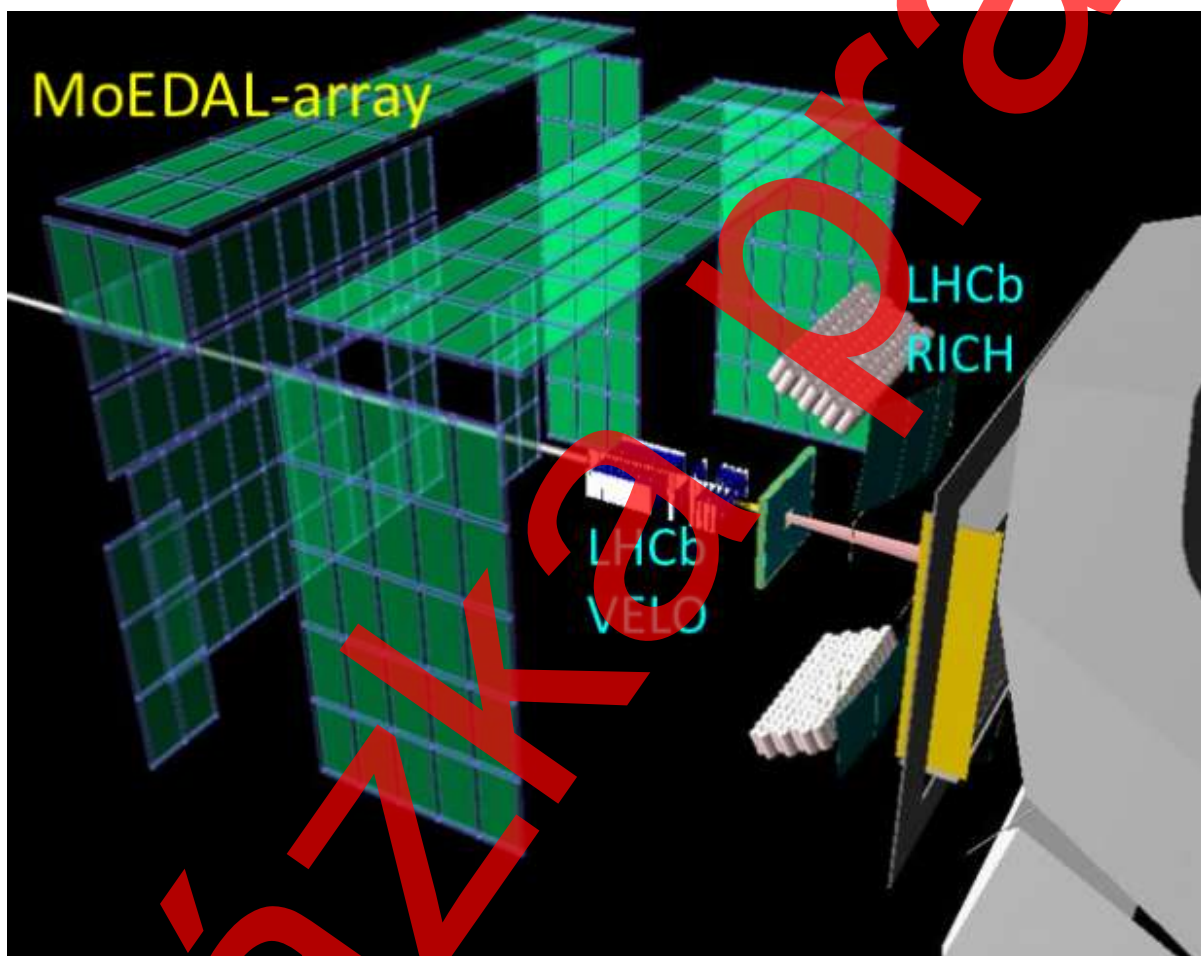


obr. 25 Náčrtes částečného průřezu detektorem ATLAS. Pro znázornění velikosti detektoru se dvěma pracovníky

2.2.1.1.7 MoEDAL

Detektor MoEDAL (*The Monopole and Exotics Detector At the LHC*), který je zobrazen na obr. 31, je detektor monopolů a exotických částic při LHC. Jedná se o detektor hledající dyony a magnetické monopóly. Dyony jsou hypotetické částice. Dyon by měl mít elektrický i magnetický náboj. Magnetický monopol je hypotetická částice nesoucí pouze jeden druh magnetického náboje. Magnetický monopol i dyony předpovídá řada fyzikálních teorií jako např. teorie velkého sjednocení a teorie superstrun.

MoEDAL se nachází společně s experimentem LHCb v tzv. bodě 8. MoEDAL je přímo implementován do LHCb a nachází se okolo subdetektoru VELO. MoEDAL je připevněn ke stěnám kaverny a pokrývá plochu 25 m².



obr. 31 Umístění detektoru MoEDAL

2.2.2 Fermilab - Tevatron

Fermi National Accelerator Laboratory je americký institut, který má za úkol poskytovat vedení a zdroje pro kvalifikované výzkumné pracovníky hledající základní podstatu hmoty a energie a uskutečňující základní výzkum na hranicích fyziky vysokých energií a souvisejících oborů.

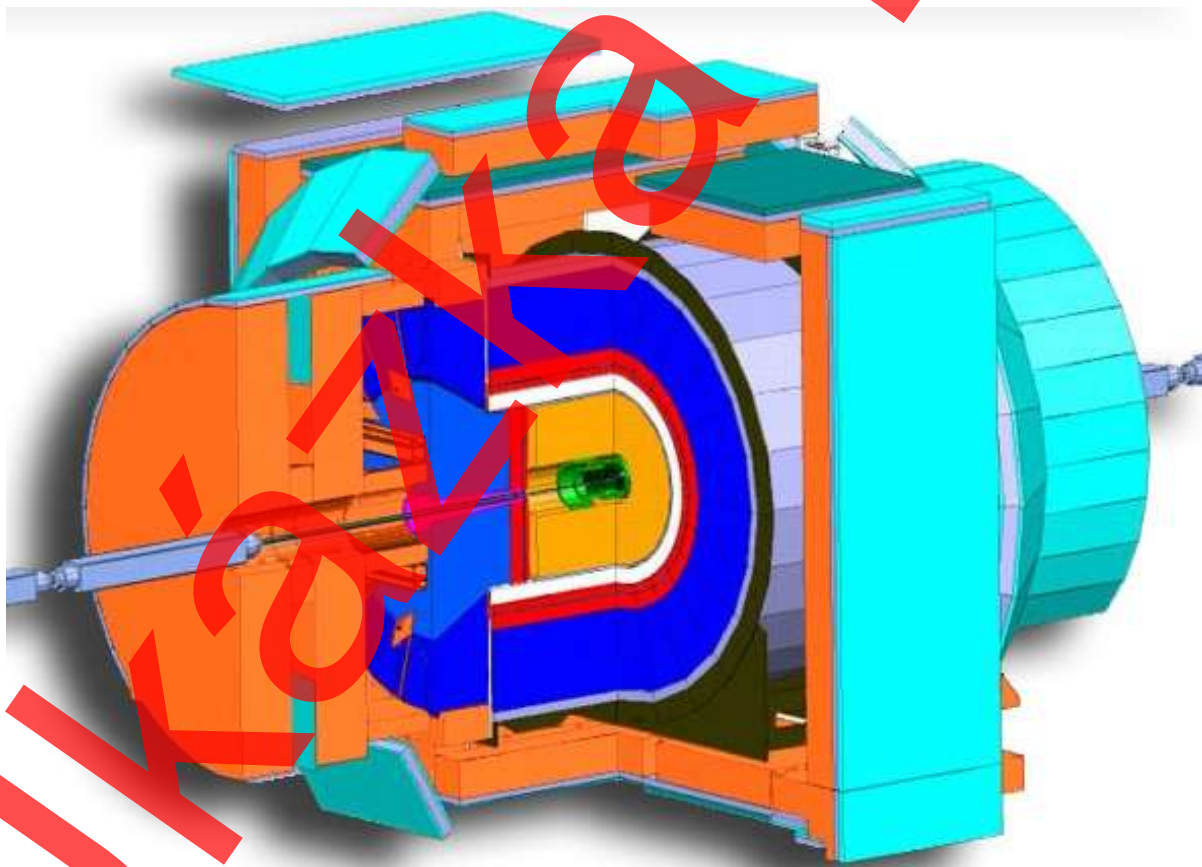
Tevatron byl nejvýkonnější urychlovač částic fungující od roku 1983. Nachází se v Batavii, nedaleko Chicaga ve státě Illinois v USA. Tevatron byl schopen urychlit protony a antiprotony až na energie 1 TeV. Technologie vyvinuté pro Tevatron slouží i čistě praktickým účelům - např. pomohly rozšíření magnetické rezonance v medicíně.

Později byly parametry Tevatronu překonány CERNskými urychlovači LEP a později i LHC.

2.2.2.1 CDF

CDF (*The Collider Detektor at Fermilab*) zobrazený na obr. 32 je jeden ze dvou detektorů na urychlovači Tevatron. CDF dokáže zaznamenat trajektorie a energie elektronů, fotonů a hadronů. CDF nedokáže zachytit neutrina. Vědci hledají neznámé částice v energii, kterou nedokázal CDF změřit a která „chybí“ do celkové energetické bilance vesmíru.

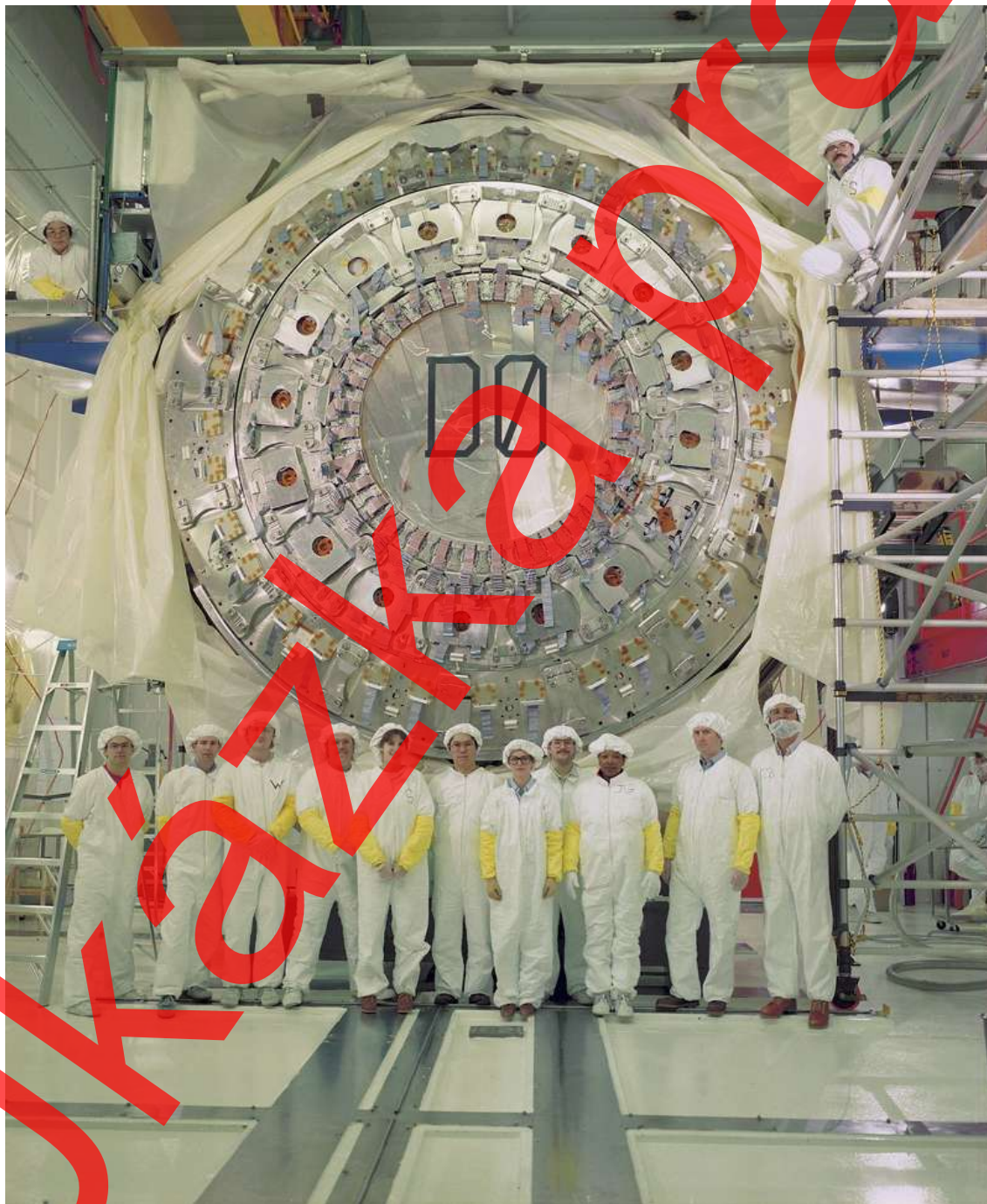
CDF má hmotnost 5000 tun a je složen z 5 subdetektorů, které jsou vrstveny podobně jako cibule. Hlavní a nejvnitřnější je silikonový detektor a dále elektromagnetický a hadronový kalorimetr.



obr. 32 Náčrtes detektoru CDF

2.2.2.2 DØ

DØ (obr. 33) někdy označován jako DZero experiment se stejně jako detektor CDF nachází na Tevatronu. DØ je 9 m vysoký, 15 m dlouhý a má hmotnost asi 5000 tun a skládá se z několika částí. Vnitřní část tvoří křemíkové polovodičové detektory, scintilační detektory a magnet s magnetickou indukcí o velikosti 2 T. vnější část tvoří elektromagnetické a hadronové kalorimetry. Poslední část směrem od místa srážky jsou mionové detektory. Spolupráce na experimentu DØ se z České republiky účastní Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT v Praze, Matematicko-fyzikální fakulta UK a Fyzikální ústav AV ČR. Tyto spolupracující týmy se zabývají hlavně oblastí studia produkce jetů, měření hmotnosti top kvarku a studiem difrakčních procesů.



obr. 33 Detektor DØ a několik jeho tvůrců

2.2.3 ICRR

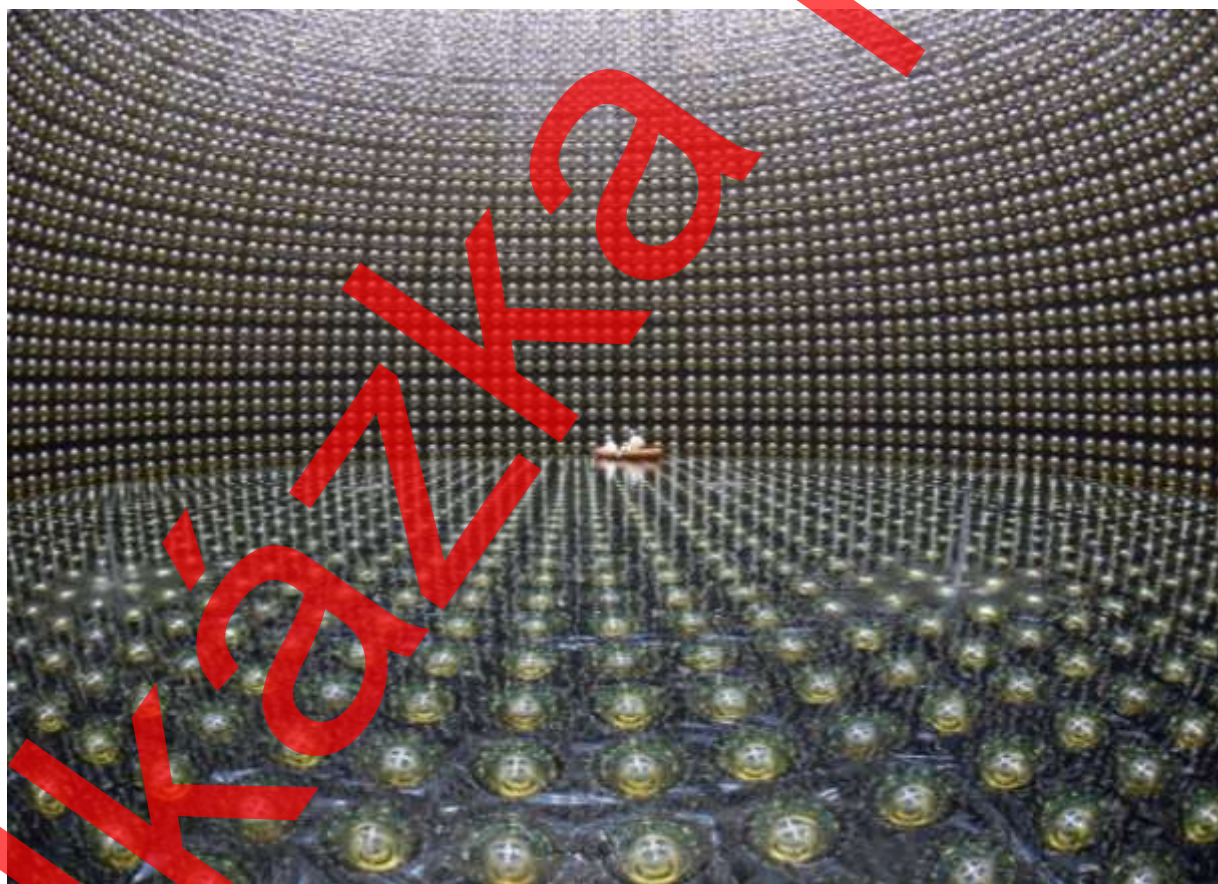
ICRR (*The Institute for Cosmic Ray Reserch*) of the University of Tokyo je část Tokijské univerzity založená v roce 1976 za účelem studování kosmického záření. Tento institut zastřešuje celkem tři observatoře, z nichž jedna je observatoř v hoře Kamioka.

2.2.3.1 Super-K

Super-K (obr. 34), celým názvem *Super-Kamioka Neutrino Detection Experiment*, je neutrinový detektor nacházející se v již zmiňované hoře Kamioka blízko města Hida v prefektuře Gifu v Japonsku. Super-K byl navržen k potvrzení teorie protonového rozpadu, studování slunečních a atmosférických neutrin a sledování supernov v Mléčné dráze.

Super-K se nachází 1 km pod zemí a je to kulovitá ocelová nádrž naplněná 50 000 tunami ultračisté vody. V nádrži je instalováno 11 000 fotonásobičů, pomocí kterých se zachycuje Čereňkovovo záření vzniklé při interakci neutrin s elektrony nebo s jádry vodíku.

Uvedené parametry experimentu (velké množství vody a fotonásobičů) jsou při studiu neutrin nutností. Neutrino mají velmi malý účinný průřez, a proto reagují s ostatními částicemi velmi málo. Velké množství vody zvyšuje pravděpodobnost této interakce a kilometrová vrstva horniny nad nádrží tlumí vibrace, nežádoucí interakce částice a pronikání jiných částic do prostředí nádrže.



obr. 34 Vnitřek detektoru Super-K z části naplněn vodou. V pozadí pracovníci experimentu na nafukovacím člunu

3. PRAKTICKÁ ČÁST

V této části práce se pokusím své teoretické znalosti, získané při psaní předchozí části, využít ke stavbě mlžné komory. Popíši svá pozorování a sestavím návod na vylepšení a případné opakování mého experimentu.

3.1 Sestavení mlžné komory

3.1.1 Nutné pomůcky

Jako hlavní část své mlžné komory jsem použil staré akvárium (obr. 35) s rozměry podstavy 45 cm a 25 cm a výškou 32 cm. Sklo akvária má tloušťku 2 mm.



obr. 35 Akvárium

Další nezbytnou pomůckou byl tzv. suchý led (CO_2), který je zobrazen na obr. 36. Jedná se o pevnou formu oxidu uhličitého. Suchý led se používá prakticky ve všech typech průmyslových odvětví, zejména kvůli svým dobrým chladicím vlastnostem. To je zajímavé především pro aplikace, kde se vyžaduje „lokální“ chlazení.

Bezpečnostní pokyny pro práci se suchým ledem (citováno z [23]):

Oxid uhličitý v pevném stavu neboli suchý led je extrémně studený ($-78,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) a může způsobit omrzliny, pokud dojde ke kontaktu bez ochrany. Pokud částičky suchého ledu přijdou do kontaktu s očima, může dojít k vážnému poranění zraku. Účinky plynného oxidu uhličitého ve vysokých koncentracích jsou toxické a škodlivé. Při práci se suchým ledem se musíme řídit S-větami: S9, S26, S36.

Dále jsem potřeboval odporový drát. V běžné prodejní síti jsem zakoupil odporový drát vyrobený z konstantanu. To je slitina mědi a niklu (většinou v poměru 55 % mědi a 45 % niklu). Název konstantan vychází z jeho nejdůležitější vlastnosti, kterou je téměř konstantní odpor při různých teplotách.

Parametry mnou používaného odporového drátu jsou: měrný odpor 18,5 Ω a průměr 0,18 mm.

Síťový adaptér, kterým jsem napájel odporový drát, je model ROHS ET328B. Na jeho vstupu musí být střídavé napětí frekvence 50 Hz nebo 60 Hz s hodnotami efektivního napětí od 100 V do 240 V. Na výstupu adaptéru je stejnosměrné elektrické napětí s hodnotou 5 V a elektrickým proudem 2 A.

Dalšími pomůckami, které byly nutné pro konstrukci modelu mlžné komory, jsou: Peltierův článek, lampa se žárovkou, izolační pěna, magnety, nerezový táč, plech, nová houba na mytí nádobí, černá elektrikářská páska, černá barva, spojovací vodiče a těsnění vyrobené z tenkého molitanu.

3.1.2 Konstrukce

Stavbu jsem započal umytím a vyčištěním starého a již nepoužívaného akvária. Mnozí mě odrazovali od jeho použití a doporučovali využít jako základ mlžné komory nádobu s menším objemem, ve které by se snadněji vytvářely syté páry isopropylalkoholu. Mezitím, co schlo akvárium, jsem omotal houbu na mytí nádobí odporovým drátem, který jsem na houbu připevnil pomocí tavné pistole. Houbu, do které nechám nasát trochu isopropylalkoholu, budu později zahřívat pomocí odporového drátu a používat jako zdroj nasycených par.



obr. 38 Vyříznutí otvoru do houby na mytí

3.2 Měření

Před začátkem experimentu jsem zakoupil pláty suchého ledu, které jsem přepravoval a uchovával ve speciálním polystyrenovém boxu k tomuto účelu určenému. Při manipulaci se suchým ledem jsem vždy používal k ochraně rukavice. Taktéž při manipulaci s izopropylalkoholem jsem se během všech pokusů řídil zásadami bezpečné práce.

3.2.1 Experiment číslo 1

Před prvním pokusem jsem na nerezový tác položil čtyři pláty suchého ledu tak, aby vytvořily obdélník o délce 42 cm a šířce 25 cm; tyto rozměry téměř přesně odpovídaly rozměrům dna akvária. Na pláty suchého ledu jsem umístil plech tak, že byl černou stranou nahoru. Dále jsem houbičku namočil v nádobě s isopropylalkoholem a nasunul na drátěný držák na dně akvária. K odporovému drátu jsem připevnil krokosvorky. Využíval jsem asi 0,8 m odporového drátu, což by při jeho vlastnostech znamenalo odpor 15 Ω . Poté jsem akvárium položil na plech dnem vzhůru, zapojil konektor do síťového adaptéru a ten do zásuvky, spustil stopky a začal pozorování.



obr. 40 Boční pohled na akvárium, suchý led, plech i houbu namočenou v isopropylalkoholu

Po uplynutí doby 21 minut, během které jsme nepozorovali sebemenší náznak vzniku par ve spodní části akvária, jsme se s mým vedoucím práce shodli na tom, že je to pravděpodobně způsobené nedostatečným výkonem. Proto jsem ukončil první pozorování.

3.2.2 Experiment číslo 2

Při druhém pokusu jsem mnou zakoupený zdroj zkusil nahradit jiným, školním zdrojem. Ten byl regulovatelný a byl schopen dávat větší elektrické napětí než původně používaný adaptér.

Jelikož se pláty suchého ledu téměř neztenčily, ponechal jsem ty z minulého experimentu a nemusel jsem je vyměňovat. Pro jistotu jsem pouze opět namočil houbičku do isopropylalkoholu. Dále jsem musel vyměnit konektor na kabelu, protože původní byl jiný než ten u nového zdroje.

Poté jsem vrátil akvárium na plech, zapojil konektory, spustil stopky a zahájil druhé pozorování (obr. 41).



obr. 41 Pohled na akvárium při druhém pokusu

Po uplynutí doby 19 minut se opět neobjevily žádné nasycené páry, proto jsem ukončil pokus a zavrhl tento způsob ohřevu houby s isopropylalkoholem jako neefektivní.

3.2.3 Experiment číslo 3

Při tomto pokusu jsem se rozhodl použít lampu s běžnou žárovkou o výkonu 100 W, místo neefektivního zahřívání pomocí odporového drátu. Lampu jsem umístil tak, že mířila přímo na houbu připevněnou ke dnu akvária.

Před zahájením dalšího pozorování jsem vyměnil pláty suchého ledu za nové a doplnil jsem isopropylalkohol v houbě na mytí.

Poté co jsem opět vrátil plech i akvárium na své místo, rozsvítil lampu a spustil stopky, jsem započal další pozorování (obr. 42).



obr. 44 Akvárium s během pátého experimentu. Ve spodní části lze vidět utěsnění montážní pěnou.

V 8. minutě se začaly na dně objevovat první páry izopropylalkoholu (obr. 45). Par postupně přibývalo. Bohužel se mi ani během 2 hodin, po které tento experiment probíhal, nepodařilo zpozorovat ani jednu kondenzační stopu po prolétávající částici.

4. ZÁVĚR

Při tvorbě této práce jsem se dozvěděl řadu nových poznatků, které, jak předpokládám, budou velmi užitečné při mém dalším studiu na vysoké škole. Mezi takové informace patří například: jak se zjišťuje a zjišťovalo z čeho je složen okolní svět, jak fungují základní typy detektorů a podobně.

Během psaní této práce jsem se postupně dozvídal řadu nových poznatků, což jsem hodnotil velmi kladně. Přinášelo to s sebou ale i negativa: každý problém, který mi podařilo vyřešit, každá otázka, na kterou jsem našel odpověď, automaticky vyvolala další otázky. A bylo nutné hledat další odpovědi. Při tom jsem zjistil, že mě tento styl práce baví a že pátrání po složení našeho světa je velmi zajímavé. Proto, i když se mi nepodařilo naměřit žádná data v mém modelu mlžné komory, jsem stále rozhodnut o studiu částicové fyziky na vysoké škole.

Po nezdařených experimentech s mojí mlžnou komorou jsem měl velmi špatnou náladu. Věděl jsem, že velmi záleží na vyvážení všech parametrů ovlivňujících průběh experimentu (objem použité nádoby, výkon zdroje napětí použitého k ohřevu isopropylalkoholu, utěsnění nádoby, ...), ale doufal jsem, že se mi podaří pozorovat průlety alespoň nějakých částic. Po ujišťování ze stran mého vedoucího práce, že sestrojil mlžnou komoru není vůbec triviální a málokomu se to podaří napoprvé, jsem se trochu uklidnil.

Doufám, že v budoucnu budu mít možnost zopakovat své experimenty znovu a že díky nově nabytým znalostem se mi podaří pozorovat některé ze subatomárních částic létajících běžně kolem nás.

5. ZDROJE

- [1] HALLIDAY D., RESNICK R., WALKER J. *Fyzika, část 5 Moderní fyzika. Vysoké učení technické v Brně* – Nakladatelství VUTIUM a PROMETHEUS Praha, 2000
- [2] FORD, KENNETH W. *The Quantum World*. Harvard Univ. Press, 2005
- [3] PESKIN M. E., SCHROEDER D. V., *An Introduction to Quantum Field Theory* Westview, Boulder, CO, 1995
- [4] WAGNER, V.: *Otázky pro největší přístroj na světě Svět objevů*, 2. ročník, 2013, 4/2013, str. 80-88
- [5] Brožura *Mlžná komora*, ČEZ, a. s., 2012
- [6] studentský film Cern: továrna na absolutno, režie: Jan V. Sacher
- [7] <http://fyzika.jreichl.com/> [citováno 1. 6. 2012]
- [8] <http://www.scinet.cz/> [citováno 1. 6. 2012]
- [9] <http://www.wikipedia.org/> [citováno 1. 6. 2012]
- [10] <http://www.scienceworld.cz/> [citováno 1. 6. 2012]
- [11] <http://ojs.ujf.cas.cz/~wagner/popclan/lhc/vytrysky LHC.htm> [citováno 13. 6. 2012]
- [12] <http://www.fnal.gov/> [citováno 13.6. 2012]
- [13] <http://observatory.cz/static/vystavy/castice/5-komora.php> [citováno 18. 9. 2012]
- [14] <http://fyzweb.cuni.cz/> [citováno 26. 9. 2012]
- [15] <http://3pol.cz/109-wilsonova-difusni-mlzna-komora> [citováno 1.10. 2012]
- [16] <http://www.nobelprize.org/> [citováno 5.12. 2012]
- [17] <http://philoscience.unibe.ch/documents/TexteFS10/Anderson1933pe.pdf>
[citováno 12.12. 2012]
- [18] <http://public.web.cern.ch/public/> [citováno 12.12. 2012]
- [19] <http://atlas.ch/> [citováno 13.12. 2012]
- [20] <http://aliceinfo.cern.ch/Public/Welcome.html> [citováno 13.12. 2012]
- [21] <http://ph-dep.web.cern.ch/ph-dep/> [citováno 13.12. 2012]
- [22] <http://www.interactions.org/cms/> [citováno 13.12. 2012]
- [23] <http://www.linde-gas.cz/cs/index.html> [citováno 21.12. 2013]
- [24] <http://fyztyd.fjfi.cvut.cz/2007/cd/MFR/mfr-mlzkom.pdf> [citováno 29.1. 2013]
- [25] <http://cms.web.cern.ch/> [citováno 30.1. 2013]
- [26] http://www-ucjf.trója.mff.cuni.cz/dolezal/teach/semicon/semi_p.pdf
[citováno 30.1. 2013]
- [27] <http://www.utef.cvut.cz/cz/index.php?Ns=103&id=1000043> [citováno 30.1. 2013]
- [28] <http://public.web.cern.ch/public/en/lhc/atlas-en.html> [citováno 6.2. 2013]
- [29] <http://aliceinfo.cern.ch/> [citováno 6.2. 2013]