

GYMNÁZIUM BOSKOVICE
PALACKÉHO NÁM. 1, BOSKOVICE

Středoškolská odborná činnost

Obor: 2. Fyzika

Stavba amatérské difúzní mlžné komory
Construction of Amateur Diffusion Cloud Chamber

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

Ve Spešově dne 27. ledna 2011



podpis

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval organizátorům Týdne vědy 2010 na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské Českého vysokého učení technického v Praze za pořádání této podnětné akce, na které jsem se poprvé dozvěděl detailnější informace o mlžné komoře. Zejména děkuji supervizorovi naší skupiny kolem mlžné komory Viktoru Löffelmannovi. Děkuji také těm, kteří si našli čas a vyplnili můj dotazník. Nesmím zapomenout ani poděkovat všem ostatním, kteří mě v mé práci podporovali.

Abstrakt

Práce se zabývá obecně mlžnou komorou, jejími typy, vlastnostmi a možnostmi pozorování. Zejména se zabývá domácí stavbou amatérské difúzní mlžné komory. Rozebírá možnosti, jak komoru v domácích podmínkách pomocí běžně dostupných materiálů a nástrojů postavit, jakými způsoby je možné ji chladit, osvětlit a napájet (vyžaduje-li to použitý typ chlazení, vytápění nebo osvětlení). Popisuje stavbu difúzní mlžné komory chlazené dvojicí peltierových článků napájených upraveným počítačovým zdrojem a osvětlené pomocí LED a snaží se reprodukovat zachycené dráhy nabitých částic. Zkoumá též všeobecné povědomí lidí o mlžné komoře pomocí dotazníku.

Klíčová slova

- mlžná komora
- detekce ionizujícího záření
- chlazení peltierovým článkem
- domácí stavba

Abstract

The work deals generally with cloud chambers, their types, characteristics and means of observation. In particular, it deals with the home construction of an amateur diffusion cloud chamber. It discusses the ways of building the chamber at home using commonly available materials and tools, in what ways it can be cooled, illuminated and powered (if required by the type of cooling, heating or illumination). It describes the construction of the diffusion cloud chamber cooled by a pair of peltier elements powered by a modified computer power supply and illuminated by LEDs, and it tries to reproduce the recorded trajectories of charged particles. It also investigates knowledge of cloud chambers amongst the general public through a questionnaire.

Keywords

- cloud chamber
- ionizing radiation detection
- cooling by peltier elements
- home construction

POSUDEK

Název práce: STAVBA AMATÉRSKÉ DIFÚZNÍ MLŽNÉ KOMORY

Autor: Tomáš Pikálek, student Gymnázia Boskovice

Student Gymnázia Boskovice Tomáš Pikálek se ve své práci zabývá návrhem a stavbou difúzní mlžné komory. Jedná se o projekt, inspirovaný účastí autora na akci Týden vědy 2010 na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze.

Text práce je rozdělen do pěti hlavních kapitol. Kapitola *Přehled problematiky* seznamuje čtenáře v obecné rovině s konstrukcí a využitím mlžné komory a současně shrnuje nezbytnou teorii, nutnou pro interpretaci výsledků měření. Autor zde uvádí přehled částic, které lze pomocí mlžné komory pozorovat. Komentář je doplněn fotografiemi z experimentů, což čtenáři, potenciálnímu experimentátorovi, poskytne dobrý přehled o tom, jak kterou částici v mlžné komoře identifikovat.

V kapitolách *Možnosti stavby* a *Stavba mlžné komory* se autor soustředí na vlastní návrh a realizaci mlžné komory. Tato část práce je uvedena důkladnou analýzou možností stavby, volby jednotlivých komponent a postupů. Autor zde zmiňuje nejen funkční výběrová kritéria, ale i možný vliv jednotlivých řešení na dlouhodobý provoz mlžné komory a v neposlední řadě uvádí i náklady na provoz a pořízení jednotlivých částí komory. Na základě této podrobné analýzy možností je poté zvolena a realizována objektivně nejvýhodnější varianta stavby.

V závěrečné části práce je čtenář seznámen s výsledky experimentů, provedených na autorem realizované mlžné komoře. Prezentace experimentálních výsledků je doplněna popisem metodiky zpracování snímků z fotoaparátu tak, aby zaznamenané stopy průletu částic komorou byly co nejzřetelnější, bez negativního vlivu na informační hodnotu výsledku.

Předloženou práci považuji za velmi kvalitní a to jak po stránce věcné, tak formální. Text je psán přehledně a čtivě, jednotlivé kapitoly na sebe logicky navazují a dávají čtenáři dostatek srozumitelně formulovaných informací jak o vlastní stavbě komory, tak o teoretickém pozadí práce a výsledcích experimentů. Oceňuji zejména preciznost, s jakou byl proveden rozbor možných řešení stavby komory. Každý krok je v práci jasně zdůvodněn, v relevantních případech podložen výpočty, a nenechává čtenáře na pochybách o vhodnosti výsledné volby. Prezentované výsledky experimentů pak jednoznačně prokazují funkčnost navržené a realizované difúzní mlžné komory.

Po důkladném seznámení se s předloženou prací konstatuji, že pan Tomáš Pikálek obstál jako teoretik, konstruktér i experimentátor a vytvořil zařízení, které se jistě stane zajímavou a názornou učební pomůckou ve středoškolských hodinách fyziky.

K předložené práci připojuji své jednoznačně kladné stanovisko



Ing. Zdeněk Buchta, Ph.D.

Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i.

Obsah

Seznam obrázků	xi
Seznam tabulek	xv
I Úvodní část	1
1 Úvod	3
2 Cíle práce	5
3 Přehled problematiky	7
3.1 Historie	7
3.2 Princip	7
3.2.1 Expanzní mlžná komora	7
3.2.2 Difúzní mlžná komora	8
3.3 Pozorování	9
3.3.1 Alfa záření	9
3.3.2 Beta záření	9
3.3.3 Protony	10
3.3.4 Mion	10
3.3.5 Gama záření	11
3.4 Měření	11
3.5 Význam	14
II Metodika	15
4 Možnosti stavby	17
4.1 Komora	17
4.2 Osvětlení	17
4.2.1 Žárovka	17
4.2.2 Zářivka	18
4.2.3 LED	18
4.3 Chlazení	18
4.3.1 Tekutý dusík	19
4.3.2 Suchý led	19
4.3.3 Peltierův článek	19
4.3.4 Kompresor	20

4.4	Napájení	21
4.5	Magnetické pole	21
4.5.1	Permanentní magnet	21
4.5.2	Helmholtzova cívka	22
5	Stavba mlžné komory	23
5.1	Komora	24
5.2	Chlazení	24
5.2.1	Volba napětí na člancích před stavbou komory	25
5.2.2	Vedení tepla a izolace	27
5.2.3	Ověření volby napětí na člancích v postavené komoře	28
5.2.4	Teplota základny mlžné komory	28
5.2.5	Termogramy postavené mlžné komory	30
5.3	Zdroj	31
5.4	Vytápění	35
5.5	Osvětlení	35
5.6	Konstrukce a zprovoznění komory	36
5.6.1	První verze	36
5.6.2	Konečná verze	37
5.7	Pozorování a záznam stop	39
5.7.1	Fotografování stop v komoře	39
5.7.2	Videa stop v komoře	41
5.7.3	Úprava fotografií stop částic	41
6	Průzkum	45
6.1	Dotazník	45
6.2	Zpracování výsledků	45
6.3	Výsledky	46
6.4	Interpretace výsledků	46
III	Závěrečná část	47
7	Výsledky a diskuse	49
7.1	Výsledky	49
7.1.1	Stavba komory	49
7.1.2	Měření	49
7.1.3	Pozorování	50
7.1.4	Průzkum	50
7.2	Diskuse	50
8	Další možnosti řešení	51
9	Závěr	53
10	Význam a přínos práce	55
	Literatura	57

IV Přílohy	I
A Seznam použitých součástí	III
B Datasheet k TEC1-12706	V
C Dotaz na cenu mlžné komory	VII
D Výsledky simulací vedení tepla	IX
E Termogramy postavené možné komory	XIII
F Fotografie stop částic v postavené mlžné komoře	XIX
F.1 Alfa záření	XIX
F.2 Beta záření	XX
G Dotazník	XXI
H Výsledky průzkumu	XXVII
I Obsah přiloženého DVD	XXXIII

Seznam obrázků

3.1	Láhev isopropanolu (IPA).	8
3.2	Model molekuly isopropanolu.	8
3.3	Schéma difúzní mlžné komory chlazené suchým ledem s magnetem pro měření energií částic.	8
3.4	Stopy dvou částic alfa zaznamenané v postavené komoře sériovým snímáním. Stopy jsou přímé a široké, ale krátké. Na posledním snímku je barevně vyznačená poloha obou stop.	9
3.5	Stopa částice beta zaznamenaná v postavené komoře sériovým snímáním je dlouhá a úzká. Na posledním snímku je barevně vyznačená poloha stopy.	10
3.6	Dvojice fotografií stop částic beta s nízkou energií zaznamenané v postavené komoře. Stopy jsou krátké a díky odrazům od okolních částic lomené. Ke každé fotografii je připojena další, na které je zelenou barvou zvýrazněna stopa.	10
3.7	Rozpad mionu v mlžné komoře vypadá jako lomená čára, odlétající neutrina bez náboje v komoře pozorovat nemůžeme.	11
3.8	Při Comptonově rozptylu je dráha elektronu lomená.	11
3.9	Kreace elektron-pozitronového páru vypadá na snímku při pozorování bez magnetického pole jako lomená dráha elektronu, jelikož tyto částice nemůžeme rozlišit.	11
3.10	Levá stopa (uprostřed fotografie) může být kreace elektron-pozitronového páru nebo rozpad mionu v homogenním magnetickém poli. Hnědý rámeček na druhé fotografii označuje polohu magnetu pod základnou komory, zeleně jsou zvýrazněny stopy (Týden vědy 2010).	12
3.11	Dráha částice v magnetickém poli je vlivem Lorentzovy síly tvaru oblouku.	12
3.12	Stopy částic v homogenním magnetickém poli jsou díky působení Lorentzovy síly zahnuté. Hnědý rámeček na druhé fotografii označuje polohu magnetu pod základnou komory, zeleně jsou zvýrazněny stopy (Týden vědy 2010).	13
3.13	K výpočtu poloměru dráhy z tětiny a výšky oblouku.	13
3.14	Mlžná komora na FJFI ČVUT.	14
3.15	Mlžná komora v Dukovanech.	14
3.16	Mlžná komora v technickém muzeu ve Vídni.	14
4.1	LED modul vodotěsný 5 AUTOLED, bílá, vhodný kandidát na osvětlení malé mlžné komory.	18
4.2	Mlžná komora (autor: V. Löffelmann) chlazená suchým ledem (v krabici s tepelnou izolací).	20
4.3	Dvojice peltierových článků (zde s nanesenou teplovodivou pastou a položená na chladiči) je vhodný způsob chlazení jednoduché amatérské mlžné komory.	20

4.4	Uvnitř Helmholtzovy cívky je přibližně homogenní magnetické pole, které je využitelné pro měření energie částic pozorovaných v mlžné komoře. Jedna z cívek by byla umístěna nad dnem komory, druhá pod ním (zdroj obrázku: http://en.wikipedia.org , upraveno).	22
5.1	Schéma postavené mlžné komory	23
5.2	Dva peltierovy články s teplovodivou pastou nasazené na chladiči procesoru z počítače.	25
5.3	Výsledky měření teploty v čase s tepelně izolovaným teploměrem na horním peltierově článku v závislosti na napětí na něm. Na druhém článku bylo napětí 12 V.	26
5.4	Výsledky měření teploty v čase s teploměrem v hliníkovém bloku na horním peltierově článku v závislosti na napětí na něm. Na druhém článku bylo napětí 12 V.	27
5.5	Hliníkový blok s teploměrem na chlazení pro měření optimálního napětí na článcích pro dosažení nízké teploty.	27
5.6	Simulace vedení tepla v komoře bez použití fólie a izolace.	29
5.7	Simulace vedení tepla v komoře při použití izolace.	29
5.8	Simulace vedení tepla v komoře při použití hliníkové fólie pro rozvod tepla.	29
5.9	Simulace vedení tepla v komoře při použití hliníkové fólie pro rozvod tepla a izolace.	29
5.10	Konečná verze chlazení postavené mlžné komory obsahuje hliníkovou fólii pro rozvod tepla i izolaci.	29
5.11	Teplota na dně komory při různých napětích na prvním článku. Na druhém článku je napětí 12 V.	30
5.12	Výsledky měření teploty základny mlžné komory. Peltierův článek se nachází uprostřed, jeho strana je dlouhá 4 cm. Hliníková fólie má tvar čtverce o straně 8 cm, tepelná izolace na každé straně přesahuje fólii o půl centimetru.	31
5.13	Pořizování termogramu postavené mlžné komory pomocí infračervené kamery Fluke TiS.	31
5.14	Infračervený snímek základny postavené mlžné komory potvrzuje předchozí měření teploty základny.	32
5.15	Termogram celé postavené mlžné komory s vyznačenou oblastí, kde je možné pozorovat stopy částic.	32
5.16	Schéma zapojení upravené části zdroje. Červeně jsou označeny vstupy napětí (připájené na plošný spoj zdroje), modře výstupy.	33
5.17	Upravený počítačový zdroj použitý k napájení sestavené mlžné komory.	34
5.18	Na dně komory je mezi závitovými tyčemi připevněno osvětlení se stínítkem. U horní části komory je pak zásobník isopropanolu (zelená houbička). Mezi konci závitových tyčí je natažen odporový drát pro vytápění horní části komory.	35
5.19	První funkční verze mlžné komory, po ověření funkčnosti konceptu chlazení byla rozebrána a následně byla postavena vylepšená verze.	36
5.20	První zaznamenaná stopa v testovací komoře, zřejmě stopa částice alfa.	37
5.21	Konečná verze postavené mlžné komory včetně zdroje.	37
5.22	Otevřená postavená mlžná komora – čelní pohled. Uvnitř je vidět vytápění a zásobník isopropanolu.	38
5.23	Kondenzující vzdušné vlhkosti na chlazení bylo třeba zabránit.	38
5.24	Otevřená postavená mlžná komora – horní pohled. Dno včetně horní části osvětlení je natřeno černou temperou, na obrázku vlevo (zelená houbička) je zásobník alkoholu. Mezi závitovými tyčemi jsou nataženy odporové dráty pro vytápění horní části komory.	39

5.25	Při pořizování fotografií stop částic v komoře byl fotoaparát umístěn nad komoru pomocí stativu.	40
5.26	Nejdříve je třeba z fotografie vyříznout část obsahující stopu. Díky rozlišení fotoaparátu je možné dělat i takto malé výřezy a výsledek bude po tisku stále uspokojivý.	42
5.27	Barevná složka fotografie je pro fotografii kondenzační stopy zbytečná, obrázek tedy převedeme do stupňů šedi, čímž navíc omezíme barevný šum.	42
5.28	Fotografie z mlžné komory je po převedení do stupňů šedi opravdu spíše šedá. Pozadí však ve skutečnosti bylo černé. Z toho důvodu otevřeme nástroj <i>úrovně</i> a fotografii upravíme.	43
5.29	Pokud k dosažení tmavé barvy pozadí a dostatečného kontrastu nestačil předchozí krok, můžeme ještě provést úpravu pomocí nástroje <i>křivky</i>	43
5.30	Výsledek úprav fotografie.	44
5.31	Někdy je též vhodné udělat negativ. Pak je však třeba zopakovat úpravu úrovní.	44
D.1	Simulace vedení tepla v postavené komoře: bez použití fólie pro rozvod tepla a izolace.	IX
D.2	Simulace vedení tepla v postavené komoře: použita izolace.	X
D.3	Simulace vedení tepla v postavené komoře: použita hliníková fólie pro rozvod tepla.	X
D.4	Simulace vedení tepla v postavené komoře: použita hliníková fólie pro rozvod tepla a izolace.	XI
E.1	Termogram postavené mlžné komory včetně zdroje.	XIII
E.2	Infračervené snímky dna postavené mlžné komory po zapnutí napájení chlazení pořízené v intervalech 15 sekund.	XIV
E.3	Infračervené snímky dna postavené mlžné komory po zapnutí napájení chlazení pořízené v intervalech 15 sekund (pokračování).	XV
E.4	Infračervený snímek ukazuje, že se upravený zdroj uvnitř zahřívá, nicméně teplota nepřesahuje 50 °C.	XVI
E.5	Na termogramu chlazení je patrné, že základna chladiče se zahřívá, ovšem její teplota při zapnutém ventilátoru nepřekračuje 30 °C.	XVI
E.6	Infračervená fotografie dna mlžné komory s přibližně vyznačenými oblastmi, kde se nacházejí peltierův článek a hliníková fólie. Na fotografii je patrné i vytápění, které je v tomto případě vypnuté.	XVII
E.7	Infračervená fotografie dna mlžné komory s přibližně vyznačenou oblastí, kde se díky nízké teplotě vytváří přesycená pára a je možné pozorovat stopy částic.	XVII
E.8	Termogram postavené mlžné komory se zapnutým vytápěním.	XVIII
E.9	Termogram postavené mlžné komory.	XVIII
F.1	Fotografie pozorovaných stop alfa částic v postavené mlžné komoře. Stopy jsou přímé, krátké a široké.	XIX
F.2	Fotografie pozorovaných stop alfa částic v postavené mlžné komoře. Stopy jsou přímé a široké (pokračování)	XX
F.3	Fotografie pozorovaných stop částic beta záření (elektrony, pozitrony) v postavené mlžné komoře. Stopy jsou dlouhé, úzké a přímé (částice s vysokou energií) nebo lomené (částice s malou energií se odráží od okolních částic).	XX

Všechny fotografie použité v práci jsou původní, pořízené digitální zrcadlovkou Olympus E-600 (viz část 5.7.1) a upravené grafickým editorem GIMP¹. Nákresy byly kresleny v programu IPE² a grafy zpracovány nástrojem gnuplot³. Model molekuly vznikl pomocí softwaru Avogadro⁴ a simulace vedení tepla díky Agros2D⁵. Obrázky byly pořízeny pro účely této práce, kromě označených fotografií (které jsem pořídil již dříve) a jednoho obrázku (který byl přejat z externího zdroje v souladu z jeho licencí Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 Unported⁶). Termogramy byly z naměřených dat vykresleny pomocí programu SmartView, který se dodává k použité infračervené kameře.

¹<http://www.gimp.org>

²<http://tclab.kaist.ac.kr/ipe>

³<http://www.gnuplot.info>

⁴<http://avogadro.openmolecules.net>

⁵<http://hpfem.org/agros2d>

⁶<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en>

Seznam tabulek

3.1	Výsledky měření energie částic pomocí magnetu vloženého pod základnu komory (Týden vědy 2010, upraveno).	13
5.1	Výsledky měření teploty na dně komory a proudu na člancích v závislosti na napětí na nich. Veličiny s indexem 1 jsou na slabším článku (blíže komoře), s indexem 2 na silnějším (na chladiči). Teplota měřena izolovaným teploměrem na dně komory.	30
5.2	Parametry použitého zdroje (ze štítku uvedeného výrobcem).	33
A.1	Seznam součástí použitých při stavbě mlžné komory.	III
A.2	Seznam součástí použitých pro stavbu zdroje.	IV
A.3	Seznam ostatních součástí použitých při stavbě komory.	IV
H.1	Výsledky průzkumu znalosti mlžné komory.	XXXI

Část I

Úvodní část

Kapitola 1

Úvod

Mlžná komora je zařízení velmi zajímavé, jelikož je na ní možné detekovat nejen záření z různých radioaktivních látek (například umělých zářičů), ale i zcela přirozené záření přicházející k nám z vesmíru a okolí, tedy tzv. přirozené radioaktivní pozadí. Mnoho lidí si vůbec neuvědomuje, že toto záření existuje, natož že je všude kolem nás. Pomocí mlžné komory je možné i laické veřejnosti demonstrovat množství volných nabitých částic kolem nás. Z toho důvodu jde o zařízení velmi užitečné, ač v poslední době již z důvodu daleko modernějších metod málo používané. Většinou se s ní nyní setkáváme už pouze v muzeích a různých informačních centrech či na technických vysokých školách, kde však často plní pouze demonstrativní funkci. Zde bývají použity profesionální a plně automatické mlžné komory.

Vzhledem k jednoduchosti mlžné komory jde též o zařízení, které je (ve zjednodušené podobě oproti komorám profesionálním) možné vyrobit v domácích podmínkách z běžně dostupných materiálů. Pokud by se takové jednoduché komory vyskytovaly například na středních školách (a tím nemyslím jen středních školách odborných, ale například i na gymnáziích), bylo by možné rozšířit povědomí o kosmickém záření i mezi studenty.

Toto téma jsem si pro práci vybral, jelikož si myslím, že přístup lidí k ionizujícímu záření je kvůli nedostatečné informovanosti až příliš ostražitý. Proto jsem se rozhodl zkonstruovat zařízení schopné demonstrovat přítomnost přirozeného radioaktivního pozadí a to s co nejmenšími náklady. Zároveň bych chtěl upozornit na to, jak jednoduché je mlžnou komoru sestrojít, o čemž se bohužel nedá najít mnoho informací.

Velkou motivací při výběru tématu byla moje účast na Týdnu vědy¹, což je vědecká akce pro studenty středních škol pořádaná Fakultou jadernou a fyzikálně inženýrskou Českého vysokého učení technického v Praze. Tam jsem se poprvé podrobněji věnoval mlžné komoře. Toto téma mě natolik zaujalo, že jsem se rozhodl je dále rozpracovat a postavit si mlžnou komoru sám.

¹<http://tydenvedy.fjfi.cvut.cz>

Kapitola 2

Cíle práce

Cílem této práce je prozkoumat možnosti stavby mlžné komory. Aby toto vůbec mohlo být zjišťováno, je primárně třeba popsat mlžnou komoru, objasnit rozdíl mezi jejími typy a hlavně popsat její princip a možnosti pozorování. Poté je tedy třeba zjistit, jaké jsou možnosti její stavby, chlazení, osvětlení, vytápění a napájení. Pro každou z možností zvážit výhody a nevýhody a na závěr se vyjádřit, která z možností je pro jaký typ komory nejvhodnější, jaká je naopak nevhodná.

Dalším cílem je vybrat si jednu z popisovaných možností a pokusit se o její stavbu s minimálními náklady. Tuto stavbu podrobně popsat, aby bylo možné ji podle popisu reprodukovat. Zejména se zaměřit na problémy, které během stavby nebo provozování mohou nastat. Pokud bude stavba úspěšná a bude možné pozorovat stopy částic, pokusit se některé stopy zachytit pomocí fotoaparátu nebo videokamery a snažit se je interpretovat, tedy zjistit, o stopy jakých částic se jedná.

Třetím cílem je prozkoumat povědomí lidí o mlžné komoře, o jejím principu a také o přirozeném radioaktivním pozadí pomocí dotazníku. Výsledky tohoto dotazníku se poté snažit interpretovat a zjistit, jaké skupiny lidí toho o mlžné komoře vědí nejvíce a kde se tyto informace dozvěděly.

Kapitola 3

Přehled problematiky

V této části se budu zabývat známými fakty o mlžné komoře, jako je její historie, princip, možnosti pozorování apod. Při tom budu vycházet z publikací Griffiths (1987), Halliday et al. (2000), Štoll (2010), Motal – Veselý (2008), Einstein (2005) a Pikálek et al. (2010) a také z vlastních zkušeností získaných na Týdnu vědy a během práce na stavbě vlastní komory. Text doplním vlastními fotografiemi a schémata, které vznikly během stavby vlastní mlžné komory (více v kapitole 5) a při jejím používání nebo byly převzaty z práce mého týmu na Týdnu vědy.

3.1 Historie

Mlžnou komoru jako prostředek pro detekci částic vynalezl Charles Thomson Rees Wilson. Ten v observatoři pozoroval světelné jevy v mlze a mracích. Při snaze tyto jevy reprodukovat v laboratorních podmínkách pozoroval stopy nabitých částic. Za svůj objev dostal roku 1927 Nobelovu cenu za fyziku.

Wilsonova mlžná komora byl první přístroj, který dovoľoval pozorovat okem dráhy částic, i když jen elektricky nabitých.

3.2 Princip

Podle principu práce rozlišujeme mlžnou komoru expanzní a difúzní. Oba typy fungují na principu kondenzace přesycených par, liší se ve způsobu, jakým se přesycená pára vytváří.

Stejný je také princip, díky kterému pozorujeme stopy částic. Klesne-li teplota v komoře (či její části) pod rosny bod, začnou páry kondenzovat. K tomu je zapotřebí přítomnost tzv. kondenzačních jader, jejichž přítomnost je nutnou podmínkou kondenzace. Kondenzačními jádry mohou být například prachové částice nebo krystaly solí. Pokud ale žádná kondenzační jádra v páře nejsou a teplota dále klesá, vzniká pára přesycená.

C. T. R. Wilson objevil, že kondenzačními jádry mohou být i ionty, což je důvod, proč v mlžné komoře vidíme stopy nabitých částic. Letí-li párou nabitá částice, ionizuje páru v okolí své trajektorie. A tato ionizovaná pára slouží jako kondenzační jádro pro páru v jejím okolí. Proto v okolí trajektorie nabité částice vidíme její stopu.

3.2.1 Expanzní mlžná komora

Expanzní mlžná komora funguje na principu adiabatické expanze vzduchu s párami pracovní látky (například i vodními). Aby expanze vzduchu byla adiabatická, musí proběhnout velmi

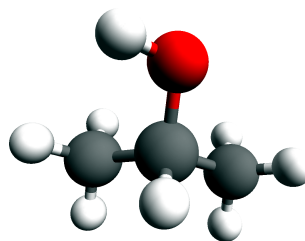
rychle. Z toho důvodu obsahuje tato mlžná komora píst, který se v jednu chvíli napojí na zásobník s velmi nízkým tlakem, čímž dojde k jeho rychlému posunutí a expanzi vzduchu.

Po adiabatické expanzi bude teplota vzduchu nižší než teplota rosného bodu, páry v něm tedy budou přesycené. Po průletu částice dochází k ionizaci přesycené páry v místě průletu částice a vytvoří se kondenzační jádra. Pára začne podél dráhy částice kondenzovat, což vidíme jako stopu.

Původní mlžná komora vynalezená Wilsonem byla právě expanzní.

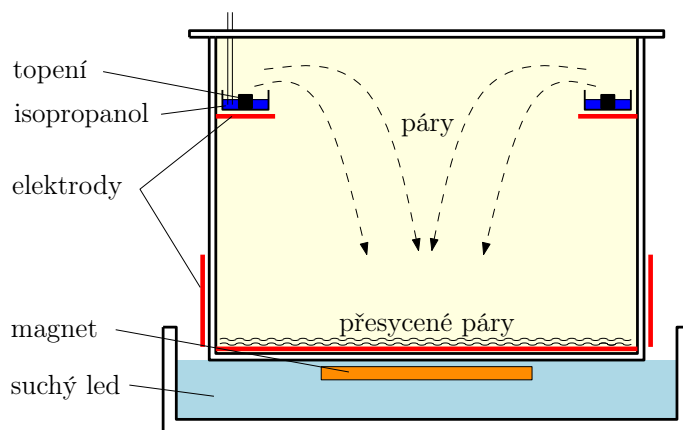
3.2.2 Difúzní mlžná komora

U difúzní mlžné komory je pracovní látka (nejčastěji isopropanol, tedy propan-2-ol, racionální vzorec $\text{CH}_3\text{-CHOH-CH}_3$, obrázky 3.1 a 3.2) v otevřené nádobě v horní části komory, kde je udržována přibližně pokojová teplota, odpařována (obrázek 3.3). Toto probíhá samovolně a může být urychleno pomocí vytápění.



Obrázek 3.1: Láhev isopropanolu (IPA).

Obrázek 3.2: Model molekuly isopropanolu.



Obrázek 3.3: Schéma difúzní mlžné komory chlazené suchým ledem s magnetem pro měření energií částic.

Dno komory je zchlazeno na nízkou teplotu (nižší než rosný bod) například suchým ledem nebo peltierovým článkem. Díky tomuto chlazení vzniká v komoře vertikální teplotní gradient. Páry pracovní látky difundují směrem ke spodní části komory, jelikož se snaží mít co nejmenší energii. Páry se ve spodní části komory hromadí, a vzniká tam pára přesycená.

Po průletu částice dochází k ionizaci přesycené páry v místě průletu částice a vytvoří se kondenzační jádra. Pára začne podél dráhy částice kondenzovat, což vidíme jako stopu. Aby byly stopy lépe viditelné, je třeba komoru dobře osvětlit a také je vhodné spodní desku natřít černou barvou.

Difúzní mlžnou komoru vynalezl roku 1936 Dr. Alexander Langsdorf.

Dále se budu zabývat pouze difúzní mlžnou komorou, jelikož v domácích podmínkách je její stavba mnohem jednodušší.

3.3 Pozorování

Jak plyne z principu mlžné komory, tedy že musí dojít k vytvoření kondenzačních jader ionizací přesycené páry prolétající nabitou částicí, lze v mlžné komoře pozorovat pouze dráhy nabitých částic.

3.3.1 Alfa záření

Alfa částice jsou jádra hélia ${}^4_2\text{He}$. Hélium obsahuje dva protony, náboj alfa částice je tedy $2e$, kde $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$ je elementární náboj. Díky tomuto velkému náboji ionizuje větší okolí své trajektorie, stopa v mlžné komoře je tedy široká. Hmotnost alfa částice je ve srovnání s ostatními pozorovanými částicemi velká ($6,64 \times 10^{-27} \text{ kg}$), jelikož obsahuje dva protony a dva neutrony. Kvůli velké hmotnosti je stopa krátká a přímá (obrázek 3.4).

Toto záření je možné odstínit i listem papíru, jelikož vůbec není pronikavé.

Vznik alfa částic je možné zapsat jako



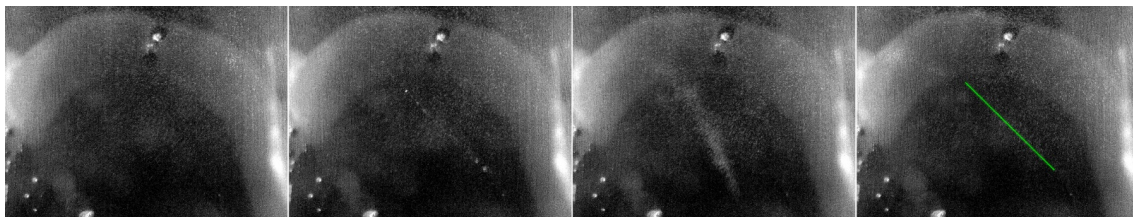
Obrázek 3.4: Stopy dvou částic alfa zaznamenané v postavené komoře sériovým snímáním. Stopy jsou přímé a široké, ale krátké. Na posledním snímku je barevně vyznačená poloha obou stop.

3.3.2 Beta záření

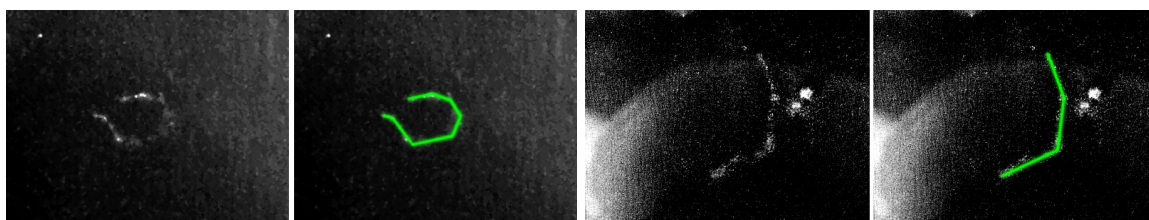
Beta záření je tok elektronů či pozitronů (antičástice k elektronu). Náboj částice je elementární, tedy e . Hmotnost je asi $9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$. Kvůli malému náboji jsou stopy v mlžné komoře úzké, díky malé hmotnosti jsou dlouhé (obrázek 3.5). Beta částice mohou mít vysokou energii, pak vytvoří dlouhou (avšak velmi tenkou) stopu. Částice s malou energií se mohou od ostatních částic odrážet. Pak vznikají stopy jednou až několikrát lomené (obrázek 3.6).

Beta záření rozlišujeme podle toho, zda jde o elektrony (beta minus, β^-) nebo pozitrony (beta plus, β^+). V mlžné komoře nemůžeme normálně rozlišit, o který druh tohoto záření jde. Abychom to dokázali, musíme částice umístit do homogenního magnetického pole, tedy pod komoru umístit magnet (viz. část 3.4). Pak částice s kladným nábojem zatáčí na jednu stranu a se záporným nábojem na stranu druhou.

Beta záření je pronikavější než záření alfa, odstíní je asi metr vzduchu nebo plech.



Obrázek 3.5: Stopa částice beta zaznamenaná v postavené komoře sériovým snímáním je dlouhá a úzká. Na posledním snímku je barevně vyznačená poloha stopy.



Obrázek 3.6: Dvojice fotografií stop částic beta s nízkou energií zaznamenané v postavené komoře. Stopy jsou krátké a díky odrazům od okolních částic lomené. Ke každé fotografii je připojena další, na které je zelenou barvou zvýrazněna stopa.

Vznik beta záření opět musíme rozdělit na dva případy, na vznik elektronu (3.2) a vznik pozitronu (3.3). Kromě nich při beta rozpadu vzniká ještě elektronové neutrino (resp. antineutrino), což můžeme zapsat jako



3.3.3 Protony

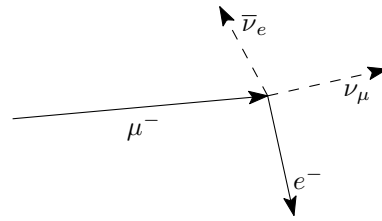
Hmotnost protonu je asi $1,64 \times 10^{-27}$ kg, tedy mnohem větší než elektronu. Náboj je elementární, tedy e . Vzhledem k větší hmotnosti oproti elektronu se pohybuje pomaleji, způsobuje tedy větší ionizaci prostředí a jeho stopy jsou tedy široké. Díky vysoké energii jsou také dlouhé a přímé.

3.3.4 Mion

Mion je částice, která byla objevena právě díky mlžné komoře, a to roku 1937 C. Andersonem a S. Neddermayerem. Ti měřili ztráty energie částic při průchodu platinovou deskou. Přitom pozorovali částici, která zanechávala stejné stopy jako elektron, avšak oproti elektronu po průchodu deskou neztrácela téměř žádnou energii. Hmotnost mionu je asi $1,89 \times 10^{-28}$ kg, náboj je elementární, tedy e .

Jak již bylo řečeno, stopy mionu v mlžné komoře jsou podobné stopám elektronu. Jsou přímé a úzké.

Jsou to částice nestabilní, střední doba života (je-li mion v klidu) je asi $2,2 \times 10^{-6}$ s. Poté se rozpadají na elektron, elektronové antineutrino, a mionové neutrino. Tento rozpad je také možné v komoře pozorovat (obrázek 3.7) jako tenkou stopu, která se v jednom místě zlomí. Právě v tomto místě dojde k rozpadu a dále pozorujeme elektron. Neutrino odlétající jiným směrem (kvůli zachování energie) vzhledem k jejich nulovému náboji v mlžné komoře nepozorujeme.



Obrázek 3.7: Rozpad mionu v mlžné komoře vypadá jako lomená čára, odlétající neutrino bez náboje v komoře pozorovat nemůžeme.

3.3.5 Gama záření

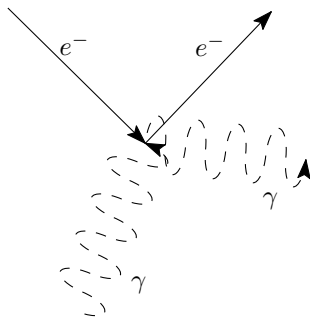
Gama záření je elektromagnetické vlnění s frekvencí nad 2,4 EHz, tedy energií fotonu nad 10 keV. Toto záření nedokážeme v komoře přímo pozorovat, jelikož fotony nemají žádný náboj. Můžeme však pozorovat tři různé sekundární jevy tohoto záření.

Fotoelektrický jev, který probíhá při nízkých energiích fotonu, je jev, při kterém foton interaguje s elektronem v atomu, čímž mu předá energii dostatečnou k emisi z atomového obalu. Tyto elektrony pak můžeme v mlžné komoře pozorovat.

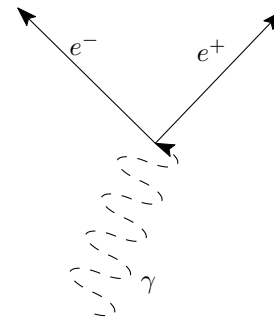
Comptonův rozptyl (obrázek 3.8) probíhá při vyšších energiích. Foton interaguje s elektronem, přičemž část energie mu předá a zbytek se vyzáří jako foton o menší energii. Opět pozorujeme elektron, v tomto případě však bude v místě rozptylu jeho dráha lomená.

Při energiích přesahujících 1,02 MeV může dojít ke kreaci elektron-pozitronového páru (obrázek 3.9). Obě tyto částice poté v komoře pozorujeme (obrázek 3.10). K jejich rozlišení musíme komoru umístit například do homogenního magnetického pole.

Pronikavost gama záření je velmi velká, k jeho odstínění je třeba olověná deska.



Obrázek 3.8: Při Comptonově rozptylu je dráha elektronu lomená.

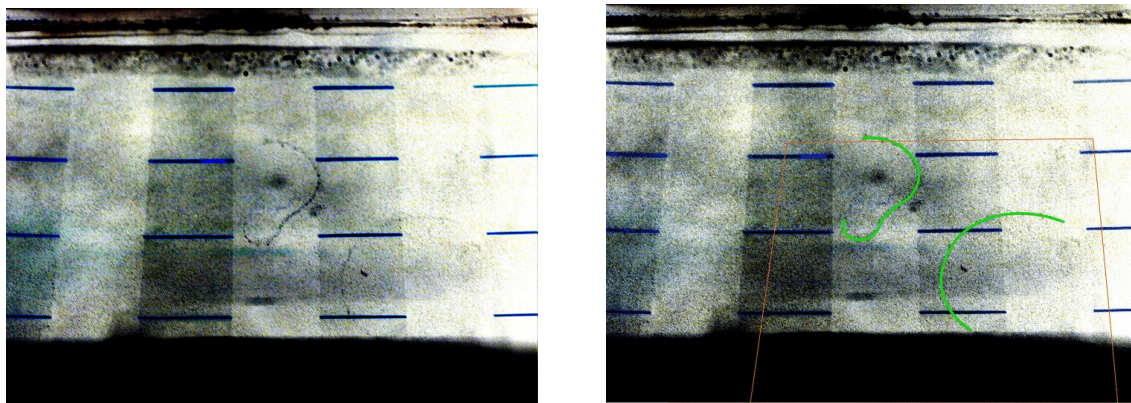


Obrázek 3.9: Kreace elektron-pozitronového páru vypadá na snímku při pozorování bez magnetického pole jako lomená dráha elektronu, jelikož tyto částice nemůžeme rozlišit.

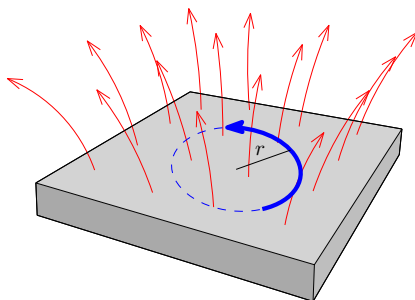
3.4 Měření

Pomocí mlžné komory lze provádět i měření, a to měření energie částice, jejíž stopa je v komoře pozorována, víme-li o jakou částici se jedná.

Umístíme-li těsně pod komoru permanentní magnet, na spodní části komory, kde pozorujeme trajektorie částic, bude přibližně homogenní magnetické pole, viz obrázek 3.11.



Obrázek 3.10: Levá stopa (uprostřed fotografie) může být kreace elektron-pozitronového páru nebo rozpad mionu v homogenním magnetickém poli. Hnědý rámeček na druhé fotografii označuje polohu magnetu pod základnou komory, zeleně jsou zvýrazněny stopy (Týden vědy 2010).



Obrázek 3.11: Dráha částice v magnetickém poli je vlivem Lorentzovy síly tvaru oblouku.

Prolétá-li homogenním magnetickým polem o magnetické indukci \mathbf{B} nabitá částice o náboji Q , bude se pohybovat po kružnici (obrázek 3.12) vlivem Lorentzovy síly

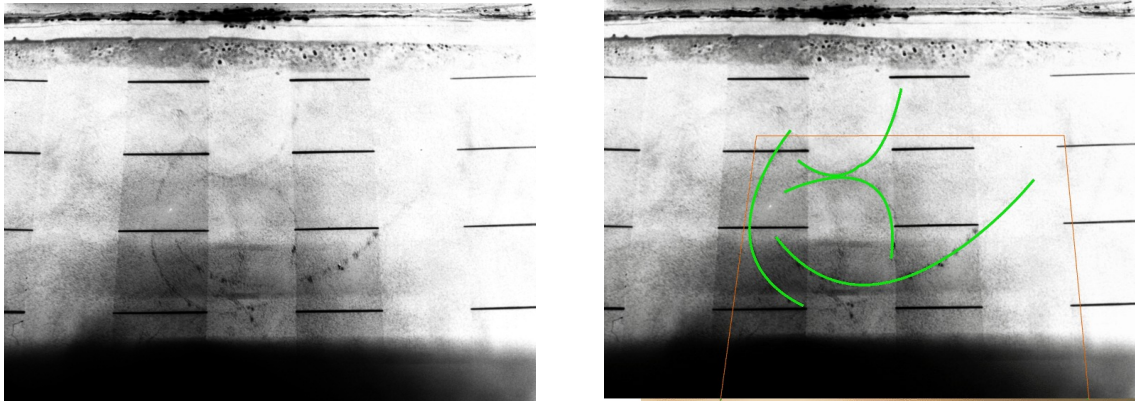
$$\mathbf{F}_L = Q(\mathbf{v} \times \mathbf{B}). \quad (3.4)$$

Dále budeme předpokládat, že částice o náboji Q letí rychlostí \mathbf{v} kolmo na magnetické pole o indukci \mathbf{B} , pak $F_L = QvB$. Jelikož se částice pohybuje po kružnici, působí na ni odstředivá síla o velikosti $F_o = \frac{mv^2}{r}$, kde $m(v)$ je hmotnost této částice a r je poloměr její trajektorie. Platí $m = \lambda m_0$, kde $\lambda \equiv \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ je Lorentzův faktor a m_0 je klidová hmotnost částice. Tyto dvě síly jsou v rovnováze, a jelikož jsou jejich směry opačné, mají stejnou velikost. Z toho můžeme vyjádřit rychlost této částice a následně spočítat energii částice podle vztahu $E = \lambda m_0 c^2$, tedy

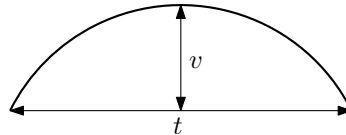
$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{1}{1 + \frac{m_0^2 c^2}{r^2 Q^2 B^2}}}} = c \sqrt{c^2 m_0^2 + B^2 Q^2 r^2}. \quad (3.5)$$

Zaznamenáme-li tedy v mlžné komoře dráhu nabitě částice, můžeme zjistit poloměr její dráhy a z něj pak spočítat její energii. V komoře pozorujeme oblouk o délce tětivy t a výšce v (obrázek 3.13). Pak můžeme spočítat poloměr r dráhy této částice jako

$$r = \frac{v^2 + \frac{t^2}{4}}{2v}. \quad (3.6)$$



Obrázek 3.12: Stopy částic v homogenním magnetickém poli jsou díky působení Lorentzovy síly zahnuté. Hnědý rámeček na druhé fotografii označuje polohu magnetu pod základnou komory, zeleně jsou zvýrazněny stopy (Týden vědy 2010).



Obrázek 3.13: K výpočtu poloměru dráhy z tětivy a výšky oblouku.

Je zřejmé, že energie částice je závislá na její klidové hmotnosti a náboji. Hmotnost však neznáme, jelikož nevíme, o jakou částici se jedná. Podle pozorovaných drah může jít o elektrony, miony či protony. Nedokážeme však předem rozhodnout, která z těchto částic to je, proto musíme uvažovat všechny tři možnosti. Dalším upravením komory by však bylo možné rozhodnout, zda jde o částici nabitou kladně či záporně. Do komory by bylo nutné umístit překážku, která by prolétající částici odstínila. Pak bychom věděli, ze které strany částice letěla a na kterou stranu se v magnetickém poli její trajektorie zahnila, mohli bychom tedy určit polaritu jejího náboje. V komoře však je možné detekovat i antičástice, rozlišení náboje částice by nám tedy příliš nepomohlo.

Pro demonstraci uvádím v tabulce 3.1 výsledky měření energií, které jsme prováděli na Týdnu vědy 2010.

Z výsledků v tabulce vidíme, že v případě žádné z částic nemůže jít o proton, jelikož jeho energie by byla příliš malá na to, aby dokázal takovou dráhu v komoře urazit. Ze stejného důvodu nepůjde o mion. Půjde tedy o elektrony (případně pozitrony).

Tabulka 3.1: Výsledky měření energie částic pomocí magnetu vloženého pod základnu komory (Týden vědy 2010, upraveno).

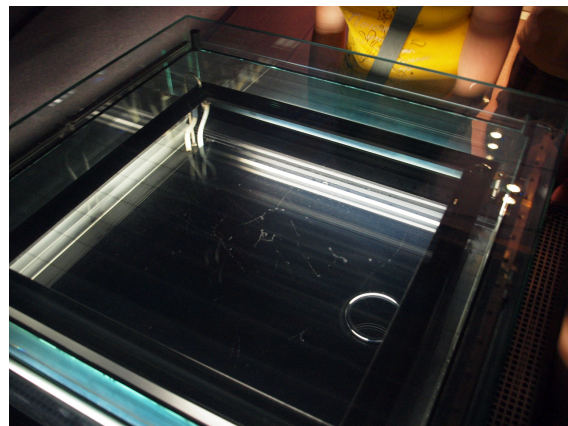
v [cm]	t [cm]	r [m]	E_e [MeV]	E_p [MeV]	E_μ [MeV]
3,5	22,5	0,198 3	77,29	942,74	130,91
4,5	24,0	0,182 5	71,13	942,25	127,37
7,0	17,5	0,089 7	34,96	940,22	111,29
3,7	16,2	0,107 2	41,77	940,49	113,61
5,0	22,0	0,146 0	56,90	941,29	120,01
klidová energie			0,51	939,57	105,66

3.5 Význam

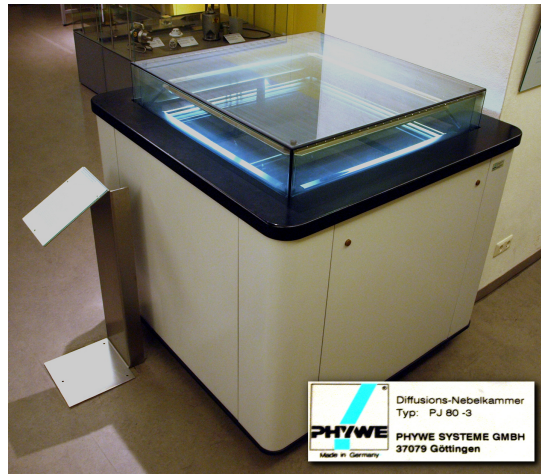
Význam pro vědu měla mlžná komora spíše v minulosti. Díky ní byly například objeveny pozitrony a miony.

V současné době je význam mlžné komory spíše demonstrativní. Lze pomocí ní demonstrovat i laikům přirozené radioaktivní pozadí, tedy že všude kolem nás je ionizující záření a není třeba se kvůli jeho přítomnosti v tomto malém množství znepokojovat. Právě pro tyto účely jsou mlžné komory k vidění například v informačních střediscích obou českých jaderných elektráren (obrázky 3.14, 3.15 a 3.16).

Ve výzkumu byla mlžná komora později nahrazena například bublinkovými a jiskrovými komorami.



Obrázek 3.14: Mlžná komora na FJFI ČVUT. Obrázek 3.15: Mlžná komora v Dukovanech.



Obrázek 3.16: Mlžná komora v technickém muzeu ve Vídni.

Část II
Metodika

Kapitola 4

Možnosti stavby

Tato kapitola se zabývá různými možnostmi, jak difúzní mlžnou komoru v domácích podmínkách postavit. Jednotlivé možnosti rozebírá a snaží se ohodnotit. Vycházím zde především z vlastních zkušeností z Týdne vědy a ze stavby vlastní komory. Srovnání možností stavby jsem provedl před započítáním stavby vlastní mlžné komory, abych si rozmyslel, jakou mlžnou komoru chci stavět. Kapitola by měla i čtenářům ulehčit rozhodování, jaký způsob stavby komory zvolí.

4.1 Komora

Samotnou komoru je možné vyrobit prakticky z jakéhokoliv materiálu. Podmínkou je jen, aby materiál stěn komory byl průhledný, tedy aby bylo možné skrz něj pozorovat stopy částic v komoře.

Nejjednodušší možností je již nějaký box koupit, například plastový box na potraviny. Ten je levný, po zavření vzduchotěsný a relativně dobře průhledný. Nevýhoda je, že pokud chceme nějakou stěnu vyměnit (například základnu za měděnou desku nebo horní stěnu za průhlednější), je nutné do měkkého plastu vyřezat otvor, což není příliš jednoduché, nechceme-li poškodit zbývající části.

Nabízí se i možnost si komoru vlastnoručně vyrobit. Výhodou je, že si můžeme zvolit velikost přesně takovou, jakou chceme. Není také problém udělat základnu z mědi. Použít můžeme sklo nebo plexisklo, polystyren či jiný průhledný plast. Lepit je možné různými tmely. Je třeba si ale dát pozor, chladíme-li dusíkem či suchým ledem, spoje budou velmi podchlazeny. A ne všechny tmely vydrží těsnit při takto nízké teplotě.

4.2 Osvětlení

Aby byly dráhy částic v difúzní mlžné komoře dobře pozorovatelné, je důležité zvolit vhodné osvětlení komory. Polohu osvětlení je většinou lepší řešit individuálně podle vlastního uspořádání komory. Nejlépe jsou však dráhy pozorovatelné, nasvítíme-li je z boku.

4.2.1 Žárovka

Jako nejjednodušší se jeví zvolit k osvětlení žárovku. Ta je velmi levná, i když bohužel kvůli nedávno schválenému nařízení Evropské Unie je již zakázáno mnohé typy prodávat.

Nemusíme ale nutně používat žárovky na nízké napětí 230 V určené k osvětlování místností, ale několik menších žárovek na malé napětí, používané například do kapesních svítlen. Tuto žárovku pak můžeme napájet několika monočládky či ne příliš výkonným zdrojem.

Umístit žárovky můžeme mimo komoru nebo přímo dovnitř komory. V každém případě je vhodné umístit nad žárovku stínítko, aby neoslňovala pozorovatele.

Velkou nevýhodou je malá účinnost žárovek, tedy zejména velké množství odpadního tepla v případě umístění dovnitř komory.

4.2.2 Zářivka

Pro větší komory je možné zvolit i zářivku, tedy nízkotlakou výbojku. Ta, na rozdíl od žárovky, produkuje mnohem méně odpadního tepla, a tedy komoru zbytečně neohřívá.

U menších komor je jejich použití omezené právě velikostí komory. Pokud ale máme jistotu, že se nám do komory (či do její blízkosti) vleze, je to velmi dobré řešení. Navíc ji lze napájet přímo z elektrické sítě.

4.2.3 LED

Poněkud modernější je použití LED diod. Ty lze zakoupit v obchodech s elektrosoučástkami, a to od malých ne příliš svítivých až po velmi výkonné v řádech desítek wattů.

Je zde navíc možnost výběru teploty bílé barvy či je možné koupit RGB diodu, u které lze zastoupení jednotlivých barevných složek regulovat ručně.

Výhodou je jejich malá spotřeba i nízká cena. Nemají ani příliš velký vyzařovací úhel (většinou kolem 60° , záleží na typu), není tedy třeba žádného stínítka jako v případě žárovky.

Výkonnější typy jsou sice drahé a také produkuje velké množství tepla, pro osvětlení mlžné komory jsou ale zbytečně výkonné.

Jako velmi vhodné pro osvětlení se ukázaly za 24 Kč v GM Electronic¹ prodávané moduly obsahující 5 výkonových AUTOLED (obrázek 4.1). Moduly jsou vodotěsné a již obsahují rezistory takové, aby se daly napájet přímo napětím 12 V. Navíc je možné je libovolně dále propojovat, a tak je umístit na celý jeden okraj nebo i více okrajů komory. Výkon je pro malou domácí komoru dostatečný. Změnou napětí (prakticky většinou zapojením předřadných rezistorů) lze jejich výkon regulovat.



Obrázek 4.1: LED modul vodotěsný 5 AUTOLED, bílá, vhodný kandidát na osvětlení malé mlžné komory.

4.3 Chlazení

Spodní část difúzní mlžné komory je třeba podchladiť na nízkou teplotu. Toho je možné dosáhnout několika způsoby.

¹<http://www.gme.cz>

4.3.1 Tekutý dusík

Jedna z jednodušších variant chlazení je pomocí tekutého dusíku. Je možné vzít polystyrenovou nádobu, naplnit dusíkem a do ní poté položit komoru, nejlépe tak, aby mezi polystyrenovou nádobou a komorou byl dostatek místa na dusík.

Dusík je velmi levný, dá se koupit například v Linde Gas², cena se pohybuje pod 20 Kč za litr. Výhodou je též to, že do dusíku je možné položit magnet.

Problém je ale s přepravou a skladováním, na které je třeba mít speciální Dewarovu nádobu, což není příliš levná záležitost. Další problém je, že páry vypařujícího se dusíku budou bránit pozorování. Jde také o metodu jednorázovou, nedoplňujeme-li dusík, všechno se vypaří a teplota opět stoupne.

4.3.2 Suchý led

Podobnou možností jako tekutý dusík je použití suchého ledu, tedy pevného oxidu uhličitého. I ten je možné dát do polystyrenové nádoby a přímo na něj položit komoru. Základnu komory dokáže ochladit až na -79°C .

Výhodou suchého ledu je také jeho cena, 1 kg přijde na asi 60 Kč. Prodává se buď jako pro komoru vhodnější pelety (malé granulky, které se dají zarovnat, aby na nich základna komory ležela rovně) nebo kompaktní. Je zde i jednoduchá přeprava, stačí polystyrenová krabice s dostatečně silnými stěnami, aby tepelně suchý led izolovala od okolí. I přesto však neizoluje dokonale, suchý led se tedy rozpouští a vypařuje, není tedy v domácích podmínkách vhodné jej skladovat. Je tedy vždy pro zprovoznění komory nutné koupit novou dávku suchého ledu, která však déle než jeden den nevydrží, a tak tato metoda není vhodná pro dlouhodobé provozování komory, stejně jako tekutý dusík.

Oproti tekutému dusíku je však manipulace s ním jednodušší. Stejně jako u dusíku je možné do ledu položit magnet.

S provozováním mlžné komory mám zkušenosti z Týdne vědy na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské Českého vysokého učení technického v Praze. Tehdy naše skupina vedená Viktorem Löffelmannem používala komoru chlazenou suchým ledem celý den (obrázek 4.2). K tomu jsme měli 2 kg suchého ledu. Na konci dne jsme zjistili, že zbývájí více než dvě třetiny objemu suchého ledu, na jednodenní pozorování by tedy měl dostačovat i 1 kg suchého ledu, což opravdu není mnoho.

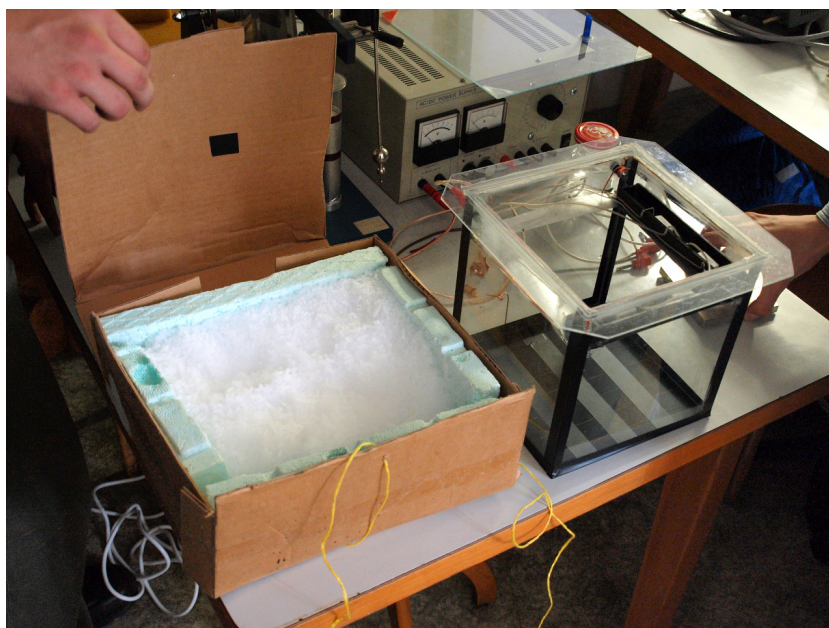
S tímto chlazením jsme měli opravdu dobré zkušenosti. Stačilo komoru položit na suchý led a za několik okamžiků již měla základna komory dostatečně nízkou teplotu a komora tak byla připravena k pozorování. Oxid uhličitý se pomalu odpařoval, viditelných par ale bylo velmi málo a tak neomezovaly možnosti pozorování. Chlazení vydrželo bez jakýchkoliv zásahů až do konce pozorování.

4.3.3 Peltierův článek

Metoda chlazení pomocí peltierova článku (obrázek 4.3) má jeden podstatný rozdíl oproti metodám předchozím. Je možné ji provozovat dlouhodobě. Počáteční investice do dražších peltierových článků se pak vrátí v podobě toho, že je možné komoru kdykoliv znovu spustit a není z hlediska chlazení třeba nic kupovat ani doplňovat.

Nevýhodou je spotřeba elektrické energie a nutnost chladit teplou stranu článku. To je možné udělat několika způsoby. Na článek je každopádně nutné připevnit pasivní chladič. Takové je buď možné koupit v prodejnách elektrosoučástek, či použít chladič určený pro počítače. Ty jsou

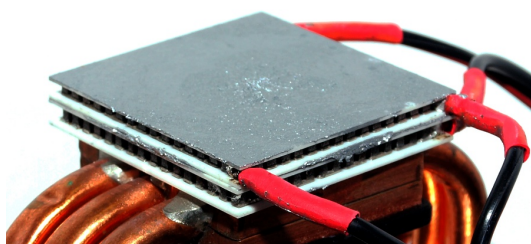
²<http://www.linde-gas.cz>



Obrázek 4.2: Mlzná komora (autor: V. Löffelmann) chlazená suchý ledem (v krabici s tepelnou izolací).

většinou velmi výkonné a relativně levné. V případě výkonnějšího chladiče je pak možné jej chladit vzduchem, je však nutné použití ventilátoru. Druhou možností je chladič vložit do vody s ledem, který je pak třeba postupně doplňovat.

Chlazení pomocí peltierova článku se budu více věnovat v kapitole 5, jelikož mnou vyrobená mlzná komora byla tímto způsobem chlazená. Zejména se zaměřím na dosažení co nejnižší teploty kombinací několika článků, což podložím výsledky měření.



Obrázek 4.3: Dvojice peltierových článků (zde s nanesenou teplovodivou pastou a položená na chladiči) je vhodný způsob chlazení jednoduché amatérské mlzné komory.

4.3.4 Kompresor

Další způsob chlazení, který je možné provozovat dlouhodobě je chlazení pomocí kompresoru, jaké se používá např. v ledničkách. Vyplatí se zejména u velkých komor, kde je třeba velký chladicí výkon na velké ploše. Vzhledem k vysoké ceně a také náročnému zprovoznění se používá zejména u mlzných komor profesionálních, kde může chlazení zajišťovat dlouhodobě.

4.4 Napájení

Pro některé typy mlžné komory je třeba též napájení. Jedná se například o komory osvětlené jiným způsobem než žárovkou či zářivkou napájenou přímo z elektrické sítě. Dále v případě chlazení pomocí peltierova článku je pro jejich napájení třeba výkonný zdroj. Pro čištění od iontů je pak vhodný zdroj vysokého napětí, které se přivede na elektrody, které bývají připevněny jedna v horní a druhá ve spodní části komory.

Napájení malým napětím je možné řešit několika způsoby. Nejjednodušší je použití monočlánků, které jsou levné, velmi dobře dostupné a snadno použitelné. Jejich nevýhoda je pak životnost, je třeba je vyměňovat.

Další možností je použití různých zdrojů napájených ze sítě. Pro malé proudy postačí i obyčejná nabíječka na mobil nebo jiný zdroj, v dnešní době většinou spínaný.

Je samozřejmě možné použít laboratorní zdroj. V domácích podmínkách to však nebude příliš časté, vzhledem k jeho ceně, která většinou převyšuje deset tisíc korun.

Kutilové si mohou zdroj sami vyrobit či upravit. Stačí koupit transformátor, diodový můstek a kondenzátor a máme jednoduchý zdroj. Ceny transformátorů jsou ale vysoké na to, jaký je jejich výkon. Z toho důvodu je výhodnější použít zdroj spínaný. V něm je nízké napětí ze sítě nejdříve usměrněno a poté znovu rozkmitáno, tentokrát ovšem na vysokou frekvenci. Dále je transformováno, na což stačí vzhledem k vysoké frekvenci transformátor relativně malý. Nakonec je opět usměrněno. Na tomto principu funguje i zdroj v počítači, který navíc obsahuje různé filtry a regulátory, díky kterým je hodnota napětí mnohem blíže hodnotě požadované. Nabízí se tedy možnost použít pro napájení zdroj z počítače. Jeho cena je velmi malá, výkon naopak velký. Na výstupu má několik napětí s velkým maximálním proudem. Úpravou počítačového zdroje se budu podrobněji zabývat v kapitole 5.

Jmenované napájení vysokým napětím pro čištění komory od iontů není nutnou součástí komory, což soudím z několika pokusů provedených na Týdnu vědy. Tam jsme zkoušeli zjistit rozdíl v množství pozorovaných stop částic v mlžné komoře v závislosti na tom, zda byla komora připojena ke zdroji vysokého napětí či nikoliv. Jako zdroj jsme použili indukční elektriku Wimshurstovu. Zkoušeli jsme použít elektrody umístěné horizontálně i umístěné vertikálně (viz obrázek 3.3). Žádný rozdíl v pozorování se nám nepodařilo zaznamenat.

Pro výrobu zdroje vysokého napětí by bylo možné použít např. vysokonapěťový transformátor ze staré televize nebo monitoru.

4.5 Magnetické pole

Pro měření energie částic je třeba, aby u základny komory bylo homogenní magnetické pole. Toho lze dosáhnout permanentním magnetem nebo cívkou.

4.5.1 Permanentní magnet

V případě chlazení suchým ledem nebo tekutým dusíkem je použití permanentního magnetu nejjednodušším způsobem vytvoření magnetického pole. Magnet vložený pod dno komory musí mít velké rozměry, aby se jím vytvořené magnetické pole v malé výšce nad dnem dalo považovat na homogenní.

Při chlazení pomocí peltierových článků by mohl být vzhledem k nízkému výkonu chlazení problém magnet uchládit. Ten by se totiž musel nacházet mezi peltierovým článkem a dnem komory (případně by magnet mohl tvořit dno komory), a tak by chlazení při spuštění komory

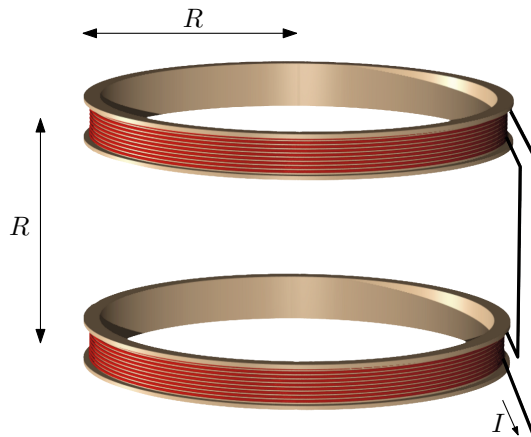
muselo podchladiť i tento magnet. Z toho dôvodu je při chlazení peltierovými články magnet nevhodný.

4.5.2 Helmholtzova cívka

Druhou možnosť jak zajišťit magnetické pole uvnitř komory je použitie cívky. Aby se uvnitř jediné cívky vytvořilo přibližně homogenní magnetické pole, musí její délka převažovat nad průměrem, tedy musí jít o solenoid. Umístit solenoid do mlžné komory tak, aby nad dnem komory bylo homogenní magnetické pole, by však byl problém. Znamenalo by to vložení chlazení do této cívky a bylo by třeba ve dně komory vyříznout mezikruží pro cívku. Řešením by byla Helmholtzova cívka (obrázek 4.4). Jedna z cívek by byla umístěna v malé vzdálenosti nad dnem komory a druhá v malé vzdálenosti pod dnem. Pak by se nad dnem komory vytvořilo přibližně homogenní magnetické pole, jehož magnetická indukce by mohla být zjištěna experimentálně nebo určena podle vztahu

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{\mu n I}{r}, \quad (4.1)$$

kde μ je permeabilita vzduchu, n počet závitů každé z obou cívek, I proud protékající cívkou a r její poloměr.



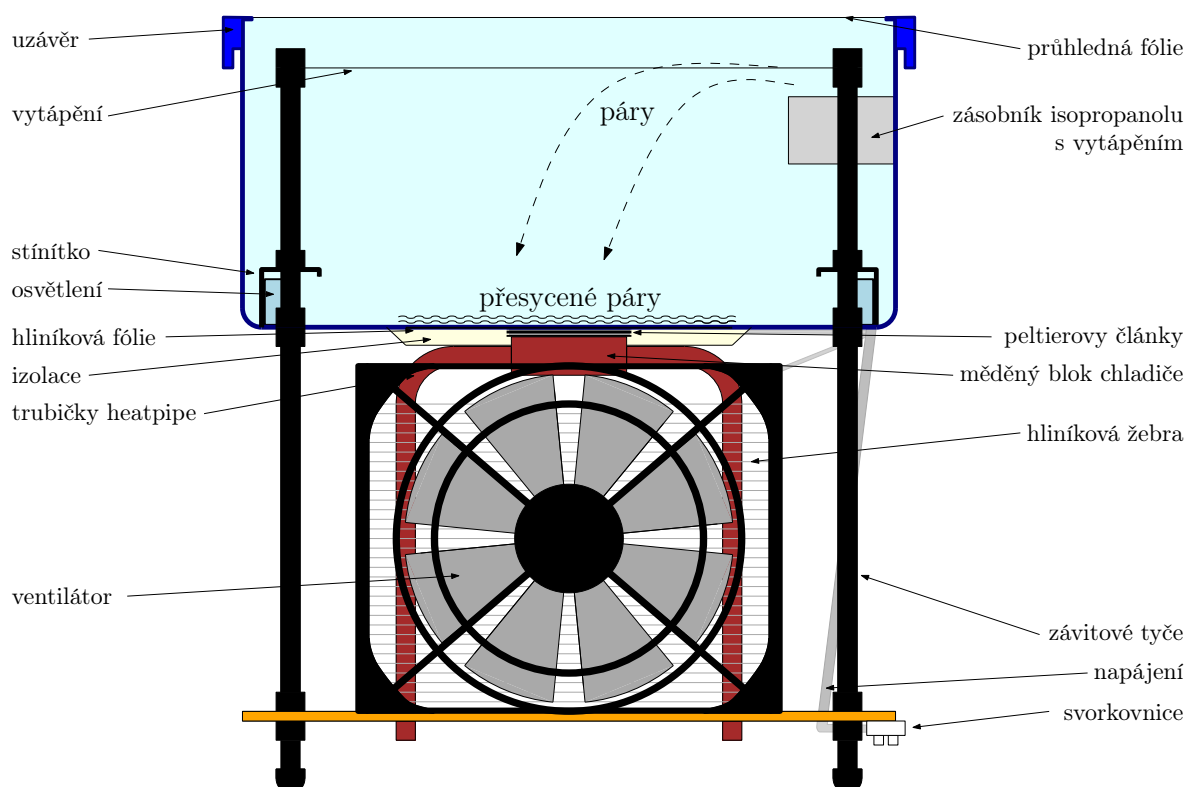
Obrázek 4.4: Uvnitř Helmholtzovy cívky je přibližně homogenní magnetické pole, které je využitelné pro měření energie částic pozorovaných v mlžné komoře. Jedna z cívek by byla umístěna nad dnem komory, druhá pod ním (zdroj obrázku: <http://en.wikipedia.org>, upraveno).

Kapitola 5

Stavba mlžné komory

Nyní k samotné stavbě mlžné komory v domácích podmínkách. Pro stavbu jsem si vzhledem k jednoduchosti vybral mlžnou komoru difúzní. Jak již bylo řečeno výše, komoru je možné chladit několika způsoby. Já se rozhodl pro chlazení pomocí peltierova článku a osvětlení moduly LED (obrázek 4.1). Vše jsem napájel upraveným počítačovým zdrojem. Pozorované stopy jsem se poté snažil zachytit pomocí digitálního fotoaparátu.

Tato kapitola vychází výhradně z vlastní zkušenosti získané během stavby a práce s mlžnou komorou, jež je zde popisována. Jde tedy o stěžejní část této práce.



Obrázek 5.1: Schéma postavené mlžné komory

Mlžná komora se skládá z několika částí (viz schéma na obrázku 5.1). Hlavní částí je samotná komora, v mém případě plastový box na potraviny. Ten obsahuje osvětlení pozorovací

části komory (tedy dna plastového boxu) se stínítky. Dále pak zásobník isopropanolu s vytápěním a v horní části také vytápění komory. Dno komory (základna) je chlazeno pomocí dvojice peltierových článků, které jsou chlazeny chladičem procesoru z počítače. Tento chladič je přilepen k plastové desce, jež je s komorou spojena čtyřmi závitovými tyčemi.

Byly postaveny celkem dvě mlžné komory. První verze sloužila jen k odzkoušení a optimalizaci konceptu chlazení pomocí dvojice peltierových článků a byla velmi jednoduchá, neobsahovala vlastní osvětlení, vytápění ani zásobník isopropanolu. Druhá verze je již verze konečná, jejíž stavbu zde popisují.

5.1 Komora

Jako samotná komora byl použit box na potraviny značky Tesco. První verze měla objem pouze 1,1l, rozměry byly $14 \times 14 \times 7$ cm, což se ukázalo velmi málo, jelikož se do komory dobře nevešlo vytápění ani zásobník na isopropanol. I na osvětlení bylo velmi málo místa. Z toho důvodu byl koupen box větší, o rozměrech asi $20 \times 14 \times 10$ cm, tedy objemu 2,4l.

První verze komory (obrázek 5.19) měla uvnitř pouze houbičku na nádobí navlhčenou isopropanolem, který se samovolně vypařoval. Osvětlení bylo řešeno externě, vytápění komora neměla. Na podlaze komory byl volně položen černý papír. O této verzi komory viz dále.

V další verzi již byla samotná komora vyměněna za větší. Již neměla půdorys ve tvaru čtverce, což se u první verze ukázalo velmi nepraktické. Tak totiž mohla pozorovací část zůstat přibližně čtvercová a zároveň se do komory vešlo osvětlení, vytápění a pomocná konstrukce.

Při pozorování se ukázalo, že přes horní stěnu komory není dostatečně vidět. Byl v ní tedy vyříznut otvor tak, aby z víčka boxu zbyl pouze rámeček. Na něj byla poté nalepená průhledná fólie, přes kterou již bylo vidět mnohem lépe.

5.2 Chlazení

Chlazení mlžné komory bylo provedeno pomocí soustavy dvou peltierových článků (obrázek 5.2).

Peltierovy články byly zapojeny v sérii. První článek odebíral teplo z komory a předával je článku druhému. Současně však sám generoval teplo. Součet těchto tepel musel druhý peltierův článek odvádět do chladiče. Také ten sám generoval teplo. Chladič tedy musel uchladit součet tepla odebíraného z komory a tepel generovaných oběma peltierovými články. Je zřejmé, že druhý článek musí být výkonnější než první, aby teplo odváděl a rozhraní peltierových článků se neohřívalo.

Důvod použití dvojice článků je, že pomocí jednoho článku by nešlo dosáhnout dostatečně nízké teploty pro provoz mlžné komory. To je vidět z datasheetu k peltierovému článku TEC1-12706 (příloha B). Je-li při konstantním proudu větší rozdíl teplot studené a teplé části článku, jeho výkon je menší. Při určitém rozdílu teplot je pak výkon již nulový a článek pouze topí. Pokud bychom tedy udržovali teplou část tohoto článku pomocí chladiče např. na teplotě 25°C a chladná část by byla dokonale izolována, při proudu 3 A bychom dosáhli nejvýše teplotního rozdílu asi 44°C . Komora však není dokonale tepelně izolována, její základna vyměňuje teplo s okolím, nepodaří se tedy takto nízké teploty dosáhnout. Při použití dvou článků je teplá část výkonnějšího článku udržována chladičem na přibližně konstantní teplotě. Pomocí tohoto článku se chladí rozhraní obou článků, to má tedy nižší teplotu než je teplota chladiče. Teplá část prvního článku je tedy chladnější než bez použití článku druhého a jeho studená část tak může dosáhnout při stejném výkonu nižší teploty.

Pro chlazení článků byl použit chladič procesoru Arctic Cooling Freezer 64 Pro. Ten začíná masivní měděnou základnou, která odebírá teplo peltierovému článku. Základnou prochází tři tepelné trubice (známější spíše pod anglickým názvem heat pipe) tvaru U, každá rozdělená na poloviny právě v prostředku základny, efektivně je tedy trubic šest. V nich je hermeticky uzavřená kapalina, která se na teplém konci trubice (v základně) odpařuje, čímž teplému konci odebírá teplo, a tedy se tato část ochlazuje. Vzhledem k tomu, že objem trubice je konstantní, vzroste v ní tlak. Plynná pracovní látka na chladnějších částech trubice opět kondenzuje, čímž jim předává teplo. Zkondenzovaná pracovní látka pak díky úpravě stěn trubice vzlíná zpět na teplý konec. Tento děj probíhá neustále. Výsledkem toho je, že trubice předává teplo z teplého měděného bloku dále, kde jsou u použitého chladiče hliníková žebra. Ta jsou ofukována ventilátorem. Tento chladič dokáže dle výrobce při zapnutém ventilátoru uchlazit výkon až 130 W. Měření teploty měděného bloku chladiče na zprovozněné komoře ukázalo, že je pro chlazení dvou mnou použitých peltierových článků dostatečný. Při okolní teplotě 18 °C a ventilátoru připojeném na napětí 12 V (tedy při maximálních otáčkách doporučených výrobcem) teplota bloku nepřekročila 25 °C.



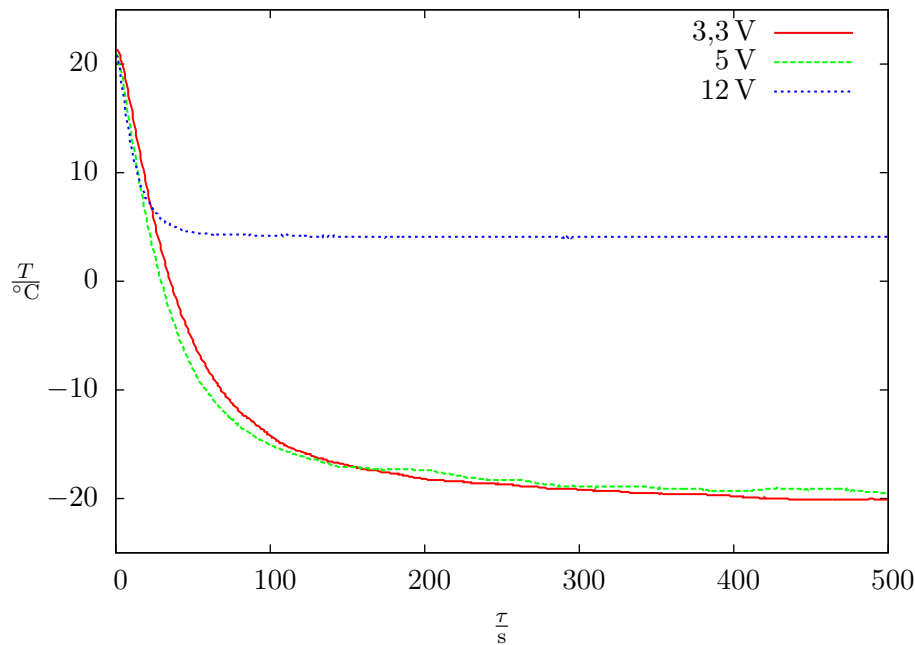
Obrázek 5.2: Dva peltierovy články s teplovodivou pastou nasazené na chladiči procesoru z počítače.

5.2.1 Volba napětí na člancích před stavbou komory

Prvotní nápad počítal pouze s jedním článkem, avšak nepodařilo se dosáhnout dostatečně nízké teploty. Z toho důvodu byl proveden experiment s dvojicí článků. Byly použity dva články o výkonech 51 W a 89 W při napětí 15,4 V. Tyto články mohly být připojeny na napětí 3,3 V, 5 V nebo 12 V. Dvojice článků byla položena na sobě, mezi nimi byla teplovodivá pasta. Výkonnější ze článků byl na chladiči a vždy byl připojen k napětí 12 V (pokud by byl připojen na napětí menší, musel by i druhý článek mít menší výkon, tedy celkový výkon chlazení by byl menší), méně výkonný mohl být připojen na kterékoliv z jmenovaných tří napětí.

Články odváděly teplo do chladiče se zapnutým ventilátorem. Na horním článku bylo připevněno digitální teplotní čidlo, které bylo připojeno k počítači. Při různých napětích se zaznamenávala teplota na článku, dokud se na nějaké hodnotě neustálila. Mezi jednotlivými měřeními bylo celé chlazení na nějakou dobu vypnuto, aby se jeho teplota vrátila zpět na teplotu pokojovou.

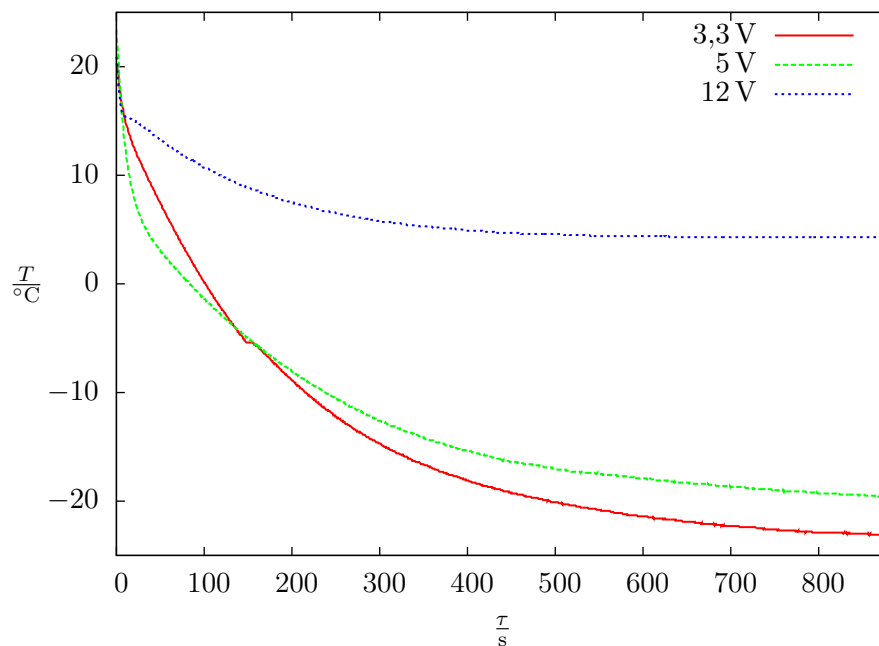
Při prvním pokusu bylo čidlo teploměru položeno přímo na článku s trochou teplovodivé pasty. Na teploměr byl z druhé strany volně položen kousek kuličkového polystyrenu, aby se z druhé strany příliš neohříval. Bylo zapnuto napájení článků a ventilátoru a současně bylo zapnuto na počítači zaznamenávání teploty. Výsledky těchto měření jsou na obrázku 5.3. Je vidět, že jsou-li oba články připojené na stejné napětí, jejich výkon si je tak blízký, že článek blíže u chladiče nestíhá chladit, a tedy se nedaří dosáhnout nízké teploty. Při napětích 3,3 V a 5 V se již daří za krátkou dobu dosáhnout teploty -20°C a při obou těchto napětích jsou výsledky vyrovnané.



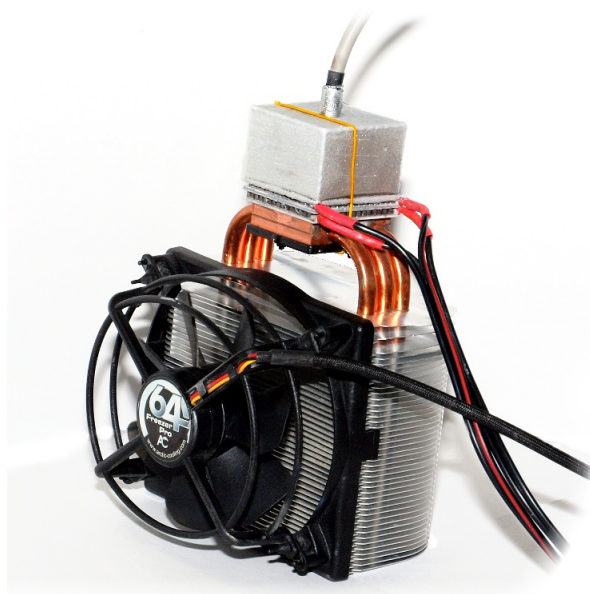
Obrázek 5.3: Výsledky měření teploty v čase s tepelně izolovaným teploměrem na horním peltierově článku v závislosti na napětí na něm. Na druhém článku bylo napětí 12 V.

Druhé měření se snažilo více se přiblížit reálné situaci v komoře. Tam je chladič neustále ohříván okolím, není příliš izolován. Navíc po spuštění musí ochladit mnohem více látky než jen teploměr, jak tomu bylo v prvním měření. Na chladič byl připevněn hliníkový blok s vyvrtaným otvorem, kterým šlo prostrčit teplotní čidlo až na peltierův článek (viz obrázek 5.5). Opět byla provedena měření s různými napětími. Po pohledu na obrázek 5.4 je patrné, že zde opravdu teplota klesala podstatně pomaleji než v předchozím případě. Při napětí 12 V na prvním článku se opět nepodařilo dosáhnout nízké teploty. Při obou dalších napětích se podařilo dosáhnout teploty pod -20°C . Při napětí 3,3 V probíhalo nejdříve sice pomaleji, posléze se pak podařilo dosáhnout nižší teploty než u napětí 5 V.

Závěrem tohoto měření je, že v žádném případě není vhodné připojovat oba články na stejné napětí. Dále už téměř nezáleží na tom, zda první článek připojíme na napětí 3,3 V nebo 5 V. Při 5 V dosáhneme rychleji bodu mrazu vody, u 3,3 V zase dosáhneme o několik stupňů nižší teploty.



Obrázek 5.4: Výsledky měření teploty v čase s teploměrem v hliníkovém bloku na horním peltierově článku v závislosti na napětí na něm. Na druhém článku bylo napětí 12 V.



Obrázek 5.5: Hliníkový blok s teploměrem na chlazení pro měření optimálního napětí na článcích pro dosažení nízké teploty.

5.2.2 Vedení tepla a izolace

Pro optimální chlazení a hlavně zchlazení co největší plochy, na které by se pak daly pozorovat dráhy částic, bylo zamýšleno použít k rozvodu tepla hliníkovou fólii a izolaci. Fólie byla

vystřížena z alobalového tácku a měla tloušťku asi 0,5 mm. Jako izolace byl použit karton, jelikož kuličkový polystyrén (což by byla pravděpodobně ještě lepší izolace) se mi nepodařilo vyříznout tak malý a také jej nebylo jednoduché slepit. Navíc bylo ještě vše obaleno alobalem, ten ale sloužil spíše jako izolace od okolního vzduchu, aby na chlazení nekondenzovala vzdušná vlhkost.

Jelikož jsem si nebyl úplně jistý, jak velký účinek bude mít na chlazení hliníková fólie a izolace, rozhodl jsem se provést numerickou simulaci. Pro tento účel byl použit program Agros2D, který dokáže provádět 2D simulace vedení tepla pomocí numerického řešení parciální diferenciální rovnice vedení tepla

$$\nabla \cdot \lambda \nabla T = Q, \quad (5.1)$$

kde Q je prošlé teplo, λ je součinitel tepelné vodivosti a ∇T je gradient teploty. Bohužel neumí simulace prostorové, avšak vedení tepla v komoře se dalo přibližně zjednodušit na rovinný problém s tím, že tato simulace nebude příliš přesná ve všech směrech. Bohužel také program počítá pouze s vedením tepla, nikoliv prouděním. Z toho důvodu je třeba brát v potaz pouze okraj komory, zejména kolem chlazení. Rozdělení teplot uvnitř komory, kde je vzduch, je absolutně nepřesné. Model počítá s tím, že na peltierově článku je -20°C (což je naměřená hodnota na něm) a na vnějších částech komory pokojová teplota 22°C . Rovnici program řeší až do ustáleného stavu.

Kompletní výsledky simulace uvádím v příloze D, zmenšené jsou pak pro porovnání na obrázcích 5.6, 5.7, 5.8 a 5.9.

Je zřejmé, že samotné přidání fólie nic neřeší. Samotné přidání izolace způsobí také jen nepatrnou změnu. Pokud však provedeme obě úpravy, docílíme toho, že zchlazená bude mnohem větší plocha základny komory. Díky tomu bude na větší části přesycená pára a tedy budou vznikat stopy částic, které pak budeme moci na této větší ploše pozorovat. Postavená mlžná komora tedy obsahovala hliníkovou fólii i izolaci (obrázek 5.10).

5.2.3 Ověření volby napětí na článcích v postavené komoře

Po postavení komory jsem také ověřil, že opravdu napětí 3,3 V je pro napájení méně výkonného peltierova článku lepší než 5 V. Na dno komory jsem připevnil teploměr a opět provedl měření teploty v čase po zapnutí napájení při dvou různých napětích. Na dně komory byl pouze teploměr, bez jakékoliv izolace. Vzhledem k jeho velikosti pak měřená teplota není opravdová teplota dna. Při napětí 3,3 V se opravdu podařilo dosáhnout nižší teploty, asi $-6,5^\circ\text{C}$ (viz graf 5.11).

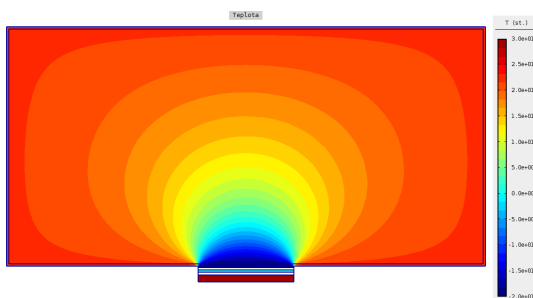
Při dalším měření jsem se již více zaměřil na změření teploty dna komory, proto jsem teploměr vložil do bloku z polystyrenu tak, aby při položení bloku na dno komory měl teploměr dobrý kontakt s podchlazeným dnem (navíc byla použita teplovodivá pasta), ale zároveň byl izolovaný od okolního vzduchu. Pomocí digitálního multimetru byl také měřen proud na každém z peltierových článků. Výsledky uvádím v tabulce 5.1

I při tomto měření se ukázalo jako nejlepší připojit výkonnější článek na napětí 12 V a slabší na 3,3 V. Slabší článek při tomto zapojení generuje teplo s výkonem 7,4 W, výkonnější 51,6 W.

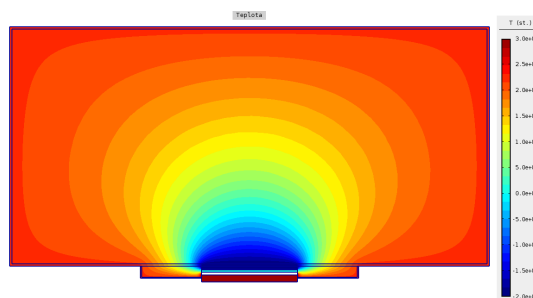
5.2.4 Teplota základny mlžné komory

Další měření mělo určit teplotu na různých místech základny postavené mlžné komory. Zejména šlo o potvrzení počítačové simulace, jejíž výsledky ukazují, že nízké teploty se při použití hliníkové fólie a izolace podaří dosáhnout po celé ploše fólie.

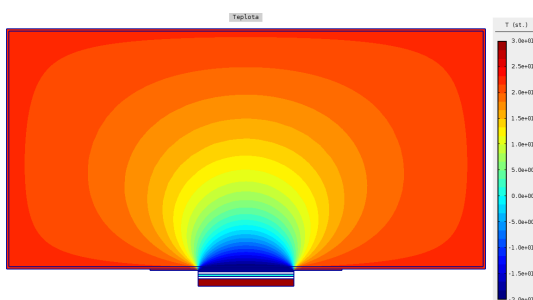
Teplota byla tentokrát měřena digitálním multimetrem, který obsahuje teplotní senzor. Ten je velmi malý a tak díky nízké tepelné kapacitě lépe reaguje na změny teploty než teploměr dříve



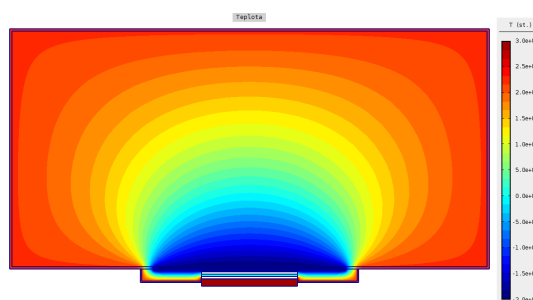
Obrázek 5.6: Simulace vedení tepla v komoře bez použití fólie a izolace.



Obrázek 5.7: Simulace vedení tepla v komoře při použití izolace.



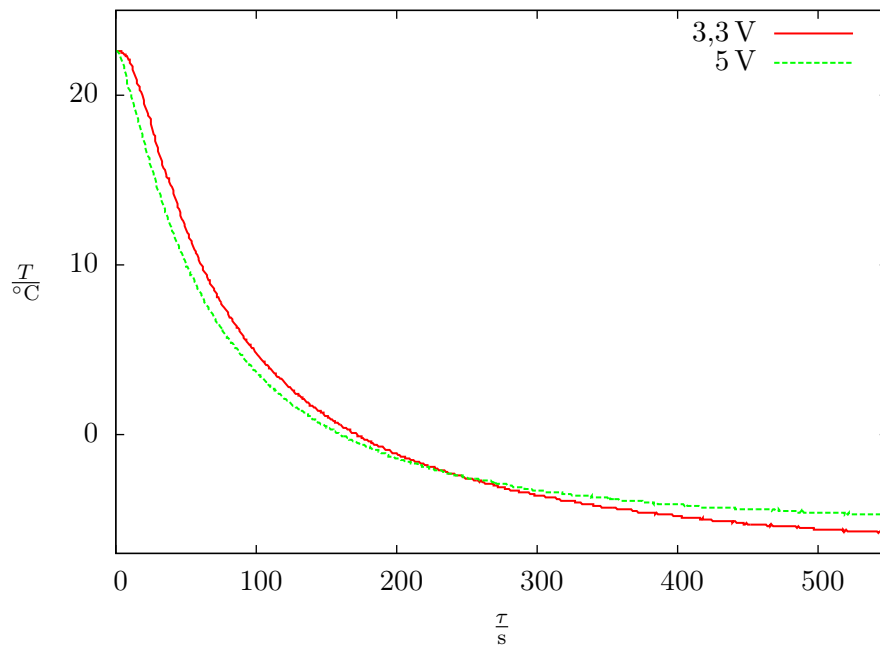
Obrázek 5.8: Simulace vedení tepla v komoře při použití hliníkové fólie pro rozvod tepla.



Obrázek 5.9: Simulace vedení tepla v komoře při použití hliníkové fólie pro rozvod tepla a izolace.



Obrázek 5.10: Konečná verze chlazení postavené mlžné komory obsahuje hliníkovou fólii pro rozvod tepla i izolaci.



Obrázek 5.11: Teplota na dně komory při různých napětích na prvním článku. Na druhém článku je napětí 12 V.

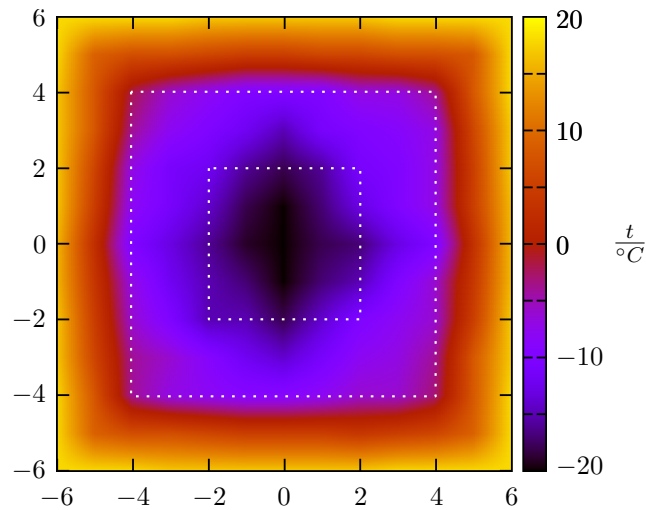
Tabulka 5.1: Výsledky měření teploty na dně komory a proudu na člancích v závislosti na napětí na nich. Veličiny s indexem 1 jsou na slabším článku (blíže komoře), s indexem 2 na silnějším (na chladiči). Teplota měřena izolovaným teploměrem na dně komory.

		U_1								
		3,3 V			5 V			12 V		
		$\frac{I_1}{A}$	$\frac{I_2}{A}$	t_{min} °C	$\frac{I_1}{A}$	$\frac{I_2}{A}$	t_{min} °C	$\frac{I_1}{A}$	$\frac{I_2}{A}$	t_{min} °C
	3,3 V	1,85	1,23	-1,6	neměřeno			neměřeno		
U_2	5,0 V	1,99	1,85	-7,0	2,86	1,96	-6,5	neměřeno		
	12,0 V	2,24	4,30	-15,5	3,21	4,48	-13,9	5,36	4,45	+3,6

zmiňovaný. Na dně komory byla fixem vyznačena čtvercová síť se čtverci o straně 1 cm. Jako počátek soustavy souřadnic byl brán střed komory, tedy i střed peltierova článku. Následně byla uprostřed každého ze čtverců změřena teplota. Takto bylo zaznamenána teplota na 121 bodech základny. Výsledky na obrázku 5.12 potvrzují numerickou simulaci, tedy potvrzují, že přidání hliníkové fólie a izolace opravdu pomůže zvětšit chlazenou plochu.

5.2.5 Termogramy postavené mlžné komory

Po dokončení stavby mlžné komory a provedení všech dosud popisovaných měření mi byla zapůjčena infračervená kamera Fluke TiS (obrázek 5.13). Díky ní bylo možné ověřit provedené měření teploty základny postavené mlžné komory (viz obrázek 5.14). Na obrázku 5.15 je vidět,



Obrázek 5.12: Výsledky měření teploty základny mlžné komory. Peltierův článek se nachází uprostřed, jeho strana je dlouhá 4 cm. Hliníková fólie má tvar čtverce o straně 8 cm, tepelná izolace na každé straně přesahuje fólii o půl centimetru.

že oblast pro pozorování částic tvoří velkou část dna komory. Z termogramů je také zřejmé, že skutečná teplota chlazené části mlžné komory je nižší, než ukazovala předchozí měření. To lze přisoudit tepelné výměně mezi teploměrem a okolím.

Další infračervené snímky postavené mlžné komory uvádím v příloze E.

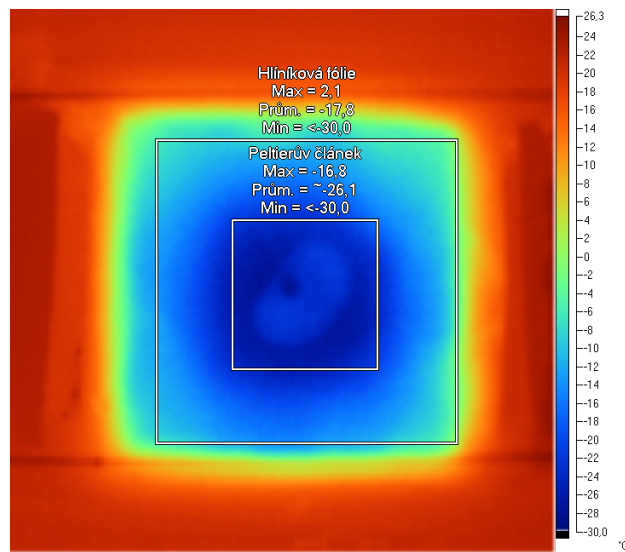


Obrázek 5.13: Pořizování termogramu postavené mlžné komory pomocí infračervené kamery Fluke TiS.

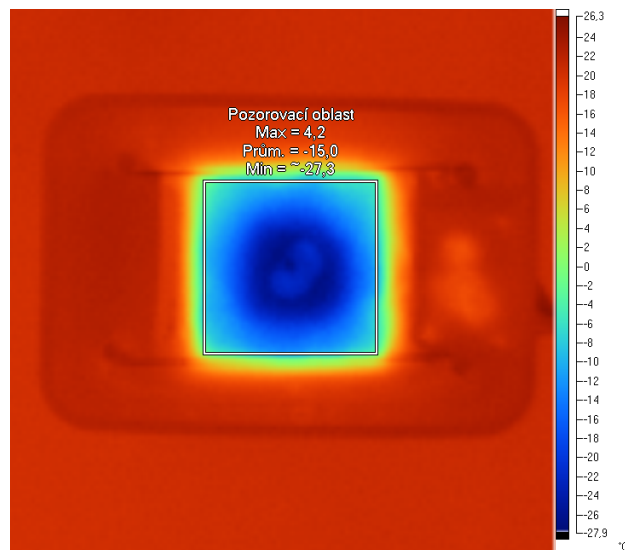
5.3 Zdroj

Pro napájení peltierových článků je třeba zdroj s velkým výkonem. Pro jejich napájení, ale i napájení topení a osvětlení, byl použit upravený zdroj z počítače.

Vybrán byl levný počítačový zdroj značky Eurocase o maximálním výkonu 350 W. Parametry uvádím v tabulce 5.2. Kvůli šetrnosti k elektrické síti byl raději použit zdroj s PFC, tedy



Obrázek 5.14: Infračervený snímek základny postavené mlžné komory potvrzuje předchozí měření teploty základny.



Obrázek 5.15: Termogram celé postavené mlžné komory s vyznačenou oblastí, kde je možné pozorovat stopy částic.

části zvyšující účinník. Tento zdroj má pouze pasivní PFC, tedy na vstupu zdroje je připojena tlumivka.

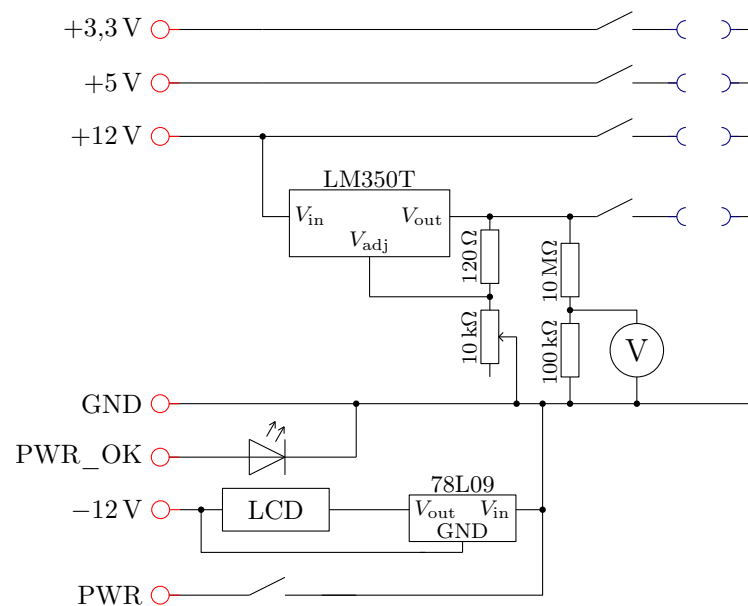
Úprava spočívala v několika věcech. Na jednu stěnu zdroje byla zvenčí připevněna plastová krabička, do níž byly vyvrtány a vyřezány montážní otvory. Do otvorů byly přidělaný čtyři dvojice přístrojových zdířek (do kterých jdou zapojit banánky, ale i přímo vodiče), čtyři spínače (ke každé dvojici zdířek jeden), jeden potenciometr (zapojený jako reostat) a LCD displej fungující jako voltmetr.

Na jednu dvojici zdířek bylo přivedeno přes příslušný spínač ze zdroje napětí 3,3 V s maximálním proudem 16 A, na druhou napětí 5 V s proudem 22 A a na třetí 12 V a 15 A. Na poslední zdířku bylo přivedeno výstupní napětí z obvodu na obrázku 5.16. Tento obvod má na vstupu

Tabulka 5.2: Parametry použitého zdroje (ze štítku uvedeného výrobcem).

		Model: ATX-350W PFC					
AC input		230 V / 5 A, 50 Hz					
DC output		+3,3 V	+5 V	+12 V	-5 V	-12 V	+5 V SB
		15 A	22 A	15 A		0,5 A	2 A
		350 W max					

napětí 12 V. Pomocí potenciometru je pak ovládaný stabilizátor LM350T, který reguluje napětí na výstupu v hodnotách od asi 1,1 V do přibližně 10,5 V s maximálním proudem 3 A. Toto napětí je pak opět přes spínač přivedeno do zdířek a navíc je přivedeno přes napěťový dělič na digitální voltmetr, který hodnotu tohoto napětí zobrazuje na LCD displeji.



Obrázek 5.16: Schéma zapojení upravené části zdroje. Červeně jsou označeny vstupy napětí (připájené na plošný spoj zdroje), modře výstupy.

S displejem jsem narazil na problém. Pokud byl napájen se společnou zemí jako napětí, které jím bylo měřeno, nepracoval volmetr korektně. Z toho důvodu byl pro jeho napájení použit -12 V výstup zdroje a 9 V stabilizátor 78L09.

Vzhledem k tomu, že jde o ATX zdroj, je třeba pro jeho spuštění propojit dva vodiče, které v počítači běžně propojí základní deska po zmáčknutí spouštěcího tlačítka. Jelikož ale zdroj k ničemu připojený není, je třeba tyto vodiče spojit manuálně. Pro tento účel je upravený zdroj vybavený ještě jedním spínačem. Ten není v plastové krabici, ale přesně se vešel do otvoru, kterým běžně vedou ze zdroje vodiče do zbytku počítače. Tento otvor po úpravě zůstal prázdný, byl do něj tedy vložen spínač.

Do vnitřních obvodů zdroje nebylo samozřejmě nijak zasahováno. Jako ochrana proti zkratu byly použity teplem smršťovací bužírky, žádná část vodičů tedy nikdy nezůstala odkryta. Proto

také byla pro panel zvolena plastová krabička. Ta není elektricky vodivá, a tedy při neopatrném zapojování nedojde ke zkratu. Všechny komponenty byly vybrány tak, aby dokázaly vydržet pokud možno co nejvyšší proud, vzhledem k velkému příkonu peltierových článků. Vodiče zdroje jsou měděné, avšak malého průřezu, asi $0,75 \text{ mm}^2$. Pro některá měření bylo třeba, aby vydržely proud asi 10 A. Z toho důvodu byly vodiče, kterými může téci velký proud (tedy vedoucí na výstup zdroje), zdvojeny. Stejně tomu je i v případě použití v počítači, kdy např. napájení 12 V pro procesor je zdvojeno.

Původně zdroj měl jeden 12 cm ventilátor. Na jeho místo však byla připevněna plastová krabička s vývody, muselo tedy být upraveno i chlazení. Zdroj má jednu stěnu perforovanou, na ni tedy byl připevněn ventilátor o průměru 8 cm s ochrannou mřížkou. Zdroj má automatickou regulaci otáček ventilátoru, ventilátor se tedy bude otáčet rychleji než ten původní, aby stihl přebytečné teplo ze zdroje odvést. I přes ochrany, které zdroj má, bylo pro jistotu provedeno měření teploty. Na jeden z chladičů zdroje bylo umístěno teplotní čidlo propojené s počítačem. Zdroj byl zapnut a na jeho výstupy přidána zátěž v podobě rezistorů. Měřená teplota ani po delší době nepřekročila 50°C , i menší ventilátor tedy stačí tento zdroj uchládit (za cenu vyšších otáček ventilátoru a z toho plynoucího vyššího hluku, což při tomto použití nevádí).

Výsledkem těchto úprav je tedy výkonný zdroj s napětími 3,3 V, 5 V, 12 V a jedním regulovatelným výstupem 1,1–10,5 V s velkými maximálními proudy (obrázek 5.17). Zdroj je tedy dostatečný nejen na napájení mlžné komory, ale dá se využít i při jiných experimentech se stejnosměrným proudem, obzvláště výstup s plynule regulovatelným napětím, který se jinak ve zdrojích příliš neobjevuje.



Obrázek 5.17: Upravený počítačový zdroj použitý k napájení sestavené mlžné komory.

5.4 Vytápění

K vytápění komory byly použity dva asi 15 cm dlouhé paralelně zapojené kusy odporového drátu hantalu s odporem $53,1 \Omega \text{ m}^{-1}$. Ty vytápěly horní část komory a byly připevněny k závitovým tyčím (viz obrázky 5.18 a 5.24). Tyto tyče jsou elektricky vodivé, nebylo tedy třeba přivádět k vytápění další vodiče. Stačilo na tyče v dolní části komory přivést požadované napětí.

Kromě vytápění komory bylo třeba urychlit odpařování isopropanolu přidáním topení do jeho zásobníku. Zásobník byl vyroben slepením několika kusů alobalu, ve kterém byla vložena houbička na nádobí. Ve spodní části zásobníku byl paralelně k odporovým drátům připojený rezistor $3,3 \Omega$ pro maximální výkon 10 W.

Vytápění bylo připojeno na výstup zdroje s regulovatelným napětím. Experimentálně bylo stanoveno optimální napětí 2,8 V, kdy obvodem tekl proud 1,5 A, výkon topení je tedy asi 4 W.



Obrázek 5.18: Na dně komory je mezi závitovými tyčemi připevněno osvětlení se stínítkem. U horní části komory je pak zásobník isopropanolu (zelená houbička). Mezi konci závitových tyčí je natažen odporový drát pro vytápění horní části komory.

5.5 Osvětlení

Pro osvětlení komory byly použity dva LED moduly s pěti výkonnými diodami (obrázek 4.1), napájeny byly zdrojem napětím 12 V. Moduly byly umístěny proti sobě (viz obrázky 5.18 a 5.24). Ke komoře byly přilepeny tavným lepidlem.

Jelikož použité moduly mají velký úhel vyzařování, bylo nutné k nim přidělat stínítka. Ta byla vyrobena z několika kousků alobalu. Jeden kousek byl nalepený na podlaze komory a zabraňoval svícení pod komoru. Další kousek byl hned nad každým z modulů a zabraňoval zbytečnému svícení směrem vzhůru, kde by mohlo dojít k oslňování pozorovatele. Z boku jako stínítka posloužily závitové tyče, mezi kterými byly moduly upevněny.

Moduly byly napájeny jedním párem vodičů, pro které byla v komoře vyvrtána díra. Ta byla po protáhnutí vodičů následně zalepena tavným lepidlem, aby tudý neunikal isopropanol. Veškeré vodiče byly izolovány smršťujícími bužírkami.

Jelikož jsou stěny komory průhledné, v případě potřeby je možné komoru osvětlit (jako v první verzi mnou postavené komory) zdrojem světla zvenčí.

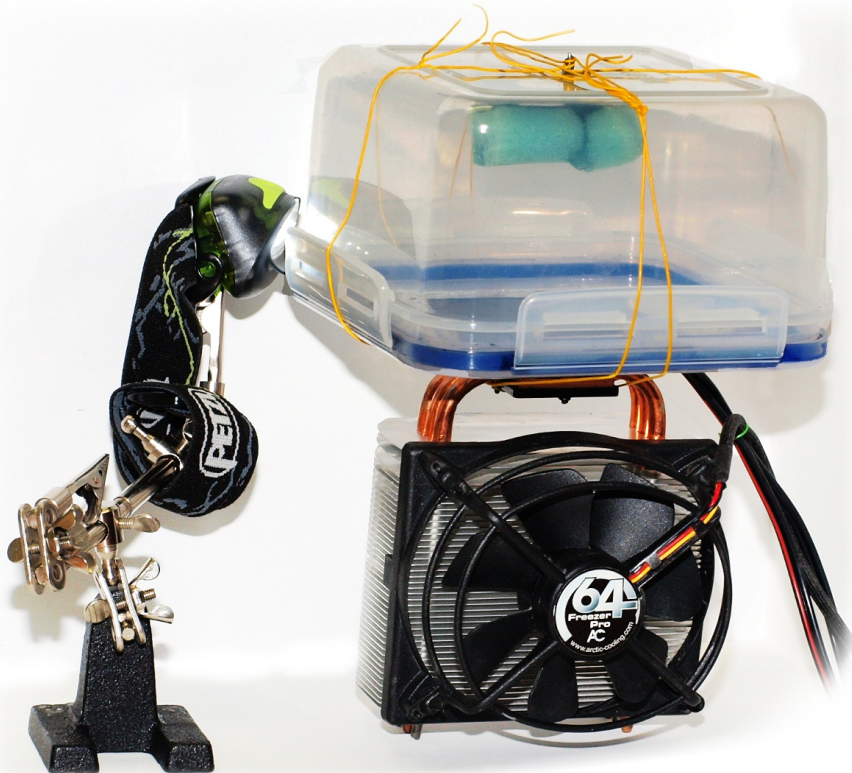
5.6 Konstrukce a zprovoznění komory

5.6.1 První verze

Stavba mlžné komory probíhala postupně. Prvním krokem bylo ověření, zda vůbec bude fungovat. Z toho důvodu byla první verze poněkud jednodušší než verze konečná.

První verze (obrázek 5.19) neměla žádným způsobem ukotvený chladič k podložce, bylo tedy třeba ji opřít. Na chladiči byly volně položeny dva peltierovy články, bylo tedy nutné dát pozor, aby se nijak nepohybovaly a nesjely z chladiče, čímž by mohlo dojít až k jejich zničení přehřátím. Na článcích byla nanесena tenká vrstva teplovodivé pasty, na horním článku byla položena dóza na potraviny (víčkem dolů). Tato se ale velmi hýbala, z toho důvodu byla k chladiči přivázána dráty. Na vnitřní straně víčka dózy byl volně položen černý papír, který zajišťoval, aby byly mlha a stopy částic lépe vidět. Na horní straně dózy byla vrutem upevněna houbička na nádobí napuštěná isopropanolem. Původně měla být přilepena elektrikařskou izolační páskou, ta však po styku s isopropanolem přestala lepit. Komora neměla vlastní osvětlení, byla k ní tedy na stojánku připevněna čelovka.

Již za několik minut po zapnutí napájení byla v dolní části komory vidět mlha. Občas (průměrně jednou za asi pět minut) byla pozorována i stopa částice. Jednu takovou stopu se podařilo i zaznamenat pomocí sériového snímání fotoaparátu, viz obrázek 5.20.



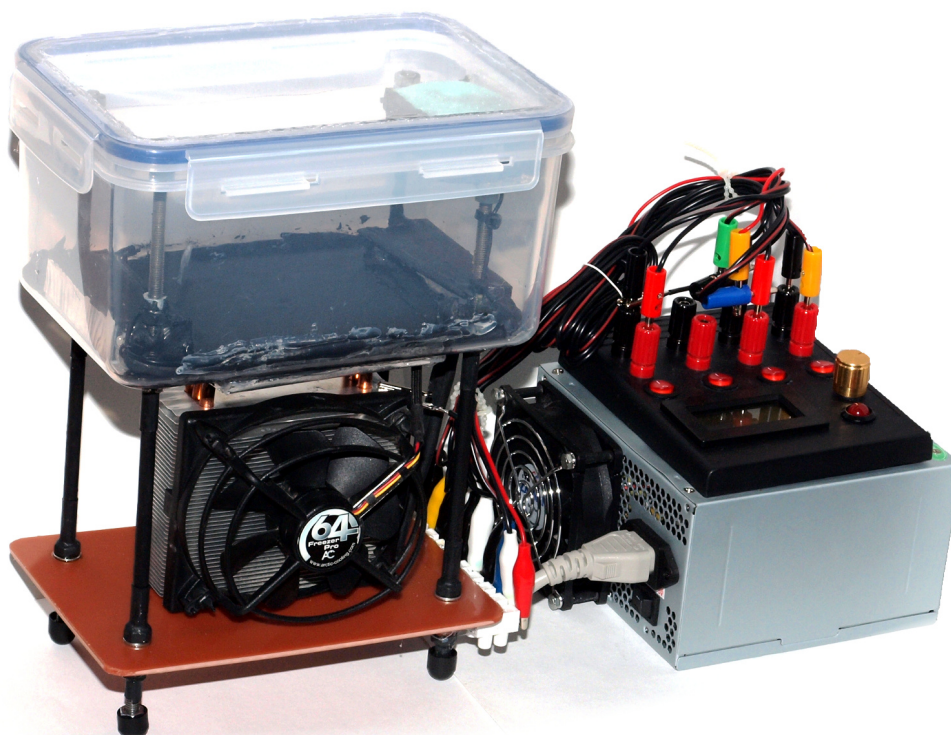
Obrázek 5.19: První funkční verze mlžné komory, po ověření funkčnosti konceptu chlazení byla rozebrána a následně byla postavena vylepšená verze.

Tímto tedy již bylo vyzkoušeno, že mlžná komora chlazená pomocí dvojice peltierových článků funguje, a mohlo se přistoupit k dalším úpravám.



Obrázek 5.20: První zaznamenaná stopa v testovací komoře, zřejmě stopa částice alfa.

5.6.2 Konečná verze



Obrázek 5.21: Konečná verze postavené mlžné komory včetně zdroje.

Druhá (konečná) verze (obrázky 5.21 a 5.22) komory byla konstrukčně mnohem složitější než verze první. Základem byla plastová deska tvaru obdélníku, do které byly vyvrtány čtyři otvory. V každém z nich byla upevněna 25 cm dlouhá závitová tyč. Tyče pokračovaly kousek pod komoru a tvořily tak nožky komory. Větší část tyčí směřovala nahoru, kde na nich byla upevněná samotná komora (tedy plastová nádoba na potraviny), do které byly též vyvrtány pro tento účel čtyři otvory. Velká část tyčí byla kryta smršťovací bužírkou.

Do plastové desky byly navíc vyvrtány otvory pro upevnění chladiče. Ten tedy již nebyl nikde volně položen, ale pevně spojen s konstrukcí. Na chladiči byly opět položeny dva peltierovy články, které byly k chladiči navíc přivázány, aby se nemohly pohybovat. Na peltierových člancích byla samozřejmě teplovodivá pasta. Od předchozí verze byl mezi horním článkem a komorou vložen 8×8 cm velký kousek silnějšího alobalu, který rozváděl teplo do okolí článků. Studené části chlazení byly od okolí izolovány kartonem a posléze alobalem, aby se zabránilo úniku tepla



Obrázek 5.22: Otevřená postavená mlžná komora – čelní pohled. Uvnitř je vidět vytápění a zásobník isopropanolu.

a také kondenzaci vodních par (obrázek 5.23). Při připevňování vlastní komory na závitové tyče bylo třeba dát pozor, aby komora byla rovnoběžně s chladičem, a tedy kontakt komory s peltierovým článkem byl rovnoměrný a dostatečný. Osvětlení již měla komora vlastní, včetně stínítek. Alkohol se neodpařoval pouze samovolně, tento děj byl podpořený topením. I teplotní gradient v komoře byl zvětšen použitím topení pomocí odporových drátů.

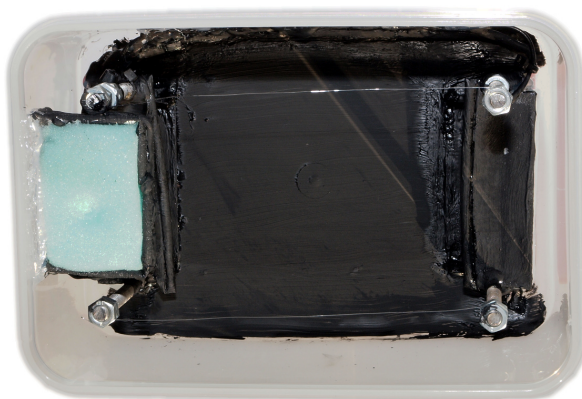


Obrázek 5.23: Kondenzující vzdušné vlhkosti na chlazení bylo třeba zabránit.

Výsledkem této konstrukce bylo oproti první verzi hlavně to, že komora byla pevná. Nešlo již o několik volně položených (či provizorně připevněných) částí, ale o jeden celek. Je tedy možné komoru bez problému přenášet, což u první verze bylo prakticky nemožné. Dále pak díky izolaci a alobalu byla dostatečně chladná větší část základny komory, díky tomu bylo možné pozorovat dráhy částic na větší ploše.

Aby byly stopy částic lépe vidět, je třeba, aby dno komory bylo černé (viz obrázek 5.24). Původně jsem toho chtěl docílit položením černého papíru. Běžně prodávaný barevný papír není

příliš černý, několikrát jsem tedy papír potiskl černou barvou v laserové tiskárně. V první verzi komory toto fungovalo v pořádku. Papír nasákl isopropanolem a tak ležel jako přilepený na dně komory a stopy částic byly dobře vidět. V druhé verzi již tomu tak bohužel nebylo. Papír také rovně ležel, žádné stopy částic se však ani po delší době neobjevily. Z toho důvodu byl odstraněn a dolní část komory (včetně všech součástí, které se jinak na fotografiích leskly) byl natřen temperou. Ta je sice rozpustná ve vodě, ale isopropanol ji nerozpustí, jelikož se jedná o nepolární rozpouštědlo. Povrch po této úpravě nebyl příliš hladký, ale to vůbec nevadilo tomu, aby byly stopy částic opět dobře vidět. Dokonce lépe než v první verzi komory (což ale může být způsobeno větší velikostí, lepším chlazením s izolací a vytápěním). Barva se ale bohužel po provozu komory zřejmě vlivem nízké teploty (kvůli teplotní roztažnosti) na několika místech mírně potrhala a také se od plastu odlupovala. Bylo tedy nutné nátěr občas obnovovat, dokud se nenajde lepší barva.



Obrázek 5.24: Otevřená postavená mlžná komora – horní pohled. Dno včetně horní části osvětlení je natřeno černou temperou, na obrázku vlevo (zelená houbička) je zásobník alkoholu. Mezi závitovými tyčemi jsou nataženy odporové dráty pro vytápění horní části komory.

Po připojení komory k napájení je ještě třeba nějakou dobu počkat, než teplota u jejího dna klesne natolik, aby došlo k vytvoření přesycené páry. Již po malé chvíli je u dna komory vidět mlha, stopy částic však ještě ne. Okamžik, od kterého lze stopy pozorovat, lze však snadno poznat. Podíváme-li se na komoru z vrchu, uvidíme na jejím dně vlnění. Jakmile je již v dolní části komory tato vlnící se pára, měly by být vidět stopy částic.

Pro lepší představu můžeme ke komoře přiložit umělý zářič. Ten se mi však žádný funkční nepodařilo sehnat. Každopádně i bez umělého zářiče můžeme pozorovat stopy částic přirozeného radioaktivního pozadí.

5.7 Pozorování a záznam stop

V postavené mlžné komoře byly pozorovány stopy částic přirozeného radioaktivního pozadí. Nejlépe byly viditelné stopy částic alfa, jelikož jsou velmi široké a výrazné.

5.7.1 Fotografování stop v komoře

Stopy byly zaznamenávány pomocí fotoaparátu Olympus E-600 s následujícími objektivy:

- Olympus ZUIKO DIGITAL 14–45 mm (ekvivalent 28–90 mm na 35 mm) F3,5–5,6, s minimální zaostřovací vzdáleností 25 cm,

- Olympus ZUIKO DIGITAL 40–150 mm (ekvivalent 80–300 mm na 35 mm) F4,0–5,6, s minimální zaostřovací vzdáleností 90 cm.

Na objektivy bylo možno umístit předsádky +1 D, +2 D, +4 D a +10 D, které velmi dobře posloužily zejména u teleobjektivu k zmenšení minimální zaostřovací vzdálenosti. Vzhledem k pochybné kvalitě předsádkových čoček mohly mít fotografie s nimi pořízené více vad než ty bez nich, zejména se jedná o vady barevné. U snímků mlžné komory toto však není vzhledem k jejich celkové kvalitě velký problém.

Pro pořizování fotografií komory, zdroje apod. byl navíc použit blesk METZ MB 36 AF-4 se směrným číslem 36 při ISO 100 a blesk Olympus FL-36R se směrným číslem 36 při ISO 100 a možností dálkového odpálení. Na focení drah částic bylo však jejich použití nevhodné. Fotky pořízené s bleskem Olympus (blesk METZ nemohl být použit vzhledem k nemožnosti dálkového odpálení) v režimu slave a manuálním nastavením výkonu mohly mít kratší expoziční dobu. Nepodařilo se však vyfotografovat žádnou dráhu částice, zřejmě byla komora nasvícena ze špatného úhlu.



Obrázek 5.25: Při pořizování fotografií stop částic v komoře byl fotoaparát umístěn nad komoru pomocí stativu.

Zvažoval jsem také možnost použití polarizačního filtru proti odleskům, jeho účinek však byl prakticky nulový, jen snižoval množství světla.

Jelikož nebylo osvětlení komory nejlepší a při dalším osvětlení (například denním světlem) již byly hůře viditelné stopy částic, bylo nutné zvýšit citlivost snímače na hodnotu ISO 800 a fotografovat s nejnižší možnou clonou. Delší expoziční čas by mohl stopy v komoře rozmazat. Z důvodu malého clonového čísla a z toho vyplývající malé hloubky ostrosti bylo také nutné fotografovat kolmo na základnu mlžné komory. Proto byl fotoaparát umístěn na stativ přímo nad komoru (obrázek 5.25).

Fotografie byly pořizovány pomocí sériového snímání, u použitého fotoaparátu to byly asi 4 snímky za sekundu. Stopy se však v komoře objevují velmi rychle a také velmi rychle zanikají. Ne vždy byla stopa zachycena korektně, bylo tedy nutné fotografie velmi tředit. Z každé série fotografií zachycující jednu stopu byl poté vytvořen jeden obrázek. Některé tyto obrázky uvádím v příloze F.

Kvalita fotografií bohužel nebyla příliš velká. Vzhledem k vyšší citlivosti snímače potřebné na zkrácení expoziční doby a nízkého osvětlení (tedy velmi malého množství světla dopadajícího na snímač) se na fotografiích objevoval šum. Použitý fotoaparát v režimu sériového snímání neumožňuje aktivaci funkce redukce šumu pomocí odečtení černého snímku. Omezit šum by bylo možné použitím fotoaparátu s větším snímačem a zejména použitím světlejšího objektivu, díky kterému by bylo možné snížit citlivost snímače. Pro vytvoření kvalitní fotografie stopy částice v amatérské mlžné komoře by bylo třeba vyfotografovat i řadu černých snímků, které by pak spolu s dalšími algoritmy na odstranění šumu pomohly tento šum na fotografiích eliminovat.

5.7.2 Videá stop v komoře

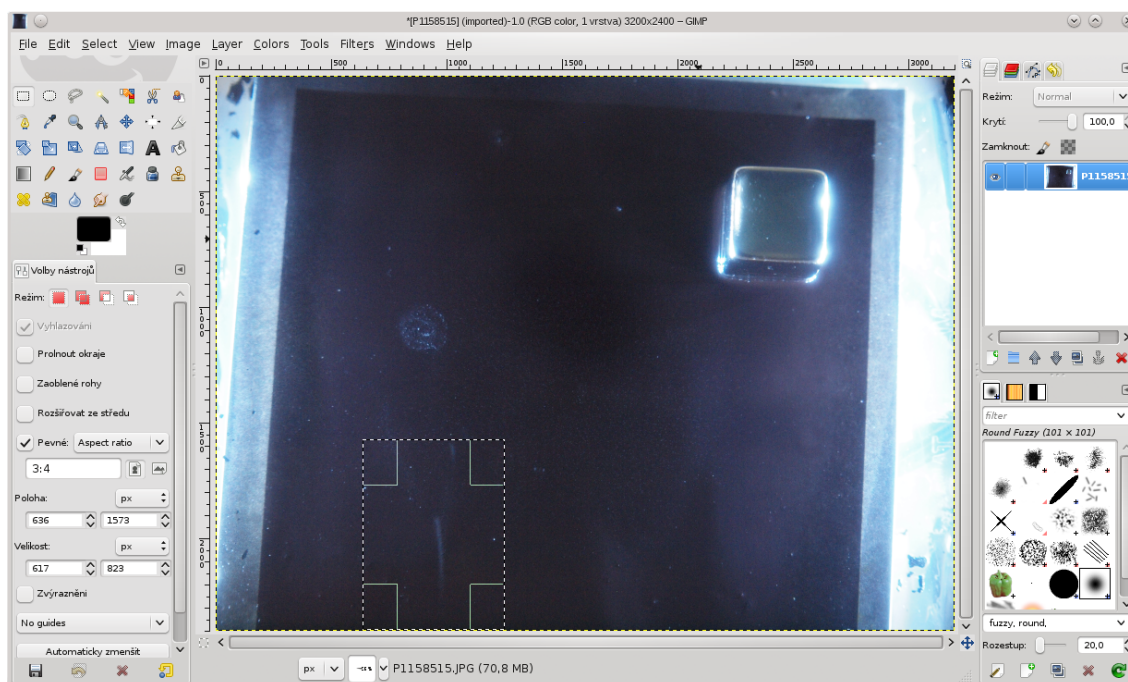
Kromě fotografií byla pořizována též videa stop částic přirozeného radioaktivního pozadí. K tomu byl použit fotoaparát Panasonic Lumix DMC-FZ28. Ten dokáže zaznamenávat video v rozlišení 1 280×720 px až 30 snímků za sekundu. Díky tomu jsou zaznamenány i ty stopy, které se v komoře objeví jen na malý okamžik.

Pořízená videa bohužel nejsou příliš kvalitní. Velký podíl na tom má zejména malé osvětlení a z toho plynoucí šum. Kvůli němu byly na pořízených videích viditelné většinou jen stopy alfa částic (viz videa na příloženém DVD). Šumu bohužel není snadné se v případě videa jednoduše zbavit. Jakýkoliv algoritmus na jeho odstranění by totiž degradoval i zbytek obrazu a rozlišení stop na videu by tak bylo ještě těžší. Bylo by třeba použít kvalitnější kameru, případně kameru pro průmyslové použití, u které by se na druhou stranu snímače dal připevnit malý peltierův článek z chladičem. Podchlazení snímače by totiž šum značně omezilo.

5.7.3 Úprava fotografií stop částic

Fotografie stop částic v komoře po pořízení musely být upraveny. Úpravy probíhaly v grafickém editoru GIMP. Popsat obecný postup při zpracování není jednoduché, každá fotografie totiž byla pořízena s jinou expozicí, osvětlením, vyvážením bílé apod., takže každá vyžadovala odlišné úpravy pro dosažení optimálního výsledku.

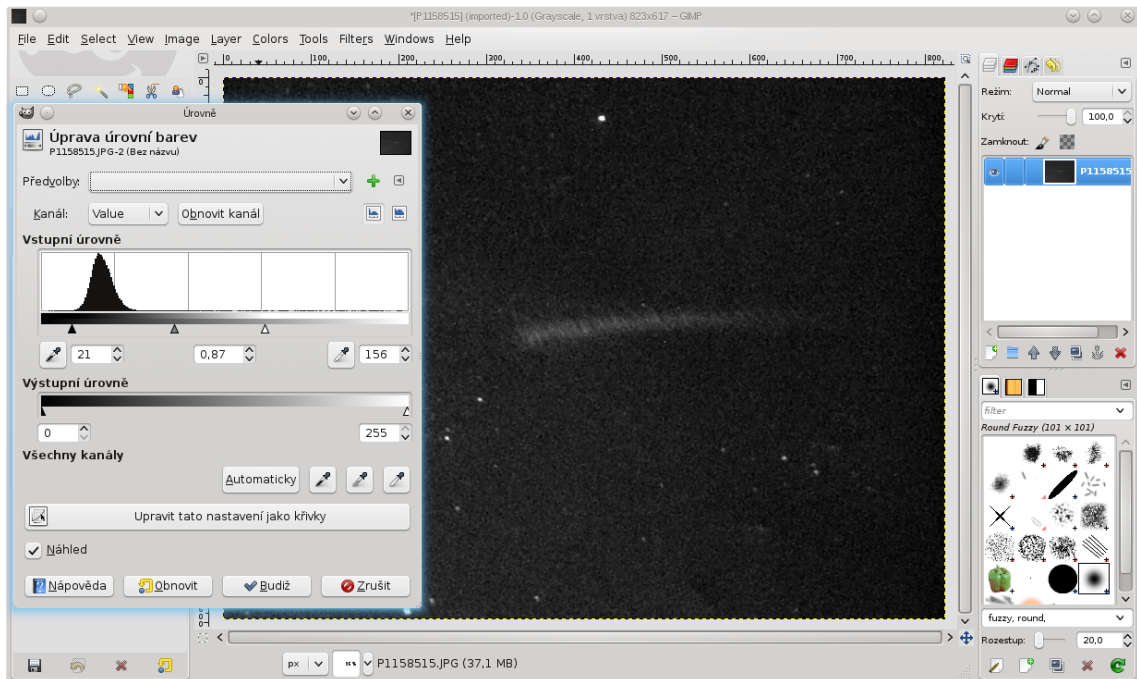
První úpravou byl ořez fotografie (obrázek 5.26), jelikož stopa zabírala většinou jen malou část celé fotografie. Dále pak převod do stupňů šedi (obrázek 5.27). Následné úpravy již byly různé pro každou fotografii. Šlo o to stopu co nejvíce zvýraznit, tedy maximalizovat kontrast mezi pozadím a stopou. To se většinou podařilo pomocí nástrojů *úrovně* (obrázek 5.28) a *křivky* (obrázek 5.29). Výsledek (obrázek 5.29) pak byl exportován do bezztrátového formátu PNG nebo ztrátového JPEG. Někdy bylo pro lepší zvýraznění stopy vhodné udělat negativ fotografie (obrázek 5.30) a poté zopakovat úpravy kontrastu.



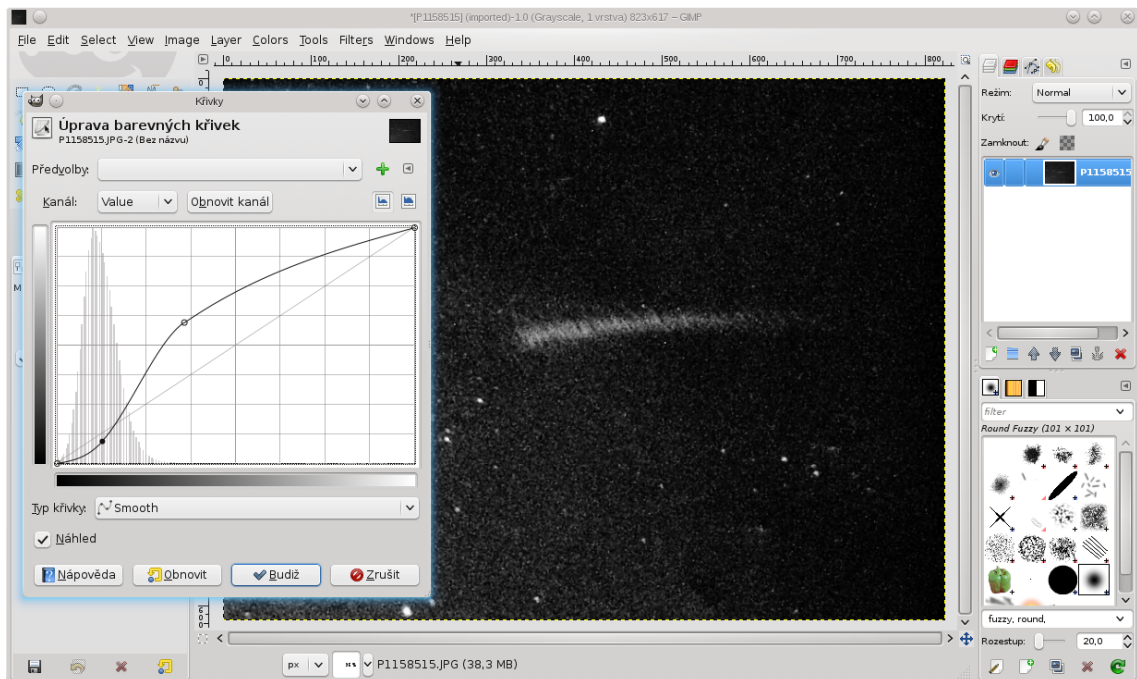
Obrázek 5.26: Nejdříve je třeba z fotografie vyříznout část obsahující stopu. Díky rozlišení fotoaparátu je možné dělat i takto malé výřezy a výsledek bude po tisku stále uspokojivý.



Obrázek 5.27: Barevná složka fotografie je pro fotografii kondenzační stopy zbytečná, obrázek tedy převedeme do stupňů šedi, čímž navíc omezíme barevný šum.



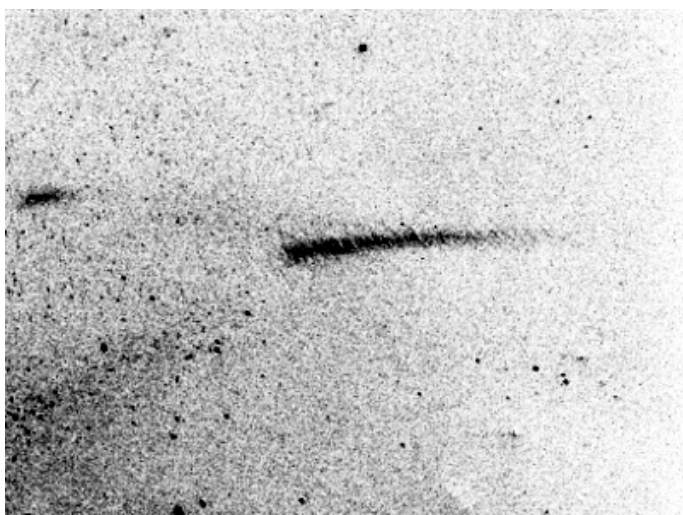
Obrázek 5.28: Fotografie z mlžné komory je po převedení do stupňů šedi opravdu spíše šedá. Pozadí však ve skutečnosti bylo černé. Z toho důvodu otevřeme nástroj *úroveň* a fotografii upravíme.



Obrázek 5.29: Pokud k dosažení tmavé barvy pozadí a dostatečného kontrastu nestačil předchozí krok, můžeme ještě provést úpravu pomocí nástroje *křivky*.



Obrázek 5.30: Výsledek úprav fotografie.



Obrázek 5.31: Někdy je též vhodné udělat negativ. Pak je však třeba zopakovat úpravu úrovní.

Kapitola 6

Průzkum

Jako součást této práce byl proveden i průzkum mezi skupinou lidí o jejich znalostech mlžné komory. Hlavním cílem bylo zjistit, zda lidé mlžnou komoru znají a pokud ano, jestli chápou jakým způsobem funguje.

6.1 Dotazník

Anonymní dotazník byl vytvořen aplikací Google Docs. Jeho celé znění přikládám v příloze G. Dotazník neměl žádné podmínkové otázky, všichni tedy měli možnost vyplnit všechny otázky (ač to často postrádalo smysl).

Dotazník bylo třeba samozřejmě nějak rozšířit, tedy umístit odkaz na něj na web s prosbou o vyplnění. Použity byly tyto weby:

- <http://www.spoluzaci.cz> – vloženo do mé třídy a na diskusi školy,
- <http://www.abclinuxu.cz> – založen příspěvek v blogu,
- <http://forum.ubuntu.cz> – vytvořeno nové téma s žádostí v obecné diskusi,
- <http://www.vysemnesmite.cz> – také vytvořeno v diskusi nové téma.

Dalším dvaceti lidem byl odkaz na dotazník poslán e-mailem.

Vyplňování bylo možné od 14. října 2010 do 29. října 2010, tedy 16 dní. Za tu dobu byl dotazník vyplněn 268 krát. Jak je vidět ve výsledcích v příloze H, nejvíce lidí vyplnilo dotazník v prvních několika dnech. Po dvou týdnech již odpovědi téměř nepřibývaly, dotazník byl tedy stažen a vyhodnocen.

6.2 Zpracování výsledků

Po uzavření vyplňování byly výsledky zpracovány a také jsem se snažil o jejich interpretaci.

Některé otázky byly ponechány beze změny. Šlo zejména o stranu ohledně osobních údajů, tedy pohlaví, věku a vzdělání. Dále také otázky zjišťovací, tedy ty, na které lze odpovědět ano, nebo ne.

Jiné otázky byly dále zpracovávány. Testová část, tedy otázky zjišťující znalost funkce mlžné komory, byla vyhodnocena následovně:

- U respondentů, kteří vyplnili, že o mlžné komoře neslyšeli, bylo automaticky přidáno, že neví, jak mlžná komora pracuje.
- Odpověděl-li někdo na některou z otázek špatně, bylo také zaznamenáno, že neví, jak mlžná komora pracuje.
- Pokud nebyla otázka zodpovězena kompletně, ale dostatečně (například nebyly vybrány všechny pozorovatelné částice, ale bylo vyplněno, že je možné pozorovat nabitě částice), odpověď byla považována za správnou.

V případě otázky na přirozené radioaktivní pozadí bylo pro správnou odpověď třeba i napsat, odkud stopy v komoře pochází, odstraníme-li z jejího okolí umělý zářič. Stačilo ovšem napsat, že se jedná o přirozené radioaktivní pozadí, nebylo třeba psát, že pochází z vesmíru, půdy apod.

Po zpracování těchto otázek bylo vytvořeno 16 otázek typu ano/ne (viz tabulka v příloze H), které vycházely z dotazníku. K těmto otázkám pak byla vytvořena tabulka rozdělení. Tato ke každé otázce uvádí, kolik procent lidí, kteří na tuto otázku odpověděli *ano*, odpověděli *ano* i na jiné otázky. Toto umožňuje zkoumat vztahy mezi jednotlivými otázkami a také díky této tabulce získáme mnohem více informací než z pouhého součtu odpovědí na jednotlivé otázky. Lze z ní totiž vyvodit závěry, které mají mnohem více vypovídající význam (například chceme-li vědět, jestli podle lidí má mlžná komora stále ještě význam, musíme brát v úvahu jen výsledky těch lidí, kteří o mlžné komoře něco vědí).

6.3 Výsledky

Kompletní výsledky přikládám v příloze H.

6.4 Interpretace výsledků

Jak vidíme, více než polovina tázaných lidí již někdy o mlžné komoře slyšela. Zhruba polovina z těchto lidí navíc alespoň přibližně ví, jak mlžná komoře funguje a co je možné na ní pozorovat. Procento lidí, kteří znají mlžnou komoru, je podstatně vyšší u vysokoškoláků, zejména těch, kteří studovali fyziku či techniku.

Nejvíce lidí slyšelo o mlžné komoře v informačním centru elektrárny. Je tedy vidět, že tato informační centra plní svůj účel a informují lidi nejen přímo o elektrárnách, ale i věcech s elektrárnami nepřímými. Mnoho lidí se také o mlžné komoře dozvědělo ve škole, což je též pozitivní. Objevila se tu i informace o vzdělávací akci pro studenty středních škol Týden vědy (dříve Fyzikální týden). Lidé, kteří navštívili informační centrum elektrárny či se o mlžné komoře dozvěděli ve škole, navíc více znali přirozené radioaktivní pozadí a věděli toho více o principu funkce mlžné komory.

Při pohledu na výsledky je vidět, že asi polovina lidí si myslí, že mlžná komora má stále význam. Podíváme-li se ale podrobněji, zjistíme, že někteří z nich o ní nikdy neslyšeli, natož aby ji viděli nebo chápali její princip. Je tedy třeba se podívat pouze na ty, kteří o ní něco vědí. U takových skupin lidí si myslí, že má stále význam asi 80–90% lidí, což je opravdu hodně. Asi polovina z nich navíc říká, že její význam je v současnosti i pro vědu. Ostatní její význam přisuzují spíše demonstrativnímu významu, tedy pro použití ve školství, v muzeích, informačních centrech apod.

Nakonec je třeba říct, že získané výsledky silně závisí na tom, jaký vzorek lidí byl vybrán. Vzhledem ke způsobu, jakým byl šířen, je to zřejmé. Navíc dotazník vyplnilo příliš málo lidí na to, aby se z jeho výsledků mohly vyvozovat nějaké objektivní závěry.

Část III

Závěrečná část

Kapitola 7

Výsledky a diskuse

7.1 Výsledky

7.1.1 Stavba komory

Hlavním výsledkem této práce je plně funkční difúzní mlžná komora chlazená dvojicí peltierových článků.

Byly postaveny celkem dvě funkční mlžné komory. První, testovací, byla určena pouze pro zjištění, zda je možné mlžnou komoru chladit peltierovými články a jak je vhodné je uspořádat. Jednalo se tedy o minimalistickou verzi, která tuto možnost chlazení potvrdila. Druhá verze již měla pevnou konstrukci, vlastní osvětlení a vytápění. Tato komora pak byla upravována tak, aby byly pozorované stopy částic co nejlépe viditelné. Obě verze byly napájeny upraveným počítačovým zdrojem.

Kompletní komora včetně chlazení, osvětlení, vytápění a zdroje přišla na 3 177 Kč. Za tuto částku byla postavena plně funkční mlžná komora schopná pozorování drah nabitých částic, která si vystačila pouze s napájením elektrickou energií a postupným doplňováním isopropanolu, nic více ke své plné funkčnosti nepotřebovala. Cena oproti profesionálním mlžným komorám, které přijdou nejméně na 750 000 Kč bez DPH, je opravdu velmi nízká, a pro demonstraci je postavená komora dostačující. Stavba mlžné komory včetně úpravy počítačového zdroje trvala přibližně dva dny. Oproti komorám profesionálním je však velmi malá, neobsahuje zdroj vysokého napětí pro čištění od iontů a také je třeba pro dlouhodobé používání pravidelně doplňovat do zásobníku isopropanol a naopak ze dna komory jej odebírat.

7.1.2 Měření

Během stavby mlžné komory bylo provedeno několik měření pro optimalizaci chlazení nastavením vhodných chladicích výkonů peltierových článků. Každý z obou článků bylo možné připojit na napětí 3,3 V, 5 V nebo 12 V. Několik měření potvrdilo, že nejnižší teploty lze dosáhnout v případě připojení prvního článku na napětí 3,3 V a druhého (výkonnějšího) článku na napětí 12 V.

Provedená numerická počítačová simulace vedení tepla v mlžné komoře ukazovala, že je možné zvětšit chlazenou plochu základny přidáním hliníkové fólie větší než peltierův článek mezi článek a dno komory. Experiment, během něhož byla měřena teplota na 121 bodech dna postavené mlžné komory, tuto simulaci potvrdil. Stejně tak infračervené snímky komory, díky kterým navíc byla přesněji změřena teplota dna komory asi -25°C .

7.1.3 Pozorování

V postavené mlžné komoře byly pozorovány stopy částic přirozeného radioaktivního pozadí, zřejmě částice alfa a beta. Některé stopy byly zaznamenány digitálním fotoaparátem a fotografie následně upraveny pomocí počítače. Stopy se též podařilo zaznamenat na video.

7.1.4 Průzkum

Byl proveden průzkum znalostí mlžné komory a její funkce pomocí dotazníku. Průzkumu se zúčastnilo celkem 268 lidí.

I přes poměrně úzký vzorek lidí, kteří dotazník vyplňovali, a jejich malý počet, bylo zjištěno, že informační centra elektráren plní velmi dobře svou funkci. Lidé, kteří mlžnou komoru viděli právě v takovém informačním centru, měli o mlžné komoře lepší znalosti než ostatní a znali i význam přirozeného pozadí. Nesmím zapomenout ani na školy, zejména ty vysoké fyzikální nebo technicky zaměřené, které o komoře studentům také podaly dobré informace.

Další zjištění z výsledků dotazníku je, že drtivá většina lidí, kteří mlžnou komoru znají, viděli ji a ví, jak funguje, si myslí, že má v současné době stále význam. Přibližně polovina z nich si myslí, že její význam je i pro vědu, zbytek, že je pouze demonstrativní.

Většina ostatních výsledků bohužel není příliš průkazných, bylo by třeba mnohem větší účasti na vyplňování formuláře a zejména jeho širší rozšíření mezi různé skupiny lidí.

7.2 Diskuse

Porovná-li mnou postavenou komoru s mlžnou komorou postavenou V. Löffelmannem (obrázek 4.2), je zde několik rozdílů. Komora chlazená pomocí peltierova článku nepotřebuje na rozdíl od chlazené suchým ledem chlazení nijak obnovovat (tedy v tomto případě kupovat suchý led pro každé pozorování). Na druhou stranu suchým ledem je možné podchládit mnohem větší komoru a taková komora pak může těžit z větší plochy použitelné pro pozorování stop částic. Také je možné do suchého ledu vložit magnet pro vytvoření homogenního magnetického pole u základny komory kvůli měření energie částic, což je u malé komory chlazené peltierovými články prakticky nemožné, a je tak pro vytvoření homogenního magnetického pole třeba použít Helmholtzovu cívku. Mnou postavená komora obsahuje vlastní osvětlení, není tedy třeba se o tuto oblast při pozorování dále starat. Náklady na stavbu jsou podobné, náklady na provozování jsou u mnou postavené komory menší.

Rozdílů oproti komoře profesionální (např. komorami vyráběnými firmou PHYWE) je již mnohem více. Předně, tyto komory jsou určeny pro dlouhodobé použití pro demonstraci, jsou tedy vyrobené tak, aby nebylo po dlouhou dobu třeba do komory nic doplňovat ani ji nijak obsluhovat. Toho se v domácích podmínkách dosahuje velmi těžko, jelikož je třeba zajistit čerpání přebytečného alkoholu zpět do zásobníku. Také je třeba vyřešit napájení elektrod pro odvod iontů vysokým napětím. Profesionální komory bývají velké, plocha pro pozorování je tedy více než dostatečná. Proti takovým komorám však mluví jejich cena, která brání jejich většímu rozšíření.

Můj koncept mlžné komory je tedy vhodný spíše pro krátkodobá pozorování s minimálními náklady, například jako učební pomůcka na školách.

Kapitola 8

Další možnosti řešení

Navázat na tuto práci by se dalo zdokonalením modelu mlžné komory chlazené peltierovými články. Použitím větších a výkonnějších článků by bylo možné dosáhnout chlazení ještě větší plochy, a tak postavit komoru větší. Bylo by též možné prozkoumat možnosti čerpání zkondenzovaného alkoholu ze dna mlžné komory zpět do zásobníku pomocí čerpadla. Pak by bylo možné komoru provozovat dlouhodobě. Další vylepšení by mohlo spočívat v zkonstruování a připojení zdroje vysokého napětí pro čištění od iontů nebo v připojení Helmholtzovy cívky pro vytvoření homogenního magnetického pole u dna komory. Díky tomu by bylo možné na postavené komoře měřit energii částic, jejichž stopy pozorujeme.

Po vyladění by bylo vhodné zjistit, zda by byl například mezi středními školami zájem o zakoupení mlžné komory jako učební pomůcky. Podle toho pak podat návrh společností vyrábějícím učební pomůcky na stavbu mlžných komor právě k tomuto účelu.

Kapitola 9

Závěr

Hlavními cíli této práce bylo zjištění možností stavby mlžné komory a poté vlastní stavba mlžné komory chlazené pomocí dvojice peltierových článků. Tyto cíle se podařilo splnit, včetně pozorování stop částic na postavené mlžné komoře.

Sestrojil jsem plně funkční difúzní mlžnou komoru podle vlastního návrhu používajícího koncept chlazení, které využívá Peltierova jevu a je napájené mnou upraveným počítačovým zdrojem. Zjistil jsem, že takový koncept mlžné komory je funkční a postavená mlžná komora je schopna demonstrace ionizujícího záření, např. přirozeného radioaktivního pozadí. Chlazení bylo též optimalizováno pomocí numerické počítačové simulace a několika měření. Oproti profesionálním mlžným komorám vyniká mnou postavená zejména svojí cenou a jednoduchostí stavby.

Kapitola 10

Význam a přínos práce

Práce má význam především demonstrativní. Ukazuje, že plně funkční mlžnou komoru je možné sestavit doma pomocí běžně dostupných součástek a nástrojů, je možné na ní pozorovat stopy nabitých částic a dokonce změřit jejich energii (víme-li, o jakou částici se jedná).

Srovnání různých způsobů stavby, chlazení, osvětlení, vytápění a napájení amatérské difúzní mlžné komory může pomoci u rozhodování při její stavbě, případně autorům otevřít nové možnosti.

Podrobný popis stavby difúzní mlžné komory pak může být inspirací při stavbě dalších mlžných komor pro amatérské pozorování nebo demonstraci přirozeného radioaktivního pozadí či záření nejrůznějších materiálů. Popisovaná mlžná komora využívá chlazení pomocí dvojice peltierových článků, které jsou napájeny upraveným počítačovým zdrojem. Celý postup je odzkoušen a podložen numerickou počítačovou simulací vedení tepla a výsledky několika měření. Mezi hlavní výhody takovéto podomácku postavené mlžné komory patří cena. Náklady na stavbu se pohybují kolem 3 000 Kč včetně zdroje, lze ji tedy využít k demonstraci i tam, kde jsou náklady na pořízení profesionální mlžné komory (asi 750 000 Kč bez DPH za menší typ PHYWE PJ 45 nebo 2 500 000 Kč bez DPH za větší PHYWE PJ 80, viz příloha C) příliš vysoké. Další výhodou je pak jednoduchost stavby. Použité součástky je možné běžně zakoupit a není třeba žádné speciální nářadí, postavit si ji tedy může každý.

Měření minimální dosažitelné teploty pomocí série dvou peltierových článků připojených na různá napětí je užitečné při dosahování nízkých teplot. Datasheety k použitým článkům jsou značně neúplné a pro jednoduchý výpočet ideálního napětí pro sérii článků nepoužitelné.

Popis úpravy počítačového zdroje může být užitečný i mimo stavbu mlžných komor, jelikož touto úpravou lze získat výkonný zdroj s jedním nebo i více regulovatelnými výstupy včetně měření napětí na nich. Ten tak může v domácích podmínkách nahradit několikanásobně dražší laboratorní zdroj.

Literatura

- Arctic Cooling Freezer 64 Pro* [online]. [cit. 17.10.2010]. Dostupné z: <http://www.arctic-cooling.com/catalog/product_info.php?cPath=1_43&mID=301&page=spec>.
- Datasheet: LM350T* [online]. [cit. 17.10.2010]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/331/331-007/dsh.331-007.1.pdf>.
- BARTSCH, H.-J. *Matematické vzorce*. Vyd. 4. Praha : ACADEMIA, 2006. ISBN 80-200-1448-9.
- EINSTEIN, A. *Teorie relativity*. Vyd. 1. Brno : Vutium, 2005. ISBN 978-80-214-3418-9.
- GRIFFITHS, D. *Introduction to elementary particles*. Vyd. 1. Canada : John Wiley & Sons, Inc., 1987. ISBN 0-471-60386-4.
- HALLIDAY, D. – RESNICK, R. – WALKER, J. *Vysokošolská učebnice obecné fyziky*. Vyd. 1. Brno : Vutium, 2000. ISBN 80-214-1869-9.
- KOTLÍK, V. *Heat Pipe: princip a konstrukce* [online]. 2007. [cit. 17.10.2010]. Dostupné z: <http://www.svethardware.cz/art_doc-65D63DE45D7F238AC125726C0070D361.html>.
- MENOCAL, S. *Isothermally heatsunk diffusion cloud chamber refrigerator*. Deviser: MENOCAL, S. Int. F25B 21/02. *US Patent*, 4 662 180, 5-5-1987.
- MOTAL, P. – VESELÝ, M. Mlžná komora. *Rozhledy matematicko-fyzikální*. 2008.
- PIKÁLEK, T. – NEŠPOROVÁ, K. – VALKO, M. Mlžná komora. *Týden vědy na Jaderce – sborník*. 2010.
- ŠTOLL, I. *Dějiny Fyziky*. Vyd. 1. Praha : Prometheus, 2010. ISBN 978-80-7196-375-2.

Část IV

Přílohy

Příloha A

Seznam použitých součástek

Zde sepsaný seznam součástek je pouze orientační pro stavbu nové mlžné komory shodné s mnou postavenou. Na tu byly použity položky z tohoto seznamu. Ne všechny ale byly nově zakoupené, například zdroj, chladič a mnohé jiné pocházely ze starších počítačů, z mých předchozích experimentů apod. Celkové náklady na stavbu mlžné komory tedy byly mnohem menší. Uvedené ceny jsou při zakoupení nových dílů zjištěné k 2. říjnu 2010.

Tabulka A.1: Seznam součástek použitých při stavbě mlžné komory.

1 l	isopropanol	IZOPROP 1L	GES Electronics	189 Kč
1 ks	chladič	ARCTIC Freezer 64 PRO	alza.cz	443 Kč
1 ks	peltierův článek 51 W	M-TEC1-12706	GM Electronic	155 Kč
1 ks	peltierův článek 89 W	M-TEC1-12710	GM Electronic	177 Kč
25 g	teplovodivá pasta	DC SE4490 CV	GM Electronic	230 Kč
2 ks	LED modul	LED modul vodotěsný 5x autoled, bílá, 78x18 mm	GM Electronic	24 Kč
1 m	odporový drát	RG-ODP-KAN01	GM Electronic	22 Kč
1 m	rezistor 3,3 Ω	RR W10-3.3R	GM Electronic	10 Kč
1 m	smršťovací bužírka	F0920HS-15 BK	GM Electronic	6 Kč
1 m	smršťovací bužírka	F0920HS-20	GM Electronic	3 Kč
1 ks	box 1,1l	TS VZDUCH. DOZA 1.1l	Tesco	60 Kč
1 ks	box 2,4l	TS VZDUCH. DOZA 2.4l	Tesco	110 Kč
1 ks	hliníkový tácek	AL. TACEK 43×28cm 1ks	Tesco	30 Kč
1 ks	houbička	houbička na nádobí	Tesco	5 Kč
1 ks	fólie	fólie A4	Tesco	2 Kč
1 ks	závitová tyč	závitová tyč 6 mm	Železářství Lamex	6 Kč
	šroubky, podložky, matky		Železářství Lamex	40 Kč
Celkem				1 533 Kč

Tabulka A.2: Seznam součástek použitých pro stavbu zdroje.

1 ks	zdroj	EUROCASE 350W PFC	alza.cz	467 Kč
1 ks	ventilátor	PrimeCooler 8025L12C	alza.cz	95 Kč
1 ks	přístrojová krabička	KP 17	GES Electronics	52 Kč
1 m	smršťovací bužírka	RC 1.6/0	GES Electronics	7 Kč
1 m	smršťovací bužírka	RC 2.4/2	GES Electronics	8 Kč
1 ks	regulátor napětí	LM350T	GM Electronic	38 Kč
1 ks	chladič regulátoru	V4330K	GM Electronic	48 Kč
1 ks	regulátor napětí	78L09	GM Electronic	6 Kč
4 ks	přístrojová svorka červená	K201R	GM Electronic	16 Kč
4 ks	přístrojová svorka černá	K201	GM Electronic	16 Kč
4 ks	spínač	P-SM101-2R3	GM Electronic	9 Kč
1 ks	spínač	P-R13112B AH	GM Electronic	16 Kč
1 ks	potenciometr 1 k Ω	PC1221NK001	GM Electronic	12 Kč
1 ks	knoflík	P-S1717GF	GM Electronic	7 Kč
1 ks	rezistor 120 Ω	RR 120R	GM Electronic	1 Kč
1 ks	panelový LCD voltmetr	HD-3438	GM Electronic	102 Kč
2 ks	mřížka pro ventilátor	FG-08	GM Electronic	15 Kč
1 ks	LED 10 mm červená	L-813SRD-C	GM Electronic	2 Kč
1 ks	průchodka pro LED 10 mm	LDC1000	GM Electronic	4 Kč
4 ks	přístrojová nožička	GF2	GM Electronic	4 Kč
1 ks	svorkovnice	ARK1800/10	GM Electronic	17 Kč
	šroubky, vruty, matky		Železářství Lamex	30 Kč
Celkem				1 122 Kč

Tabulka A.3: Seznam ostatních součástek použitých při stavbě komory.

6 m	kabel dvojlinka	CYH 2x0,75mm ² /2-0	GES Electronics	10 Kč
8 ks	krokosvorka černá	KROKOSVORKA 35 CERNA	GM Electronic	3 Kč
8 ks	krokosvorka bílá	KROKOSVORKA 35 BILA	GM Electronic	4 Kč
8 ks	banánek černý	BANANA BLACK	GM Electronic	13 Kč
8 ks	banánek červený	BANANA RED	GM Electronic	13 Kč
2 ks	svorkovnice	SVORKOVNICE 2.5- 6mm ² 12xRM8	GM Electronic	17 Kč
2 ks	svorkovnice	SVORKOVNICE 1- 2.5mm ² 12xRM5.5	GM Electronic	10 Kč
2 ks	sekundové lepidlo	Loctite SuperBond	Železářství Lamex	36 Kč
20 ks	lepící tyčinka	F-SN7379B	GM Electronic	2 Kč
Celkem				490 Kč

Příloha B

Datasheet k TEC1-12706

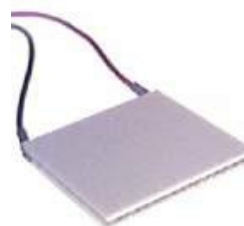


**Thermoelectric
Cooler**

TEC1-12706

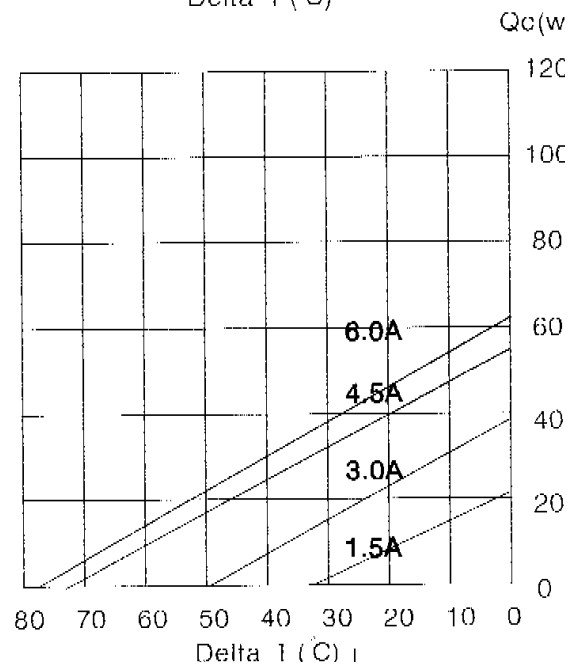
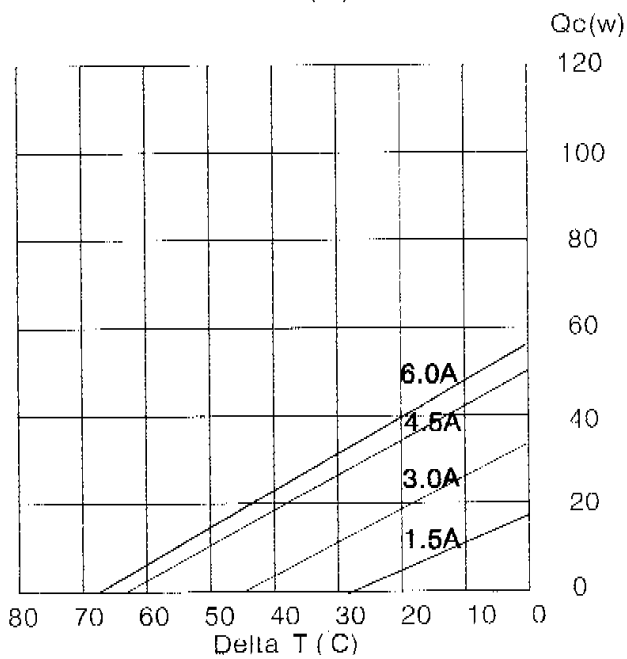
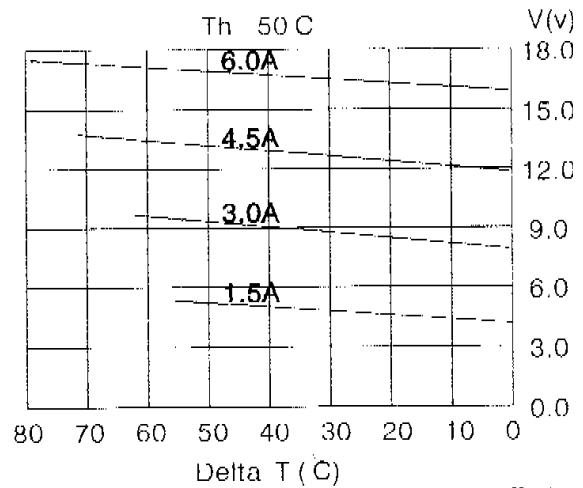
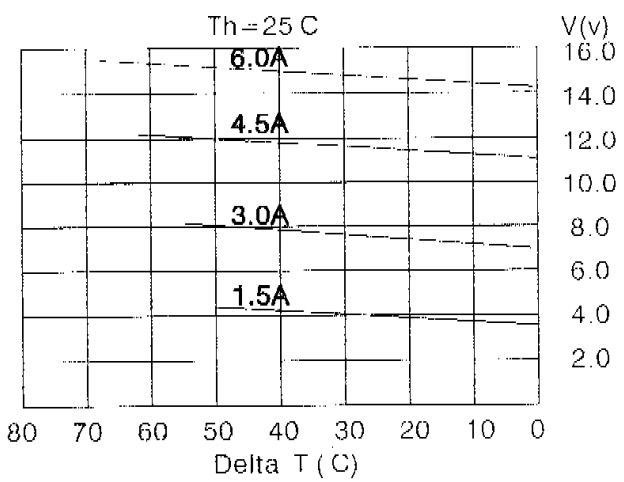
Performance Specifications

Hot Side Temperature (°C)	25°C	50°C
Qmax (Watts)	50	57
Delta Tmax (°C)	66	75
I _{max} (Amps)	6.4	6.4
V _{max} (Volts)	14.4	16.4
Module Resistance (Ohms)	1.98	2.30





TEC1-12706



Příloha C

Dotaz na cenu mlžné komory



Tomáš Pikálek <tpikalek@gmail.com>

Mlžná komora

Počet zpráv: 2

Tomáš Pikálek <tpikalek@gmail.com>

5. prosince 2010 17:58

Komu: Tomáš Lešner <info@phywe.cz>

Dobrý den.

Jsem studentem 4. ročníku Gymnázia Boskovice a v rámci Středoškolské odborné činnosti (<http://www.soc.cz>) se zabývám mlžnou komorou, zejména stavbou difúzní mlžné komory chlazené peltierovými články v domácích podmínkách.

Viděl jsem již několik difúzních mlžných komor vyrobených firmou PHYWE, např. na FJFI ČVUT (typ PJ 45) nebo v technickém muzeu ve Vídni (PJ 80). Ve své práci se zmiňuji i o těchto mlžných komorách a z toho důvodu se obracím na Vás.

Rád bych se zeptal, zda byste mi o komorách prodávaných firmou PHYWE nemohli poskytnout nějaké informace. Zejména by mě zajímala její cena. Jakékoliv jiné informace, které byste mi ohledně Vámi prodávaných komor mohli poskytnout, by mně jistě také velmi při psaní práce pomohly.

Děkuji.

S pozdravem

Tomáš Pikálek

| E-mail: tpikalek@gmail.com

| Web: <http://tpikalek.netuje.cz>

| Mobil: +420728008905

Tomáš Lešner <info@phywe.cz>
Komu: Tomáš Pikálek <tpikalek@gmail.com>

6. prosince 2010 13:35

Vážený pane Pikálku,

děkuji za dopis a uvádím objednáací čísla a ceny bez DPH:

09043-01 (Peltier) 76 440,-Kč

09043-93 (PJ80) 2 535 000,-Kč

09046-93 (PJ45) 741 000,-Kč

Podrobnější informace najdete na webu www.phywe.com po zadání objednáacího čísla do pole „Product search“.

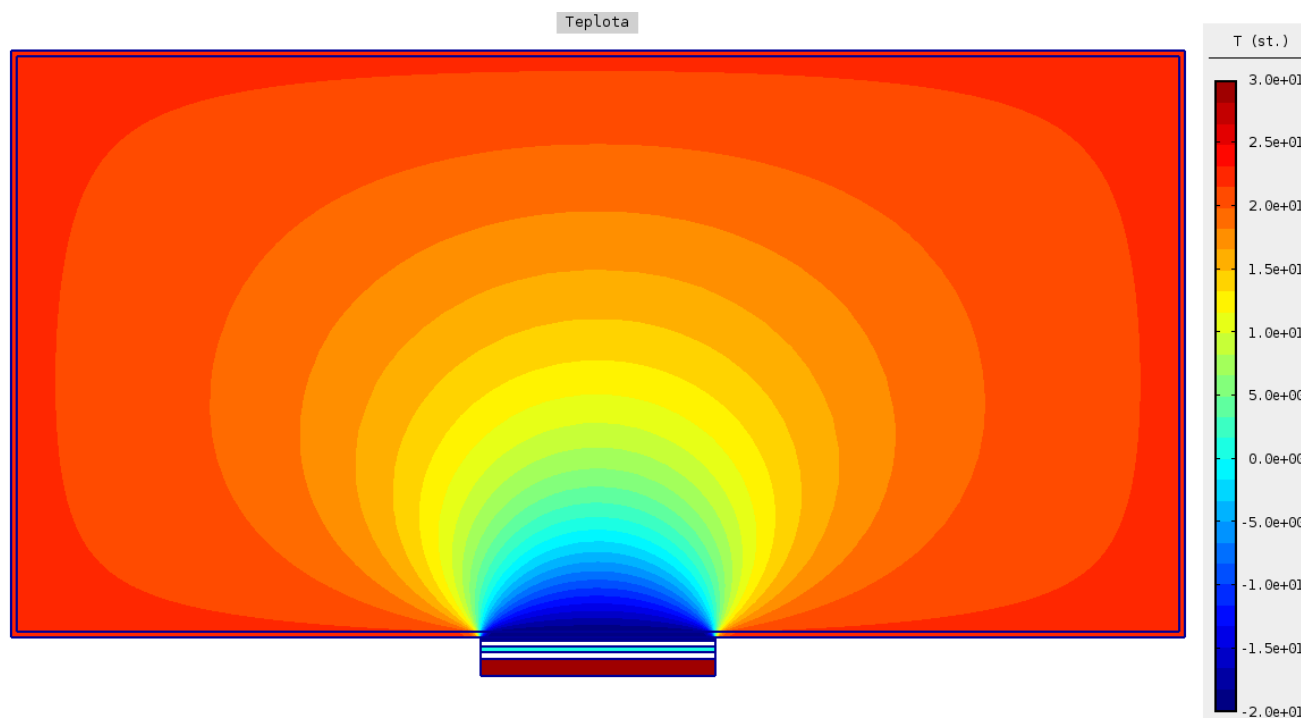
S přátelským pozdravem

RNDr. Tomáš Lešner
Opletalova 55
110 00 Praha 1
tel.: (+420) 224 213 908
mobil: (+420) 602 459 209
e-mail: lesner@phywe.cz
web: www.phywe.cz

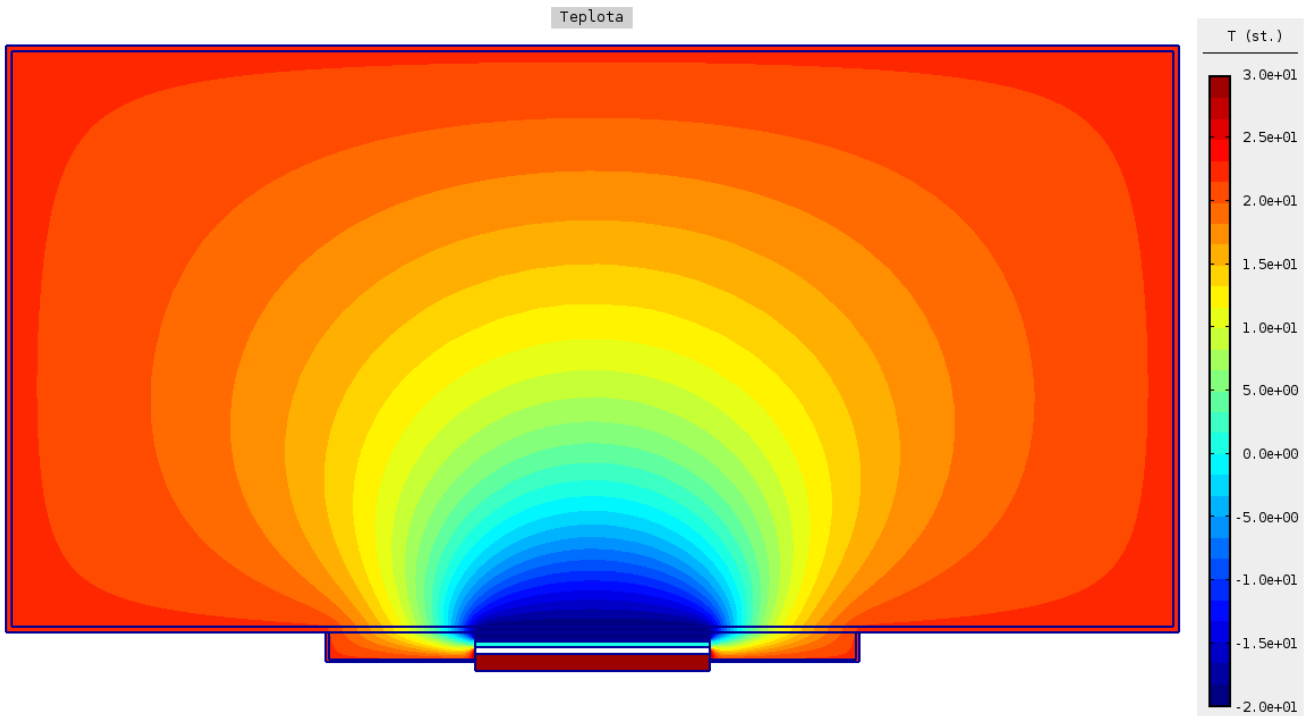
Příloha D

Výsledky simulací vedení tepla

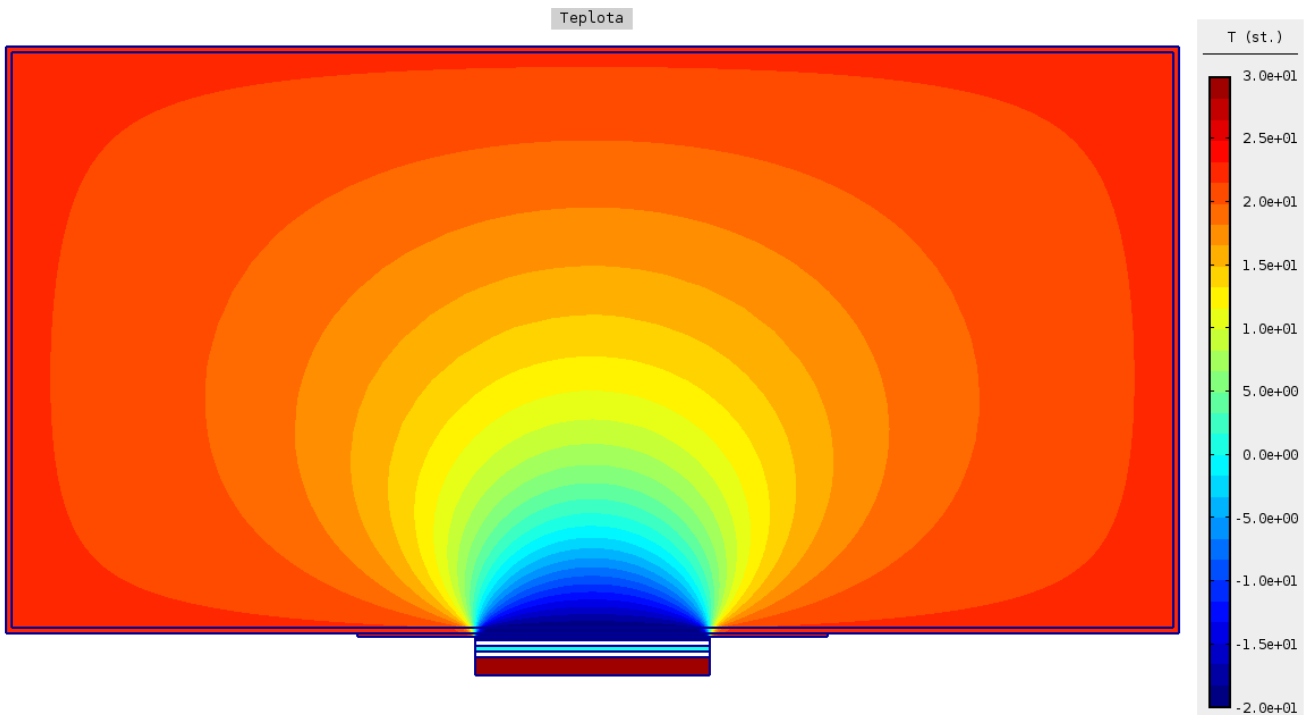
Zde uvádím výsledky simulací vedení tepla v mlžné komoře pro několik možných případů zajištění chlazení její základny. Simulace byly vytvořeny pomocí dvourozměrného modelu komory v programu Agros2D. Jako okrajové podmínky byly zadány teploty chladné části peltierova článku -20°C a teplota vnějších hran komory (tedy pokojová teplota) 20°C . Simulace probíhala do rovnovážného stavu. Podrobněji je toto rozebráno v části 5.2.2. Pro stavbu mlžné komory byla na základě této simulace vybrána možnost použití hliníkové fólie a izolace. Její výhodnost byla také podložena měřením teploty dna komory.



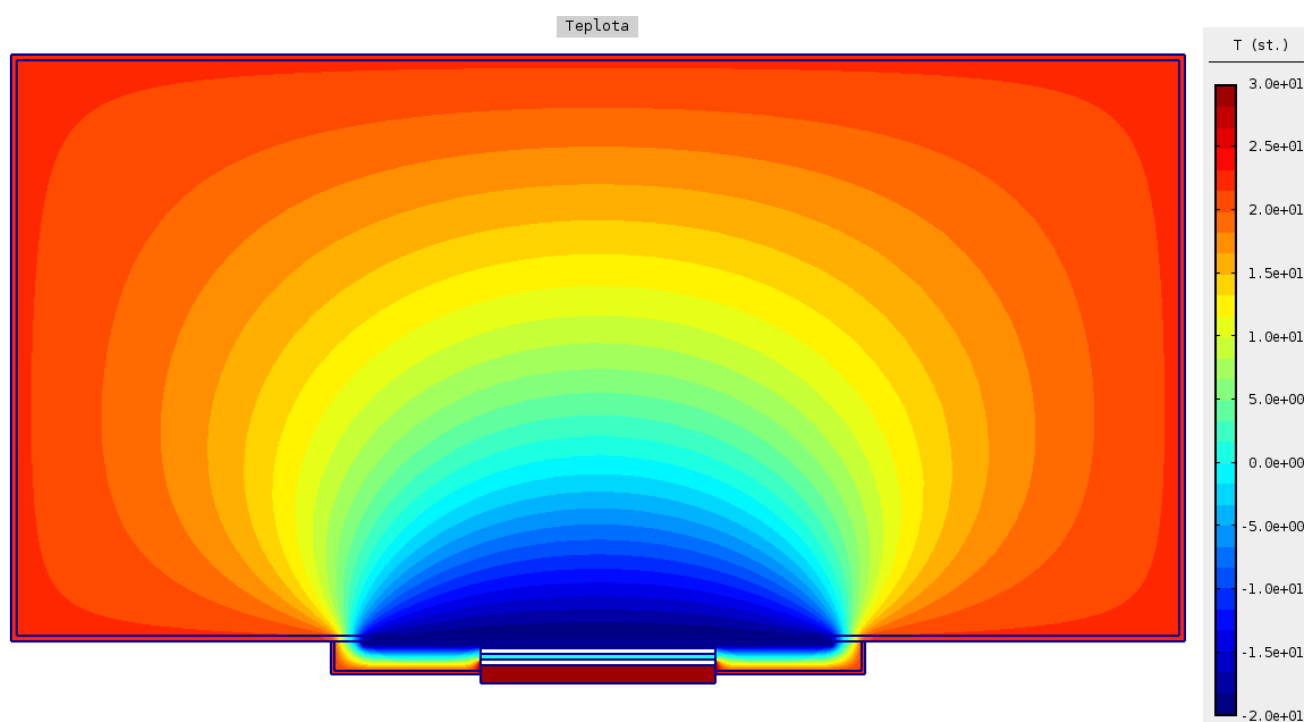
Obrázek D.1: Simulace vedení tepla v postavené komoře: bez použití fólie pro rozvod tepla a izolace.



Obrázek D.2: Simulace vedení tepla v postavené komoře: použita izolace.



Obrázek D.3: Simulace vedení tepla v postavené komoře: použita hliníková fólie pro rozvod tepla.

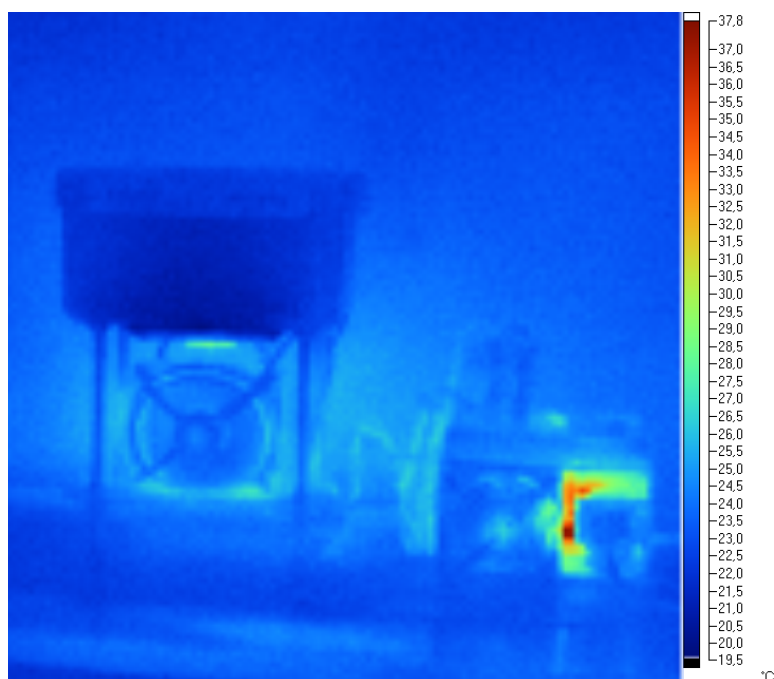


Obrázek D.4: Simulace vedení tepla v postavené komoře: použita hliníková fólie pro rozvod tepla a izolace.

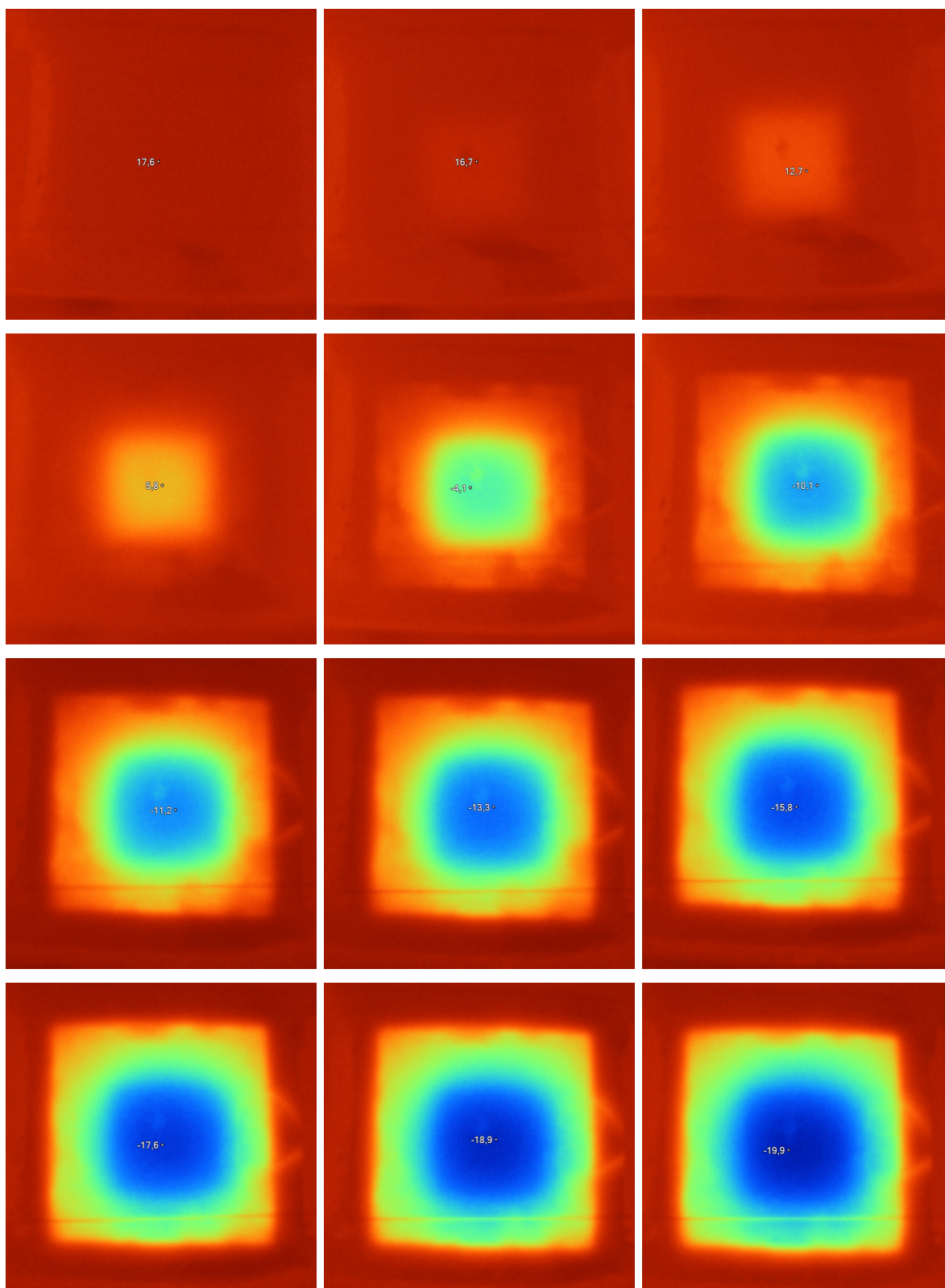
Příloha E

Termogramy postavené možné komory

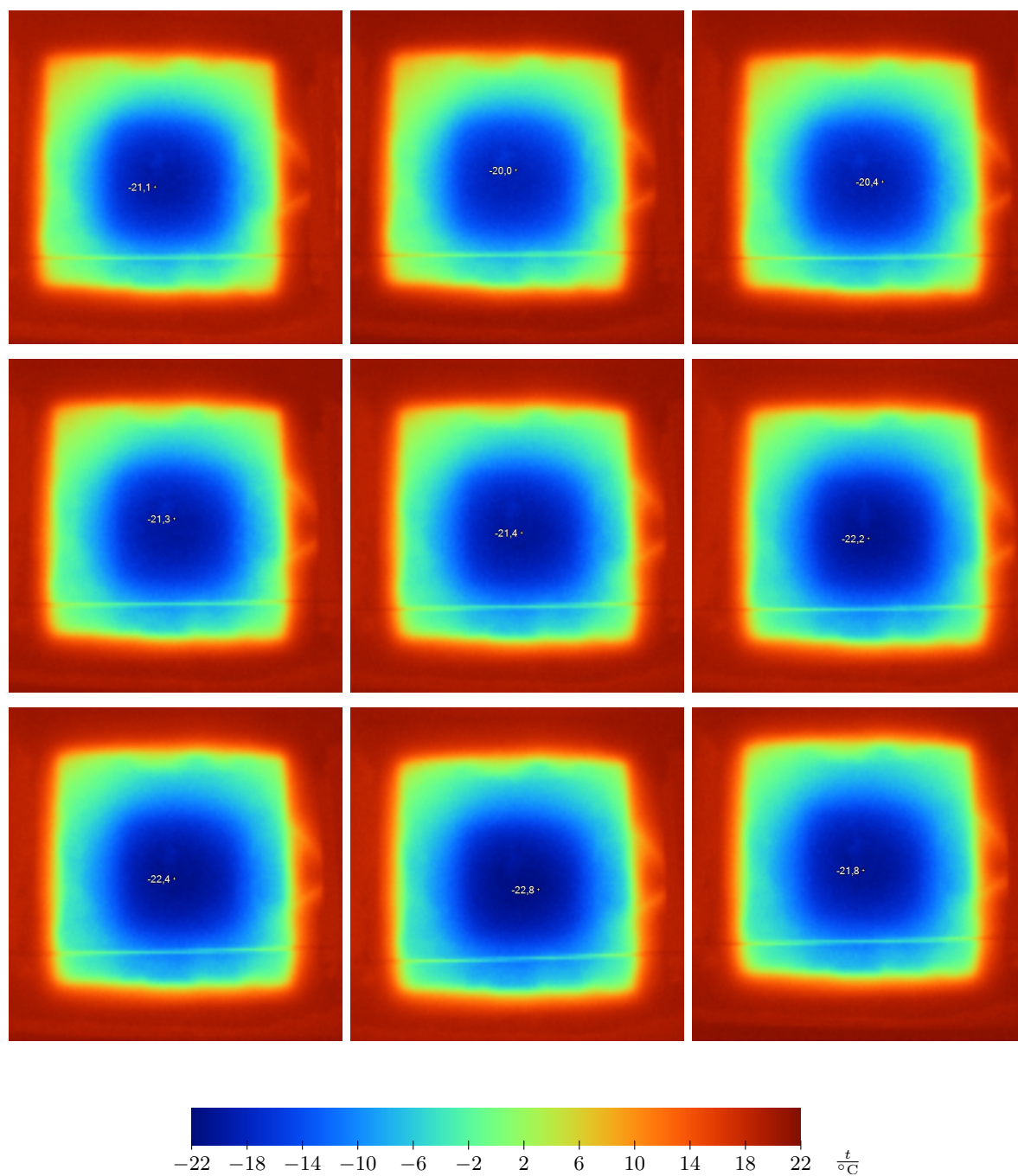
Pomocí infračervené kamery Fluke TiS (obrázek 5.13) byly vytvořeny termogramy postavené mlžné komory (zejména jejího dna) a upraveného počítačového zdroje.



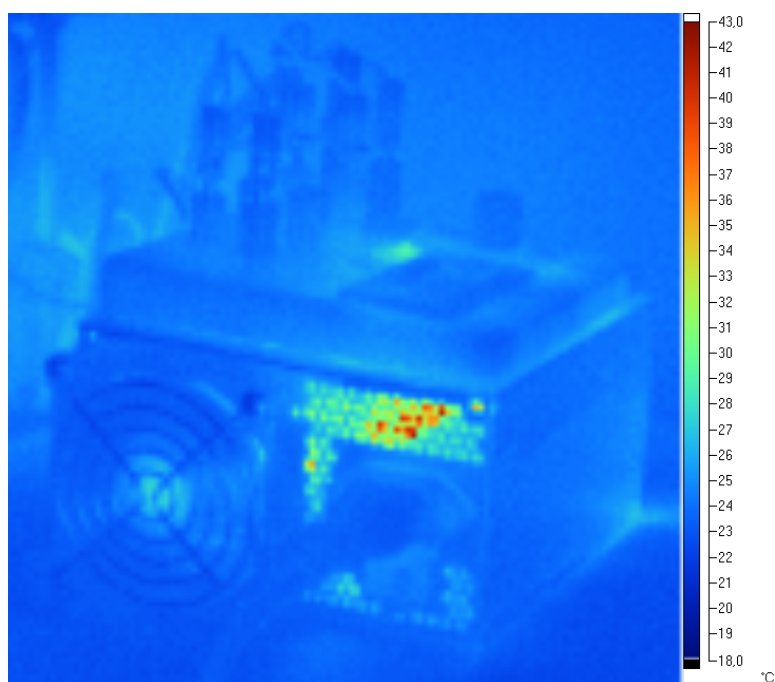
Obrázek E.1: Termogram postavené mlžné komory včetně zdroje.



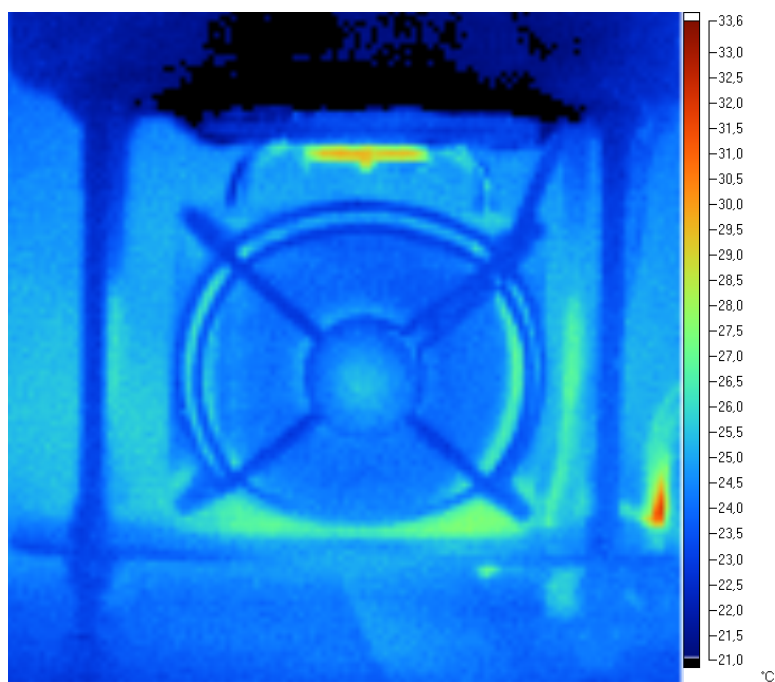
Obrázek E.2: Infračervené snímky dna postavené mlžné komory po zapnutí napájení chlazení pořízené v intervalech 15 sekund.



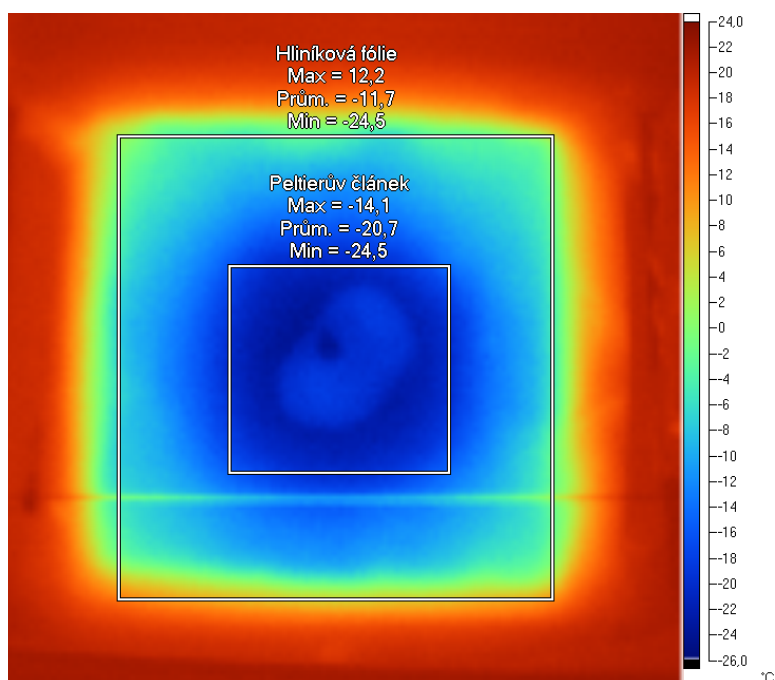
Obrázek E.3: Infračervené snímky dna postavené mlžné komory po zapnutí napájení chlazení pořizované v intervalech 15 sekund (pokračování).



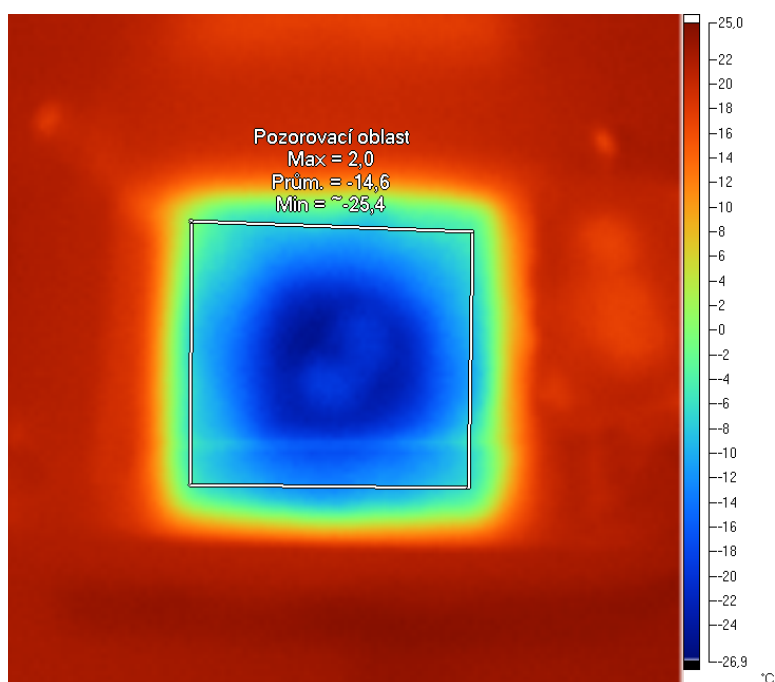
Obrázek E.4: Infračervený snímek ukazuje, že se upravený zdroj uvnitř zahřívá, nicméně teplota nepřesahuje 50 °C.



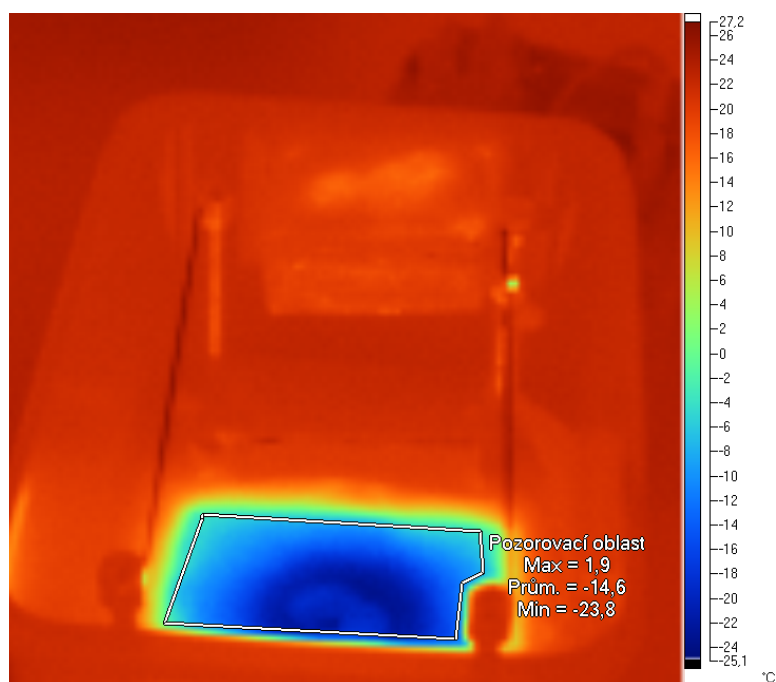
Obrázek E.5: Na termogramu chlazení je patrné, že základna chladiče se zahřívá, ovšem její teplota při zapnutém ventilátoru nepřekračuje 30 °C.



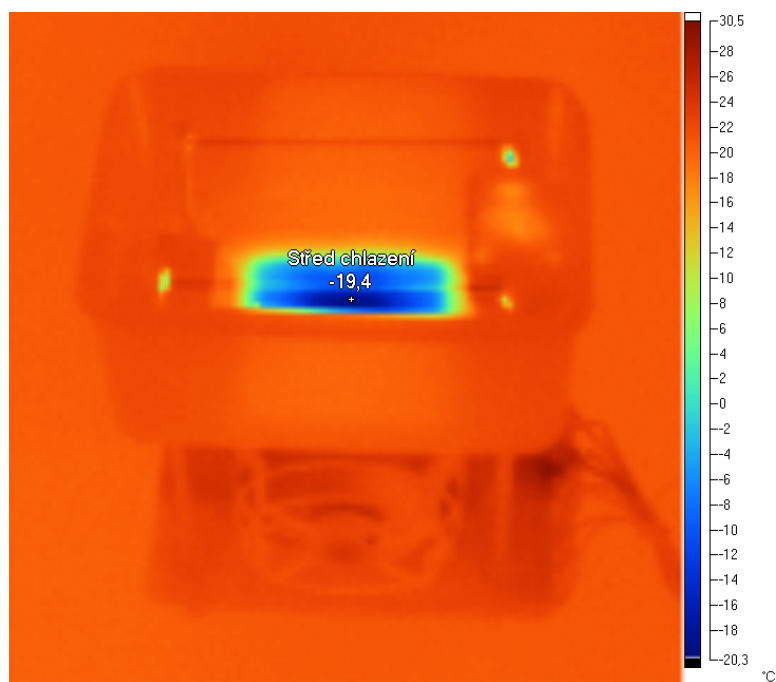
Obrázek E.6: Infračervená fotografie dna mlžné komory s přibližně vyznačenými oblastmi, kde se nacházejí peltierův článek a hliníková fólie. Na fotografii je patrné i vytápění, které je v tomto případě vypnuté.



Obrázek E.7: Infračervená fotografie dna mlžné komory s přibližně vyznačenou oblastí, kde se díky nízké teplotě vytváří přesycená pára a je možné pozorovat stopy částic.



Obrázek E.8: Termogram postavené mlžné komory se zapnutým vytápěním.



Obrázek E.9: Termogram postavené mlžné komory.

Příloha F

Fotografie stop částic v postavené mlžné komoře

F.1 Alfa záření

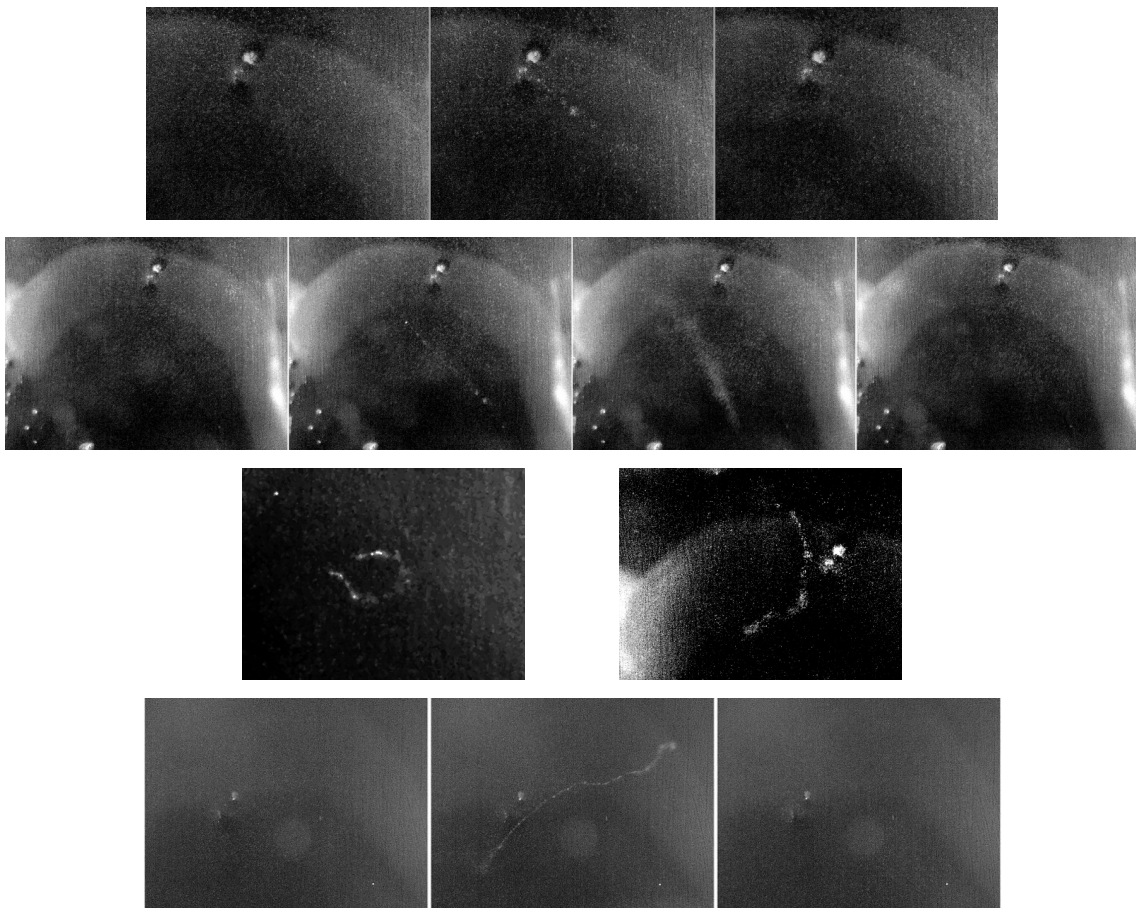


Obrázek F.1: Fotografie pozorovaných stop alfa částic v postavené mlžné komoře. Stopy jsou přímé, krátké a široké.



Obrázek F.2: Fotografie pozorovaných stop alfa částic v postavené mlžné komoře. Stopy jsou přímé a široké (pokračování)

F.2 Beta záření



Obrázek F.3: Fotografie pozorovaných stop částic beta záření (elektrony, pozitrony) v postavené mlžné komoře. Stopy jsou dlouhé, úzké a přímé (částice s vysokou energií) nebo lomené (částice s malou energií se odráží od okolních částic).

Příloha G

Dotazník

Dotazník k SOČ

Dobrý den, vítejte!

Jsem studentem 4. ročníku gymnázia v Boskovicích vypracovávám SOČku (<http://www.soc.cz>) na téma *Stavba amatérské difúzní mlžné komory*. V této práci mimo jiné chci i zmínit, jaká je znalost mlžné komory mezi lidmi. Z toho důvodu vznikl tento dotazník.

Máte-li chvíli času, velmi by mi pomohlo, kdybyste tento dotazník vyplnili. Pokud nějakou odpověď nevíte, netipujte, ale zvolte odpověď *nevím*, případně pole nevyplňujte vůbec. Postupujte od první otázky k poslední, jelikož některé otázky mohou obsahovat odpověď na otázky předchozí. Ani jestli nebudete vědět odpověď na několik otázek, prosím, nevzdávejte to. I žádné nebo špatné odpovědi pro mě jsou důležité.

Děkuji.

Tomáš Pikálek
Gymnázium Boskovice, oktáva

Osobní údaje

Pohlaví

- nechci uvést
- muž
- žena

Věk

- nechci uvést
- méně než 15 let
- 15–17
- 18–25
- 26–35
- 36–45
- 46–55
- 56–65
- více než 65

Vzdělání (nejvyšší dosažené)

- nechci uvést
- základní
- střední
- střední s maturitou
- vysoká škola (fyzika či technika)
- vysoká škola (jiná)

Poznámky ke straně Osobní údaje

Znalost mlžné komory

Obecná znalost mlžné komory

Slyšeli jste již někdy o mlžné komory?

Stačí obecné povědomí, není třeba vědět, jak přesně komora funguje...

- ano
- ne

Pokud jste o mlžné komoře slyšeli, kde?

Např. ve škole, v televizi, v informačním centru elektrárny

Viděli jste již někde mlžnou komoru?

V reálu, nikoliv obrázek.

- ano
- ne

Pokud jste mlžnou komoru viděli, kde?

Např. ve škole, v informačním centru elektrárny

Víte, jak mlžná komora funguje?

- ano
- ne

Myslíte si, že mlžná komora má v současné době nějaký význam?

Odpovězte pouze pokud víte, co to mlžná komora je.

- ano, i ve výzkumu
- ano, pouze demonstrativní
- ne

Poznámky ke straně Znalost mlžné komory

Test

Menší test kolem mlžné komory, zjišťuje znalost problematiky.

Kdo vynalezl mlžnou komoru?

- J. Aitken
- C. T. R. Wilson
- J. J. Thomson
- E. Rutherford
- A. Einstein
- nevím

Co v mlžné komoře pozorujeme

- přímo částice prolétávající komorou
- stopy částic v pracovní látce
- nevím

Jaké typy částic lze na mlžné komoře detekovat?

Pokud nevíte, nevyplňujte; alespoň jedna možnost správná je.

- nabité částice
- nenabité částice
- protony
- neutrony
- elektrony
- pozitrony
- miony
- ostatní:

Umístíme-li do mlžné komory nebo do její těsné blízkosti umělý zářič, budou v komoře vidět dráhy částic, které vyzářil. Můžeme vidět nějaké dráhy částic, jestliže žádný umělý zářič nepoužijeme?

- ano
- ne
- nevím

Pokud nějaké záření pozorujeme, odkud pochází

Pokud nevíte nebo jste v předchozí otázce odpověděli *ne*, nevyplňujte.

Poznámky ke straně Test

Odeslat

Toto je konec dotazníku. Děkuji za jeho vyplnění.
Nyní jej prosím kliknutím na tlačítko *Odeslat* odešlete.

Poznámky, komentáře, vzkazy...

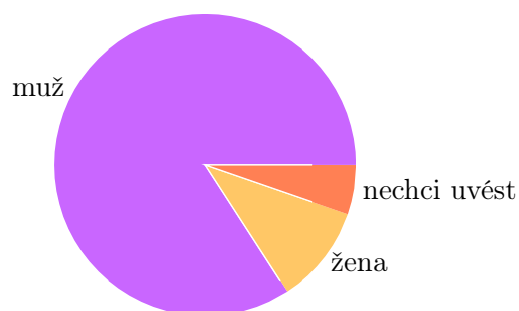
Příloha H

Výsledky průzkumu

Osobní údaje

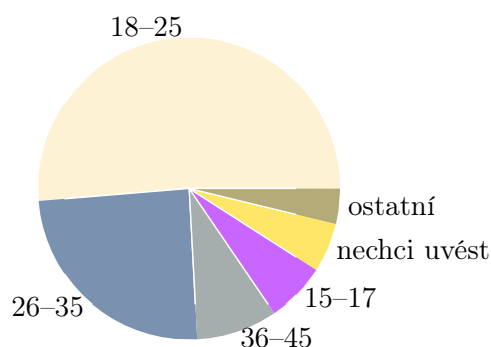
Pohlaví

nechci uvést	14	5 %
muž	223	84 %
žena	28	11 %



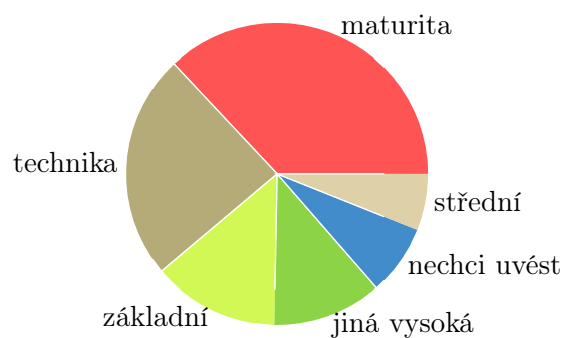
Věk

nechci uvést	14	5 %
méně než 15 let	0	0 %
15–17	17	6 %
18–25	136	51 %
26–35	65	25 %
36–45	23	9 %
46–55	6	2 %
56–65	3	1 %
více než 65	1	0 %



Vzdělání (nejvyšší dosažené)

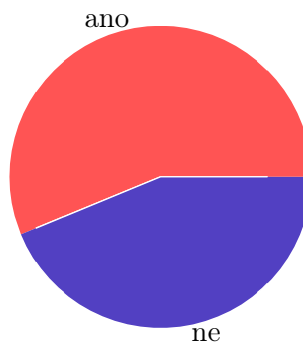
nechci uvést	20	8 %
základní	36	14 %
střední	16	6 %
střední s maturitou	98	37 %
vysoká škola (fyzika či technika)	64	24 %
vysoká škola (jiná)	31	12 %



Znalost mlžné komory

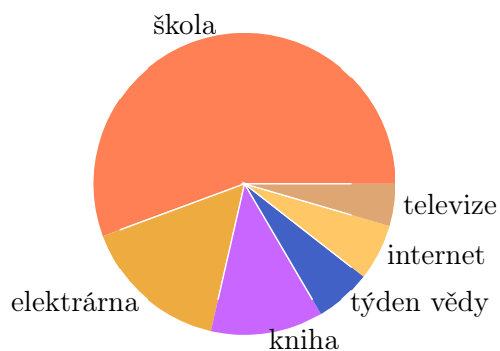
Slyšeli jste již někdy o mlžné komoře?

ano	149	56 %
ne	116	44 %



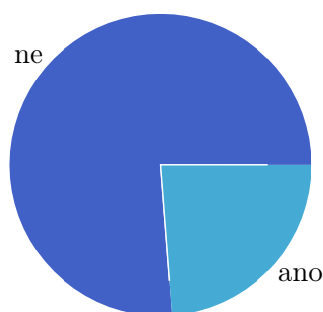
Kde jste o mlžné komoře slyšeli?

škola	74	62 %
elektrárna	21	18 %
televize	6	5 %
internet	8	7 %
kniha	16	13 %
týden vědy	8	7 %



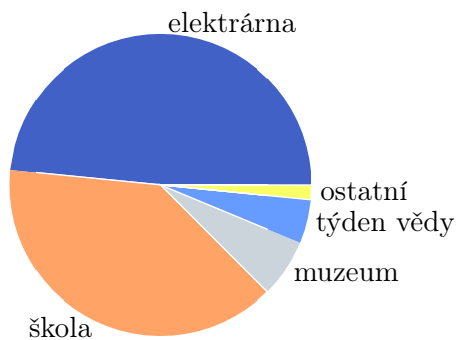
Viděli jste již někde mlžnou komoru?

ano	63	24 %
ne	202	76 %



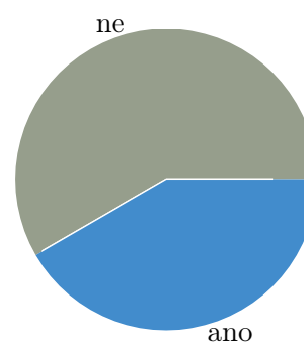
Kde jste mlžnou komoru viděli?

škola	25	42 %
elektrárna	31	53 %
televize	1	2 %
týden vědy	3	5 %
muzeum	4	7 %



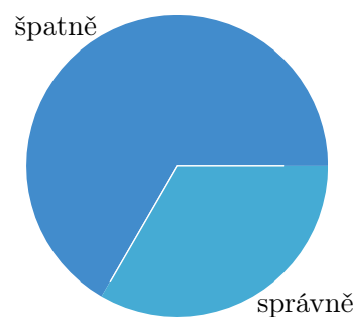
Víte jak mlžná komora funguje?

ano	110	42 %
ne	154	58 %



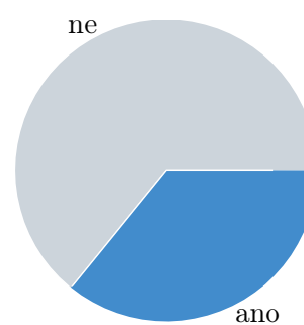
Test znalostí mlžné komory

správně	88	33 %
špatně	176	66 %



Víte co je přirozené pozadí?

ano	95	36 %
ne	170	64 %



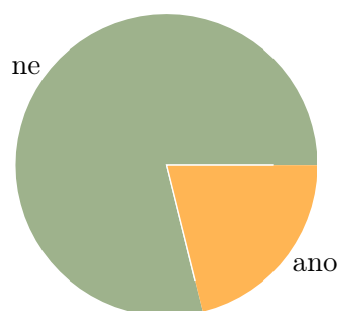
Myslíte si, že mlžná komora má v současné době nějaký význam?

ano, i ve výzkumu	57	45 %
ano, ale pouze demonstra- tivní	62	49 %
ne	8	6 %

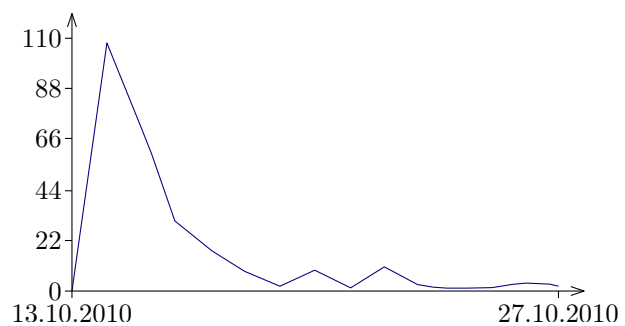


Víte kdo vynalezl mlžnou komoru?

ano	56	21 %
ne	209	79 %



Počet odpovědí za den



Tabulka H.1: Výsledky průzkumu znalosti mlžné komory.

	celkem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	84 %	0 %	41 %	28 %	56 %	9 %	29 %	44 %	26 %	13 %	11 %	36 %	39 %	52 %	26 %	20 %	
2	16 %	0 %	7 %	5 %	55 %	5 %	21 %	26 %	12 %	7 %	0 %	17 %	21 %	36 %	17 %	29 %	
3	36 %	97 %	3 %	67 %	64 %	9 %	43 %	56 %	28 %	12 %	14 %	45 %	48 %	61 %	38 %	26 %	
4	24 %	97 %	3 %	100 %	75 %	9 %	56 %	67 %	34 %	14 %	17 %	53 %	59 %	73 %	41 %	33 %	
5	56 %	84 %	16 %	41 %	32 %	14 %	50 %	74 %	42 %	21 %	16 %	55 %	60 %	80 %	39 %	36 %	
6	8 %	90 %	10 %	43 %	29 %	100 %	14 %	81 %	90 %	90 %	10 %	67 %	81 %	81 %	38 %	19 %	
7	28 %	88 %	12 %	55 %	49 %	100 %	4 %	82 %	45 %	15 %	28 %	62 %	73 %	88 %	39 %	41 %	
8	41 %	90 %	10 %	49 %	39 %	100 %	16 %	56 %	50 %	23 %	21 %	66 %	70 %	93 %	42 %	39 %	
9	23 %	92 %	8 %	44 %	35 %	100 %	31 %	53 %	87 %	50 %	39 %	73 %	87 %	90 %	35 %	35 %	
10	12 %	90 %	10 %	35 %	29 %	100 %	61 %	35 %	81 %	100 %	10 %	65 %	87 %	87 %	29 %	23 %	
11	9 %	100 %	0 %	54 %	46 %	100 %	8 %	88 %	96 %	100 %	13 %	75 %	88 %	96 %	46 %	50 %	
12	33 %	92 %	8 %	49 %	39 %	93 %	16 %	52 %	82 %	51 %	23 %	20 %	77 %	89 %	38 %	47 %	
13	36 %	91 %	9 %	48 %	40 %	94 %	18 %	57 %	80 %	57 %	28 %	22 %	72 %	85 %	35 %	34 %	
14	49 %	89 %	11 %	44 %	36 %	91 %	13 %	50 %	77 %	43 %	21 %	18 %	60 %	62 %	49 %	37 %	
15	24 %	89 %	11 %	56 %	41 %	89 %	13 %	45 %	72 %	34 %	14 %	17 %	52 %	52 %	100 %	36 %	
16	22 %	79 %	21 %	44 %	37 %	93 %	7 %	53 %	75 %	39 %	12 %	21 %	72 %	56 %	84 %	40 %	

Otázky

- 1 Jsou muži
- 2 Jsou ženy
- 3 Mají vysokou školu
- 4 Mají vysokou školu fyzikálního nebo technického zaměření
- 5 Slyšeli někdy o mlžné komoře
- 6 Slyšeli o mlžné komoře v elektrárně
- 7 Slyšeli o mlžné komoře ve škole
- 8 Ví, jak mlžná komora funguje
- 9 Viděli někdy mlžnou komoru
- 10 Viděli mlžnou komoru v elektrárně
- 11 Viděli mlžnou komoru ve škole
- 12 Uspěli v testu znalostí komory
- 13 Znají přirozené radioaktivní pozadí
- 14 Myslí, že mlžná komora má v současné době stále význam
- 15 Myslí, že mlžná komora má význam i ve výzkumu
- 16 Ví, kdo vynalezl mlžnou komoru

Rozložení (%)

- 0–9
- 10–19
- 20–29
- 30–39
- 40–49
- 50–59
- 60–69
- 70–79
- 80–89
- 90–100

Ke čtení tabulky

Například chceme-li vědět, jaké procento žen (otázka 2) uspělo v testu znalostí komory (otázka 12), najdeme 2. řádek a 12. sloupec, tedy 17 %

Příloha I

Obsah příloženého DVD

- **Fotografie**
 - Komora – fotografie postavené mlžné komory
 - Stopy – fotografie stop v mlžné komoře pozorované
- **Statistika** – výsledky průzkumu pro případné další zpracování
 - GoogleDocs.ods – původní výstup z Google Docs
 - Odpovědi.ods – odpovědi na otázky v dotazníku
 - Rozdělení.ods – tabulka H.1 včetně výpočtů
- **Text.pdf** – elektronická verze této práce
- **Videa** – videa pozorovaných stop částic v postavené komoře
- **Zdroj** – zdrojové kódy (\LaTeX) práce včetně všech obrázků a příloh