

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA JADERNÁ A FYZIKÁLNĚ INŽENÝRSKÁ**

**Rešeršní práce**

**Křemíkové driftové detektory**

***Martin Kroupa***

*Vedoucí práce: RNDr. Vojtěch Petráček CSc.*

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>ALICE</b>	<b>3</b>
2.1	MOTIVACE	3
2.2	ZÁKLADNÍ POPIS	4
2.3	ITS	9
<b>3</b>	<b>SDD</b>	<b>13</b>
3.1	TROCHA HISTORIE	13
3.2	PROČ SDD	13
3.3	TEORIE	14
3.4	ALICE SDD	17
<b>4</b>	<b>STÁŽ</b>	<b>19</b>
4.1	PŮVODNÍ NÁPLŇ	19
4.2	TESTOVACÍ SOUSTAVA	22
4.2.1	<i>Detektor</i>	22
4.2.2	<i>Soustava</i>	23
4.2.3	<i>Pohyb</i>	23
4.2.4	<i>Pulsy</i>	25
4.2.5	<i>Ovládání a dataakvizice</i>	25
4.3	TESTOVÁNÍ	25
4.4	ANALÝZA	27
<b>5</b>	<b>PRÁCE NA KATEDŘE</b>	<b>30</b>
5.1	ÚVOD	30
5.2	REALITA	30
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR</b>	<b>32</b>

# 1 Úvod

Tématem mé rešeršní práce jsou Silicon Drift Detector (dále jen SDD) – tedy křemíkové detektory. Jedná se o detektory poměrně nové, svými charakteristikami a přesností však velmi potřebné. Cílem rešeršní práce bylo mé seznámení s detektory jak po teoretické, tak po praktické stránce. K teorii jsem použil podkladů doporučených mým školitelem panem doktorem Petráčkem. Praktické poznání bylo zprostředkováno jednak naší snahou uvést do chodu na katedře radiální SDD používaný v experimentu CERES a jednak mou stáží v Itálii v INFN.

## 2 ALICE

### 2.1 Motivace

Jak vypadal Vesmír krátce po Velkém třesku? Na tuto otázku se snaží odpovědět projekt ALICE (A Large Ion Collider Experiment), o kterém se budu v průběhu své práce mnohokrát zmiňovat a jehož SDD jsme testovali v Itálii. Tento projekt bude probíhat na CERNském LHC (Large Hadron Collider). Hodnoty energií dosažených při srážkách těžkých jader budou 5.5 TeV na nukleon. K srážkám budou použity jádra olova. Cílem je zjištění charakteristik hmoty při extrémně vysokých teplotách a hustotách. Snahou je lepší pochopení struktury hmoty a studium silných interakcí.

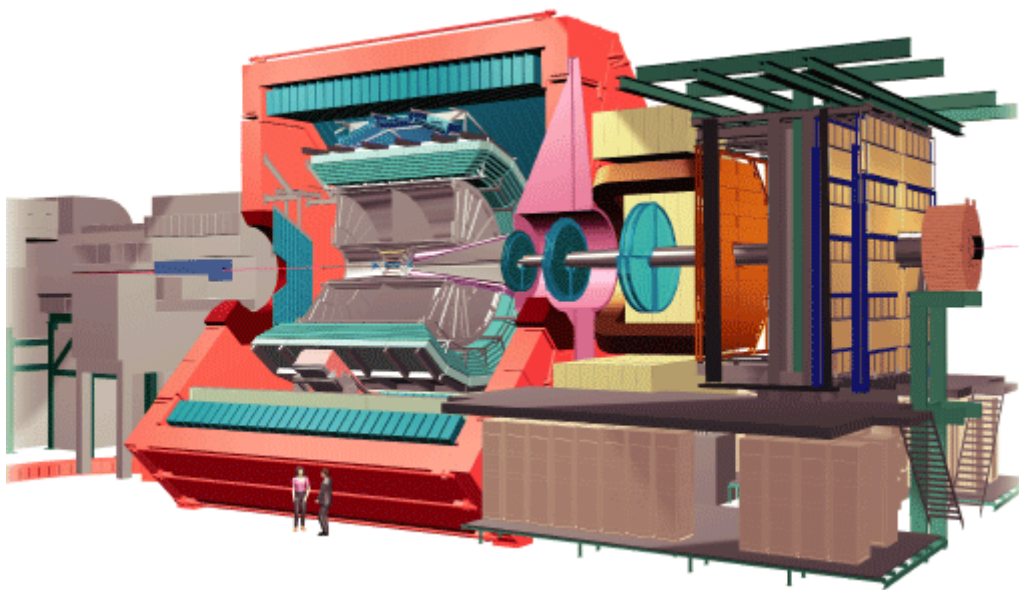
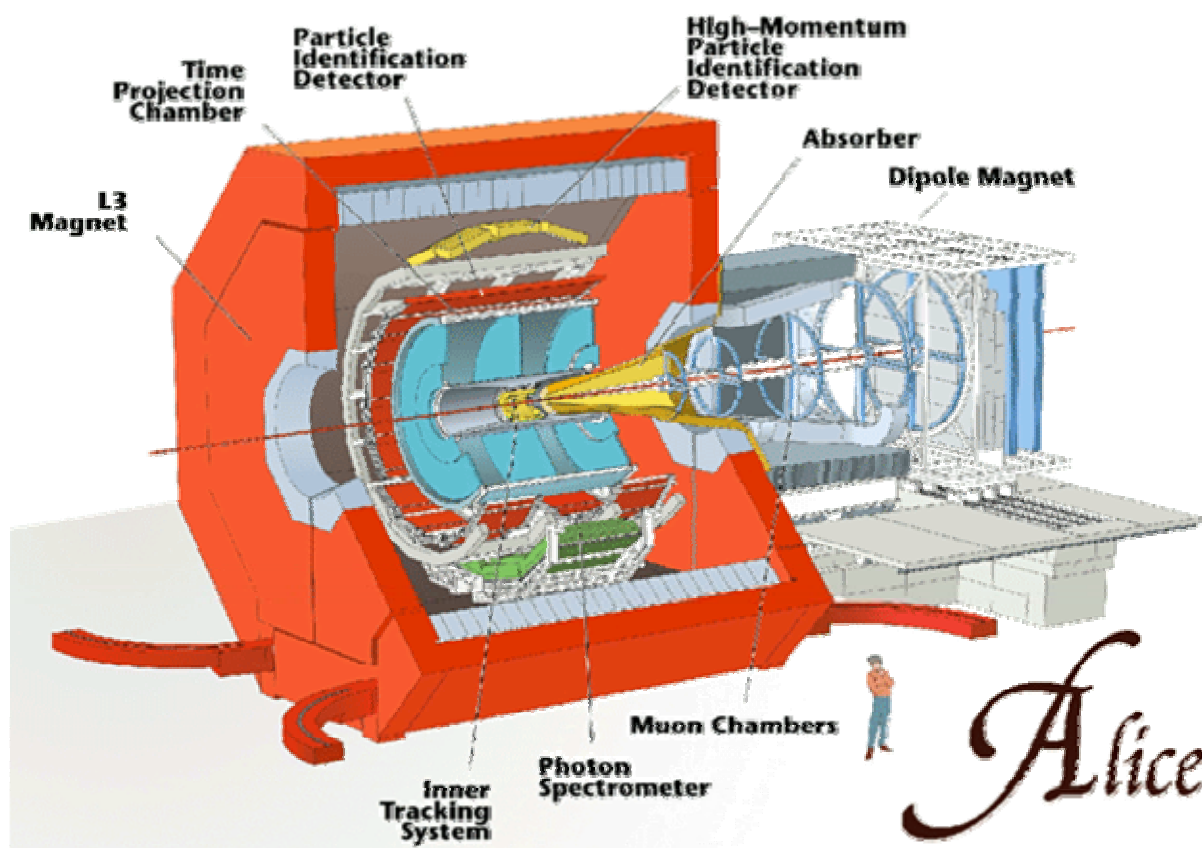


Schéma detektoru ALICE

## 2.2 Základní popis

Jak jde vidět, jedná se o projekt mamutích rozměrů. A tak krom problému fyzikálních vznikají problémy čistě technického rázu, neboť všechny součásti musí být uloženy s milimetrovou přesností. Na následujícím obrázku jsou popsány jednotlivé části detekčního systému. Celý tento systém je vložen do velkého solenoidního magnetu, který tvoří pole mezi 0.2-0.5T.

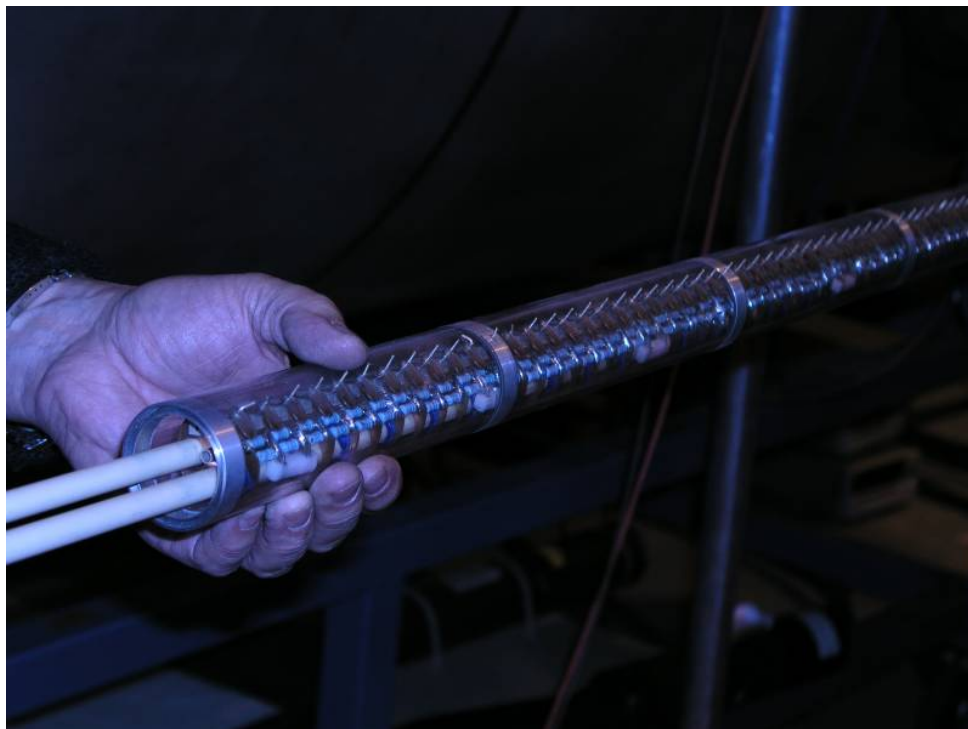


ALICE s popisem jejích součástí

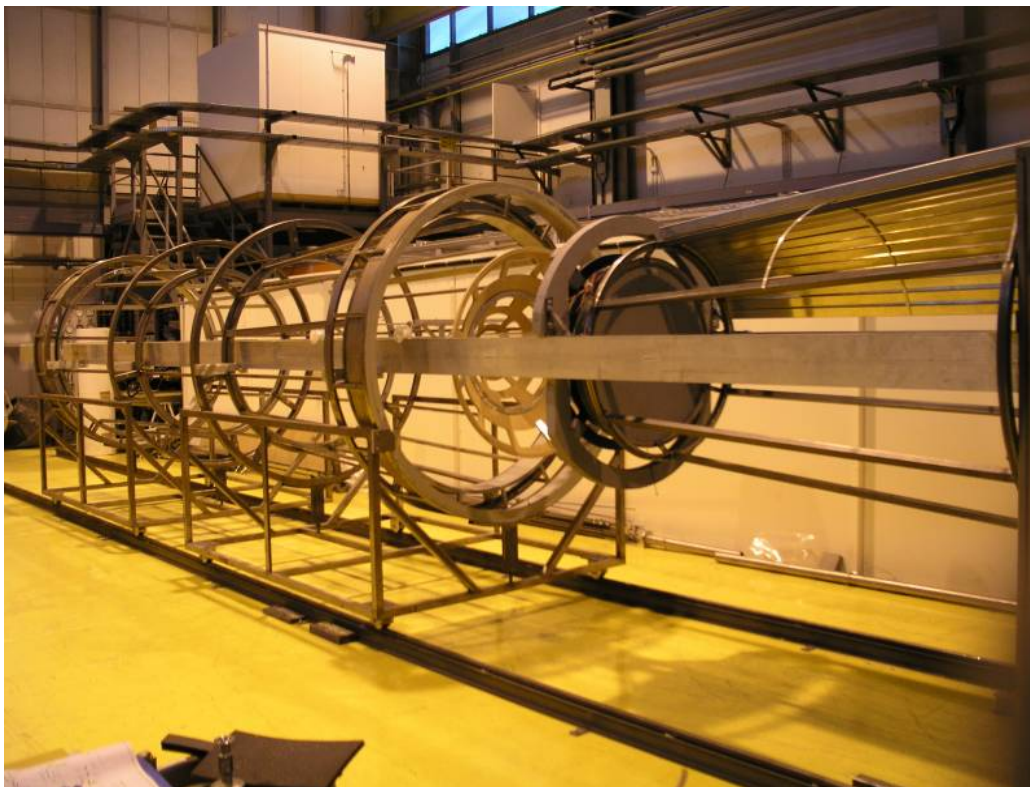
Silikon driftové detektory, o kterých je tato práce, se nacházejí v ITS (Inner Tracking System).

Jednou z částí celého systému bude TPC (Time Projection Chamber). Tato komora složená ze dvou vnořených válců o vnějším průměru 250 cm a vnitřním průměru 90 cm bude sloužit k přesnému stopování dráhy částic, k určování ztráty energie a jejich identifikaci. Jedná se o plyný detektor určený k identifikaci velkého počtu částic

najednou. Uvnitř je směs plynu neonu a oxidu uhličitého. Čistota této směsi je velice důležitá, neboť již malá koncentrace kyslíku nebo vody může významně znehodnotit naměřená data. U kyslíku se jedná o čistotu 5 ppm, u vody pak 10 ppm. Vzhledem k velkým rozměrům komory, ta má na délku pět metrů, je zapotřebí k zajištění dostatečného potenciálu uvnitř komory, přivádět na elektrody vysoké napětí o hodnotě 100kV.

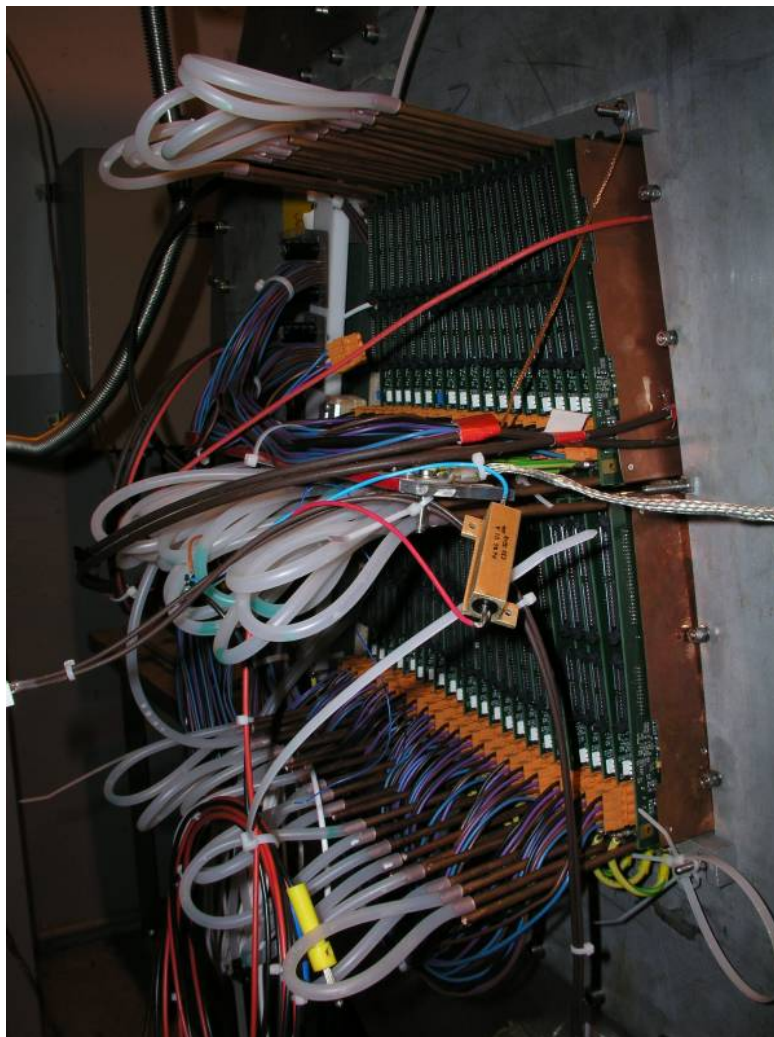


*Odporová kaskáda TPC*



*Model ITS*

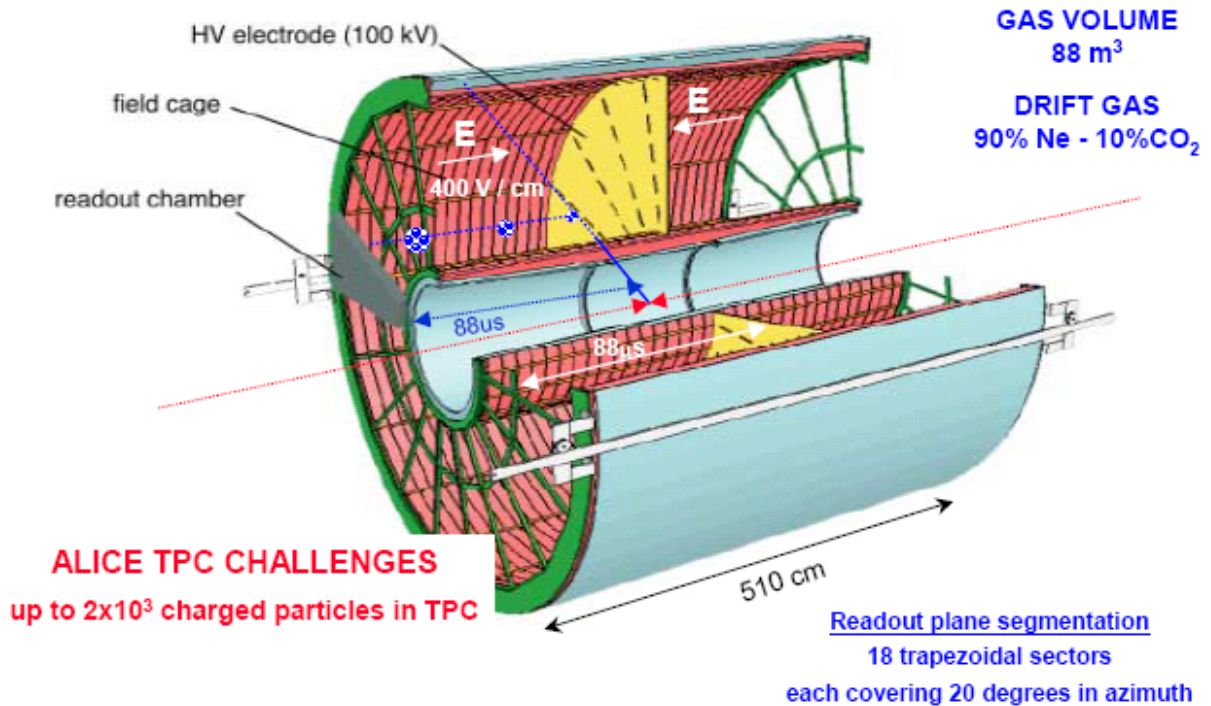
Při tak velkém množství elektroniky na malém prostoru se samozřejmě uvolňuje velké teplo, proto se musí celý systém důkladně a důmyslně chladit a udržovat stabilní teplotu.



*Chlazení elektroniky na TPC, voda v hadičkách má podtlak, aby se zabránilo jejímu úniku do el. obvodů*

Driftová rychlost elektronů v komoře je totiž velice citlivá na změnu teploty (změny teploty budou v rozmezí desetině stupně celsia).

## ALICE TPC LAYOUT



Celkové požadavky na TPC, jsou shrnuty zde:

TPC úkoly:

- hledání dráhy
- měření hybnosti
- identifikace částic
- $p_t < 10 \text{ GeV}/c$
- $|\eta| < 0.9$

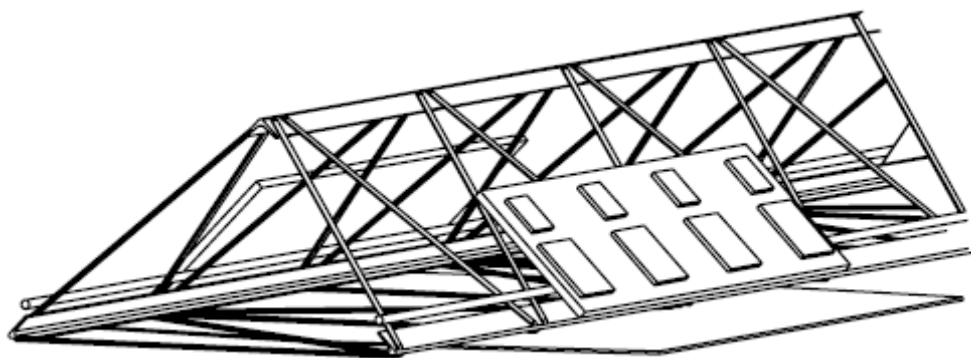
Požadavky:

- účinnost hledání dráhy  $> 90\%$
- rozlišení hybnosti  $< 2.5\%$
- $dE/dx$  rozlišení  $< 10\%$
- rozlišení dvou částic  $< 5 \text{ MeV}/c$
- detekční schopnost Pb-Pb 200Hz, (1kHz p-p)



## 2.3 ITS

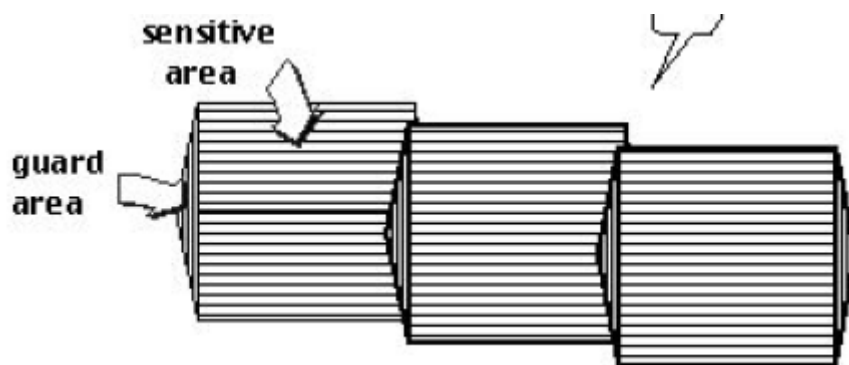
Centrální část ALICE je tvořena ITS, jehož základním účelem jsou sledování půvabných a hyperonových rozpadů, identifikace částic, stopování nízko energetických částic a zlepšení celkového rozlišení hybnosti. Jako jediná součást ALICE bude schopný detekovat částice s hybností menší než 100MeV/c. ITS je součástí detektoru, která je nejbližší k trubici s urychlenými částicemi, jeho vnitřní průměr tedy je 3 cm, vnější průměr je určen rozměry TCP, do kterého je ITS vložen. Vzhledem k předpokládané vysoké hustotě vznikajících částic je pro skutečné 2D zaměření nutné více vrstev detektorů. ITS sestává z šesti válců se silikonovými detektory s vysokým rozlišením. Dvě vrstvy jsou tvořeny SPD (Silicon Pixel Detectors). Třetí a čtvrtá vrstva je tvořena SDD (Silicon Drift Detectors), ke kterým se vrátím později podrobněji. Poslední dvě nejvzdálenější vrstvy tvoří SSD (Silicon Strip Detectors). Pomalu letící částice ztrácejí nejvíce energie při průchodu jinými materiály. Proto je snaha, aby v oblasti ITS bylo co nejméně zbytečného materiálu. To se projevilo při řešení konstrukce ITS.



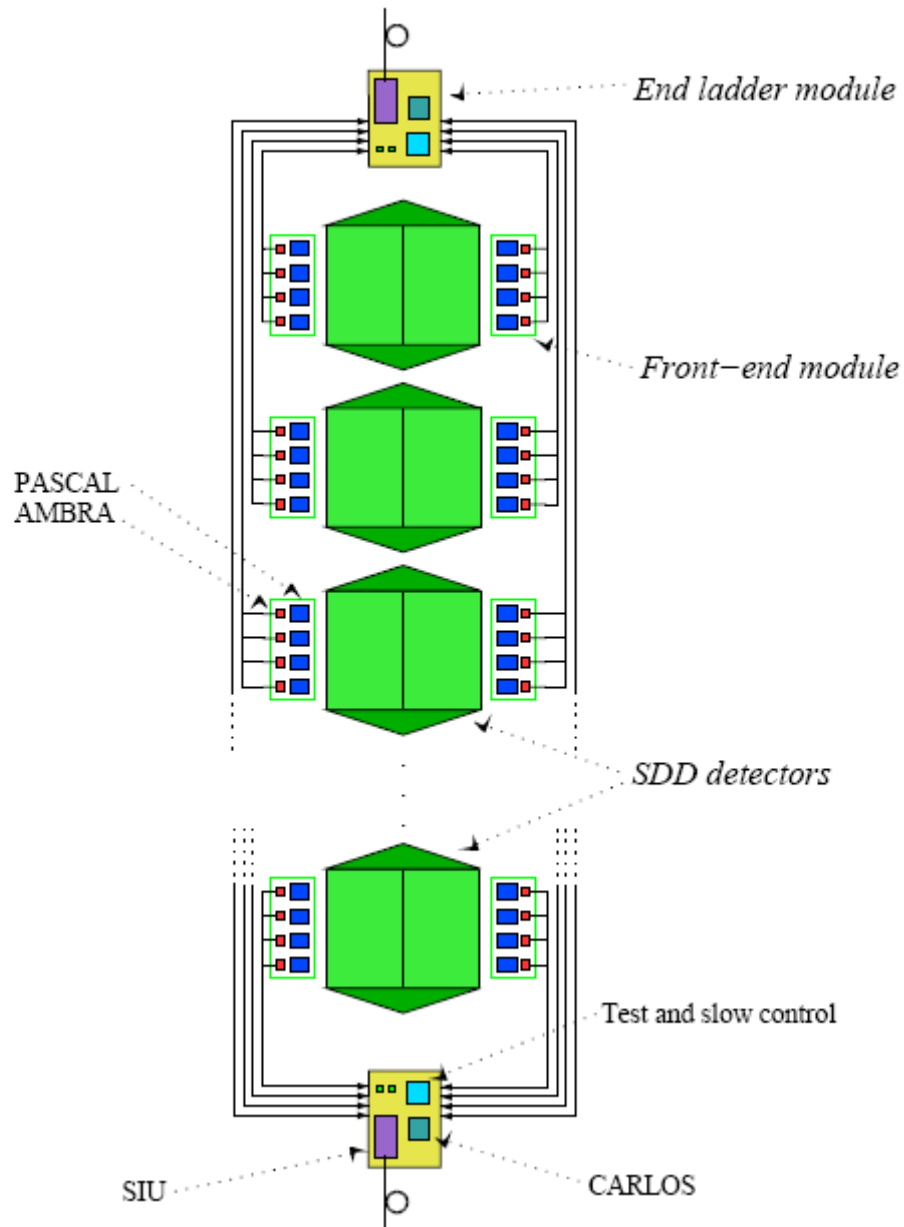
*Schéma konstrukce ladderu nesoucího detektory v ITS*

Na předchozím obrázku vidíme, že kostra nosné konstrukce je tvořena útvary z kompozitních materiálů zvané laddery. Na nich budou umístěny detektory, povedou jimi kabely i chlazení. K zajištění co nejlepší detekční účinnosti a ke snížení mrtvé plochy detektoru, se SDD uložené na ladderech budou překrývat. Na dalším obrázku pak můžeme vidět schéma zapojení celého ladderu. Vidíme, že každý detektor má krom detekční plochy i oblast nazývanou guard area. Tato ochranná zóna je zde jako

ochrana proti proražení napájecího napětí detektoru. Překryv je pak volen proto, aby nám neunikla žádná část vertexu.



*Způsob překrytí detektorů*



*Schéma zapojení čtecí elektroniky SDD v jednom modulu*

Na závěr ještě samotná ALICE, která slouží jako symbol celého detektoru.



*Malá holčička jako symbol obrovského projektu*

## 3 SDD

### 3.1 Trocha historie

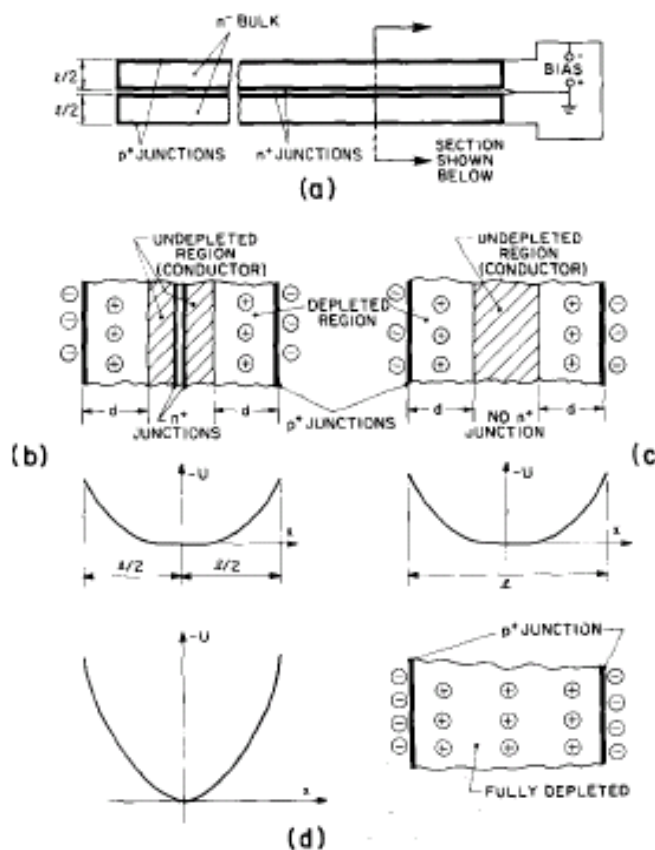
Jakmile lidé zjistili, že v přírodě existuje jev, který pojmenovali radiace, začali se zajímat o to, jak zjistit emitované částice. Mezi první a zároveň nejjednodušší detektory patří detektory scintilační. U prvních z nich sloužil jako počítač impulzů člověk s vycvičeným zrakem. Jako další se objevily detektory plynné, které následovaly další a další modifikace a dlouhý vývoj. V době, kdy se zájem vědců přesunul na fyziku vysokých energií, při které srážíme různé částice s velkými energiemi a z následujících rozpadů se snažíme zpětně zjistit vlastnosti částic vzniklých při srážce, se nároky na detektory zvýšily. Nejenže je třeba, aby detektory dokázaly rozpoznat kudy částice proletěla, ale i její úbytek energie v detektoru. To vše pokud možno co nejpřesněji. A tak se zájem přesunul na polovodičové detektory. Při jejich výrobě může být použita celá řada prvků a sloučenin. Každý pokus se svými specifiky pak vyžaduje jiný detektor. Základem je ovšem křemík nebo germanium. Germanium jsme schopni vyrábět vysoce čisté - na 1 atom nečistot připadá  $10^{12}$  atomů germania a je tak nejčistším prvkem, který umíme připravit.

### 3.2 Proč SDD

Jak již název napovídá, tvoří hlavní část SDD křemíková destička, jejíž objem slouží k detekci. Křemík na rozdíl například od germania nemusí být chlazen na velmi nízké teploty okolo několika Kelvinů. Jejich rozlišovací schopnost je okolo 35  $\mu\text{m}$  v prostoru v obou směrech plochy detektoru a i měření energie je vysoce přesné. I přes poměrně nákladnou výrobu tak dostáváme detektor s malými nároky na chlazení, velice přesný a při tom nijak robustní. Na druhou stranu jsou detektory velmi drahé, z důvodu vysoké technologické náročnosti výroby.

### 3.3 Teorie

Jak tedy SDD detektor funguje a na jakých principech je založen? Základem detektoru je tzv. depleted region (vrstva polovodiče bez volných nosičů náboje). Principiálně se tedy jedná o PN přechody, umístěné po obou stranách křemíkové destičky, na který přivedeme napětí.

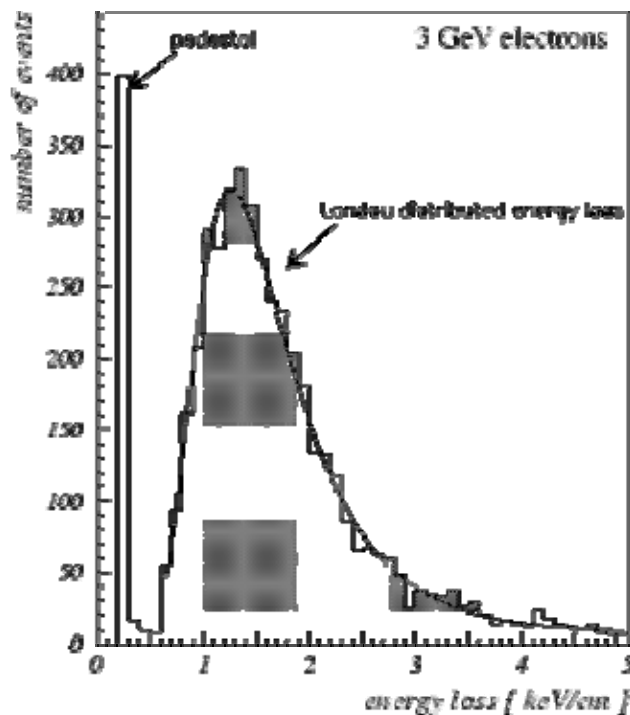


Princip vyprázdnění

- a) dvě standardní  $n$ -typová spojení s  $n^+$  povrchem na kontaktu  
 b) prázdný a neprázdný region od dvou detektorů, při přiváděném opačném napětí  
 c) prázdný a neprázdný region  $n$  vrstvy s  $p$ - $n$  spojením na obou stranách  
 d) úplně vyprázdňená vrstva detektoru

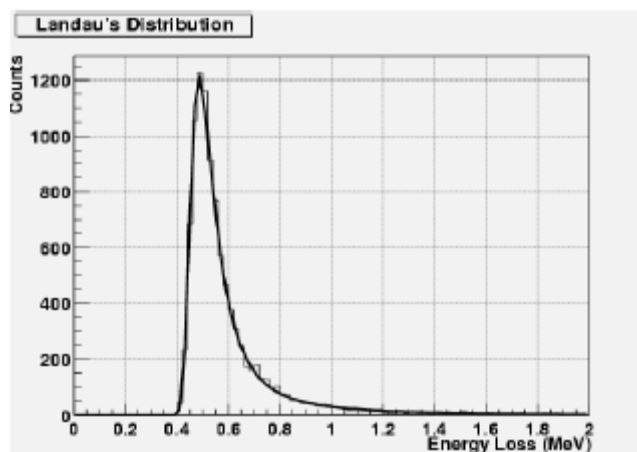
Ochuzená vrstva pak slouží jako detekční komůrka podobná té, která se užívá u plynových detektorů. Při průletu částice touto komůrkou dochází k ionizaci. Vznikají elektron-děrové páry. Pomocí elektrického potenciálu jsou pak tyto elektrony přesouvány směrem k anodové oblasti, kde jsou zachytávány. Tomuto pohybu ve směru k anodám se říká driftový pohyb. Navíc jsou elektrony přesunuty do středu desky. Potenciál je volen tak, aby elektrony měly téměř po celou driftovou dráhu konstantní rychlost. Když tuto rychlost známe, můžeme snadno určit, kde částice proletěla detektorem. Abychom dosáhli přesné 2D polohy průletu částice, používá se ještě rozdělení anody na více částí. Krom pozicně přesného měření je detektor

schopen měřit i úbytek energie. Velikost energie uvolněné v detektoru se přímo projeví na počtu zionizovaných částic v detektoru a tedy na velikosti elektronového mraku. Toto nám ovšem neříká nic o tom, co za částici proletělo detektorem, ani o celkové energii částice. K měření celkové energie jsou používány kalorimetry. Neschopnost určení druhu částice spočívá v pravděpodobnostním rozdělení. Velikost energetických ztrát se totiž řídí Landauovým rozdělením, které je na následujícím grafu.

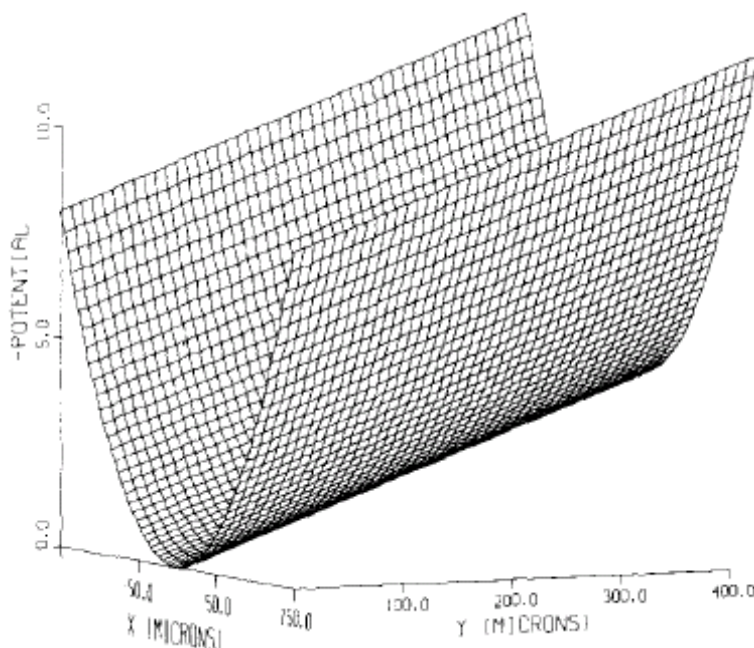


Landauovo rozdělení elektron 3GeV

Vidíme, že na rozdíl například od Gaussova rozdělení, je pravá část píku mnohem méně strmá. To má za následek, že i rychlejší částice mohou ztratit velkou část energie a vypadat tak jako pomalejší a tedy hmotnější.



*Landauovo rozdělení proton 1Gev*



*Potenciál použitý v SDD, jeho tvar zajišťuje neustálé vyprazdňování oblasti*

Při driftování dochází k efektům, které musí být započítány a o kterých se zmíním později. Jakmile se částice dostanou do anodové oblasti, potřebujeme je vychýlit z centrální roviny detektoru, kde byly po celou dobu driftu. Na anodě sbíráme informace o náboji, který přidrftoval. Proto je potenciál v anodové oblasti speciálně upraven tak, aby byly elektrony tlačeny na anodu. Posledních několik katod je proto napájeno samostatně a nejsou připojeny na dělič napětí.

Celý průběh detekce je schématicky znázorněn na následujícím obrázku.

Během driftu musíme počítat s mnoha efekty. Jelikož je mrak tvořen nabitými částicemi – elektrony, musíme započítat vzájemnou odpudivou Coulombickou sílu. Dalším jevem, který musíme započítat, je difúze elektronů. Tyto jevy nemohou být



jednoduše zanedbány a v principu můžou vést k podstatné změně přesnosti detektoru.

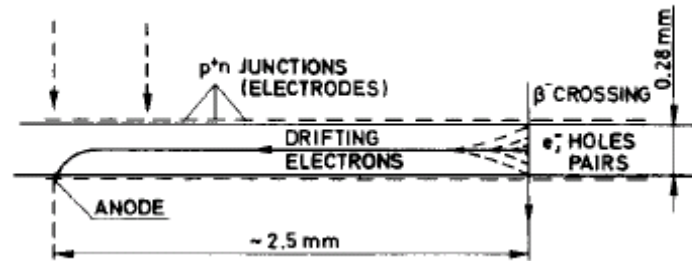
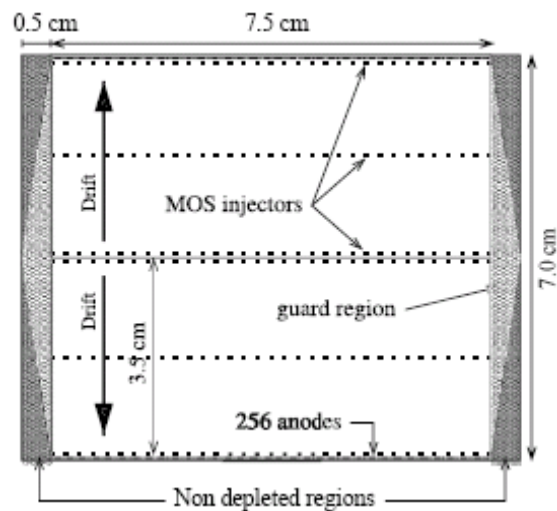


Schéma detekce pomocí SDD

### 3.4 Alice SDD

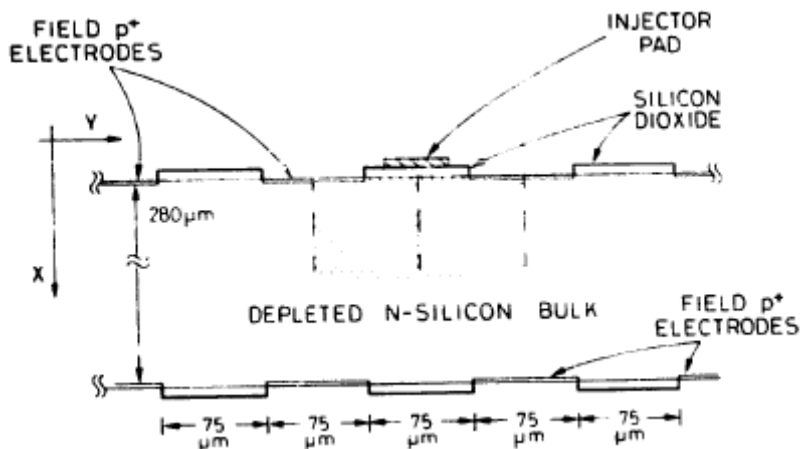
Detektory použité v experimentu mají rozměry  $7.25 \times 8.76 \text{ cm}^2$ , při čemž aktivní část detektoru má rozměry  $7.02 \times 7.53 \text{ cm}^2$ , tedy poměr k celkovému povrchu je 0.85. Detekční vrstva má tloušťku  $300 \mu\text{m}$ .



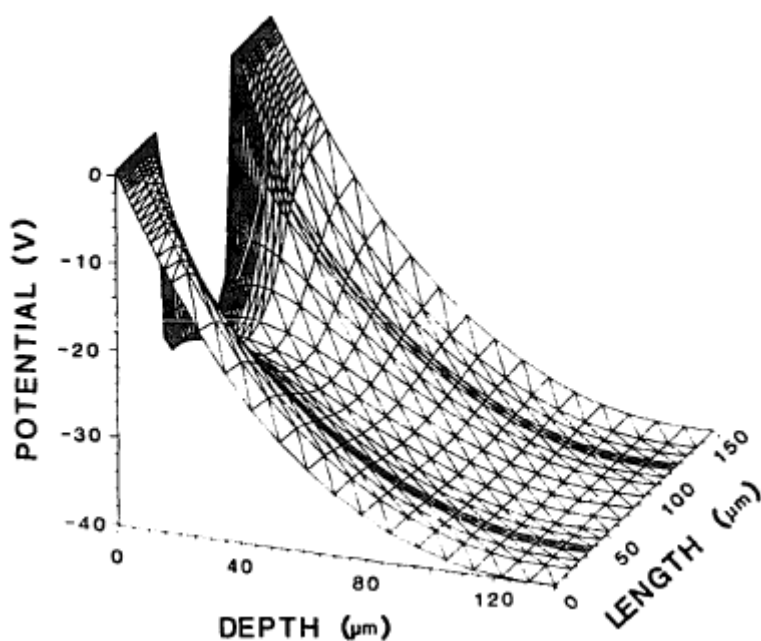
SDD ALICE pohled shora

Aktivní oblast je rozdělena do dvou částí, každá 35 mm dlouhá a každá s 256 anodami a integrovanými děliči napětí. Kvůli velké citlivosti driftové rychlosti na teplotu ( $v \sim T^{-2.4}$ ), je třeba mít možnost kontroly driftové rychlosti v průběhu experimentu a také samozřejmě dobře chladit detektor v průběhu experimentu, tedy

dobře odvádět teplo, které produkuje čtecí elektronika. K průběžnému měření driftové rychlosti elektronové injektory na obrázku označeny MOS injektory.



Boční průřez detektorem v oblasti injektoru



Potenciální energie v sedle

Tyto injektory získáme přidáním tenké vrstvy kovu na oxid křemíku, který je mezi proužky  $p^+$ . Injektor je zde MOS dioda, která zde ovšem funguje jinak než obvykle. Na námi zvoleném místě pak vzniká sedlo, do něž jsou zachytávány elektrony. Výhodou je, že počet elektronů zachycených v sedle je vždy stejný závislý pouze na

napětí. Pokud poté přivedeme na kov záporné napětí, vyprázdníme injektor a vypustíme vlastně elektronový mrak o známé poloze a velikosti do prostoru detektoru. Takto můžeme kontrolovat střední driftovou rychlost.

## 4 Stáž

V průběhu letního semestru jsem absolvoval 14-ti denní stáž v jaderném institutu v Turíně v Itálii (INFN). Náplní mé práce tam mělo být testování čipů, které budou později použity v experimentu. Konkrétně se jednalo o testování předzesilovače a digitálního převodníku (PASCAL). Druhým čipem použitým v ALICE, který bude hned vedle samotného detektoru a který následuje za PASCAL, je AMBRA. Ta slouží jako buffer užitý k derandomizaci dat a k jejich přípravě. Tyto čipy jsou první v dlouhé řadě elektroniky, která bude sloužit ke zpracování a převodu údajů získaných z detektoru. Jako takové se nacházejí přímo vedle detektoru, jsou s ním spojeny pomocí mikrokabely. Mikrokabely společně s čipy jsou zasazeny do ochranné folie. Pomocí stolků, jež navrhl Dr. Pachr, a testovací desky (popis viz. dále) se testuje funkčnost čipů. Bohužel zásilku hybridů ( folie s čipy a mikrokabely) nebyla dodána od ukrajinských kolegů včas a tedy za dobu mého pobytu nebylo co testovat. Můj školitel Dr. Petráček, proto dohodl mou spolupráci s francouzským fyzikem pracujícím v INFN. Náplní jeho práce bylo testování alicovského SDD, přesněji proměřování jeho detekčních schopností pomocí laseru. O tom, v jak obtížné situaci se lidé pracující v Turíně nachází, svědčí i to, že detektor, který jsme testovali, byl jediný, který byl již předtím testován na beamu a byl stále aspoň částečně funkční. Ostatní detektory testované na beamu byly natolik poškozené, že na nich kalibrace neměla smysl. Během mé stáže jsem se tak snažil pomoci při tomto mapování detektoru a spolupracoval jsem s francouzským kolegou Guillaume Batigne.

### 4.1 Původní náplň

Vzhledem k velkému množství SDD, které budou použity v Inner Track System v ALICE, je počet hybridů, které se musí otestovat, poměrně vysoký. Princip testování čipů je v podstatě jednoduchý. Čipy se přilepí na mikrokabel a přibondují se. Na

mikrokabely se přivádí vstupní napětí, které reprezentuje signál z detektoru. Na druhé straně se měří výstup z čipů, jehož správné hodnoty známe. Jelikož je na čipu více kanálů a práce by byla ručně časově zbytečně náročná, vymyslel pan doktor Pachr ulehčení. Jedná se o kovový stolek, do nějž se zasune folie s čipy.

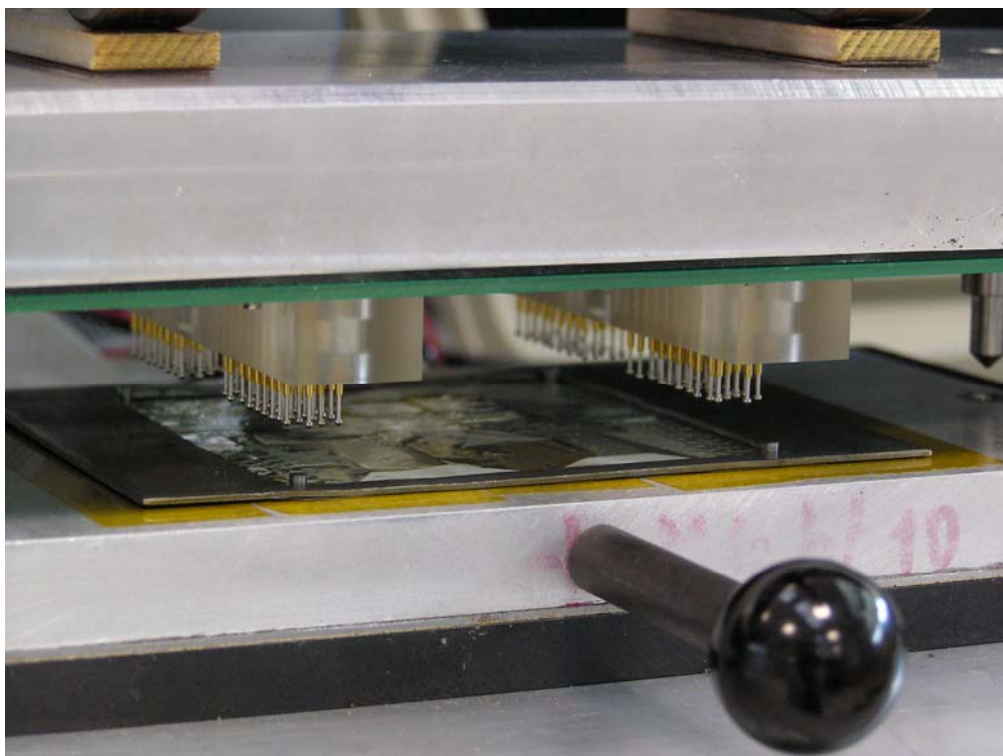


*Zasunovací část stolku, na kterou se přikládají čipy*

Pomocí vakua se přisaje, tak že se nemůže pohnout a my můžeme přiložit měřící čidla do předem určených pozic. Poté se na folii přitiskne destička s jehlami, která je pevně připevněna ke stolku.

Na každou jehličku se buď přivádí napětí, nebo se čte jeho hodnota z čipů. Jediným přitisknutím tak je otestován celý hybrid. Jedinou chybou destičky s jehlami je, že byla vyrobena ručně a tak o veliké přesnosti nemůže být řeč.

Prototyp, který doktor Pachr Italům dovezl při své minulé návštěvě, se osvědčil a byl přijat velmi kladně. Bylo uvedeno jen pár poznámek k vylepšení. Tyto požadavky byly akceptovány a byly vyrobeny tři nové stolky, které jsme vezli s sebou.



*Detail detekční karty s jehlami*



*Detekční stolek*

S doktorem Pachrem jsme je připravili k měření. Kvůli k vysoké preciznosti, se kterou byly stolky vyrobeny a velké přesnosti, není mezi jednotlivými díly stolku téměř žádná vůle. Vysoká přesnost byla Italy vyžadována, ukázalo se však, že jejich požadavky byly zbytečně přehnané, zřejmě z důvodu, že nevěřili v naši schopnost dodat přesný výrobek. O přesnosti dílů dodaných Italy by se dalo velmi úspěšně polemizovat. Stolkům se při cestě povolily některé šrouby a ty způsobovaly malé zadrhávání. Po malém povolení a dotažení bylo vše v pořádku. Vybrali jsme jeden kus, který jsme nadále používali místo prototypu, který Italové používali do našeho příchodu. Vzhledem k tomu, že tyto stolky stejně jako hybridy jsou prototypy, vyskytují se různé nepředvídatelné problémy. Pro proměřování již byla sestavená měřicí soustava a byl naprogramován měřicí program v Labview. Tuto soustavu používali Italové s prototypem. Kvůli nedodání nových hybridů, byli nuceni Italové používat jediný funkční (aspoň doufali, že je funkční) hybrid. Problém, který se vyskytoval byl dosti závažný, avšak vzhledem k podmínkám velmi těžko řešitelný. Při některých měřeních se nepodařilo najít vůbec žádný signál a detekovali jsme jen rušení. Během měření jsme vyvrátili mnoho nápadů, proč se tomu tak děje. Na konci jsme dospěli k závěru, že problémem nejspíš bude opotřebování hybridu, který byl již testován několik setkrát. Na takovou zátěž nebyl konstruován a vzhledem k tomu, že s ním máme zatím jen velmi malé zkušenosti s pár exempláři, nemůžeme dost dobře předpovídat jeho chování v tak extrémních podmínkách. Tímto jsme naší práci na hybridech ukončili, neboť jediný model, který byl k dispozici, byl jen částečně funkční a nebyli jsme schopni říct, kde je chyba.

## **4.2 Testovací soustava**

### **4.2.1 Detektor**

Jedná se o SDD detektor, který bude použit v projektu ALICE. Každý detektor, který bude v ALICEi použit, musí být otestován. Toto testování se provádí v Terstu. Samotný detektor má katody vzdáleny 120 mikronů. Na čtyřech místech do něj byly vyleptány malé značky tvaru kříže, které nám pomáhaly s orientací na detektoru a s nastavením os. Sběrání dat z detektoru bylo zprostředkováno čipy AMBRA a

PASCAL, které byly na obou stranách detektoru. Požadavky projektu chtějí po SDD přesnost pod 30 mikronů. V průběhu testu na svazku se ukázalo, že chyby vzniklé nehomogenitami a nedokonalým děličem napětí, mohou dosahovat až stovek mikronů, z tohoto důvodu je třeba každý detektor otestovat a určit jeho kalibraci.

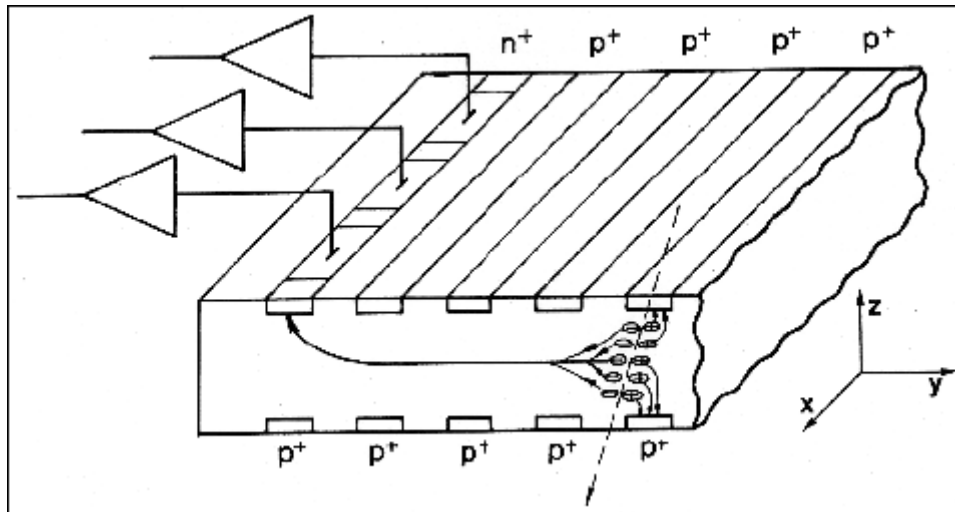


Schéma SDD

#### 4.2.2 Soustava

Alicovský SDD byl umístěn v temné komoře na mikroposuvném stolku. Na samotný detektor krom napájení byl zapojen hybrid, tedy PASCAL a AMBRA. Ty byly zapojeny do CARLOSe a všechny tyto přístroje byly podřízeny CARLOS RX. Ten pak byl napojen přes PCI kartu do počítače. Celá detekční soustava je vlastně malým modelem toho, jak to bude vypadat v opravdové ALICEi.

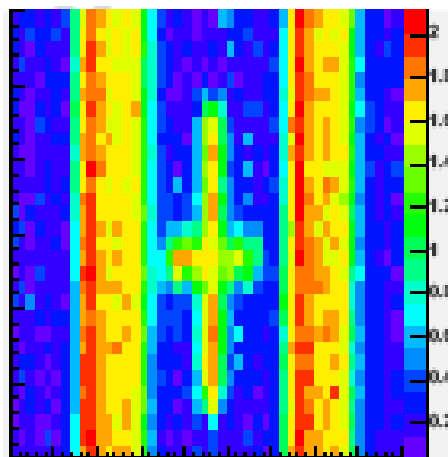
#### 4.2.3 Pohyb

Mikroposuvný stůlek, který jsme používali, byl napojen na NEWPORT MOTION CONTROLLER MM4006. Toto zařízení je velmi důmyslné a o dost překračovalo naše požadavky, pracovali jsme s mikronovou přesností, a to ve všech třech osách. Vzhledem ke komplexním možnostem je k zařízení vymyšlena vlastní programovací syntaxe. Zadávání povelů je pak realizováno přiloženým programem. Bohužel tento program funguje jen pod Windows a na počítači, který byl k tomuto pokusu určen, jel

Linux. Tak bylo nutné hledat náhradní řešení zadávání povelů. Bylo použito v INFN velmi oblíbené Labview. Tento program se ukázal pro práci s MM4006 jako velice nešťastný. Syntaxe Labview totiž vyžaduje poněkud jiný styl příkazů, než jaký byl v návodu k MM4006. Navíc se všechny příkazy do Labview musely naprogramovat, což se ne vždy povedlo. Výsledkem toho bylo, že místo velmi jednoduchého ovládání, které bylo precizně popsáno v návodu i s příklady, jsem byl nucen vymýšlet oklady, kde má snaha většinou skončila na nekorespondenci Labview a MM4006 syntaxe. K seřízení a k určení přesné polohy byla k ramenu s laserem připevněna kamera. Vzdálenost prostředku obrazu kamery od místa dopadu laseru byla známa. Dále jsme věděli, že laser nedopadá kolmo, ale s odchylkou 2,5 stupně. K určení os a polohy jsme pak využívali čtyř děr ve tvaru křížků, které byly vyleptány na některých katodách.



*Vyleptaný křížek na katodě*



*Jeho rekonstrukce, kde každý pixel má rozměr 5x5 mikronů*



#### 4.2.4 Pulsy

Samotné testování bylo prováděno laserem. Pulsy k sepnutí laseru vydávalo samotné MM4006. Pulsy byly vytvářeny PULSE GENERATOR PM5786B. Hlavní součástí triggerovacího systému pak byl VARIABLE OUTPUT POD DG2020, který přijímal signály od stage a přeposílal do laseru. S malým časovým odstupem pak vyslal puls i do CARLOSE RX a ten aktivoval PASCAL a AMBRAu. Časový odstup musel být vložen pro zpoždění signálu elektronů, které musí urazit.

#### 4.2.5 Ovládání a dataakvizice

Vlastní ovládání bylo přes PC, díky PCI kartě a programu Labview. V Labview bylo naprogramováno grafické prostředí k nastavení stage. K data akvizičnímu procesu byl použit DAQ RUN CONTROL, který bude použit i při ALICEi. Při jednom mappingu detektoru bylo nasbíráno pře 80GB dat!

### 4.3 Testování

Obsahem testování mělo být důkladné zmapování celého povrchu detektoru. Tak jsme měli získat přehled o kvalitách detektoru. Zpětně pak měly být znovu prozkoumány data získaná při testování na urychlovači. Při letu oblaků elektronů se totiž elektrony nepohybují pořád stejnou rychlostí. Tato chyba je způsobena nelineárnostmi na děliči napětí. Laserové testování nám umožňuje určit takto vzniklou chybu, která může dosáhnout až několika stovek mikronů. Další chyby vznikají nehomogenitami v dopování.

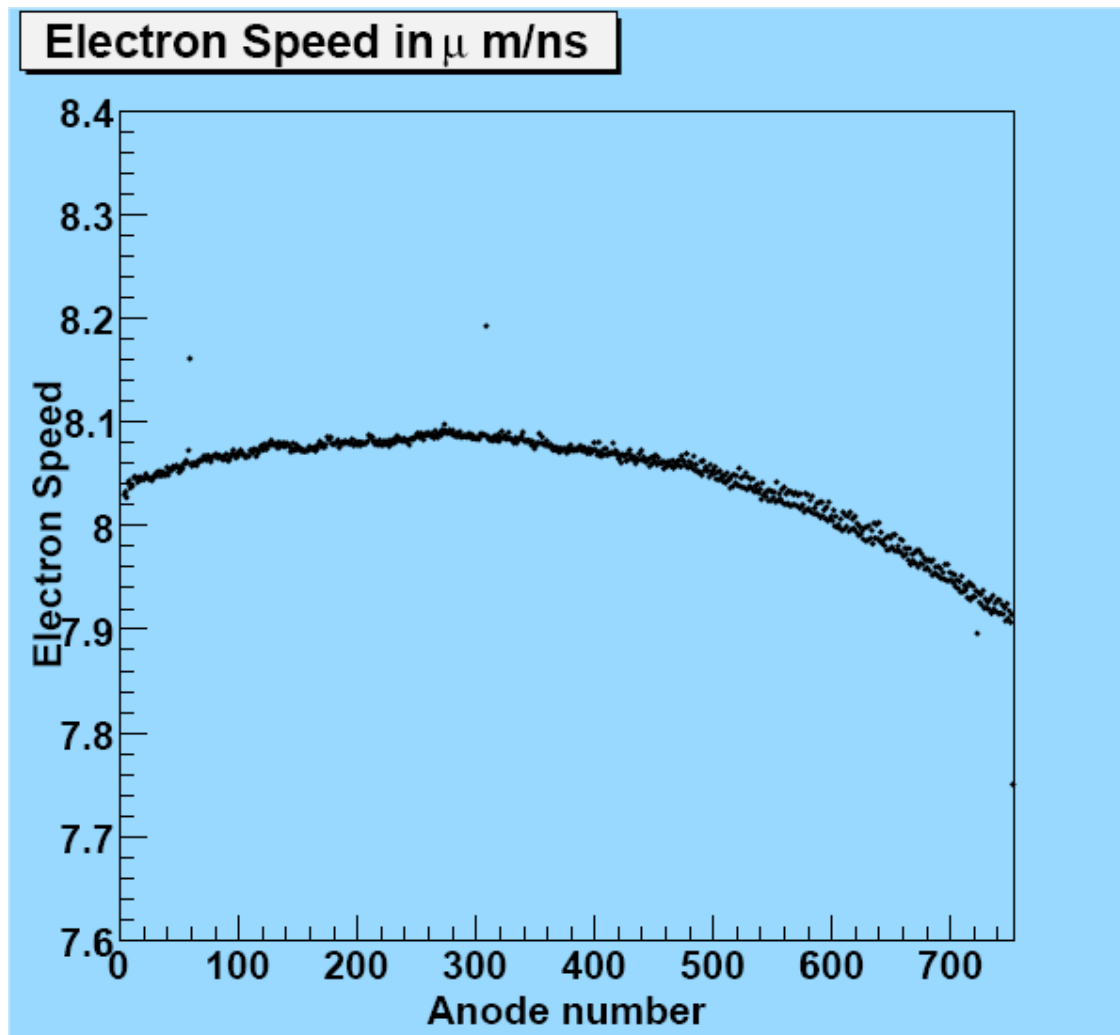
Bylo naplánováno důkladné zmapování celého detektoru. Proto bylo rozhodnuto, že budeme vysílat puls mezi každé dvě katody, tedy co 120 mikronů. A to v řadách vzdálených od sebe 100 mikronů. To při rozměrech detektoru dává  $582 \times 755 = 439410$  eventů. Doba strávená čekáním tedy byla velká. MM4006 umožňuje dva druhy pohybu. Jeden se zaznamenáním polohy v době vyslání pulsu a následném

uložení této polohy. Druhý režim je bez ukládání. Při první variantě jsme nechali detektor přes noc, protože doba potřebná byla kolem 8 hodin. Při druhém režimu celé mapování trvalo asi 2,5 hodiny. Jak již jsem zmínil, po celém mappingu, měla nasbíraná data objem kolem 80 GB. Jejich zpracování, které bylo prováděno programy, trvalo dalších 8 hodin. Vzhledem k časové náročnosti a vzhledem k problémům, které se během toho objevily, jsme nakonec provedli jen asi dvě plné mapování s ukládáním polohy, z toho jen při jednom jsme ukládali data a později je zpracovávali.

Celá detekční soustava byla při mém příchodu již zapojena. Začali jsme tedy s testováním. První problém, který se vyskytl, byl, že osy x a y detektoru na sebe nebyly kolmé. Odchylka byla sice nepatrná, ale vzhledem k mírám, ve kterých jsme se pohybovali, se po čase projevila. Stolek měl příkaz posunu pod určitým úhlem (myšleno ne přesně po ose), bohužel nebyl tento příkaz kompatibilní s Labview. Jak velké nesnáze to přineslo, zmíním později. Přes zbytečnou pracnost byl tento problém vyřešen. Natočili jsme podložku, na které ležel detektor, a postupným zmenšováním výchylky, jsme nastavili osu x detektoru rovnoběžnou s osou MM4006. Osa y tedy byla o nepatrný úhel posunuta. Toto posunutí bylo tak malé, že jsme se rozhodli ho opravovat jen každou desátou řadu pulsů. Problémy s Labview způsobily, že v programu byla použita absolutní poloha odkud kam se má stolek pohnout a kdy vysílat pulsy. To znamená zadání každé polohy ručně, což bylo dosti úmorné. Hlavní mou snahou poté bylo napsat program, který by byl jednodušší a využíval relativního pohybu vůči startovacímu bodu. Toto se mi po jistém čase povedlo, avšak výsledek nebyl příliš uspokojivý. Při takto naprogramovaném pohybu se totiž stávalo, že se pohyb přerušil a programy na počítači spadly. Přerušování se objevovalo náhodně, ale vždy. Nedokázali jsme určit, proč se to děje. Při mém odjezdu to byla jedna z mnoha nezodpovězených otázek. Dalším problémem bylo, že detektor nebyl rovný po celé své ploše. V jednom rohu se jakoby ohýbal dolů. Tento problém byl nevyřešitelný a prostě jsem ho ignorovali.

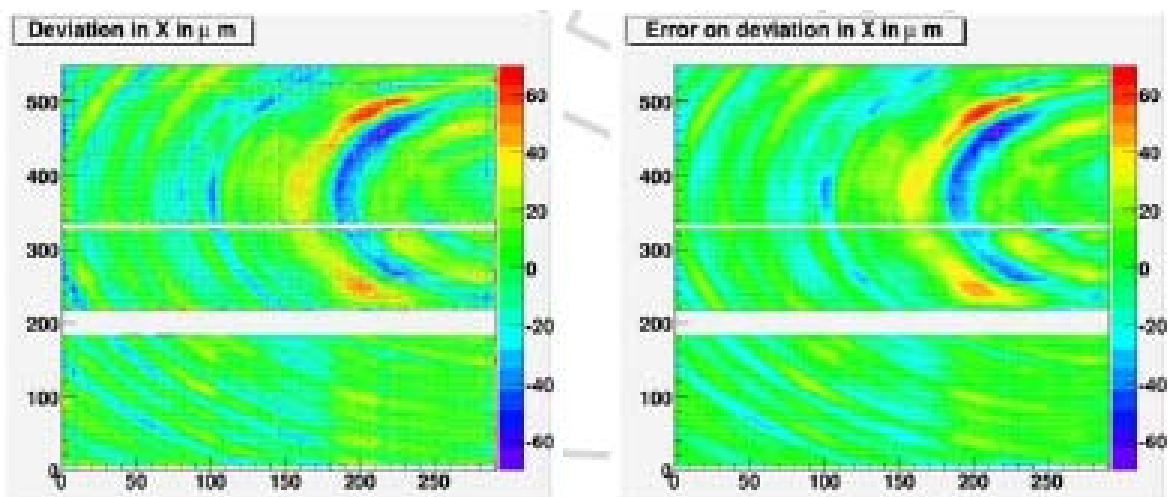
## 4.4 Analýza

Jakmile jsme úspěšně provedli první scan s ukládáním dat, mohli jsme začít s analýzou. Tu převážně prováděl francouzský kolega s pomocí jednoho italského studenta. Pomocí programu, které sami psali, se snažili získaná data zpracovat a upravit. Bohužel jsem uprostřed analýzy musel odejít, a to v době, kdy se konečně začalo dařit získaná data upravit tak, aby se z nich daly dělat nějaké závěry. Abych alespoň částečně mohl něco předložit, nechal jsem si hotovou analýzu poslat a zde jsou některé výsledky.



Závislost rychlosti elektronu na anodě

Nekonstantnost zachycená na předchozím grafu je způsobena zahříváním křemíkové destičky odporovými děliči, které jsou po stranách desky. Přesto můžeme říct, že výchylka není příliš velká. Nás ovšem nezajímá ani tak jaký je přesný průběh rychlosti, pro nás jediná podmínka je, aby tato rychlost byla konstantní. Ke každému detektoru bude vypracováno měření jeho vlastností, díky nimž budeme moci každý detektor přesně zkalibrovat.

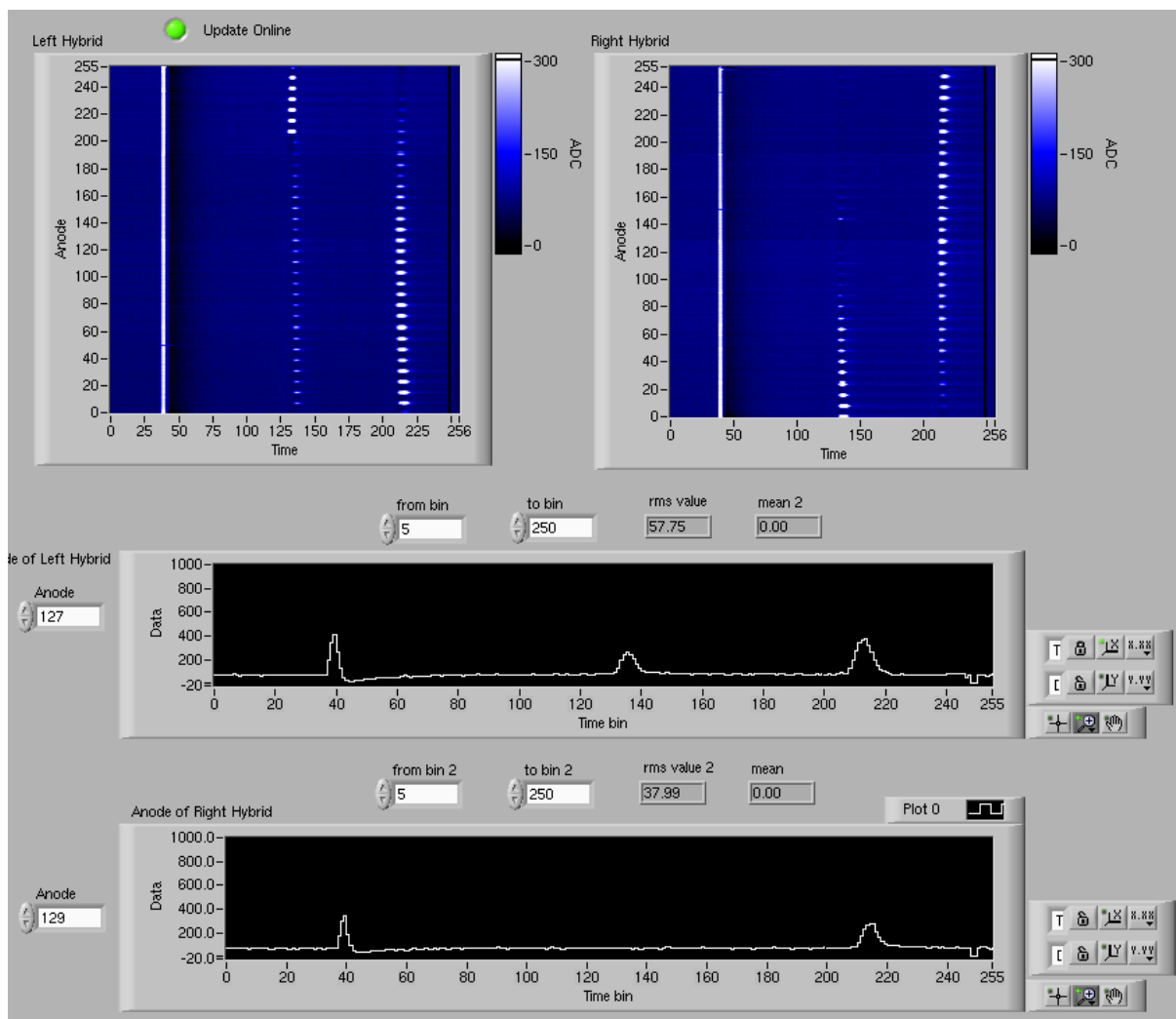


*Rozdíl mezi rekonstruovanou a reálnou hodnotou místa dopadu v driftovém směru mikronech, po korekcích na nelinearity vysokého napětí*

*Bílé pruhy jsou místa mrtvých anod nebo dat o špatné kvalitě*

*Na obr. vlevo jsou naměřená data, na obr. vpravo data po datové redukci a zpětné Fourierově transformaci*

Při následné analýze naměřených dat bude použita kalibrace provedená předtím laserem v laboratoři. Podstatným problémem, který však vzniká, je velikost dat. Kalibrace každého detektoru má totiž zhruba 900MB, tedy při 260 detektorech použitých při experimentu, vzniká obrovská potřeba úložného prostoru. Odfiltrováním šumu pomocí Fourierovy transformace se nám podaří zmenšit velikost dat pro jeden detektor až na 15MB, při zachování informace. Porovnání analýzy přímo a po aplikování zmenšené kalibrace a zpětné Fourierovy transformace, která je vidět na předchozím obrázku, můžeme říct, že tento postup je korektní a může být použit. Na následujícím obrázku, je signál po zapnutí MOS injektoru. Vidíme tři píky, první je zachycení spouštěcího napětí injektoru na anodách, další dva patří už samotným injektorům. Na obrázku jde vidět prostředí, které online ukazuje naměřená data.



Signál po spuštění MOS injektorů

Na obrázku jde vidět, že jeden z injektorů v pravé polovině detektoru není funkční.

Závěrem tedy můžeme říci, že proces kalibrace křemíkových detektorů je úspěšný, navíc se podařilo i zmenšit velikost dat potřebných k jejímu provedení.

## 5 Práce na katedře

### 5.1 Úvod

Během tohoto školního roku jsme se pod vedením doktora Petráčka snažili rozběhnout testovací soustavu, jejíž jádrem by byl SDD používaný v projektu CERES. Vzhledem k tomu, že se tento detektor již nepoužívá, je naše snaha vedena jen snahou získat nové zkušenosti. Na této práci se mnou spolupracuje David Tlustý, Jiří Král a Dan Gazda. Přičemž Jiří Král se stará o programování a věci s tím spojené. Naším cílem je mít funkční SDD, který by mohl fungovat ve dvou režimech. První, který by se použil nejspíše jen na začátku během testování detektoru a funkčnosti soustavy, by byl proměřování eventů po zásazích laserem. Druhý by pak byl použit k zaznamenávání kosmického záření. Při tomto módu by byl SDD v koincidenci se dvěma scintilačními detektory, které by byly nad ním a pod ním. Celá soustava by byla řízena přes počítač. Scintilační detektory by sloužily jako trigger k vyloučení částic, které proletí soustavou příliš šikmo a u nichž by nebylo možno určit přesně polohu, neboť počet uvolněných elektronů při elektronů by byl příliš nízký.

### 5.2 Realita

Detektor jsme se rozhodli umístit do jedné opuštěné místnosti na katedře, ve které se skladovaly zářiče a sloužila jako odkladiště pro různé nepotřebné věci. Po vyházení nepotřebných věcí a odnesení aktivního vzorku uranu do trezoru, kde by byl skutečně stíněn, jsme si začali přetvářet místnost dle našich představ. Velkou výhodou byla temná skříň, kterou jsme si dovezli z CERN z experimentu CERES a

kteřá po nemnoha úpravách byla opravdu světlotěsná. Nanosili jsme si přístroje a materiály a začali krok po kroku sestavovat náš detektor.

Bohužel se nám nepodařilo rozběhnout celou soustavu a zbývá na ní ještě mnoho práce. Začnu s již splněnými úkoly.

- našli jsme vhodné funkční scintalátory a k nim vhodné fotonásobiče.
- vyrobili jsme z nich funkční scintilační detektory, které jsou světelně izolované. otestovali jsme je pomocí kosmického záření a nastavili koincidence mezi nimi
- našli jsme vhodný podstavec, na který jsme umístili detektor
- podařilo se nám rozběhnout ovládání posuvného stolku, na kterém bude připevněn podstavec s detektorem, pomocí počítače
- vyrobili jsme převodník signálu NIM do TTL a naopak, který budeme používat při měření driftové vzdálenosti a při trigování soustavy

Největším problémem, který stojí před námi je bezesporu rozjetí ovládání celé detekční soustavy. Počítač, který máme k dispozici, je již vybaven PCI kartou, která se projí s VME rámem. Problémy jsou však jednak softwarové a jednak díky tomu, že máme komponenty poskládané ze zbytků různých projektů, problém mezi jednotlivými součástmi aparatury. Předpokládám, že i přes velké vytížení mého školitele Dr. Petráčka, jehož zkušenosti a odbornost budou nepostradatelné v posledních krocích, bychom mohli být schopni do půli zimního semestru začít první měření.

Jak jsem již zmínil, detektor z projektu CERES slouží výhradně k tomu, abychom se seznámili s problematikou a získali určité zkušenosti. Pokud půjde vše dobře, bude naším druhým krokem sestavení a testování detektoru, který bude použit v ALICEi. Půjčení detektoru a dalších součástí jsme domluvili s italskými kolegy. Pokud bude vše probíhat podle našich představ, budeme schopni sestavit měřicí soustavu totožnou s tou, jež bude použita v ALICEi, tedy včetně CARLOSů. Výsledkem by byla možnost mít k dispozici možnost měření na detektoru, který je na špici vývoje. Předpokládám, že by celá soustava byla dále využívána k studijním účelům.

## 6 Závěr

Tímto bych chtěl poděkovat Dr. Petráčkovi za podporu a rady, které mi v průběhu psaní této práce dal. A dále za to, že mi umožnil odjet na stáž do Itálie.

### ***Použitá literatura:***

*<http://cquark.fjfi.cvut.cz/~petracek/>*

*<http://www.to.infn.it/~batigne/>*

*ALICE Technical Proposal for A Large Ion Collider Experiment at the CERN LHC ,  
CERN 1995*

*ALICE Technical Design Report of the Inner Tracking System, CERN 1999*