

Výzkumný úkol

**ANALÝZA DAT ZE STUDIA SRÁŽEK RELATIVISTICKÝCH  
ATOMOVÝCH JADER**

V. POSPÍŠIL

OBSAH

1. Úvod	2
2. Fyzikální program HADESu	4
3. Popis detektoru HADES	6
3.1. Kroužkový Čerenkovovův detektor (RICH)	7
3.2. Drátové driftové komory (MDCs)	9
3.3. Magnet	9
3.4. Sprškový detektor (SHOWER)	10
3.5. Detektory START a VETO	10
3.6. Detektor TOF	11
3.7. Detektor TOFino	14
3.8. Triggering a sběr dat	15
4. Kalibrace START a TOF	17
4.1. Systém ROOT	17
4.2. Soubor knihoven HYDRA	17
4.3. Kalibrace STARTu	18
4.4. Kalibrace TOF	20
4.5. Problémy a závady elektroniky	23
4.6. Kalibrace STARTu pro jednotlivé dny	26
4.7. Kalibrace TOFu pro jednotlivé dny	27
5. Identifikace částic	28
5.1. Statistická metoda identifikace částic	28
5.2. Identifikace hadronů z experimentálních dat C - C 2 GeV	30
6. Závěr	32
7. Příloha - makra používaná pro kalibraci	33
Reference	44

## 1. ÚVOD

Pozorování dějů v horké a husté jaderné hmotě je relativně mladé a slibné odvětví fyziky vysokých energií. Umožňuje nám poznat procesy, které probíhaly v několika prvních okamžicích existence vesmíru a dnes probíhají již jen v jádrech neutronových hvězd a při natolik vzdálených a fantastických událostech, jako je například vznik černé díry. Protože okolní svět má s rostoucí hustotou energie tendenci k jistému "zjednodušování", dá se předpokládat, že nám chování hmoty o vysoké hustotě a teplotě ozřejmí nejzákladnější fyzikální zákony, kterými se hmota řídí. Je jasné, že experimenty s horkou a hustou jadernou hmotou budou technicky velmi náročné. Jak je vlastně možné takový stav hmoty vytvořit? Do období řádově mikrosekund po velkém třesku se již podívat nemůžeme a jen velmi lehkomyšlný fyzik by se snažil vyrobit černou díru v pozemské laboratři, máme však mnohem dostupnější prostředek - srážky ultrarelativistických atomových jader.

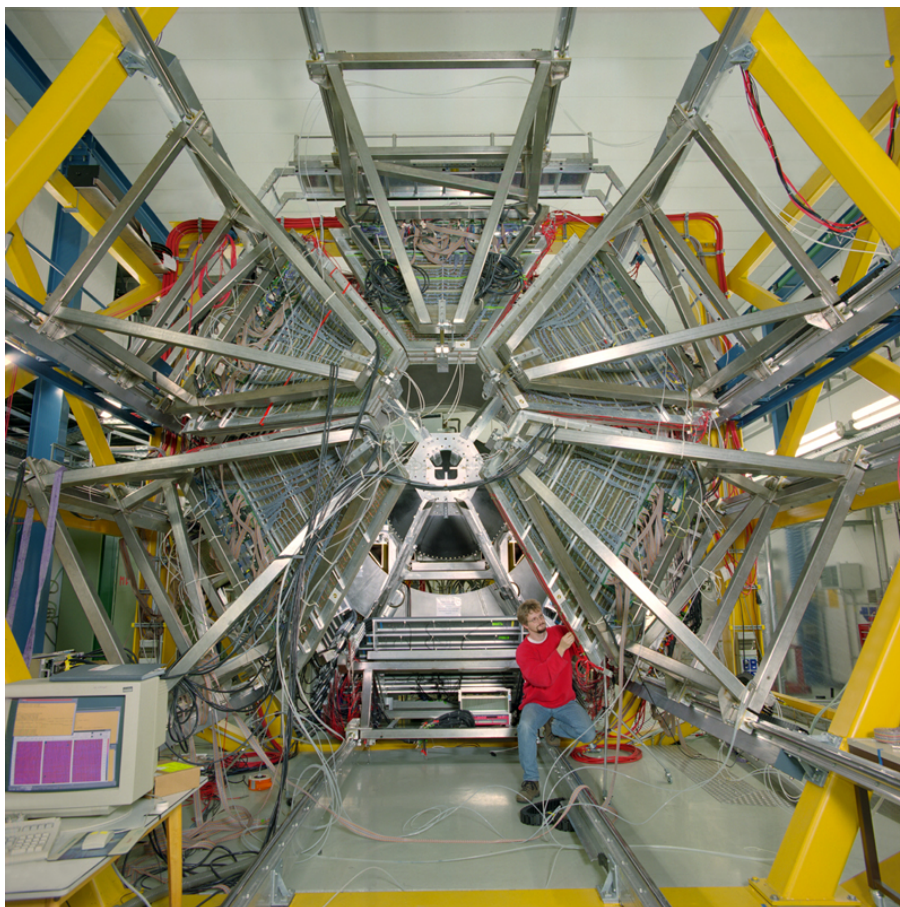
Urychlíme-li atomová jádra na rychlost blízkou rychlosti světla, ponese s sebou značnou energii. Necháme-li je srazit, uvolní se tato energie ve velmi malém prostoru srovnatelném s rozměry jádra. To má za následek přechod jaderné hmoty do fáze tzv. hadronového plynu, kdy se jednotlivé nukleony pohybují víceméně volně a nezávisle na sobě. V tomto prostředí probíhají snadněji reakce s vysokou prahovou energií, jakými jsou například tvorba mezonů a částic s nenulovou podivností. Tento fakt byl prokázán na urychlovači BEVALAC již v sedmdesátých letech minulého století. Soudobé teorie dále předpovídají, že s rostoucí hustotou energie budou volné nejen nukleony, ale i vazby mezi kvarky jednotlivých nukleonů budou slábnout. Tento jev se nazývá *znovunastolení chirální symetrie*. Při dostatečné energii pak systém prodělá fázový přechod do tzv. *kvark - gluonového plasmatu* (QGP), což je směs volně se pohybujících samostatných kvarků a gluonů. Volné kvarky za běžných podmínek nelze nalézt, a pokud se existence QGP potvrdí, bude to znamenat výrazné rozšíření poznatků o stavbě a vlastnostech hmoty.

Děje při jaderných reakcích nelze sledovat přímo, protože dosah jaderných sil je velmi krátký. Chceme-li zjistit, co v oblasti srážky probíhá, musíme pozorovat vyletující produkty a z jejich statistického rozdělení usoudit, zda jsou předpovědi teorií správné či nikoliv. V souvislosti se znovunastolením chirální symetrie a QGP je předpovězeno několik pozorovatelných fyzikálních jevů, například zvýšená produkce podivných částic a potlačení produkce mezonů  $J/\Psi$  (ve srovnání s obyčejným hadronovým plynem), jiné rozdělení primárních fotonů a hadronů, související s jinou rychlostí rozpínání a chladnutí QGP, a zejména pak změna klidové hmotnosti částic a doba života rezonancí.

K tomuto jevu má dle teoretických předpovědí docházet v libovolném prostředí s vyšší hustotou energie než má vakuum. Nejlépe bude pozorovatelný právě v horké a husté jaderné hmotě, neboť pro vysoké hustoty energie by se hmotnost konstituentských kvarků měla blížit hmotnosti normálních a tudíž klidová hmotnost hadronů klesne velmi výrazně. Tento jev postihuje všechny částice, kvůli technickým problémům je ale možné jej pozorovat jen u některých. Nejvhodnějšími kandidáty jsou vektorové mezony  $\rho$ ,  $\omega$  a  $\phi$ , protože mají krátkou dobu života (řádově desítky femtosekund) a rozpadají se na leptonové páry ještě před opětovnou hadronizací a vymrznutím. Leptony pak opustí prostor srážky neovlivněné okolím (neinteragují silně) a z jejich energie lze odvodit hmotnost původní částice. Zkoumáním tohoto jevu se

v minulosti zabýval experiment NA45/CERES v CERNu, v současné době měření energie leptonových párů vznikajících při srážkách ultrarelativistických iontů probíhají například v GSI Darmstadt, SRN na detektoru HADES (High Acceptance DiElectron Spectrometer). Tohoto experimentu se účastní devatenáct institucí z devíti států Evropy, mimo jiné i ÚJF Řež. Skupina z Řeže má na starosti subdetektor TOF (Time-Of-Flight wall), sloužící k rozlišování elektronů na hadronovém pozadí a jako trigger první úrovně.

Následující text popisuje detektor HADES a práci, kterou autor v rámci řežské skupiny vykonal při měření, kalibraci TOF a detekci částic jako výzkumný úkol zadávaný studentům čtvrtého ročníku FJFI ČVUT v Praze (akademický rok 2002/2003). Měření s uhlíkovým svazkem (  $2 \text{ GeV/nukleon}$  ) na uhlíkový terčik proběhlo na konci roku 2002 (konkrétně 19. 11. - 17. 12. 2002). Detektor sbíral data každou noc (přes den je urychlovač GSI využíván k lékařským účelům), kromě 1. - 5. 12., kdy byla učiněna technická přestávka. Následné práce s daty a tvorba závěrečné zprávy skončily 12. 9. 2003.



OBR. 1. Celkový pohled na HADES (v ose svazku proti směru letu částic).

## 2. FYZIKÁLNÍ PROGRAM HADESU

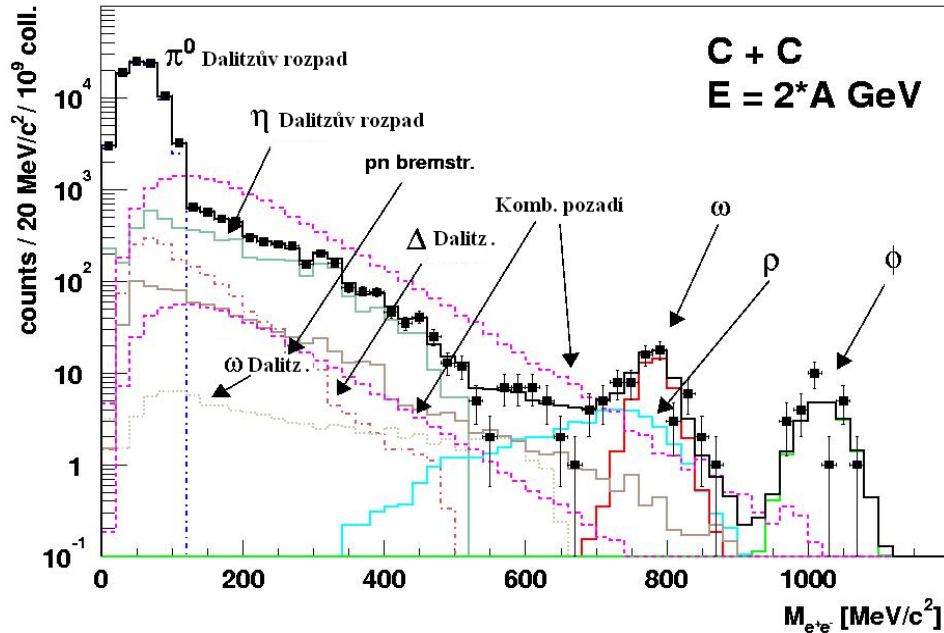
Fyzikální program HADESu je poměrně široký (viz [1]), nicméně jej lze shrnout do tří základních bodů:

- Pozorování spekter párů  $e^+e^-$  vznikajících při srážkách těžkých iontů
- Pozorování spekter párů  $e^+e^-$  vznikajících při srážkách elementárních částic
- Pozorování spekter párů  $e^+e^-$  vznikajících při srážkách elementárních částic s atomovými jádry

Srážky různě těžkých iontů (v první fázi C - C) budou pozorovány při dvou různých energiích svazku (v laboratorní soustavě). První je zvolena jako  $E = 1 \text{ GeV/nukleon}$ . Tato energie nedosahuje prahové hodnoty nutné k tvorbě vektorových mezonů při srážkách nukleon - nukleon. Druhá je  $E = 2 \text{ GeV/nukleon}$ , což je v současné době maximální energie dosažitelná urychlovačem v GSI. Měla by být dostatečná k tvorbě mezonů  $\eta$ ,  $\rho$ ,  $\omega$ , a pravděpodobně i  $\phi$ .

Jelikož páry  $e^+e^-$  pocházejí při srážkách těžkých iontů z mnoha různých kanálů, potřebujeme znát mechanismy a účinné průřezy tvorby párů při kolizích a reakcích elementárních částic.

Na obr. 2 je simulace rekonstruovaného hmotnostního spektra částic. Energie každého zaznamenaného páru  $e^+e^-$  se převádí na hmotnost a vynáší do grafu. Černou barvou (kolečka) je naznačena suma všech podstatných zdrojů - tedy to, co bude pozorováno při vlastním experimentu, jednoduchými barevnými čarami pak jednotlivé předpokládané zdroje párů  $e^+e^-$ .



OBR 2. Simulované spektrum invariantních hmotností ( C - C při  $E = 2 \text{ GeV/nukleon}$  ).

Na detektoru HADES je plánováno prostudovat reakci

$$\pi^+ p \rightarrow R \rightarrow \rho \Delta^{++} \rightarrow e^+ e^- X,$$

která by měla být ekvivalentní s

$$\pi^- p \rightarrow R \rightarrow \rho \Delta^- \rightarrow e^+ e^- n,$$

kde R značí nějakou baryonovou rezonanci, X pak nějaký blíže neurčený produkt. To je důležité pro plánované studium dalších reakcí

$$\pi^- p \rightarrow R \rightarrow \rho n \rightarrow e^+ e^- n,$$

$$\pi^- p \rightarrow R \rightarrow \omega n \rightarrow e^+ e^- n,$$

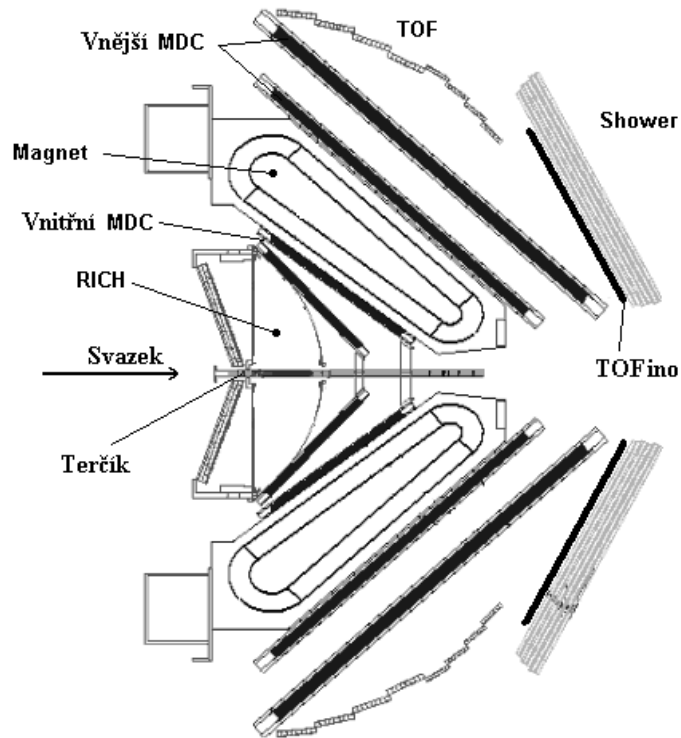
které by mělo ozřejmit vztahy mezi baryonovými rezonancemi v nízko položených hladinách a mezony  $\rho$  a  $\omega$ .

Protože hmotnosti mezonů v horké a husté jaderné hmotě je nutné s něčím porovnat, bude HADES proměřovat i jejich vznik v jaderné hmotě za běžných podmínek. Předpokládá se, že toto měření bude realizováno srážkami záporných pionů s jádrem olova.

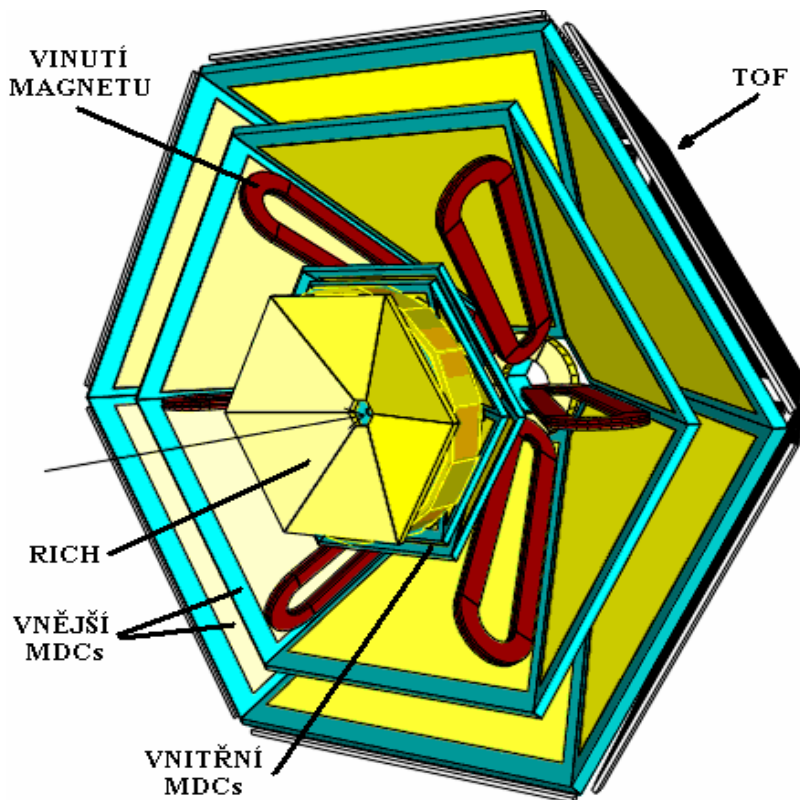
### 3. POPIS DETEKTORU HADES

Konstrukce spektrometru HADES je podřízena potřebě pracovat v prostředí s vysokým počtem hadronů. Detektor musí být schopen vybrat z množství částic vznikajících při srážkách ultrarelativistických atomových jader leptony, kterých je řádově méně než hadronů, a změřit jejich energii s dostatečnou přesností. Elektron - pozitronových párů pocházejících z rozpadů vektorových mezonů je velmi málo - jeden pár připadá na  $10^5 - 10^6$  centrálních srážek  $Au + Au$ . Z těchto důvodů musí HADES mít následující vlastnosti:

- Velká geometrická akceptance (40%) kombinovaná se schopností zaznamenávat vysoké četnosti  $\approx 10^6$  reakci/s
- Rozlišení klidových hmotností částic kolem procenta ( $\frac{\Delta m_0}{m_0} \approx 1\%$ )
- Poměr signál - šum větší než jedna až do klidové hmotnosti částic  $m_0 \approx 1 \text{ GeV}c^{-2}$ .
- Vysoká granularita pro minimalizaci vícenásobných zásahů a pro přesnou informaci o dráze částice



OBR 3. Průřez spektrometrem HADES.



OBR 4. Nákres HADESu.

Spektrometr HADES je schematicky znázorněn na obrázcích 3 a 4. Má šestiúhelníkovou konstrukci a pokrývá polární úhel  $18^\circ < \Phi < 85^\circ$ . Jeho hlavní součástí je detektor RICH umístěný kolem terčíku. Je citlivý na leptony a hadrony přitom ignoruje. Sestava drátových komor (MDC, Multi-Wire Drift Chambers) společně se supravodivým magnetem umožňují měření hybnosti nabitých částic. Detektor TOF spolu se sprškovým detektorem (SHOWER) tvoří druhý systém k rozlišování leptonů a zároveň slouží jako trigger první úrovně. TOF a SHOWER se souhrnně nazývají META (Multiplicity and Electron Trigger Array). Součástí sestavy jsou rovněž detektory START a VETO zajišťující triggering první úrovně. Podrobné informace lze nalézt v [2] a [3].

### 3.1. Kroužkový Čerenkovův detektor (RICH).

Detektor RICH (Ring Imaging Cherenkov Detector) je zařízení umožňující identifikaci elektronů a pozitronů a jejich odlišení od řádově vyššího počtu hadronů, které vznikají při pozorovaných srážkách [4] [5].

V energetickém režimu HADESu ( $2 \text{ GeV/nukleon}$ ) mají po srážce emitované elektrony a pozitrony rychlost velmi blízkou rychlosti světla ( $\beta = \frac{v}{c} \approx 1$ ), zatímco hadrony se pohybují nejvýše s  $\beta = 0.95$ . Vhodnou volbou plynové náplně (a tlaku) lze zajistit, aby emise Čerenkovova záření v detektoru RICH spustily pouze takové částice, které mají  $\beta > 0.95$ . RICH je pak zcela slepý vůči hadronům a registruje

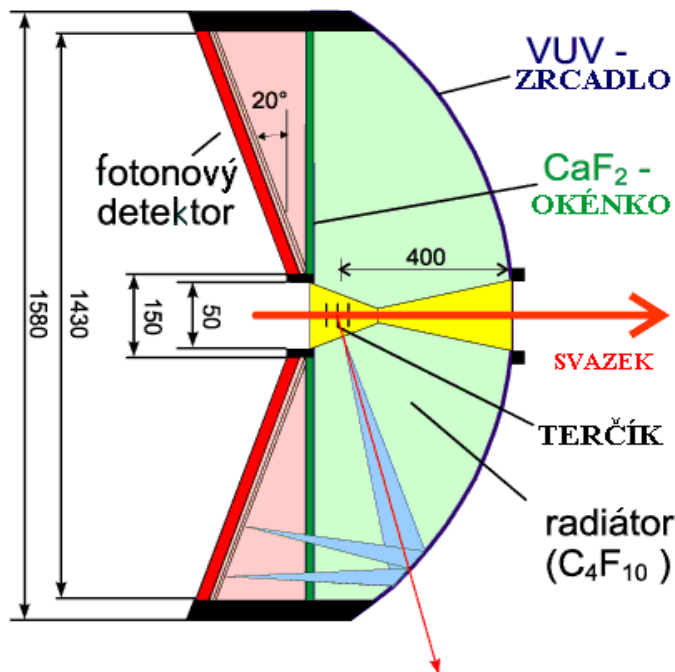
pouze leptony a leptonové páry. Může proto sloužit i jako trigger druhé úrovně, tj. ze zaregistrovaných událostí vybere jen ty, ve kterých figurují leptony.

Radiátor je tvořen plynem  $C_4F_{10}$ , který obklopuje terčik v celé přední hemisféře. Jeho pracovní tlak se pohybuje mezi 1000–1200 hPa, index lomu má  $n = 1.00151$ , je transparentní pro světlo až do vlnové délky  $\lambda = 145 \text{ nm}$  a vykazuje pouze nízké scintilace.

Pro všechny polární úhly je Čerenkovovo záření odráženo a fokuzováno sférickým zrcadlem na fotonový detektor do kroužků o zhruba konstantním poloměru ( $d \approx 5 \text{ cm}$ ). Toto zrcadlo je z technických důvodů rozčleněno do šesti sektorů po třech panelech. Má poloměr křivosti  $R = 871 \text{ mm}$  a průměr  $d = 1.5 \text{ m}$ . Aby byl minimalizován vliv mnohonásobného rozptylu fotonů a tvorby nežádoucích párů  $e^+e^-$ , je vyrobeno z čistého uhlíku ( $Z = 6$ ). Jeho povrch je leštěný a pokrytý vrstvou  $Al + MgF_2$ . Zrcadlo dosahuje až 80% reflektivitu v ultrafialové oblasti  $150 \text{ nm} < \lambda < 250 \text{ nm}$ .

Fotonový detektor se skládá z šesti proporcionálních třívrstevných drátových komor plněných  $CH_4$ . Komory jsou opatřeny  $CsI$  fotokatodou a pracují při napětí  $U = 2550 \text{ V}$ . Dopadne-li na katodu foton Čerenkovova záření, vyrazí z ní elektron, který je s pravděpodobností větší než 95% komorou detekován. Fotony do detektoru vstupují oknem složeným z 64 šestiúhelníkových krystalů  $CaF_2$ , které mají dobrou propustnost pro UV.

Schema detektoru RICH je na obr. 5.



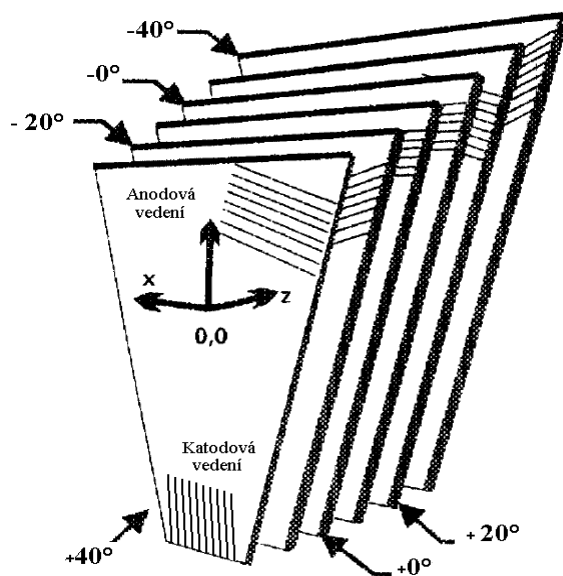
OBR 5. Průřez detektorem RICH.



### 3.2. Drátové driftové komory (MDCs).

Systém HADESu pro sledování drah částic je tvořen čtyřmi drátovými komorami (Multi-wire Drift Chambers I - IV), dvěma před vinutím supravodivého toroidálního magnetu a dvěma za. Komory mají takový sklon, aby dráhy částic vyletujících od terčíku s nimi svíraly přibližně pravý úhel.

Každou z komor tvoří šest vrstev anodových a katodových drátů. Anodová vedení jsou natočena vzhledem k okraji komory pod úhly  $-40^\circ$ ,  $+20^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $-20^\circ$ ,  $+40^\circ$ , což zajišťuje minimalizaci nejednoznačností při rozlišování drah jednotlivých částic. Katodové vrstvy mají jednotný sklon  $90^\circ$ . Sestava jednotlivých vrstev je na obr. 6.



OBR 6. Nákres vrstev driftových komor.

Velikost jednotlivých buněk tvořených dráty se různí, u nejmenší komory (I) je  $5 \times 5 \text{ mm}$ , u největší (IV) pak  $10 \times 14 \text{ mm}$ . Tak je zachována jednotná granularita pro všechny komory. Při této sestavě se očekává obsazení buněk při jedné události maximálně 30%. Anodové dráty jsou vyrobeny z wolframu pokoveného zlatem a mají tloušťku  $20 \mu\text{m}$ , katodová vlákna jsou hliníková,  $80 \mu\text{m}$  v průměru.

Jako plynové náplně je v MDC komorách použita směs  $\text{He} - i\text{C}_4\text{H}_{10}$  v poměru 3 : 2. Podrobnější informace viz [4] a [6].

Je nutné poznamenat, že z důvodu náročnosti výroby byly během měření v listopadu a prosinci 2003 instalovány pouze tři z šesti vnějších driftových komor.

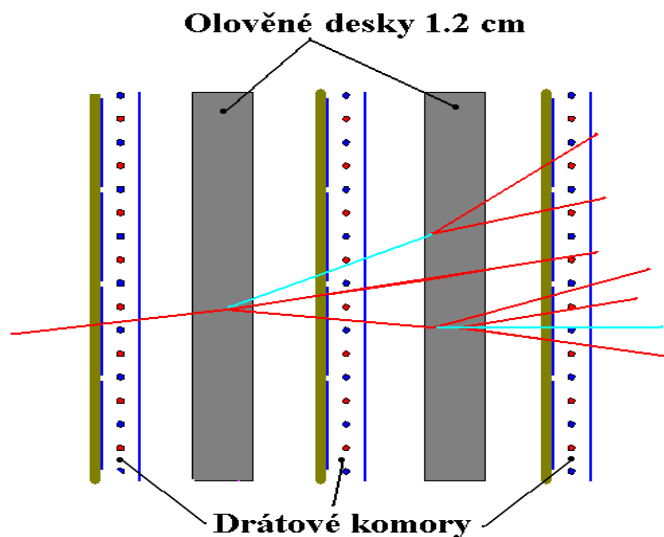
### 3.3. Magnet.

Detektor HADES je vybaven supravodivým toroidálním magnetem s šesti vinutími v nezávislých vakuových komorách. Spolu s MDC tvoří spektrometrickou soustavu. Magnet vytváří pole o intenzitě  $0.7 \text{ Tesla}$ , což stačí k určení hybnosti nabitých částic s přesností na 1%.

### 3.4. Sprškový detektor (SHOWER).

Detektor SHOWER poskytuje dodatečnou identifikaci leptonů v oblasti s nízkými polárními úhly. Do blízkosti svazku vyletuje příliš mnoho částic a leptonové kroužky detektoru RICH se zde mohou překrývat a být nejasné. Rozlišování částic je ještě komplikováno tím, že hadrony vyletující pod malým polárním úhlem mohou mít velmi vysoké hybnosti. Jejich rychlost se tak příliš neliší od rychlostí elektronů a pozitronů a selhává tedy i identifikace pomocí doby letu (detektor TOF).

Základní myšlenka SHOWERu spočívá v měření elektromagnetických spršek, které elektrony a pozitrony iniciují v materiálech s vysokým protonovým číslem. Sprškový detektor HADESu je tvořen třemi drátovými komorami a dvěma vloženými olověnými konvertory (viz obr. 7). Zda prolétající částice spustila v olovu spršku se odhaduje z množství náboje, který sebraly drátové komory před a za olověnými deskami. Detektor je konstruován tak, aby množství náboje vytvořené v ionizačních komorách bylo co nejméně závislé na lineární brzdě schopnosti částic. Elektron prolétající komorou v ní zanechá signál přibližně shodný s protonem a sebraný náboj je úměrný pouze počtu částic, které do komory vletěly. Tak je zajištěno, že elektromagnetické spršky (tvořené mnoha nabitými částicemi) budou jen v minimálním počtu případů zaměněny s jednotlivými energetickými protony. Dodatečné informace o SHOWERu lze získat v [4], [7] a [8].

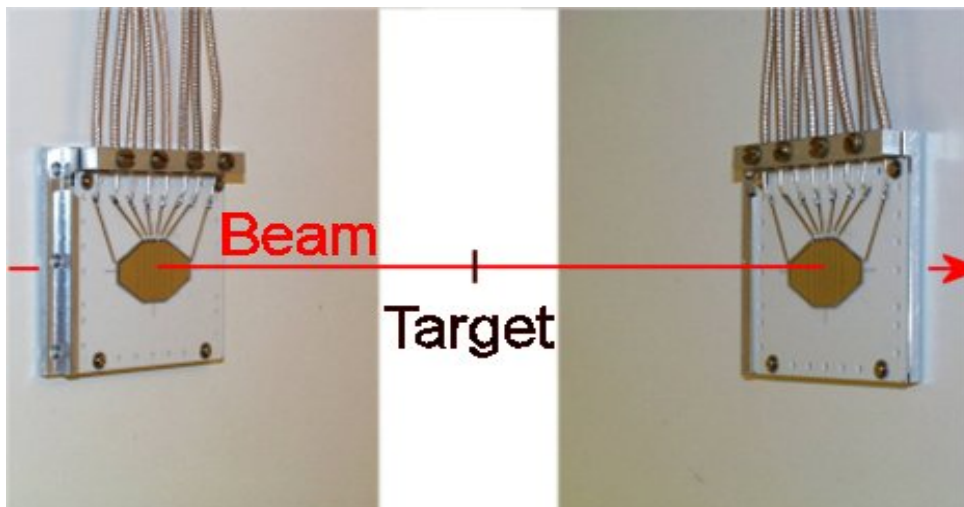


OBR 7. Průřez detektorem SHOWER.

### 3.5. Detektory START a VETO.

Detektory START a VETO jsou osmiúhelníkové diamantové polovodičové detektory, tvořené osmi pásky a jsou umístěny 75 cm po obou stranách terčíku. START inicializuje sběr dat, proletí-li jím částice svazku (a určuje tak čas, kdy reakce proběhla), detektor VETO jej naopak zakazuje (částice proletěla terčíkem bez toho, aby interagovala).

Rozměry detektorů jsou  $25 \times 15 \text{ mm}$  a shodují se s rozměry, které má svazek  $75 \text{ cm}$  před / za terčíkem. Aby se omezil vliv vícenásobných rozptylů a nežádoucích reakcí, je tloušťka diamantové vrstvy pouze  $100 \mu\text{m}$ . Celá plocha počítače je rozdělena na osm svislých proužků, což umožňuje rychlý sběr dat a lepší časové rozlišení, než kdyby byl START / VETO jednoduší [4]. Vzhled detektorů je zřejmý z fotografie na obr. 8.



OBR 8. Fotografie detektorů START / VETO.

### 3.6. Detektor TOF.

Subdetektor TOF (Time-Of-Flight wall) slouží ke třem hlavním účelům:

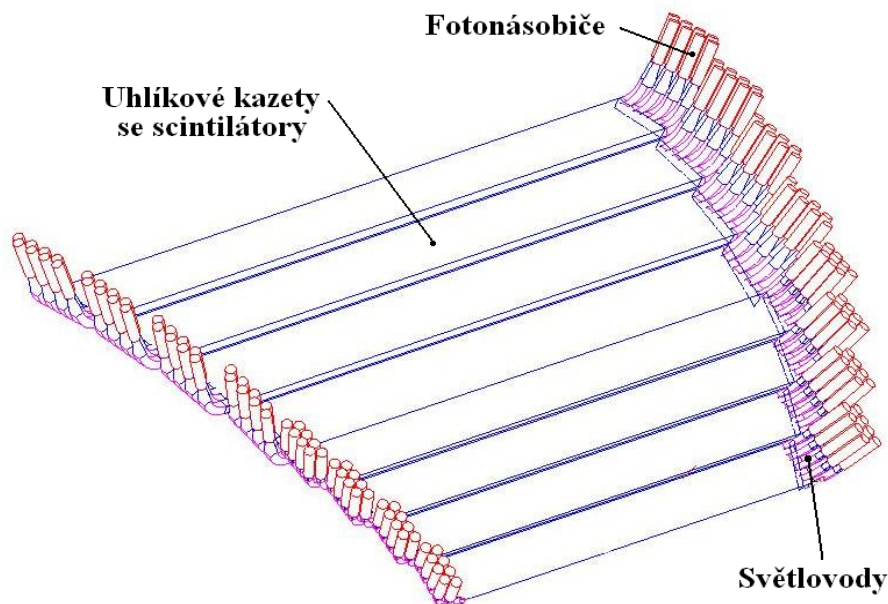
- Měření doby letu částic pocházejících ze sledovaných interakcí. Při dané geometrii detektoru je doba letu částice úměrná její rychlosti. Znalost rychlosti nám umožňuje odlišit od sebe elektrony (resp. pozitrony) a těžší částice jako piony a protony.
- Rychlý odhad multiplicity částic v každé sledované interakci. Srážka dvou relativistických jader má obvykle mnoho produktů. Události ve kterých figuruje pouze malý počet částic není nutné zaznamenávat. TOF tedy funguje i jako trigger první úrovně pro sběr dat.
- Rychlý odhad směru letu částice. V korelaci s detektorem RICH tvoří TOF také trigger druhé úrovně.

TOF má hexagonální strukturu odpovídající celému detektoru a pokrývá úhel  $44^\circ < \Phi < 88^\circ$ . Je sestaven ze 384 scintilačních tyčí a sady fotonásobičů. Na každém se šesti sektorů je rozmístěno 64 tyčí v osmi modulech vyrobených z uhlíkového kompozitního materiálu. Materiál modulu zaručuje světlotěsnost a mechanickou odolnost. Zároveň je dostatečně lehký, takže minimalizuje pravděpodobnost tvorby párů  $e^+e^-$  z kosmického  $\gamma$  záření v blízkosti scintilačních tyčí, a částice pocházející z pozorovaných srážek v něm ztrácí pouze zlomek své energie. Rozměry

tyčí se mění v závislosti na poloze v sektoru. Tyče nejblíže ke svazku mají průřez  $20 \times 20 \text{ mm}^2$ , tyče nejdále od svazku  $30 \times 30 \text{ mm}^2$ . To zajišťuje dostatečně jemné prostorové rozlišení v oblastech s nízkým polárním úhlem, do kterých vylétuje největší množství částic ze srážek. Každá z tyčí je zakončena dvěma světlovody navazujícími na fotonásobiče. Světlovody jsou zahnuty vzhledem k tyči do úhlu  $65^\circ$  resp.  $67.5^\circ$ . K tyči se připevňují optickým lepidlem. Čtvercový průřez světlovodu (shodný se scintilační tyčí) postupně přechází na kruhový, navazující na vstupní okénko fotonásobiče. Pro lepší světelnou vodivost a zamezení odrazů na rozhraní se mezi světlovod a fotonásobič vkládá silikonový kroužek.

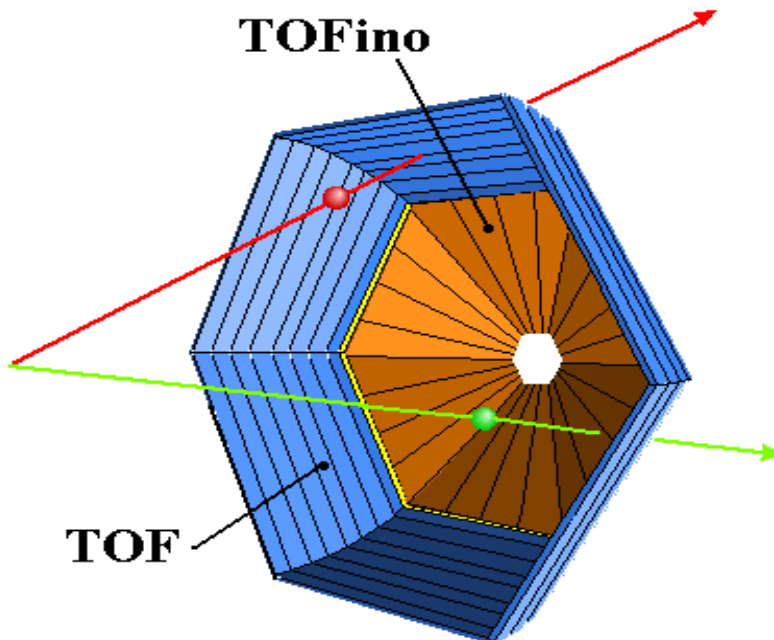
Detektor TOF je vybaven lineárními fokuzovanými fotonásobiči EMI 9133B (Electron Tubes ldt.), které ve spojení se speciálními děliči napětí umožňují současné časové i amplitudové měření. Vzhledem k tomu, že detektor se nachází v silném magnetickém poli, je nutné fotonásobiče odstínit. Byla použita fólie ze slitiny  $Co + Fe + Cr + Si + B$ . Předpokládaná indukce magnetického pole v oblasti, kde se nacházejí fotonásobiče, je  $6.5 \times 10^{-3} \text{ T}$ , při testovací hodnotě  $7.5 \times 10^{-3} \text{ T}$  nebyl pozorován žádný vliv na funkci fotonásobičů.

Struktura sektoru TOF je na následujícím schématu:

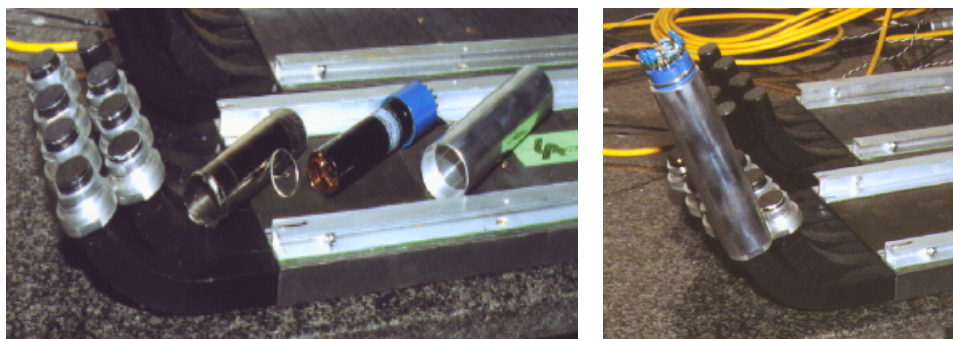


OBR 9. Nákres jednoho sektoru detektoru TOF.

Další schema pak zobrazuje celkovou konfiguraci všech šesti sektorů TOFu i s detektorem TOFino:



OBR 10. Celková konfigurace detektoru TOF / TOFino.



OBR 11. Fotonásobiče detektoru TOF (vlevo rozebrané, vpravo sestavené).

Prolétne-li některou z tyčí nabitá částice, vzbudí scintilační odezvu, která je postupně registrována fotonásobiči. Každý z fotonásobičů poskytne informaci o tom, kdy k události došlo ( $t_{left}$ ,  $t_{right}$ ), a amplitudu světelného signálu ( $a_{left}$ ,  $a_{right}$ ). Zkombinováním těchto informací dostaneme následující údaje:

$$tof = \frac{1}{2} \left( t_{right} + t_{left} - \frac{L}{V_g} \right),$$

$$x = \frac{1}{2} (t_{right} - t_{left}) V_g,$$

$$\Delta E = k \sqrt{a_{left} a_{right} \exp \frac{L}{\lambda_{at}}},$$

$$\tilde{x} = \frac{\lambda_{at}}{2} \ln \left( \frac{a_{left}}{a_{right}} \right),$$

kde  $tof$  je doba letu částice (měřeno od okamžiku, kdy částice svazku prošla detektorem START),  $x$  souřadnice místa, kde částice zasáhla tyč (měřeno od středu tyče),  $\Delta E$  energie, kterou v tyči zanechala, a  $\tilde{x}$  rovněž souřadnice zásahu.  $L$  je délka tyče a  $V_g$  grupová rychlost, tj. rychlost světla v daném materiálu.

Tyče jsou vyrobeny ze scintilátoru BC408 (Bircon), který má vhodné parametry; jsou to zejména atenuační délka ( $\lambda_{at} \approx 3.8 \text{ m}$ ), scintilační konverze ( $\approx 10^4$  fotonů/MeV) a doba vysvícení  $2.1 \text{ ns}$ .

Elektronika TOFu se skládá ze dvou nezávislých sekvencí, každá pro jeden ze signálů fotonásobiče.

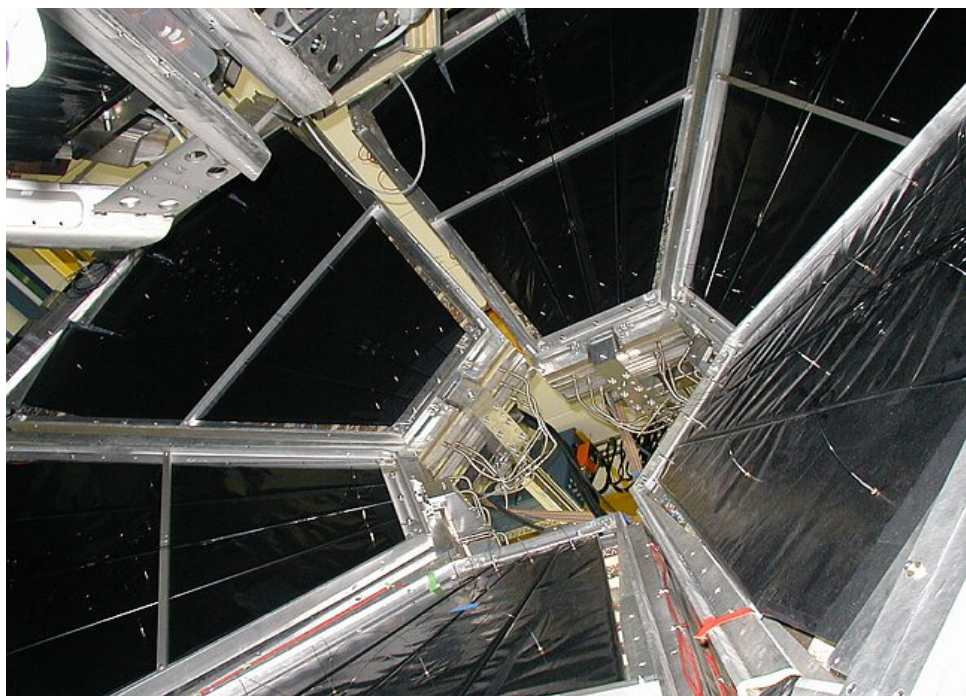
Časová větev je tvořena diskriminátorem (CFD - constant fraction discriminator), zpoždovacím modulem (LAD - logical active delay) a časově-digitálním převodníkem (TDC - time to digital converter). CFD jsou 16-kanálové CAMACovské moduly C808 (CAEN, Itálie) modifikované speciálně pro použité fotonásobiče a plastické scintilátory. Zpoždění pomocí dlouhých kabelů se ukázalo jako krajně nevhodné, proto byly pro HADES vyrobeny 32-kanálové moduly LAD, které dovoluují nastavit zpoždění v rozsahu  $300 - 420 \text{ ns}$  s chybou menší než 5%. Moduly CFD a LAD přispívají k celkovému rozptylu časového měření méně než  $100 \text{ ps}$ . Moduly TDC byly taktéž vyrobeny speciálně pro HADES. Jejich rychlost převodu je kolem  $10 \text{ } \mu\text{s}$  a dosahují přesnosti větší než 0.04% FWHM.

Amplitudovou větev tvoří tvarovací modul (shaper), který zajišťuje zesílení a vytvarování signálu nahrazujícího funkci LAD a analogově - digitální převodník (ADC). Celková doba převodu amplitudového signálu z fotonásobiče na signál digitální je menší než  $10 \text{ } \mu\text{s}$ .

Podrobnější informace viz [9] a [10].

### 3.7. Detektor TOFino.

Z důvodu vysoké ceny fotonásobičů je TOF ukončen na polárním úhlu  $\Theta = 44^\circ$  (viz obr. 10). Pro nižší úhly jeho funkci přebírá detektor TOFino (viz obr. 12), který má shodný princip činnosti jako TOF, je ale konstrukčně jednodušší a výrazně lacinější (ovšem za cenu nižšího rozlišení). Sektor TOFina je tvořen čtyřmi scintilátory deltovitého tvaru, které přiléhají k detektoru SHOWER a pokrývají celou jeho plochu. Signál každého scintilačního "pádla" sbírá jeden fotonásobič. Z toho důvodu není samotné TOFino schopno určit polohu zásahu částic a neurčitost měření času je v řádu nanosekund. Tyto nedostatky odstraňuje korelace s detektorem SHOWER, nicméně TOFino není uzpůsobeno pro pozorování srážek s vysokou multiplicitou produktů, a do budoucna je plánováno nahradit ho nějakým vhodným plynovým detektorem.



OBR 12. Fotografie detektoru TOFino.

### 3.8. Triggering a sběr dat.

V experimentech, které probíhají na spektrometru HADES, se předpokládá až  $10^6$  událostí za sekundu. Údaje z jedné události mají ovšem 4 kB a současná magnetická média nejsou schopna zaznamenat několik gigabyte dat za sekundu. Kromě toho většina z událostí je pro HADES nezájímavá - neobsahují buď žádné leptony, nebo jen jeden. Proto je nutné zapojit výkonný a rychlý systém, který je schopný v reálném čase rozhodnout, kterou událost zaznamenat. Tento systém (tzv. trigger) je u HADESu členěn do tří úrovní:

- (1) Výběr centrálních srážek podle multiplicity produktů
- (2) Výběr událostí obsahujících leptonové páry
- (3) Softwareový výběr událostí

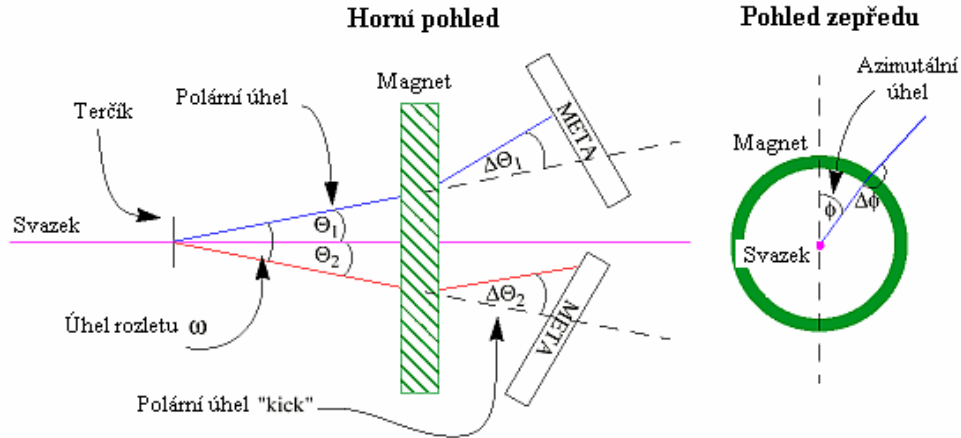
#### 3.8.1. Trigger první úrovně.

Trigger první úrovně je u HADESu založen na měřeních subdetektorů TOF, TOFino a START. Zaznamená-li START částice ze svazku, mohou nastat dvě možnosti : částice buď proletí terčíkem bez povšimnutí (pak ji zaznamená detektor VETO a událost rovnou vyloučí), nebo se srazí s částicí terčíku s různým stupněm centrality. Z centrální srážky vyletí značné množství produktů, jejichž multiplicitu velmi rychle změří detektory TOF a TOFino. Je-li produktů dostatečný počet (pro srážky C - C alespoň 4), událost je postoupena triggeru druhé úrovně. Je-li jich

méně, událost se nezaznamená. Tento mechanismus může vyloučit asi 90% nezajímavých srážek z dalšího zpracování.

### 3.8.2. Trigger druhé úrovně.

Proces výběru událostí na druhé úrovni sestává ze dvou kroků. Nejprve je prohlédnut výstup z detektoru RICH a prozkoumáno, zda obsahuje nějaké kroužky. Zároveň se vyhodnocují údaje ze SHOWERu a TOFu. Tyto procedury provádějí nezávislé procesory. Ve druhém kroku jsou pak nalezené potenciální elektrony předány tzv. srovnávací jednotce. Ta zjistí, zda jsou signály RICHe a SHOWERu (resp. RICHe a TOFu) korelovány a zda mohou pocházet od leptonů (pokud ano, pozice signálů se musí lišit zcela minimálně) a zda se v události vyskytují leptonové páry. Změna úhlu  $\Delta\theta$  v magnetickém poli je úměrná hybnosti částice. Srovnávací jednotka může tedy také rozhodnout, zda nějaký z párů má hybnost přibližně odpovídající hybnosti leptonového páru pocházejícího z rozpadu nějakého vektorového mezonu. Událost je zaznamenána pouze v takovém případě, že splní všechna tato kritéria. Údaje analyzované srovnávací jednotkou jsou schematicky naznačeny na obr. 13.



OBR 13. Schema funkce srovnávací jednotky.

Tento proces (který probíhá v reálném čase bez zápisu na magnetická média, a je tedy dostatečně rychlý) zredukuje události, které propustil trigger první úrovně, asi  $10\times$  (pro srážky C - C, v případě těžších iontů, jako zlato či uran, by mohl redukční poměr být až  $10^{-2}$ ).

### 3.8.3. Trigger třetí úrovně.

Třetí úroveň triggeringu probíhá už na softwareové bázi. Princip je v podstatě shodný s triggerem druhé úrovně, zapojuje se do něj ale i detektor MDC. Údaje z drátových komor vyloučí náhodné TOF - RICH koincidence, jejich zpracování je však pomalé, a data musí být tedy již velmi zředěna.



#### 4. KALIBRACE START A TOF

Nedílnou součástí analýzy dat je kalibrace měřicí aparatury. Jelikož HADES je velmi složitý systém, není možné, aby tuto práci zastal jediný člověk. Jednotlivé subdetektory byly kalibrovány lidmi z příslušných skupin. V tomto textu bude popsána pouze kalibrace detektoru TOF a START tak, jak ji autor provedl.

Veškeré potřebné výpočty pro kalibraci i pro analýzu dat probíhaly v systému ROOT, který je stručně popsán v následujícím odstavci.

##### 4.1. Systém ROOT.

ROOT je objektivě orientované prostředí zaměřené na analýzu a zpracování rozsáhlých dat z experimentů fyziky vysokých energií. Byl vyvinut v polovině devadesátých let pro potřeby experimentu NA49 v CERNu. NA49 během jednoho měření nasbíral kolem 10 terabyte dat a takové množství informace již stávající programové vybavení nebylo schopné spolehlivě zvládnout. Potřeba nového výpočetního a statistického nástroje se stala více než zřejmou.

Systém ROOT zajišťuje množství funkcí schopných zpracovat obrovské množství údajů velmi efektivním způsobem. Kromě specializovaných metod úschovy dat zahrnují také tvoření 1, 2 a 3 dimenzionálních histogramů, jejich prokládání zvolenými funkcemi, numerické výpočty a 2D i 3D vizualizace, to vše přístupné buď v interaktivním módu nebo pomocí maker.

Součástí systému ROOT je CINT C++ interpreter, používaný pro komunikaci s uživatelem v interaktivním režimu a pro zpracovávání skriptů. Jak už je z názvu tohoto programu patrné, ROOTovské skripty jsou psány v C++. V tomto jazyce probíhá i komunikace přes příkazovou řádku [11].

##### 4.2. Soubor knihoven HYDRA.

HYDRA je soubor knihoven a metod určený k rekonstrukci událostí z dat získaných při měření nebo simulacích a rozpoznávání částic [12]. Je psán objektivě v jazyce C++ a spolupracuje s ROOTem. Jeho modulární struktura umožňuje vysokou variabilitu při volbě rekonstrukčních a analyzačních metod. Dovoluje například zvolit, kterou část detektoru je nutné při zpracování dat brát v potaz, což se využívá zejména při kalibraci jednotlivých subdetektorů, kdy data z ostatních částí HADESu nejsou potřebná a leckdy ani dostupná.

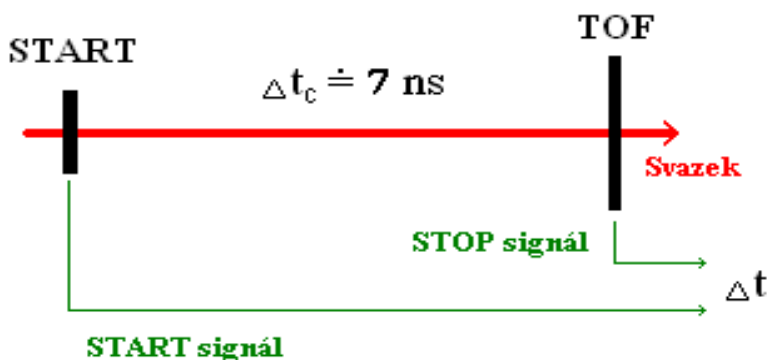
Zpracování dat probíhá zhruba v následujících krocích:

- Určení aktivních částí detektoru. Operátor zadává, které subdetektory a jejich části se budou v dalších výpočtech používat.
- Určení vstupních parametrů a jejich verze. To jsou například údaje o geometrii detektoru a kalibrační parametry. Tyto parametry mohou být načteny buď ze souboru určeného operátorem, anebo z centrální databáze HADESu (ORACLE).
- Určení zdroje dat. Může to být například soubor s nezpracovanými daty, která ukládá na disk systém sběru dat (Data Acquisition System, DAQ), data pocházející ze simulací nebo dokonce data z HADESu v reálném čase (ovšem značně zředěná - určeno pro kontrolu během měření).

- Určení metod a procedur, které se budou vykonávat při každé události.
- Automatický proces zpracování. Program bere ze vstupu určité množství informace odpovídající velikosti jedné události, aplikuje na ně zadané procedury se vstupními parametry specifikované operátorem a zapisuje výsledky do ROOTovských histogramů nebo na jiný určený výstup.

#### 4.3. Kalibrace STARTu.

Detektor START se kalibruje z dat svazkového měření. Má osm částí, pro každou z nich je vyžadován offset, který vyjadřuje relativní zpoždění signálů vůči ostatním částem STARTu při přenosu kabely a zpracování elektronikou. Princip určování offsetů je velmi jednoduchý:

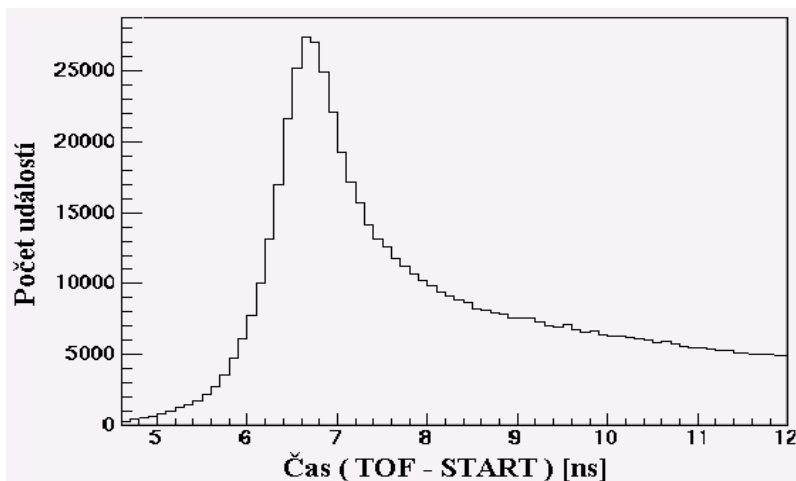


OBR 14. ZÁKLADNÍ PRINCIP KALIBRACE STARTU

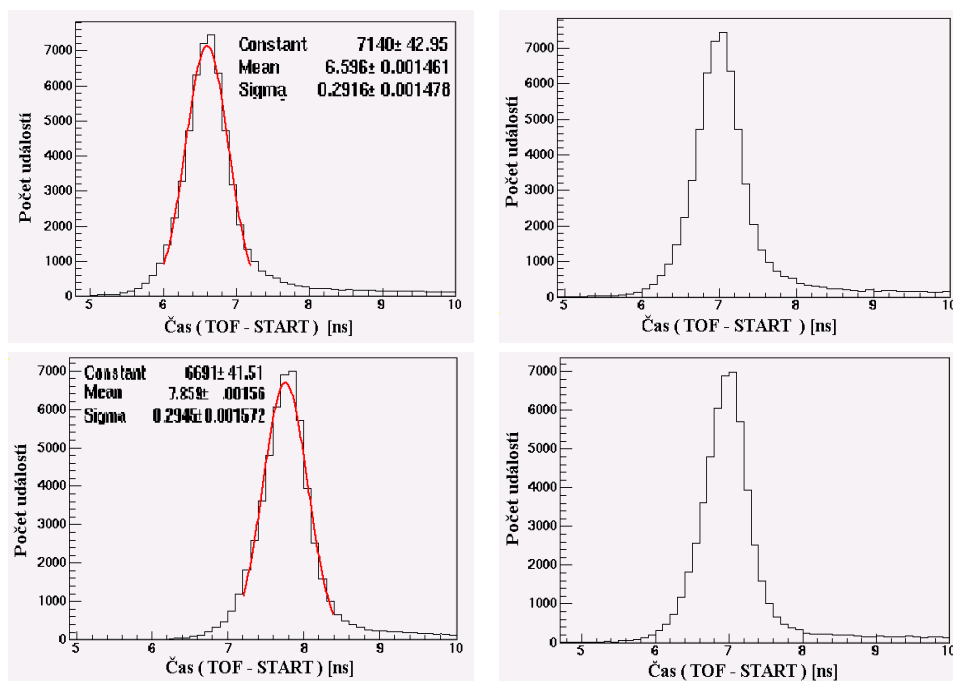
Poloha STARTu vůči TOFu je známá, částice letící rychlostí světla ji urazí za přibližně za  $7\text{ ns}$ . Tuto rychlost můžeme přisoudit jak částicím svazku (jsou relativistické), tak i leptonům, které vznikají při srážkách s částicemi terčíku. Částice procházející STARTem a produkt srážky prošlý TOFem určují dva časové okamžiky, které jsou od sebe vzdáleny

$$\Delta t = tof - start$$

Měříme-li pro dostatečný počet částic tento rozdíl, získáme charakteristické časové spektrum začínající výrazným píkem částic s  $\beta \approx 1$  a klesající s rostoucím  $\Delta t$  (viz obr. 15).

OBR 15.  $\Delta t$  nezkalibrovaného STARTu, proužek 4.

Pokud měříme  $\Delta t$  s vypnutým magnetickým polem a provádíme-li korelaci s detektorem RICH (zaznamenáváme jen elektrony a pozitrony), vidíme pouze onen pík ve tvaru Gaussovy křivky. Díky rozdílům v kabeláži a elektronice je ale jeho maximum pro každý proužek STARTu na jiném místě. Je třeba určit aditivní konstanty, které zajistí, že píky budou na stejné hodnotě (v praxi se používá oněch 7 ns). Na obr. 16 jsou histogramy zobrazující nezkalibrované (vlevo) a zkalibrované (vpravo) časové spektrum TOF - START v korelaci s detektorem RICH pro proužky STARTu 4 (nahore) a 5 (dole):



OBR 16.

Praktický postup kalibrace STARTu je následující:

- Naměření experimentálních svazkových dat.
- Zpracování dat z detektorů START, TOF a RICH. Zahrnuje kontrolu, zda částice prošou TOFem zaznamenal také detektor RICH (jedná se tedy o elektron či pozitron), a plnění histogramů.
- Hrubá kalibrace TOFu (pouze podle jednoho z osmi proužků STARTu)
- Určení offsetů pro každý proužek STARTu. Spočívá v nařizování naměřeného spektra  $\Delta t$  Gaussovou funkcí a vypočítání rozdílu její střední hodnoty a času  $t = 7 \text{ ns}$ .
- Zapsání offsetů do databáze parametrů.

#### 4.4. Kalibrace TOF.

Zasáhne-li scintilátor TOFu nějaká částice, světelný záblesk zaznamenají dva fotonásobiče na opačných koncích tyče. To znamená, že dostaneme dva signály, které, převedené elektronickou sekvencí, dají dvě čísla. Tato čísla představují informaci o čase, nicméně se nejedná o údaje v sekundách, nýbrž v časových kanálech. K tomu, abychom dostali časové jednotky, je třeba provést výpočet

$$t_{left} = k_L \cdot t_L^c + const_L,$$

$$t_{right} = k_R \cdot t_R^c + const_R,$$

kde  $k_L$ ,  $k_R$  jsou šířky kanálů a  $t_L^c$ ,  $t_R^c$  čísla kanálů (tedy hodnoty získané od elektroniky). Dosadíme-li je do vztahů pro polohu a čas (uvedené výše), získáme vztahy

$$x = \frac{V_g}{2} (k_R \cdot t_R^c - k_L \cdot t_R^c) + x_0,$$

$$tof = \frac{k_R \cdot t_R^c + k_L \cdot t_R^c}{2} + t_0,$$

V těchto rovnicích se, jak lze vidět, vyskytuje pět nezávislých parametrů, které je nutné znát, abychom mohli kompletně zrekonstruovat čas a místo zásahu ve scintilační tyči TOFu. Tři z těchto parametrů ( $k_L$ ,  $k_R$  [ $ns/ch$ ],  $V_g$  [ $mm/ns$ ]) mohou být stanoveny pomocí UV laserového kalibračního systému, který je součástí detektoru TOF, hodnoty  $t_0$  a  $x_0$  je nutné určit ze sebraných dat při měření se svazkem [10].

4.4.1. *Kalibrace pomocí UV laseru.* Kalibrační systém TOFu a TOFina je tvořen UV laserem, jehož paprsek je pomocí optických vláken rozveden ke každé scintilační tyči. Do scintilátoru může vniknout v jednom ze tří geometricky přesně umístěných bodů (lze zvolit, ve kterém). UV světlo vzbudí v tyči obdobné scintilace jako nabitá částice.

Konstanty  $k_L$ ,  $k_R$  určíme snadno následujícím postupem: jeden laserový signál využijeme jako startovací a k druhému přidáme určité zpoždění pomocí kabelu známé délky. V TDC spektru tak vzniknou dva píky a vydělíme-li jejich vzdálenost zpožděním, dostaneme šířku časového kanálu. Další konstanty zjistíme pomocí odezvy detektoru na laserové pulsy v jednotlivých místech. Pro tři body  $x_a$  získáme tři hodnoty

$$(k_R \cdot t_R^c - k_L \cdot t_L^c)_a = \frac{x_a - x_0}{V_g},$$

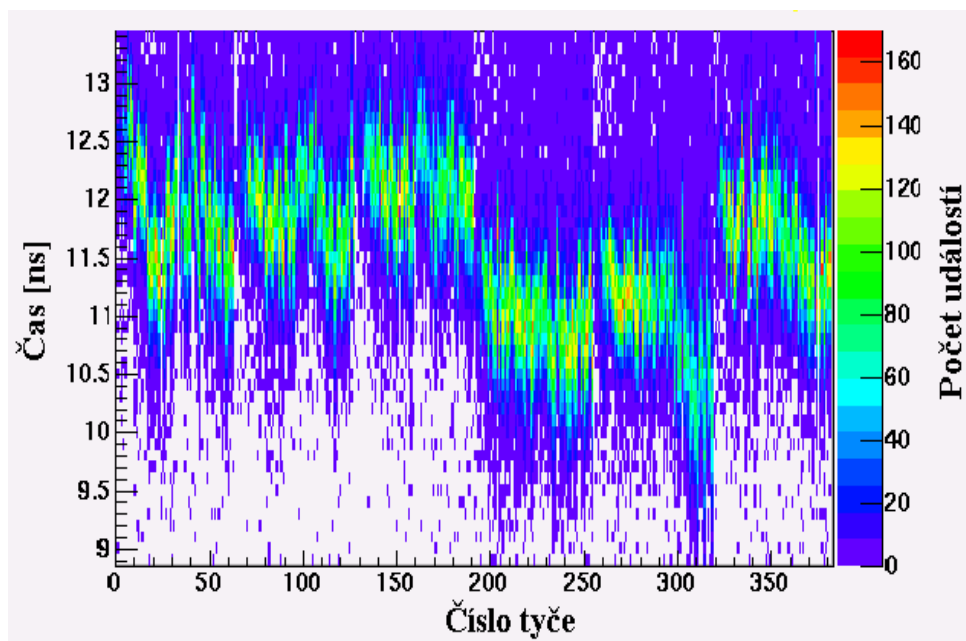
Jedna z nich stačí, abychom určili  $V_g$ . Máme-li hodnoty tři, lze je proložit lineární funkcí a odhadnout i přesnost měření. Pomocí laseru je také určována konstanta  $\lambda_{at}$ , potřebná pro amplitudová měření.

Kalibrace všech těchto konstant proběhla v minulých letech a vzhledem k tomu, že se neměnily relevantní parametry TOFu (geometrie, materiál scintilátorů), není třeba je stále opakovat. Kalibrační postupy jsou podrobněji diskutovány v [10].

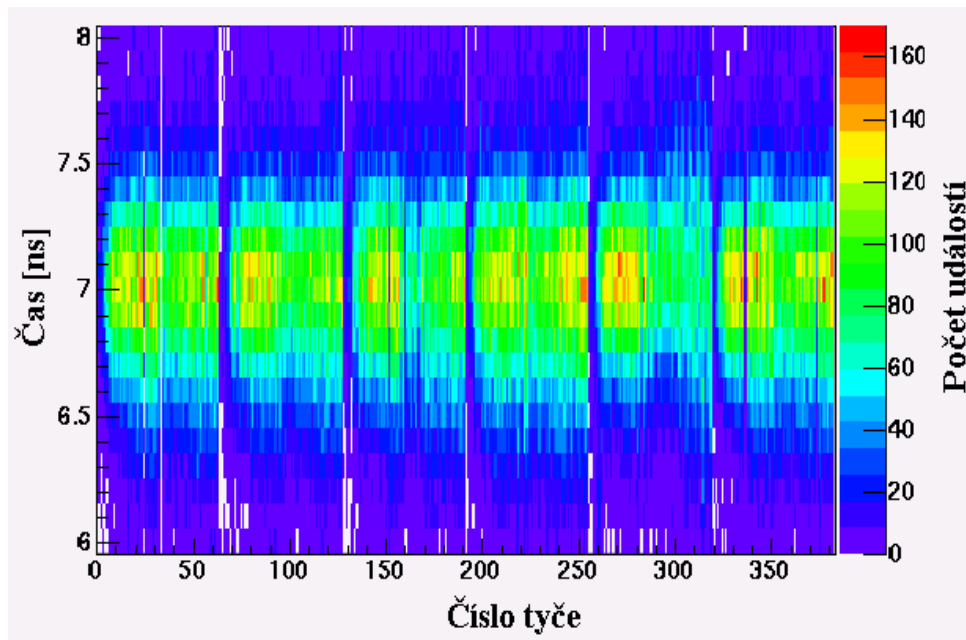
Z výše uvedeného vzorce je patrné, že teoreticky lze  $x_0$  rovněž stanovit pomocí laserového systému. V praxi se ovšem kalibrace polohy v TOFu provádí ze svazkových dat - je to nepoměrně přesnější.

4.4.2. *Kalibrace experimentálními daty.* Princip časové kalibrace TOFu (tedy určení konstanty  $t_0$  pro jednotlivé tyče) je v podstatě stejný, jako princip kalibrace STARTu. Pro každou tyč se naměří časové spektrum elektronů bez magnetického pole, které má tvar Gaussovy křivky. Tento pík se v případě, že přístroj je správně zkalibrován, nachází na hodnotě  $7 \text{ ns}$ . Není-li tomu tak, je třeba k časovému signálu příslušné tyče přidat určitý ofset zahrnující konstantu, která je závislá pouze na materiálu a geometrii tyče, a zpoždění dané elektronikou. Na rozdíl od kalibrace STARTu je ale v tomto případě nutné, aby střední hodnota píku byla opravdu  $7 \text{ ns}$ .

Příklad časového spektra nezkalibrovaného a zkalibrovaného TOFu je na obr. 17 a obr. 18. Na vodorovné ose je vyneseno číslo tyče, na svislé časové kanály a barvou je naznačen počet zaznamenaných částic (modrá nejméně, červená nejvíce). Rozlišení správně zkalibrovaného TOFu by mělo být kolem  $100 \text{ ps}$ .



OBR 17. Časové spektrum leptonů (nekalibrovaný TOF).



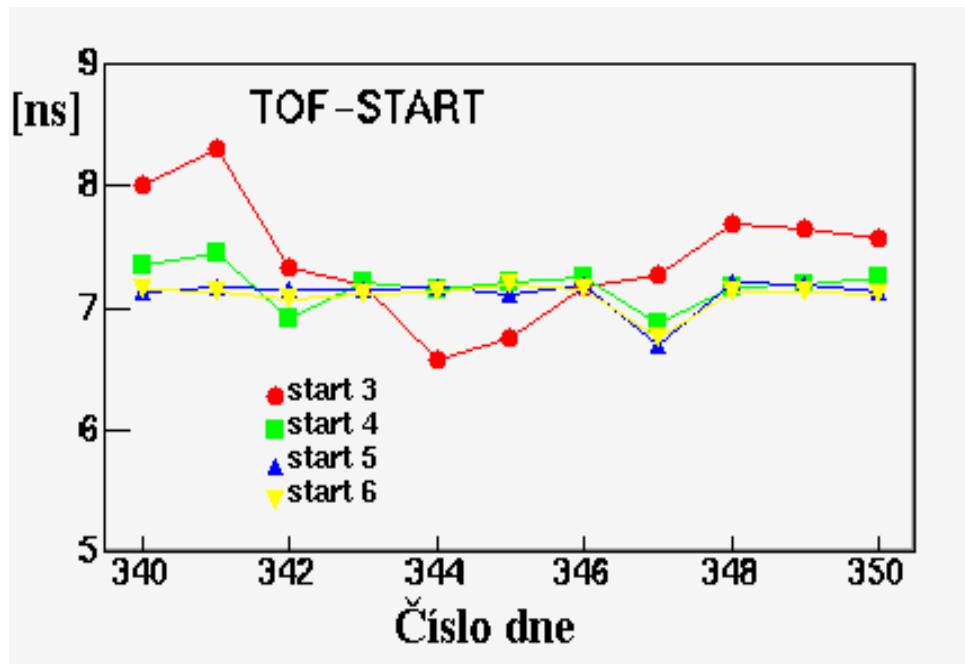
OBR 18. Časové spektrum leptonů (zkalibrovaný TOF).

Kalibrace detektorů START a TOF byla provedena na referenčních datech ze dne 331 (26. 11. 2002), kdy bylo měření prováděno s vypnutým magnetickým polem. Příslušná použitá ROOTovská makra jsou v příloze.

#### 4.5. Problémy a závady elektroniky.

Člověk mění, příroda mění. Detektor HADES byl sice navržen i s ohledem na spolehlivost, ale bylo by velmi neobvyklé, kdyby se v takto složitém systému nevyskytly nějaké chyby, zvláště pak, je - li v provozu jen krátce. Během měření se ukázalo, že jak elektronika STARTu, tak elektronika TOFu vykazují jistou nestabilitu, kvůli které bylo nutné provést více kalibrací.

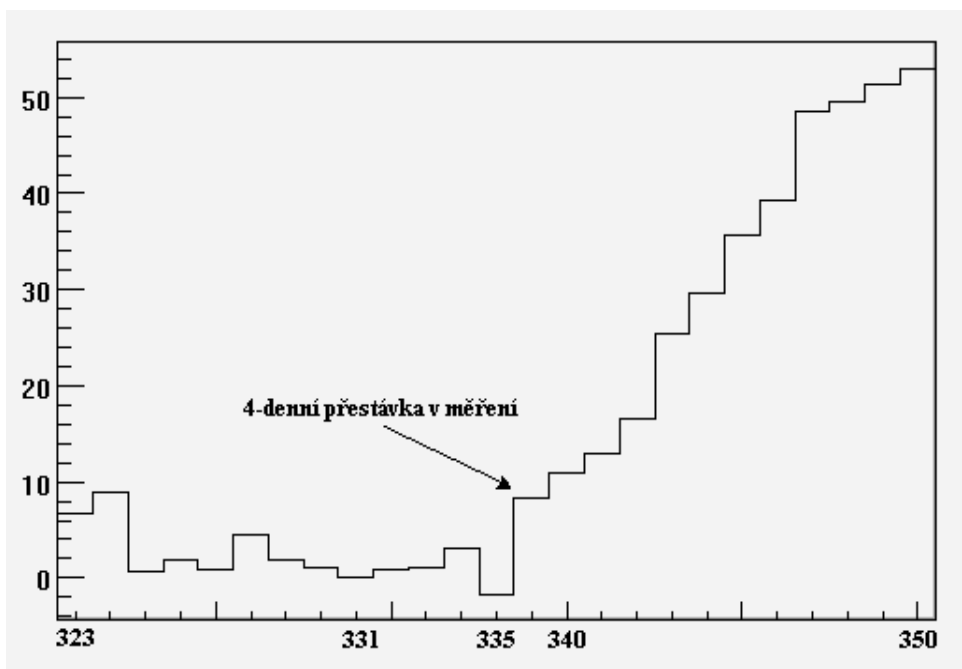
4.5.1. *Nestabilita detektoru START.* Kalibrace STARTu se měnila během celého měření o náhodné hodnoty dosahující až  $1\text{ ns}$ . Nejvíce byl postižen proužek 3, výkyvy se ale nevyhly ani ostatním. Na následujícím grafu je ukázán vývoj anomálního chování detektoru (pro každý den je vynesena poloha píku v časovém spektru TOF - START, proužky 3 až 6) :



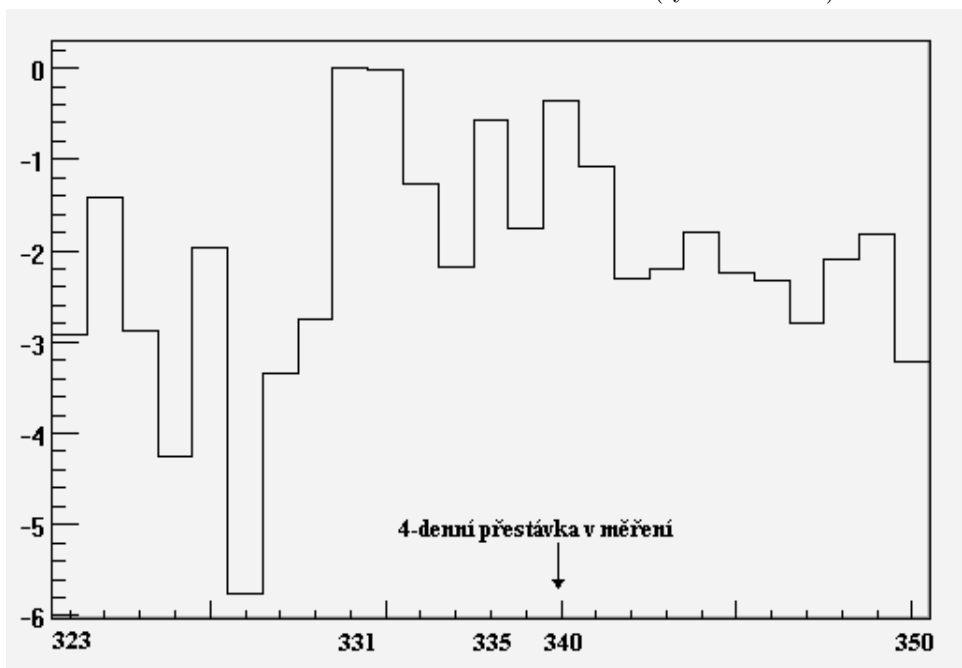
OBR 19. Anomální chování detektoru START.

Z experimentálních dat bylo zjištěno, že změny jsou relativně pomalé, avšak znatelné i pro data, která byla naměřena v rozsahu již desítek minut.

4.5.2. *Nestabilita detektoru TOF.* Ve dnech 1. - 5. 12. 2002 bylo měření z technických důvodů přerušeno. Po této pauze však začal modul LAD ošetřující tyče 289 až 320 vykazovat anomální chování. Na všech dvaatřiceti kanálech začalo pomalu klesat zpoždění, které modul k časové informaci z tyče přidává, v průměru o  $50\text{ ps}$  za den. Tento vývoj je dobře vidět z následujících dvou grafů:



OBR 20. Anomální chování detektoru TOF (tyče 297 - 320).



OBR 21. Normální chování detektoru TOF (tyče 353 - 384)

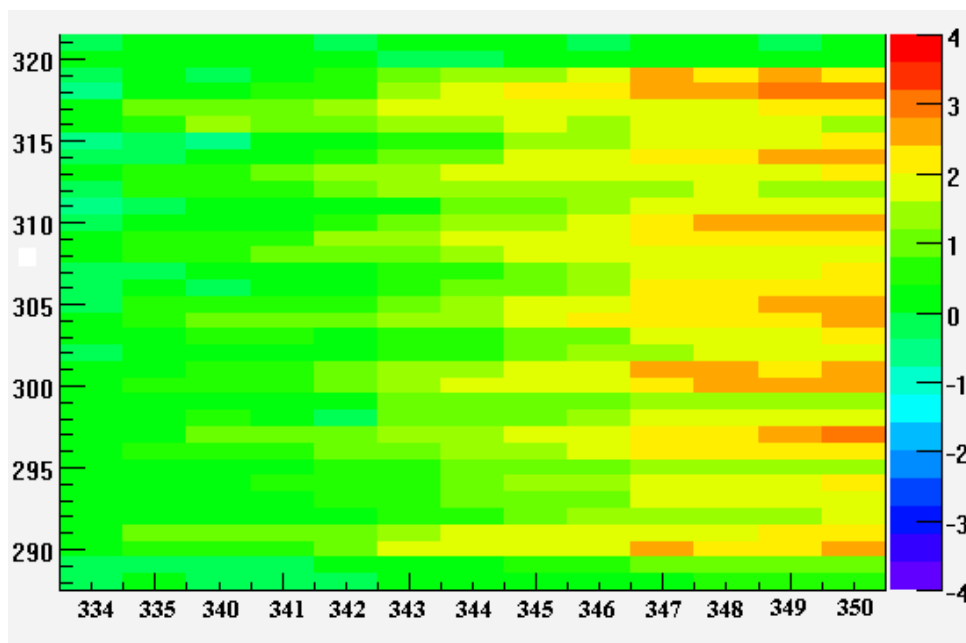


Na prvním z grafů (obr. 20) je anomální chování časového spektra kanálů 289 - 320 , na druhém pak běžné chování jiných dvaatřiceti kanálů, konkrétně 353 - 384. Na vodorovné ose je vyneseno číslo dne měření, na svislé pak hodnota

$$\bar{T}(x) = \sum_{i=1}^{32} t_{i+288}^{331} - t_{i+288}^{(x)},$$

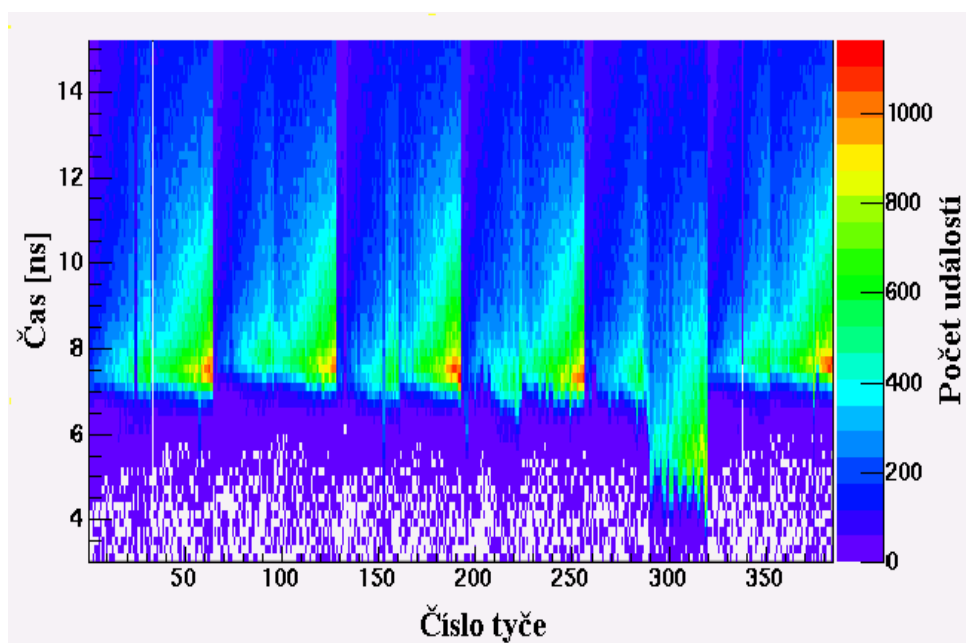
kde  $t_{i+288}^{331}$  je průměrná hodnota časového spektra příslušné tyče (i-tý kanál modulu LAD) ze dne 331 (referenční den pro kalibrace, měřilo se bez zapojeného magnetického pole) a  $t_{i+288}^{(x)}$  je tatáž hodnota pro den  $x$ . Veličina  $\bar{T}(x)$  je v nano-sekundách. Vzestupná tendence je jasně patrná. Na druhém grafu (obr. 21) je totéž pro jiný modul LAD (číslo 288 ve vzorci je třeba nahradit číslem 352).

Podrobnější informace o anomálním zpoždění lze nalézt na následujícím histogramu:



OBR 22. Anomální chování detektoru TOF.

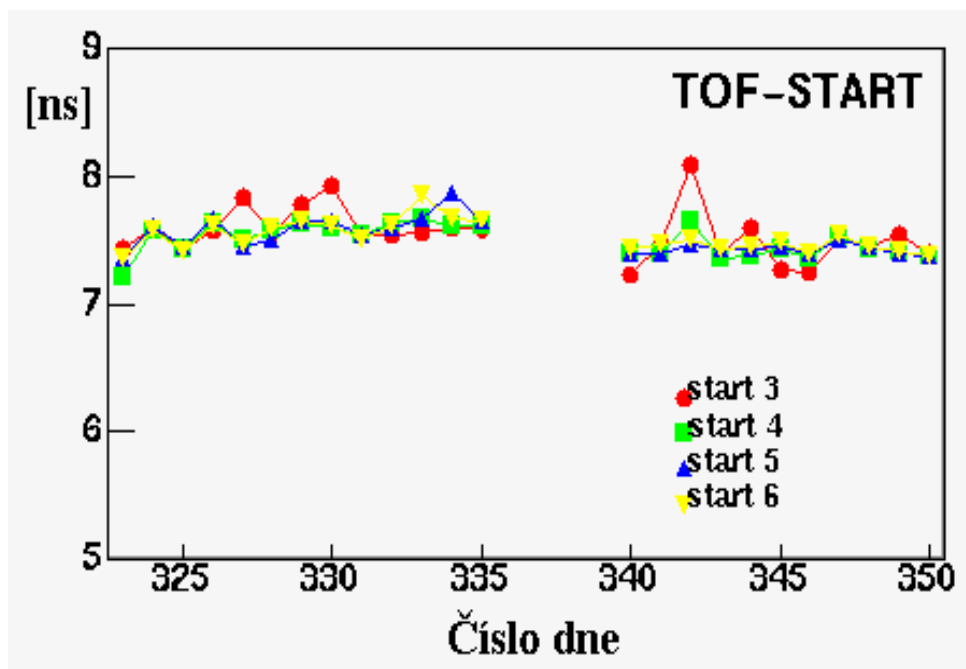
Na vodorovné ose jsou opět vyneseny dny měření, na svislé pak čísla jednotlivých tyčí. Hodnota  $t_{i+288}^{331} - t_{i+288}^{(x)}$  je zde pro každou tyč označena barvou (hodnoty v  $ns$ , viz tabulka barev po pravé straně histogramu). Vliv na celkovou kalibraci TOFu je vidět na posledním histogramu (den 449):



OBR 23. Vliv nestability modulu LAD na kalibraci TOFu.

#### 4.6. Kalibrace STARTu pro jednotlivé dny.

Nestabilita STARTu se ukázala být problémem, který nebylo možno odstranit zcela a bude mít patrně znatelný vliv na celkovou přesnost měření. Teoretickým řešením problému by byla kalibrace STARTu prováděná zvlášť pro každá data nabitá v úseku řádově deseti až dvaceti minut. Vzhledem k celkovému množství nasbíraných informací by však takový úkol byl nesmírně náročný na lidský i strojový čas a navíc desetiminutové měření neposkytuje dostatečný počet událostí k statistickým výpočtům. V praxi byl tedy START zkalibrován zvlášť pro každý den na asi hodinovém vzorku dat, který byl vybrán tak, aby tvořil průřez celým dnem měření (každý den se měřilo kolem 8 hodin). Navíc se nebrala v úvahu korelace s detektorem RICH. Časové spektrum TOF - START tak nemělo tvar jednoduché Gaussovy křivky, ale přibyl k němu dlouhý "ohon" směrem k vyšším  $\Delta t$  (viz obr. 15). To sice snížilo přesnost fitování, nicméně při pečlivé volbě fitovacího rozsahu na blízké okolí maxima zcela zanedbatelně. Na obr. 24 je spektrum TOF - START pro proužky 3 až 6 po takto provedené kalibraci. Rozptyl hodnot se podařilo snížit na cca  $0.5 \text{ ns}$ .



OBR 24.

#### 4.7. Kalibrace TOFu pro jednotlivé dny.

Problém s TOFem byl řešen zcela obdobně. Kalibrace byla vytvořena pro každý den zvlášť (ovšem pouze pro postižené kanály, aby nebyla ztracena přesnost kalibrace na leptonových párech pro ostatní tyče). Maximum píku všech částic v časovém spektru TOF - START je oproti čistě elektronovému posunuto k vyšším  $\Delta t$  o  $0.25 \text{ ns}$ , což bylo ověřeno srovnáním elektronového a celkového spektra pro den 331 (referenční měření). Při procesu kalibrace byl tento fakt vzat v úvahu. Kalibrační makro je v příloze.

## 5. IDENTIFIKACE ČÁSTIC

Identifikace částic je důležitý krok analýzy dat, potřebný ke studiu výtěžků hadronů i leptonů. Základní myšlenka spočívá v testování statistické hypotézy, která tvrdí, že stopa o známé hybnosti zanechaná v detektoru odpovídá určitému druhu částice ( $e^\pm$ ,  $\mu^\pm$ ,  $\pi^\pm$ ,  $\pi^0$ , atd.). Stopu tvoří změřené veličiny z různých subdetektorů. V první řadě jsou to odezvy detektorů RICH a SHOWER, které rozlišují leptony a hadrony a dále pak rychlost (vypočtená z doby letu) a lineární brzdňá schopnost ( $dE/dx$  částice) měřené detektory TOF a TOFino. Hybnost  $p$ , změřená driftovými komorami a magnetem, je součástí testované hypotézy. Předpokládáme, že přesnost driftových komor je natolik vysoká, abychom mohli  $p$  považovat za pevně danou hodnotu.

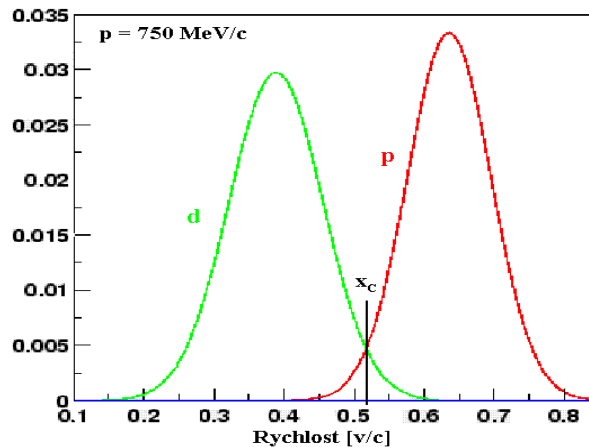
## 5.1. Statistická metoda identifikace částic.

Odezva každého subdetektoru na určitou částici je dána hustotou pravděpodobnosti, kterou můžeme zapsat jako  $P_k(x_k | p, H)$  kde  $H$  označuje druh částice,  $p$  je hybnost a  $x_k$  měřená veličina (veličiny). Výraz  $P_k(x_k | p, H) dx$  pak určuje pravděpodobnost, že pro danou částici a hybnost bude veličina naměřena v intervalu  $(x_k, x_k + dx_k)$ . Je-li hustota pravděpodobnosti  $P_k$  známa, je možné zadefinovat další funkci:

$$L_k(H | p, x_k) \equiv P_k(x_k | p, H) ,$$

kteřá udává pravděpodobnost, že odezva subdetektoru (který naměřil  $x_k$ ) byla způsobena částicí typu  $H$ .

Jako příklad vezměme  $\beta = v/c$  protonů a deutronů při hybnosti  $750 \text{ MeV}/c$ . Odezvu TOFu na částici dané hybnosti je snadné určit - je to gaussova křivka se střední hodnotou  $\beta = p/\sqrt{m_0^2 c^2 + p^2}$  a šířkou danou přesností detektoru. Normovaná rozdělení pravděpodobnosti pro protony a deuterony jsou zobrazena na obr. 25.



OBR 25.

Neznámou částici s hybností  $p = 750 \text{ MeV}$  a rychlostí  $x$  identifikujeme jako deuteron, je-li  $x < x_C$ . Pravděpodobnost záměny deuteronu za proton je

$$\alpha = \int_{x_C}^{\infty} P(x | p, \text{deuteron}) dx$$

a pravděpodobnost chybného vyhodnocení protonu jako deuteron

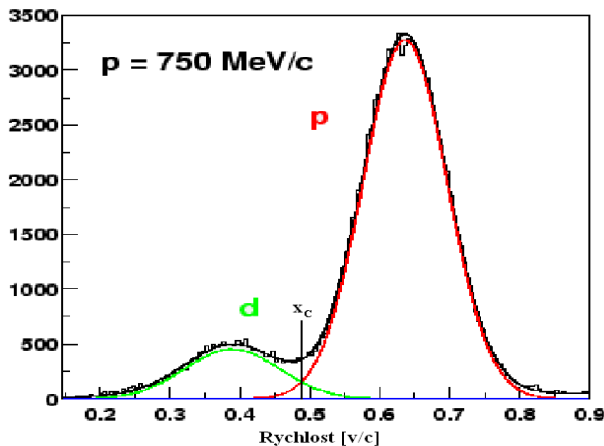
$$\beta = \int_{-\infty}^{x_C} P(x | p, \text{proton}) dx .$$

Pro lepší rozhodování je nutné vzít v úvahu všechny dostupné údaje z různých detektorů. Hustota pravděpodobnosti se pak dá vyjádřit jako

$$L(H | x) = \prod_k P_k(x_k | H) ,$$

jsou-li jednotlivé veličiny  $x_k$  nezávislé.

Detekci částic ovšem komplikuje fakt, že při dané energii svazku není poměr deuteronů a protonů, vylétujících z místa srážky, roven jedné. Normovaná gaussova rozdělení toto nezohledňují a pro neznámou částici nadhodnocují pravděpodobnost méně častých částic. Hustoty pravděpodobnosti výskytu obou částic by měly správně vypadat jako na obr. 26 :



OBR 26.

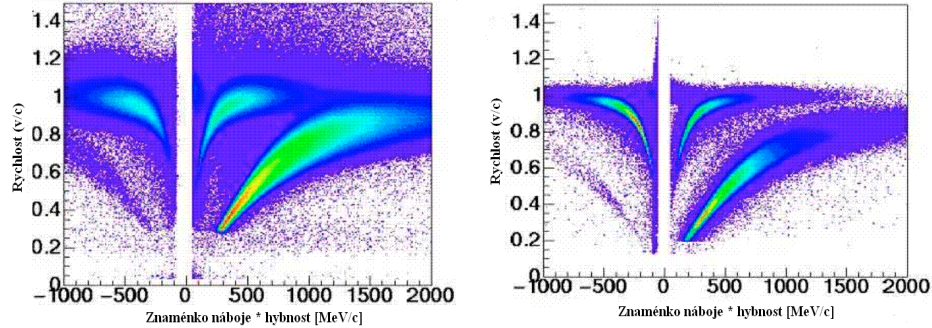
Známe-li relativní výskyty jednotlivých částic, lze je do výpočtu pravděpodobnosti zahrnout pomocí Bayesovy věty:

$$\tilde{P}(x | p, H) = \frac{P_k(x_k | p, H) \phi(H)}{\sum_{\nu} P_k(x_k | p, \nu) \phi(\nu)} ,$$

kde  $\phi(H)$  je relativní četnost výskytu částice  $H$ . Podrobněji jsou metody identifikace částic rozebrány v [13] a [14].

## 5.2. Identifikace hadronů z experimentálních dat C - C 2 GeV.

V rámci této ročníkové práce byla provedena jednoduchá identifikace částic, využívající pouze časového měření detektoru TOF a TOFino. Analýzou prošlo  $10^6$  událostí z experimentálního měření srážek jader uhlíku při energii svazku  $E = 2 \text{ GeV}$  a pro srovnání stejný počet událostí pocházejících ze simulace.

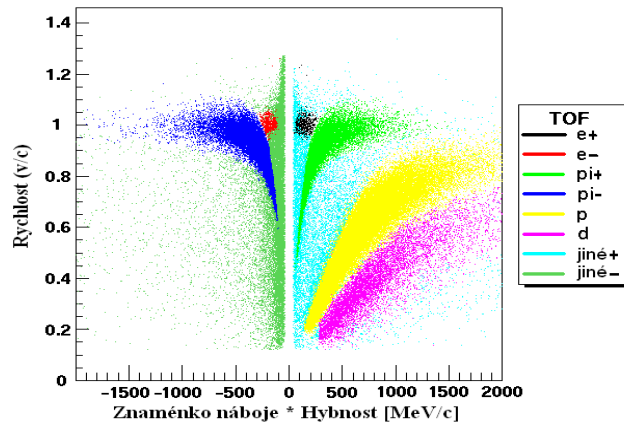


OBR 27. Rychlost vs. hybnost $\times$ náboj částic detekovaných HADESem. Na histogramu vlevo jsou částice zachycené detektory TOFino a SHOWER, vpravo pak detektorem TOF.

Na obr.27 jsou histogramy s údaji o každé zaznamenané částici. Vodorovná osa odpovídá hybnosti, svislá rychlosti ( $v/c$ ) a barvou je naznačen počet částic (světlejší barva značí vyšší množství částic).

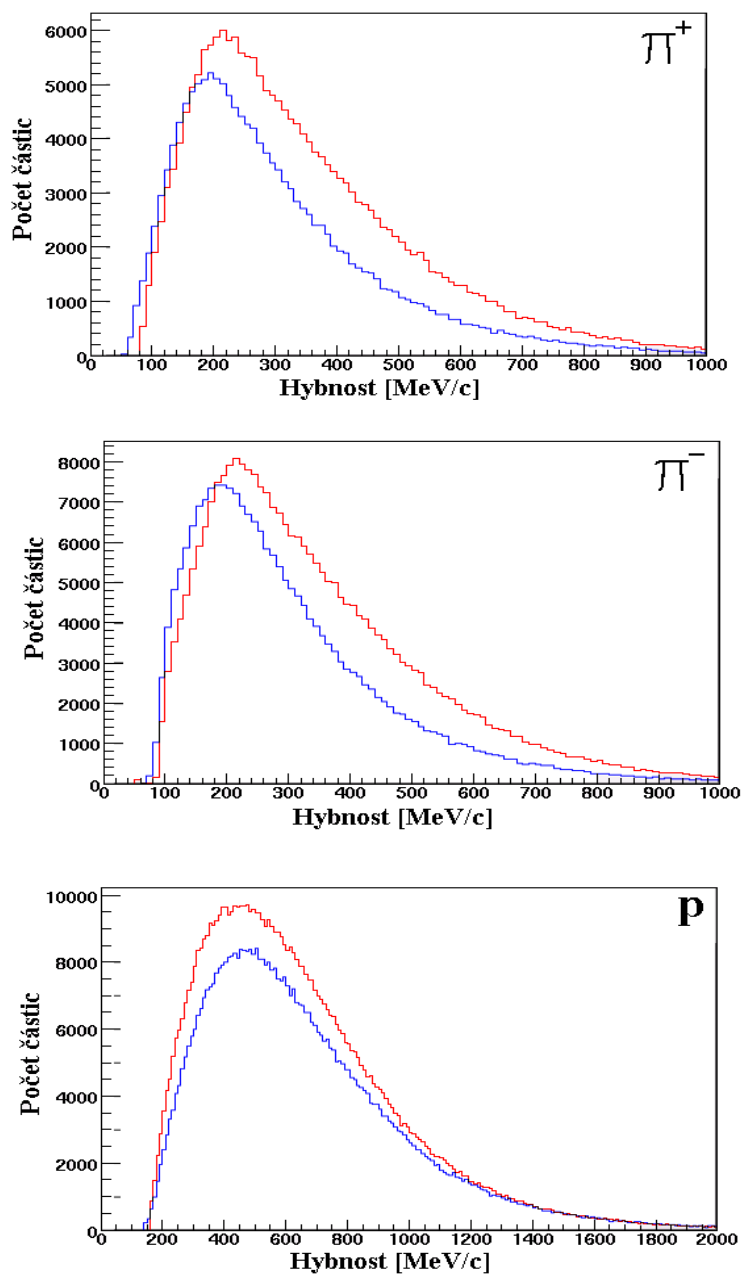
Data ještě nejsou identifikována pomocí výše uvedené statistické metody, nicméně je zřejmé, že každá z jasně ohraničených oblastí histogramu odpovídá určitému druhu částice. Nejpočetnější skupinu zaznamenaných produktů srážky tvoří protony (na grafech oblast vpravo dole), velmi běžné jsou také kladné a záporné piony. Na histogramu z TOFu je vidět i náznak pozitronů (v oblasti malých hybností a  $\beta \approx 1$ ).

Po aplikaci statistické metody identifikace je každé stopě přiřazena nejpravděpodobnější částice. Vyznačíme-li různé druhy částic barevně, graf se velmi zpřehlední. Na obr. 28 jsou takto zvýrazněná data z detektoru TOF.



OBR 28.

A konečně, obr. 29 zobrazuje srovnání simulovaného a experimentálního výtěžku pionů a protonů detektoru TOF. Simulace se zdají být poněkud nadhodnocené, to ovšem způsobují necentrální srážky, které při měření projdou přes systém triggerů (asi 16 %). Experimentální výtěžky jsou o tuto hodnotu menší. Jinak simulace a experiment vykazují dobrou shodu.



OBR 29. Počet hadronů z  $10^6$  srážek - simulace (červeně) a experiment (modře)

## 6. ZÁVĚR

Experiment na konci roku 2002 byl prvním měřením HADESu s fyzikálním programem. Detektor není ještě zcela dokončen, během sbírání dat se potýkal s několika technickými problémy a celkové množství zaznamenaných událostí bylo asi poloviční oproti očekávanému. Z těchto důvodů HADES patrně nedosáhl plánované přesnosti, ale i tak by měl poskytnout spektrum energií párů  $e^+e^-$  s vysokým rozlišením.

Chybějící subdetektory (vnější driftové komory) jsou průběžně doplňovány a na odstraňování technických nedostatků se rovněž pracuje. Další měření, tentokrát s pionovým svazkem a vodíkovým terčíkem, proběhne v listopadu 2003 a není důvod nevěřit v jeho úspěšnost. HADES je v tuto chvíli na začátku svého bohatého fyzikálního plánu, který by měl pomoci potvrdit či vyvrátit teorii částečného nastolení chirální symetrie v jaderném prostředí za extrémních podmínek. A ať už tato myšlenka zanikne nebo se stane běžnou součástí učebnic fyziky, HADES každopádně přispěje k našemu vědění a znalostem o stavbě světa kolem nás.

## POZNÁMKA AUTORA:

Na závěr bych rád poděkoval svému školiteli za neocenitelnou pomoc, rady a trpělivost, a všem dalším, kteří se jakkoliv podíleli na realizaci tohoto výzkumného úkolu.



## 7. PŘÍLOHA - MAKRA POUŽÍVANÁ PRO KALIBRACI

V této části jsou makra použita v procesu kalibrace START a TOF, vytvořená autorem tohoto výzkumného úkolu. Další makra pro zpracování dat, která napsal jiný člen kolaborace HADES, není nutné přikládat. Jedná se o následující procedury:

Makro	Autor	Stručný popis
ana.C	Alberica Toia	Zpracování surových dat
anaExpDST.C	Thomas Eberl	Výběr událostí dle TOF-RICH korelací
tplot.C	Pavel Tlustý	Srovnávání kalibrací STARTu
insAsciiOra.C	Dušan Žovinec	Práce s databází Oracle
CorrelatorPid.C	Pavel Tlustý	Identifikace částic

```

/*****
/* Makro calib_elect.C */
/*****
/* Makro provede kalibraci casoveho spektra TOF v korelaci s detektorem RICH. */
/* Predpoklada se, ze ve vstupnim soubory jsou histogramy jednotlivych tyci, */
/* ktere obsahuji jiz jen elektrony a pozitrony. Makro postupne nabizi ope- */
/* ratorovi fitu histogramu, ktery je muze upravit podle sveho odhadu. Ze */
/* schvaleneho fitu je vypocitan novy ofset a zapsan do parametrickeho sb. */
/*****

#define fNSecs 6
#define fNMods 8
#define fNDets 8 // Pocet sektoru, modulu a tyci v modulu TOFu
#define correcttime 7.0 // Poloha maxima piku ve spektru TOF - START pro
// elektrony
#define fitwindow 0.2 // Sirka okna pro automaticke fitovani
Float_t maxmeansum = 0.05; // Polosirka okna, ve kterem je poloha piku pova-
// zovana za spravnou

TFile *hfile = new TFile("my_test_hist.root");
// Otevreni vstupniho souboru.
FILE *oldparams = fopen("oldcal.par","r");
// Otevreni stareho parametrickeho souboru
FILE *newparams = fopen("newcal.par","w");
// Otevreni souboru, kam budou zapsany opravene
// parametry
FILE *outputfile = fopen("calib_off_elect_changes.txt","w");
// Otevreni souboru, kam budou zapsany zmeny
Float_t lowmaxsum = 25; // Minimalni pocet udalosti. Pokud je v histogramu
// tyce mene udalosti, je povazovana za mrtvou

Int_t voidparam; // Z parametrickeho souboru je nutne precist nekte-
// re pro toto makro nepotrebne udaje. Toto je na
// ne jakysi "odpadkovy kos"

```

```

Float_t leftchannel, rightchannel;
Float_t speed, positionoff;
Float_t ADC1, ADC2;
Float_t attlen;
Float_t intposoff;
Float_t param13;
Float_t time1, time2, time3; // Promenne pro nacistani hodnot z parametrickeho
                               // souboru. tyto zde se nepouziji pro kalibraci,
                               // musi se vsak prekopirovat do noveho souboru.
Float_t timeoff;           // Toto je casovy ofset tyce - predmet kalibrace.

Text_t rodnamesum[30];     // Zde bude ukladano jmeno histogramu tyce, se
                               // kterou se prave pracuje

TH1D *rodsum;              // Ukazatel na histogram tyce, se kterou se pracuje
TF1 *rodfit;               // Ukazatel na nafitovany gaussian
Float_t rodmean;           // Stredni hodnota fitu
Float_t rodmeanerror;     // Chyba stredni hodnoty fitu
Float_t rodsigma;         // Sigma fitu
Float_t rodsigmaerror;    // Chyba -''-

UShort_t rodnr;           // Cislo tyce (= sector*64 + module*8 + detrod + 1)

Int_t maximumbin;
UChar_t key,key1;
Float_t window;          // Promenne pouzivane pro rucni zmeny fitu

TCanvas *display = new TCanvas("display","display",0,0,500,500);
                               // Okno, ve kterem je zobrazovan fit

// -----
// Zde zacina kalibracni cyklus pres vsechny tyce
// -----

    for ( UShort_t sector = 0; sector < fNSecs; sector++ )
        for ( UShort_t module = 0; module < fNMods; module++ )
            for ( UShort_t detrod = 0; detrod < fNDets; detrod++ )
                // Cyklus probiha pres vsechny tyce, rozhoduje, zda
                // je pro tu kterou tyc potrebne provest novou
                // kalibraci a~pokud ano, provede ji
            {

// -----
// Cteni informaci z histogramu tyce
// -----

                sprintf(rodname,"htimefieldC_%i_%i_%i",sector + 1, module + 1,
                               detrod + 1 );

```

```

        // Vytvori ROOTovske jmeno histogramu se spektrem pro
        // prave zpracovavanou tyc
rodnr = sector*64 + module*8 + detrod;
        // Vypocita ciso tyce

rodsum = (TH1F *) ( gROOT->FindObject(rodnamesum) );
        // Najde histogram patricne tyce

maximumbin = rodsum->GetMaximumBin();
rodmean = ( (Float_t)maximumbin )/10;
        // Najde maximum histogramu a jeho polohu. Predpoklada
        // se, ze start je zkalibrovane a histogram ma podobu
        // gaussovy krivky (elektronove spektrum).

// -----
// Cteni z parametrickeho souboru
// -----

fscanf( oldparams, "%i%i%i", &voidparam, &voidparam, &voidparam );
        // Cisla sektoru, modulu a tyce, ktere uvozujou uda-
        // je o kazde tyci, jsou ignorovane
fscanf( oldparams, "%f%f%f", &leftchannel, &rightchannel, &speed );
fscanf( oldparams, "%f%f%f%f", &positionoff, &timeoff, &ADC1, &ADC2);
fscanf( oldparams, "%f%f%f", &attlen, &intposoff, &param13);
fscanf( oldparams, "%f%f%f", &time1, &time2, &time3 );
        // Nacteni parametru

// -----
// Zde zacina vlastni kalibrace
// -----

fprintf( outputfile, "Rod %i (%i, %i, %i) : ", rodnr, sector,
        module, detrod );
printf("Rod %i, (%i, %i, %i) : fitting. \n ", rodnr, sector,
        module, detrod);
        // Vytiskne informace o prave zpracovavane tyci
        // na obrazovku a do souboru

key='x'; window = fitwindow;
        // Pripravi promenne k novemu fitovani

while( !(key == 'y' || key == 'Y' || key == 'n' || key == 'N') )
        // Cyklus provadi fitovani. Pokud se navrhovany
        // fit operatorovi nelibi, muze zmenit rozsah
        // okna, jeho polohu a naridit nove fitovani
        // Cykl je ukoncen tehdy, schvali-li operator
        // fit nebo se rozhodne histogram nefitovat
        // vubec (napr. kvuli spatne statistice)

```

```

{

rodsum->GetXaxis()->SetRange(0,100);
rodsum->GetYaxis()->SetRange(0,200);
rodsum->Draw(); // Vykresli histogram s casovym spektrem dane tyce

rodsum->Fit("gaus","R","", (rodmean - window), (rodmean + window) );
// Prolozi histogram gaussovou funkci v danem rozsahu

display->Modified();
display->Update();
// Prekresli histogram i s grafem nafitovane funkce

printf("Y - accept fit  -,+ window size change  /,* move window  \
      N - thrash fit  Q - break makro : ");
key = getchar(); printf("\n\n");
// Nabidne operatorovi moznosti a ceka na jeho odezvu

if( key== '+' ) window += 0.05;
// Rozsireni okna o 0.05 ns
if( key== '-' ) window -= 0.05;
// Zuzeni okna o 0.05 ns
if( key== '/' ) rodmean -= 0.05;
// Posun okna vlevo o 0.05 ns
if( key== '*' ) rodmean += 0.05;
// Posun okna vpravo o 0.05 ns
if( key== 'q' || key=='Q' ) exit();
// Ukoncit cele makro

key1 = getchar(); // Ignoruje znak CR, který je poslan ihned po
// klavesi od operatora

} /*while*/

if( key == 'n' || key == 'N' )
// Operator se rozhodl histogram nefitova
{
fprintf( outputfile ,"skipped!\n"); printf( "Skipped! \n\n\n");
// Informace o tom je ulozena do souboru zmen
} /*if*/
else // Operator fit schvalil
{

rodfit = rodsum->GetFunction("gaus");
rodmean = rodfit->GetParameter(1);
rodmeanerror = rodfit->GetParError(1);
rodsigma = rodfit->GetParameter(2);

```

```

    rodsigmaerror = rodfit->GetParError(2);
                    // Parametry fitu jsou zaznamenay

    printf("\nRod %i, (%i, %i, %i) : ", rodnr, sector, module, detrod);
    printf( "time offset corrected. Mean: %.3f, old value : %.3f, ",
            rodmean, timeoff );
    fprintf( outputfile, "time offset corrected. Mean: %.3f (error %.5f), \
            sigma %.3f \ (error %.5f), old value : %.3f, ", rodmean,
            rodmeanerror, rodsigma, rodsigmaerror, timeoff );
                    // Zapise udaje o zmene ofsetu do souboru

    timeoff += rodmean - correcttime;
                    // Opravi ofset

    printf("new value %.3f.\n\n", timeoff );
    fprintf( outputfile, "new value %.3f.\n", timeoff );
                    // Zapise udaje o zmene ofsetu do souboru

} /*if*/

// -----
// Zapis do noveho parametrickeho souboru
// -----

    fprintf( newparams, "%d\t%d\t%d\t", sector, module, detrod );
    fprintf( newparams, "%.4f\t%.4f\t%.1f\t", leftchannel, rightchannel, speed );
    fprintf( newparams, "%.1f\t%.3f\t", positionoff, timeoff );
    fprintf( newparams, "%.0f\t%.0f\t%.1f\t%.2f\t%.5f\t", ADC1, ADC2, attlen,
            intposoff, param13);
    fprintf( newparams, "%.3f\t%.3f\t%.3f\n", time1, time2, time3 );

// -----
// Konec hlavni smycky, uzavreni souboru
// -----

} /*for*/

fclose( outputfile);
fclose( newparams );
fclose( oldparams );

} /*calib_elect.C*/

```

```

/*****
/* Procedura CWR (Calibration Without RICH) */
/*****
/* Funkce CWR provede kalibraci vybranych tyci TOF bez korelace s RICH. Spo- */
/* civa v nalezeni piku rychlych castic ve spektru TOF - START a vypocet */
/* aditivniho ofsetu, který jej posune na patricnou polohu. */
/*****

Bool_t CWR(Char_t *histname, Char_t *inputname, Char_t *outputname, Char_t
          *changesname, Char_t *maskname)
{

#define fNSecs 6
#define fNMods 8
#define fNDets 8 // Pocet sektoru, modulu a tyci v modulu TOFu
#define correcttime 7.25 // Poloha maxima piku ve spektru TOF - START pro
                        // vsechny castice
#define timebins 750 // Pocet casovych kanalu
#define downskip 2
#define peakwidth 5
#define minfpk 0.66 // Konstanty uzivane v algoritmu hledani piku

Float_t maxmeansum = 0.05; // Polosirka intervalu kolem correcttime, ve kterem
                          // je poloha piku povazovana za spravnu

TFile *hfile = new TFile(histname);
                        // Otevreni vstupniho datoveho souboru
FILE *oldparams = fopen(inputname,"r");
                        // Otevreni stareho parametrickeho souboru
FILE *newparams = fopen(outputname,"w");
                        // Otevreni souboru, kam budou zapsany opravene
                        // parametry
FILE *outputfile = fopen(changesname,"w");
                        // Otevreni souboru, kam budou zapsany zmeny
FILE *mask = fopen(maskname, "rb");
                        // Otevreni souboru s maskou (popisem, ktere tyce
                        // maji byt prekalibrovany a~ktere preskoceny)

Float_t lowmaxsum = 25; // Minimalni pocet udalosti. Pokud je v histogramu
                       // tyce mene udalosti, je povazovana za mrtvou

Int_t voidparam; // Z parametrickeho souboru je nutne precist nektere
                // pro toto makro nepotrebne udaje. Toto je na
                // ne jakysi "odpadkovy kos"

Float_t leftchannel, rightchannel;
Float_t speed, positionoff;
Float_t ADC1, ADC2, attlen;

```

```

Float_t intposoff, param13;
Float_t time1, time2, time3; // Promenne pro nacistani hodnot z parametrickeho
                               // souboru. Tyto zde se nepouziji pro kalibraci,
                               // musi se vsak prekopirovat do noveho souboru.
Float_t timeoff;           // Toto je casovy ofset tyce - predmet kalibrace.

Text_t rodnamesum[30];     // Zde bude ukladano jmeno histogramu tyce, se
                               // kterou se prave pracuje
TH1D *rodsum;              // Ukazatel na histogram tyce, se kterou se pracuje
Float_t rodmaxsum;         // Hodnota maxima casoveho spektra
Float_t rodmeansum;       // Stredni hodnota v tesnem okoli maxima

UShort_t rodnr;           // Cislo tyce (= sector*64 + module*8 + detrod + 1)

UShort_t binsearch, binfoundpeak;
Float_t valsearch, valnext, valfoundpeak, minpeak;
                               // Promenne vyuzivane pri vyhledavani piku

UShort_t searchloop, endloop; // Ridici promenne cyklu

UShort_t maxrodnr = fNSecs * fNMods * fNDets;
                               // Celkovy pocet scintilacnich tyci TOFu

UShort_t rodmask[ fNSecs * fNMods * fNDets ];
                               // Pole, do ktereho se uklada maska tyci

Char_t readchar;
for( Int_t readloop = 0; readloop < maxrodnr; readloop++)
{
    readchar = '*';
    while( !( readchar == '+' || readchar == '-' ) )
        fread( &readchar, 1, 1, mask );
    if( readchar == '+' )
        rodmask[ readloop ] = 1;
    else
        rodmask[ readloop ] = 0;
} /*for*/ // Nacteni masky do tohoto pole

fclose( mask ); // Soubor s maskou nadale neni potrebný

// -----
// Zde zacina kalibracni cyklus pres vsechny tyce
// -----

for ( UShort_t sector = 0; sector < fNSecs; sector++ )
    for ( UShort_t module = 0; module < fNMods; module++ )
        for ( UShort_t detrod = 0; detrod < fNDets; detrod++ )
            // Cyklus probiha pres vsechny tyce, rozhoduje, zda

```

```

// je pro tu kterou tyc potrebné provést novou
// kalibraci, a pokud ano, provede ji
{

sprintf(rodnamesum,"TOF_%i_%i_%i_%s",sector + 1, module + 1,
                                                detrod + 1, "sum");
// Vytvori ROOTovske jmeno histogramu se spek-
// trem pro prave zpracovavanou tyc
rodnr = sector*64 + module*8 + detrod;
// Vypocita ciso tyce

// -----
// Cteni z parametrickeho souboru
// -----

fscanf( oldparams, "%i%i%i", &voidparam, &voidparam, &voidparam );
// Cisla sektoru, modulu a tyce, ktere uvozují uda-
// je o kazde tyci jsou ignorovana
fscanf( oldparams, "%f%f%f", &leftchannel, &rightchannel, &speed );
fscanf( oldparams, "%f%f%f%f", &positionoff, &timeoff, &ADC1, &ADC2);
fscanf( oldparams, "%f%f%f", &attlen, &intposoff, &param13);
fscanf( oldparams, "%f%f%f", &time1, &time2, &time3 );
// Nacteni parametru

// -----
// Zde zacina vlastni kalibrace
// -----

if( rodmask[rodnr] )// Dalsi kod probehne pouze v tom pripade, ze je
// tyc v masce oznacena
{
rodsum = (TH1F *) ( gROOT->FindObject(rodnamesum) );
// Najde histogram patricne tyce

rodmaxsum = rodsum->GetMaximum();
// Najde maximum celeho histogramu. To by sice
// teoreticky melo byt na miste piku rychlych
// castic, nicmene neni-li presne zkalibrovane
// start, muze byt ve spektru piku vic. Proto
// se v nasledujici casti makra hleda prvni pik.

valnext = 0;
binfoundpeak = 65535;
valfoundpeak = 0;
// Vynuluje promenne pro hledani prvniho pik.
minpeak = rodmaxsum * minfpk;
// Pokud bude nalezeny pik mensi nez tato hodnota
// (momentalne 2/3 maxima histogramu), bude se

```



```

        // povazovat za nahodnou fluktuaci a~ignorovan.

for( searchloop = 1; searchloop <= timebins; searchloop++ )
    // Cyklus probiha pres vsechny casove kanaly his-
    // togramu a~hleda prvni pik
{
    valsearch = valnext;
    valnext = rodsum->GetBinContent( searchloop );
    // Nacte odnotu v prave zpracovavanem kanale

    if( (valsearch - valnext > downskip) && ( valsearch > minpeak ) )
        // Pokud prave prohlednuty kanal mel mene udalosti
        // nez predchozi (min. o downskip), byl ten pred-
        // chozi patrne vrcholem piku. Je-li tento vrchol
        // dostatecne vysoko (viz komentar o 11 radek vys),
        // je urcen jako prvni pik ve spektru
    {
        binfoundpeak = binsearch;
        valfoundpeak = valsearch;
        break;    // Peak je nalezen a~cyklus konci
    } /*if*/

    binsearch = searchloop;
    // Peak nalezen nebyl - krivka stale stoupa nebo je
    // priblizne rovna. Cykl pokracuje.

} /*for*/

if( binfoundpeak != 65535 )
    // Cykl skoncil. Je-li v promene binfoundpeak stale
    // uvodni hodnota &FFFF, pik nebyl nalezen, tyc je
    // bud mrtva nebo ma malou statistiku a~kalibrace
    // nemuze probehnout.
{

    rodmeansum = 0;
    minpeak = 0;
    // minpeak, valsearch, a~valnext jsou v dalsi casti
    // kodu pouzivany k jinemu ucelu, nez v predchozim
    // (neni treba zbytecne deklarovat nove promenne)

    if( binfoundpeak > peakwidth/2 )
    {
        searchloop = binfoundpeak - peakwidth/2;
        endloop = searchloop + peakwidth;
        if( endloop > timebins ) endloop = timebins;
    } /*if*/
    else

```

```

{
    searchloop = 1;
    endloop = peakwidth/2 + 1;
} /*else*/ // Tato podminka vybere male okoli nalezeneho piku
           // tak, aby nebylo mimo histogram

for( ; searchloop <= endloop; searchloop++)
{
    valnext = rodsum->GetBinContent(searchloop);
    valsearch = rodsum->GetBinLowEdge(searchloop);
    rodmeansum += valsearch * valnext;
    minpeak += valnext;
} /*for*/
rodmeansum = rodmeansum / minpeak;
           // Tento cyklus spocital polohu stredni hodnoty
           // v tesnem okoli piky.

minpeak = rodmeansum - correcttime;
           // Zjistí rozdíl této střední hodnoty a ~polohy,
           // kde by měl pik být při dobré kalibraci

if( fabs(minpeak) > maxmeansum )
           // Dalsi cast kodu zmeni offset, je-li to ovsem treba
{
    fprintf( outputfile, "Time offset for      %i (%i, %i, %i) \
        corrected : ", rodnr, sector, module, detrod );
    fprintf( outputfile, "old offset %.3f, e-peak %.3f, moved \
        by %.3f" , timeoff, rodmeansum, minpeak );
           // Zapiše informaci o provedene zmene do souboru
    timeoff += minpeak;
           // Opravi offset
    fprintf( outputfile, " new offset  %.3f \n", timeoff );
           // Dokonci zapis o zmene
} /*if*/

} /*if*/

} /*if*/

// -----
// Zapis do noveho parametrickeho souboru
// -----

fprintf( newparams, "%d\t%d\t%d\t", sector, module, detrod );
           // Uvodni cislo sektoru, modulu a ~tyce
fprintf( newparams, "%.4f\t%.4f\t", leftchannel, rightchannel, );
fprintf( newparams, "%.1f\t%.1f\t%.3f\t", speed, positionoff, timeoff );
fprintf( newparams, "%.0f\t%.0f\t%.1f\t", ADC1, ADC2, attlen );

```

```
        fprintf( newparams, "%.2f\t%.5f\t", intposoff, param13 );
        fprintf( newparams, "%.3f\t%.3f\t%.3f\n", time1, time2, time3 );
                // Zapise zbytek parametru

// -----
// Konec hlavni smycky, uzavreni souboru
// -----

    } /*for*/

    fclose( outputfile);
    fclose( newparams );
    fclose( oldparams );

} /*CWR*/
```

## REFERENCE

- [1] A. KUGLER: Dilepton production in CC and pion induced reactions  
*Zpráva pro Grantovou agenturu České republiky* (1999)
- [2] J. FRIESE : Studying In-Medium Hadron Properties with Hades;  
Prog. Part. Nucl. Phys. **42** (1999) 235 - 245
- [3] C. GARABATOS : The HADES dilepton spectrometer;  
Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) **61** (1998) 607 - 612
- [4] <http://www-hades.gsi.de/>  
*Oficiální stránka experimentu HADES*
- [5] <http://hades.ph.tum.de/rich/>  
*Stránka detektoru RICH*
- [6] C. GARABATOS, W. KARIG ET AL.: Optimisation of low-mass drift chambers for HADES;  
Nucl. Inst. Meth. A **412** (1998) 38 - 46
- [7] A. BALANDA ET AL.: The HADES Pre-Shower Detector;  
Bude publikováno nakladatelstvím Elsevier Science (2003)
- [8] <http://www.if.uj.edu.pl/ZFJ/psj/hades-doc/>  
*Stránka detektoru SHOWER*
- [9] A. KUGLER: High Acceptance Di-Electron Spectrometer - tool for study of hadron properties  
in the nuclear medium; Czech J. Phys. vol. **50/S2** (2000) 72-85
- [10] C. AGODI, A. BASSI ET AL.: The HADES Time Of Flight wall;  
Nucl. Inst. Meth. **A492** (2002) 14
- [11] <http://root.cern.ch/>  
*Stránka výpočetního systému ROOT*
- [12] M. SÁNCHEZ: HYDRA manual; HADES collaboration (1999)
- [13] R. BARLOW ET AL.: Recommended Statistical Procedures for BABAR;  
<http://www.slac.stanford.edu/BFROOT/www/Startistics/Report/report.pdf> (2002)
- [14] P. TLUSTÝ: Particle Identification in HADES;  
Přednáška na meetingu spolupráce HADES (2003);
- [15] P. SALABURA ET AL. : HADES - A High Acceptance DiElectron Spectrometer;  
Nucl. Phys. (Proc. Suppl.) **44** (1995) 701 - 707