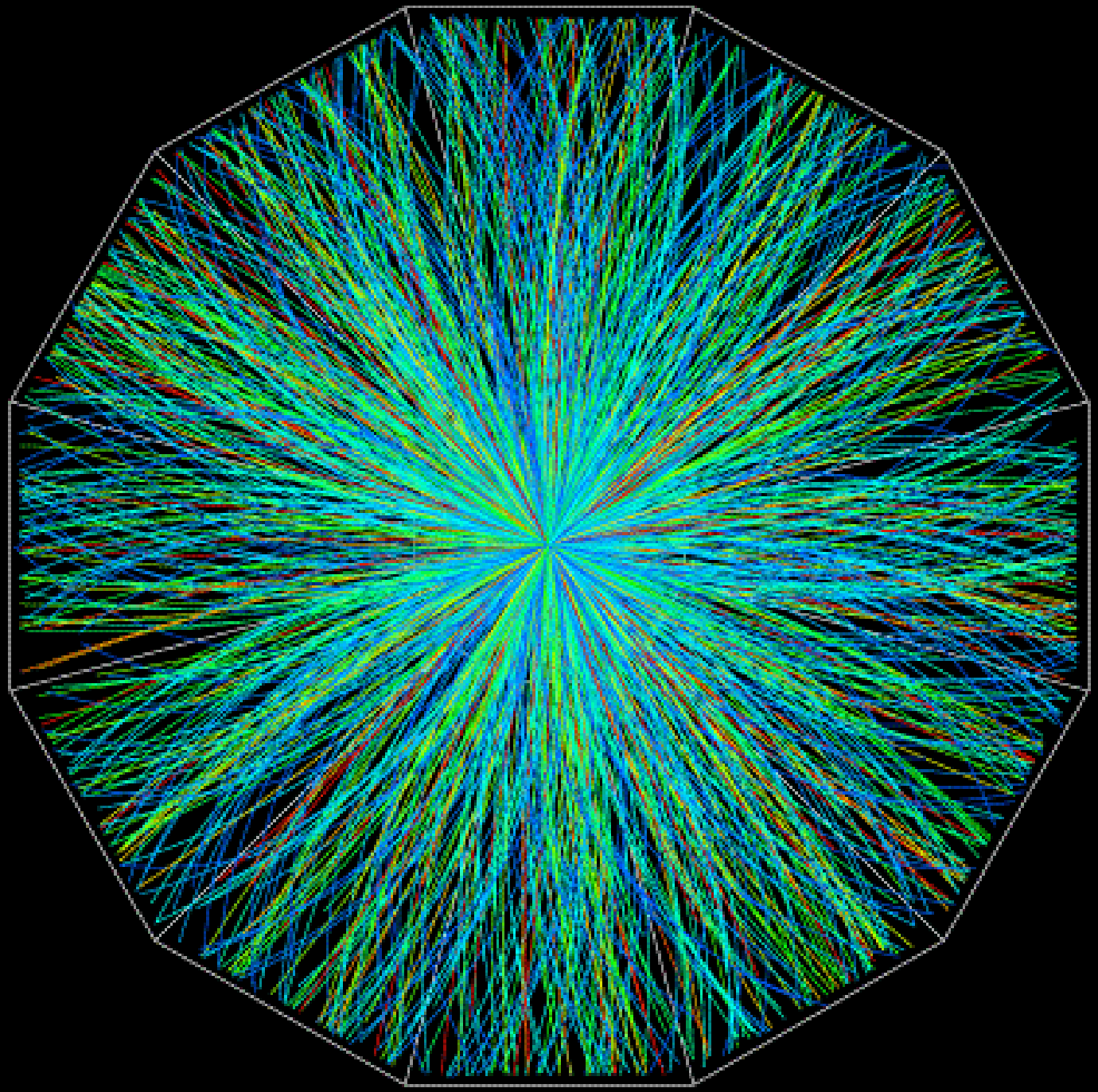
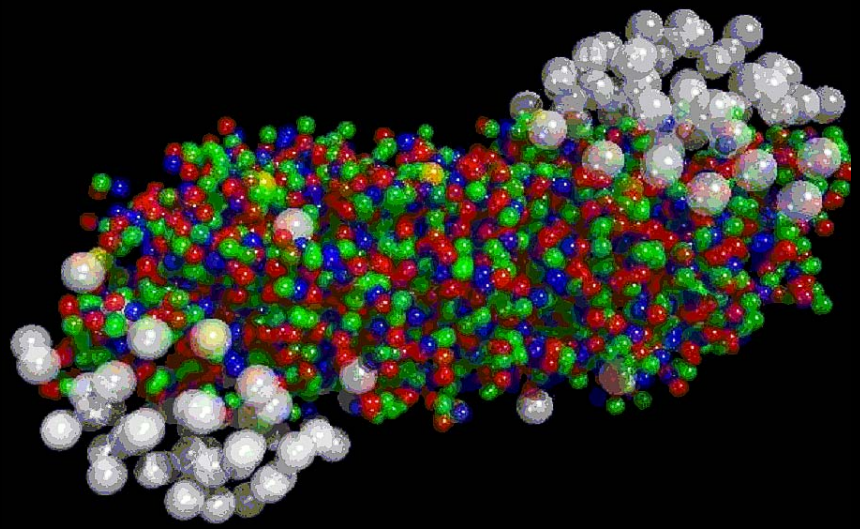


Výsledky skupiny ultra-relativistických těžkých iontů za období 1999-2003 a cíle v příštích 6 letech



Michal Šumbera

VR 19.2.2004

Složení skupiny

RNDr. Dagmar Adamová,CSc.[1], Michal Bysterský,
RNDr.Ivana Hřivnáčová, Ph.D.[2], Mgr.Petr Chaloupka,
Mgr. Světlana Kushpil, Vasilij Kushpil,CSc.,
RNDr.Vojtěch Petráček, CSc.[3,4], Mais Suleymanov, DrSc.[5],
prom.fyz.Michal Šumbera, CSc.

1) od 01/2000
2) do 11/2001
3) 07/1999-12/2003 Karl-Ruprechts Universität Heidelberg
4) od 01/2004 též na FJFJI
5) od 07/2001 do 06/2003

Stav k 10/2003: 4 vědečtí pracovníci
(1 v zahraničí), 2 doktoranti, 1 diplomant

Rozdělení pracovních kapacit[1]

D. Adamová:	CERES (60%), ALICE (40%)
M. Bysterský:	STAR (100%)
P. Chaloupka:	STAR (100%)
S. Kushpil:	ALICE (100%)
V. Kushpil:	ALICE (100%)
V.Petráček:	ALICE (100%)
M. Šumbera:	STAR (80%), ALICE (10%), CERES (10%)

1) Stav k 01/2004

Granty

- Michal Šumbera: *Multibosonové jevy na RHIC*, MŠMT KONTAKT ME 475 (1660 tis. Kč), 2000-3. + NSF PHY-0099476 (41 tis. USD).

- Dagmar Adamová: *Produkce půvabných částic v jádro-jaderných srážkách*, GAČR 202/03/0879, (1017 tis. Kč) 2003-5.

- Michal Šumbera: *Studium jádro-jaderných a proton-protonových srážek na RHIC*, GAČR 202/04/0793, (3477 tis. Kč) 2004-6.

Postdoktorské projekty

•Vojtěch Petráček: *Korekce parazitních efektů v křemíkových driftových detektorech,* GAČR 202/98/P149 (355 tis. Kč), 1998-2000 grant předčasně ukončen v polovině roku 1999.

•Ivana Hřivnáčová: *Simulace a analýza experimentálních dat ALICE detektoru založená na objektově orientovaném programování,* GAČR 202/98/P266 (645 tis. Kč), 1998-2001.

VS CERN (1999-2003):

- Michal Šumbera: CERES ≈ 1MKč

- Michal Šumbera: ALICE[1] 0.5x(2000+2050+2710+2110+2800) kKč ≈ 6MKč

1) Odhad části prostředků připadajícíh na skupinu URHIC

Kandidátské a doktorské práce:

1. V. Kushpil, *Investigation of silicon detectors and their application in high energy physics*, JINR Dubna, 2001. Školitelé: M. Šumbera a A. S. Vodopianov.

2. J. Slívová, *Azimuthal correlations of high p_T pions in Pb-Au collisions at 158 AGeV/c measured by the CERES/NA45 experiment.* MFF KU 2003. Školitel J.P.Wurm, konzultanti J. Rak a M. Šumbera.

3. S. Kushpil, *Investigation of ALICE Silicon Detectors*. Předpokládaný rok obhajoby 2004. Školitelé: M. Šumbera a A. S. Vodopianov.

4. P. Chaloupka, *Multibosonové jevy na RHIC*, MFF KU, Praha Předpokládaný rok obhajoby 2006. Školitel M. Šumbera

Diplomové práce:

1. P. Chaloupka, *Multibosonové jevy na RHIC*, MFF KU, Praha 2002. Školitel M. Šumbera

2. M. Bysterský, *Modelování HBT korelací na RHIC*, MFF KU, Praha. Předpokládaný rok obhajoby 2004. Školitel M. Šumbera

Mezinárodní spolupráce

NA45/CERES: BNL (P. Rehák),
Heidelbergská univerzita (J.Stachel,V.Petráček:1999-2003),
LVE SÚJV Dubna(Yu.A. Panebratsev),
MPI Heidelberg (J.P.Wurm, J.Rak: 1996-2001, J. Slívová: 1997-2003)

STAR: BNL (T. Hallman, D. Lynn-SVT: P. Chaloupka: 4 měsíce/rok v letech 2001-3), Ohio State university (T. Humanic, společný grant NSF 2000-3), Yale university (J. Harris), LBNL (H.G. Ritter, μVTX), Universidade de Sao Paulo, LVE SÚJV Dubna (Yu.A. Panebratseva), LSVE SÚJV Dubna (R. Lednický, společný grant), FÚ SAV, Bratislava (P. Filip, společný grant), UPJŠ, Košice (S.Vokál).

ALICE: INFN Torino (L. Riccatti: V. a S. Kushpilovi: 4 měsíce/rok v letech 2001-3), LVE SÚJV Dubna (A.S. Vodopianov), INFN Catania (A. Palmeri), IPN Orsay (spolupráce s I. Hřivnáčovou na Virual Monte Carlo), CERN (spolupráce na projektech GRID a Virual Monte Carlo).

Publikace 01/1999-09/2003:

1. Mezinárodní časopisy: 44
2. Sborníky konferencí: 6
3. Preprinty a zprávy: 16

Citace za období 01/1999-10/2003 na práce členů URHIC z libovolné doby:

905

11 publikací (7 STAR, 4 WA98) bylo citováno ≥ 50x a < 100x

2 publikace (STAR) byly citovány ≥ 100x

Zařazení do anotace významných výsledků pracovišť AV ČR

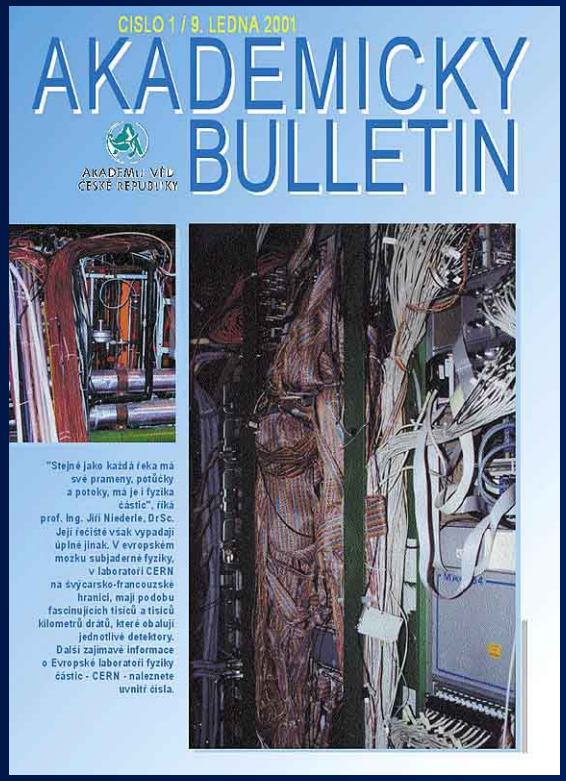
2003: *Studium vlastností partonové hmoty* (P. Chaloupka, R. Lednický, M. Šumbera a I. Zborovský za experiment **STAR**).

2002: *Nová univerzální charakteristika chladnoucího hadronového plynu* (D. Adamová, V. Kushpil, V. Petráček, J. Rak, J. Slívová a M. Šumbera za experiment **CERES**)
http://www.cas.cz/cz/vz/2002/anotace/1.html#15

2000: *Pozorování fotonů z kvark-gluonové plazmy ve srážkách ultra-relativistických těžkých iontů* (S. Eliseev, I. Hřivnáčová, A. Kugler, M. Pachr, V. Petráček, J. Rak, M. Šumbera za experiment **WA98**).
http://www.cas.cz/cz/vz/2000/anotace/1.html#12

Prof. Ing. Rudolf Zahradník, DrSc., předseda AV ČR: ***Akademie věd České republiky: Bilance prvých osmi let***. Projev přednesený na XVII. zasedání Akademického sněmu 28.4. 1999. **Akademický bulletin 1/2001.**

CERES/NA45



V rámci spolupráce s CERN jsme se podíleli na experimentech se srážkami těžkých iontů na protonovém synchrotronovém urychlovači, při nichž byla laboratorně dosažena dosud nejvyšší hustota energie a teplota. Získané výsledky naznačují možnost existence nového stavu silně interagující hmoty - kvarkového gluonového plazmatu - jež zřejmě charakterizovalo vesmír v prvních mikrosekundách po jeho vzniku. Unikátní detektory vyvíjené a konstruované u nás v uplynulých letech pro probíhající i připravované experimenty se srážkami leptonů a hadronů v CERN a DESY i účast na fyzikální analýze získaných dat podstatně prohloubily znalost zákonů mikrosvěta.

Nejvýznamnější výsledky za období 1999-2003

- Studiem energetické závislosti rozměru oblasti emise pionů R_π bylo zjištěno, že k vymizení interakcí mezi piony dochází na vzdálenostech, které jsou podstatně menší než R_π [1].
- Střední volná dráha λ_f pionů v horkém a hustém hadronovém plynu je novou univerzální charakteristikou. λ_f v oblasti 5 GeV $\leq \sqrt{s_{NN}} \leq$ 200 GeV nezávisí na energii a centralitě srážky.
- $\lambda_f \approx$ 1fm $\Rightarrow$ horký a hustý rychle expandující systém je málo propustnostný.
- Měření produkce e^+e^- párů [2] ukázalo,že při nižších energiích ($\sqrt{s_{NN}} \leq$ 17 GeV), vlastnosti hadronů silněji závisí na baryonové hustotě než na teplotě systému.

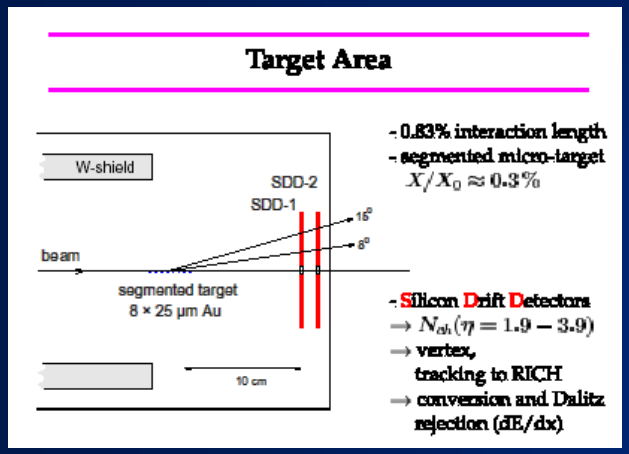
[1] *Universal Pion Freezeout in Heavy Ion Collisions.* D. Adamová *et al.*, **Phys.Rev.Lett. 90:022301,2003.**

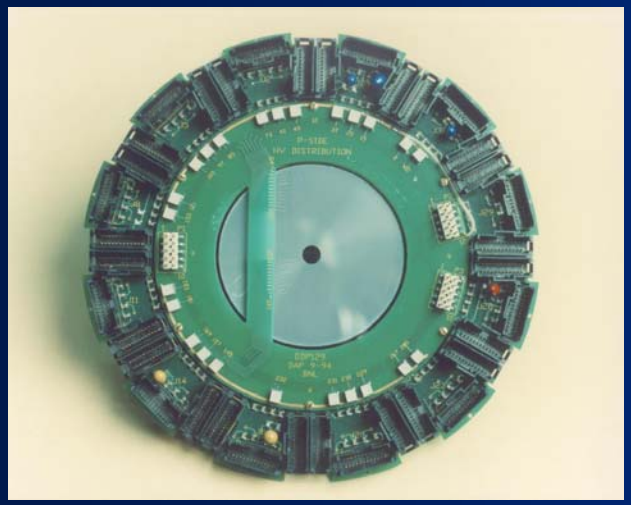
[2] *Enhanced production of low mass electron pairs in 40-A GeV Pb - Au collisions at the CERN SPS.* D. Adamová *et al.*, **Phys.Rev.Lett. 91:042301,2003.**

CERES/NA45

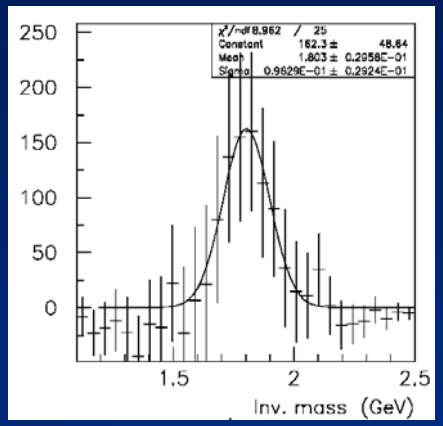
URHIC@CERES

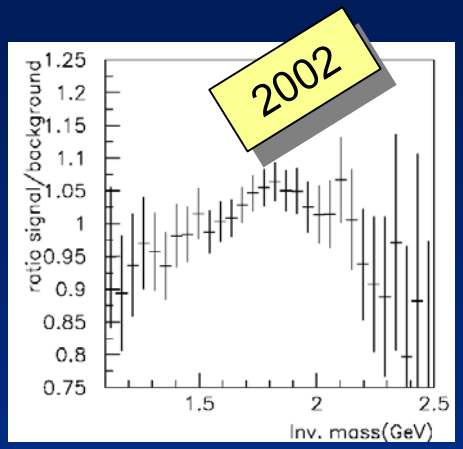
- SDD (centrality trigger, údržba detektoru a analýza dat)

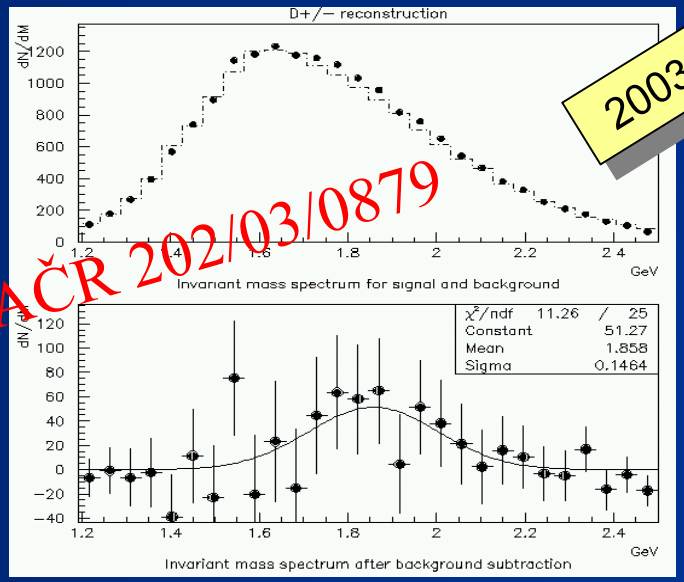




- Studium produkce půvabných částic: $D \rightarrow K\pi\pi$







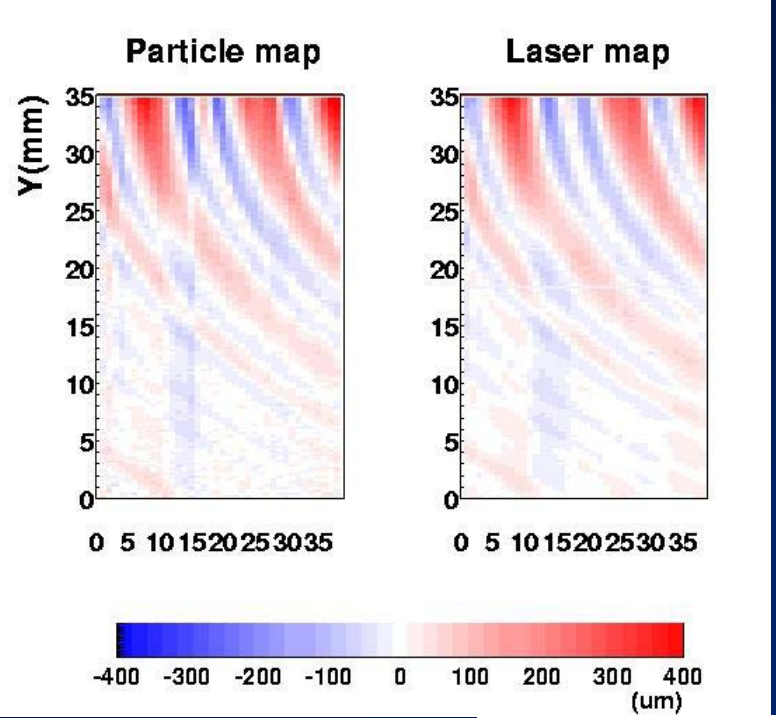
GAČR 202/03/0879

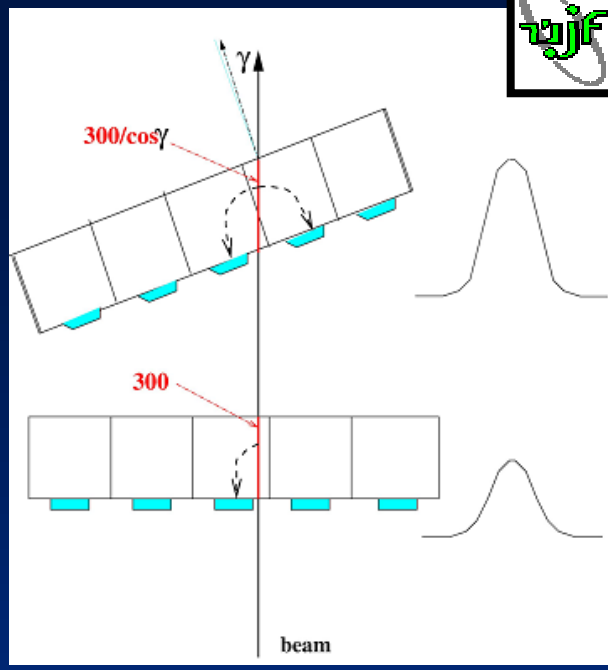
CERES/NA45

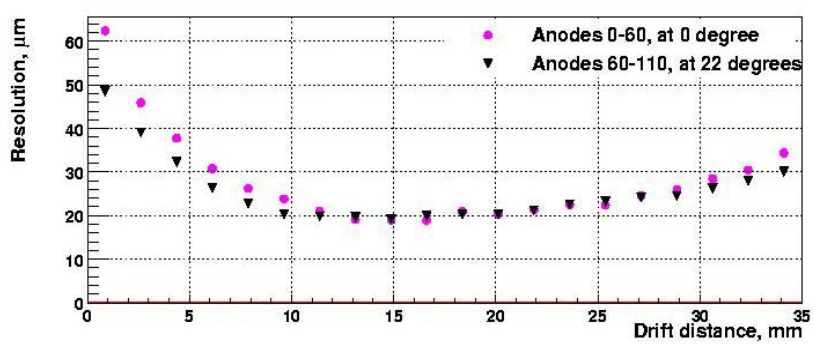
1. Na urychlovačích PS s SPS v CERN byly provedeny testy prototypů KDD vnitřního trekeru ALICE [1]. Bylo ukázáno, že nehomogenita koncentrace dopantů, která vytváří lokální parazitické pole způsobující odklon drah driftujícíh elektronů od přímočarých trajektorií, výrazně zhoršuje prostorové rozlišení detektorů [1]. Byla studována efektivita sběru náboje šikmých drah [2].
2. V křemíkové laboratoři OJS ÚJF byly provedeny testy ALICE prototypů KDD vyrobených v ČR a byly provedeny první dlouhodobé testy NVZ ALICE KDD.

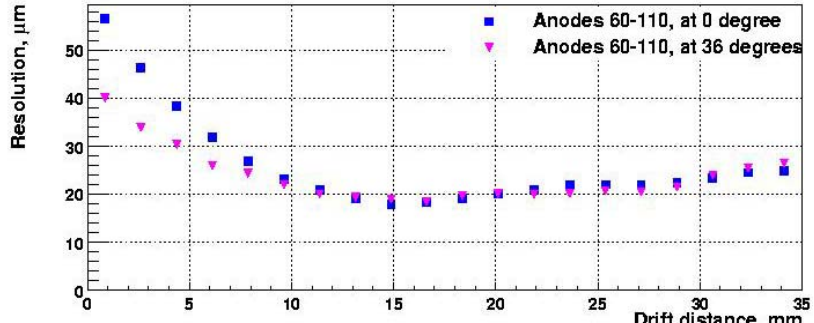
[1] *The ALICE Silicon Drift Detector systém*, D.Nouais *et al.*, **NIM 510A:119,2003**.
[2]*Performance of the silicon drift detectors of the ALICE experiment*, E. Cerescio *et al.*, Proc. XLI Int. Winter Meeting on Nuclear Physics, Bormio, January 26-February 2 2003.

ALICE ITS


Particle map
Laser map
Y(mm)
0 5 10 15 20 25 30 35
-400 -300 -200 -100 0 100 200 300 400
(um)

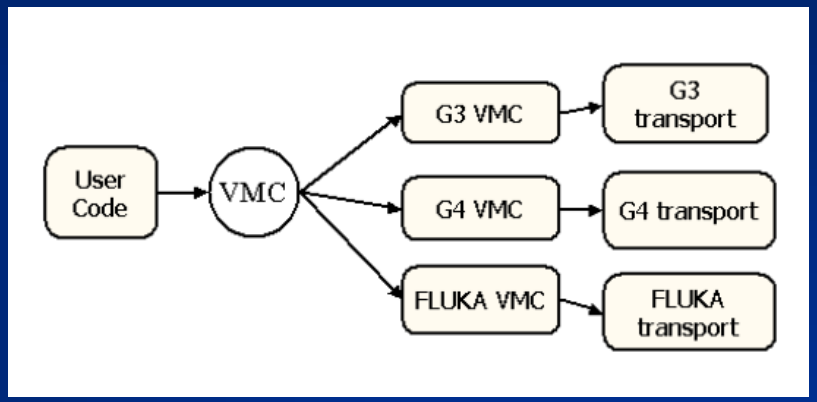

γ
300/cosγ
300
beam


Anodes 0-60, at 0 degree
Anodes 60-110, at 22 degrees
Resolution, μm
Drift distance, mm


Anodes 60-110, at 0 degree
Anodes 60-110, at 36 degrees
Resolution, μm
Drift distance, mm

ALICE OFFLINE

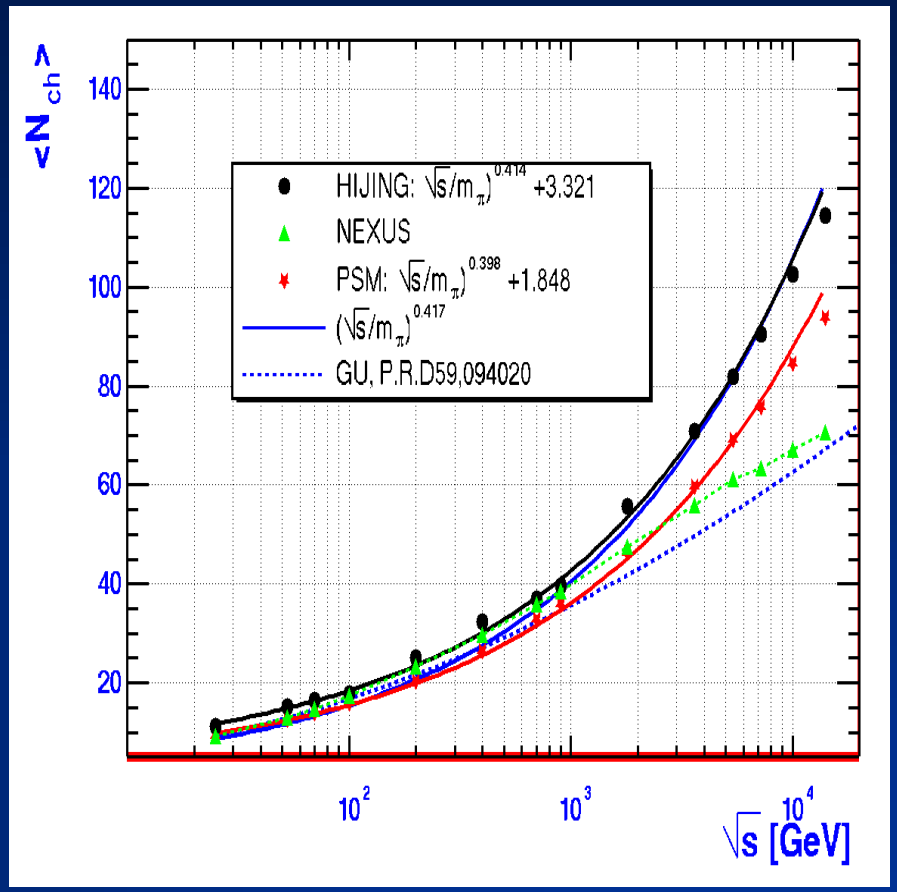
3. V rámci SW projektu ALICE Offline bylo vyvinuto programové prostředí Virtual Monte Carlo (VMC) umožňující provádět různě MC simulace aniž by bylo třeba měnit uživatelský program jako geometrii, odezvu detektoru či vstupní/výstupní formát.[3].



[3]*The Virtual Monte Carlo*, I. Hřivnáčová *et al.*, Proc CHEP 2003, La Jolla, California, 24-28 Mar 2003, **eConf C0303241:THJT006,2003**, **e-Print Archive: cs.se/0306005**.

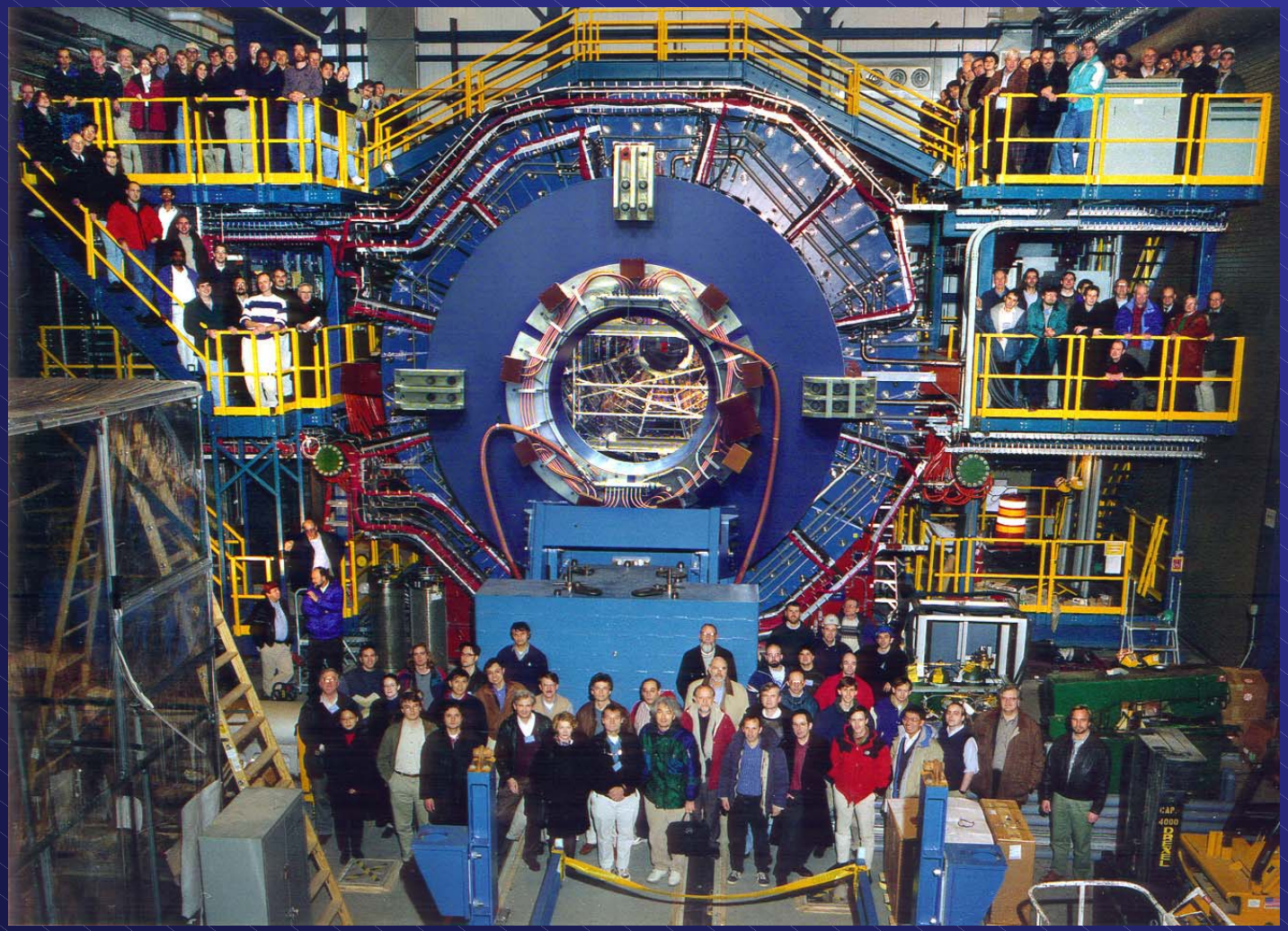
ALICE FYZIKA

4. Pomocí tří různých mikroskopických modelů byla studována energetická závislost multiplicity nabitých částic v pp srážkách a to až do LHC energií [4]. Bylo zjištěno, modely narušující KNO škálování preferují self-similární násobnou produkci hadronů.



[4]*Entropy and multifractal analysis of multiplicity distributions from pp simulated events up to LHC energies*, M.K. Suleymanov, M. Šumbera, I. Zborovský, **e-Print Archive: hep-ph 0304206**

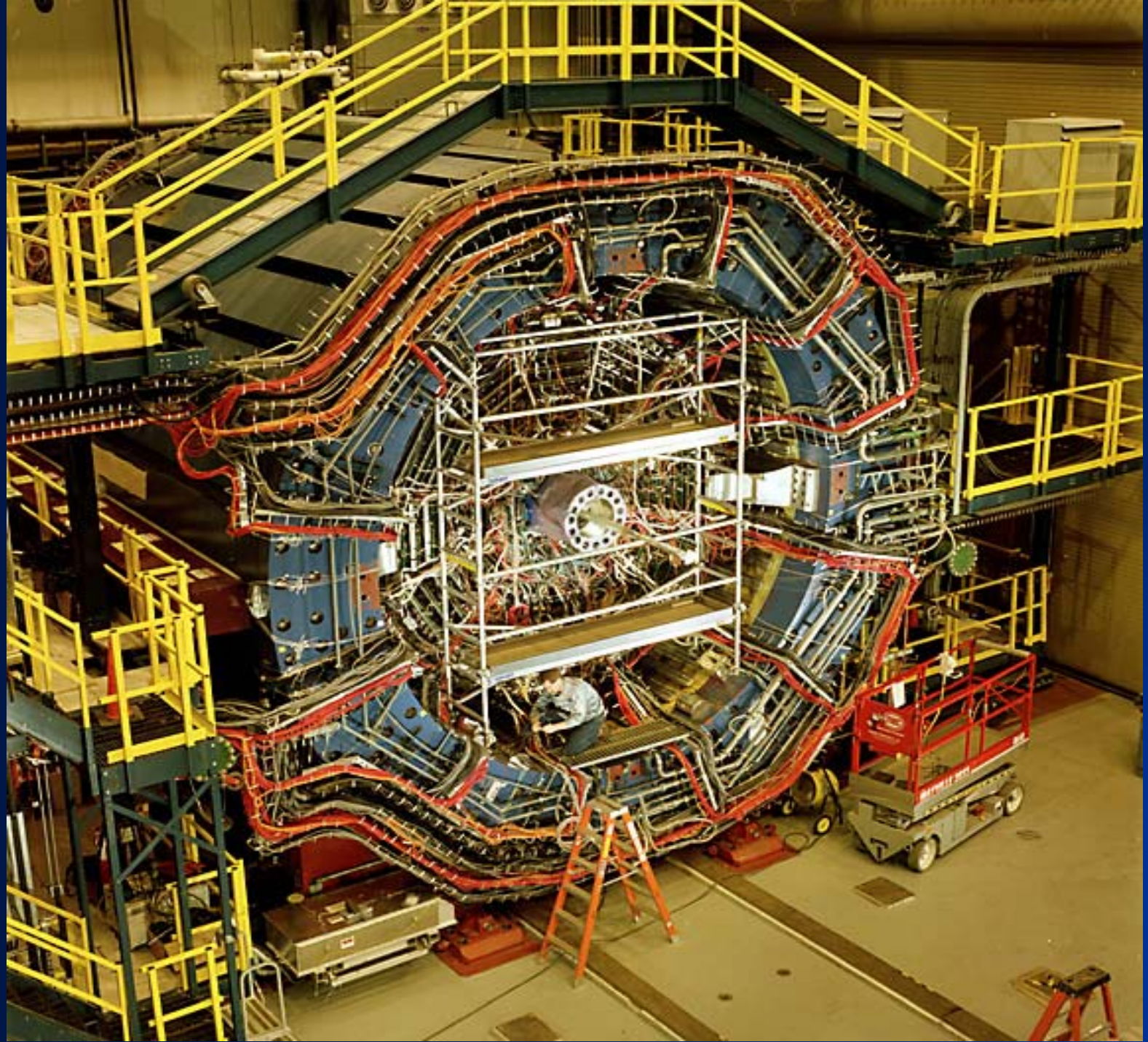
Solenoidal Tracker At RHIC



27.2.2003

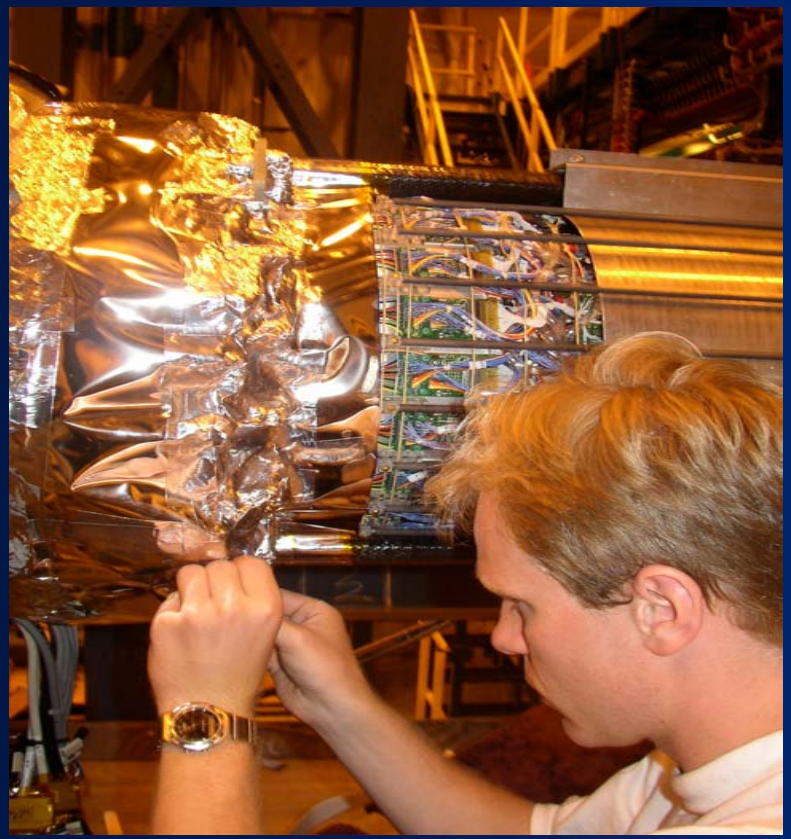
STAR

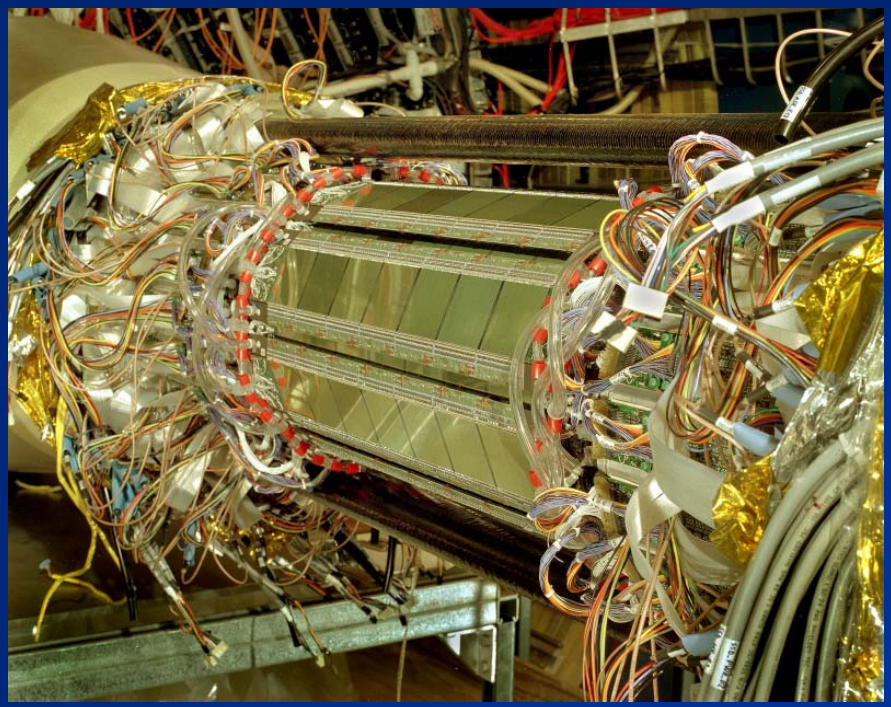
BROOKHAVEN NATIONAL LABORATORY



URHIC@STAR (* 2000)

1. SVT
2. Účast při sběru dat
3. EStruct+HBT PWG

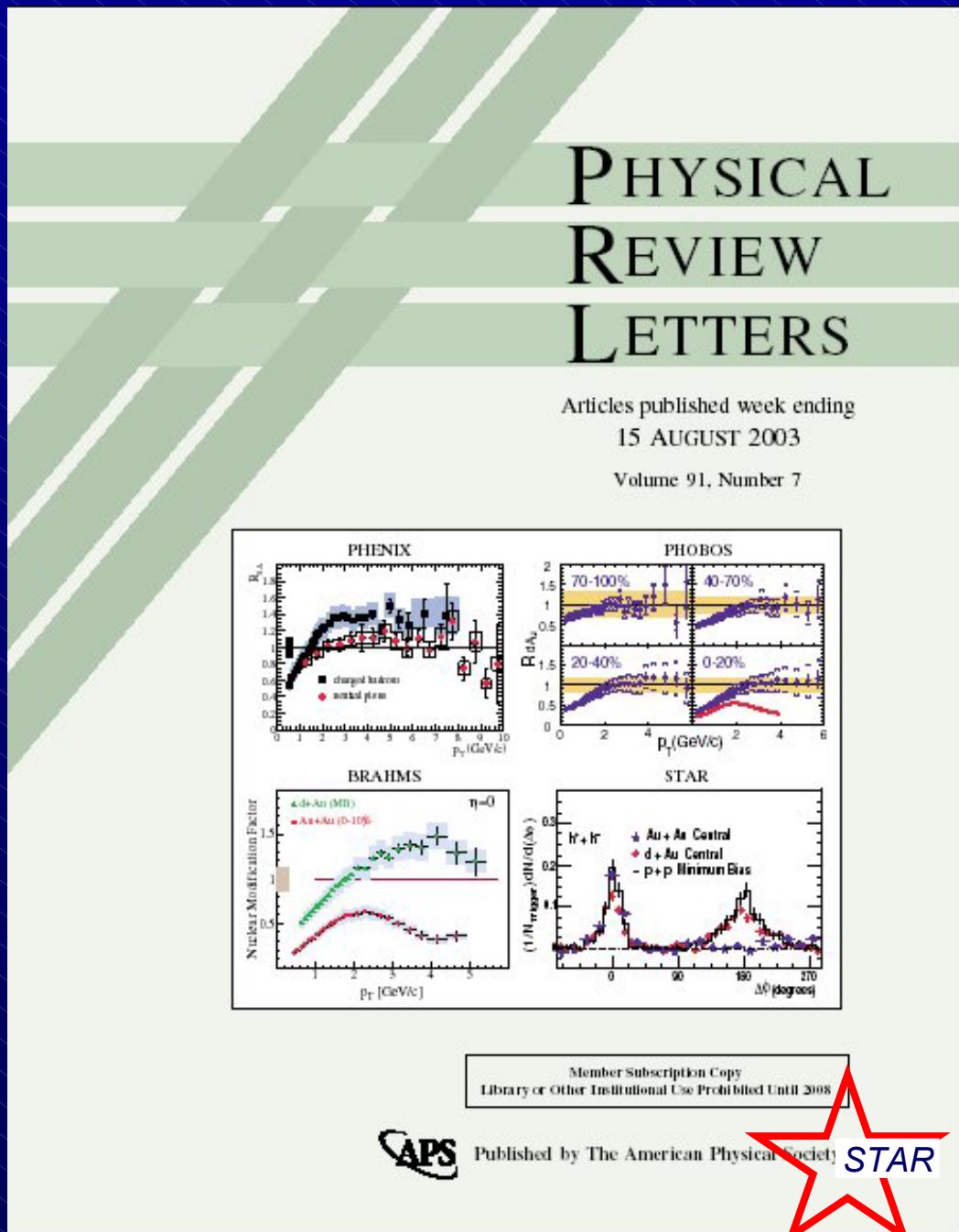




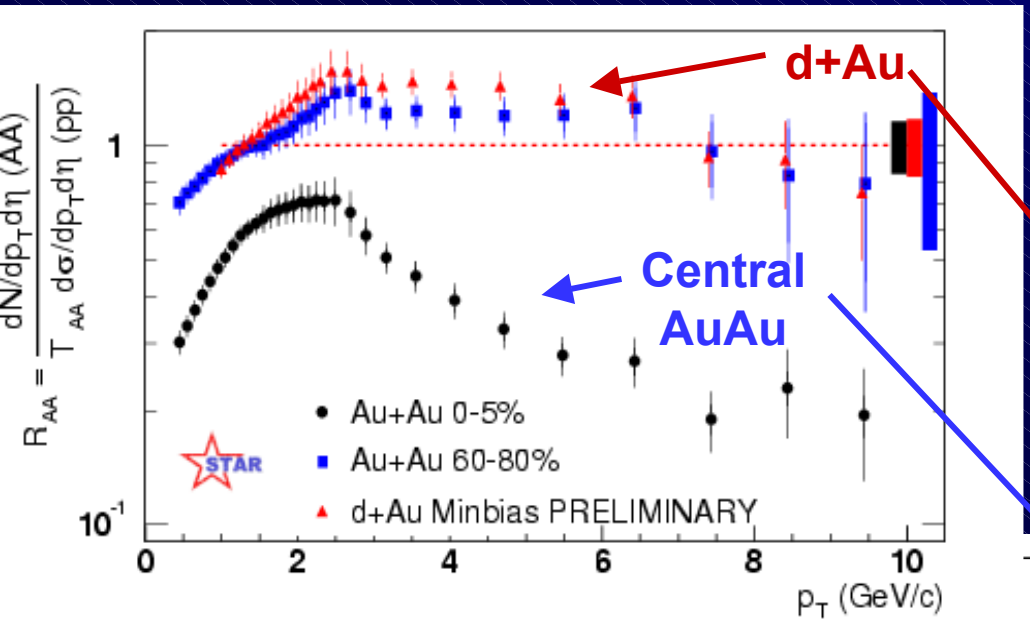
Jet Quenching Result

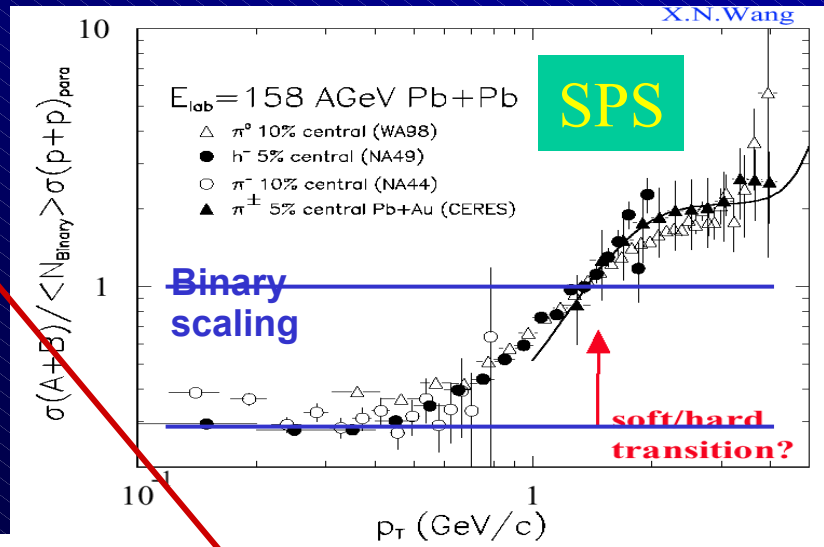
PRL Cover Article

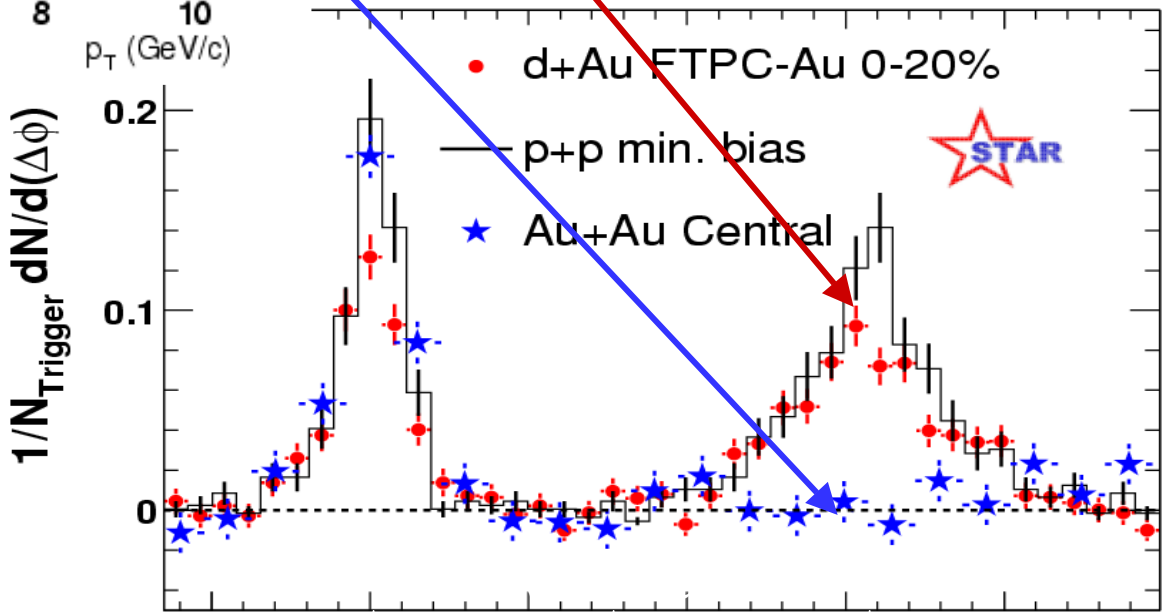
Special Colloquium
at BNL, June 17, 2003



"Kontrolní" experiment d+Au







Potlačení částic s velkým p_T je způsobeno vlastnostmi nově vytvořené hmoty a nikoliv důsledkem počátečního stavu jádra Au

[1] C. Adler *et al.*, Phys.Rev.Lett.91:072304, 2003.

Studium Au+Au, d+Au a p+p srážek při energii $\sqrt{s_{NN}}$ = 200GeV provedené v letech 2001-3 na urychlovači RHIC ukázalo, že:

- v počátečním stádiu centrální srážky těžkých jader dochází k produkci husté, disipativní, silně interagující hmoty.
- Hmota vykazuje kolektivní chování doprovázené silnými tlakovými gradienty.
- Tyto závěry nemohou být vysvětleny na základě obvyklé hadronové dynamiky a vyplývají z:
  - ✓ naměřeného silného potlačení produkce částic s velkou příčnou hybností (Au+Au vzhledem k d+Au a p+p),
  - ✓ vysokého stupně azimutální anizotropie přetrvávající až do velkých příčných hybností
  - ✓ rychlé radiální expanze systému (<v> = 0.55c)
  - ✓ velmi krátké a pozdní doby emise hadronů.

STAR

… a navíc:

- Poměry výtěžků produkovaných částic jsou ve velmi dobré shodě s rovnovážnými statistickými modely.

- Poprvé ve srážkách ultra-relativistických iontů lze popsat spektra emitovaných částic pomocí hydrodynamické expanze vycházející z počátečního rovnovážného stavu.

- Hustota energie na počátku expanze převyšuje více než 20x kritickou hodnotu fázového rozhraní mezi hadronovým plynem a kvark-gluonovým plazmatem.

STAR

The New York Times ON THE WEB

BROOKHAVEN NATIONAL LABORATORY

RHIC

Scientists Deciphering Atomic Forces Report Hottest, Densest Matter Ever Observed

KENNETH CHANG (NYT): June 19, 2003, Section A , Page 23 , Column 1

Newly Found State of Matter Could Yield Insights Into Basic Laws of Nature

JAMES GLANZ (NYT): January 13, 2004,Section A , Page 19 , Column 2

Tests Suggest Scientists Have Found Big Bang Goo

JAMES GLANZ (NYT): January 14, 2004, Section A , Page 12 , Column 3

Cíle a předpokládané výsledky v letech 2005-2010

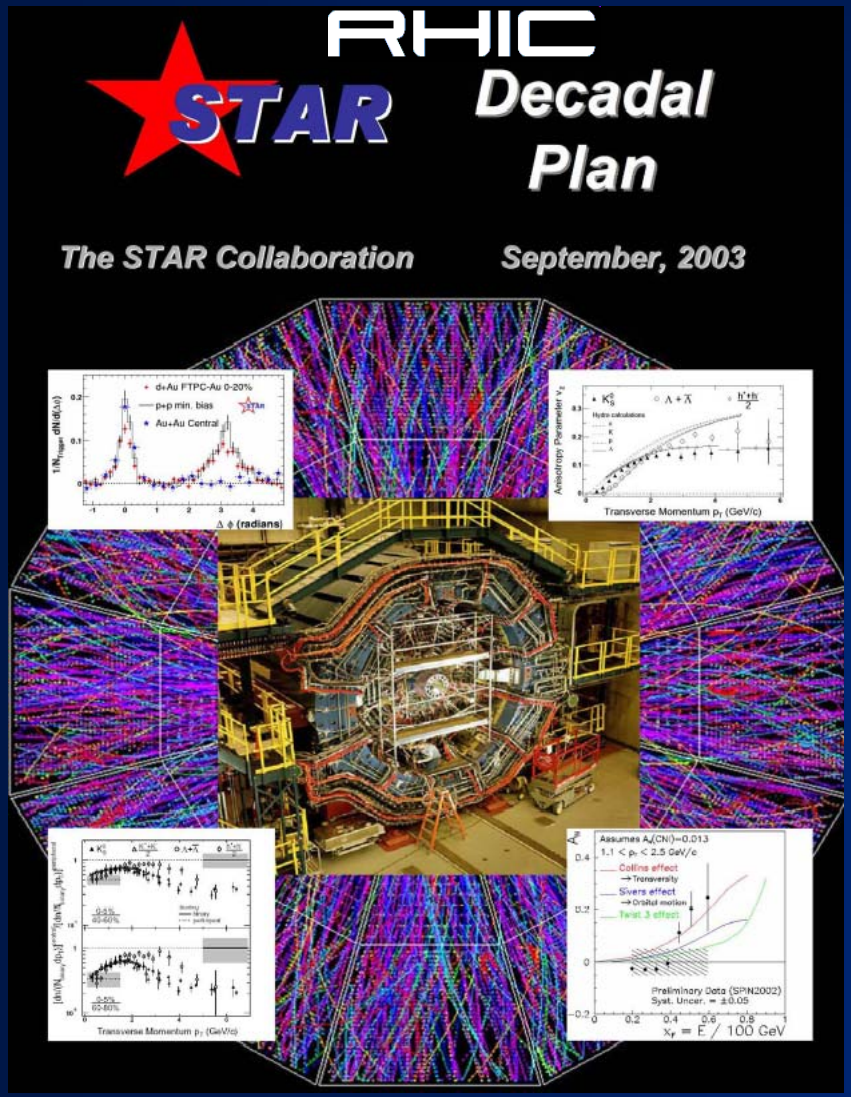
Prediction is very difficult, especially about the future.

Niels Bohr

I never think of the future – it comes soon enough.

Albert Einstein

RHIC a LHC po roce 2007

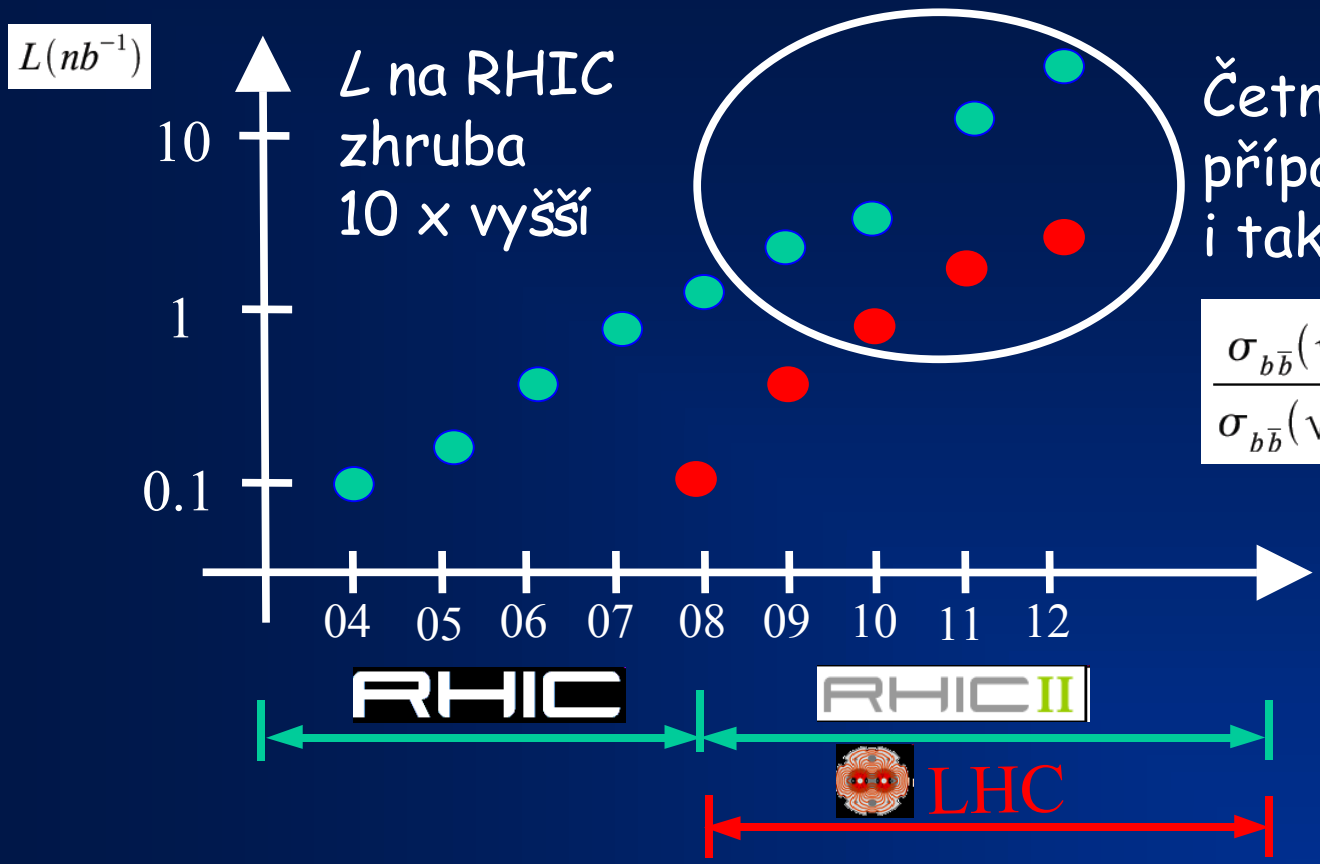


LHC

Heavy-ion running scenario

- Year 1
  - pp: detector commissioning & physics data
  - PbPb physics pilot run: global event-properties, observables with large cross-section
- Year 2 (in addition to pp @ 14 TeV, L< 5.10^{30} $cm^{-2}s^{-1}$)
  - PbPb @ L~ 10^{27} $cm^{-2}s^{-1}$: rare observables
- Year 3
  - p(d, α)Pb @ L~ 10^{29} $cm^{-2}s^{-1}$: Nuclear modification of structure function
- Year 4 (as year 2) : $\mathcal{L}^{int}$ = 0.5-0.7 nb^{-1}/year
- Year 5
  - ArAr @ L~ 10^{27} -10^{29} $cm^{-2}s^{-1}$: energy density dependencies
- Options for later
  - pp @ 5.5 TeV, pA (A scan to map A dependence), AA (A scan to map energy-density dependence), PbPb (energy-excitation function down towards RHIC), ….

Integrovaná luminozita RHIC a LHC



L na RHIC zhruba 10 x vyšší

Četnosti zajímavých případů budou na LHC i tak 10x vyšší, např:

$$\frac{\sigma_{b\bar{b}}(\sqrt{s}=5.5\,TeV)}{\sigma_{b\bar{b}}(\sqrt{s}=200\,GeV)} \sim O(100)$$

RHIC II nebude s LHC soutěžit, ale doplňovat!

Proč mají současně probíhat experimenty s těžkými ionty RHIC a LHC ?

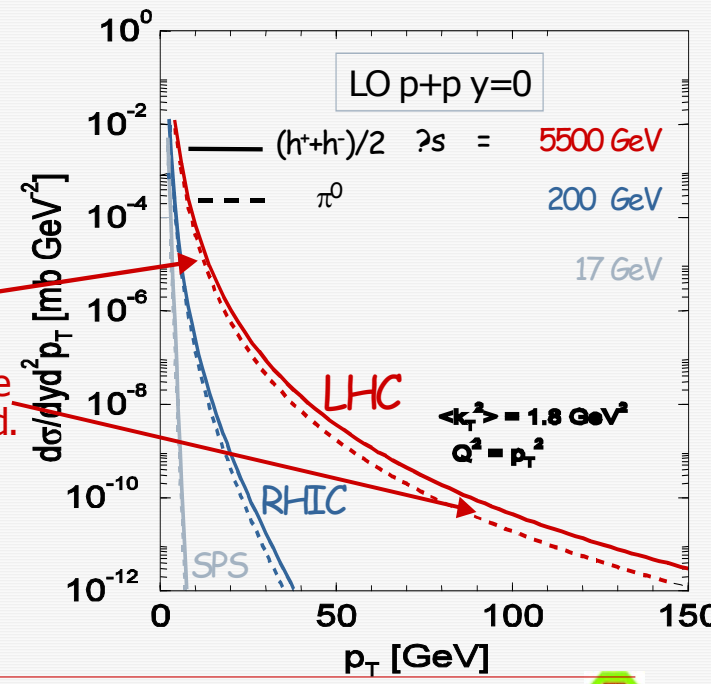
Existují silné důvody věřit že QCD médium na LHC je jiné než na RHIC :

- $\varepsilon_{LHC} \approx 5\ \varepsilon_{RHIC}$

- "CGC" v $y \approx 0$

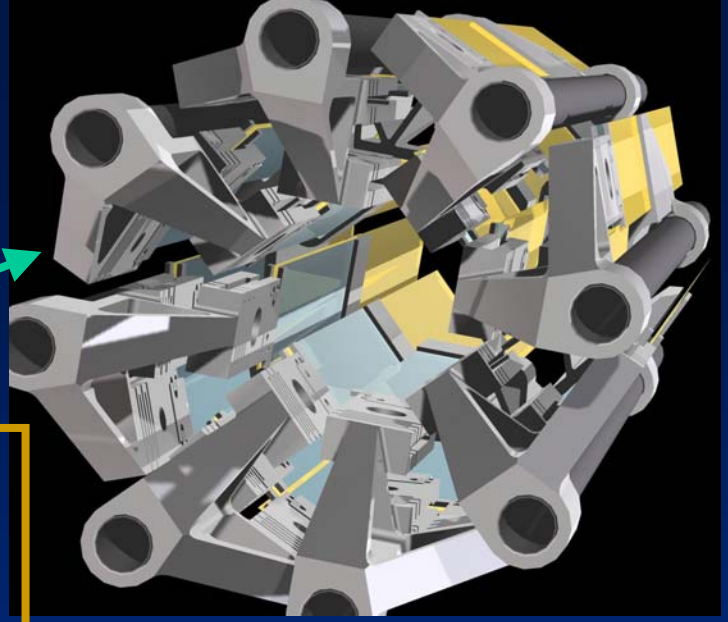
Novel aspects: Qualitatively new regime

- Hard processes contribute significantly to the total AA cross-section ($\sigma^{hard}/\sigma^{tot} = 98\%$):
  - Bulk properties dominated by hard processes;
  - Very hard probes are abundantly produced.
- Weakly interacting probes become accessible (γ, Z^0, $W^{\pm}$).

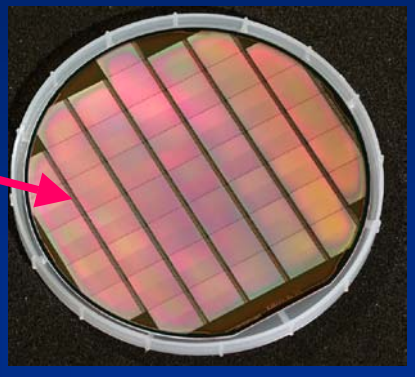


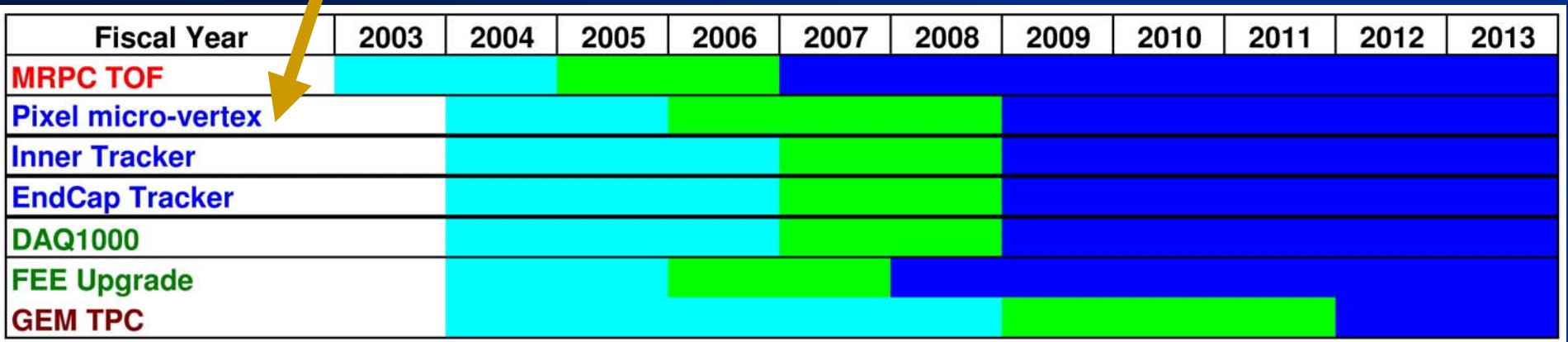
URHIC@STAR:

Pixelový μVertex detektor



Vrcholový detektor s rozlišením lepším než 100 μm založený na technologii CMOS
Aktivní Pixelový Senzor (APS)
Bude sloužit ke zlepšení PID částic obsahujících těžké kvarky





Cíle a předpokládané výsledky skupiny URHIC v letech 2005-2010

1. **CERES** Dokončit studium produkce půvabných mesonů na SPS (do konce roku 2006).

2. **STAR:** Prokázat, že hmota vytvořená ve srážkách těžkých iontů na RHIC má skutečně partonovou povahu (2004-6). Naší konkrétní strategií k dosažení tohoto cíle je studium mnohočásticových korelací a studium multibosonových jevů. Po roce 2007 umožní 10x zvýšení luminosity RHIC měření produkce půvabných částic. Skupina se účastní programu pixel. μVertex, který je určen pro tato měření.

3. **ALICE** *Inner Tracker System* a *Offline*: Dokončit přípravu experimentu (do konce roku 2007). Podílet se na sběru a analýze dat ze srážek PbPb a pp. Studovat produkci půvabných částic a částic s malou příčnou hybností – fyzika detektorů ITS,TPC a eventuelně i TRD. Hledání projevů silných klasických QCD polí GCC. Podílet se na přenosu, ukládání a zpracování dat v prostředí GRID.

S ohledem na množství a kvalitu očekávaných výsledků STAR není jasné, zda-li by nebylo moudřejší pokračovat ve STAR i po spuštění LHC. Rozhodujícími se zřejmě ukážou dostupné pracovní síly a finance.

Micro-Vertex Detector

A possible probe: Charm hadron chemistry; D_s^+ reconstruction

- **Do c quarks thermalize?**
  - If yes, ratio of charm hadrons yield changes from p-p to Au-Au

    (D_s^+ most sensitive)

	Pythia p-p 200 GeV	Au-Au Thermal*
D^+/D^0	0.33	0.455
D_s^+/D^0	0.20	0.393
Λ_c^+/D^0	0.14	0.173
$J/\Psi/D^0$	0.0003	0.013

System	N events for 3 σ
TPC+SVT ($K^0_s + K^+$)	500 M
TPC+SVT+μVertex ($\phi+\pi^+$)	80M
TPC+SVT+μVertex+TOF ($\phi+\pi^+$)	5M

* A.Andronic, P.Braun-Munzinger, K.Redlich, J.Stachel

nucl-th/0209035 (QM02 proceedings)

No Trigger Possible -

Need large event sample, precision vtx, additional PID