

# Fyzika elementárnych castíc na KJFB

*Stanislav Tokár*

Univerzita Komenského  
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky  
Katedra jadrovej fyziky a biofyziky  
*Bratislava*

# Fyzika castíc - minulost a budúcnost

20. storocie: veľký progres vo fyzike castíc

- Progres v teórii – vytvorenie Štandardného Modelu (SM)
- Progres v experimente - elektronický experiment

Dôsledky:

- Hlboké zmeny v názore na obklopujúci nás svet
- Obrovský technologický progres

## 2. polovica 20. storocia: Progres v teórii

- Vytvorenie Štandardného modelu (SM) – elektroslabé zjednotenie EW, kvantová chromodynamika QCD

SM so svojou kategorizáciou castíc a síl umožnil:

1. kvalitatívne nový pohľad na fyzikálne procesy na úrovni mikrosveta aj megasveta (horúca fáza vesmíru).
2. predokladal existenciu celého radu castíc ( $W^\pm$ ,  $Z^0$ , gluóny,...)
3. Vynikajúca zhoda s experimentom

- Nespokojnosť so SM: Veľký počet voľných parametrov – v min. verzii 18 parametrov, SM nevysvetľuje hierarchiu hmotností castíc, pôvod narušenia CP-symetrie nie je uspokojivo zodpovedaný, nedáva odpoveď na otázku počtu generácií, nezahŕňa gravitáciu.

- Vytvorenie nových fyzikálnych koncepcií iducích za SM (GUT-teórie, SuSy, Teória superstrún)

## 2. polovica 20. storocia: Progres v experimente

### ➤ Významný progres (revolúcia) v technológii experimentu:

1. Vznik elektronického experimentu – možnosť študovať procesy s veľmi nízkymi účinnými prierezmi.
2. Nástup kolajderov (I SR, SPS, Tevatron, LEP,...) – prechod k štúdiu interakcií pri veľmi vysokých energiách.

### ➤ Experimentálny objav kvarkovej štruktúry hadrónov:

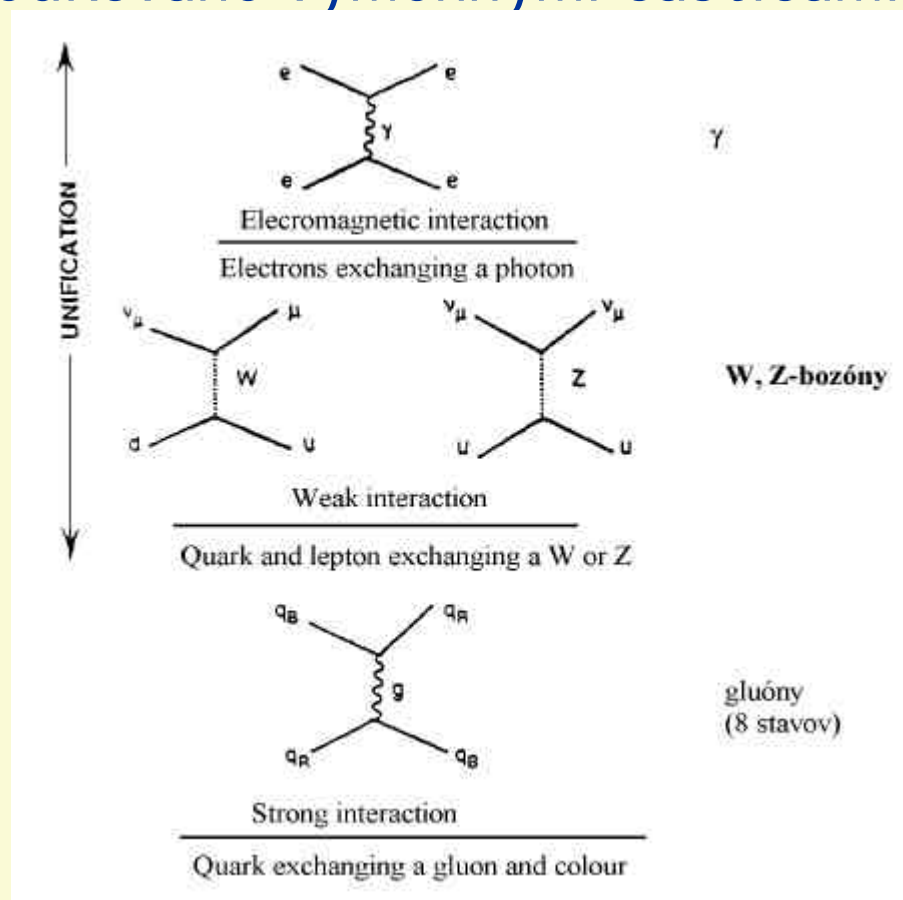
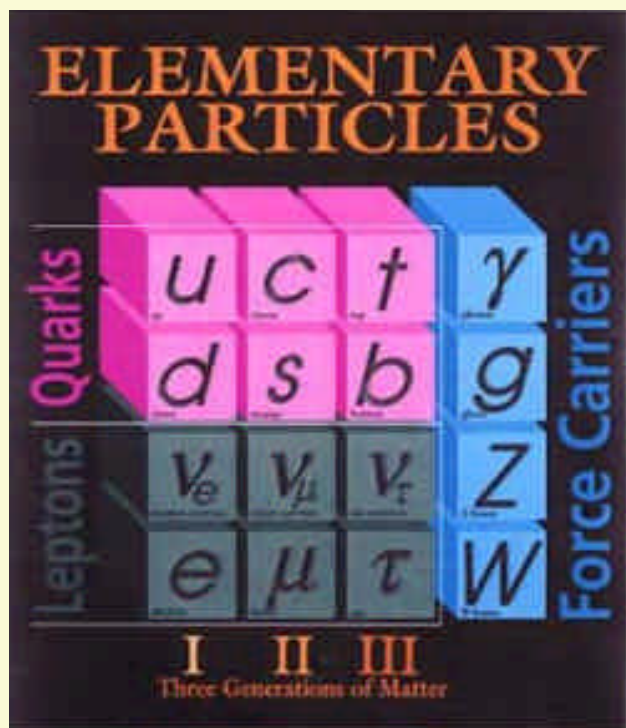
1. Objav  $c$ -,  $b$ - a  $t$ -kvarkov,
2. Experimentálne potvrdenie existencie  $W^\pm$ ,  $Z^0$  boónov.
3. Objav  $t$ -leptónu, neutrín  $\nu_m$ ,  $\nu_t$
4. Nájedené experimentálne prejavy kvarkov a gluónov

Základná požiadavka na experiment:

precízna EW a QCD + potenciál pre novú fyziku.

# Castice a sily prírody

Sily sú sprostredkované vymennými casticami



? Higgsove castice  
Vákuum=Higgsov kondenzát

Zatiaľ  
neobjavené

# Castice vs. ranný vesmír

cas ( sec )

0

**Big Bang** (  $T \sim -15 * 10^9$  )

$10^{-43}$

Vesmír vzniká z kvantovej gravitacnej fluktuácie?

$10^{-32}$

**Kvarková epocha** ( farebný svet )

LHC-ATLAS

$10^{-12}$

$T \sim 3 * 10^{15} K$  (  $E \sim 200 GeV$  ):

- Fázový prechod → **Vznik Higgsovho kondenzátu**  
→ leptóny, kvarky,  $W^\pm$ , Z–bozóny nadobúdajú  $M$
- Vznik prebytku látky nad antilátkou (  $\sim 1:10^{10}$  )

Je treba 3 pokolenia castíc

$10^{-11}$

$T \sim 10^{15} K$  (  $E \sim 100 GeV$  ): → **Súcasný exp.**

Obsah vesmíru: leptóny, kvarky, gluóny,  $W^\pm$ , Z, fotóny

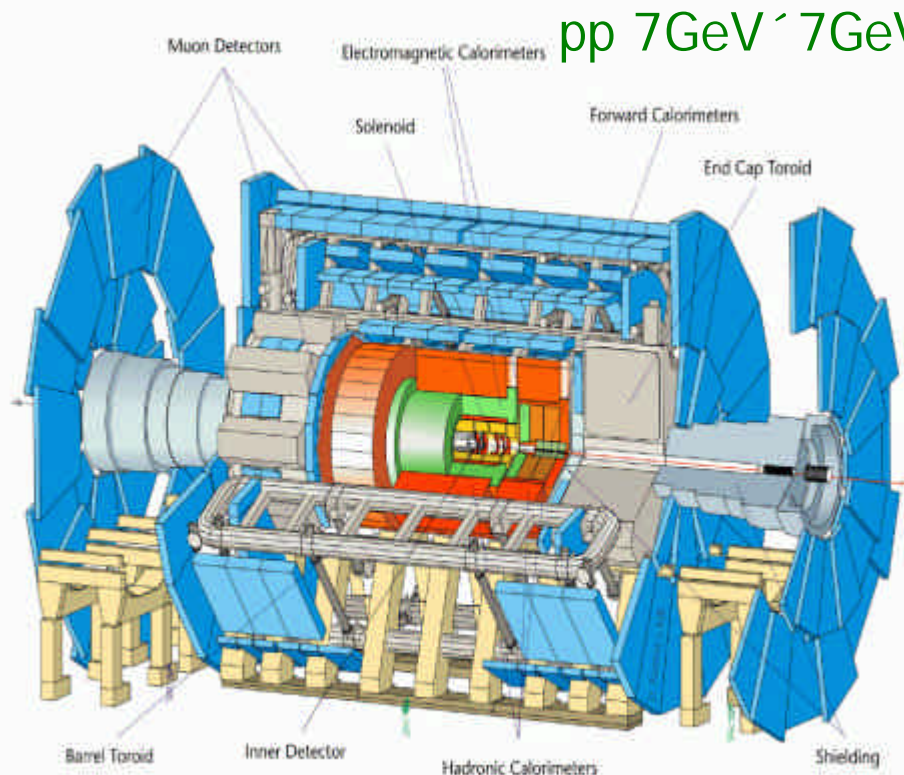
LHC  
ALICE

$10^{-5}$

$T \sim 10^{12} K$  ( energia  $\sim 200 MeV$  ): "Confinement" kvarkov →  
formovanie hadrónov ( nukleóny (P, N), iné baryóny, mezóny

# ATLAS performance

Mnoho-účelový casticový detector (pokrytie do  $|\eta|=5$ ,  $L=10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )



pp 7GeV' 7GeV

- **Inner Detector**

$s/p_T \gg 0.05\% \times p_T (\text{GeV}) \hat{=} 0.1\%$

Tracking range  $|\eta| < 2.5$

- **EM Calorimetry**

$s/E \gg 10\% / \sqrt{E (\text{GeV})} \hat{=} 1\%$

Fine granularity up to  $|\eta| < 2.5$

- **Hadronic Calorimetry**

$s/E \gg 50\% / \sqrt{E (\text{GeV})} \hat{=} 3\%$

Range:  $|\eta| < 4.9$

- **Muon System**

$s/p_T \sim 2 - 7\%$ , range:  $|\eta| < 2.7$

Magnetické pole :

2T Solenoid + 3 air core toroids

**Zaciatok: 2007**

Precision physics in  $|\eta| < 2.5$

Lepton energy scale: 0.02% ( $Z \rightarrow \ell\ell$ )

Jet energy scale: 1.0 % ( $W \rightarrow jj$ )

# Základné úlohy fyziky na LHC

Pôvod mechanizmu spontanného narušenia symetrie v elektroslabom sektore ( *hladanie Higgsovho bozónu + fyzika okolo* )

Fyzika top-kvarku ( *LHC  $\sim 10^7$   $tt$ -párov/rok  $\rightarrow$  detailné štúdium t-procesov (účinné prierezy, rozpady)* )

Nové testy QCD at 14 TeV ( *Multijety, top produkcia, p.d.f. sensitívne procesy* )

B-fyzika a iné procesy SM ( *Štúdium narušenia CP symetrie,  $B^0_S$  - oscilácií;  $B^0 \rightarrow J/\psi + K^0_S$   $B^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$ , fyzika jetov (testovanie QCD) etc. )* )

Precízne merania v rámci fyziky SM

*W a Top hmotnosť, ohranícenie na hmotnosť Higgs bozónu via EW fyziku*



# Bratislava v ATLASe

Top fyzika: rekonštrukcie náboja top-kvarku (exp. ATLAS)

$Q_{\text{top}} = 2/3$  (SM) vs .  $Q_{\text{top}} = -4/3$  + iné procesy s top-kvarkami

Rýchle simulácie pre kalorimetrický systém ATLASu

Rozvoj metódy pre najdenie rýchlej odozvy na vstup castice do kalorimetra

Rekonštrukcia odozvy hadrónového kalorimetra

Rozvoj metódy na potlacenie efektu neskompensovanosti had. kalorimetra → odozva na hadrón sa líši od odozvy na  $e^\pm g$

Testy fotonásobicov jedno-fotoelektrónovou metódou

Analýza základných parametrov spektrometrického kanála

# Co poskytuje štúdium castíc?

## ❖ Fyzikálne zaujímavú tému - možnosť pracovať v oblasti:

- ✓ Experimentálnej (*fyzika detektorov, rekonštrukcia exp. informácie*)
- ✓ Softvérovej (*modelovanie procesov, ovládanie hardwaru*)
- ✓ Teoretickej (*výpočet fyzikálnych procesov, teoretické modely*)

## ❖ Univerzálnosť

- **Počítacová gramotnosť** + vybavenosť matematickými metódami
- Kritický úsudok + **zdravé sebedovetomie** (konfrontácia v rámci svetových kolaborácií)

## ❖ Pripravenosť pre riešenie problémov mimo odboru

nielen pre informatiku, matematiku, techniku, ale aj ekonomiku, etc.

**Casticová fyzika: najuniverzálnejšie možnosti**

Dakujem za pozornost !!!

# ATLAS: fyzika detektorov, etc.

- Cieľ ATLASu je „cistá“ fyzika (Higgs, top, SuSy, etc.)
- Prvá fáza experimentu:
  - ⇒ vývoj testovanie a budovanie detektorov
  - ⇒ vývoj a budovanie DAQ
  - ⇒ budovanie výpočtových systémov
- Fyzika detektorov je potrebná a zaujímavá:
  - ⇒ je dôležitá pre pochopenie systematiky
  - ⇒ môže mať praktické uplatnenie
- Naša účasť na budovaní ATLASu: **Hadrónový TileCal**

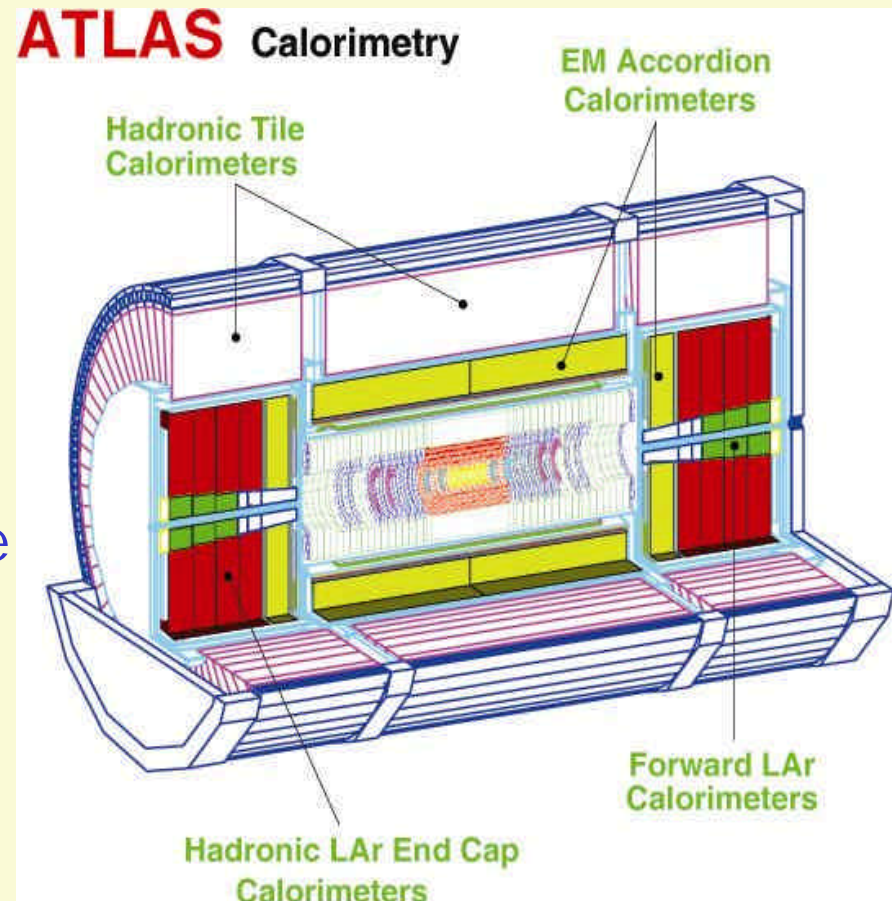
# Test Beam Data Reconstruction

Testy fotonásobícov jedno-  
fotoelektrónovou metódou

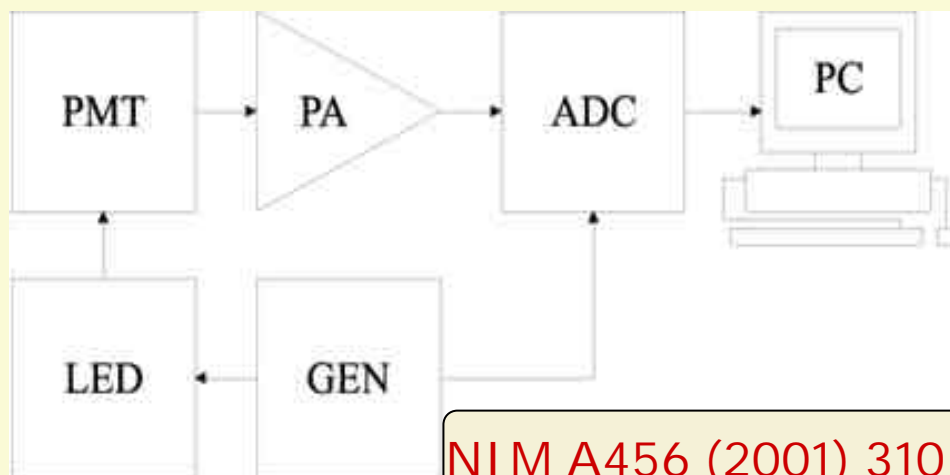
Rekonštruk. odozvy kalorimetra  
na piony investigated (linearita,  
homogenita, energ. rozlíšenie)

Vypracovaná metóda rekonštrukcie  
Energie využívajúca topológiu  
Hadrónovej spršky

Rozvoj metódy rýchlych simulácií  
odozvy hadrónového kalorimetra



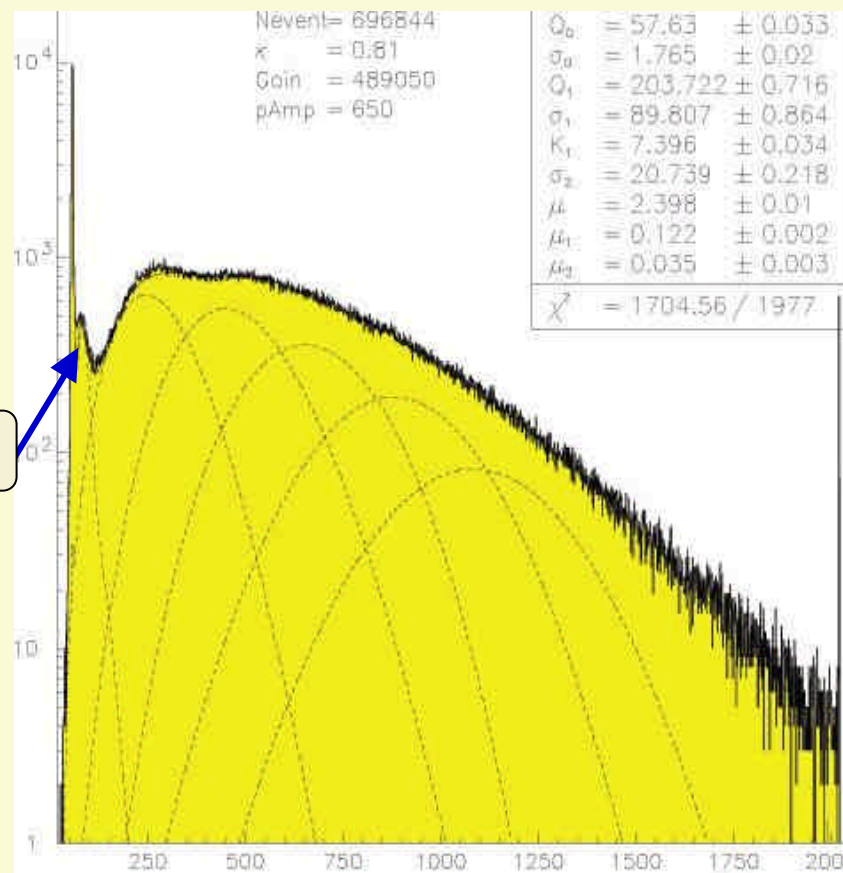
# PMT tests using single p.e. analysis



PMT excess factor found

$$m = f_{PMT} \times \frac{Q^2}{S^2}, \quad f_{PMT} \gg 1 + \frac{S_1^2}{Q_1^2}$$

Details of PMT structure seen (1<sup>st</sup> dynode effect)



A PMT spectrum analysed by the single p.e. method

# TileCal: topológia spršky vs energia

Pri danej  $E_{inc}$  rekonštruovaná energia závisí od topológie spršky

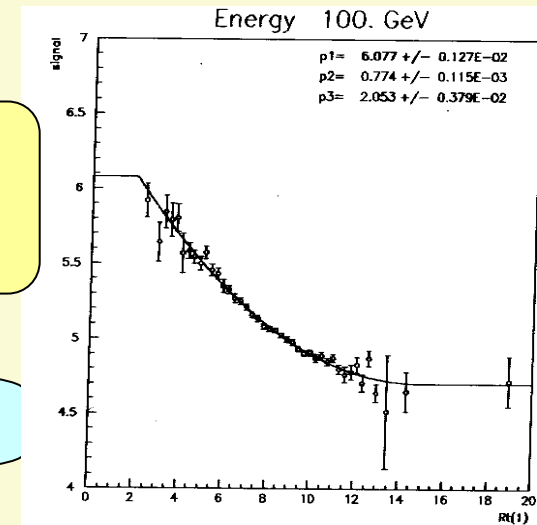
Jednoduchý topologický parameter:

$$r_T = \frac{\sum_{i=1}^{N_{cell}} r_i \times S_i}{\sum_{i=1}^{N_{cell}} S_i}$$

Vzdialenosť i-tej bunky od osi spršky

Signál v i-tej bunke

Zlepšenie rozlíšenia  
A linearity



Motivácia: parameter  $r_T$  je citlivý na podiel  $p^0$  v sprške (malé  $r_T$  - veľa  $E_{p0}$ , veľké  $r_T$  : naopak )

Garabík et al., ATL-TILECAL-2000-008

R2002: pribrzdzenie aktivít v riešení problému

R2004: záujem o problém - I. Vivareli (INFN Pisa)

Možná úloha !!!

# Fast MC Simulation of the ATLAS Calorimeter

- The fast MC code for TileCal created  $\Rightarrow$  works  $1000 \times$  faster than the full simulation

Šutiak et al., Tilecal-2003-008

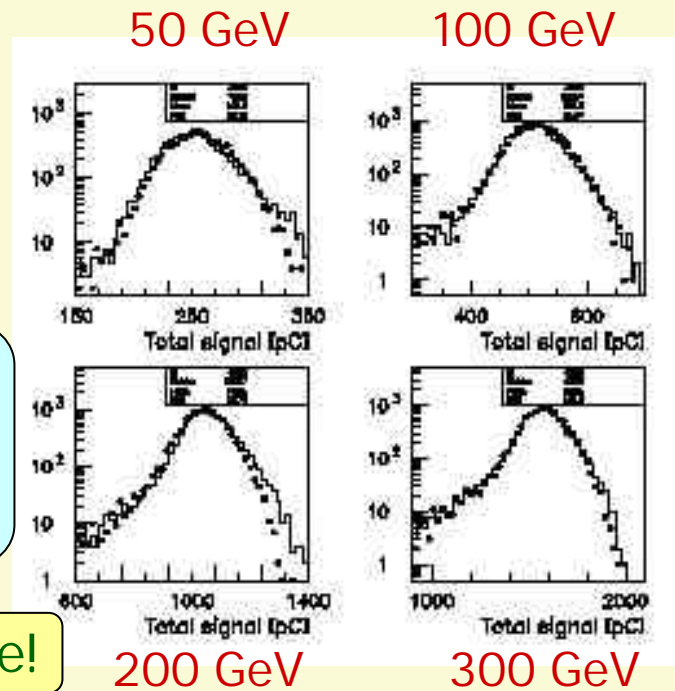
- Idea: a few partial showers initiated by the principal particles from the first interaction place.
- Works continue to create the fast MC for full Calorimeter

Fast MC  
vs  
Test beam data

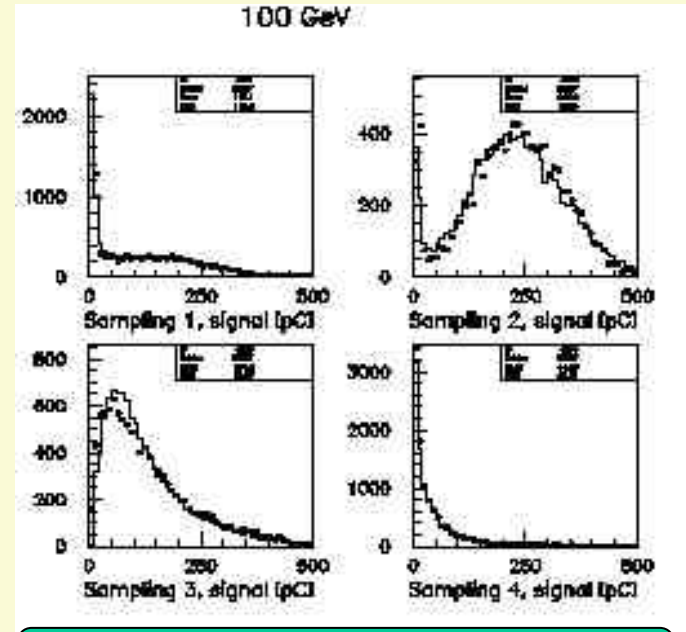
CERN offer for  
Geant4  
Flash MC !!!

Nerezignovali sme!

15/02/2006



S. Tokár, UK FMFI



D. Tovey: Brisk MC, AW04



# Co je treba pre prácu na ATLASe?

Pre efektívnu prácu na ATLASe je treba vytvorit  
**reálny pracovný tím:**

- 3 kmenoví pracovníci
- 3-4 PhD študenti
- 3-5 študentov

Zvolit si vhodný fyzikálny problém – **Fyzika top-kvarku?**

- ✓ Dobré zvládnutie problému z hľadiska teórie
- ✓ Zvládnutie simulacných a rekonštrukčných techník
- ✓ Využit CDF experiment ako „prípravu“
- ✓ mať efektívnych kolaborantov

**Perspektíva ATLASu: svetový experiment minimálne  
do r. 2025**

# ATLAS-BA Status Quo

✓ 1 kmenový zamestnanec (S. Tokár)  
Ciastocne ~30% I. Sýkora – PMT

✓ PostDoc: J. Coss (na 18 mesiacov)

I. Fedorko (odchádza – Atény/Pisa)

✓ PhD: T. Ženiš (reálne VCent), 50%  
P. Bednár (cca 1 rok)

✓ Študenti: L. Lovás ( 5 R)  
B. Žilka (5 R)

❖ Ext: P. Št avina et al. → úlohy z Mníchova, Košíc

Reálna perspektíva  
takéhoto tímu



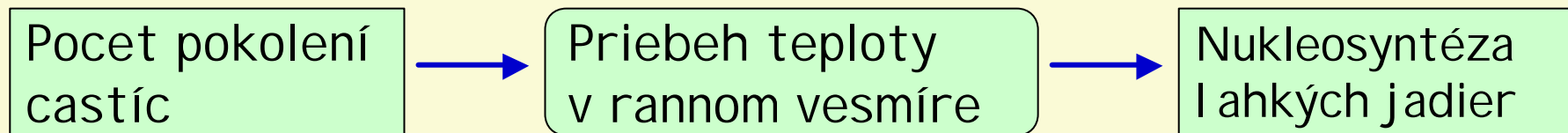
Vedecké živorenie

# SM vs kozmológia

Vesmír ako na termodynamický systém častíc (rozpínajúci)  
Vzťah medzi časom (vekom) vesmíru a jeho teplotou:

$$t(\text{sec}) = \frac{2.42}{\sqrt{N(T)}} \frac{\hbar c}{kT} \frac{\hbar^2}{\hbar}$$

$N(T)$  udáva počet efektívne nehmotných stupňov voľnosti fermiónov a bozónov, podielajúcich sa na termodyn. rovnováhe



Astrofyzikálne pozorovania zastúpenia He, Be, Li, etc.:

Pocet pokolení  $\leq 4$ , pravdep. pocet pokolení = 3

# Nové teórie

**Technicolour (QTD)** (narušenie symetrie bez Higgsovho bozónu)

**GUT-teórie** ( SU(5) a vyššie symetrie, zjednotenie elektroslabých a silných interakcií,  $M_{\text{scale}}=10^{15}$  GeV)

**SuperSymetria** ( zahrnutie gravitácie, castica má supersymetrického partnera,  $M_{\text{scale}}=10^{19}$  GeV,  $10^{-43}$ s )

**Teória superstrún, M-teória** ( fundamentálny objekt je superstruna existujúca v  $D$  - rozmernom casopriestore ( $D=10, 26$ ) ; nadbytočné rozmery sú skompaktifikované, kompaktifikácia vedie k diskretným hmotnostiam )

# Extra slides