

Fyzika v experimente ATLAS

Stanislav Tokár

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

Fyzika v experimente ATLAS

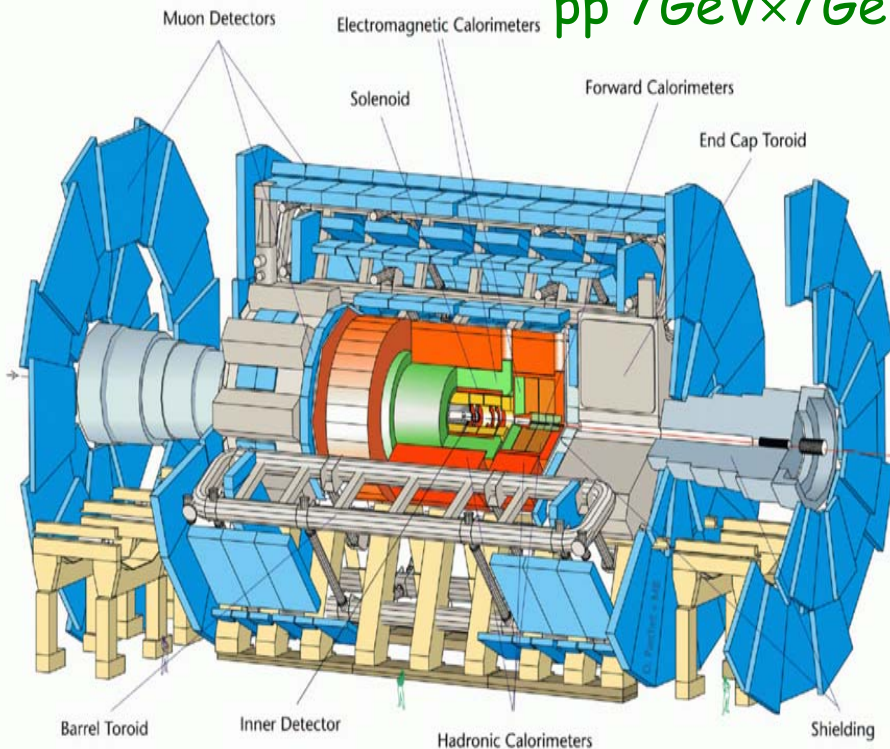
Základné otázky:

- Čo je to ATLAS experiment
- Prečo je potrebný experiment ATLAS (a pod. experimenty)
- Čo bude predmetom skúmania ATLASu
- Naše miesto v ATLASe

ATLAS performance

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

pp 7GeV×7GeV



- **Inner Detector**

$$\sigma/p_T \approx 0.05\% \cdot p_T(\text{GeV}) \oplus 0.1\%$$

Tracking range $|\eta| < 2.5$

- **EM Calorimetry**

$$\sigma/E \approx 10\% / \sqrt{E(\text{GeV})} \oplus 1\%$$

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

- **Hadronic Calorimetry**

$$\sigma/E \approx 50\% / \sqrt{E(\text{GeV})} \oplus 3\%$$

Range: $|\eta| < 4.9$

- **Muon System**

$$\sigma/p_T \sim 2 - 7\%, \quad \text{range: } |\eta| < 2.7$$

Magnetické pole :

2T Solenoid + 3 air core toroids

Začiatok: 2007

Precision physics in $|\eta| < 2.5$

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

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

2. polovica 20. storočia: **Progres v teórii**

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

SM so svojou kategorizáciou častíc a síl umožnil:

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

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

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

2. polovica 20. storočia: Progres v experimente

➤ Významný progres (revolúcia) v technológii experimentu:

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

➤ Experimentálny objav kvarkovej štruktúry hadrónov:

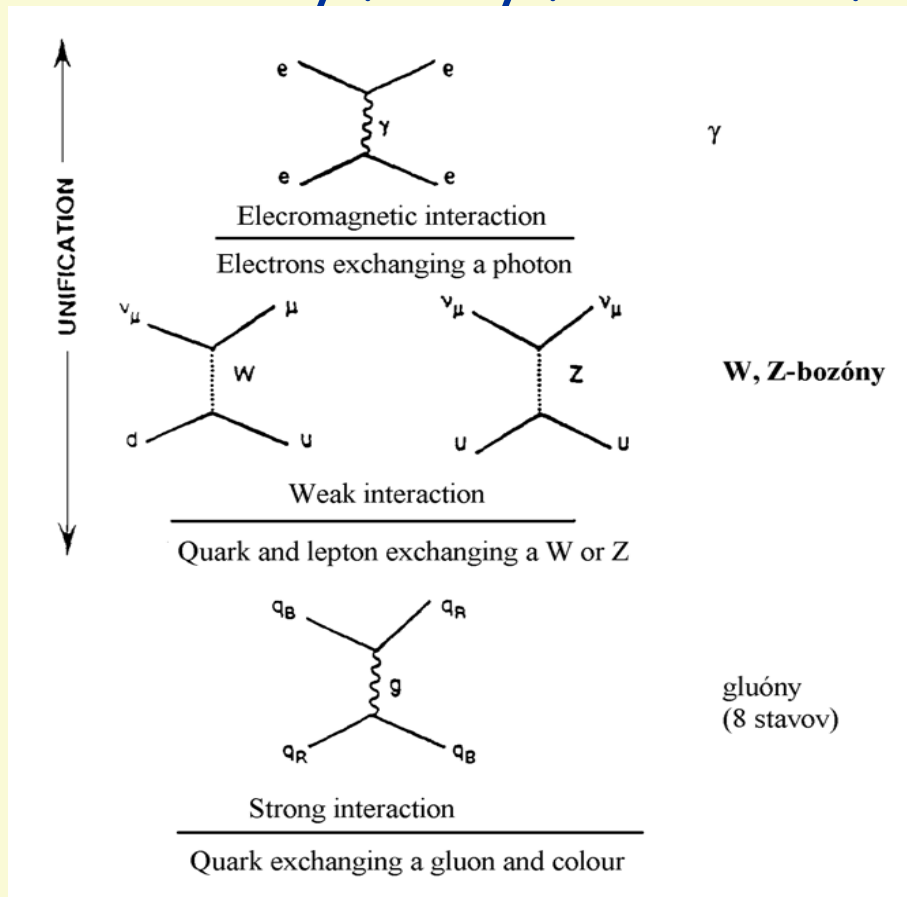
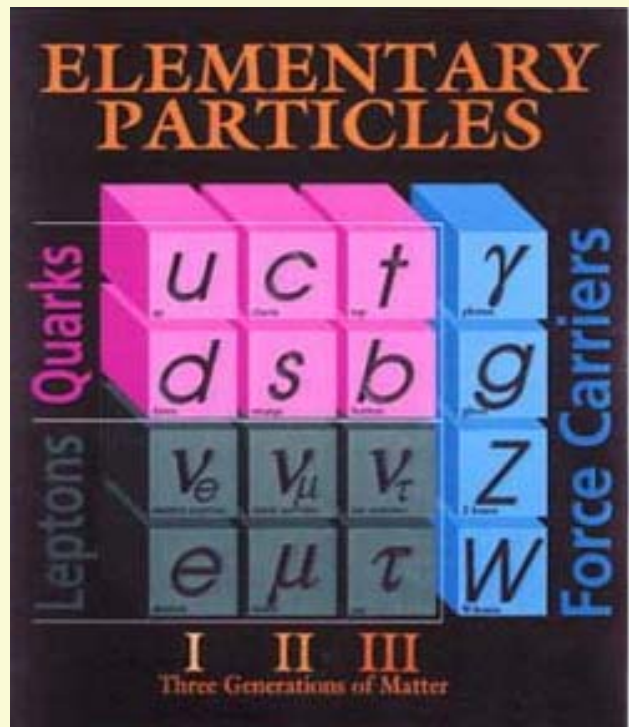
1. Objav c -, b - a t -kvarkov,
2. Experimentálne potvrdenie existencie $W^\pm$, Z^0 boónov.
3. Objav τ -leptónu, neutrín ν_μ , ν_τ
4. Nájsené experimentálne prejavy kvarkov a gluónov

Základná požiadavka na experiment:

robiť precíznu EW a QCD.

Častice a sily prírody

Sily sú sprostredkované vymennými časticami



? Higgsove častice
Vákuum=Higgsov kondenzát

Zatiaľ
neobjavené

Základné úlohy fyziky na LHC

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

Fyzika top-kvarku (*LHC $\sim 10^7$ $t\bar{t}$ -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, ohraničenie na hmotnosť Higgs bozónu via EW fyziku

Ako hľadať novú fyziku

♣ *Hľadanie pravých W - a Z - bozónov*

($SU(2)_L \rightarrow SU(2)_L \otimes SU(2)_R \rightarrow$ existujú aj "pravé"
intermediálne bozóny W_R a Z_{LR} ; $m(W_R) > 406 \text{ GeV}$,
 $m(Z_{LR}) > 310 \text{ GeV}$)

♣ *SuSy častice*

(Teória Super Symetrie zahrnuje aj gravitáciu;
 $\text{kvar} \Leftrightarrow \text{skvar}$, $\text{leptón} \Leftrightarrow \text{sleptón}$;
Higgsov sektor: $H^\pm, H, h, A$)

♣ *Kompozitnosť fundamentálnych fermiónov*

(súčasný experiment: bodovosť častíc $< \sim 10^{-18} \text{ m}$)

Produkcia Higgsovho bozónu

Produkcia SM Higgs bozónu:

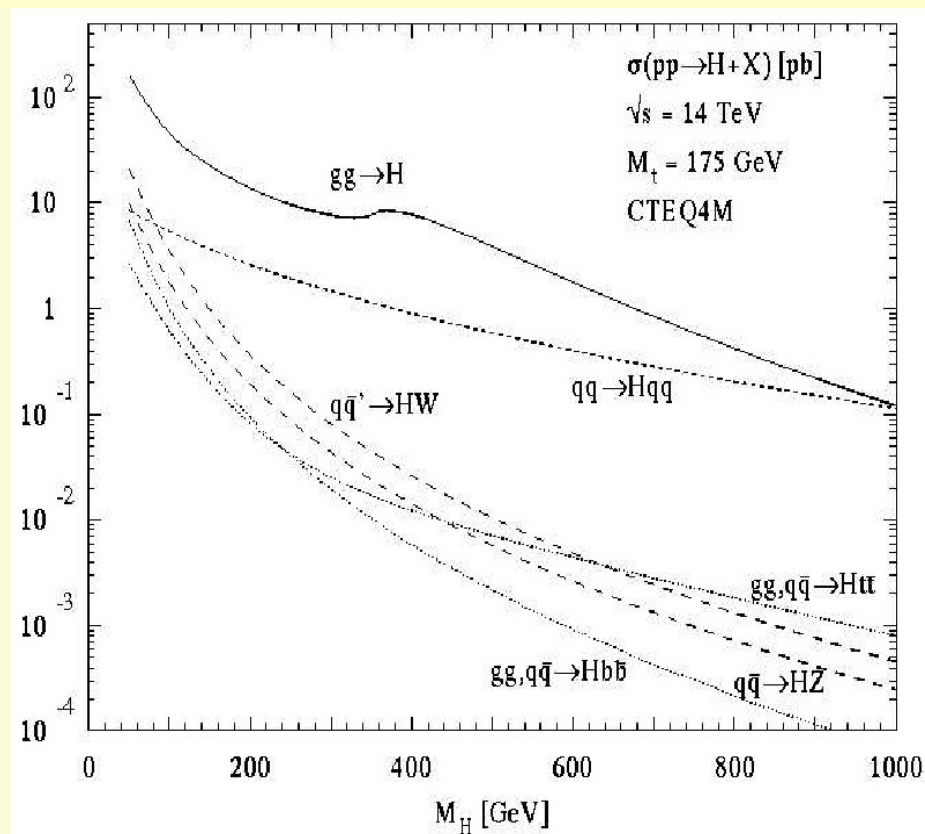
- Gluónová fúzia $gg \rightarrow H$
- (W,Z)-bozónová fusion
WBF: $q\bar{q} \rightarrow q'\bar{q}'H$
- Top-quark associated production $gg, q\bar{q} \rightarrow t\bar{t}H$
- Weak boson associated production $q\bar{q} \rightarrow q'\bar{q}'H$

Channels for detection:

$$H \rightarrow Z^{(*)}Z^{(*)} \rightarrow 4l, \quad H \rightarrow \gamma\gamma$$

$$H \rightarrow W^{+(*)}W^{-(*)} \rightarrow l^+l^- + p_T^{\text{miss}}$$

$$H \rightarrow \tau^+\tau^- \quad t\bar{t}H, H \rightarrow b\bar{b}$$



↑
The cross sections for different H boson production processes vs M_H

Higgs couplings

Na verifikáciu Higgsovho
mechanizmu experimentálne:

- Higgs mass(es), spin, CP
- Higgs widths and couplings to different particles:

$Hb\bar{b}$, $Ht\bar{t}$, $H\tau^+\tau^-$, HW^+W^- ,
 HZZ , Hgg , $H\gamma\gamma$, HHH ,...

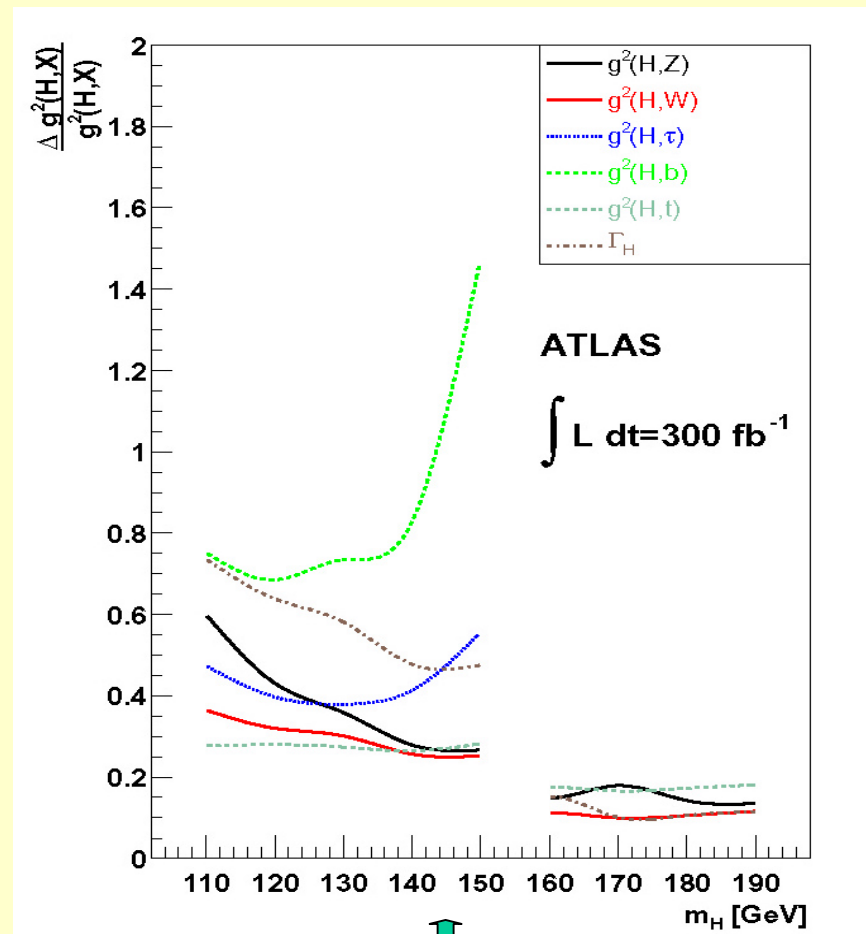
Typical accuracies for couplings
and widths : 20-30%

10% accuracy for HZZ , HWW
couplings over W threshold

Systematic errors contribute up
to half the total error

5σ discrepancy from SM up to
 $m_A \approx 300$ GeV (MSSM)

25/04/2005



Precision of Higgs boson couplings
determination vs Higgs mass

QCD measurements

- The LHC physics is based on the interactions of quarks and gluons
- **Factorization** : a convolution of partonic x-section and PDF's:
$$\sigma = \sum_f \int dx_1 dx_2 F_i^{(1)}(x_1, \mu_F) F_j^{(2)}(x_2, \mu_F) \hat{\sigma}_{ij}(s; \mu_F, \mu_R)$$
- PDF's are obtained from a global fit of DIS and DY data + DGLAP evolution to higher scales $Q^2 \rightarrow$ DGLAP splitting functions: theory is at NNLO.
- **Partonic x-section**: perturbative expansion in α_s (LO, NLO, NNLO, ...)
- **Scale choice**: $\mu_F = \mu_R = Q \Leftarrow$ typical process scale (usually set by invariant mass or p_T of hard probe)
- **Problems**: if two (or more) scales present in the hard scattering process $\rightarrow \hat{\sigma}$ -expansion contains: $(\alpha_s L^2)^n$ and $(\alpha_s L)^n$ ($L = \ln(Q/Q_1)$)
- **Tools**: DGLAP + BFKL evolution equations $\rightarrow$ **resummations**

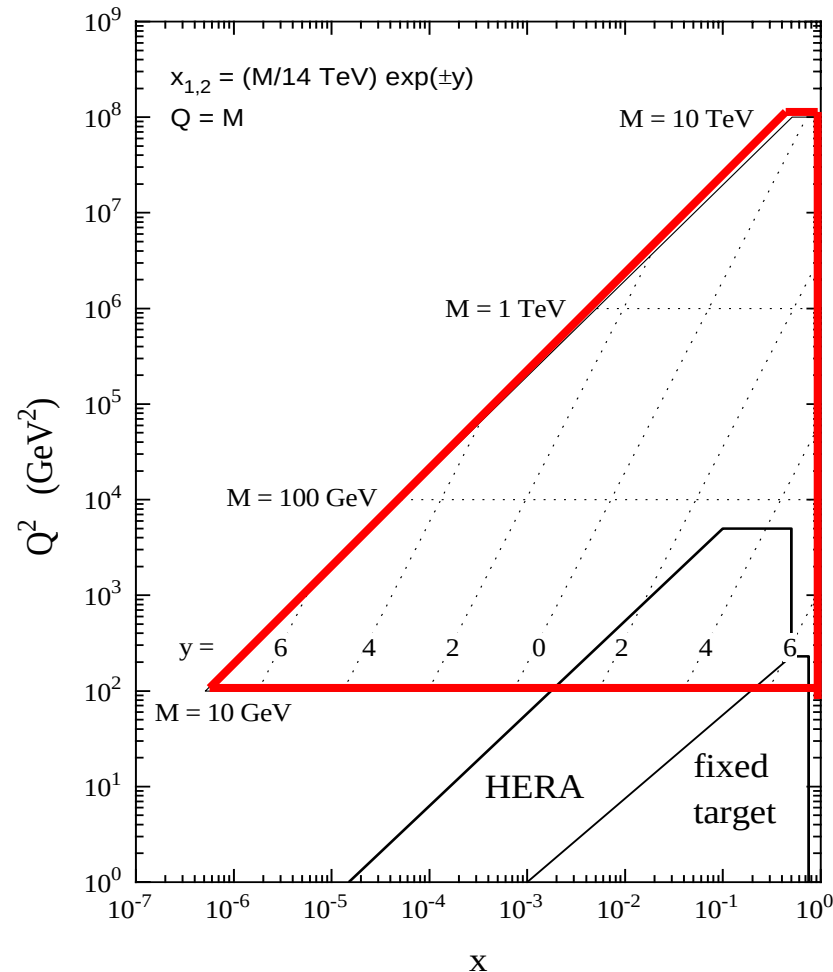
LHC Parton Kinematics

Accurate measurements of QCD related processes at LHC will constrain the PDF's.

The kinematic acceptance of the LHC detectors allows a large range of x and Q^2 to be probed

Processes to be studied:

- Multijet physics - test of pQCD, dijet physics: constraints on PDF's
- Drel-Yan processes , $pp \xrightarrow{Z,\gamma} l^+ l^-$ (q and $\bar{q}$ densities)
- Direct photon production $q\bar{q} \rightarrow \gamma g$
 $qg \rightarrow \gamma q$ (sensitive to gluon density)
- Top and heavy quark (c,b) production



Values of x and Q^2 probed in the production of an object (mass M , rapidity y) at $\sqrt{s} = 14$ GeV

Fyzika top-kvarku

- Top production cross section
precisious QCD tests
- Top quark mass
constraint on Higgs mass via EW physics
- Single top production
top partial width, V_{tb} , spin effects...
- Top spin effects
 - Top-antitop spin correlations
- Anomalous couplings
 - FCNC in top physics
- Rare decays of top and exotics
 - Search for charged Higgs, superpartners

ATLAS detector

LHC: pp 14 TeV

ATLAS per year

pp @ $L=10 \text{ fb}^{-1} \Rightarrow$

$10^7 t\bar{t}$ pairs

Start: 2007

Dobré miesto pre nás!
(môj návrh)

tt Production Cross Section

Test of QCD predictions: top pair production (inclusive and differential x-sections) is an effective tool:

- big $m_t \Rightarrow \alpha_s(m_t) \sim 0.1 \Rightarrow$ pExpansion converges rapidly
- top decays before hadronization $\Rightarrow$ spin of top is not diluted

Theory for top X-section: NNLO-NNLL

(Kidonakis et al., PRD68,114014 (2003))

•Partonic Xsection:

$$\hat{\sigma}_{ij} = \frac{\alpha_s^2(\mu)}{m^2} \sum_{n=0}^{\infty} \left(4\pi\alpha_s(\mu) \right)^n \sum_{k=0}^n f_{ij}^{(n,k)}(\eta) \ln^k \left(\frac{\mu^2}{m^2} \right) \quad \eta = \frac{s}{4m^2} - 1$$

Usual scale choice: $\mu_F = \mu_R = \mu \in (m_t/2, 2m_t)$ or top p_T

A discrepancy may indicate a new physics!

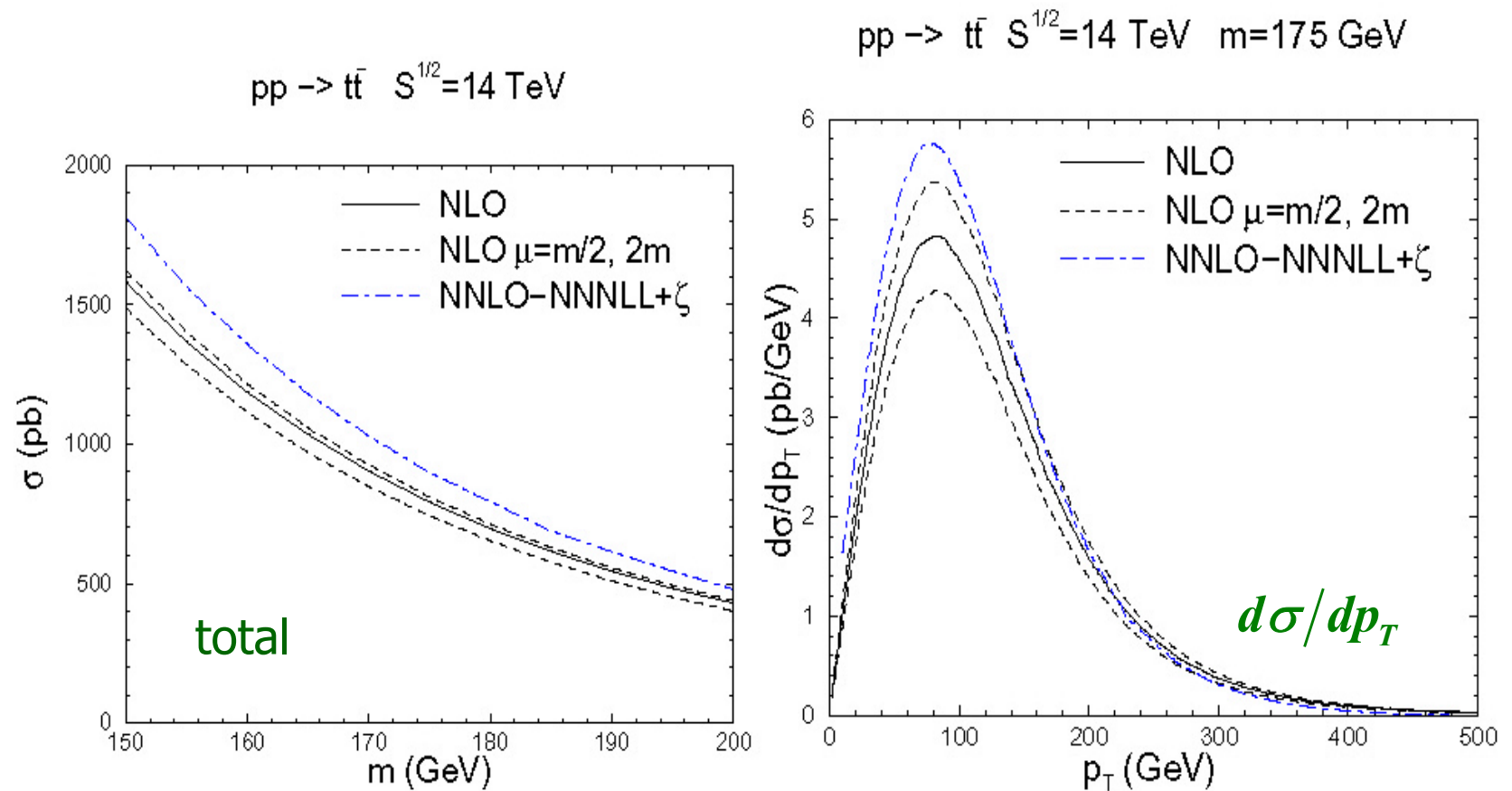
Progress at MC: radiative gluon corrections included: MCatNLO

(Frixione et al, hep-ph/0311223)

ATLAS: Statistical uncertainties < 1%

$\rightarrow$ Systematics (Exp.& Theo.) will be dominant

$t\bar{t}$ Cross Section at 14 TeV



NNLO: uncertainty from scale ($m_t/2, 2m_t$) < 3% !!!

(N.Kidonakis, hep-ph/0401147)

Top mass and EW precision physics

Atlas top mass systematics ($L=10\text{fb}^{-1}$): jet energy scale, b-jet frag., ISR, FSR, comb. Bckgd. All mass method combined $\Rightarrow$

$$\Delta m_t(\text{stat}) = \pm 0.1 \text{ GeV} \quad \Delta m_t(\text{syst}) = \begin{cases} +0.6 \\ -0.8 \end{cases} \text{ GeV}$$

ISR, FSR via Pythia $\Rightarrow$ Realistic: $\Delta m_t \approx 1 \text{ GeV}$

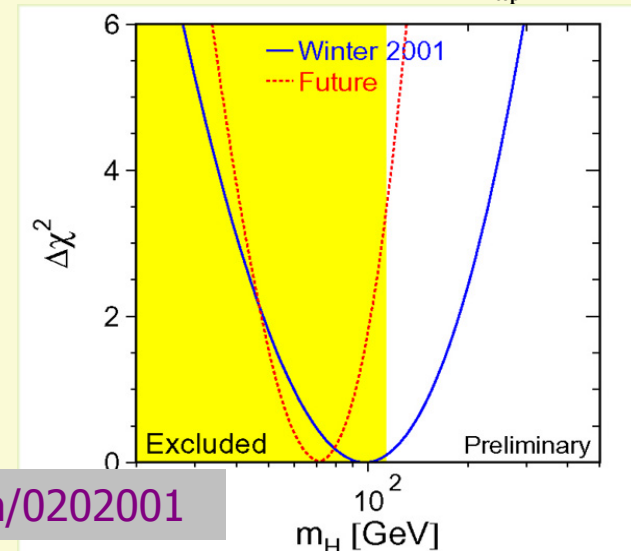
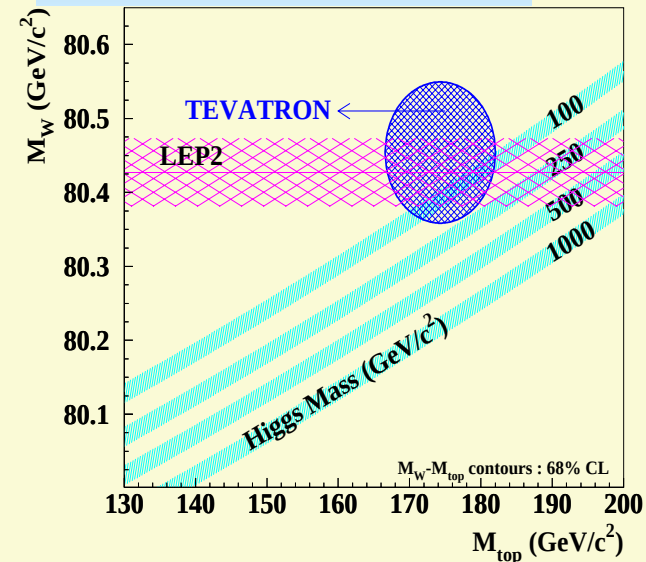
Masses of top, W and Higgs are bounded by

$$M_W^2 \left(1 - \frac{M_W^2}{M_Z^2} \right) = \frac{\pi\alpha}{\sqrt{2}G_F} (1 + \Delta r), \quad \Delta r = \Delta\alpha + \frac{s_W}{c_W} \Delta\rho + (\Delta r)_{nl}$$

$\Delta r \equiv$ rad. corrections ($\Delta\rho \sim m_t^2$, $(\Delta r)_{nl} \propto \ln M_H$)

Precise M_W and $m_t \Rightarrow$ constraint on M_H !

present $\rightarrow$ LHC: Δm_t : $5 \rightarrow 1 \text{ GeV}$, ΔM_W : $33 \rightarrow 15 \text{ MeV}$

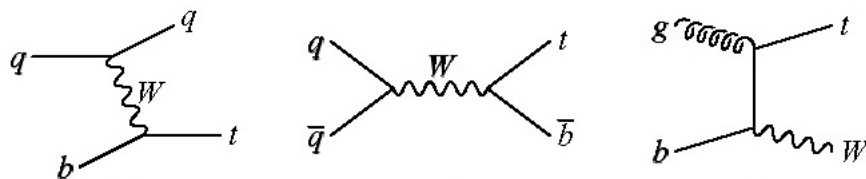


Grunwald et al, hep-ph/0202001

Single top production

Production via weak forces

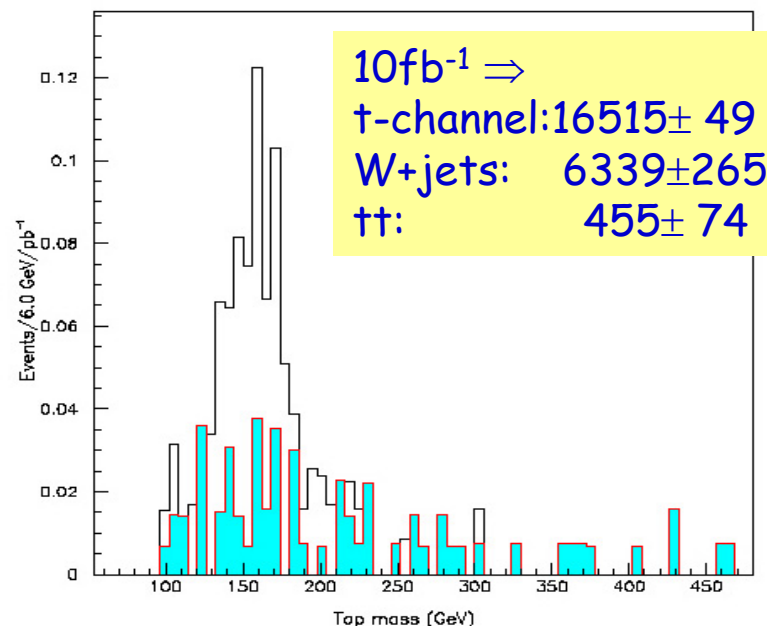
- Xsection $\sim |V_{tb}|^2$
(direct measurement of V_{tb})
- Significant bckgd to Higgs signal
- Single top -100% polarization
(test of V-A structure of EW)
- Possible new physics



t-channel	s-channel	association production
245±27 pb	10.7±0.7 pb	51±9 pb
(at LHC 14 TeV, NLO)		

Selection criteria

- Only 1 isolated lepton ($p_T > 20$ GeV, $|\eta| < 2.5$)
- miss- $p_T > 20$ GeV, $50 < m_T(l+\nu) < 100$ GeV
- exactly 2 jets: ($p_T > 20$ GeV, $|\eta| < 4$)
 - 1 jet with $p_T > 20$ GeV, $|\eta| < 2.5$
 - 1 jet with $50 < p_T < 100$ GeV, $2.5 < |\eta| < 4$
- Exactly one b-tagged jet (reduces $t\bar{t}$ -bkgd)
- Two jet invariant mass $\in (80, 100)$ GeV
(rejects WZ events)



$t\bar{t}$ spin correlations

Top decays before hadronization $\Rightarrow$

- Spin of top is not diluted
- Gluon emission unlikely to do $\Delta S \neq 0$

Imprint of $t\bar{t}$ production spin:

Angular distrib. of top decay prod's

Considered parton reactions:

$$gg, q\bar{q} \rightarrow t\bar{t} + X \rightarrow b\bar{b} + 4f + X \quad f \equiv q, l, \nu$$

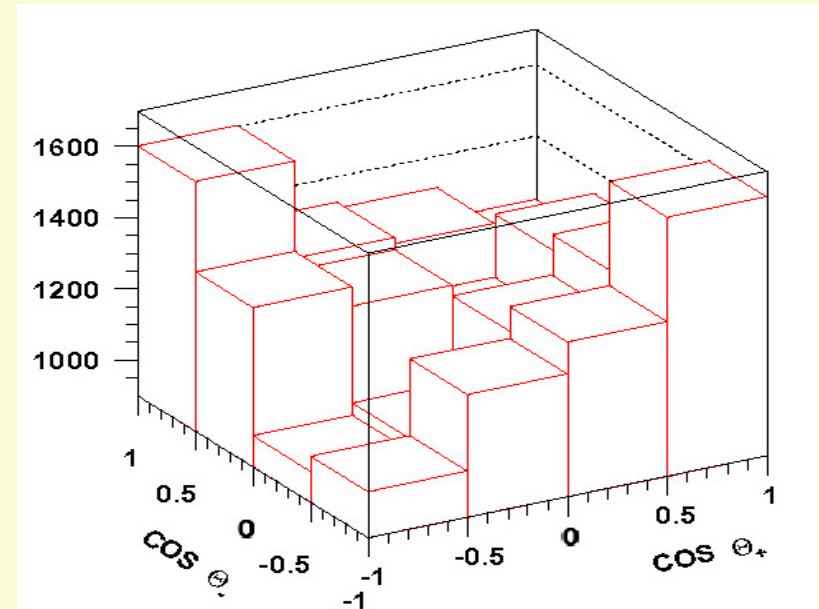
$$|M^{(\lambda)}|^2 \propto \text{Tr}[\rho R^{(\lambda)} \bar{\rho}], \quad \lambda = gg, q\bar{q} \quad (\text{narrow w.})$$

Decay of polarized t quark

$$\frac{1}{\Gamma} \frac{d\Gamma}{d\cos\theta_f} = \frac{1}{2} (1 + \kappa_f \xi_t \cdot \hat{q}_f)$$

$\theta_f \equiv$ angle (direction $\hat{q}_f$ of f , polarisat. ξ_t)

$\kappa_f \equiv$ Correlat. coef. for V-A current
for anti- t decay: $\kappa_f \rightarrow -\kappa_f$



Most promising:

Dilepton l^+l^- angular distribution

$$\frac{1}{\sigma} \frac{d^2\sigma}{d\cos\theta_+ d\cos\theta_-} = \frac{1 + C\kappa_{l^+}\kappa_{l^-} \cos\theta_+ \cos\theta_-}{4}$$

$\theta_+(\theta_-) \equiv$ angle $(n_t(n_{\bar{t}}), l^+(l^-)\text{direction})$

$t\bar{t}$ CMS $t(\bar{t})LS$

$$\kappa_{l^+}\kappa_{l^-} = -1, \quad C = 0.332 \text{ (SM)}$$

Top and CP violation

- CKM phase only tiny effect on top production and decay
- Non SM CP-violating interactions $\rightarrow$ in prod. density matrix (R) 2 CP-odd spin-momentum correlations:

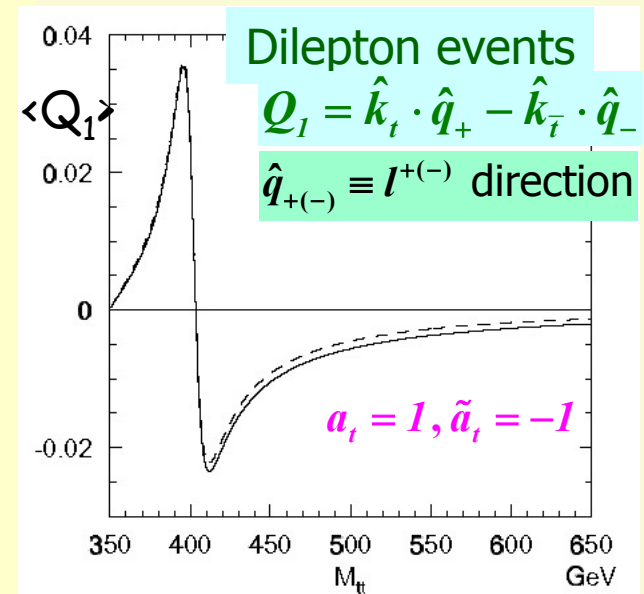
$$\hat{k}_t \cdot (s_t - s_{\bar{t}}), \quad \hat{k}_t \cdot (s_t \times s_{\bar{t}}), \quad \hat{k}_t \rightarrow \hat{p}$$

$\hat{k}_t \equiv$ top direction, $\hat{p} \equiv$ init. quark direction

Examples:

- In MSSM fermion-sfermion-neutralino interactions $\rightarrow$ CP violating phases from SUSY breaking terms
- Extended scalar sector $\rightarrow$ via non-degenerate neutral Higgs bosons with undefined CP parity.

Coupling of Higgs (φ) with top: $\sim m_t (a_t \bar{t} t + i \tilde{a}_t \bar{t} \gamma_5 t) \varphi$
 (in SM $a_t = 1, \tilde{a}_t = 0$) becomes resonant at $m_\varphi \sim 2 m_t$
 or above $gg \rightarrow \varphi \rightarrow t\bar{t}$



Bernreuther et al,
 hep-ph/9812387

Can be also employed:

Asymmetry:

$$A(Q_1) = \frac{N_{ll}(Q_1 > 0) - N_{ll}(Q_1 < 0)}{N_{ll}}$$

Top and CP violation

- CKM phase only tiny effect on top production and decay
- Non SM CP-violating interactions → in prod. density matrix (R) 2 CP-odd spin-momentum correlations:

$$\hat{k}_t \cdot (s_t - s_{\bar{t}}), \quad \hat{k}_t \cdot (s_t \times s_{\bar{t}}), \quad \hat{k}_t \rightarrow \hat{p}, \quad \hat{k}_t \equiv \text{top direction}, \quad \hat{p} \equiv \text{init. quark direction}$$

- Extended scalar sector → via non-degenerate neutral Higgs bosons with undefined CP parity.

Coupling of Higgs (φ) with top: $\sim m_t (a_t \bar{t} t + i \tilde{a}_t \bar{t} \gamma_5 t) \varphi$
(In SM: $a_t = 1, \tilde{a}_t = 0$)

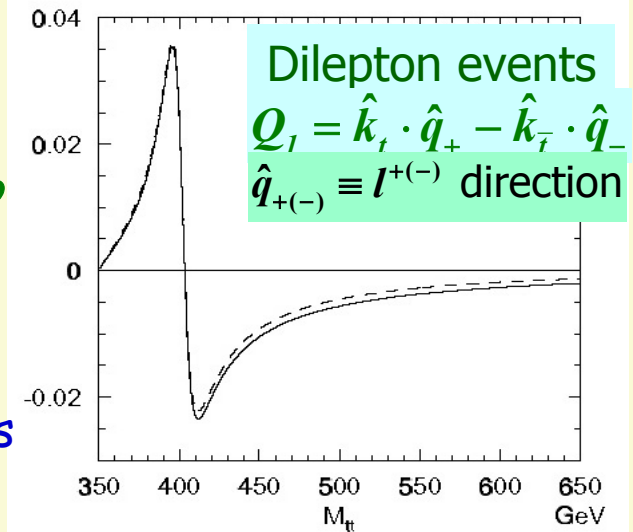
$gg \rightarrow \varphi \rightarrow t\bar{t}$ becomes resonant at $m_\varphi \sim 2 m_t$ or above

- In MSSM fermion-sfermion-neutralino interactions → CP violating phases from SUSY breaking terms

$$L_{\tilde{G}t\bar{t}} = i\sqrt{2}g_s \sum_{l=1,2} \left(e^{-i\phi_l} \bar{t}_L \Gamma_l \tilde{G}^a T^a \tilde{t}_l + e^{i\phi_l} \bar{t}_R \Gamma_l \tilde{G}^a T^a \tilde{t}_l \right) + h.c.$$

Can be also employed: **Asymmetry:**

$$A(Q_l) = \frac{N_{ll}(Q_l > 0) - N_{ll}(Q_l < 0)}{N_{ll}}$$



Top quark anomalous interactions

- Top Xsection known with ~10% accuracy
- No top hadrons
- Top decay via pure V-A weak interaction
- Only one significant decay channel: $t \rightarrow Wb$

$\Rightarrow$

Top quark a unique place for a new physics behind SM

New physics from symmetry breaking at scale Λ (~1TeV)?

Anomalous $gt\bar{t}$ couplings: Cross section of $q\bar{q} \rightarrow t\bar{t}$ will have terms for

- anomalous chromomagnetic and chromoelectric dipole moments
- Retrieved from $|t\bar{t}|$ (top pair decay) observables:

Choi et al, PhysLettB415(1997)67 $\Rightarrow$

$$T_{33} = 2(p_{\bar{t}} - p_t)_3(p_{\bar{t}} \times p_t)_3, \quad A_E = E_{\bar{t}} - E_t$$

$$Q_{33}^I = 2(p_{\bar{t}} + p_t)_3(p_{\bar{t}} - p_t)_3 - \frac{2}{3}(p_{\bar{t}}^2 - p_t^2)$$

Anomalous Wtb couplings

- Can be probed in top pair and single top production.
- 4 form factors describe Wtb - two are $\frac{1}{2}$ (from SM) and 2 to be analyzed:

$$F_{L(R)2} = \frac{2M_W}{\Lambda} \kappa_{tb}^W \left(-f_{tb}^{W*} - (+)ih_{tb}^{W*} \right)$$

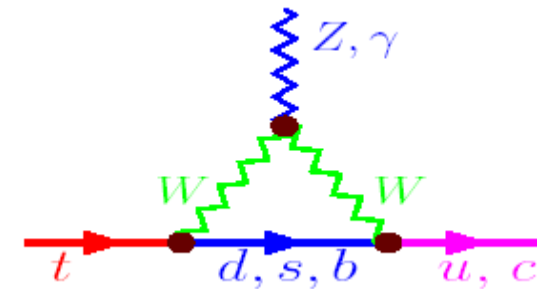
$\Rightarrow$ Boos et al, EFJC11(1999)473

FCNC in Top Quark Physics

FCNC couplings tVc and tVu ; $V = g, \gamma, Z$

- Absent at tree-level and highly suppressed in SM
- Present through loop contributions

- Observation of top quark FCNC processes
➔ **New Physics!**



CDF & LEP2
Present Limits

BR < 17%

BR < 3.2%

BR < 18%

$t \rightarrow$	SM	two-Higgs	SUSY
$g q$	5×10^{-11}	10^{-6}	10^{-3}
γq	5×10^{-13}	10^{-6}	10^{-5}
$Z q$	$\sim 10^{-13}$	10^{-9}	10^{-4}

FCNC in top quark physics

Top decay widths and BR for anomalous couplings(=1) and for SM ($v=250$ GeV, $m_t=175$ GeV, $\Lambda=1$ TeV, Han et al, NuclPhysB454(1995)527)

	Top decay mode				
	W^+b	$(c+u)g$	$(c+u)\gamma$	$(c+u)Z_\gamma$	$(c+u)Z_\sigma$
FCNC coupling		1	1	1	1
$\Gamma(\text{GeV})$	1.56	2.86	0.17	2.91	0.14
B	0.20	0.37	0.022	0.38	0.018
FCNC coupling		8×10^{-6}	3×10^{-6}	4×10^{-7}	
$\Gamma_{\text{SM}}(\text{GeV})$	1.56	8×10^{-11}	8×10^{-12}	2.2×10^{-13}	
B_{SM}	1	5×10^{-11}	5×10^{-13}	1.5×10^{-13}	

	<i>Tevatron</i>	<i>LHC</i>
$\sqrt{s}$ (TeV)	2.0	14.0
$L(\text{fb}^{-1})$	2	10
$\kappa_{tu}^g(2 \rightarrow 1)$	0.019	0.0033
$\kappa_{tu}^g(2 \rightarrow 2)$	0.026	0.0061
$\kappa_{tu}^g(2 \rightarrow 1)$	0.062	0.0084
$\kappa_{tu}^g(2 \rightarrow 2)$	0.092	0.013

Limits on anomalous couplings $\Rightarrow$

Indirect constraint (from $K_L \rightarrow \mu\mu$, $\Delta m(K_L - K_S, \dots)$): $\sqrt{|v_{tu}^Z|^2 + |a_{tu}^Z|^2} < 0.15$

CDF results (decays $t \rightarrow \gamma c(u)$ and $t \rightarrow Z c(u)$): $\sqrt{|v_{tq}^Z|^2 + |a_{tq}^Z|^2} < 0.73$, $\kappa_{tq}^\gamma < 0.78$

Top quark charge

CDF, D0+precision EW data **do not exclude** : "top" quark is an exotic quark with charge $-4/3$ (Chang et al. PRD59, 091503)

Exotics: $t \rightarrow W^- b$ (in SM: $t \rightarrow W^+ b$)

Nami riešený problém !!!

Top charge determination:

- by measuring charges of top decay products

$t \rightarrow W^+ b$ (W charge: $W^+ \rightarrow l^+ \nu$, $Q_{bjet} = \sum_i Q_i |\vec{j} \cdot \vec{p}_i| / \sum_i |\vec{j} \cdot \vec{p}_i|$)

- Via radiative $t \bar{t}$ events (sensitive to Q_t)

Analysis for ATLAS (10fb^{-1}) (Ciljak et al, Atl-Phys-2003-35):

- $l^+(l^-)-b_{jet}$ association criteria can be found to distinguish between mean $Q(b_{jet}(l^+))$ and $Q(b_{jet}(l^-))$.

Realistic for ATLAS, CDF

- Radiative top production ($pp \rightarrow t\bar{t}\gamma$) can be used to measure foton-top coupling ($\sigma \sim Q_t^2$) $\Rightarrow$

Realistic for ATLAS only

Integrated Xsection: $\sigma^{\text{seen}}(Q=2/3) = 7.8\text{fb}^{-1}$, $\sigma^{\text{seen}}(Q=2/3) = 24.8\text{fb}^{-1}$

Background: $\sigma^{\text{seen}} = 6.5\text{fb}^{-1}$

ATLAS: fyzika detektorov, etc.

- Cieľ ATLASu je „čistá“ 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

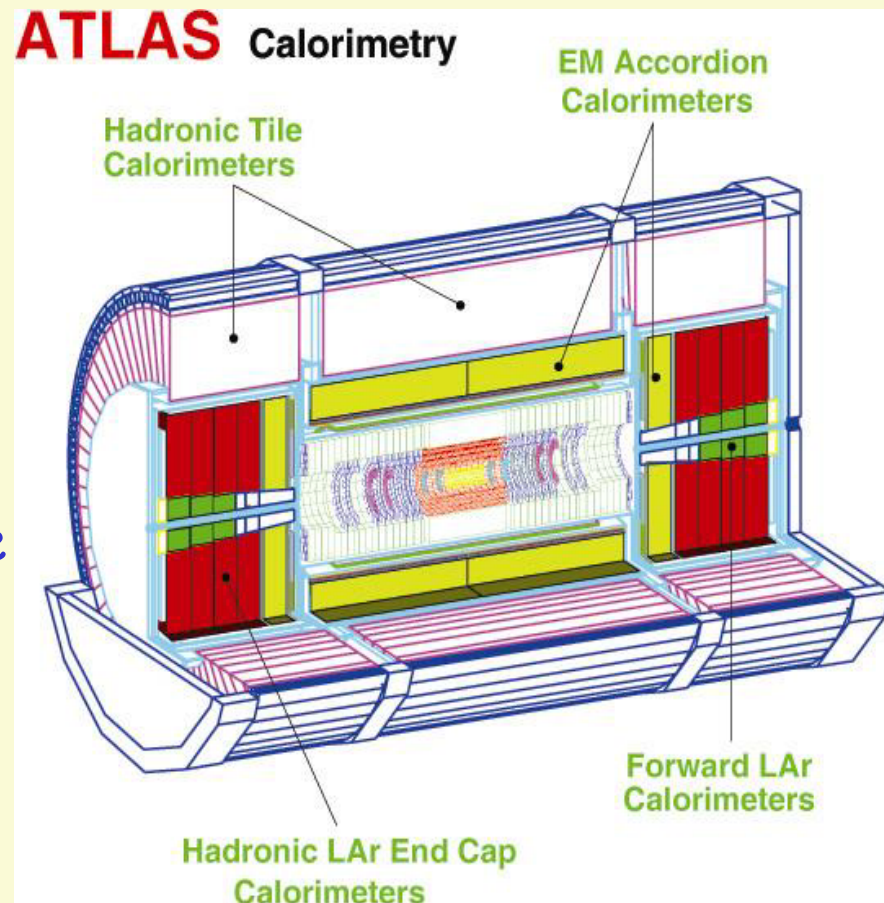
Test Beam Data Reconstruction

Testy fotonásobičov jedno-fotoelektrónovou metódou

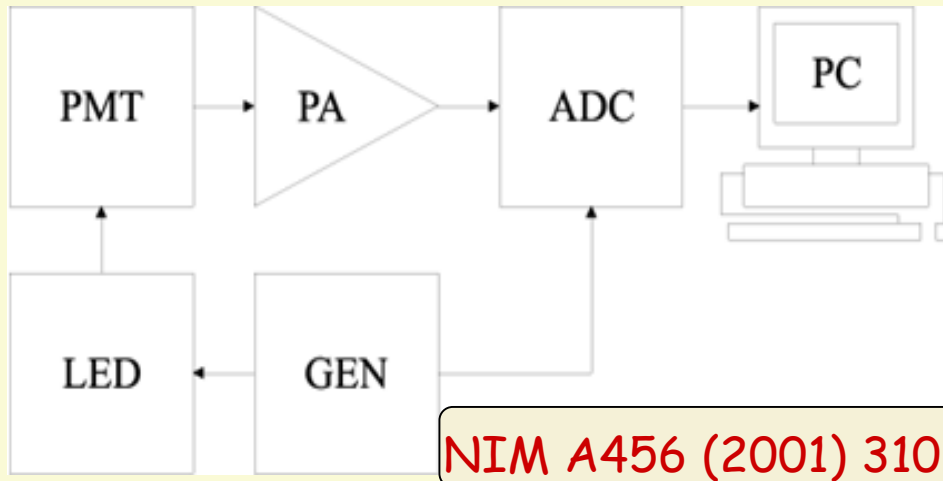
Rekonštruk. odozvy kalorimetra na piony investigated (linearita, homogenita, energ. rozlíšenie)

Vypracovaná metóda rekonštrukcie Energie využívajúca topológiu Hadrónovej spršky

Rozvoj metódy rýchlych simulácií odozvy hadrónového kalorimetra



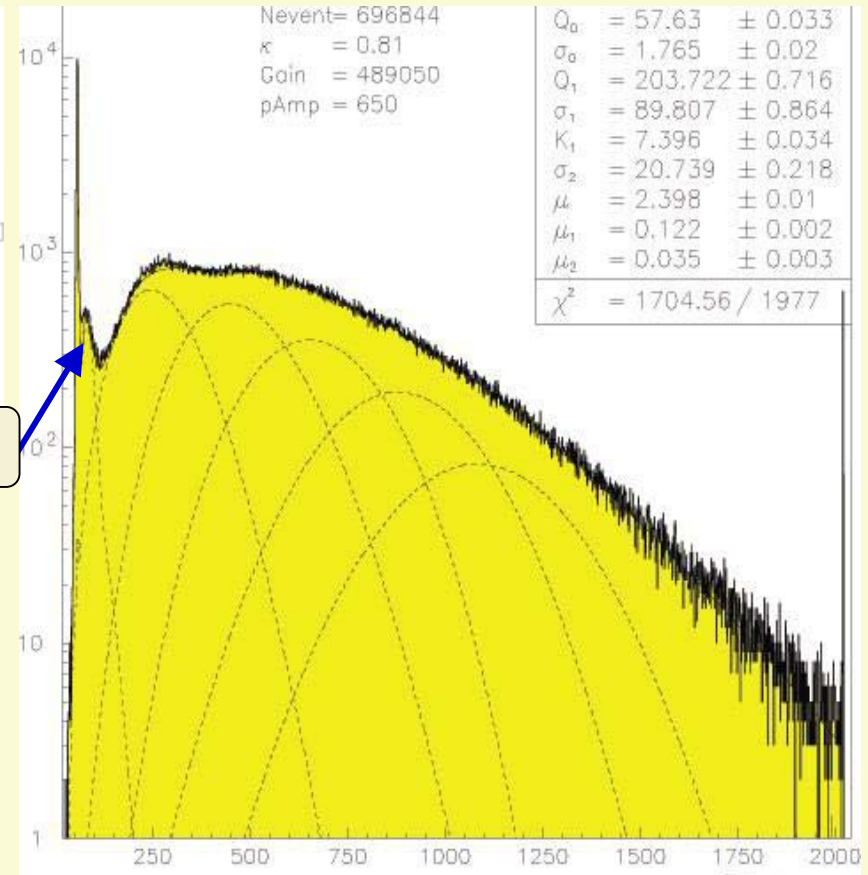
PMT tests using single p.e. analysis



PMT excess factor found

$$\mu = f_{PMT} \cdot \frac{Q^2}{\sigma^2}, \quad f_{PMT} \approx 1 + \frac{\sigma_1^2}{Q_1^2}$$

Details of PMT structure
seen (1st dynode effect)



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

TileCal: topológia spršky vs energia

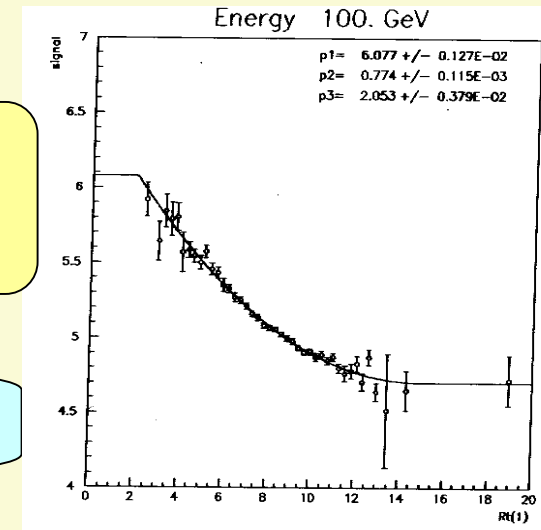
Pri danej E_{inc} **rekonštruovaná** energia závisí od **topológie spršky**
Jednoduchý topologický parameter:

$$r_T = \sum_{i=1}^{N_{cell}} r_i \cdot S_i / \sum_{i=1}^{N_{cell}} S_i$$

Vzdialenosť i-tej
bunky od osi spršky

Signál v i-tej bunke

Zlepšenie
rozlíšenia
A linearity



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

R2002: pribrzdenie 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

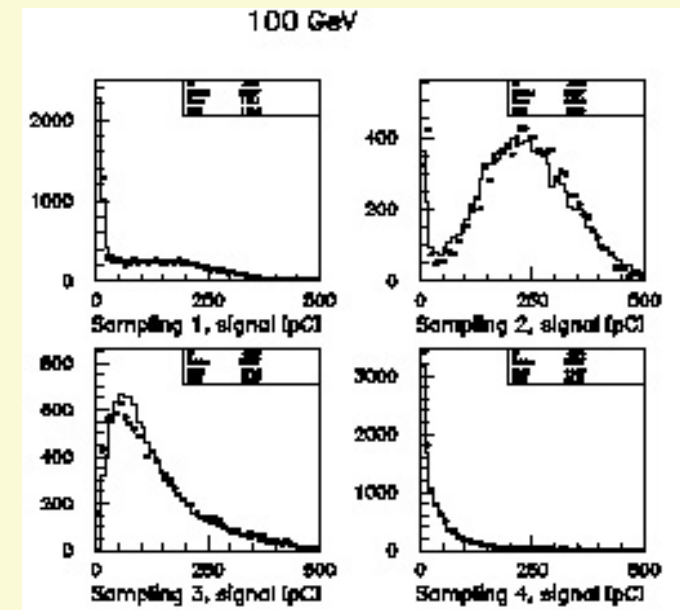
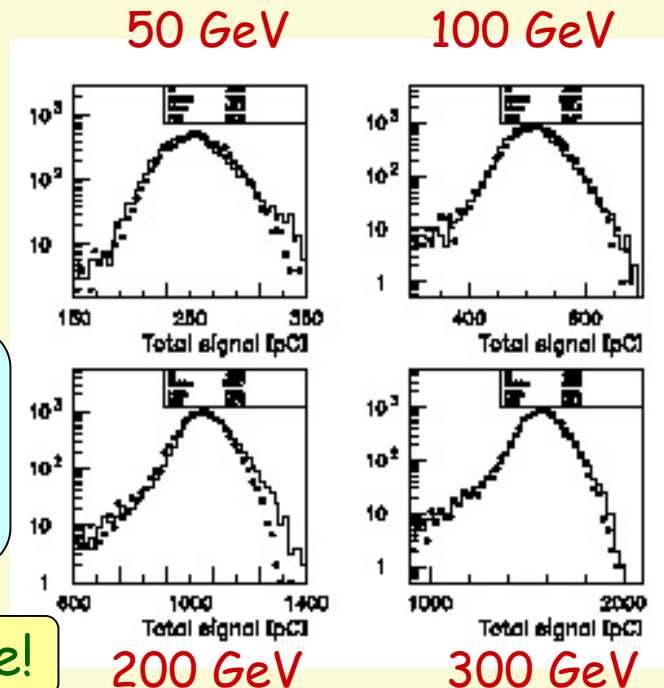
Šutiak et al., Tilecal-2003-008

- 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!



D. Tovey: Brisk MC, AW04

Čo je treba pre prácu na ATLASe?

Pre efektívnu prácu na ATLASe je treba vytvoriť
reálny pracovný tím:

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

Zvoliť si vhodný fyzikálny problém - **Fyzika top-kvarku?**

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

Perspektíva ATLASu: svetový experiment minimálne
do r. 2025

ATLAS-BA Status Quo

✓ 1 kmeňový zamestnanec (S. Tokár)
Čiastočne ~30% I. Sýkora - PMT

✓ PostDoc: J. Coss (na 18 mesiacov)
I. Fedorko (odchádza - Atény/Pisa)

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

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

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

Reálna perspektíva
takéhoto tímu



Vedecké živorenie

Extra slides

Štandardný model

Štandardný model (SM) je založený na kalibračných symetriách:

- častice sú kvantá polí
- Fyzikálny systém je systém polí s daným lagranžiánom
- Charakter interakcií závisí od symetrií lagranžiánu

• *Teória elektroslabých interakcií*

(Symetria Lagranžiánu: $SU(2)_L \otimes U(1)_Y$)

elektromagnetické javy a javy slabých interakcií

• *Teória silných interakcií (QCD)*

(Symetria Lagranžiánu: $SU(3)_c$)

(*sily pôsobiace medzi kvarkami, nukleónmi etc.*)

✓ *Gravitácia nie súčasťou SM !*

(*Problémy s kvantovou teóriou gravitácie*)

Testy SM

χ^2 je rozumný
(nie však perfektný):

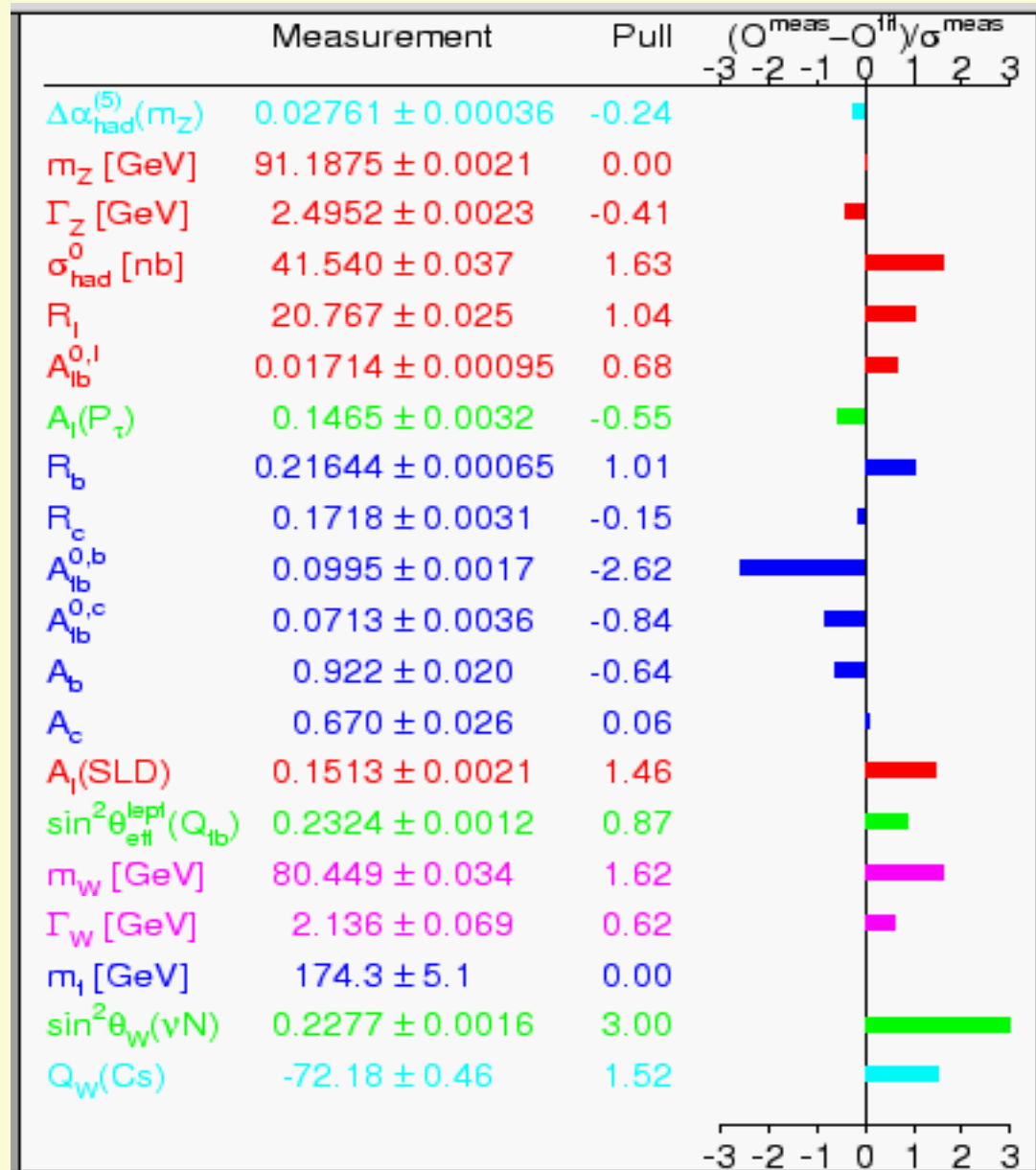
$$\chi^2/\text{ndof} = 29.7/15 \text{ (1.3\%)}$$

N.B.: včítane NuTeV a
APV

Bez NuTeV a APV:
(teor. chyba otázna)

$$\chi^2/\text{ndof} = 18.2/13 \text{ (14.9\%)}$$

NuTeV $\longrightarrow$
APV $\longrightarrow$



Častice vs. ranný vesmír

čas (sec)

0

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

10^{-43}

Vesmír vzniká z kvantovej gravitačnej fluktuácie?

10^{-32}

Kvarková epocha (farebný svet)

10^{-12}

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

- 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 častíc

10^{-11}

$T \sim 10^{15} \text{ K}$ ($E \sim 100 \text{ GeV}$): ← **Súčasný exp.**

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

SM vs kozmológia

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

$$t(\text{sec}) = \frac{2.42}{\sqrt{N(T)}} \left(\frac{1 \text{ MeV}}{kT} \right)^2$$

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

Počet pokolení
častíc



Priebeh teploty
v rannom vesmíre



Nukleosyntéza
ľahkých jadier

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

Počet pokolení ≤ 4 , pravdep. počet pokolení = 3

Nové teórie

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

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

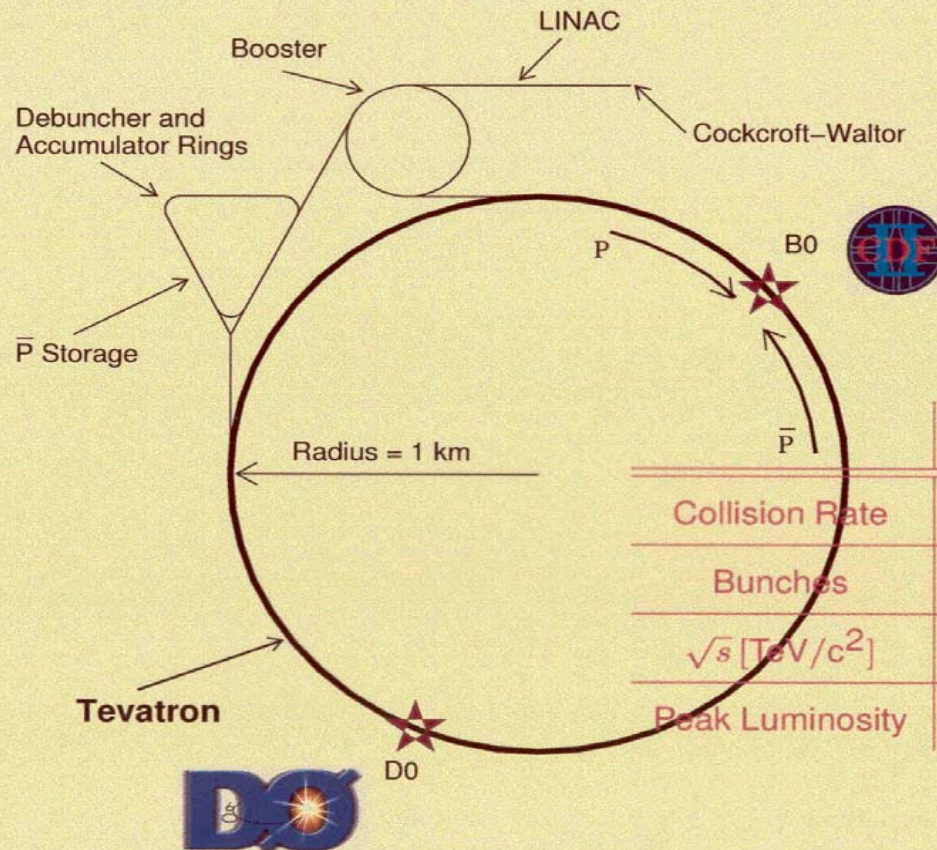
SuperSymetria (*zahrnutie gravitácie, častica má supersymetrického partnera, $M_{\text{scale}}=10^{19} \text{ GeV}, 10^{-43} \text{ s}$)*)

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

Extra slides

Urýchľovač Tevatron

The Tevatron



	Run I	Run II
Collision Rate	$3.5 \mu\text{s}$	369 ns
Bunches	6×6	36×36
$\sqrt{s} [\text{TeV}/c^2]$	1.8	1.96
Peak Luminosity	2.4×10^{31}	4.4×10^{31}