



Top fizika az LHC ATLAS detektoránál

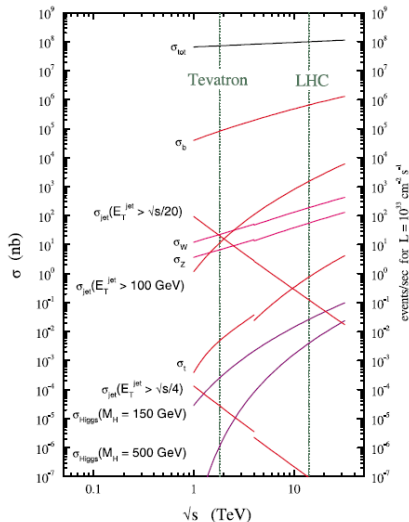
Magyar CMS heti összejevetel





Radics Bálint

University of Bonn

Előadás vázlat

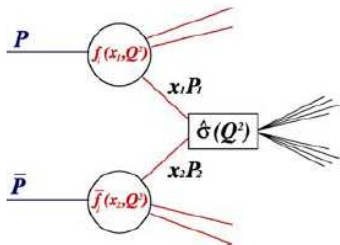
- ATLAS detektor → Attila :-)
- Források
- Elméleti bevezető
- Top+antitop szemileptonikus események
 - ▷ Top trigger
 - ▷ Válogatás, hátterek
 - ▷ Stratégiák
 - ▷ Eseményrekonstrukció
 - ▷ Hatáskeresztmetszet mérés, hibaforrások



-  *A. Quadt*, **Top quark physics at hadron colliders**, Eur. Phys. J. C 48, 835-1000 (2006), [link](#)
-  *R.K.Ellis, W.J.Stirling, B.R.Webber*, **QCD and collider physics** (1996), Cambridge University Press
-  *Li, Gang*, **H1 and Zeus combined pdg fit** Hera-LHC Workshop 2008 Majus
-  *Atlas collaboration*, **Determination of the Top quark production cross section in ATLAS**, ATLAS CSC Note, in process..

Standard Model, top kvark

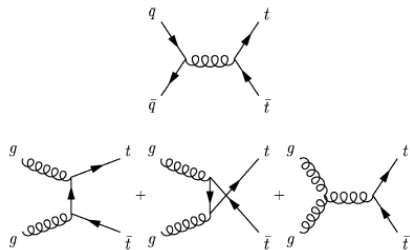
- indirekt:
 - már a b_L kvark (1977) megfigyelt $T_3 = -1/2$ gyenge izospinje motiválta a levezését,
 - háromszög anomáliák renormálható elméletben nem léphetnek fel
 - egy-hurok EW korrekciók a gyenge bozonok tömegére → SM fit (Higgs) → top kvark tömeg belőve
- direkt: 1995 Tevatron
- ≈ 172 GeV-es tömegskála:
 - elektrongyenge szimmetriasértésben fontos szerepe lehet
 - pQCD érvényes
- QCD → top+antitop pár keletkezés
- EW → top kvark lebomlás és “single top” keletkezés



$$\sigma^{t\bar{t}}(\sqrt{s}, m_T) = \sum_{i,j=q,\bar{q},g} \int dx_i dx_j f_i(x_i, \mu^2) f_j(x_j, \mu^2) \times \\ \times \hat{\sigma}(\rho, m_T^2, x_i, x_j, \alpha_s(\mu^2), \mu^2)$$

- f_i, f_j a proton PDF-ek adott μ_F faktorizációs skálán, $\mu_F = \mu_R$
- x_i, x_j a kemény folyamatban résztvevő partonoknak a protonokbeli longitudinális momentumarányai,
- $\rho = 4m_T^2/\sqrt{\hat{s}}$,
- $\hat{s} = x_i x_j s$, ahol s a protonok CMS ütközési energiája.

“Heavy quark pair” keletkezés, Leading Order



c.m.s.-ben:

$$p_1 = \frac{1}{2} \sqrt{s} (x_1, 0, 0, x_1)$$

$$p_2 = \frac{1}{2} \sqrt{s} (x_2, 0, 0, -x_2)$$

$$p_3 = (m_T \cosh(y_3), p_T, 0, m_T \sinh(y_3))$$

$$p_4 = (m_T \cosh(y_4), -p_T, 0, m_T \sinh(y_4))$$

Küszöbenergia: $\hat{s} \geq 4m^2$

$$\rightarrow x_i x_j = \hat{s}/s \geq 4m^2/s$$

$$!x_i \approx x_j \equiv x \rightarrow x \approx \frac{2m}{\sqrt{s}}$$

- $x \approx 0.18$ at Tevatron in Run II ($gg \approx 15\%$)
- $x \approx 0.025$ at LHC ($gg \approx 90\%$)

$$x_1 = \frac{m_T}{\sqrt{s}} (e^{y_3} + e^{y_4})$$

$$x_2 = \frac{m_T}{\sqrt{s}} (e^{-y_3} + e^{-y_4})$$

$$\hat{s} = 2m_T^2 (1 + \cosh \Delta y)$$

“Heavy quark pair” keletkezés, Leading Order

Vezető rendben a diff. hat. ker. alakja tömeges kvarkpár keltésre:

$$\frac{d^3\sigma}{dy_3 dy_4 d^2p_T} = \frac{1}{64\pi^2 m_T^4 (1 + \cosh(\Delta y))^2} \times \\ \times \sum_{i,j} x_1 f_i(x_1, \mu^2) x_2 f_j(x_2, \mu^2) \overline{\sum} |\mathcal{M}_{i,j}|^2$$

$$\overline{\sum} |\mathcal{M}_{q\bar{q}}|^2 = \frac{4g^4}{9} \left(\frac{1}{1 + \cosh(\Delta y)} \right) \left(\cosh(\Delta y) + \frac{m^2}{m_T^2} \right)$$

$$\overline{\sum} |\mathcal{M}_{gg}|^2 = \frac{g^4}{24} \left(\frac{8\cosh(\Delta y) - 1}{1 + \cosh(\Delta y)} \right) \left(\cosh(\Delta y) + 2\frac{m^2}{m_T^2} - 2\frac{m^4}{m_T^4} \right)$$

$$* y = \tanh^{-1}\left(\frac{p_z}{E}\right) = \frac{1}{2} \ln[(E + p_z)/(E - p_z)], \quad m_T = \sqrt{p_T^2 + m^2}$$

Következmények:

- hat.ker. nagy Δy rapiditás különbségeknél el van nyomva
- $q\bar{q}$ keletkezési módnál a keletkező nehéz kvarkpár jobban korrelál rapiditásban, mint gg módnál.
- nagy p_T -jú keletkezés el van nyomva, mivel a diff.hat.ker. $1/m_T^4$ -el levág
- nagy m_T értékeknél a parton pdf (és így a fluxus) szintén lecsökken

“Heavy quark pair” keletkezés, Leading Order

Következmények:

- hat.ker. nagy Δy rapiditás különbségeknél el van nyomva
- $q\bar{q}$ keletkezési módnál a keletkező nehéz kvarkpár jobban korrelál rapiditásban, mint gg módnál.
- nagy p_T -jú keletkezés el van nyomva, mivel a diff.hat.ker. $1/m_T^4$ -el levág
- nagy m_T értékeknél a parton pdf (és így a fluxus) szintén lecsökken
- Elméletben...ezt látni/mérni nehéz..

QCD and collider physics, 369.
oldal:

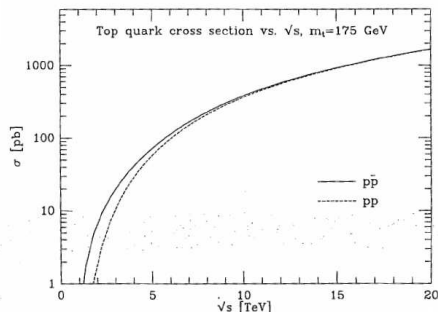


Fig. 10.22. The cross section for top quark production versus energy.

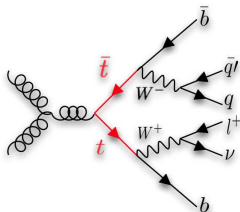
LHC: ATLAS Top Working Group
ajánlások:

- NLO: 791 ± 35 pb
Phys.Rev.D 68, 114014 (2003)
- NLO+NNLL soft gluon
resummation: 872 ± 15 pb
Phys.Rev.D 68, 114014 (2003)
- NLO+NLL soft gluon
resummation: 833^{+52}_{-39} pb
Nucl Phys B 529 (1998) 424-450

$$\bullet \mathcal{L}_{\text{LHC}} \approx 10^{33} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-2} \implies \sim 1 \text{ db } t\bar{t}/\text{s}, \sim 1/4 \text{ db } t\bar{t} \rightarrow 1 + \text{jets}/\text{s}$$

Top+antitop

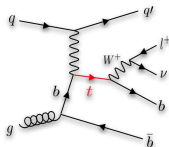
- $t + \bar{t}$



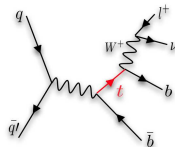
- **teljesen hadronikus** (46.2%):
 $t\bar{t} \rightarrow W^+ b W^- \bar{b} \rightarrow q\bar{q}' b q'' \bar{q}''' \bar{b}$
- **szemileptonikus** (43.5%):
 $t\bar{t} \rightarrow W^+ b W^- \bar{b} \rightarrow q\bar{q}' b l \bar{\nu}_l \bar{b} + \bar{l} \nu_l b q \bar{q}' \bar{b}$
- **dileptonikus** (10.3%):
 $t\bar{t} \rightarrow W^+ b W^- \bar{b} \rightarrow \bar{l} \nu_l b l' \bar{\nu}_{l'} \bar{b}$

Single top

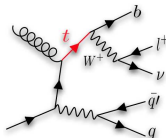
- t-csatorna



- s-csatorna



- Wt-csatorna



Mátrixelem:

- **MC@NLO:**

- ▷ $t\bar{t} + 1$ parton, NLO
- ▷ Negatív eseménysúlyok a levonási séma miatt...
- ▷ CKKW “matching” a Herwig parton zápor MC-hoz

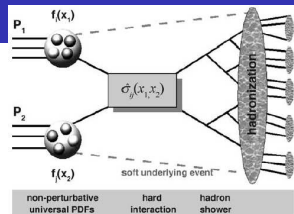
- **Alpgen:**

- ▷ $t\bar{t} + n$ parton, LO
- ▷ MLM “matching” a Herwig parton zápor MC-hoz
- ▷ W+jets hozamok valahogy nem stimmelnek a Tevatronnál...

- **AcerMC**

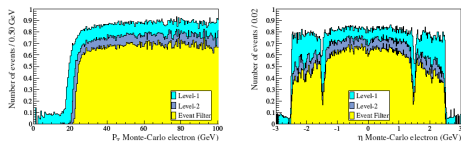
Parton zápor + hadronizáció + “underlying event”:

- Herwig, Pythia, Ariadne

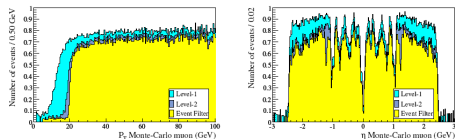


ATLAS CSC note T5 & T6

- Trigger határfok meghatározása $Z \rightarrow e^+e^-$ folyamatból
- Izolált elektron trigger: izolált elektron, $p_T > 25\text{GeV}$



- Izolált müon trigger: izolált müon, $p_T > 20\text{GeV}$

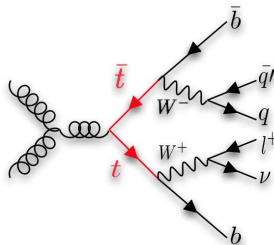


Event type	$e25i$			$mu20$		
	L1	L2	EF	L1	L2	EF
$t\bar{t}$ (electron)	74.2	60.8	52.9	8.8	4.5	3.7
$t\bar{t}$ (muon)	9.8	0.7	0.3	73.5	63.8	59.9
$t\bar{t}$ (tau)	20.8	5.6	4.1	15.6	9.3	8.1
$t\bar{t}$ (fully leptonic)	51.1	39.7	34.6	49.4	41.9	39.4
$t\bar{t}$ (hadronic)	13.8	0.8	0.3	9.4	4.7	3.8
single-top	31.4	21.4	18.4	29.7	23.6	21.8

$t\bar{t}$ → szemileptonikus események, válogatás

$t\bar{t}$ → szemileptonikus válogatás:

- 1 db lepton (elektron v müon): $p_T > 20$ GeV
- Hiányzó transzverzális energia: $\cancel{E}_T > 20$ GeV
- Legalább 4 jet: $p_T > 20$ GeV (Jet I.)
- Legalább 3 jet: $p_T > 40$ GeV (Jet II.)
- **W tömeg vágás**

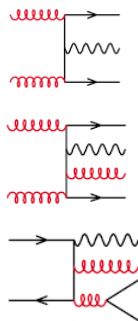


	Lepton	\cancel{E}_T	Jet I.	Jet II.	Összes
$t\bar{t}$ (el.) %	52.0	91.0	70.7	61.9	22.1
$t\bar{t}$ (müon) %	68.7	91.6	65.5	57.3	29.8

Eseményválogatási hatások, háttér

MonteCarlo	Elektron	Müon
$t\bar{t}$	2597.7	3354.3
teljes hadronikus $t\bar{t}$	10.3	37.4
W+jets	738.9	1058.6
s.top t-csatorna	98.2	122.3
s.top s-csatorna	2.0	2.3
s.top Wt-csatorna	59.8	68.2
$Z \rightarrow ee + \text{jets}$	86.6	0.0
$Z \rightarrow \tau\tau + \text{jets}$	21.5	33.8
$Z \rightarrow \mu\mu + \text{jets}$	0.0	41.6
W + $b\bar{b}$	17.4	23.0
W + $c\bar{c}$	20.6	24.2
WW	4.1	5.6
WZ	1.8	3.0
ZZ	0.4	0.3
S/B	2.4	2.4

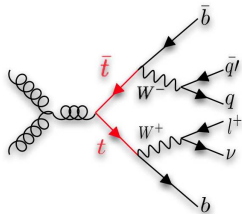
Néhány példa bozon+jets keletkezési Feynman-gráf:



Hatáskeresztmetszet mérési stratégia:

- Az eseményt rekonstruáljuk (pl. hadronikus top jelöltet valamilyen 3-jet kombinációból, W bozont 2-jetből, stb.)
 - pl. hadronikus oldali top invariáns tömegeloszlás fit
- Az eseményt nem rekonstruáljuk (pl. csak vágási határfokok, eseményalak, stb.)
 - pl. “Counting method”
 - Egyéb..

$t\bar{t}$ → szemileptonikus események, hadronikus top rekonstrukálás

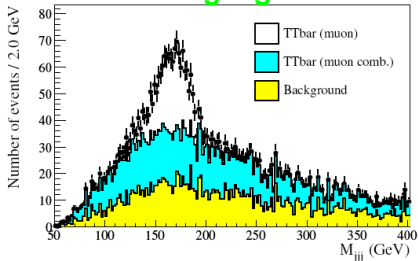


N jet a végállapotban, jet-kombinációk, “jelöltek”:

- hadronikus top: az összes lehetséges 3-jet kombináció közül az, amelyik a legnagyobb p_T^{3j} -hez vezet
- W bozon: a fenti 3-jet összes 3 lehetséges 2-jet kombináció közül az, amelyik a legnagyobb p_T^{2j} -hez vezet
- **W tömegvágás**: a fenti hadronikus top 3 jet-ének a háromféle 2-jet kombinációja között van-e olyan, amelynek a 2-jet invariáns tömege a rekonstruált $M_W \pm 10$ GeV

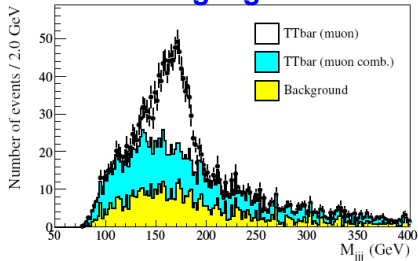
$t\bar{t}$ hadronikus top rekonstrukálás

W tömegvágás nélkül

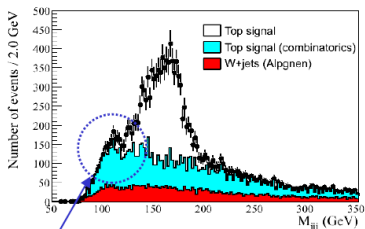
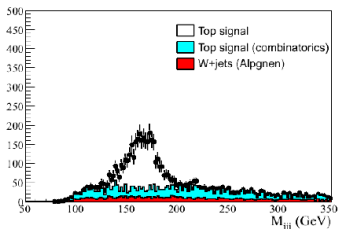


Selection: $3x > 40$ GeV
 $1x > 40$ GeV

W tömegvágással

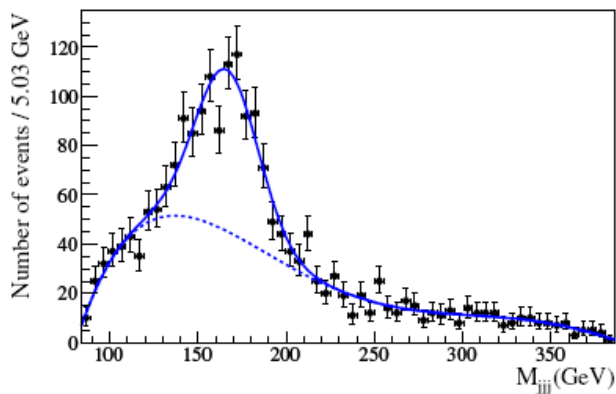


Selection: $3x > 40$ GeV
 $1x > 20$ GeV



Parton-szinten
"matching"
stratégiák,
software ver-
ziók...

Invariáns tömeg eloszlás fit

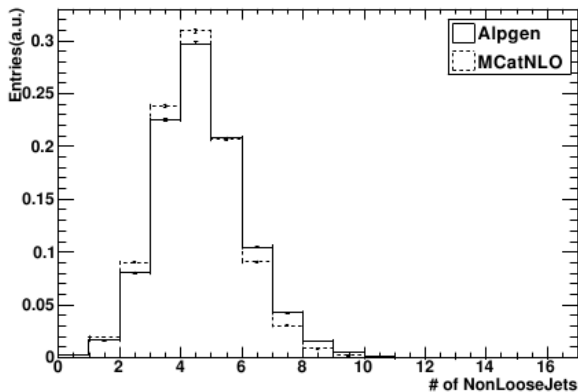


- Hattér + jel megillesztése (Chebysev+Gaus...)
- Jel alatti terület megbecslése
- De azért ez trükkös dolog: milyen a kombinatorikus háttér- és a jelalak?

Invariáns tömeg eloszlás fit, top komb. háttér

NonLooseJet: $p_t > 20$ GeV, $|\eta| < 2.5$, $\Delta R(\text{parton top} - \text{rek. top})$

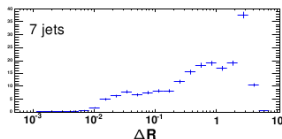
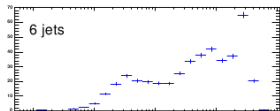
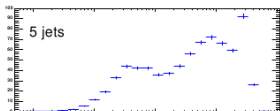
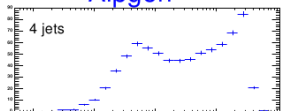
Jet multiplicity of nonloose jets



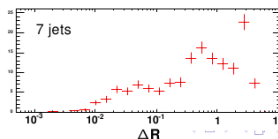
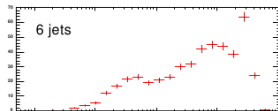
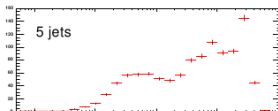
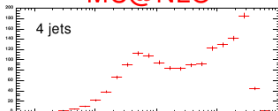
Invariáns tömeg eloszlás fit, top komb. háttér

NonLooseJet: $p_t > 20$ GeV, $|\eta| < 2.5$, $\Delta R(\text{parton top} - \text{rek. top})$

Alpgen



MC@NLO

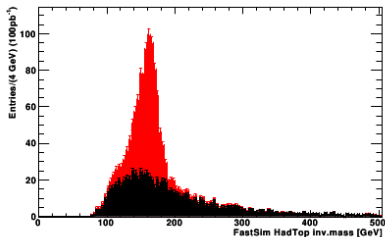


Invariáns tömeg eloszlás fit, top komb. háttér

NonLooseJet: $p_t > 20$ GeV, $|\eta| < 2.5$, $\Delta R(\text{parton top} - \text{rek. top})$

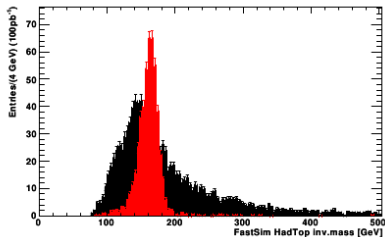
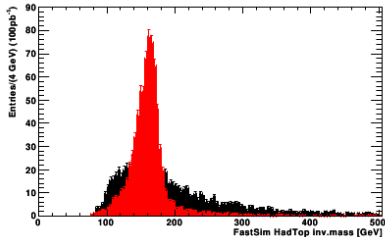
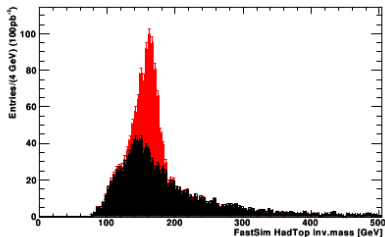
$\Delta R < 0.35$

MCatNLO, 4 NonLooseJets, dR<0.35



$\Delta R < 0.1$

MCatNLO, 4 NonLooseJets, dR<0.1

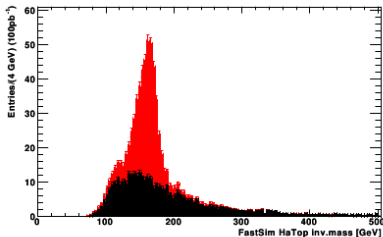


Invariáns tömeg eloszlás fit, top komb. háttér

NonLooseJet: $p_t > 20$ GeV, $|\eta| < 2.5$, $\Delta R(\text{parton top} - \text{rek. top})$

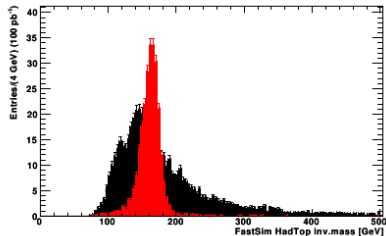
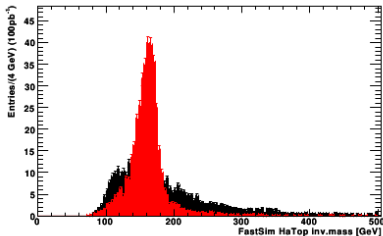
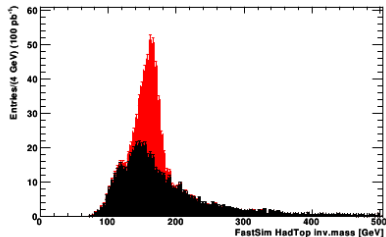
$\Delta R < 0.35$

Alpgen, 4 NonLooseJets, $dR < 0.35$



$\Delta R < 0.1$

Alpgen, 4 NonLooseJets, $dR < 0.1$



- Hatáskeresztmetszet:

$$\sigma^{\bar{t}\bar{t}} = \frac{N-B}{\epsilon \mathcal{A} Br(\bar{t}\bar{t} \rightarrow \dots)} \int \mathcal{L}$$

- Esemény válogatási és rekonstruálási hatásfokok Monte Carloból...
- Potenciális szisztematikus hibák:

→ Jet energia skála (→ jet multiplicitás → hatásfokok, etc.)

▷ 5% bizonytalanság → $\Delta\sigma/\sigma \approx 4\%$

→ \cancel{E}_T ..

→ Jet multiplicitás

→ ISR/FSR

→ PDF (újrásúlyozás): $w_{\text{event}} = \frac{\text{pdf}_N(x_1, f_1, Q) \times \text{pdf}_N(x_2, f_2, Q)}{\text{pdf}_0(x_1, f_1, Q) \times \text{pdf}_0(x_2, f_2, Q)}$

→ Luminozitás

→ Illesztés...

→ ...

Vége