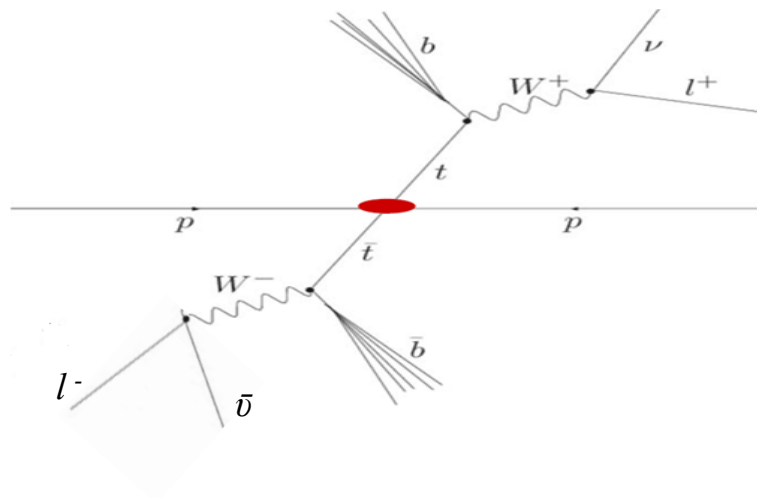


Spinové korelácie top kvarku v dileptóvovom rozpade $t\bar{t}$

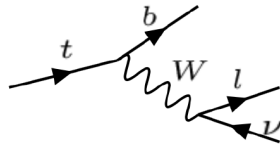
(v pp zrážkach pri 13 TeV)



Top kvark

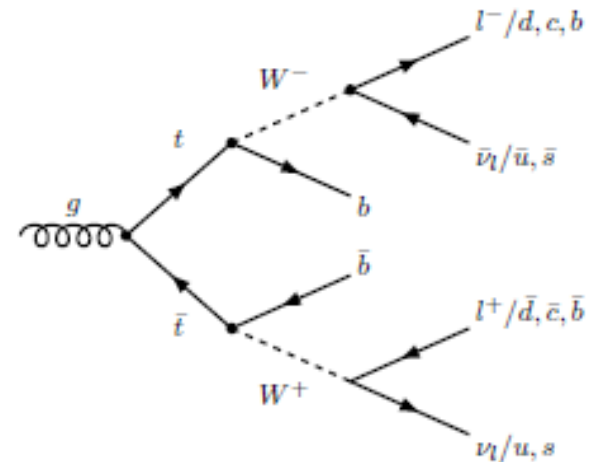
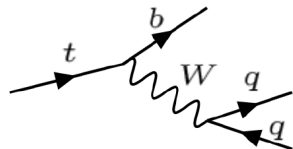
- 1995 CDF a D0 na Tevatrone vo Fermilabe
- Najťažšia známa elementárna častica $\sim 172,5 \text{ GeV}/c^2$ (elektrón $0,5 \text{ MeV}/c^2$)
- Nestabilný s krátkou dobou života $\sim 10^{-25} \text{ s}$
- Nevytvára viazané hadrónové stavy
- Rozpad prevažne na b kvark a W bozón, ktorý je nestabilný a určuje rozpadový kanál $t\bar{t}$

- Dileptónový



- Semileptónový

- Hadrónový



Spinové korelácie

- Štandardný model (SM) predpovedá spinovú koreláciu medzi t a $\bar{t}$ v párovej produkcii $\rightarrow$ meranie uhlového rozdelenia častíc z rozpadu t

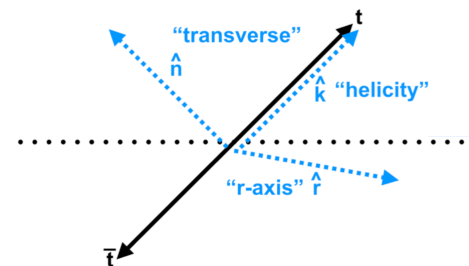
- Spinové korelácie vyjadrujú v $t\bar{t}$

$$C \sim \frac{N(\uparrow\uparrow) + N(\downarrow\downarrow) - N(\uparrow\downarrow) - N(\downarrow\uparrow)}{N(\uparrow\uparrow) + N(\downarrow\downarrow) + N(\uparrow\downarrow) + N(\downarrow\uparrow)}$$

- 15 korelačných koeficientov

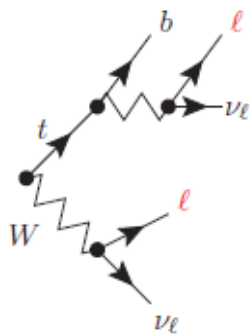
Určené uhlami medzi kladnými leptónmi a nasledujúcimi osmi :

- „Helicity“ $\hat{k}$: smer top kvarku v pokojovej sústave $t\bar{t}$
 - „Transverse“ $\hat{n}$: ortogonálna na rovinu vytvorenú top kvarkom a urýchlým zväzkom v pokojovej sústave $t\bar{t}$
 - „R-axis“ $\hat{r}$: ortogonálna na predošlé dva
- SM predpovedá hodnoty spinových korelačných koeficientov v rôznych priblíženiach
- Azimutálny uhol $|\Delta\phi|$ v sférických súradniciach medzi dvoma nabitými leptónmi z dileptónového rozpadu $t\bar{t}$ ($t \rightarrow Wb; W \rightarrow lv$)



Experimentálne a simulované dáta

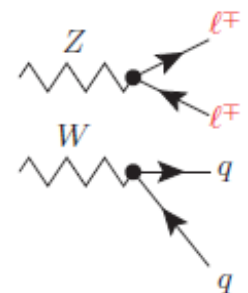
- Analýza vo fyzike vysokých energií pozostáva z porovnávania surových (detektorových) údajov a simulácií fyzikálnych procesov. Týmto porovnávaním sa overujú a identifikujú základné fyzikálne procesy a ich deformácie detekčným a spracovateľským procesom
- Použité experimentálne dáta:
 - DATA 2016, DATA 2015
- Použité simulované údaje (MC): signálny kanál $t\bar{t}$ a konkurenčné reakcie, ktoré dávajú rovnaké častice v koncovom stave ako $t\bar{t}$
 - signal $t\bar{t}$ - dilepton,
 - Pozadie : single-top,



Z/ W+jets



dibozóny



Selekcia dileptónového rozpadu

- Program AnalysisTop – selekcia leptónov z dileptónového rozpadu $t\bar{t}$
- Výpočet na GRID-e - týždeň, potrebné opakovať s novou verziou programu a vstupnými súbormi
- Máme štvorhybnosť (kinematické premenné) nabitých leptónov a jetov (b kvark)
- Nemáme štvorhybnosť top kvarkov, nie sú priamo zrekonštruovateľné kvôli neutrínam ν_t

Identifikácia leptónov

- Aspoň 2 leptóny $p_{Tl} \geq 25\text{GeV}$ P_{Tl} - pričná hybnosť nabitého leptónu (e, μ)
- Aspoň 2 jety (b-kvarky) $p_{Tj} > 25\text{GeV}$
- Opačné znamienko náboja

$ee, \mu\mu$

$E_T^{miss} > 60\text{GeV}$

$m_{ll} > 15\text{ GeV}$ okrem (80,100)GeV – vylúčenie Z^0

Popis metódy Kinematickej rekonštrukcie

- Potrebujeme späťne zrekonštruovať kinematické premenné top a antitop kvarku
- 2 neutrína - poznáme iba súčet štvorhybností - nevieme zrekonštruovať hybnosť $t, \bar{t}$
- Uvažujme proces $pp \rightarrow t\bar{t} + X$ a postupný rozpad
- 4 rovnice a potrebujeme určiť 6 veličín - dodať 2 podmienky z chýbajúcej energie, predpokladáme, že chýbajúca energia je spôsobená iba neutrínami
 - Za predpokladu, že $m_W = 80,4 \text{ GeV}$, $m_t = 172,5 \text{ GeV}$, $m_\nu = 0 \text{ GeV}$
- Treba riešiť sústavu nelineárnych rovníc
- Výpočet na GRID-e - týždeň

Tabuľka Počet prípadov po selekcii so štatistickými neurčitostami pre integrálnu
luminozitu $\int Ldt = 36470 \text{ pb}^{-1}$.

Channel	ee		$e\mu$		$\mu\mu$	
ttbar	39 400	± 160	186 000	± 400	49 900	± 200
Fakes	1040	± 31	3480	± 60	364	± 20
Diboson	1180	± 19	5170	± 40	1500	± 20
Single Top	2510	± 27	11 200	± 60	3070	± 30
Zjets	3210	± 130	2050	± 90	5920	± 200
Total Expected	47 400	± 210	207 000	± 400	60 700	± 300
Data	48058		205303		65280	
MC/Data	0.985		1.01		0.930	

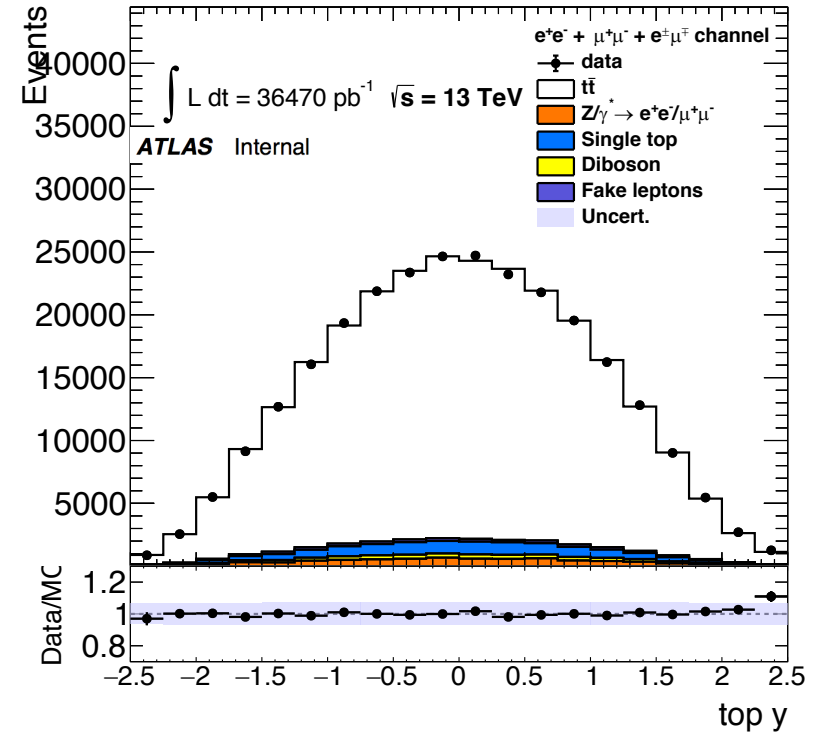
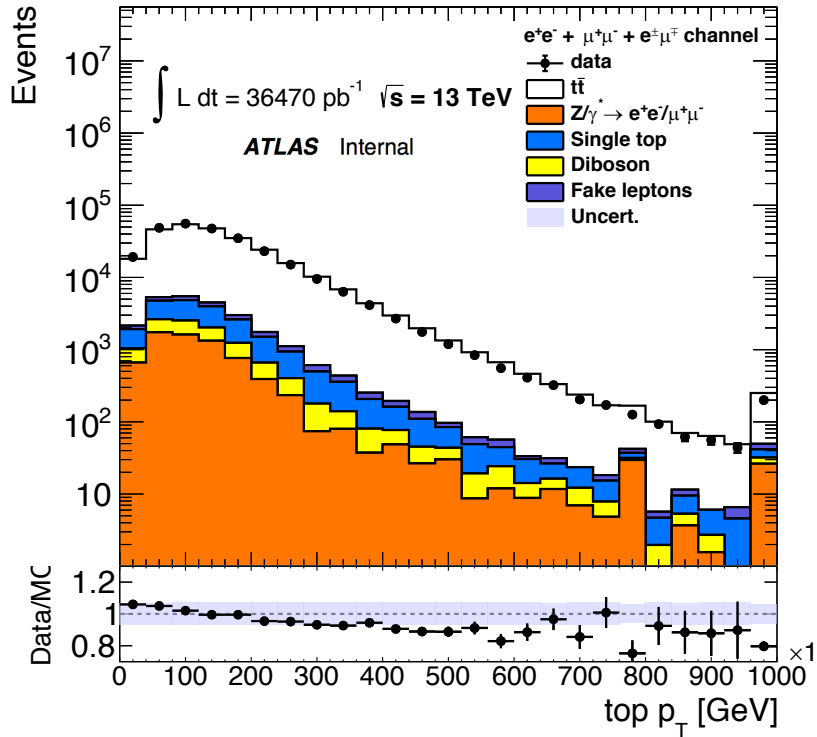
Tabuľka Počet prípadov so štatistickými neurčitostami po kinematickej rekonštrukcii pre integrálnu luminozitu $\int Ldt = 36470 \text{ pb}^{-1}$.

Channel	ee		$e\mu$		$\mu\mu$	
ttbar	34 800	± 150	169 000	± 300	44 600	± 200
Fakes	648	± 25	2320	± 50	196	± 10
Diboson	548	± 13	2860	± 30	693	± 10
Single Top	1510	± 21	7580	± 50	1910	± 20
Zjets	2080	± 100	1480	± 70	3580	± 200
Total Expected	39 600	± 190	183 000	± 400	51 000	± 200
Data	39577		180327		53193	
MC/Data	1.0		1.013		0.957	

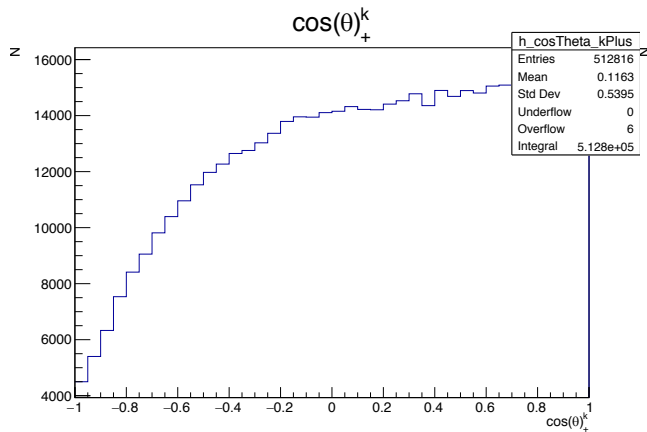
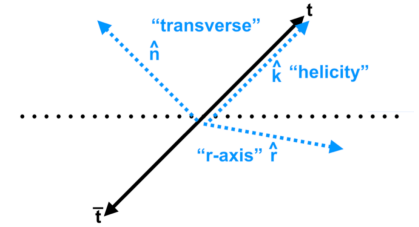
Efektívnosť rekonštrukcie.

Channel	ee		$e\mu$		$\mu\mu$	
ttbar	0.883	± 0.0052	0.909	± 0.003	0.894	± 0.005
Fakes	0.625	± 0.030	0.666	± 0.02	0.538	± 0.04
Diboson	0.465	± 0.013	0.554	± 0.007	0.463	± 0.009
Single Top	0.603	± 0.011	0.679	± 0.006	0.622	± 0.009
Zjets	0.647	± 0.041	0.723	± 0.05	0.605	± 0.04
Total Expected	0.836	± 0.0055	0.881	± 0.003	0.839	± 0.005
Data	0.824		0.878		0.815	

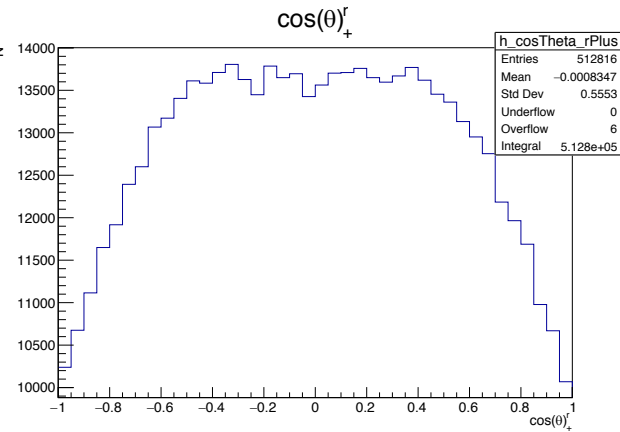
Rekonštruované rozdelenie priechnej hybnosti a rapidity top kvarku



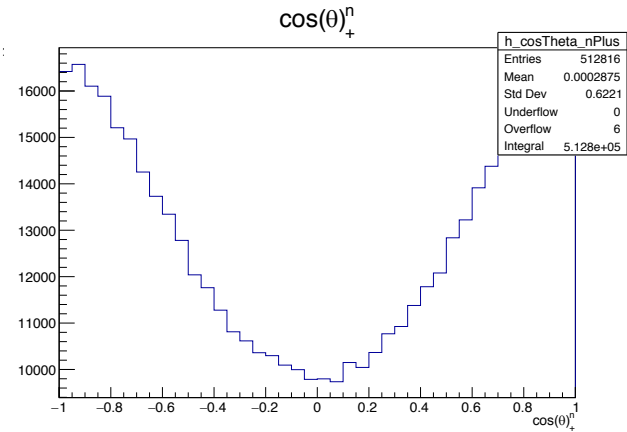
Rozdelenia uhla kladného leptónu a voči trom vybraným osiam $\hat{k}, \hat{n}, \hat{r}$



$$\theta_+^k \propto \hat{k}, l_+$$

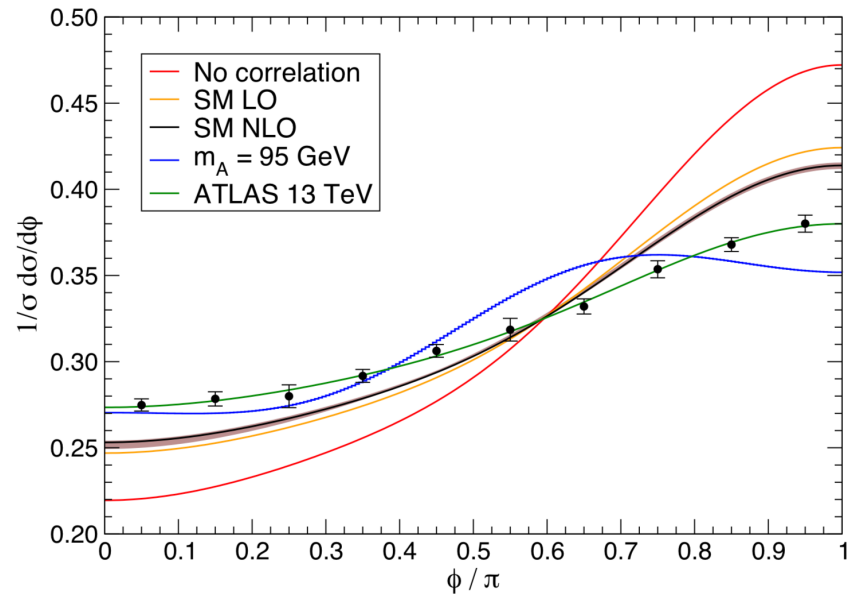
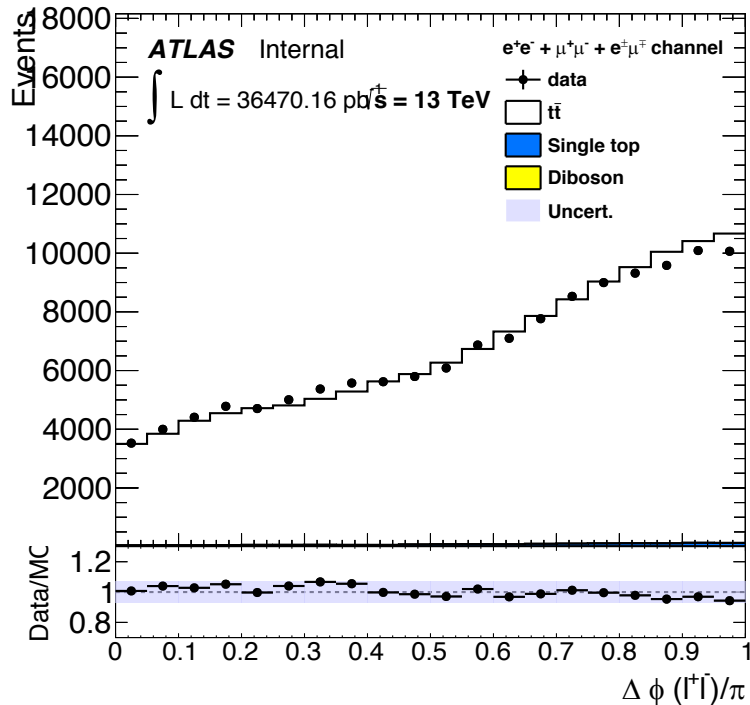


$$\theta_+^r \propto \hat{r}, l_+$$



$$\theta_+^n \propto \hat{n}, l_+$$

Rozdelenie relatívneho azimutálneho uhla leptónov a predpovede Štandardného modelu



Adding a 95 GeV pseudoscalar
 $gg \rightarrow A \rightarrow t\bar{t}$

interný meeting [Top properties&mass](#) (J. A. A. Saavedra)

Ďalšie kroky v analýze

- Určenie korelačných koeficientov - 15 parametrov popisujúcich úplne spinové korelácie
- Korekcie experimentálnych údajov
- Systematické neurčitosti
 - Neurčitosti spôsobené modelovaním signálnej vzorky (Signal modelling uncertainties)
 - Neurčitosti spôsobené modelovaním detektora (Detector modelling uncertainties)
 - Neurčitosti spôsobené modelovaním vzoriek pozadia (Background modelling uncertainties)

Ďakujem za pozornosť

Popis metódy Kinematickej rekonštrukcie

- Uvažujme proces $pp \rightarrow t\bar{t} + X$ a postupný rozpad

$$t \rightarrow W^+ b \rightarrow l^+ \nu b$$

$$\bar{t} \rightarrow W^- \bar{b} \rightarrow l^- \bar{\nu} \bar{b}$$

$$p_b + p_{W^+} = p_t,$$

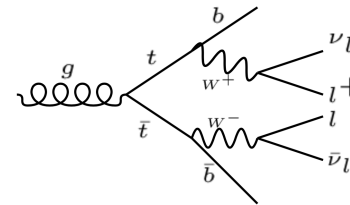
$$p_{l^+} + p_\nu = p_{W^+},$$

$$p_{\bar{b}} + p_{W^-} = p_{\bar{t}},$$

$$p_{l^-} + p_{\bar{\nu}} = p_{W^-},$$

$$p_{\nu x} + p_{\bar{\nu}x} = E_x^{miss},$$

$$p_{\nu y} + p_{\bar{\nu}y} = E_y^{miss}.$$



Kde p_α - štvorhybnosť častice, $\alpha = b, \bar{b}, W^\pm, \nu, \bar{\nu}, l^\pm$

Kde $E_T^{miss} = (E_x^{miss}, E_y^{miss})$ chýbajúca priečna energia

Kde $(p_{\nu x}, p_{\nu y}), (p_{\bar{\nu}x}, p_{\bar{\nu}y})$ - priečna hybnosť ν , resp. $\bar{\nu}$

Bolo predpokladané, že $m_W = 80,4 \text{ GeV}, m_t = 172,5 \text{ GeV}, m_\nu = 0 \text{ GeV}$

- Rovnice riešené numericky
- Rekonštrukcia kinematiky $t\bar{t}$ v dileptónovom kanáli je zložitejšia z dôvodu dvojice neutrín v koncovom stave

Popis metódy Kinematickej rekonštrukcie

- Pri numerickom riešení boli použité tieto úpravy:

$$\begin{aligned}(p_{l1} + p_{v1})^2 &= m_W^2 & (p_{l1} + p_{v1} + p_{b1})^2 &= m_t^2 \\ (p_{l2} + p_{v2})^2 &= m_W^2 & (p_{l2} + p_{v2} + p_{b2})^2 &= m_t^2\end{aligned}$$

- Rovnice majú potom tvar:

$$\begin{aligned}(E_{l1} + E_{v1})^2 - \sum_{i=x,y,z} (p_i^{l1} + p_i^{v1})^2 - m_W^2 &= 0 \\ (E_{l2} + E_{v2})^2 - \sum_{i=x,y} (p_i^{l2} + E_{T,i}^{miss} - p_i^{v1})^2 - (p_z^{l2} + p_z^{v2})^2 - m_W^2 &= 0 \\ (E_{l1} + E_{v1} + E_{b1})^2 - \sum_{i=x,y,z} (p_i^{l1} + p_i^{v1} + p_i^{b1})^2 - m_t^2 &= 0 \\ (E_{l2} + E_{v2} + E_{b2})^2 - \sum_{i=x,y} (p_i^{l2} + E_{T,i}^{miss} - p_i^{v1} + p_i^{b2})^2 - (p_z^{l2} + p_z^{v2} + p_z^{b2})^2 - m_t^2 &= 0\end{aligned}$$

kde $E_{v1} = \sqrt{(p_x^{v1})^2 + (p_y^{v1})^2 + (p_z^{v1})^2}$, $E_{v2} = \sqrt{(E_{T,x}^{miss} - p_x^{v1})^2 + (E_{T,y}^{miss} - p_y^{v1})^2 + (p_z^{v2})^2}$

- Nakoniec máme štyri rovnice o štyroch neznámých: $p_x^{v1}, p_y^{v1}, p_z^{v1}, p_z^{v2}$.

Top spin correlation

Bernreuther 1508.05271 (ATL-COM-PHYS-2015-174)

$$\begin{aligned}\hat{\mathbf{p}}_p &= (0, 0, 1), & \hat{\mathbf{r}}_p &= \frac{1}{r_p}(\hat{\mathbf{p}}_p - y_p \hat{\mathbf{k}}), & \hat{\mathbf{n}}_p &= \frac{1}{r_p}(\hat{\mathbf{p}}_p \times \hat{\mathbf{k}}), \\ y_p &= \hat{\mathbf{p}}_p \cdot \hat{\mathbf{k}}, & r_p &= \sqrt{1 - y_p^2}.\end{aligned}\tag{4.13}$$

unit vector $\hat{\mathbf{k}}$ which is the top quark direction of flight in the $t\bar{t}$ ZMF

The unit vectors $\hat{\ell}_+, \hat{\ell}_-$ are the ℓ^+ and ℓ'^- directions of flight in the t and $\bar{t}$ rest frames, respectively, l_+, l_- *+ , - charged lepton* different reference axes $\hat{\mathbf{a}}$ and $\hat{\mathbf{b}}$. We define

$$\cos \theta_+ = \hat{\ell}_+ \cdot \hat{\mathbf{a}}, \quad \cos \theta_- = \hat{\ell}_- \cdot \hat{\mathbf{b}}.\tag{4.7}$$

label		$\hat{\mathbf{a}}$	$\hat{\mathbf{b}}$
transverse	n	$\text{sign}(y_p) \hat{\mathbf{n}}_p$	$-\text{sign}(y_p) \hat{\mathbf{n}}_p$
r axis	r	$\text{sign}(y_p) \hat{\mathbf{r}}_p$	$-\text{sign}(y_p) \hat{\mathbf{r}}_p$
helicity	k	$\hat{\mathbf{k}}$	$-\hat{\mathbf{k}}$