

# Osvrt na 10 godina u ATLAS eksperimentu

Kerim Suruliz

6. juni 2019.

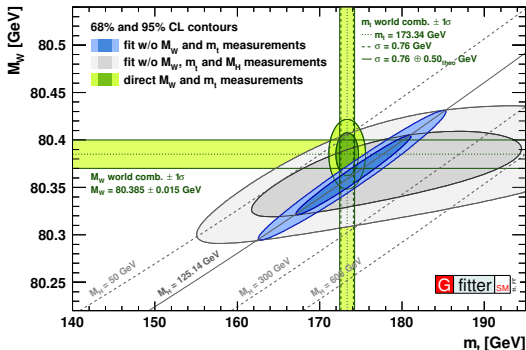
Kratki osvrt na rezultate ATLAS eksperimenta na LHC-u u zadnjih 10tak godina.

- Nemoguće je pokriti sve - fokus na fizici kojom sam se ja bavio
- Potrage za supersimetrijom
- Mjerenja vezana za top kvark
- Historija i trendovi, bez tehničkih detalja

# Motivacija: top kvark

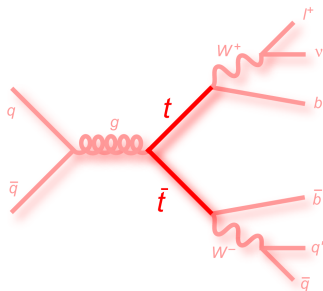
Top kvark je najteža fundamentalna čestica u Standardnom Modelu.

- Otkriven 1995. godine na Tevatron-u
- Medju fermionima ima najjači coupling sa Higgsovim bozonom ( $y_t \approx 1$ )
- Mase top kvarka, Higgs-a i  $W$  bozona su povezane radijativnim korekcijama
- $\implies$  precizna mjerenja  $m_{\text{TOP}}$  su odlični testovi konzistentnosti Standardnog Modela



# Motivacija: top kvark

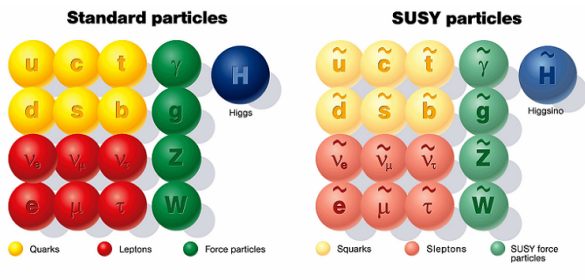
- Top kvark se raspada prije hadronizacije - ponaša se kao **izolovani kvark**.
- $\implies$  svojstva top kvarka su moćan test predikcija perturbativne kvantne hromodinamike (QCD) i osjetljiva su na prisustvo fizike izvan Standardnog Modela



# Motivacija: supersimetrija (SUSY)

Ideje iz 1970-tih godina: ekstenzija Poincaré simetrije prostora-vremena.

- Supersimetrična proširenja Standardnog Modela uvode partnere čestica sa drugim spinom (fermioni $\leftrightarrow$ bozoni)



# Higgs, efektivna teorija polja i problem hijerarhije

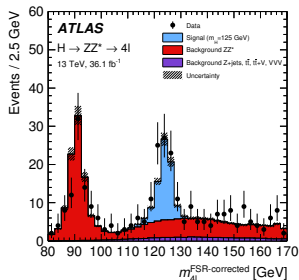
Citation: M. Tanabashi *et al.* (Particle Data Group), Phys. Rev. D **98**, 030001 (2018) and 2019 update



$$J = 0$$

Mass  $m = 125.10 \pm 0.14$  GeV

Full width  $\Gamma < 0.013$  GeV, CL = 95% (assumes equal on-shell and off-shell effective couplings)



# Higgs, efektivna teorija polja i problem hijerarhije

Skalarna priroda Higgsovog bozona rezultuje **problemom hijerarhije**.

Masa Higgsa je osjetljiva na prisustvo dodatnih stanja (mase  $M$ ) u teoriji.

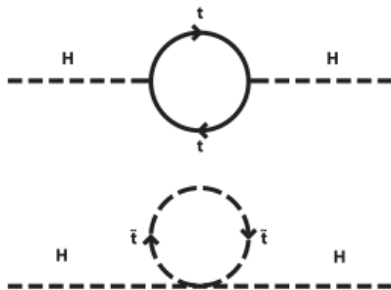
$$\delta m_H^2 \approx \frac{\alpha}{4\pi} M^2$$

Ovo dovodi do *fine tuning* problema - ako je  $M \sim M_{\text{GUT}}$ , korekcije su jako velike.

- SM nije kompletna teorija (ne uključuje gravitaciju, QED coupling divergira na visokim energijama, itd.)  $\implies$  postojanje novih čestica je očekivano.

# SUSY i problem hijerarhije

U ranim 1980tim, postalo je jasno da SUSY može riješiti problem hijerarhije.



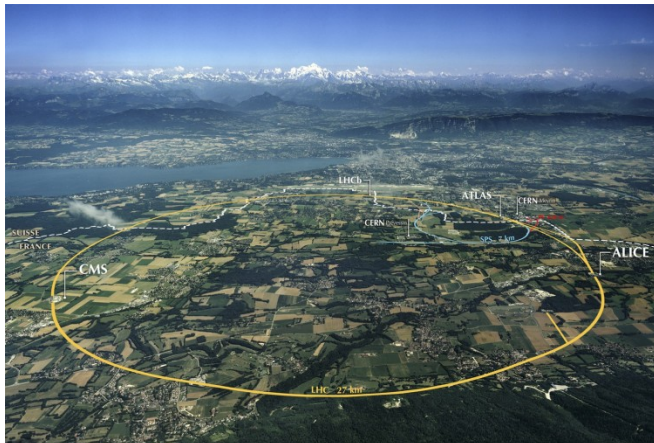
Prisustvo novih stanja poništava radijativne korekcije Higgsovoj masi.

- Skalarni top (“stop”) poništava veliku kontribuciju od top kvarka ( $y_t \sim 1$ ) **ako** mu je maza  $\sim m_t$ .



# Large Hadron Collider

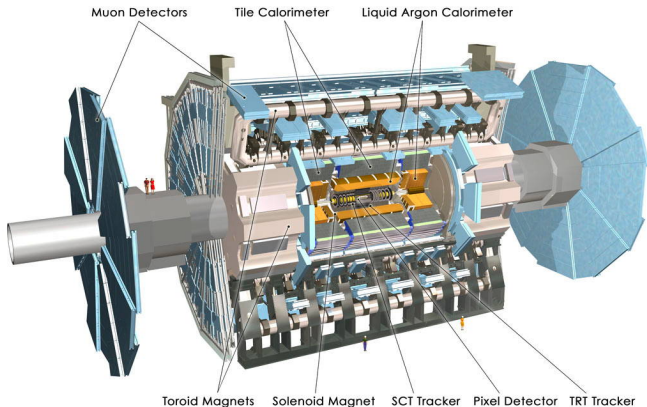
- Trebao početi sa radom 2008., ali incident sa magnetima je odgodio stvari za godinu
- 2010-2011: Protonski snopovi sa energijom od 3.5 TeV  $\rightarrow \sqrt{s} = 7$  TeV
- 2012:  $\sqrt{s} = 8$  TeV
- 2015-:  $\sqrt{s} = 13$  TeV



# The ATLAS detector

Jedan od dva detektora opšte namjene na LHC-u.

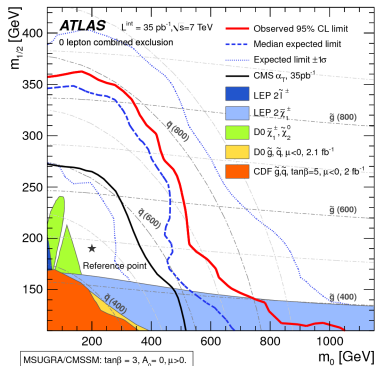
Kalorimetri za mjerenje energija  $e/\gamma$  i mlazova hadrona (“jets”); tracking sistem u magnetnom polju za mjerenje impulsa. Poseban sistem za muone u toroidalnom magnetnom polju (struja od 20kA, polje  $\sim 4\text{T}$ ).



# Potrage za supersimetrijom: rani dani

Na početku je fokus bio na “dobro motivisanim” modelima poput mSUGRA/cMSSM - model još iz 1980-tih godina.

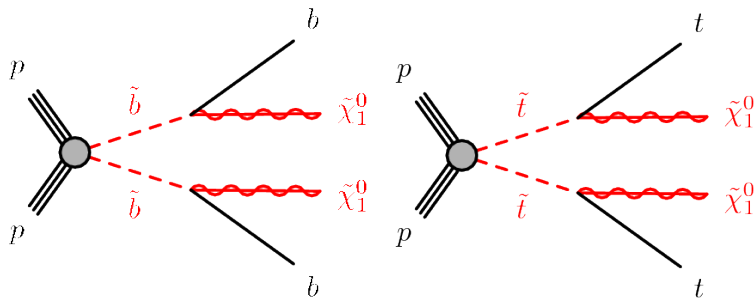
- Narušenje supersimetrije je komunicirano vidljivom sektoru pomoću gravitacije
- “Samo” pet parametara,  $m_0, m_{1/2}, \tan \beta, \text{sgn}(\mu), A_0$
- Uske veze izmedju masa supersimetričnih čestica



# Potrage za supersimetrijom: pojednostavljeni modeli

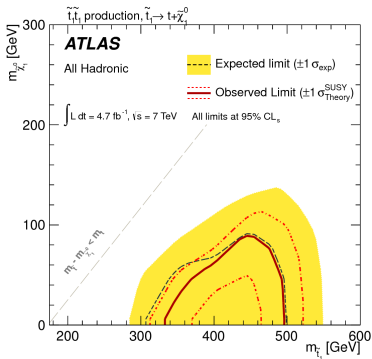
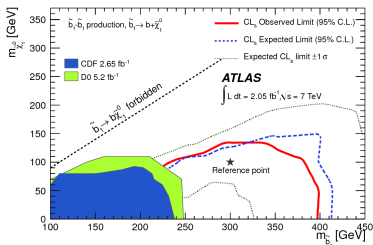
Potreba za “model blind” potragama iz više razloga:

- Jaki limiti na kompletne modele tipa mSUGRA/cMSSM
- Mogućnost reinterpretacije u drugim modelima (ne samo supersimetrija)

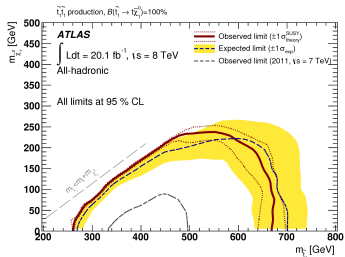
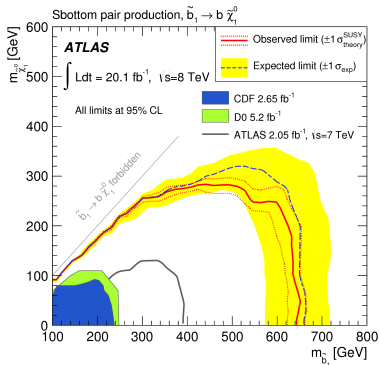


Ovdje su dodate samo dvije cestice (i dva parametra): stop ( $\tilde{t}$ ) i  $\tilde{\chi}_1^0$  koji je nevidljiv za detektor. Prespostavlja se da je  $BR(\tilde{t} \rightarrow t\tilde{\chi}_1^0) = 100\%$ .

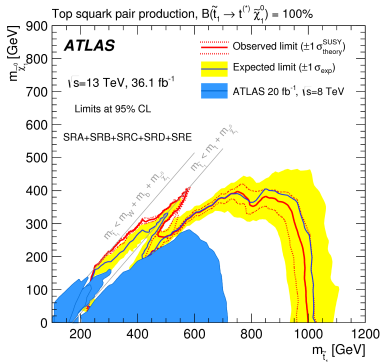
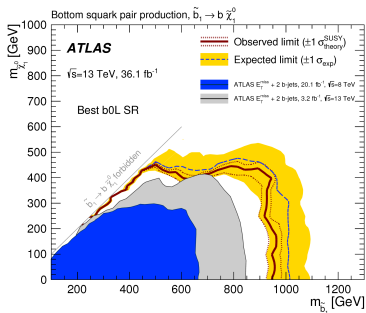
# Evolucija potraga za pojednostavljenim modelima



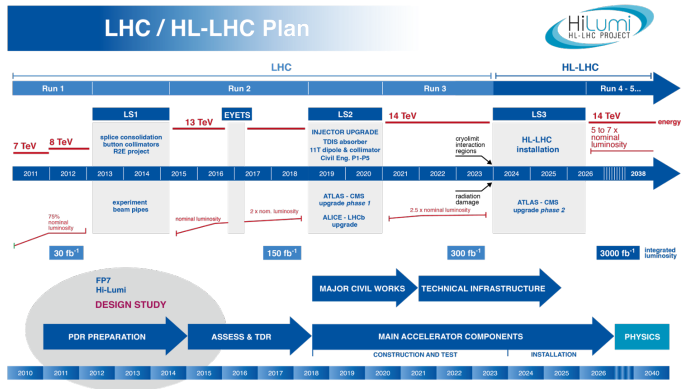
# Evolucija potraga za pojednostavljenim modelima



# Evolucija potraga za pojednostavljenim modelima



# Budućnost potraga za supersimetrijom

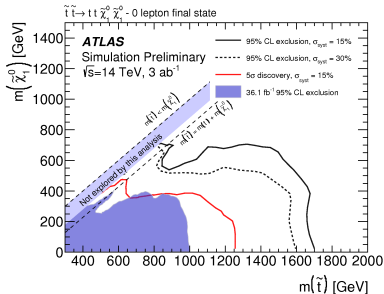
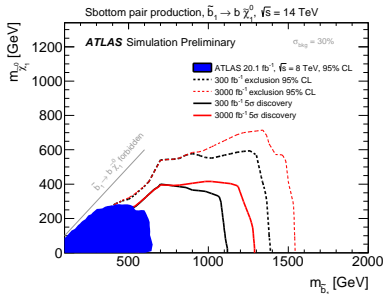


Do 2038 godine, LHC ce isporučiti  $3000 \text{ fb}^{-1}$  integriranog luminozitetu na 14 TeV.

- Šta se može očekivati u kontekstu supersimetrije?



# Budućnost potraga za supersimetrijom

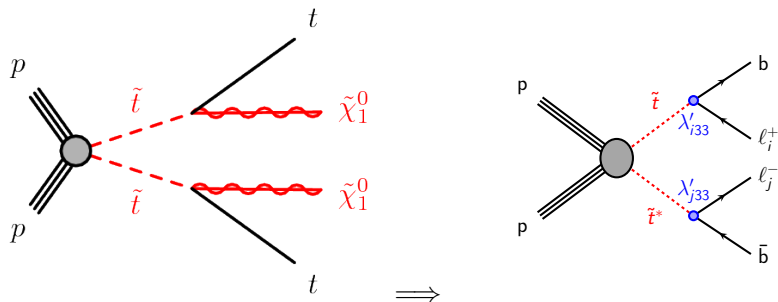


- Stop/sbottom čestice sa masama do  $\sim 1.3$  TeV se mogu otkriti - ali su mase do 1 TeV već isključene
- $300 \rightarrow 3000 \text{ fb}^{-1}$  daje dodatnih 200 GeV-a

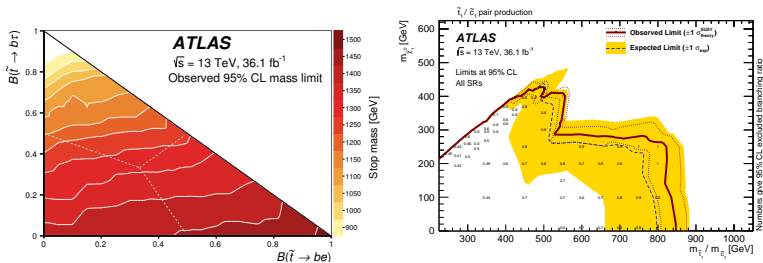
# Kuda dalje za supersimetriju?

Preispitivanje pretpostavki iza potraga koje su do sada izvršene.

- Obično se pretpostavlja da je najlakša supersimetrična čestica (obično  $\tilde{\chi}_1^0$  stabilna
- Limiti se prezentiraju za branching ratio od 100% - ako je manji, limit je slabiji



# Kuda dalje za supersimetriju?



Mogućnosti koje će se istraživati u Run 3 i dalje:

- “Komprimirani” modeli u kojim nove čestice imaju bliske mase
- Kompleksni modeli sa puno čestica u kojim su svi branching ratios  $\ll 1$
- Eksperimentalno komplikovaniji modeli (na primjer, sa  $\tau$  leptonima)

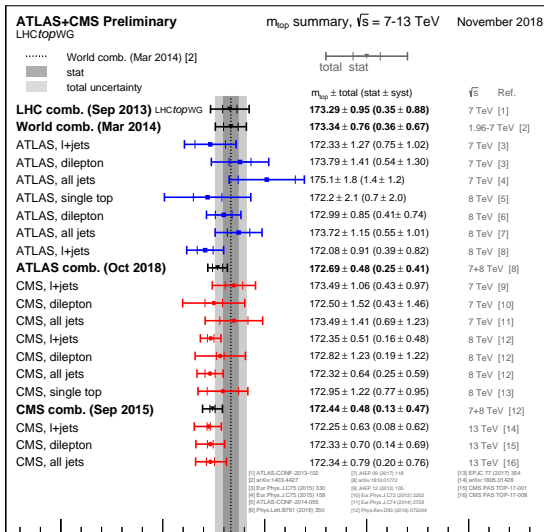
## Alternativa direktnim potragama: mjerenja

Pored direktnih potraga za novom fizikom u sektoru treće generacije, ATLAS i drugi LHC eksperimenti vrše detaljna mjerenja svojstava top kvarka.

- Masa, spin, naboj, produkcija, raspad,...
- Prednost mjerenja je “model independence”
- Ali sistematske greške su često ograničavajući faktor

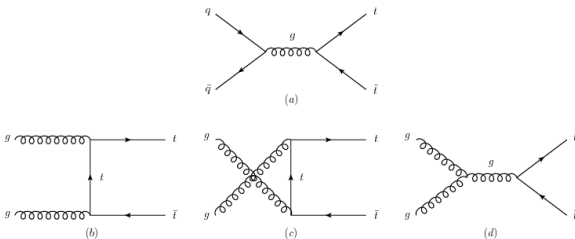
# Masa top kvarka

Masa top kvarka je izmjerena na Tevatronu sa odličnom preciznošću:  
 $m_t = 174.30 \pm 0.64$  GeV (kombinacija 12 raznih mjerenja!).

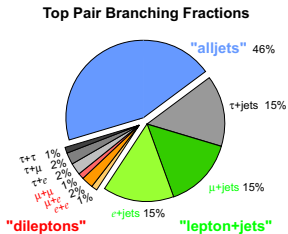


- Sistematske greške na LHC-u su postale manje od Tevatronovih tek u zadnjih nekoliko godina
- Tevatron je prestao skupljati podatke još 2011 godine - za razlike od potraga, mjerenja je teško poboljšati
- Većina mjerenja koristi samo 7 TeV + 8 TeV - nema potrebe za velikim luminozitetom

# Produkcija top kvarkova

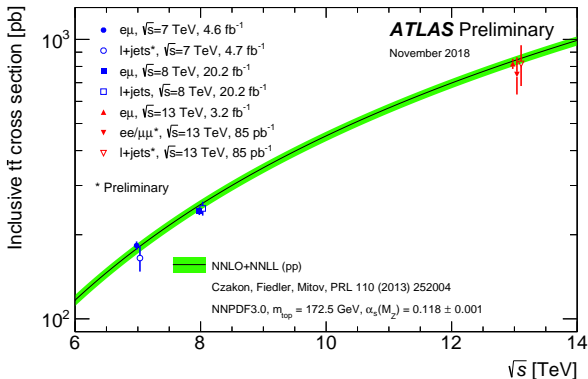


Može se mjeriti na puno načina, zavisno od raspada top (anti)kvarka u konačnom stanju.



# Produkcija top kvarkova

Cross section za  $pp \rightarrow t\bar{t}$  je veliki: milioni  $t\bar{t}$  parova su proizvedeni do sada na LHC-u.



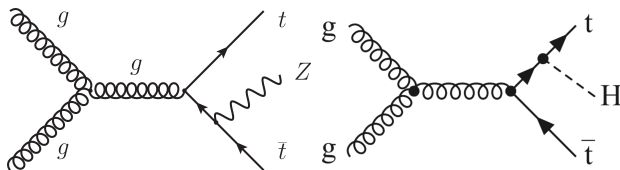
Sva mjerenja se odlično slažu sa predviđanjima iz Standardnog Modela.

- Najpreciznije mjerenje ima sistematsku grešku iste veličine kao i greška na SM proračunu ( $\sim 4\%$ )

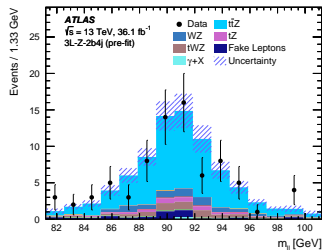
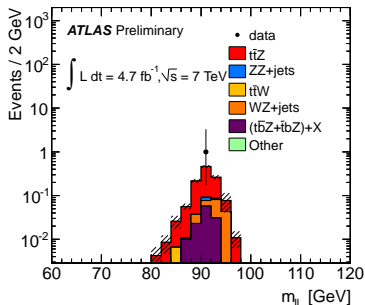


# Interakcije top kvarka

- Interakcije top kvarka, posebno sa Higgsovim i  $Z$  bozonom
- top-Higgs interakcija - Yukawa coupling  $y_t \implies$
- top- $Z$  konceptualno slična; simultana mjerenja omogućuju smanjenje eksperimentalne i teorijske greške



# $t\bar{t}Z$ mjerenja - evolucija

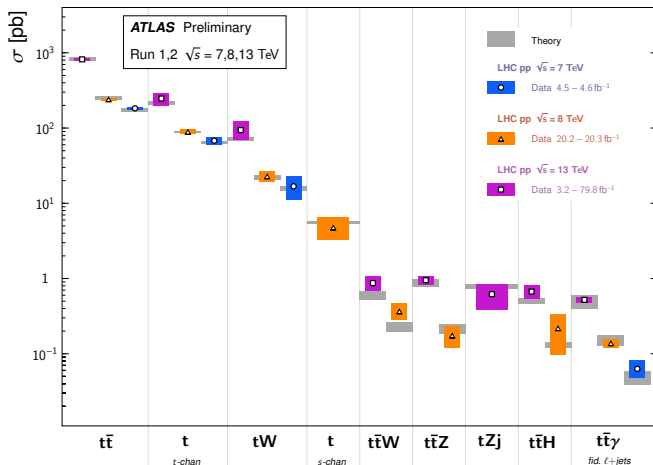


Sa više podataka, mogu se praviti mjerenja diferencijalnih observabli, koje su osjetljive na modifikacije interakcija top kvarka u odnosu na Standardni Model.

# Rezultati mjerenja svojstava top kvarka

## Top Quark Production Cross Section Measurements

Status: November 2018



# Zaključak

- U potragama za fizikom izvan Standardnog Modela su potrebne nove ideje i teorijske paradigme - sami dodani luminozitet od HL-LHC-a neće drastično promijeniti trenutnu sliku
- Postoje mjerenja kod kojih veliki luminozitet pomaže ( $t\bar{t}H$ ,  $t\bar{t}Z$  diferencijalna mjerenja,  $HH$ , itd.)
- Novi eksperimentalni metodi izgledaju obećavajuće (npr. machine learning), ali se ne mogu očekivati “magična rješenja”
- Napredak na teorijskoj strani je također potreban (npr. računi višeg reda za  $t\bar{t}(+X)$ )

