

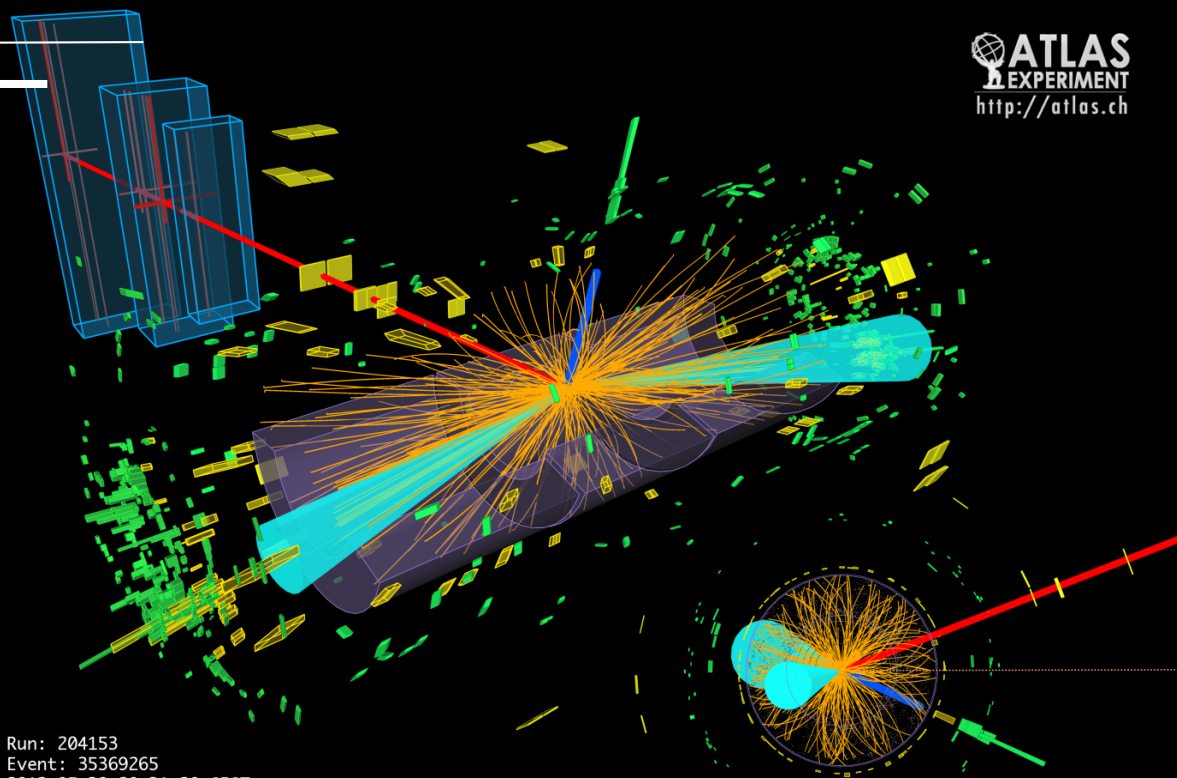


ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტი
სადოქტორო პროგრამა: "ფიზიკა"

I კოლოქვიუმი

არომატის შემცვლელი ნეიტრალური დენებით
მიმდინარე ტოპ კვარკის იშვიათი დაშლის $t \rightarrow qZ$
შესწავლა მასათა ცენტრის სისტემაში 8 ტევა ენერგიაზე
pp-ურთიერთქმედებებში ATLAS ექსპერიმენტზე

ATLAS
EXPERIMENT
<http://atlas.ch>



არჩილ დურგლიშვილი

თბილისი სახელმწიფო უნივერსიტეტის
მაღალი ენერგიების ფიზიკის ინსტიტუტი

archil.durghlishvili@cern.ch

ხელმძღვანელი:

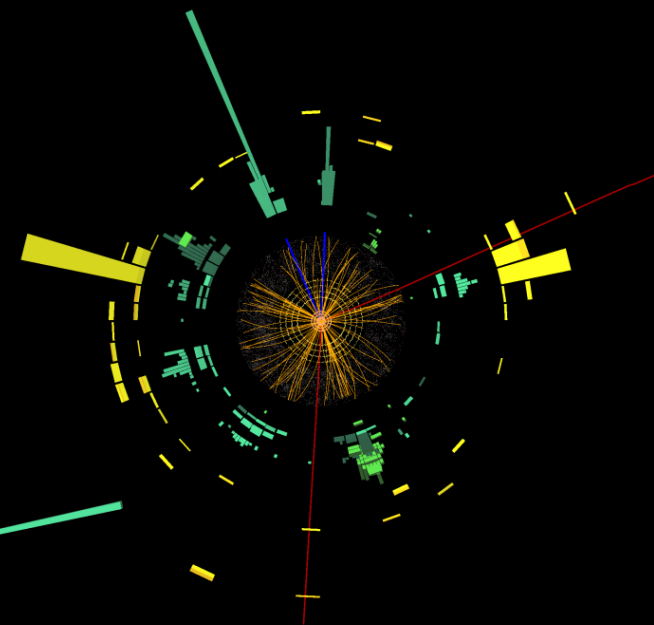
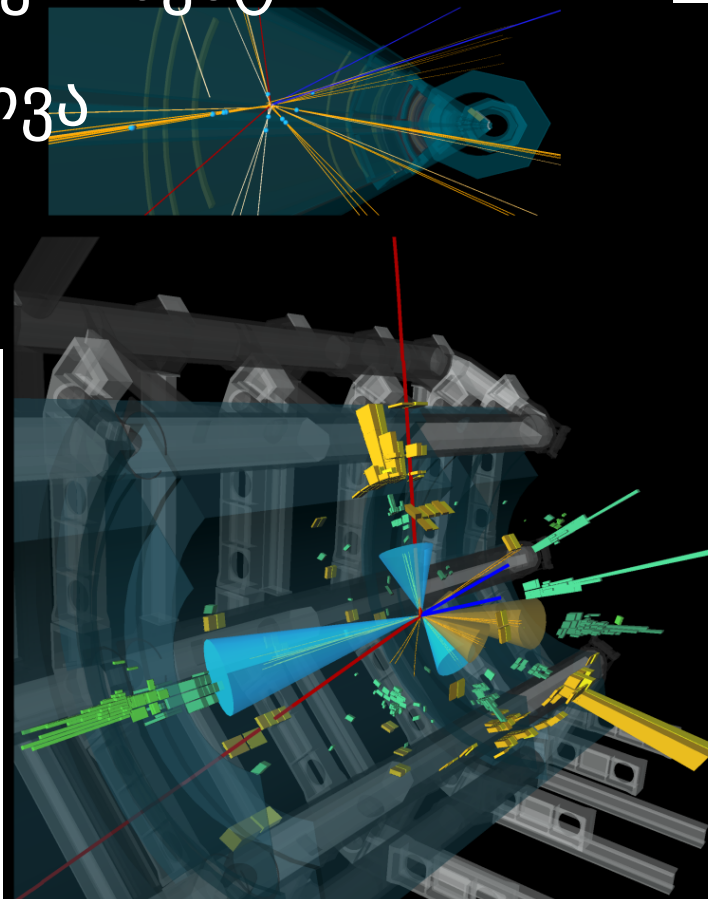
ფიზ. მათ. მეცნიერებათა
დოქტორი თამარ ჯობავა



Run: 204153
Event: 35369265
2012-05-30 20:31:28 CEST

მონახაზი

- შესავალი
- ტოპ კვარკი და მისი იშვიათი დაშლები
- LHC და ATLAS ექსპერიმენტი
- ანალიზის მიმოხილვა
- შედეგები



შესავალი

სტანდარტული მოდელი

- თეორია ნაწილაკების ფიზიკაში, რომელიც აერთიანებს სამყაროში არსებულ ოთხი ურთიერთქმედებიდან სამს (სუსტი, ძლიერი და ელექტრო-მაგნიტური)
- აღწერს სამყაროს შემადგენელ ელემენტარულ ნაწილაკებს
- უმეტესად კარგ თანხვედრაშია ექსპერიმენტთან

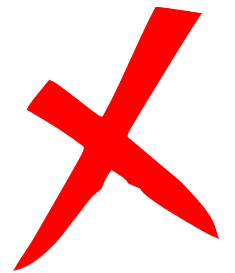


შესავალი

სტანდარტული მოდელი

- თეორია ნაწილაკების ფიზიკაში, რომელიც აერთიანებს სამყაროში არსებულ ოთხი ურთიერთქმედებიდან სამს (სუსტი, ძლიერი და ელექტრო-მაგნიტური)
- აღწერს სამყაროს შემადგენელ ელემენტარულ ნაწილაკებს
- უმეტესად კარგ თანხვედრაშია ექსპერიმენტთან

- დაუსრულებელია: არ მოიცავს გრავიტაციულ ურთიერთქმედებას
- ვერ ხსნის რამდენიმე დაკვირვებად ფენომენს:
 - ნეიტრინოების ოსცილაცია, მატერია-ანტიმატერიის ასიმეტრია, ბნელი მატერია, ბნელი ენერჯია და სხვა ...



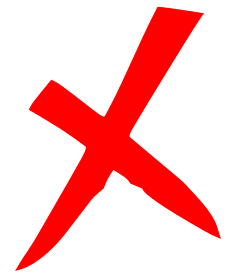
შესავალი

სტანდარტული მოდელი

- თეორია ნაწილაკების ფიზიკაში, რომელიც აერთიანებს სამყაროში არსებულ ოთხი ურთიერთქმედებიდან სამს (სუსტი, ძლიერი და ელექტრო-მაგნიტური)
- აღწერს სამყაროს შემადგენელ ელემენტარულ ნაწილაკებს
- უმეტესად კარგ თანხვედრაშია ექსპერიმენტთან



- დაუსრულებელია: არ მოიცავს გრავიტაციულ ურთიერთქმედებას
- ვერ ხსნის რამდენიმე დაკვირვებად ფენომენს:
 - ნეიტრინოების ოსცილაცია, მატერია-ანტიმატერიის ასიმეტრია, ბნელი მატერია, ბნელი ენერჯია და სხვა ...

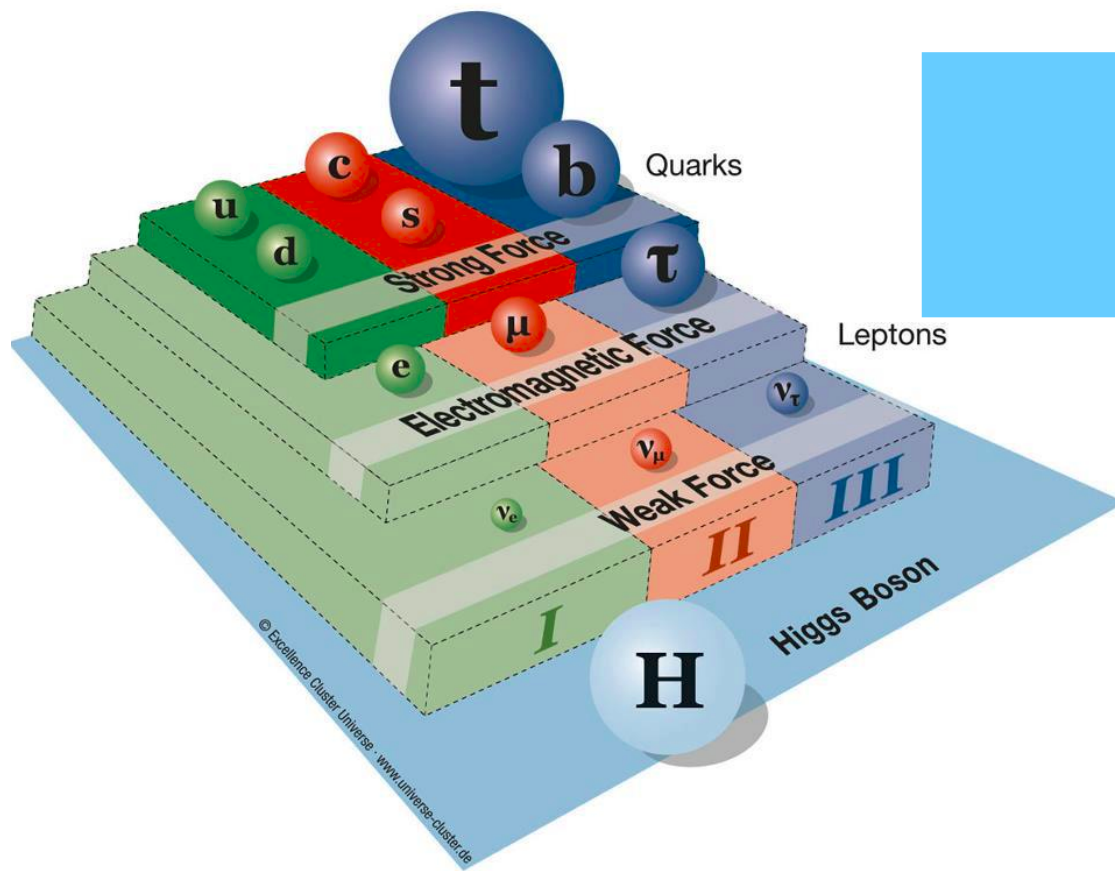


სტანდარტულ მოდელს მიღმა

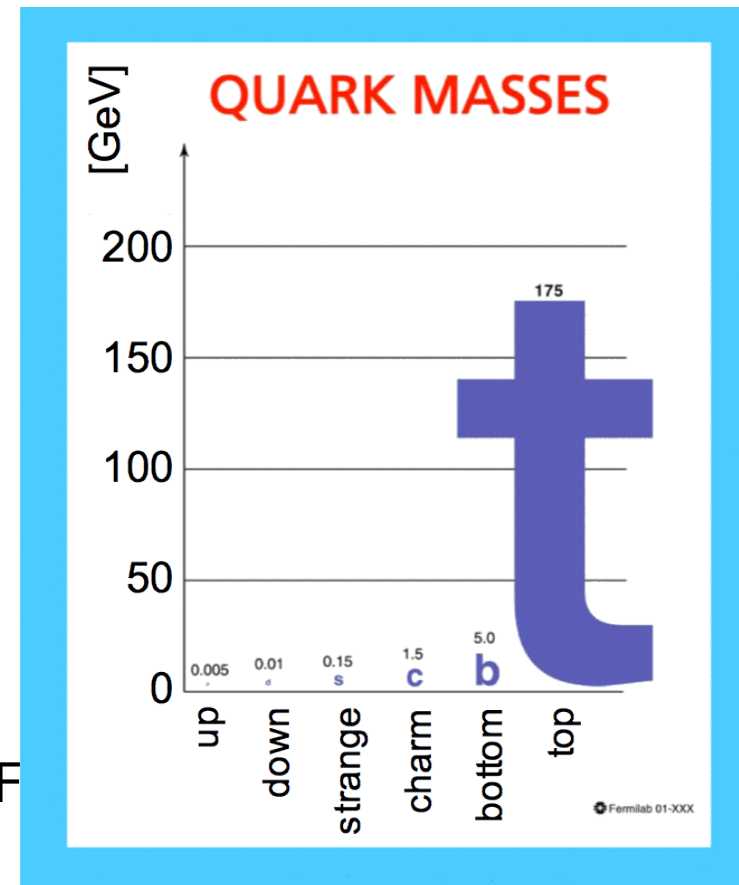
- არსებობენ თეორიული მოდელები, რომლებიც შექმნილნი არიან სტანდარტული მოდელით აუხსნელი მოვლენების ასახსნელად
- ექსპერიმენტზე სტანდარტული მოდელის გარდა ჯერ არც ერთი მოდელის სისწორე არ დადასტურებულა
- ახალი ფიზიკის, ანუ სტანდარტულ მოდელს მიღმა ფიზიკის ძიება შესაძლებელია მრავალი გზით, მათ შორის ტოპ კვარკის გამოყენებით



ტოპ კვარკი

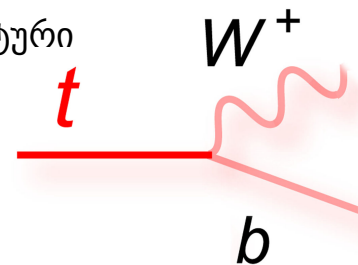


- ტოპ კვარკი არის დღეისათვის ცნობილი ყველაზე მძიმე ელემენტარული ნაწილაკი
- იგი ერთადერთი ელემენტარული ნაწილაკია, რომელიც არ ქმნის ბმულ სისტემას
- აღმოჩენილია 1995 წელს პროტონ-ანტიპროტონულ კოლაიდერ ტევატრონზე CDF და D0 კოლაბორაციის მიერ

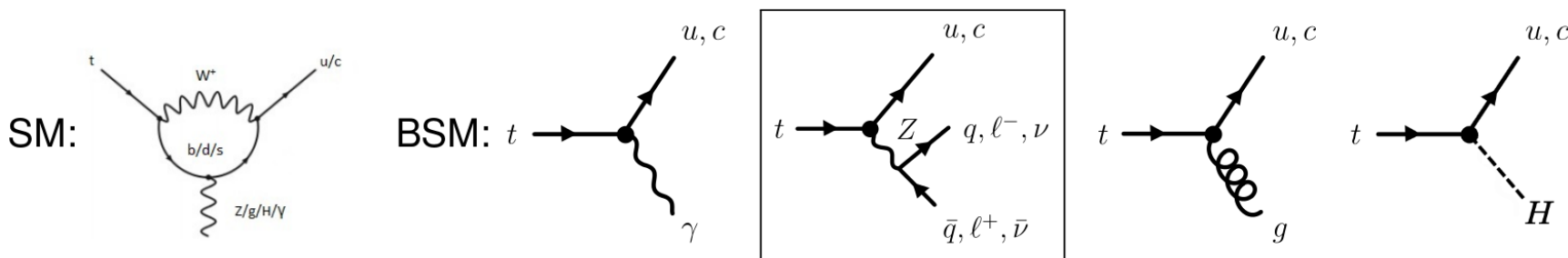


ტოპ კვარკის დაშლები

ტოპ კვარკის დომინანტური დაშლის არხი:



- სტანდარტულ მოდელში **არმატის შემცვლელი ნეიტრალური დენებით (FCNC)** მიმდინარე ტოპ კვარკის დაშლები აკრძალულია ხე დონეზე და დაშვებულია მხოლოდ მარყუჟოვან დონეზე
- ერთმარყუჟოვან დონეზე ტოპ კვარკის **FCNC** დაშლის ფარდობითი ალბათობა ჩახშულია და **გაცილებით უფრო მცირეა** ვიდრე მისი დომინანტური დაშლის ($t \rightarrow bW$) ფარდობითი ალბათობა



theoretical predictions for the BR of FCNC top quark decays

Process	SM	QS	2HDM	FC 2HDM	MSSM	# SUSY	TC2	RS
$t \rightarrow u\gamma$	3.7×10^{-16}	7.5×10^{-9}	—	—	2×10^{-6}	1×10^{-6}	—	$\sim 10^{-11}$
$t \rightarrow uZ$	8×10^{-17}	1.1×10^{-4}	—	—	2×10^{-6}	3×10^{-5}	—	$\sim 10^{-9}$
$t \rightarrow ug$	3.7×10^{-14}	1.5×10^{-7}	—	—	8×10^{-5}	2×10^{-4}	—	$\sim 10^{-11}$
$t \rightarrow uH$	2×10^{-17}	4.1×10^{-5}	4.1×10^{-6}	—	$\sim 10^{-5}$	$\sim 10^{-6}$	—	—
$t \rightarrow c\gamma$	4.6×10^{-14}	7.5×10^{-9}	$\sim 10^{-6}$	$\sim 10^{-9}$	2×10^{-6}	1×10^{-6}	$\sim 10^{-6}$	$\sim 10^{-9}$
$t \rightarrow cZ$	1×10^{-14}	1.1×10^{-4}	$\sim 10^{-7}$	$\sim 10^{-10}$	2×10^{-6}	3×10^{-5}	$\sim 10^{-4}$	$\sim 10^{-5}$
$t \rightarrow cg$	4.6×10^{-12}	1.5×10^{-7}	$\sim 10^{-4}$	$\sim 10^{-8}$	8×10^{-5}	2×10^{-4}	$\sim 10^{-4}$	$\sim 10^{-9}$
$t \rightarrow cH$	3×10^{-15}	1.5×10^{-3}	$\sim 10^{-5}$	$\sim 10^{-5}$	$\sim 10^{-6}$	—	—	—

- არსებობენ სტანდარტული მოდელის გაფართოებული თეორიული მოდელები, რომლებშიც FCNC პროცესების ჩახშობა შესუსტებულია და შესაბამისად წინასწარმეტყველებენ ბევრად უფრო დიდ ფარდობით ალბათობებს



ექსპერიმენტზე დამზერილი ტოპ კვარკის FCNC დაშლა იქნება ნათელი სიგნალი ახალი ფიზიკისა!

Large Hadron Collider

Lake of Geneva

- დიდი ადრონული კოლაიდერი (LHC) არის მსოფლიოში ყველაზე დიდი და ძლიერი ნაწილაკების ამაჩქარებელი.
- ის შედგება 27კმ-იანი ბეგამტარული მაგნიტების რგოლისაგან და რამდენიმე ამაჩქარებელი სტრუქტურისაგან.
- LHC შექმნილია რათა ურთიერთსაწინააღმდეგოდ მოძრავი პროტონების ნაკადი გაჩქაროს მასათა ცენტრის სისტემაში 14 ტევ ენერჯიამდე

CMS

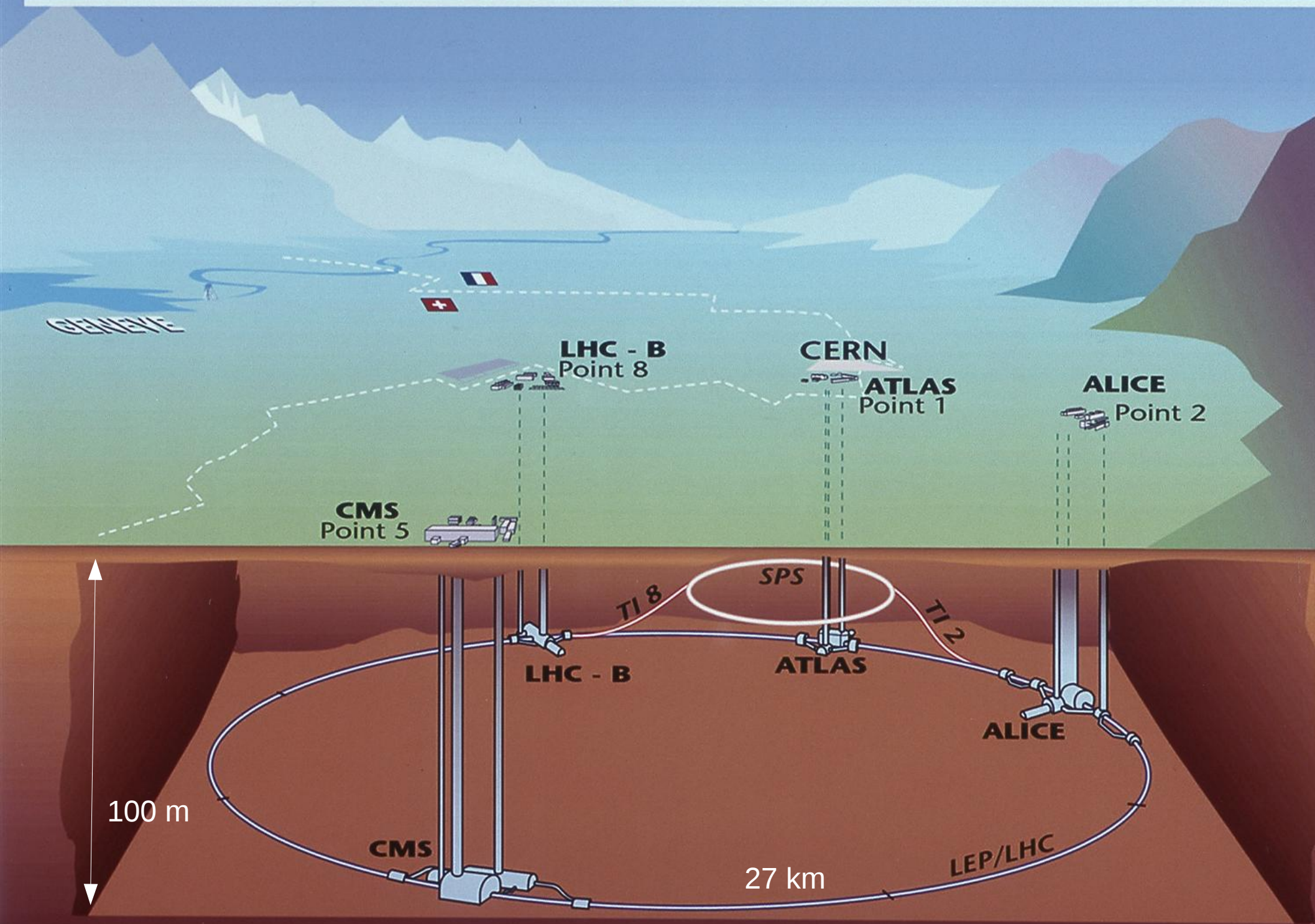
LHCb

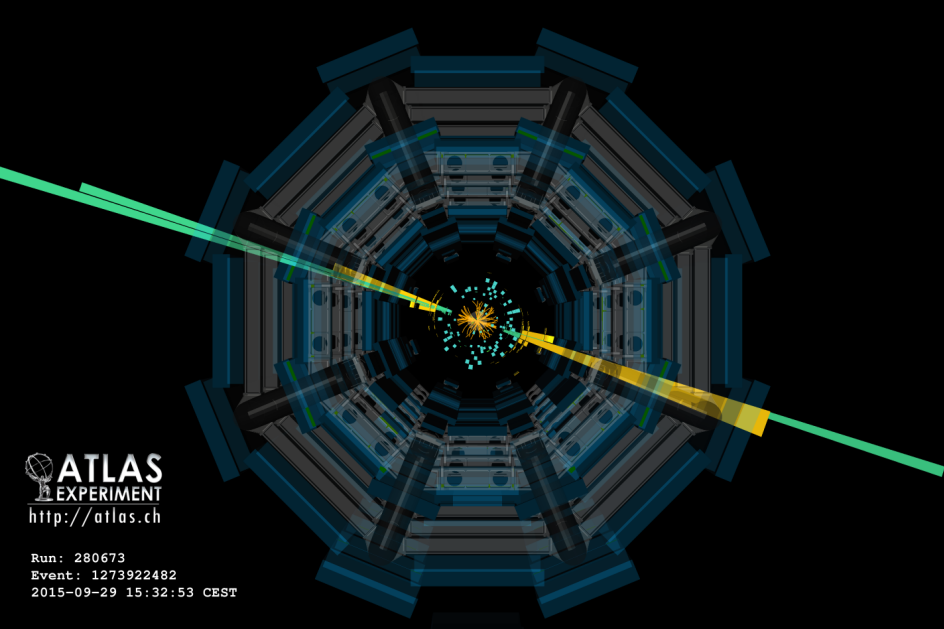
ALICE

ATLAS



Overall view of the LHC experiments.





- ATLAS-ი არის CERN-ში LHC-ის ოთხი ძირითადი ექსპერიმენტიდან ერთ-ერთი
- ის შექმნილია რათა სრულიად გამოიყენოს ფიზიკის ის შესაძლებლობები, რასაც LHC-ი იძლევა

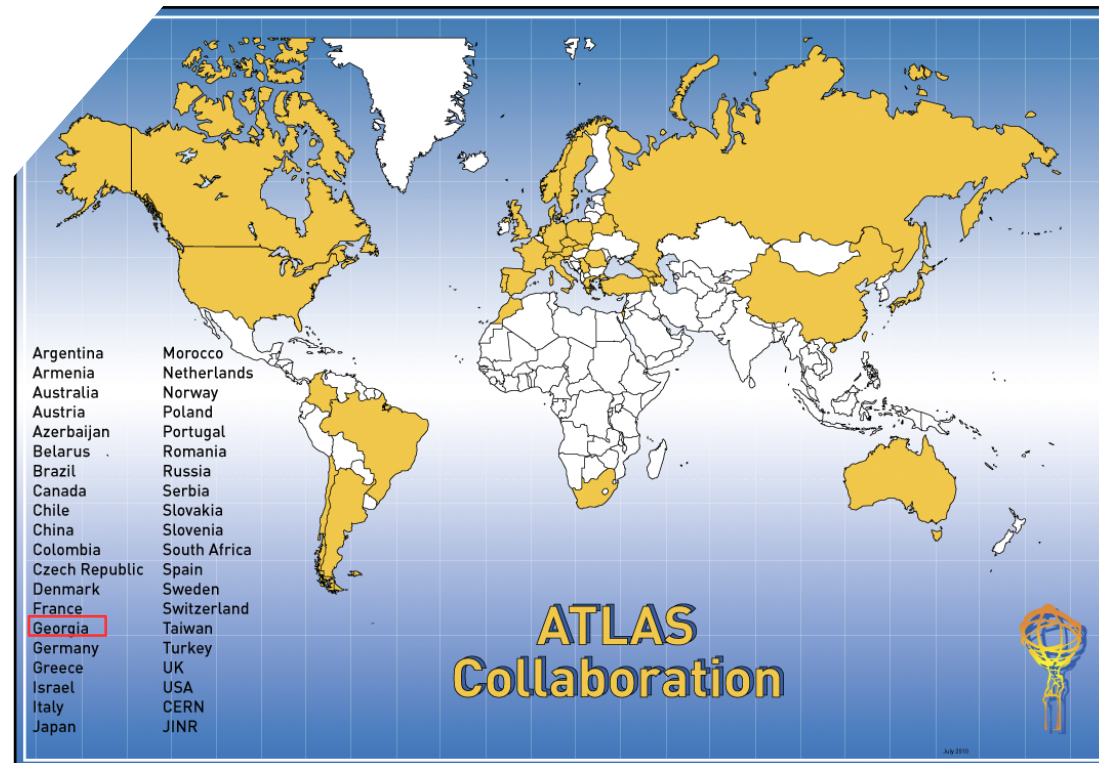
ATLAS
EXPERIMENT
<http://atlas.ch>

Run: 280673
Event: 1273922482
2015-09-29 15:32:53 CEST

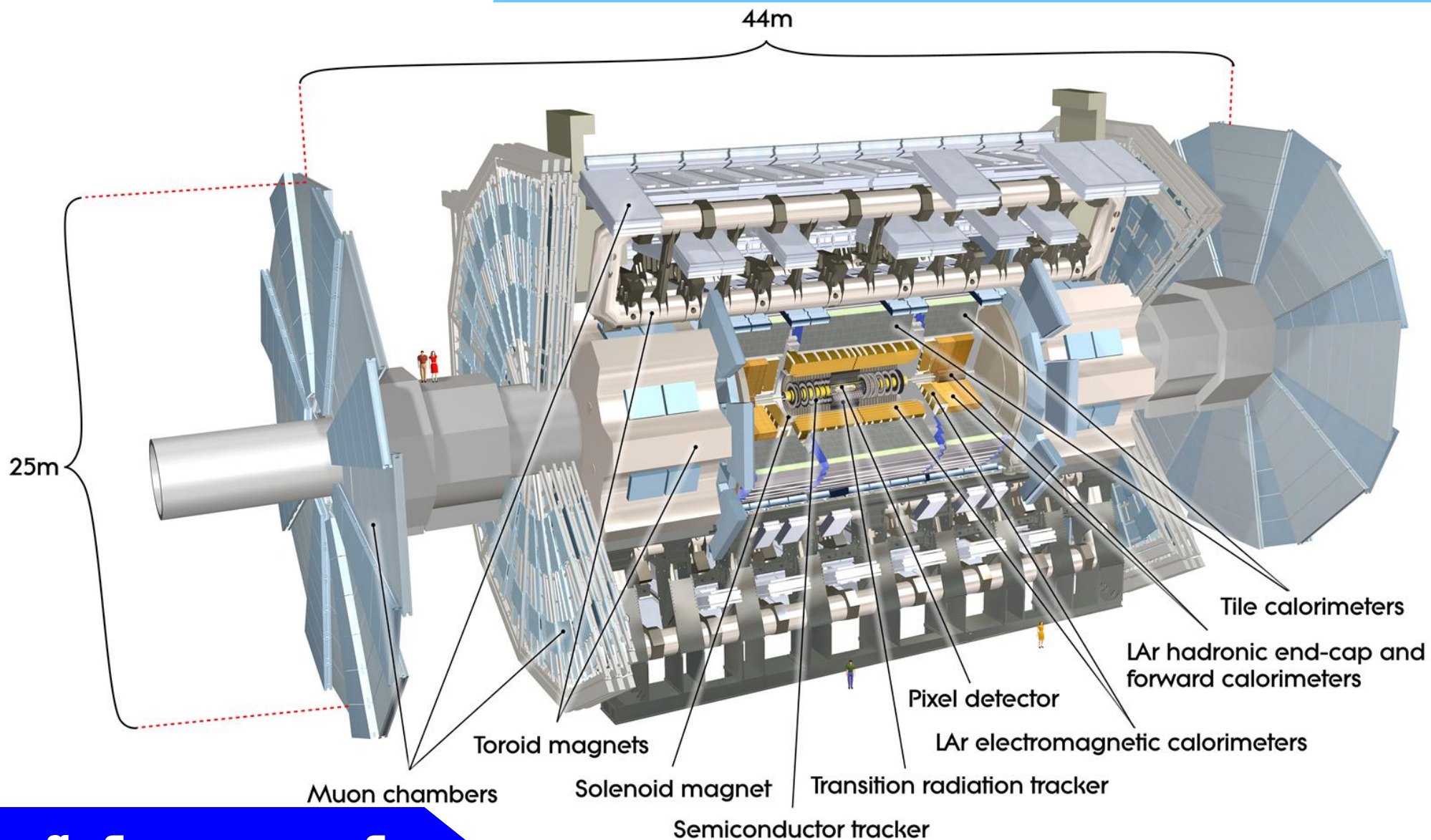
ATLAS ექსპერიმენტი

რამდენიმე საკითხი რისთვისაც ATLAS ექსპერიმენტი მუშაობს:

- რისგან შედგება მატერია?
 - რა ძალები ინვევენ მატერიის ურთიერთქმედებებს?
 - რა დაემართა ანტიმატერიას?
 - რა არის “ბნელი მატერია”?
 - როგორი იყო პირვანდელი სამყარო და როგორ განვითარდება ის?
- სრულიად უცნობი ფენომენის ძიება



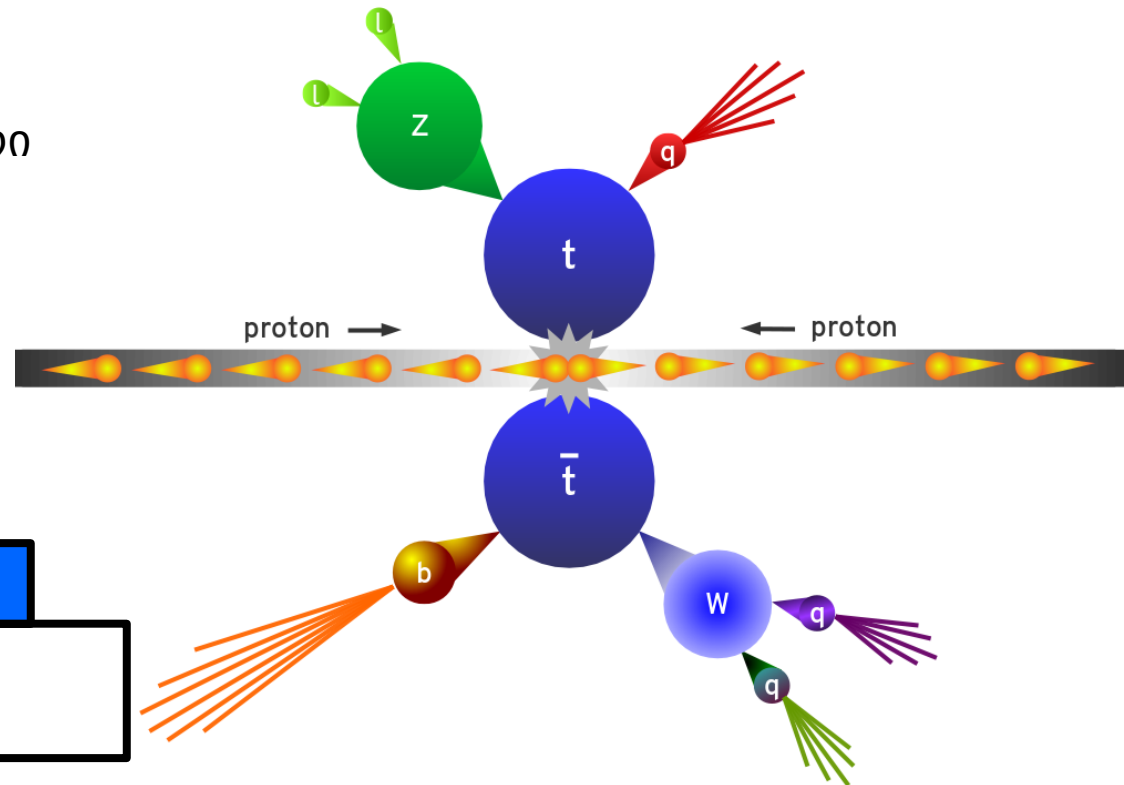
ATLAS დეტექტორი



წონა: ~ 7000 ტონა

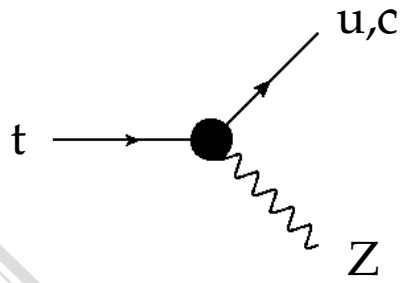
ტოპ კვარკის $t \rightarrow qZ$ FCNC დაშლის ძიება

- ტოპ კვარკის იშვიათი დაშლის $t \rightarrow qZ$ ძიება ჩატარდა ATLAS ექსპერიმენტზე მასათა ცენტრის სისტემაში 8 ტევ ენერგიაზე პროტონ-პროტონული ურთიერთქმედებების შედეგად დაგროვებულ მონაცემებში 20.3 fb^{-1} ინტეგრალური ნათებით
- $t \rightarrow qZ$ FCNC დაშლის საძიებლად განხილული იქნა ტოპ-ანტიტოპის წყვილური დაბადების ტოპოლოგია:
 - ერთი ტოპი იშლება FCNC არხით $t \rightarrow qZ$
 - მეორე ტოპი იშლება მისი დომინანტური დაშლის არხით $t \rightarrow bW$
 - W ბოზონი იშლება ადრონული არხით
 - Z ბოზონი იშლება ლეპტონური არხით



საბოლოო მდგომარეობის ტოპოლოგია

- ორი იზოლირებული ლეპტონი
- სულ ცოტა ოთხი ადრონული ჭავლი



ანალიზის ეტაპები



- ექსპერიმენტული და მოსალოდნელი პროცესების სიმულირებული მონაცემების ანალიზი:
 - ფიზიკური ობიექტების (ელექტრონები, მიუონები, ჭავლები) არჩევა
 - სასურველი pp-ურთიერთქმედებების არჩევა
- დომინანტი ფონური პროცესების საკონტროლო არეს განსაზღვრა და მისი მოდელირების შემოწმება/შესწორება
- სიგნალის შემთხვევების კინემატიკური რეკონსტრუქცია და მოსალოდნელი სიგნალის არეს განსაზღვრა
- სიგნალის მნიშვნელოვნების (s/\sqrt{b}) ოპტიმიზაცია
- სისტემატიკური განუზღვრელობების შეფასება
- ექსპერიმენტზე დამზერილი pp-ურთიერთქმედებების შემთხვევების შედარება მოსალოდნელი პროცესების სიმულირებულ მონაცემებთან
- ჰიპოთეზების ტესტირება:
 - $t \rightarrow qZ$ პროცესის ფარდობითი ალბათობის $BR(t \rightarrow qZ)$ ზედა ზღვარის შეფასება 95% საიმედიროობის დონით

Z+jets ფონების საკონტროლო არე

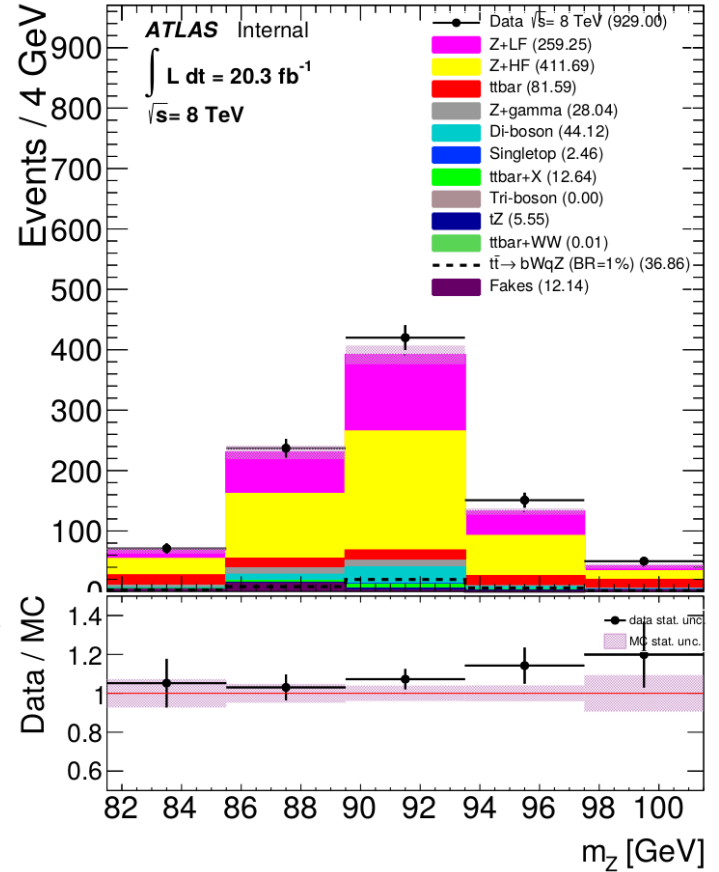
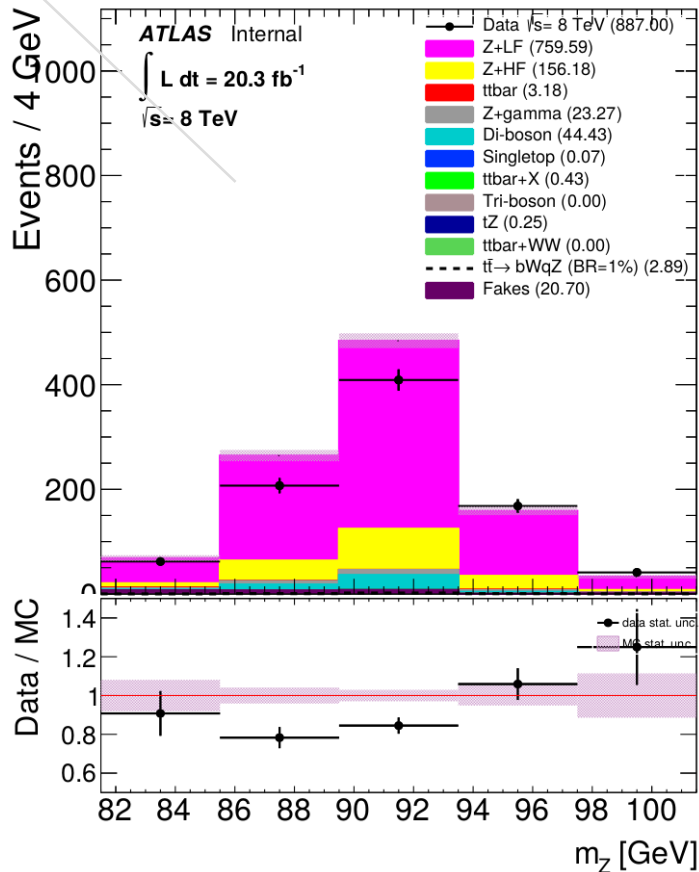
მოსალოდნელი დომინანტი ფონური პროცესის (Z+jets) მოდელირება შესწორებული იქნა შესაბამისი საკონტროლო არეებიდან.

Z+LF CR

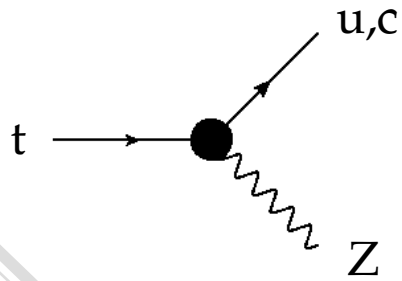
- == 0 b-ჯავლი
- >= 4 ჯავლი
- $|m_{top}^{reco} - 172.5| > 40$ GeV
- $|m_W^{reco} - 80.4| > 30$ GeV

Z+HF CR

- >= 1 b-ჯავლი
- >= 4 ჯავლი
- $|m_{t_{FCNC}}^{reco} - 172.5| > 40$ GeV

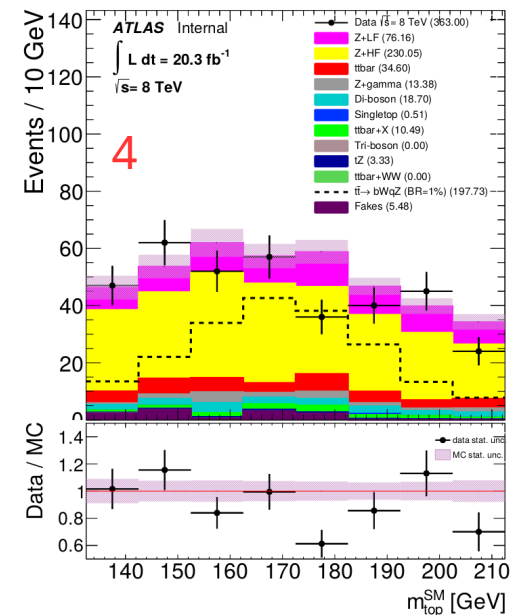
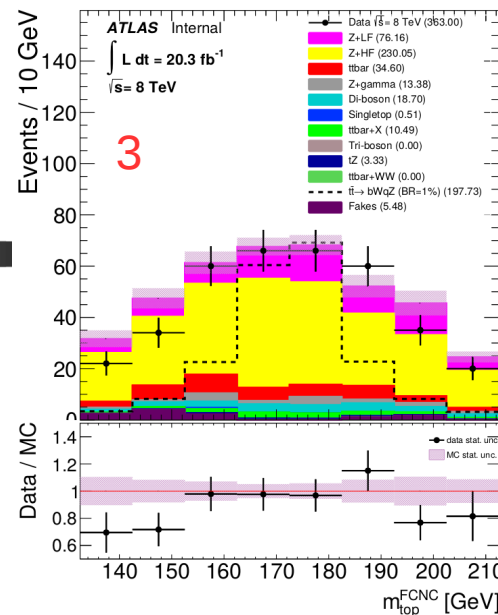
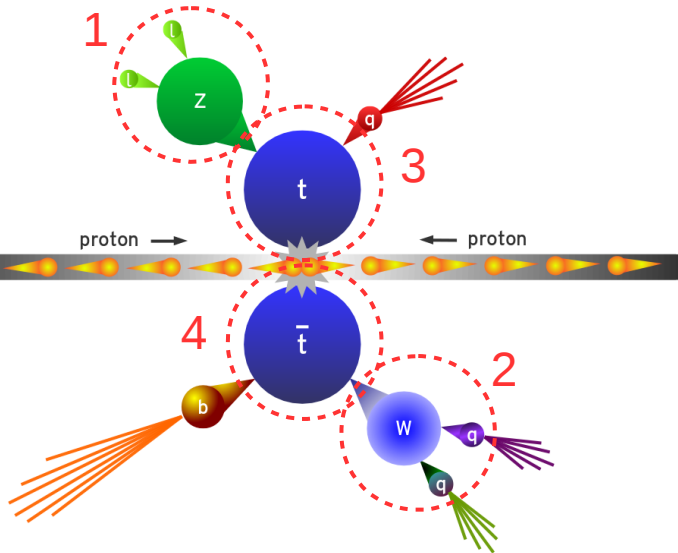
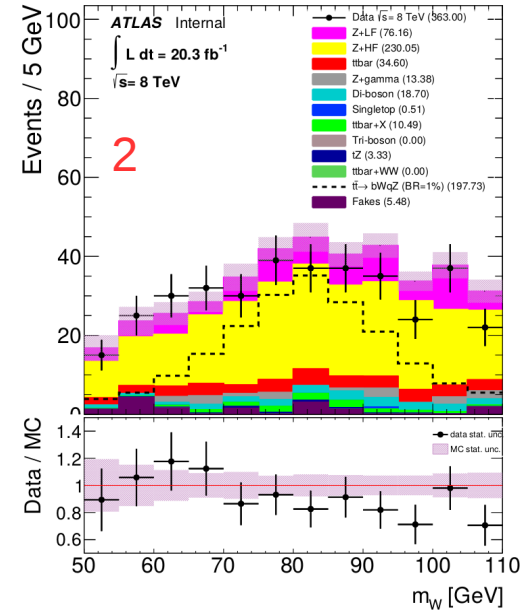
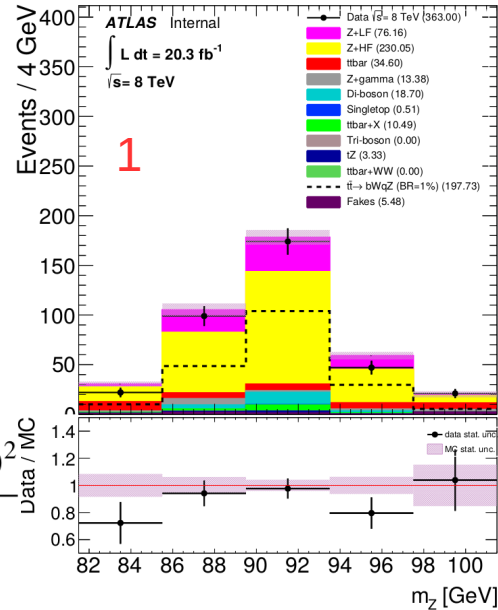


სიგნალის არე



- $|m_Z^{reco} - 91.2| < 10 \text{ GeV}$
- $|m_W^{reco} - 80.4| < 30 \text{ GeV}$
- $|m_{t_{FCNC}}^{reco} - 172.5| < 40 \text{ GeV}$
- $|m_{t_{SM}}^{reco} - 172.5| < 40 \text{ GeV}$

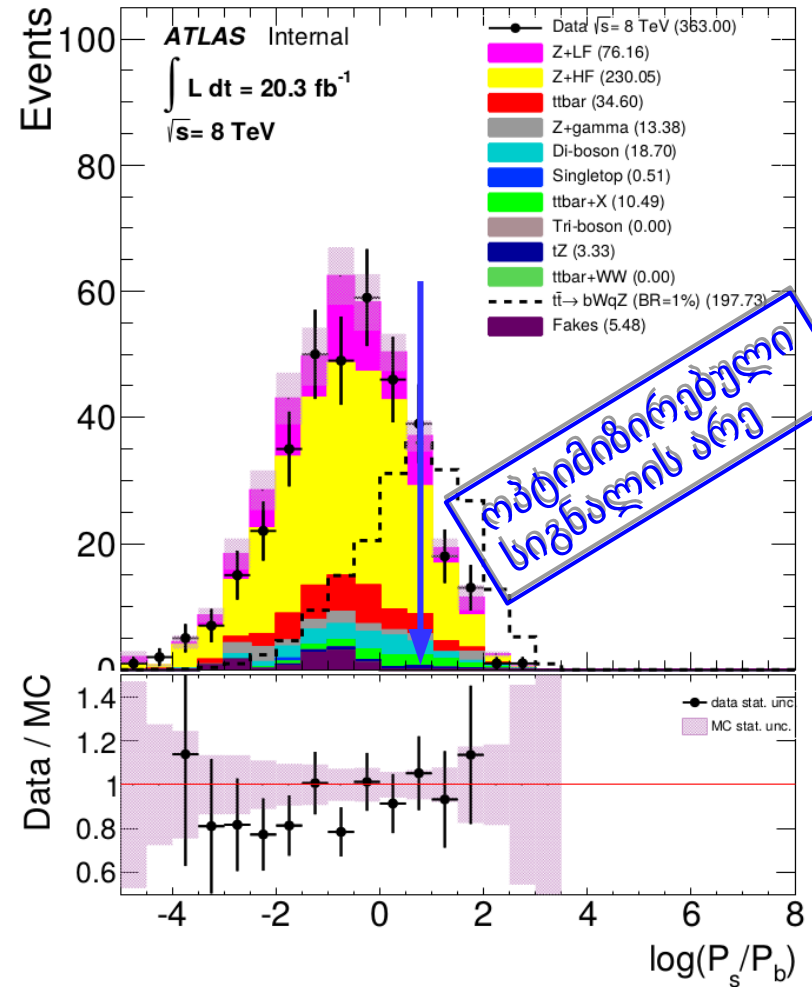
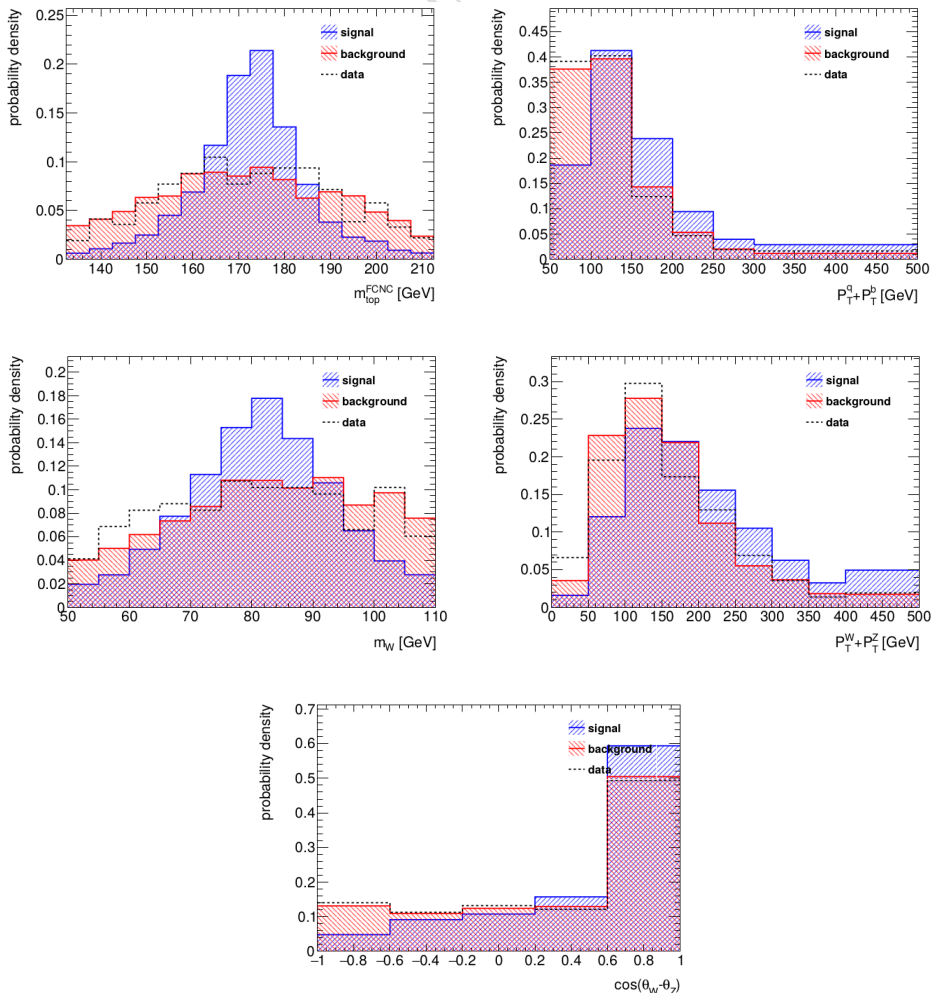
$$\chi^2 = \frac{(m_{ja}^{reco}^{j_b j_c} - m_t)^2}{\sigma_{t_{SM}}^2} + \frac{(m_{jd}^{reco}^{j_a l a b} - m_t)^2}{\sigma_{t_{FCNC}}^2} + \frac{(m_{j_b j_c}^{reco} - m_W)^2}{\sigma_W^2}$$



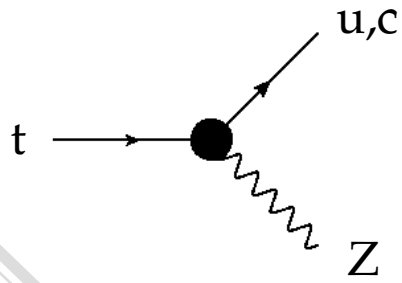
სიგნალის მნიშვნელოვნების (s/\sqrt{b}) ოპტიმიზაცია

$$P_s = \prod_{i=1}^n p_i^s(x_i), \quad P_b = \prod_{i=1}^n p_i^b(x_i)$$

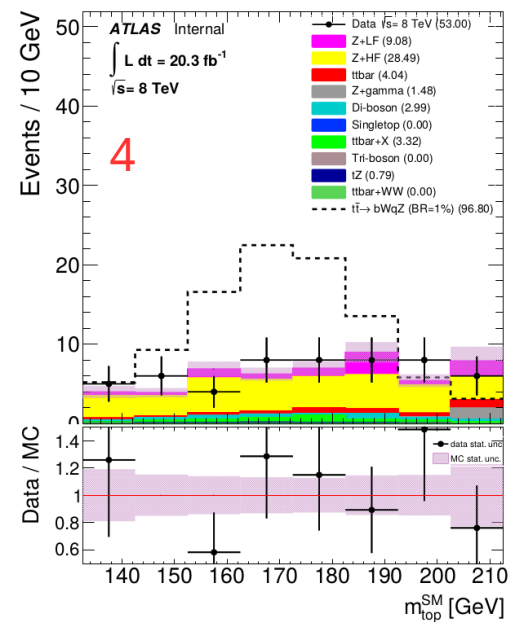
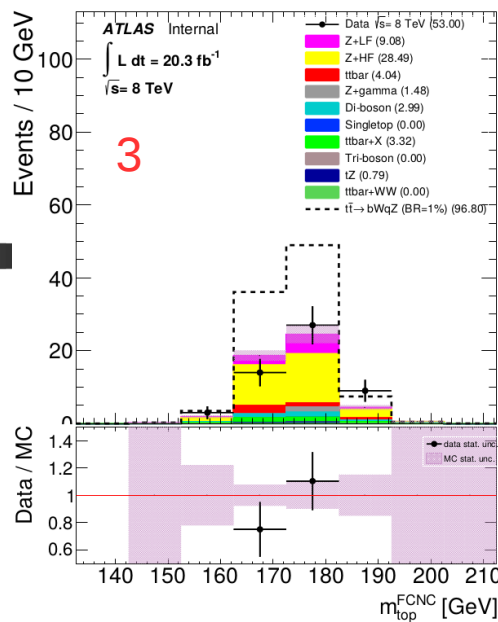
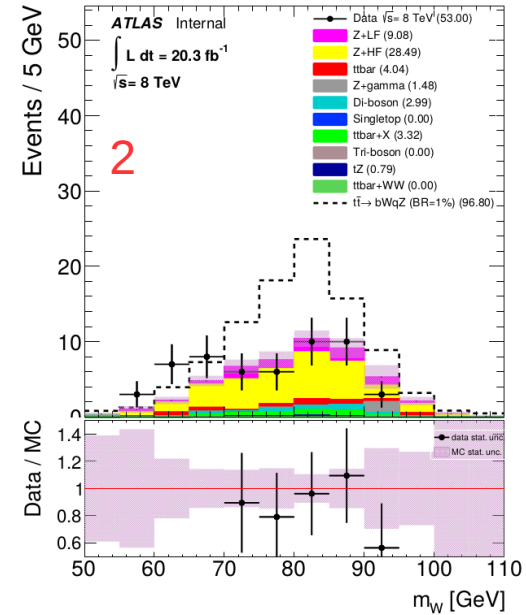
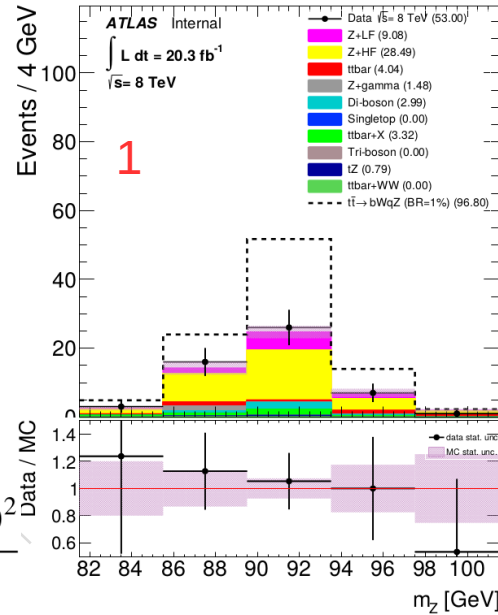
$$L_R = \log\left(\frac{P_s}{P_b}\right)$$



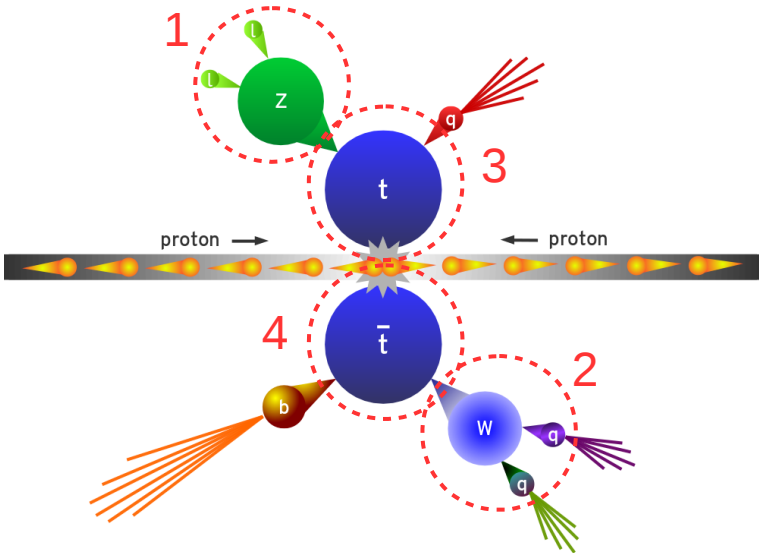
ოპტიმიზებული სიგნალის არე

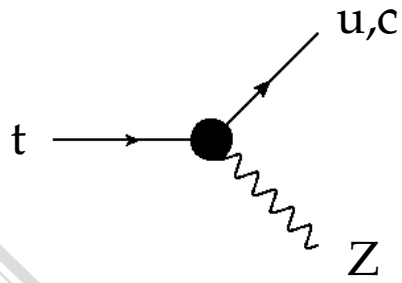


- $|m_Z^{reco} - 91.2| < 10 \text{ GeV}$
- $|m_W^{reco} - 80.4| < 30 \text{ GeV}$
- $|m_{t_{FCNC}}^{reco} - 172.5| < 40 \text{ GeV}$
- $|m_{t_{SM}}^{reco} - 172.5| < 40 \text{ GeV}$
- $\log(P_s/P_b) > 0.75$



$$\chi^2 = \frac{(m_{ja_jb_jc}^{reco} - m_t)^2}{\sigma_{tSM}^2} + \frac{(m_{jalab}^{reco} - m_t)^2}{\sigma_{tFCNC}^2} + \frac{(m_{jbjc}^{reco} - m_W)^2}{\sigma_W^2}$$





BR(t→qZ)-ის ზედა ზღვარი

- 95% დამაჯერებლობის დონით სიგნალის არ არსებობის ჰიპოთეზისათვის, BR(t→qZ)-ის ზედა ზღვარი მიღებული იქნა CL_s მეთოდით
- გამოყენებული ტესტ სტატისტიკა:

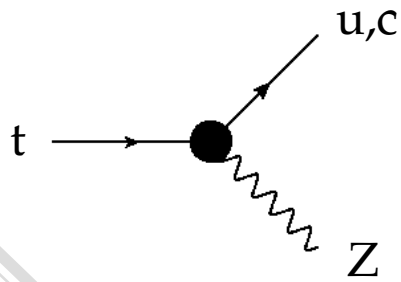
$$q_\mu = -2 \ln(L(\mu, \hat{\theta}_\mu) / L(\hat{\mu}, \hat{\theta}))$$

- საიმედოობის დონე განმარტებულია როგორც:

$$CL_s = \frac{1 - \int_0^{q_\mu^{obs}} f(q_\mu | \mu) dq_\mu}{1 - \int_0^{q_\mu^{obs}} f(q_\mu | 0) dq_\mu}$$

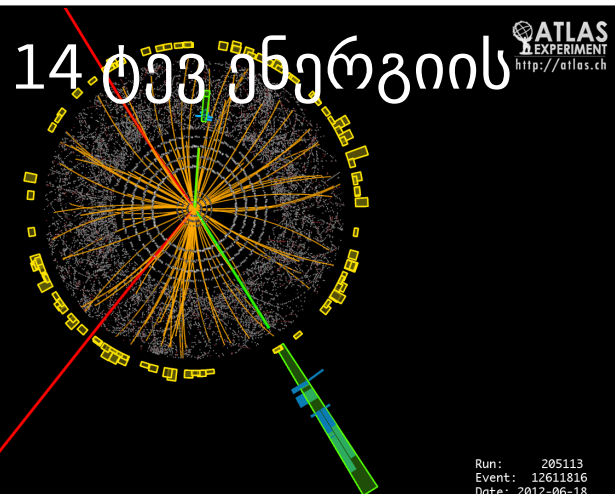
$$CL = 1 - CL_s$$

BR(t→qZ)-ის ზედა ზღვარი			
დამბერილი	-1σ	მოსალოდნელი	+1σ
$2.9 \cdot 10^{-3}$	$1.9 \cdot 10^{-3}$	$2.7 \cdot 10^{-3}$	$3.9 \cdot 10^{-3}$



დასკვნები

- $t \rightarrow qZ$ FCNC პროცესის საძიებლად დამუშავებული იქნა 20.3 ფბ⁻¹ ინტეგრალური ნათების შესაბამისი $\sqrt{s} = 8$ ტეე ვნერგიაზე pp-ურთიერთქმედებების შედეგად ATLAS ექსპერიმენტზე დაგროვებული მონაცემები
- არანაირი ცხადი ნიშანი $t \rightarrow qZ$ პროცესის არსებობისა არ იქნა დამზერილი
- მოსალოდნელი და დამზერილი $BR(t \rightarrow qZ)$ -ის ზედა ზღვარი კარგ თანხვედრაშია ერთმანეთთან
- ATLAS ექსპერიმენტი განაგრძობს მუშაობას 14 ტეე ვნერგიის მიჯნის მისაღწევად
- $t \rightarrow qZ$ FCNC პროცესის ძიება გრძელდება...



ATLAS
EXPERIMENT
<http://atlas.ch>

გმადლობთ ყურადღებისათვის