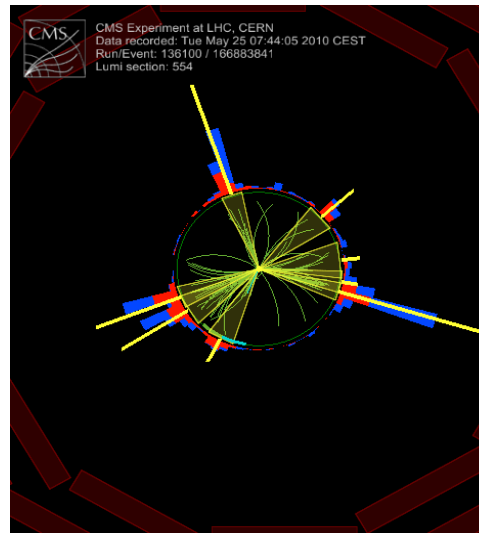




THE UNIVERSITY
OF IOWA



ჰიგსის ბოზონის ძიება დიდ ადრონულ კოლაიდერზე

ალექსი მესტვირიშვილი

აიოვის უნივერსიტეტი და ცერნი



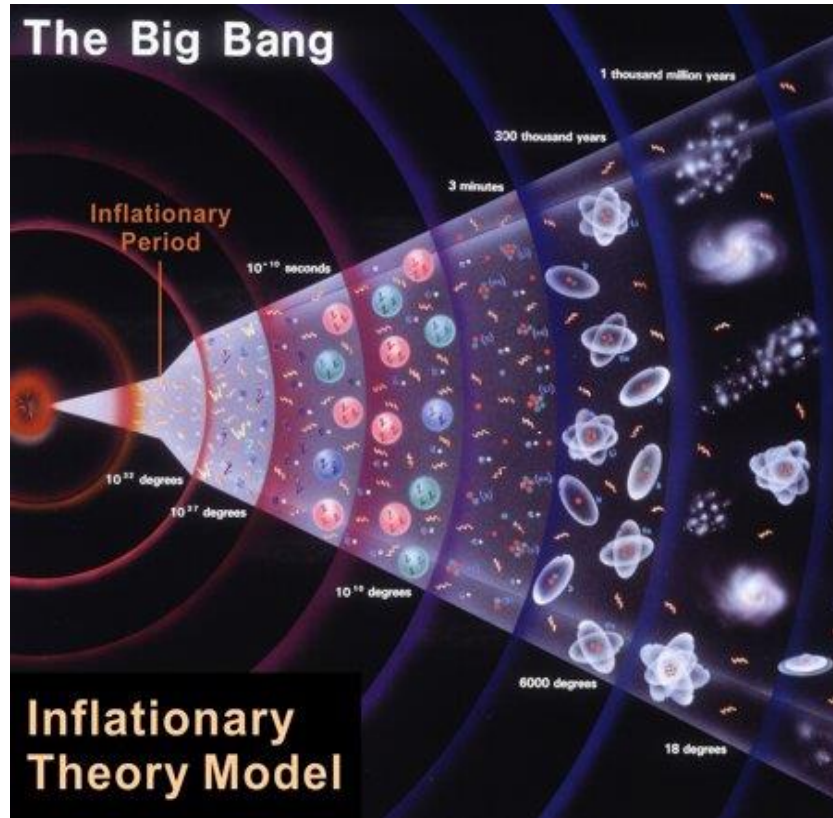
სამყაროს განვითარების მოკლე ისტორია

$t=0$ დიდი აფეთქება, მატერიის შემადგენელი ნაწილაკების დაბადება

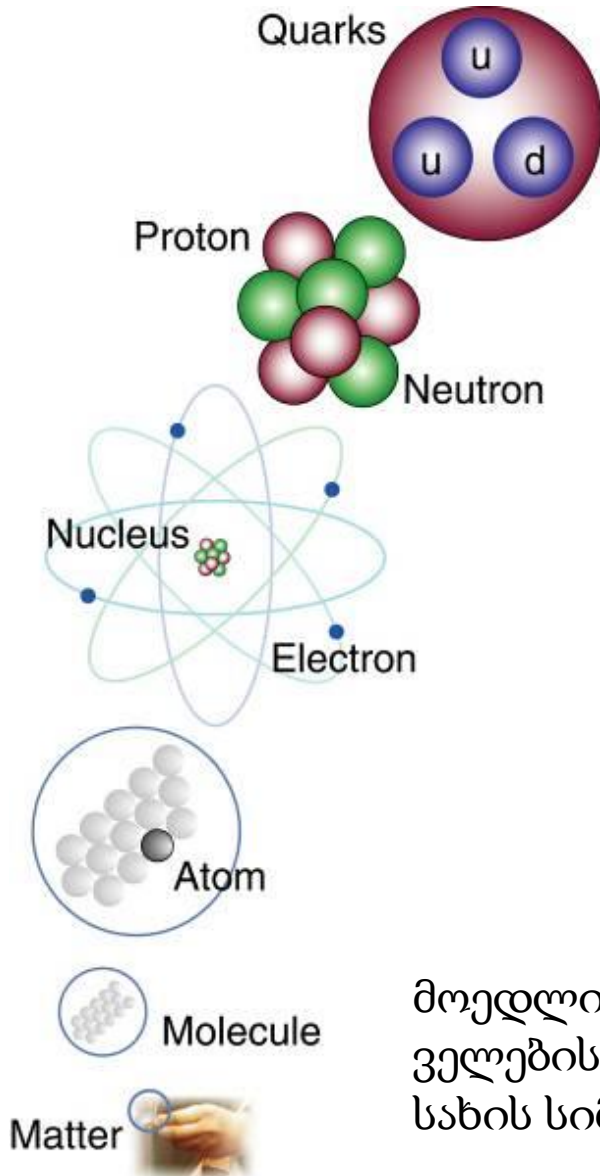
$t=10^{-43}-10^{-35}$ წამი, დიდი გაერთიანების ეპოქა. ოთხი ძირითადი ურთიერთქმედება განუყოფელია

$t=10^{-35}$ წამი, სამყარო გაფართოვდა 10^{60} ჯერ, ტემპერატურა - მილიარდობით კელვინი, ელექტროსუსტი და ძლიერი ურთიერთქმედება გაიყო

$t=10^{-12} - 10^{-6}$ წ სუსტი და ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების დიაპაზონების ჩამოყალიბება, ელექტროსუსტი სიმეტრიის სპონტანური დარღვევა, ყალიბრული ბოზონები და ელემენტარული ნაწილაკები იძენენ მასას ჰიგსის მექანიზმის მეშვეობით. ოთხი ძირითადი ურთიერთქმედება გაყოფილია



სტანდარტული მოდელი



matter particles

	1st gen.	2nd gen.	3rd gen.
Q U A R K	<i>u</i> <i>up</i>	<i>c</i> <i>charm</i>	<i>t</i> <i>top</i>
	<i>d</i> <i>down</i>	<i>s</i> <i>strange</i>	<i>b</i> <i>bottom</i>
L E P T O N	<i>ν_e</i> <i>e neutrino</i>	<i>ν_μ</i> <i>μ neutrino</i>	<i>ν_τ</i> <i>τ neutrino</i>
	<i>e</i> <i>electron</i>	<i>μ</i> <i>muon</i>	<i>τ</i> <i>tau</i>

guage particles

Strong Force	<i>g</i> <i>Gluon</i>
Electro-Magnetic Force	<i>γ</i> <i>photon</i>
Weak Force	<i>W⁺</i> <i>W⁻</i> <i>Z</i> <i>W bosons</i> <i>Z boson</i>

scalar particle(s)



Elements of the Standard Model

მოდელი რომელიც აღწერს ელემენტარული ნაწილაკების და ველების ურთიერთქმედებას. დაფუძნებულია სხვადასხვა სახის სიმეტრიებზე

სიმეტრია სტანდარტულ მოდელში

მრავალი სახის სიმეტრია არსებობს ნაწილაკების ფიზიკაში - C, P, T, CP, CPT , ყალიბრული სიმეტრია და ა.შ. თუ სამყარო ჩვენს გარშემო სრულიად სიმეტრიულია, მაშინ როგორ არსებობს მატერია? საიდან გაუჩნდა მატერიას მასა.

1964 წელს ექსპერიმენტულად აღმოჩნდა, რომ CP სიმეტრია დარღვეულია. ეს ფაქტი დიდ როლს თამაშობს კოსმოლოგიაში რათა ახსნილი იქნეს მატერიის არსებობა

სტანდარტული მოდელის სამი ძირითადი სიმეტრიული ჯგუფი-

$SU(3)$ - აღწერს ძლიერ ურთიერთქმედებას

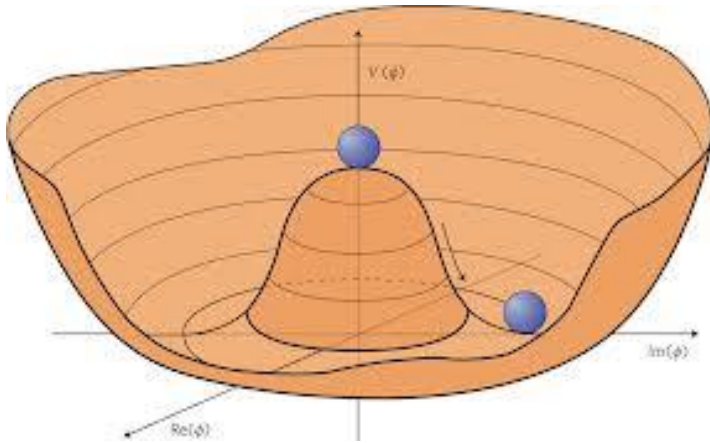
$SU(2)$ - აღწერს სუსტ ურთიერთქმედებას

$U(1)$ - აღწერს ელექტრომაგნიტურ ურთიერთქმედებას

სიმეტრიებთან არის დაკავშირებული სხვადასხვა შენახვის კანონები. ნახსენები სიმეტრიებიდან, მაგალითად $U(1)$ ყალიბრული გრადაქმნების მიმართ ინვარიანტულობა ინახავს ელექტრულ მუხტს, ხოლო $SU(3)$ მიმართ ინვარიანტულობა ინახავს კვარკების ფერს.

თუ მოცემული ჯგუფები მკაცრად სიმეტრიულია, მაშინ კვარკებს, ლეპტონებს და ურთიერთქმედების გადამტან ნაწილაკებს არ უნდა გააჩნდეთ მასა. ექსპერიმენტი ამას არ ადასტურებს - უმასობია მხოლოდ ფოტონი და გლუონი. ე.ი. სიმეტრია დარღვეულია.

სიმეტრიის სპონტანური დარღვევა



მექსიკური სომბრეროს და ბურთულას მაგალითი - ბურთულა სომბრეროს წვერზეა, სისტემა სიმეტრიულია ვერტიკალური ღერძის ბრუნვის გარშემო, მდგომარეობა არამდგრადია. ბურთულას ჩამოგორებისთვის ყველა მიმართულება თანაბრად ალბათურია. შეიცვალა საწყისი პირობები, ბურთულა ჩამოგორდა, სიმეტრია დაირღვა.

მასის პარადოქსის ასახსნელად 1964 წელს ჰიგსმა და დამოუკიდებლად მისგან ენგლერტმა და ბრაუტმა შემოგვთავაზეს მექანიზმი, სადაც შემოყავთ სკალარული ველი და ნაწილაკები იძენენ მასას ამ ველთან ურთიერთქმედების შედეგად. ამსთან, მხოლოდ პიტერ ჰიგსმა იწინაწარმეტყველა ახალი მასიური სკალარული ნაწილაკის არსებობა

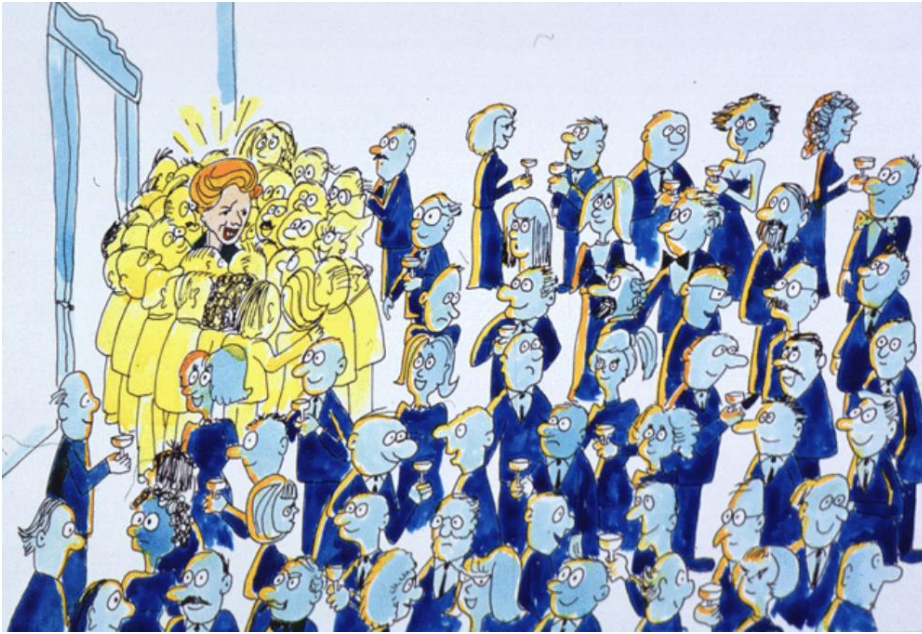
ამ მექანიზმს ეწოდება ელექტროსუსტი სიმეტრიის სპონტანური დარღვევა

ჰიგსის მექანიზმი კარიკატურული წარმოდგენა

ხალხთა თავყრილობა



შემოდის ცნობილი პიროვნება



მის გარშემო შემოიკრიბა რამდენიმე ოთახში მყოფთაგან.
პიროვნებას უჭირს გადაადგილება, ხდება უფრო ინერტული.

ანალოგია სიტუაციის, როდესაც ჰიგის ველში მოძრავი ნაწილაკი
ველთან ურთიერთქმედების შედეგად იძენს მასას.

ჰიგსის ნაწილაკი

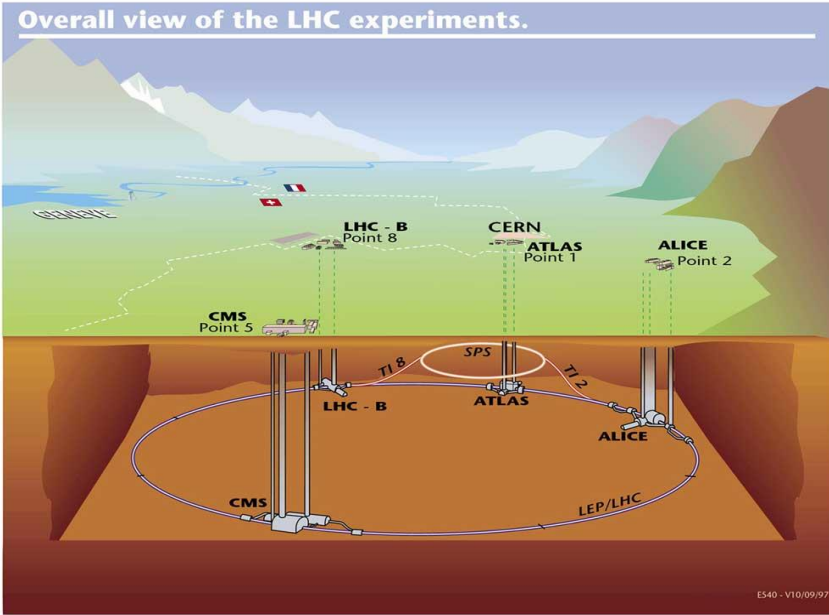


შეიტანეს შეშფოთება - ჭორი, რომელიც
სადღაც კუთხეში გაავრცელეს

აქამდე თავისუფლად მოძრავ ოთახში
მყოფთაგან წარმოიქმნა ადამიანთა
ჯგუფი - წარმოიქმნა ახალი ნაწილაკი



ჰიგსის ნაწილაკის ძებნის გზები, დიდი ადრონული კოლაიდერი, ექსპერიმენტები ATLAS-ი და CMS-ი

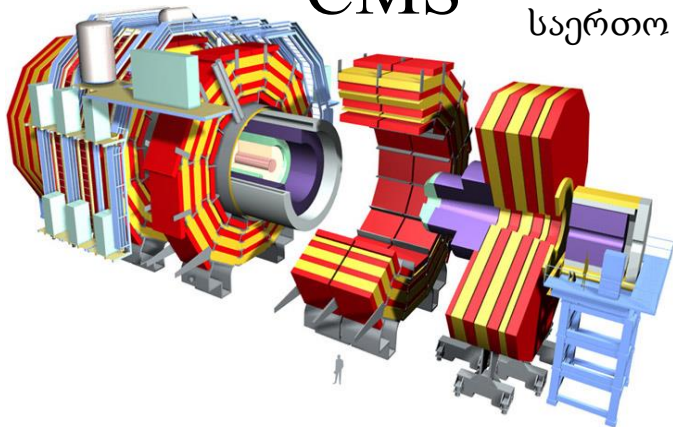


დიდი ადრონული კოლაიდერი - საშუალოდ 1008 სიღრმეზე მიწის ქვეშ, 27 კმ გარშემოწერილობა. პროტონები გაეთიანებულია ჯგუფებათ. თითო ჯგუფი წამში 11250 ბრუნს აკეთებს. ჯგუფები ერთმანეთისგან დაშორებულია დროში 25 ნანოწამით

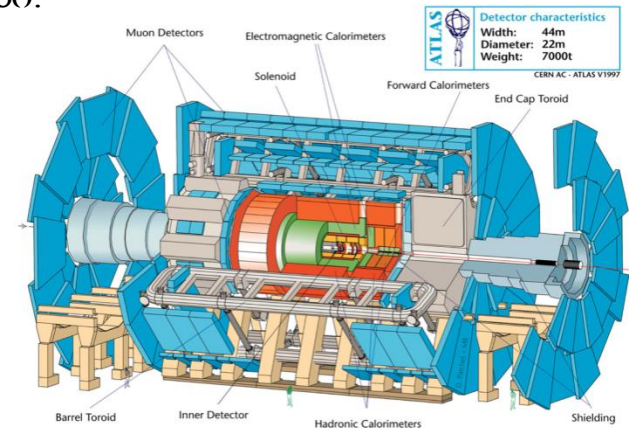
ყოველ 25 ნანოწამში ექსპერიმენტების გეომეტრიულ ცენტრში ხდება პროტონთა ჯგუფების გადაკვეთა - საშუალოდ 25 ურთიერთქმედება ერთი გადაკვეთის დროს

CMS

ორი დიდი ექსპერიმენტი, ATLAS-ი CMS-ი - საერთო დანიშნულების დეტექტორები.



ATLAS



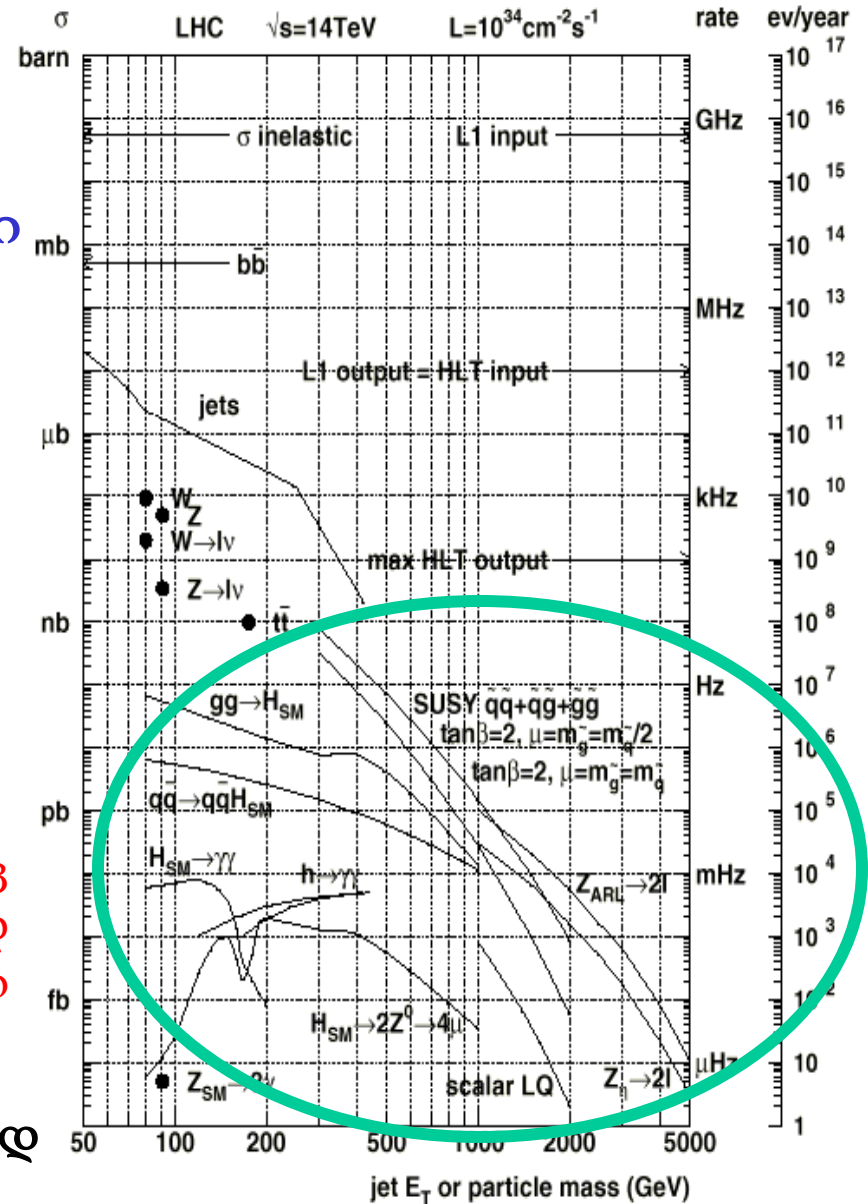
პროცესები დიდ ადრონულ კოლაიდერზე

ცნობილი და შესწავლილი პროცესები

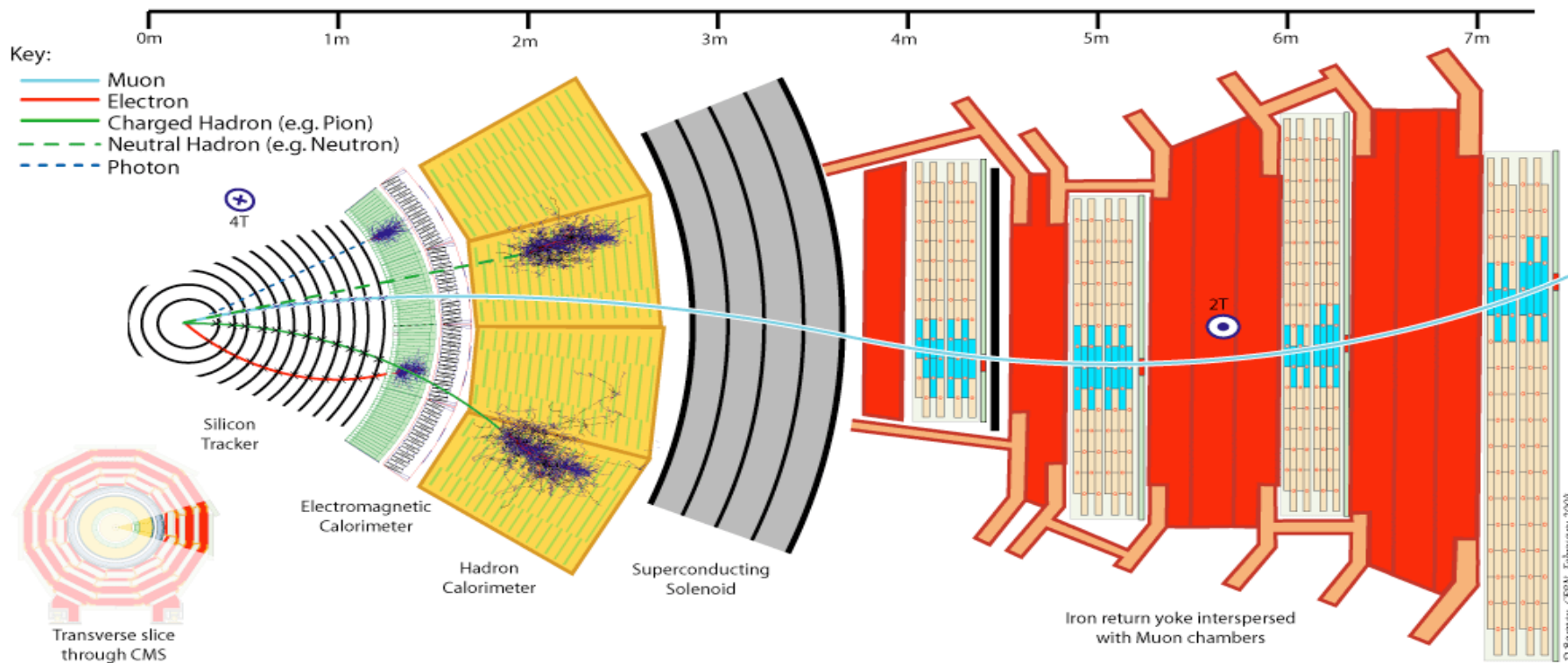
იშვიათი პროცესები, რომელთა შესწავლა არის ჩვენი მიზანი

საშუალოდ თითო შემთხვევაზე, სადაც ჰიგსის ბოზონი იბადება 10^9 მხოლოდ კვარკების და გლუონების შემცველი შემთხვევების რიცხვი მოდის

ფიზიკოსებისთვის საინტერესოა მხოლოდ შემთხვევების მცირეოდენი ნაწილი



როგორ მუშაობს ექსპერიმენტული დანადგარი

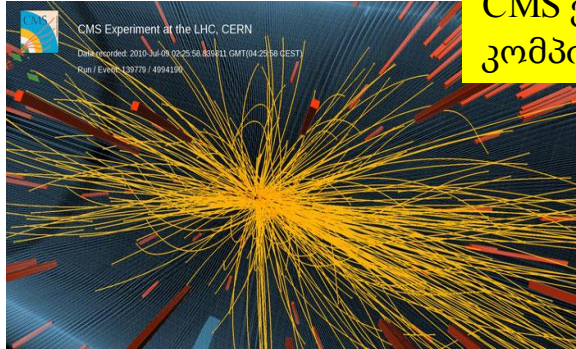


CMS ექსპერიმენტის ნაწილი. ზუსტად იგივეა

ATLAS

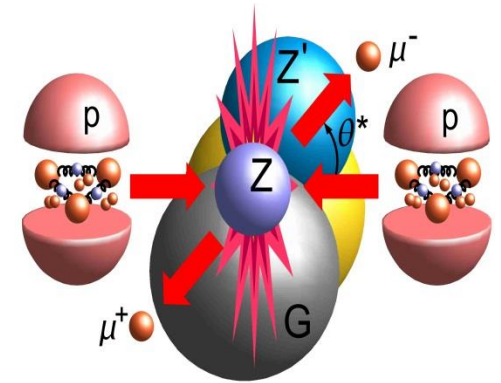
ექსპერიმენტის მუშაობის პრინციპი

ურთიერთქმედება, ნაწილაკების დაბადება, დაშლა და მათი აღდგენა



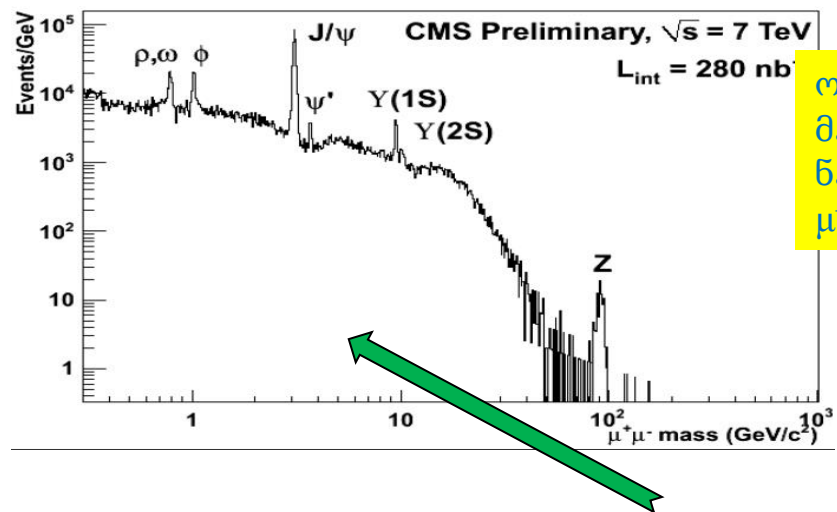
CMS ექსპერიმენტის ერთ ერთი შემთხვევის კომპიუტერული ვიზუალიზაცია

$$M_N(inv) = \sqrt{\sum_{i=1}^N E_i^2 - (\sum_{i=1}^N \vec{p}_i)^2}$$



ორი ურთიერთსაწინააღმდეგო ტრეკტორიაზე მოძარვი პროტონის შეჯახების დროს მრავალი ნაწილაკი იბადება. არასტაბილური ნაწილაკები იშლებიან სტაბილურ ნაწილაკებათ

ვზომავთ კოორდინატს, ენერგიას, იმპულსებს - ვითვლით ორი ან მეტი დაშლის პროდუქტების ინვარიანტულ მასას M

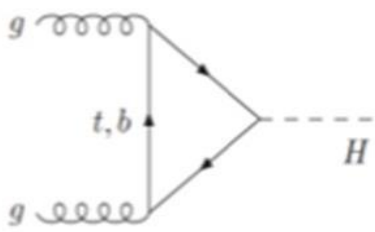


ორი მიუონის ინვარიანტული მასათა სპექტრი - ჩანს რამდენიმე ნაწილაკი, რომელთა დაშლის არხია $\mu^+\mu^-$

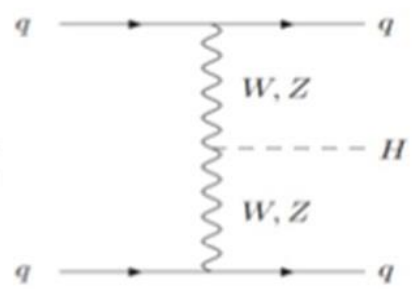
ფონური პროცესები - რეალური ფიზიკური პროცესები იგივე ან მსგავსი საბოლოო მდგომარეობით, რომელნიც გამოსაკვლევი პროცესის ხელის შემშლელია. სხვადასხვა შერჩევის კრიტერიუმებით ვცდილობთ, რომ მოვახდინოთ მათი წვლილის მინიმიზაცია.

ჰიგსის ბოზონის დაბადების პროცესები და დაშლის არხები

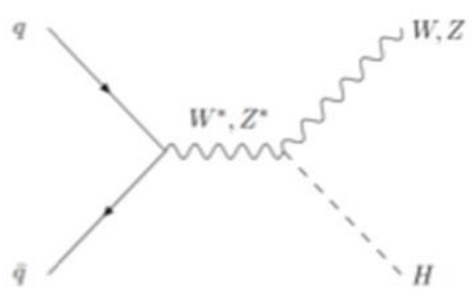
gluon-fusion



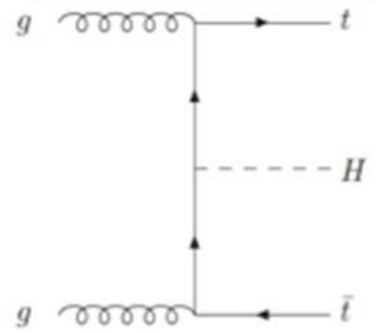
VBF



VH



ttH



ორი მაღალენერგეტიკული სხივი, რომელიც ვგრეთ წოდებულ წინა რეგიონში რეგისტრირდება

ჰიგსის ბოზონის ასოცირებული დაბადება ყალიბრულ ბოზონებთან ან t და ანტი t-კვარკების წყვილთან

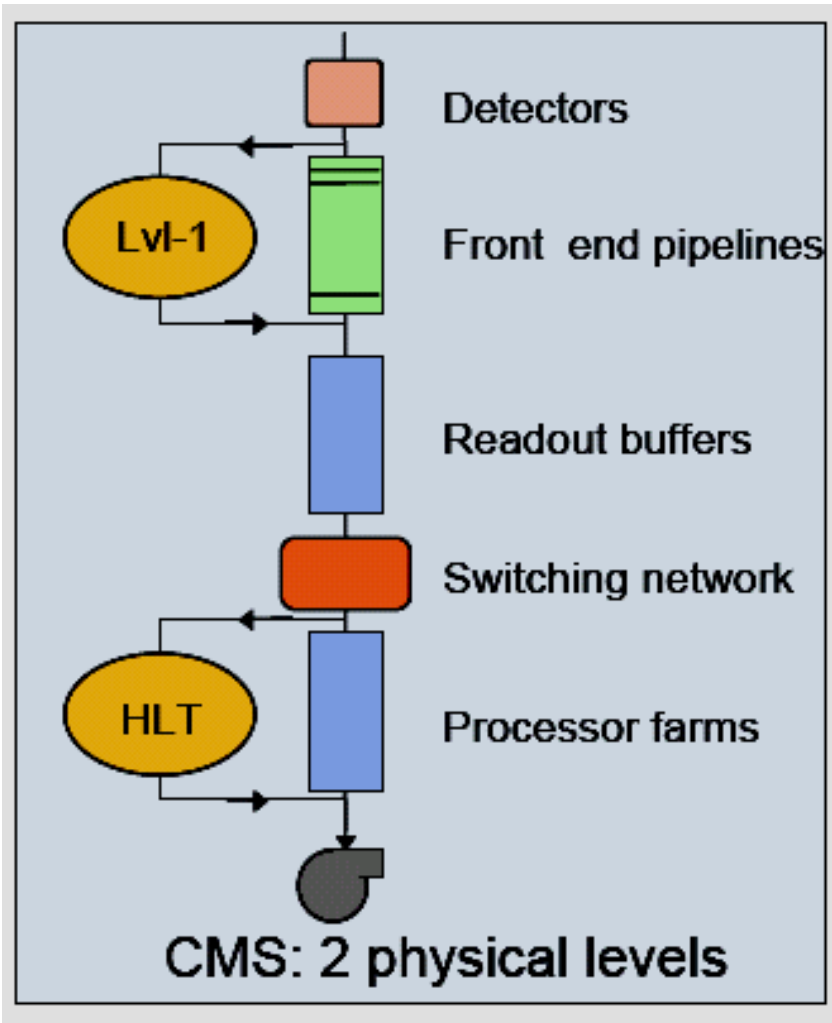
თეორიიდან ცნობილია, თუ რა ნაწილაკებათ უნდა დაიშალოს ჰიგსის ბოზონი.

საინტერესო შემთხვევების შესასწავლათ ექსპერიმენტებს გააჩნიათ სპეციალური სისტემები, რომელებიც შემთხვევებს ირჩევენ მათი "ხელწერის" მიხედვით - ტრიგერული სისტემები

ხუთი ძირითადი არხი

- $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4\ell$
- $H \rightarrow \gamma\gamma$
- $H \rightarrow WW \rightarrow 2\ell 2\nu$
- $H \rightarrow \tau\tau$
- $H \rightarrow b\bar{b}$

მაგალითი: CMS ექსპერიმენტის ტრიგერული სისტემა



სისტემა დაყოფილია ორ ნაწილად - პირველი დონის ტრიგერი და ე.წ მაღალი დონის ტრიგერი

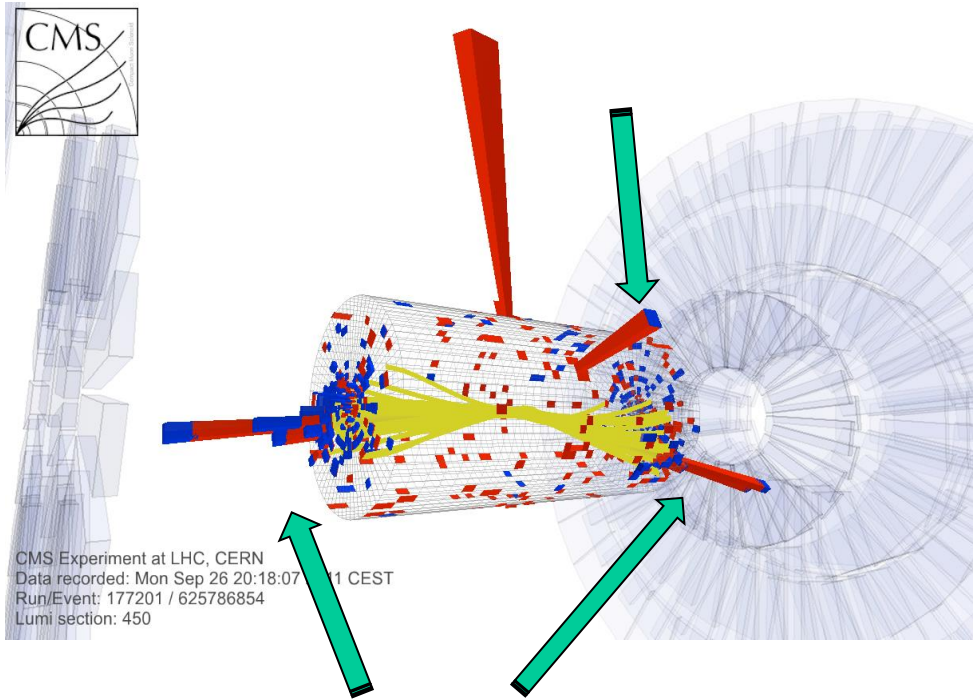
პირველი დონე - სიგნალების დამუშავება დეტექტორებიდან.

სწრაფი "გადაწყვეტილების მიღება" თუ რომელმა დეტექტორმა მოგვცა ინფორმაცია.

მაღალი დონის ტრიგერი - კომპიუტერები, გაერთიანებული გამოთვლით ფერმებში, რომლებიც ახდენენ წინასწარ სწრაფ რეკონსტრუქციას და არჩევენ მათი კინემატიკური მახასიათებლების მიხედვით.

VBF Higgs კანდიდატი შემთხვევა

ორი კლასტერი მხოლოდ ელექტრომაგნიტურ კალორიმეტრში



ეგრეთ წოდებულ "წინა" რეგიონში მოთავსებული კალორიმეტრები არეგისტრირებენ ენერჯის ნაკადს გარკვეულ სხეულოვან კუთხეში..

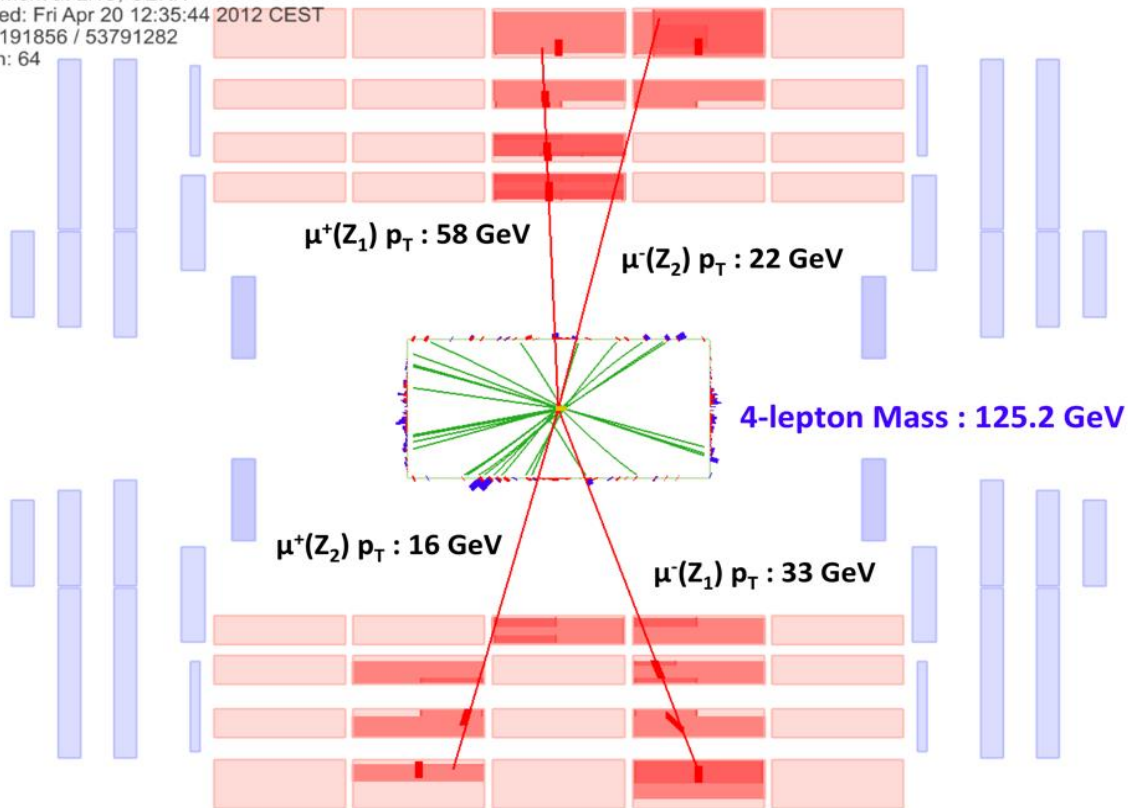
ექსპერიმენტის ტრიგერულმა სისტემამ შემთხვევა შეარჩია, როგორც გარკვეული მოთხოვნების დამაკმაყოფილებელი, რომლების მახასიათებელია VBF პროცესებისთვის. შემთხვევა იწერება ექსპერიმენტის ჩამწერი ელექტრონიკის მიერ

ორი მაღალენერგეტიკული სხივი, რომელიც ეგრეთ წოდებულ წინა რეგიონში რეგისტრირდება

შემთხვევის შემდგომი ანალიზი აჩვენებს, რომ გვაქვს ორი მაღალ ენერგეტიკული სხივი და ორი კლასტერი ელექტრომაგნიტურ კალორიმეტრში.

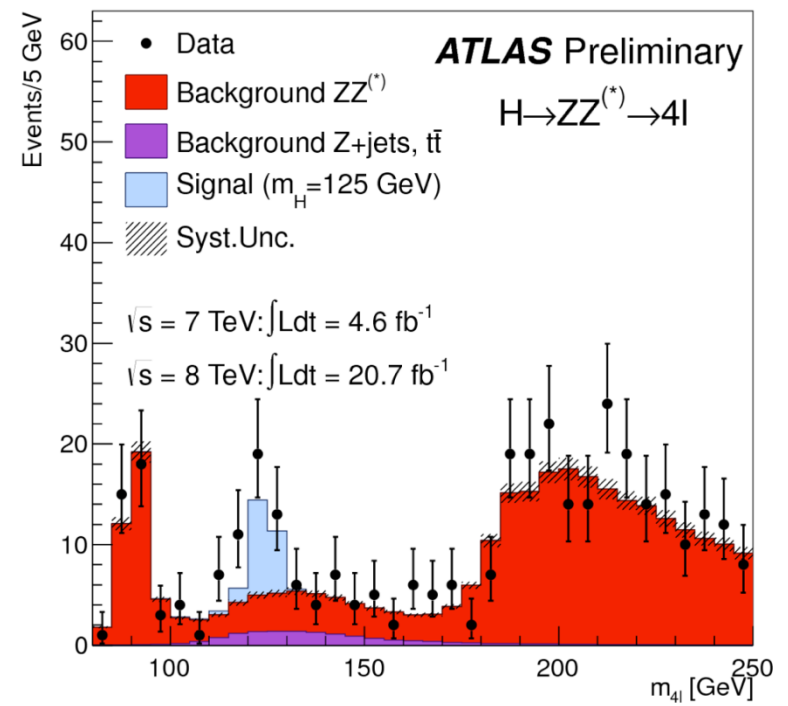
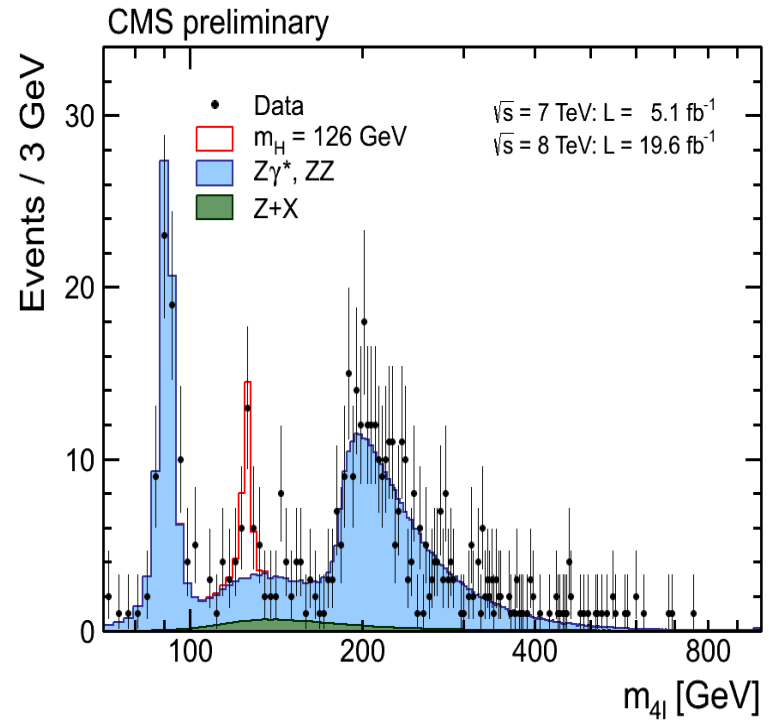
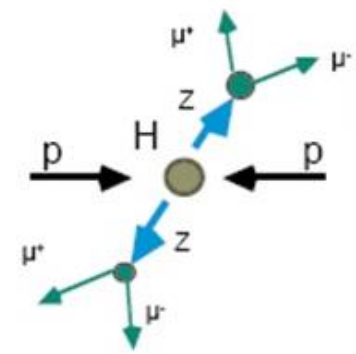
$H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$

CMS Experiment at LHC, CERN
Data recorded: Fri Apr 20 12:35:44
Run/Event: 191856 / 53791282
Lumi section: 64

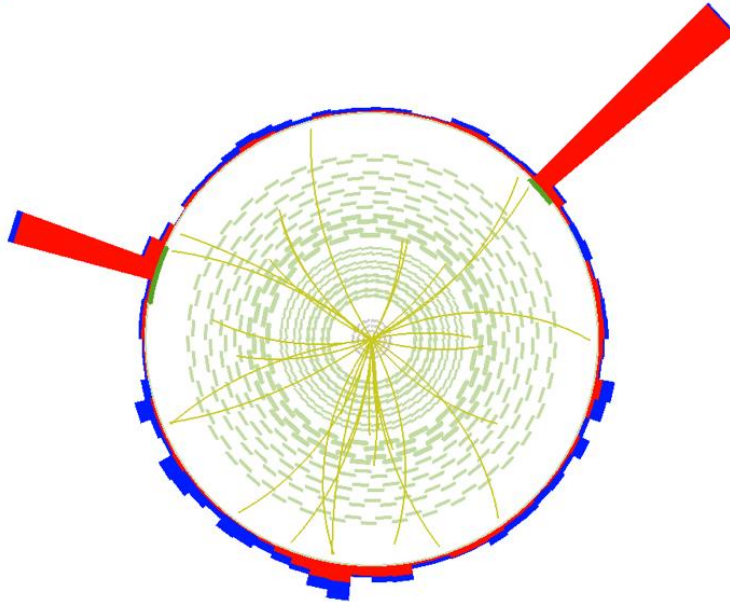
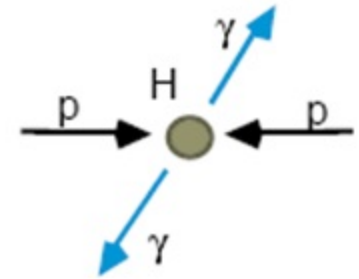


კომპიუტერული ვიზუალიზაცია CMS
ექსპერიმენტის ერთ ერთი შემთხვევის,
სადაც რეგისტრირებულია 4 მუონი

CMS და ATLAS ექსპერიმენტების რეზულტატები $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$

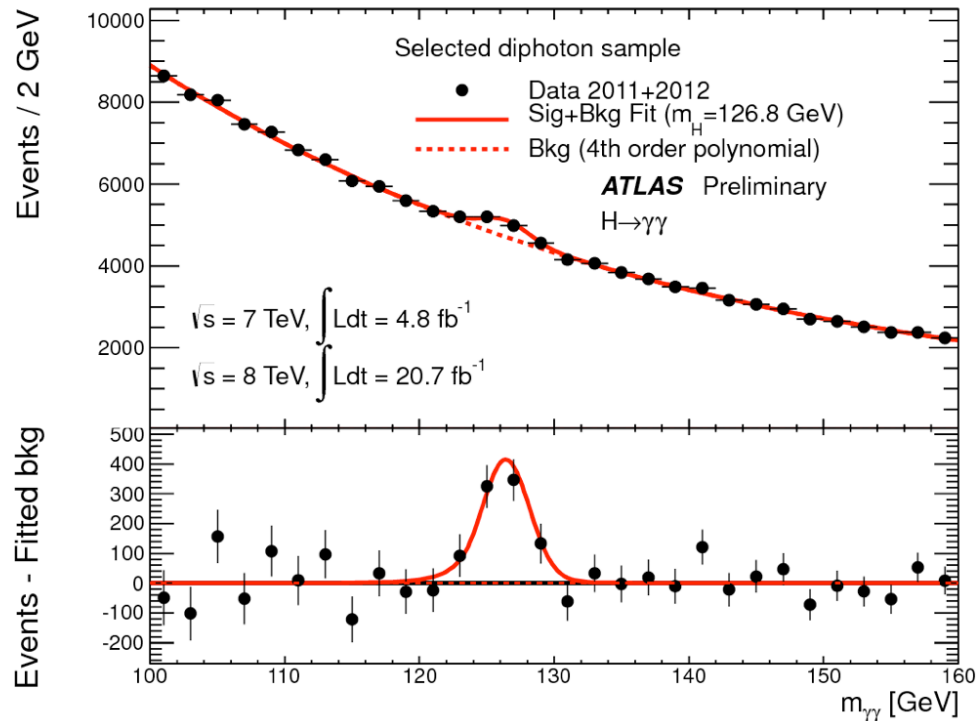
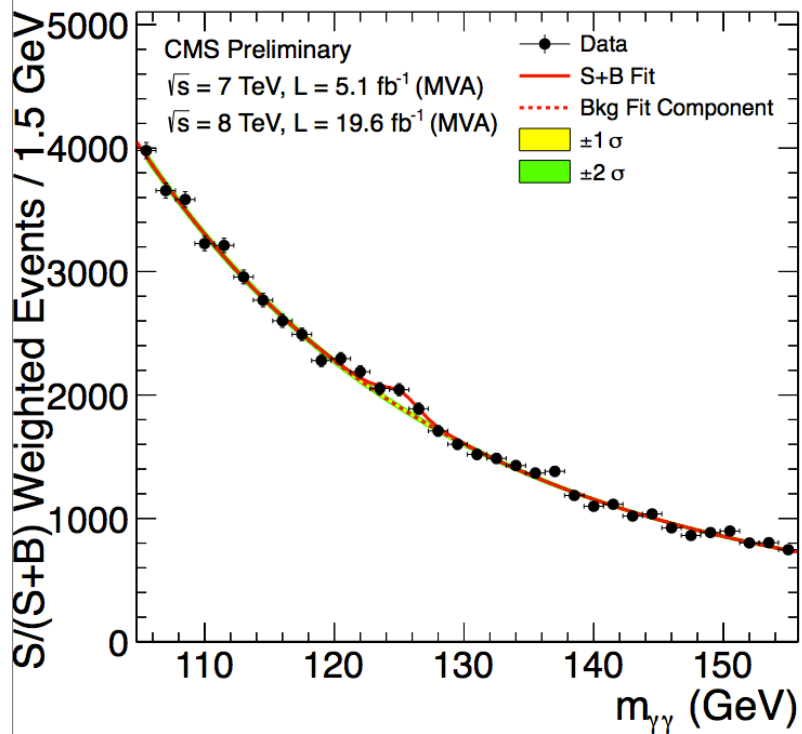


კომპიუტერული ვიზუალიზაცია CMS
ექსპერიმენტის ერთ ერთი შემთხვევის,
სადაც რეგისტრირებულია 2 გამა კვანტი



CMS Experiment at LHC, CERN
Data recorded: Sun May 13 22:08:14 2012 CEST
Run/Event: 194108 / 564224000
Lumi section: 575

CMS და ATLAS ექსპერიმენტების რეზულტატები $H \rightarrow \gamma\gamma$



ჰიგსის ნაწილაკის მასა

სხვა ამაჩქარებლებზე ჩატარებულმა ექსპერიმენტებმა გაზომვებით დაადგინეს ჰიგსის ნაწილაკის მასის დაშვებული და დაუშვებელი რეგიონები. გამორიცხული მასების რეგიონი LEP MH \gg 114.4 GEV და TEVATRON - 156 - 177 GEV

ATLAS ექსპერიმენტმა დაშვებული მასების რეგიონი უფრო შეავიწროვა და დაადგინა, რომ არის ან 117.5-118.5 GEV-ის ან 122.5-129 GEV-ის ფარგლებში. CMS ექსპერიმენტმა გამორიცხა მასათა დიდი რეგიონი - 134 - 158, 180 - 305 და 340 - 465 GEV

დაშვებული მასების ზღვარი 122.5-129
GEV.

რა აღმოვაჩინეთ?

2012 წლის 4 ივლისს გახდა საჯარო ინფორმაცია ახალი ნაწილაკის დამზერის შესახებ CMS და ATLAS ექსპერიმენტების მიერ

მასიური ნაწილაკი -

აღმოჩენილი ნაწილაკის მასა

CMS ექსპერიმენტი $M = 125.3 \pm 0.4 \pm 0.5$, სტატისტიკური მნიშვნელობა 5.6

ATLAS ექსპერიმენტი $M = 126.0 \pm 0.4 \pm 0.4$, სტატისტიკური მნიშვნელობა 5.1

რომელიც მოთავსებულია დაშვებული მასების ზღვარში 122.5-129 GEV.

- ყველა მიმდინარე გაზომვები კარგ შესაბამისობაშია ჰიპოთეზასთან, რომ აღმოვაჩინეთ ჰიგსის ნაწილაკი.
- საჭიროა მნიშვნელოვნად გაიზარდოს დარეგისტრირებულ მონაცემთა რაოდენობა.
- საჭიროა აღმოჩენილი ნაწილაკის მახასიათებლების დეტალური შესწავლა



ფრანსუა ენგლერტი და პიტერ ჰიგსი - 2013 წლის ნობელის
პრემიის ლაურეატები ფიზიკაში