

# CERN-ის საერთაშორისო მასტერკლასი 26.03.19



**ATLAS** ექსპერიმენტი:

W - კვალი  
თამარ გაქარეიშვილი  
(თსუ მეფი)

SUISSE  
FRANCE

CMS

LHCb

ATLAS

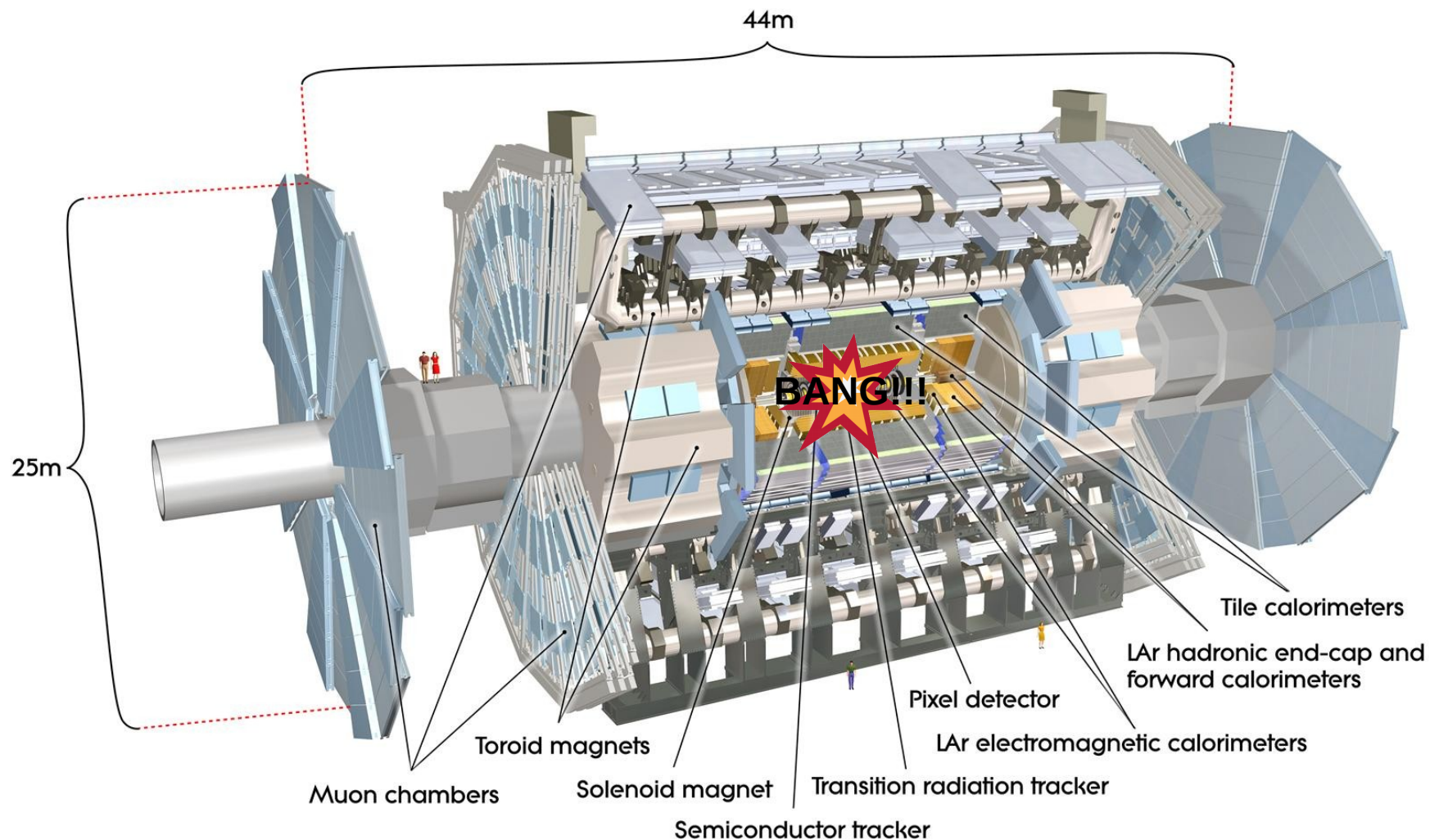
CERN Meyrin

CERN Prévessin

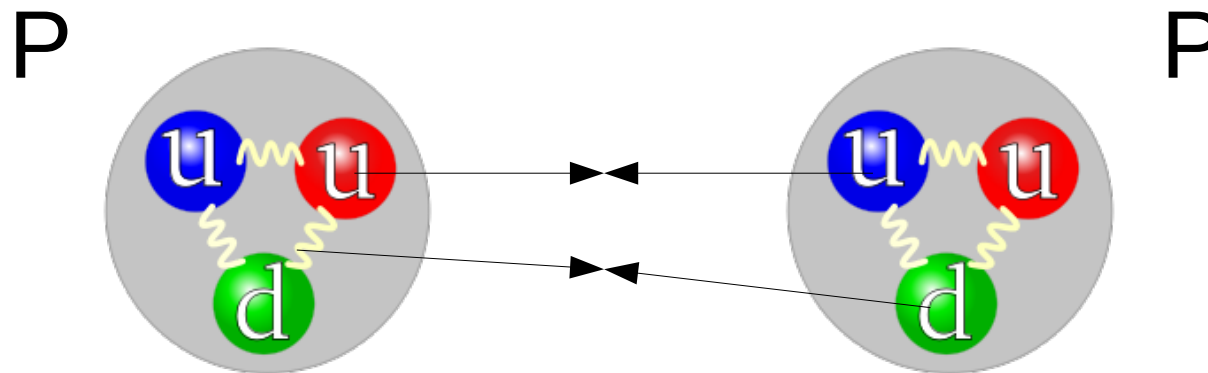
ALICE

LHC 27 km

# CERN-ის ATLAS დეტექტორი



# პროტონების შეჯახება

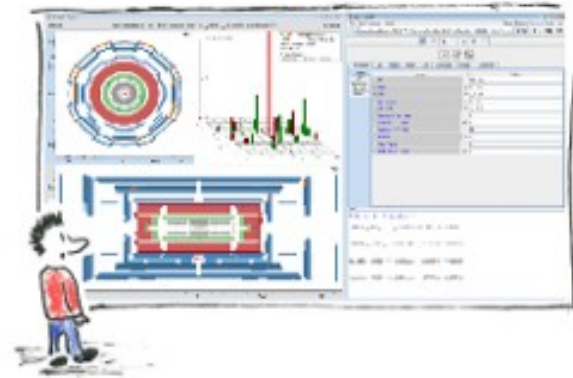


- რა ურთიერთმოქმედებს ერთმანეთთან პროტონების შეჯახებისას? მისი შემადგენელი ნაწილები: გლუონები და კვარკები.
- რატომ ვაჯახებთ ერთმანეთს პროტონებს?  
იმისათვის რომ გავიგოთ სამყარო რა ელემენტარული ბლოკებისგანაა აგებული, ნაწილაკები როგორ იძენენ მასას და სამყაროში რატომ გვაქვს უფრო მეტი მატერია, ვიდრე ანტიმატერია და ასევე სხვა საინტერესო ფაქტები.

# ჩვენი მიზნები/გეგმები



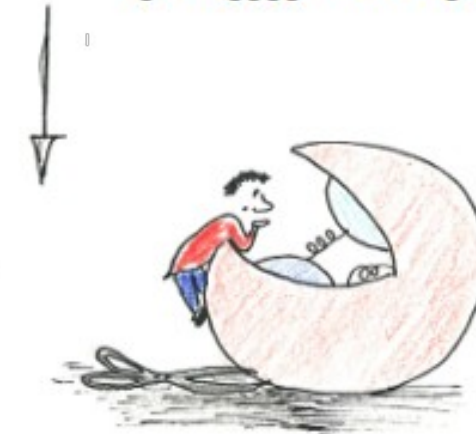
ნაწილაკების ამოცნობა



შემთხვევების ამოცნობა



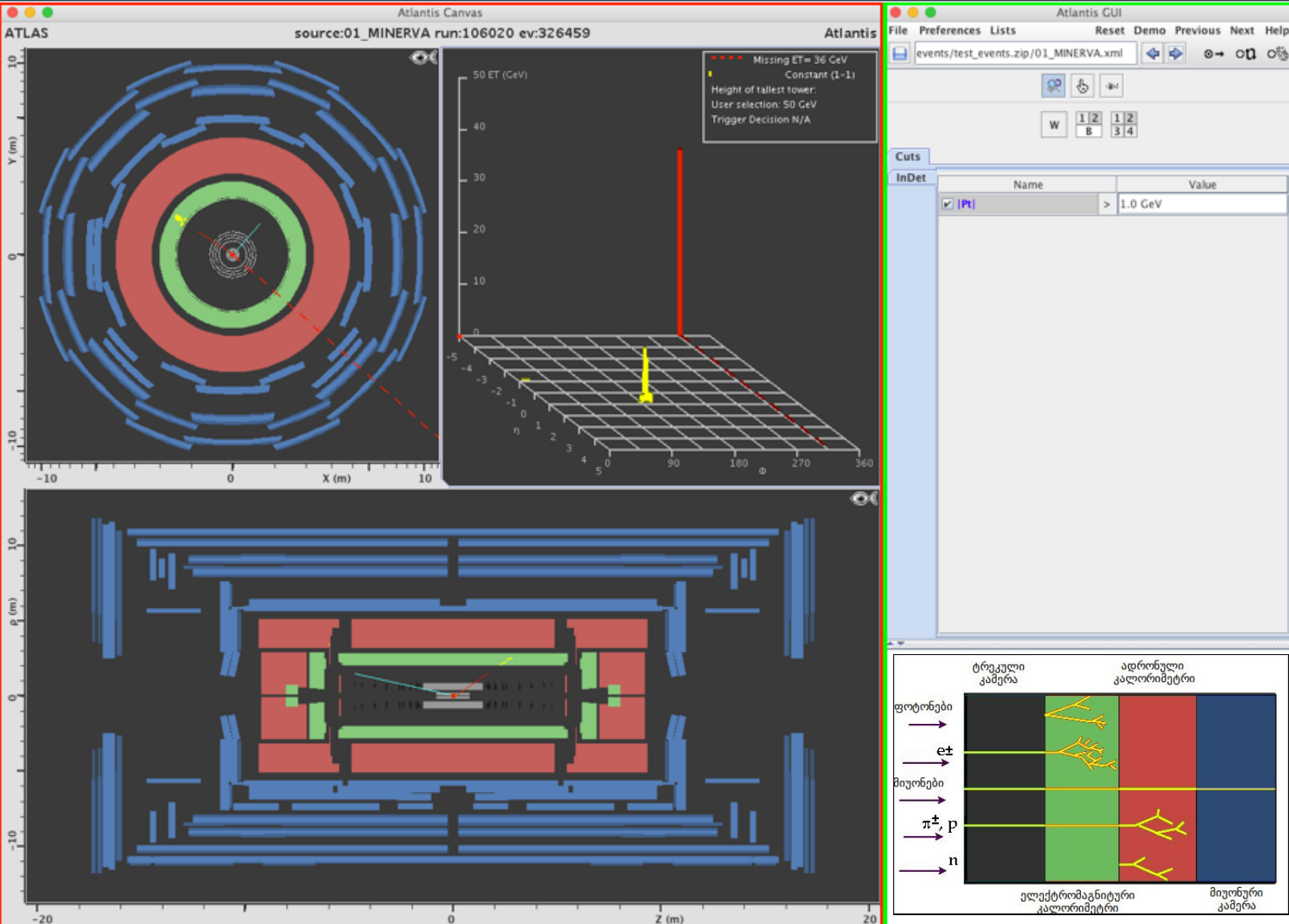
პიგის ძიება



პროტონის გამოკვლევა

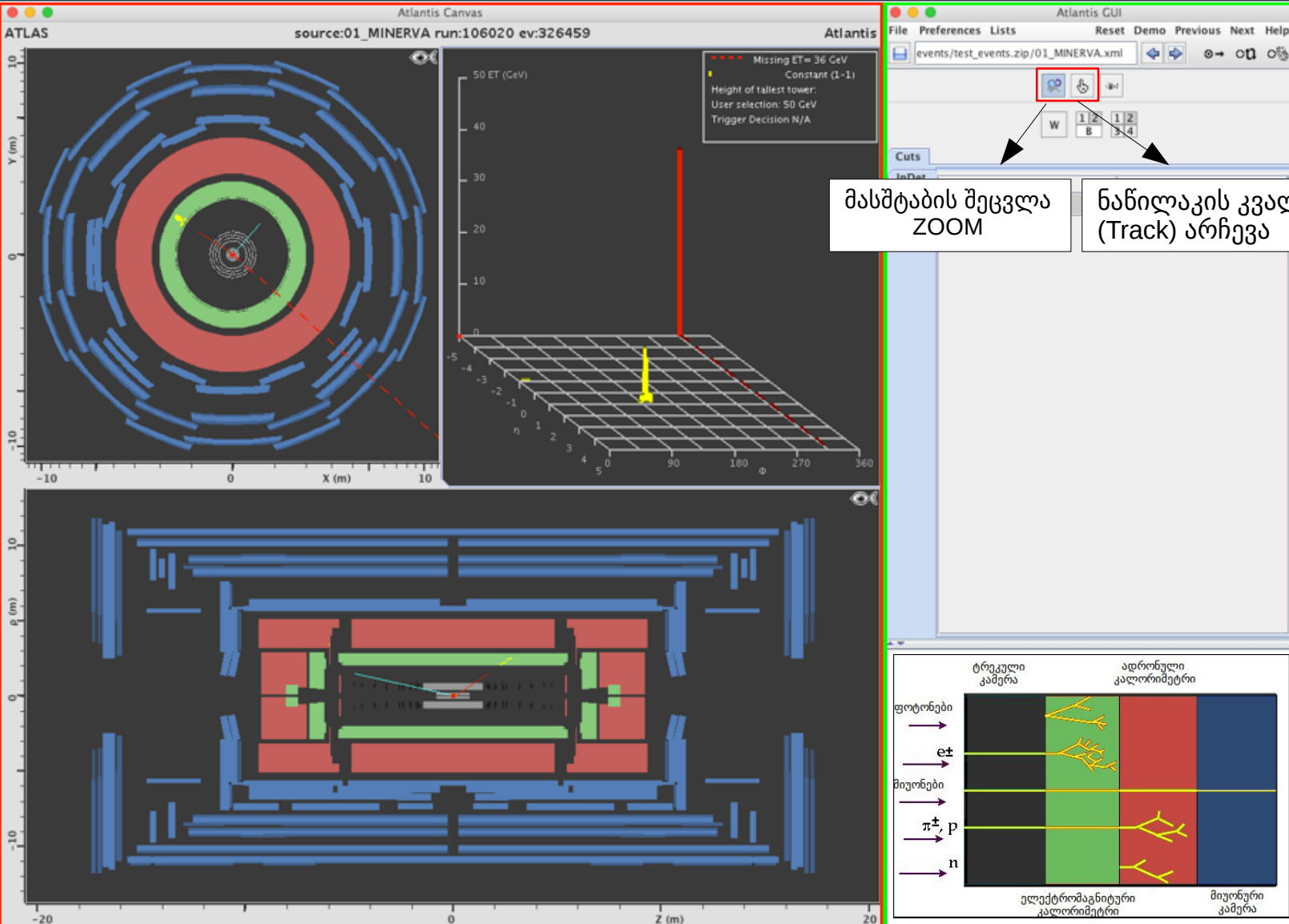
# The Event Display MINERVA

## შემთხვევის ვიზუალიზატორი - MINERVA



# The Event Display MINERVA

## შემთხვევების ვიზუალიზატორი - MINERVA

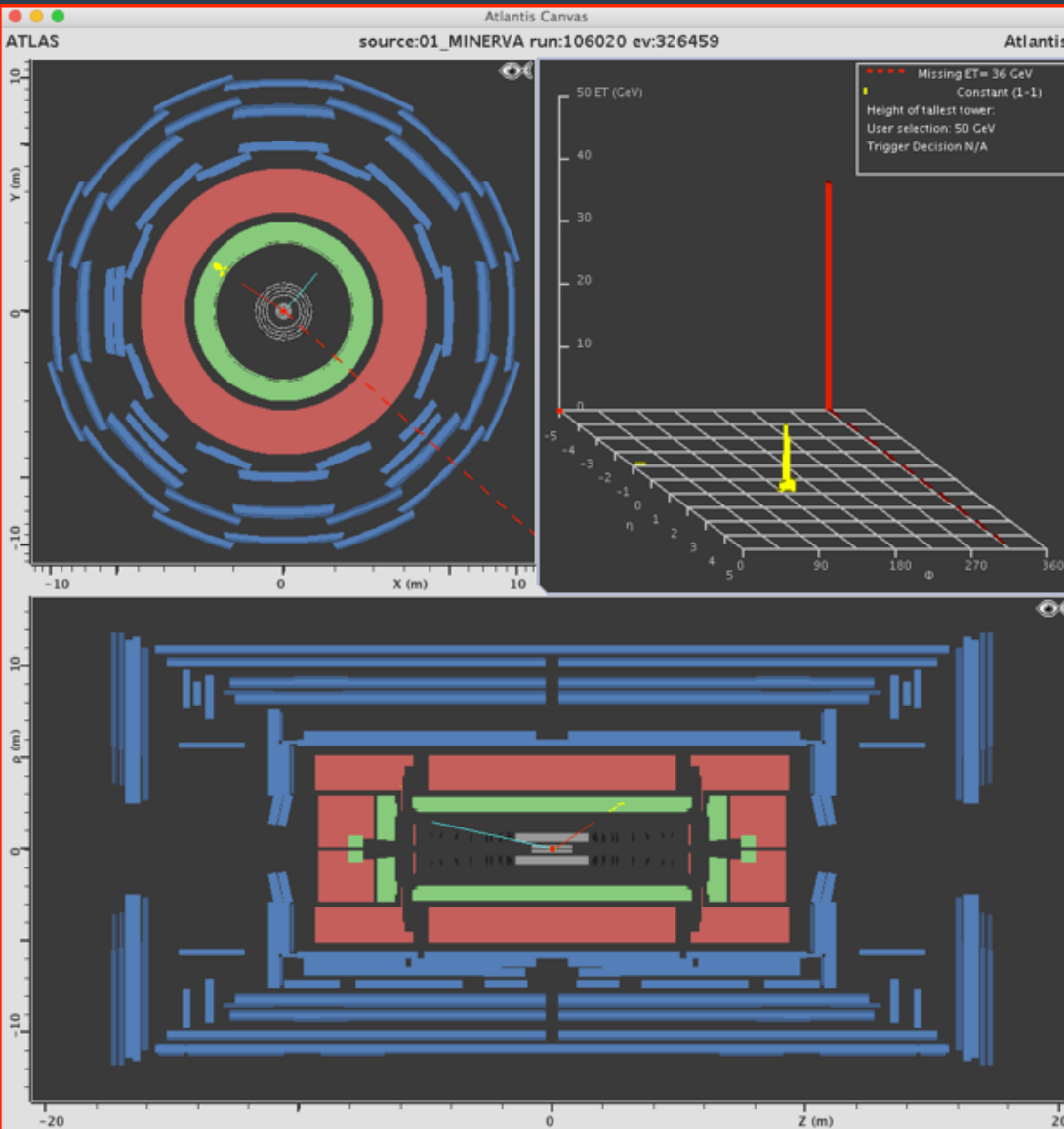


მასშტაბის შეცვლა  
ZOOM

ნაწილაკის კვალის  
(Track) არჩევა

# The Event Display MINERVA

## შემთხვევის ვიზუალიზატორი - MINERVA



Atlantis GUI

File Preferences Lists Reset Demo Previous Next Help

events/test\_events.zip/01\_MINERVA.xml

W 1 2 1 2  
B 3 4

Cuts

InDet

|Pt| > 1.0 GeV

განივ იმპულსზე (Pt) ჩამოჭრა

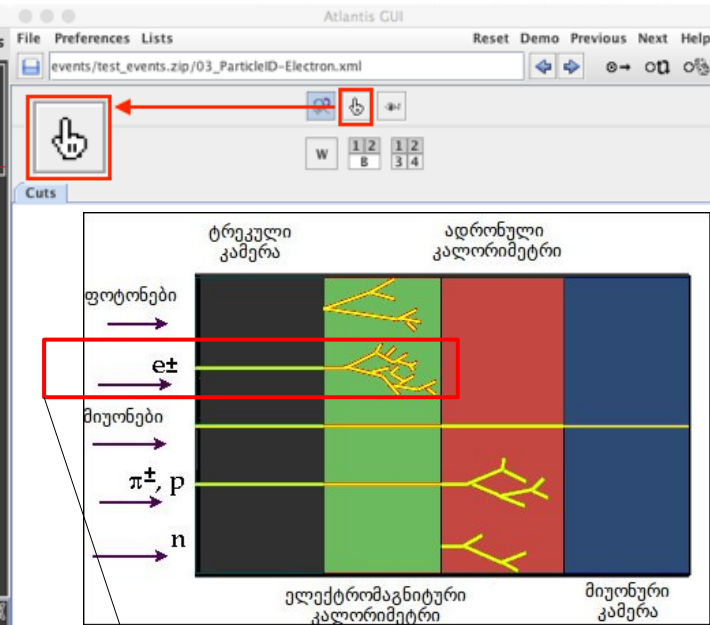
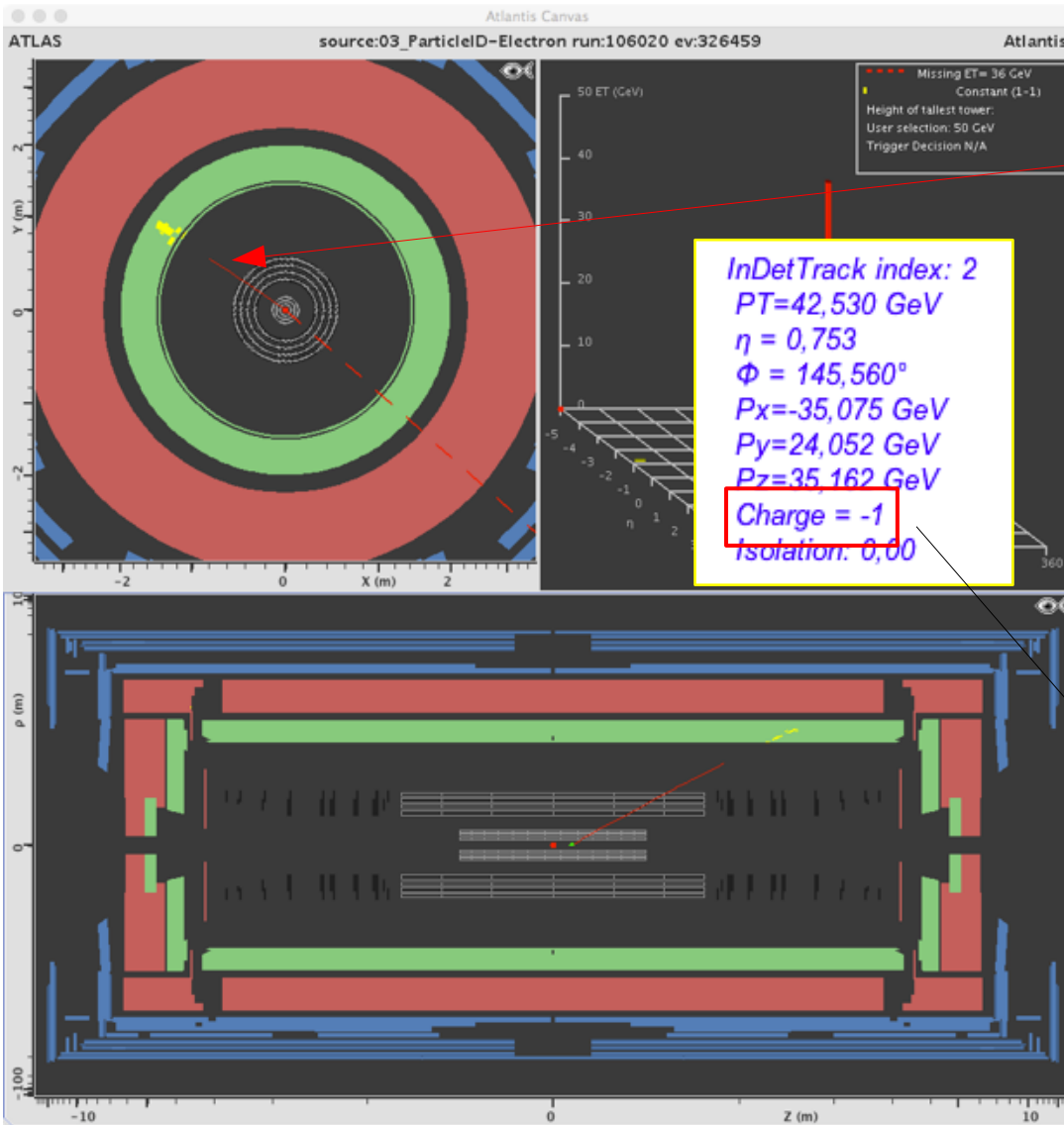
ტრეკული კამერა ადრონული კალორიმეტრი

ფოტონები  $e^+e^-$  მუონები  $\pi^+ p$   $n$

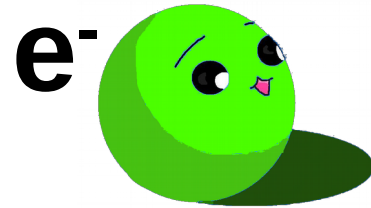
ელექტრომაგნიტური კალორიმეტრი მიუონური კამერა

The Atlantis GUI interface shows the event selection criteria. The 'Cuts' section is expanded to show the selection criteria for the InDet. The criteria are:  $|Pt| > 1.0$  GeV. A text box below the GUI indicates that the event is filtered by transverse momentum (Pt). The bottom diagram shows the detector layout with the event reconstruction overlaid, highlighting the tracks and energy deposits in the calorimeters.

# ელექტრონის ცნობა



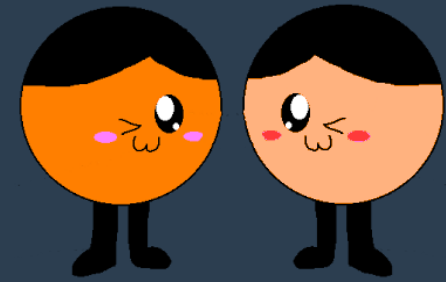
კვალი დეტექტორის ორ ნაწილში (ტრეკულ კამერაში, ელ.მაგ. კალორიმეტრში).  
მუხტი: -1  
ე.ი. ელექტრონი გვიპოვნია



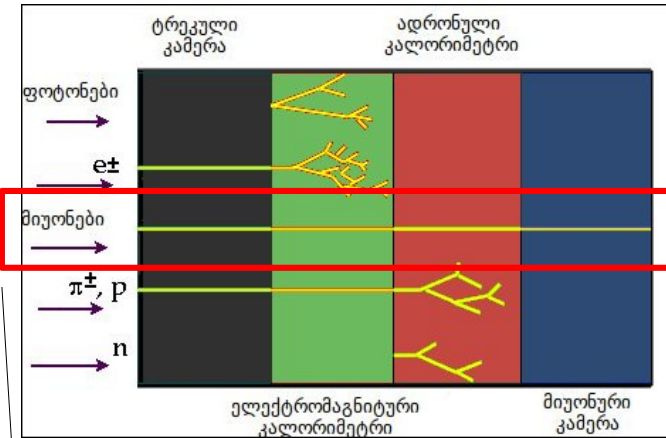
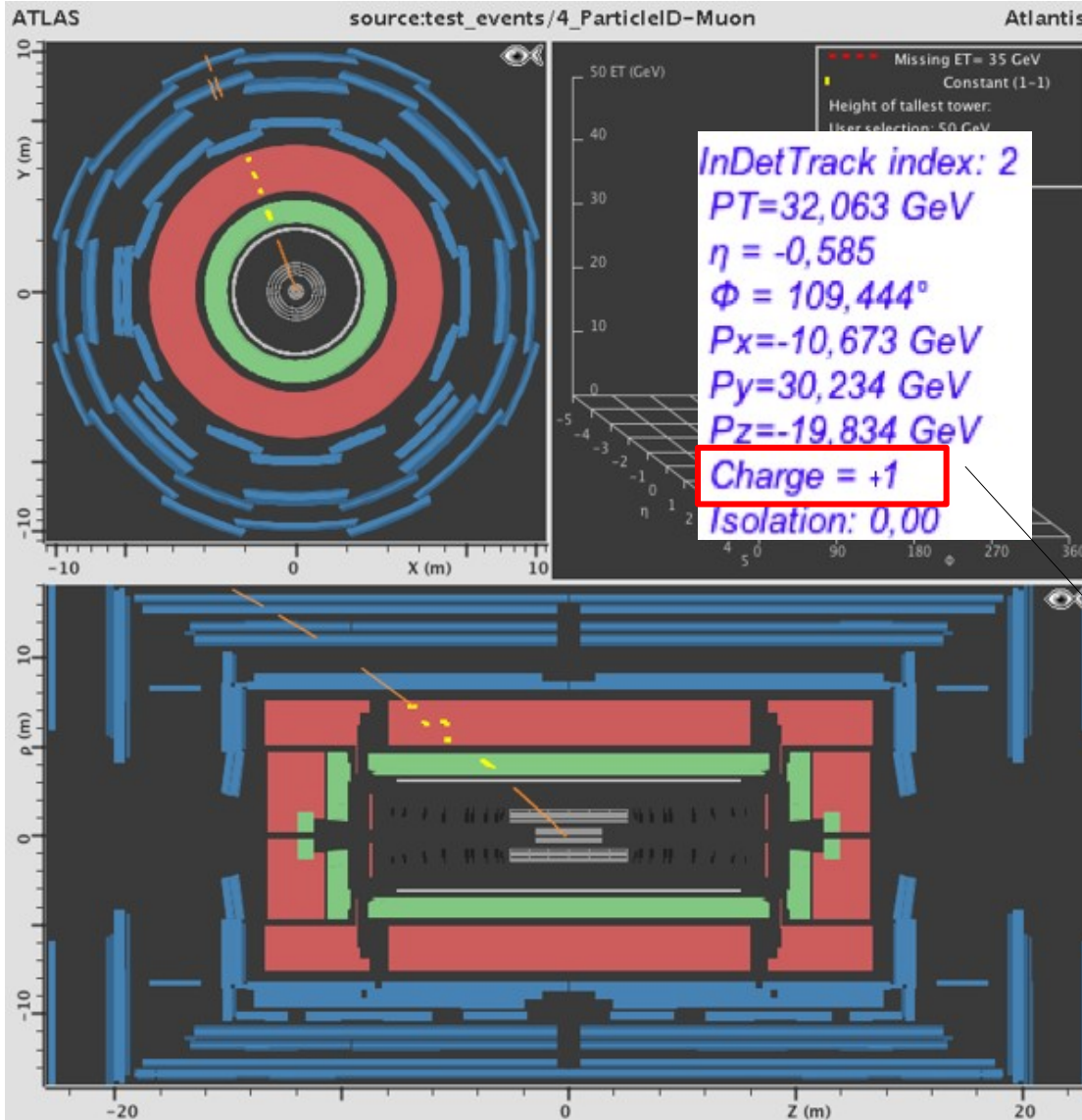


# მიუონის ცნობა

$\mu^-$



$\mu^+$



კვალი დეტექტორის ყველა ნაწილში.  
 მუხბტი: +1  
 ე.ი. ანტი-მიუონი გვიპოვნია



$\mu^+$

# ნეიტრინოს ცნობა



ნეიტრინოები არ ურთიერთქმედებენ ATLAS დეტექტორის არცერთ ნაწილთან ისე განჭოლავენ მას.

აბა როგორ ვიპოვოთ ნეიტრინო?

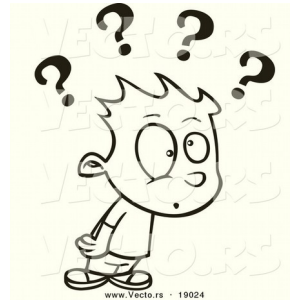


# ნეიტრინოს ცნობა



ნეიტრინოები არ ურთიერთქმედებენ ATLAS დეტექტორის არცერთ ნაწილთან ისე განჭოლავენ მას.

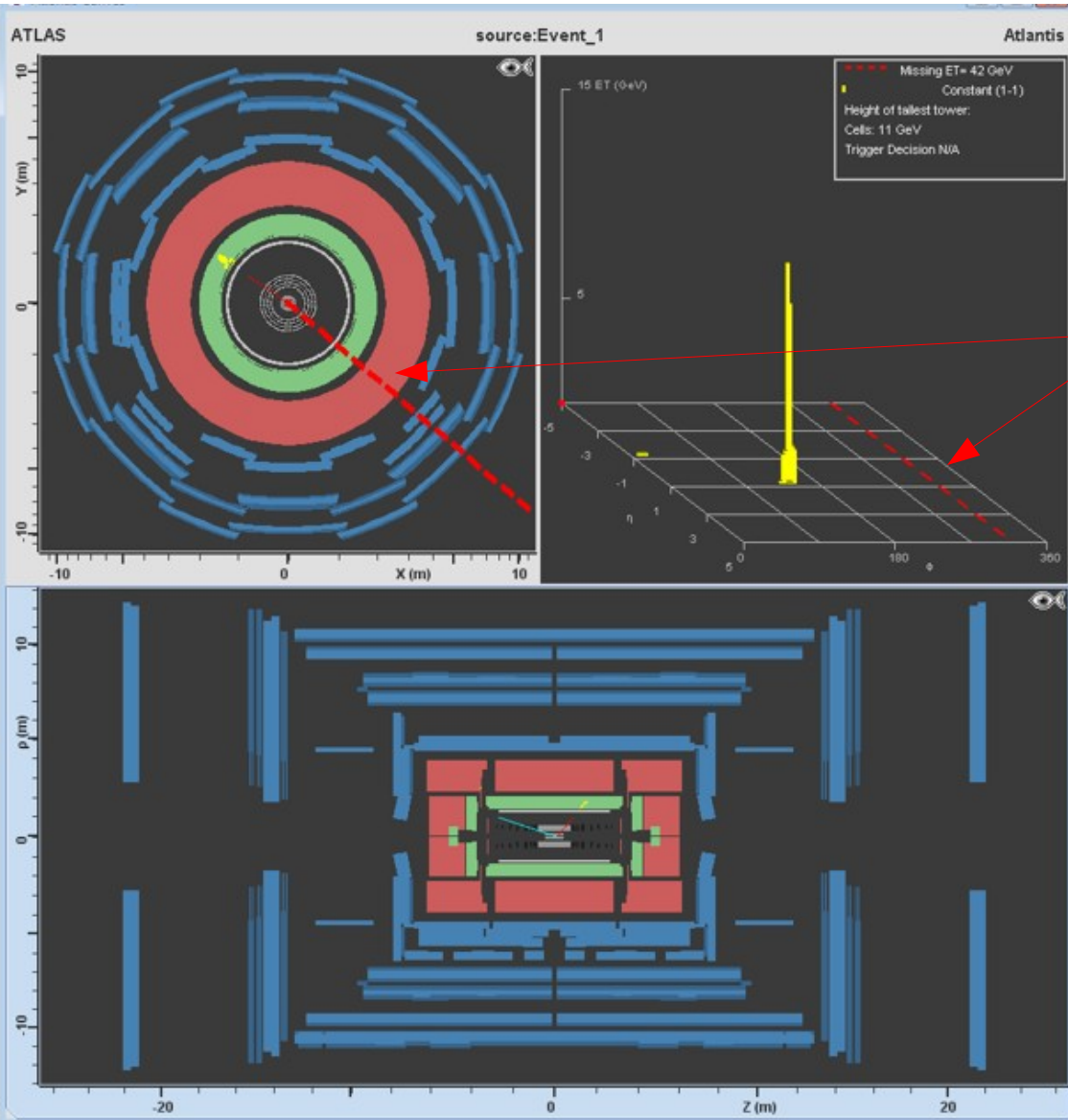
აბა როგორ ვიპოვოთ ნეიტრინო?



## იმპულსის შენახვის კანონი დაგვეხმარება ამაში!

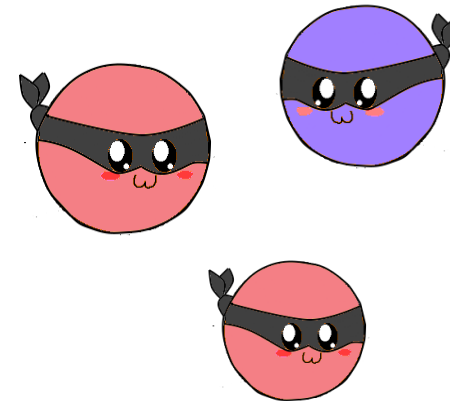
ნაწილაკები მოძრაობენ ნაკადის პარალელურად, ე.ი. მათი იმპულსის განივი მდგენელი ნულია შეჯახებამდე და ნული უნდა იყოს შეჯახების შემდეგაც. თუ გვაქვს შემთხვევა სადაც ეს არ სრულდება ვხვდებით რომ ნეიტრინო ყოფილა ამ შემთხვევაში რომელსაც არ დაუტოვებია ენერგია დეტექტორში (მოუპარია და თან წაუღია, გავიხსენით რომ ენერგია კავშირშია იმპულსთან). სწორედ ამ ნაკლები ენერგიის (იმპულსის) ხარჯზე ვასკვნით რომ ნეიტრინო (ან რამოდენიმე ნეიტრინო) დაბადებულა შეჯახებისას.

# ნეიტრინოს ცნობა

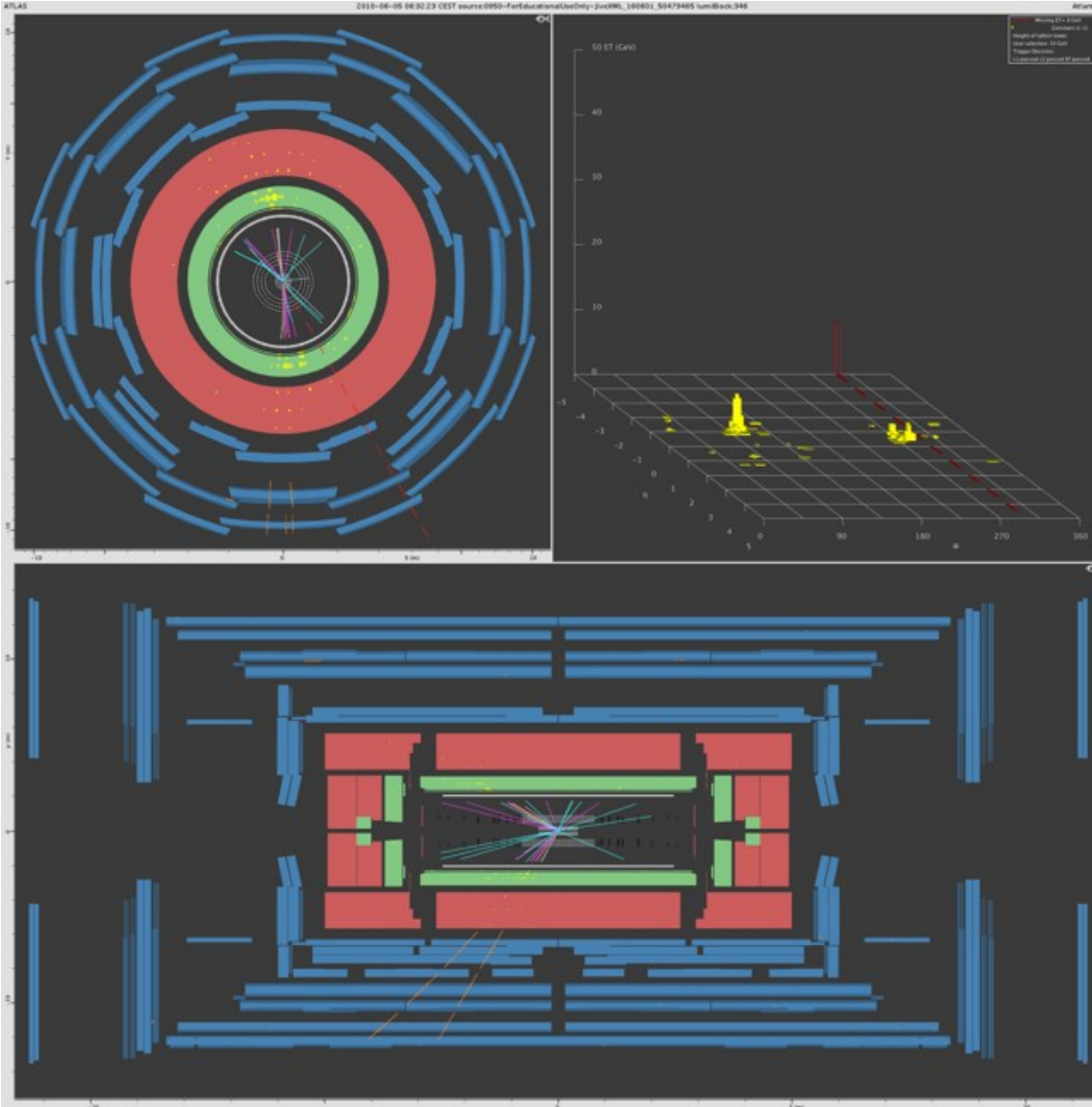
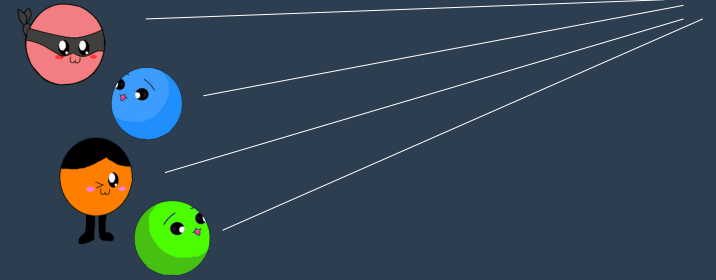


MINERVA-ს დახმარებით როგორ ვიპოვოთ ნეიტრინო?

დეტექტორის განივ ჭრილში წითელი წყვეტილი ხაზით არის ნაჩვენები “გაპარული” ერთი ან რამოდენიმე ნეიტრინო.



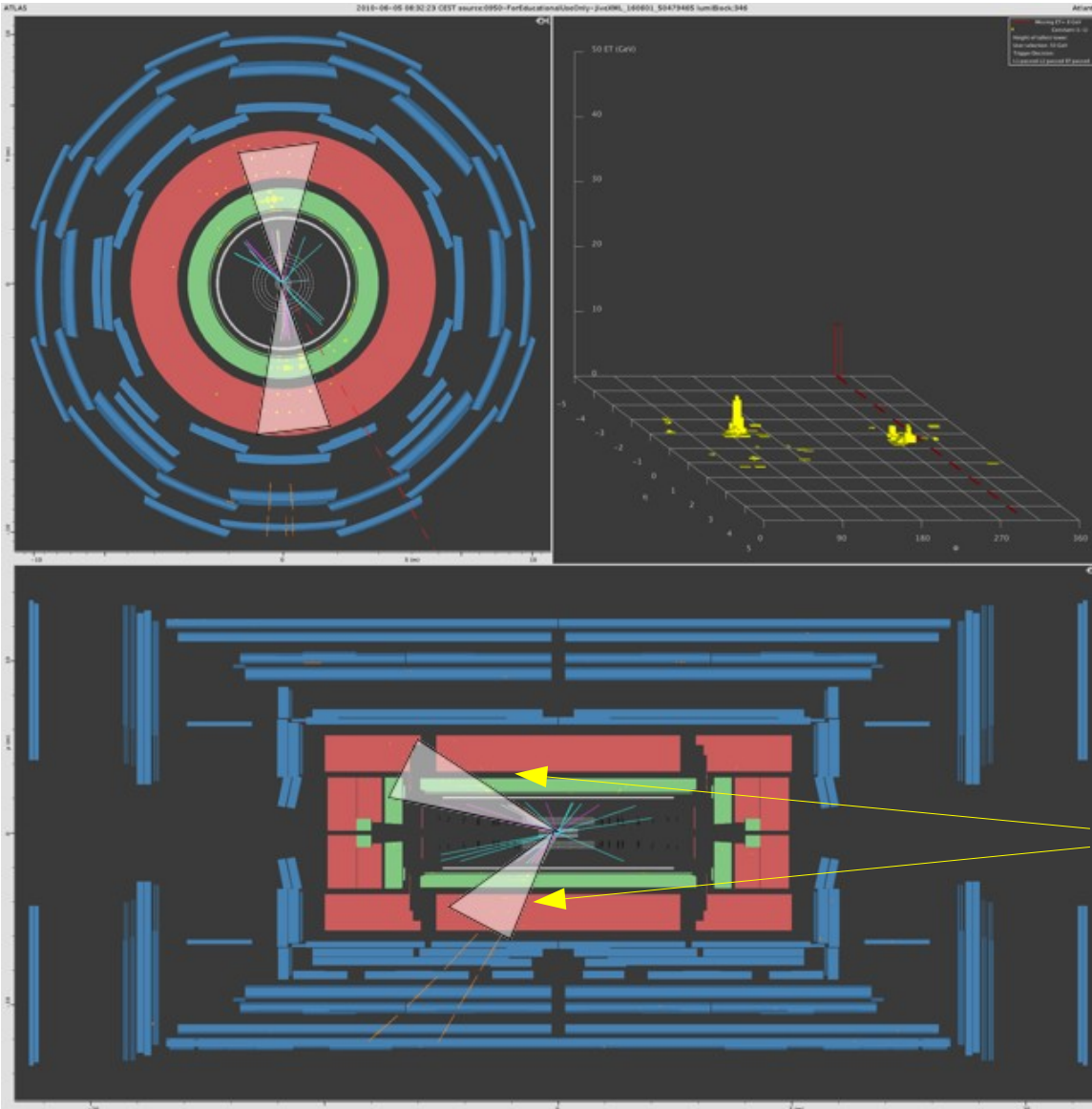
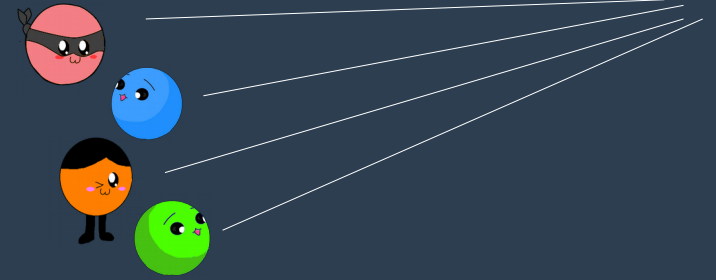
# ჭავლების ცნობა



ჭავლები – ვიწრო კონუსური ფორმის კონა ნაწილაკებისა.

- ჭავლის შემადგენელი ნაწილაკები ენერგიას ტოვებენ ATLAS დეტექტორის ყველა ნაწილში.
- მათი კვალის (ტრეკების) დაკვირვებით ჩევამჩნევთ, რომ ისინი ქმნიან კონუსს.

# ჭავლების ცნობა



ჭავლები – ვიწრო კონუსური ფორმის კონა ნაწილაკებისა.

- ჭავლის შემადგენელი ნაწილაკები ენერგიას ტოვებენ ATLAS დეტექტორის ყველა ნაწილში.
- მათი კვალის (ტრეკების) დაკვირვებით ჩევამჩნევთ, რომ ისინი ქმნიან კონუსს.

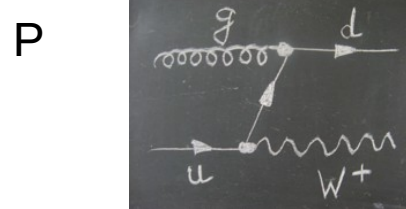
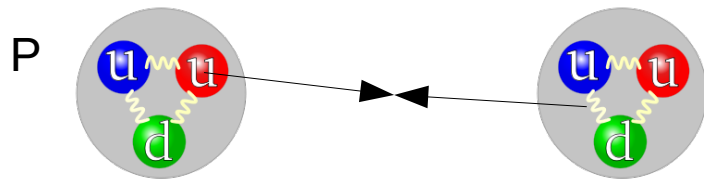
ჩვენ გვაქვს ორი ჭავლი ამ შემთხვევაში!

# ნანილაკების ამოცნობა: სავარჯიშო #1

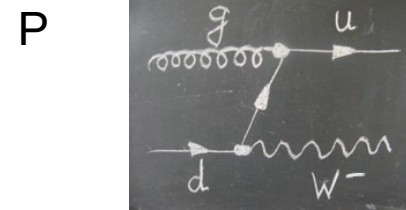
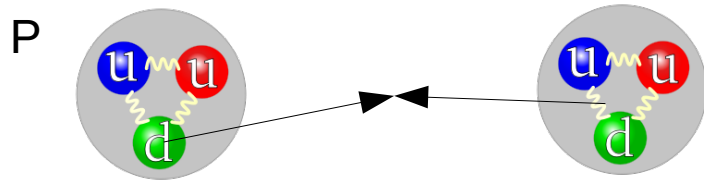
- [http://atlas.physicsmasterclasses.org/en/wpath\\_exercise1.htm](http://atlas.physicsmasterclasses.org/en/wpath_exercise1.htm)

# W ნაწილაკი

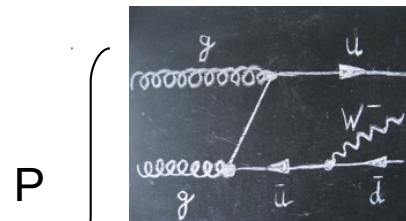
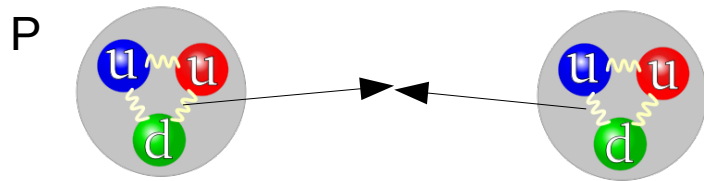
- როგორ წარმოიქმნება W ნაწილაკი პროტონების დაჯახებისას?



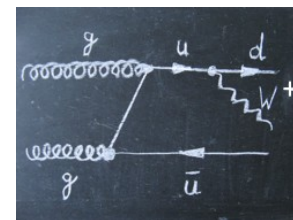
გლუონის u კვარკთან ურთიერთქმედების შედეგად წარმოიქმნება  $W^+$



გლუონის d კვარკთან ურთიერთქმედების შედეგად წარმოიქმნება  $W^-$



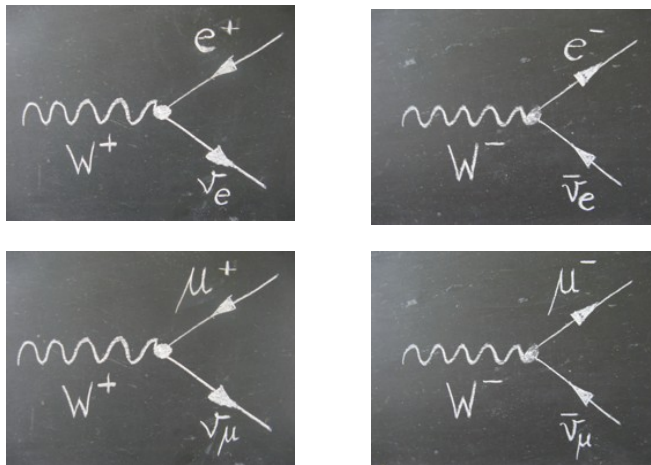
გლუონის გლუონთან ურთიერთქმედების შედეგად წარმოიქმნება ხან  $W^+$ , ხან  $W^-$





# W ნანილაკი

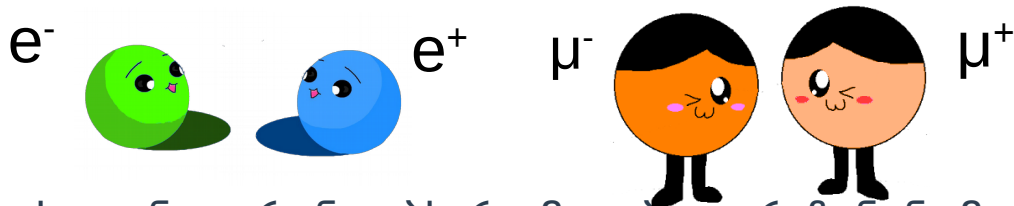
- W ნანილაკის დაშლის პროცესების 2/3 დეტექტორში გვევლინება როგორც ჭავლები.
- ხოლო W ნანილაკის დაშლის პროცესების 1/3 ლეპტონებად ( $e, \mu, \tau$ ) და ნეიტრინოებად დაშლას.
- ტაუ ნანილაკი ( $\tau$ ) მანამდე იშლება, სანამ დეტექტორი დაინახავს მას, ამიტომ ჩვენ განვიხილავთ მხოლოდ W-ს ელექტრონებად (ანტი-ელექტრონებად) ან მიუონებად დაშლას (ანტი-მიუონებად).



- ასეთ შემთხვევებს ჩვენ ვუწოდებთ სიგნალს!

# W ნაწილაკი

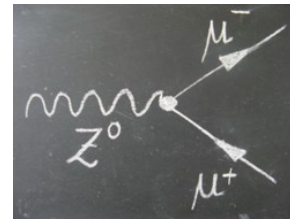
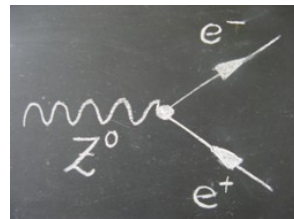
- ე.ი. დეტექტორში ჩვენ ვეძებთ ელექტრონების და მიუონების კვალს.



- ასევე ნეიტრინოებს რომლებიც არ ჩანან, მაგრამ პოვნა მაინც შეგვიძლია



- მაგრამ პროტონების შეჯახებისას არამართო W ნაწილაკი წარმოიქმნება, არამედ, მაგალითად Z ნაწილაკი, რომელიც ასევე იშლება ელექტრონებად და მიუონებად.



- ასეთ პროცესებს **ფონს (Background)** უწოდებენ – შემთხვევების ის ერთობლიობა, რომელიც იმავე დაშლის პროდუქტებს გვაძლევს რასაც სიგნალი (სიგნალი - ჩვენ შემთხვევაში W ნაწილაკის დაბადება).

**ჩვენ ხომ დაშლის პროდუქტებს ვუყურებთ დეტექტორში, როგორ გავარჩიოთ ეს W ნაწილაკია თუ Z ნაწილაკი?**

## ნეიტრინოების დახმარებით!

- როგორც ვხედავთ ფონურ პროცესებში ნეიტრინოები არ გვაქვს.
- ამიტომ ნეიტრინოების პოვნისას (MINERVA-ს დახმარებით), ელექტრონებთან და მიუონებთან ერთად, შეგვიძლია ვიზიტირებოთ რომ ვიპოვნეთ W ნაწილაკი!

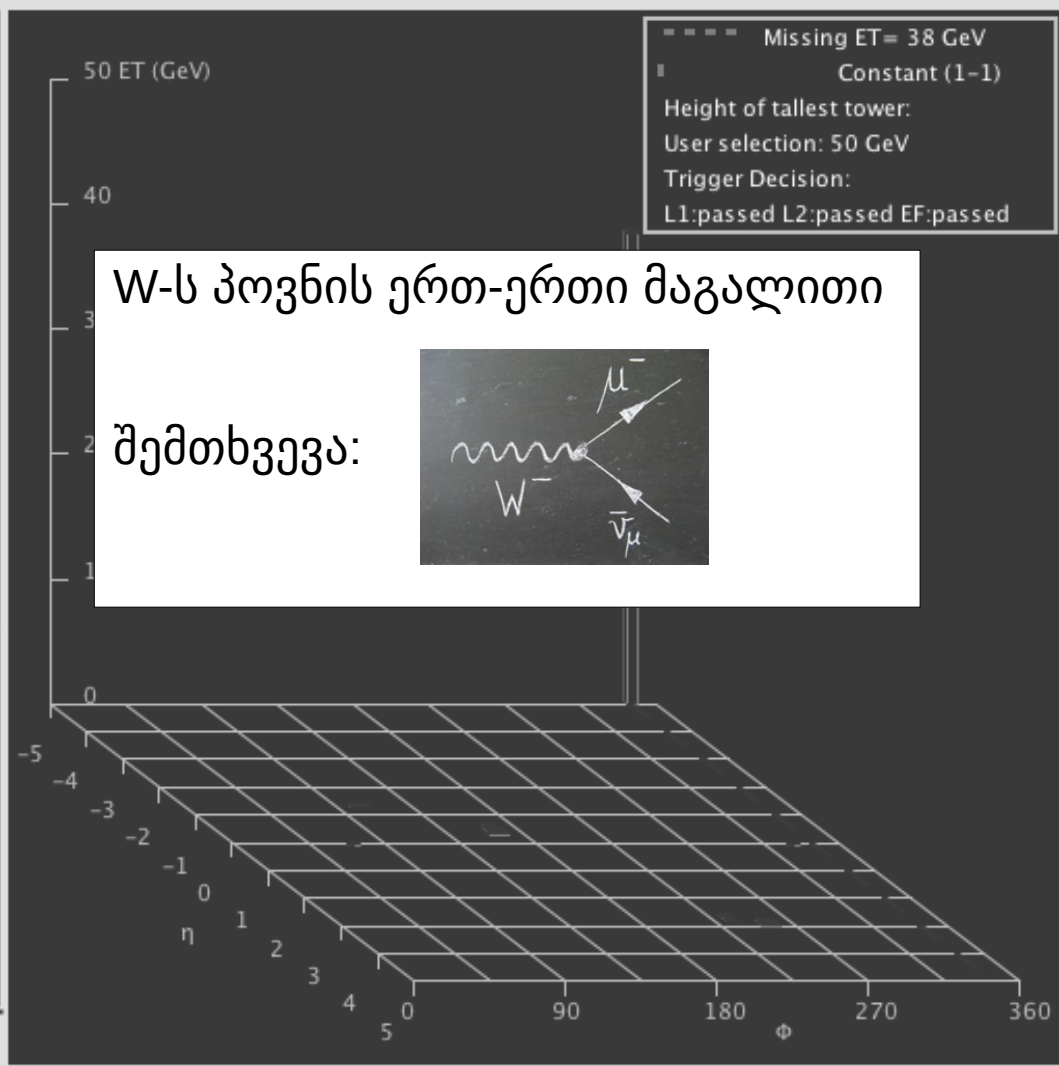
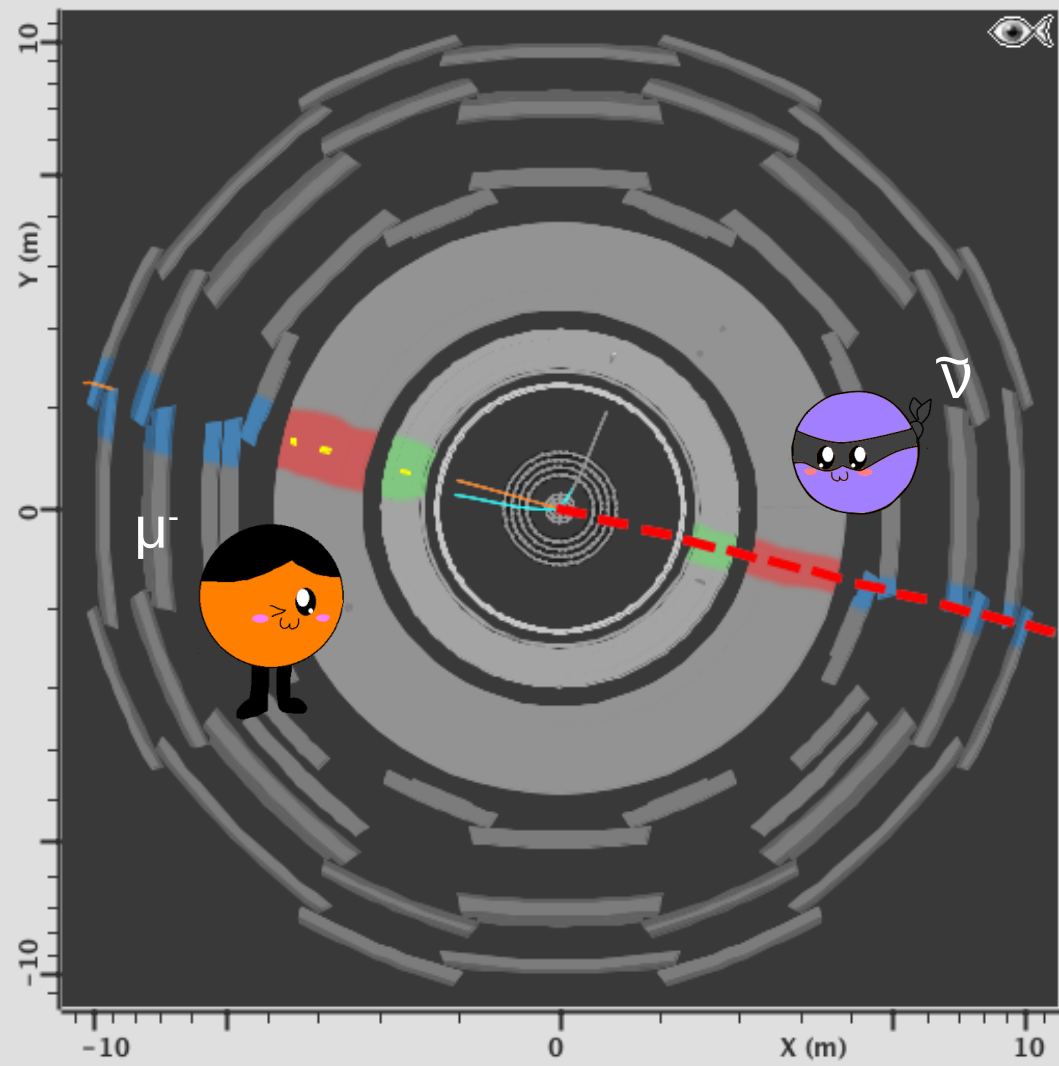
## ნეიტრინოების დახმარებით!

- როგორც ვხედავთ ფონურ პროცესებში ნეიტრინოები არ გვაქვს.
- ამიტომ ნეიტრინოების პოვნისას (MINERVA-ს დახმარებით), ელექტრონებთან და მიუონებთან ერთად, შეგვიძლია ვიზეიმოთ რომ ვიპოვნეთ W ნანილაკი!



# W ნაწილაკი

ATLAS 2010-08-13 22:17:37 PDT source:test\_events/7\_EventID-Wmunu lumiBlock:361 Atlantis



# ჰიგსის ნაწილაკი



- ჰიგსის ნაწილაკები საკმაოდ მძიმეები არიან და მალე იშლებიან სხვა ნაწილაკებად, ამიტომ დეტექტორში მხოლოდ მისი დაშლის პროდუქტებს ვხედავთ.
- ჰიგსი ბევრი გზით შეიძლება დაიშალოს, მაგრამ ჩვენ განვიხილავთ, შემდეგს:



- სადაც  $H$  არის ელექტრონი, ანტი-ელექტრონი, მიუონი ან ანტი-მიუონი, ხოლო  $\nu$  არის ნეიტრინო ან ანტი-ნეიტრინო.

**რომელთა ყველას ამოცნობა უკვე ვიცით!**

# ჰიგსის ნაწილაკი



- ჰიგსის ნაწილაკები საკმაოდ მძიმეები არიან და მალე იშლებიან სხვა ნაწილაკებად, ამიტომ დეტექტორში მხოლოდ მისი დაშლის პროდუქტებს ვხედავთ.
- ჰიგსი ბევრი გზით შეიძლება დაიშალოს, მაგრამ ჩვენ განვიხილავთ, შემდეგს:

**$H \rightarrow WW \rightarrow \nu\nu$**

- სადაც  $H$  არის ელექტრონი, ანტი-ელექტრონი, მიუონი ან ანტი-მიუონი, ხოლო  $\nu$  არის ნეიტრინო ან ანტი-ნეიტრინო.

**რომელთა ყველას ამოცნობა უკვე ვიცით!**



# ჰიგსის ნაწილაკი



- მაგრამ თუ ჰიგსი ასე იშლება:

$H \rightarrow WW \rightarrow \nu\nu$

- შეგვიძლია ვთქვათ რომ როცა ორ  $W$  ნაწილაკს ვიპოვნით ის ჰიგსის დაშლის პროდუქტია?



# ჰიგსის ნაწილაკი



- მაგრამ თუ ჰიგსი ასე იშლება:

$H \rightarrow WW \rightarrow \nu\nu$

- შეგვიძლია ვთქვათ რომ როცა ორ  $W$  ნაწილაკს ვიპოვნით ის ჰიგსის დაშლის პროდუქტია?

**არა!**

# ჰიგსის ნაწილაკი



- მაგრამ თუ ჰიგსი ასე იშლება:

$H \rightarrow WW \rightarrow \nu\nu$

- შეგვიძლია ვთქვათ რომ როცა ორ W ნაწილაკს ვიპოვნით ის ჰიგსის დაშლის პროდუქტია?

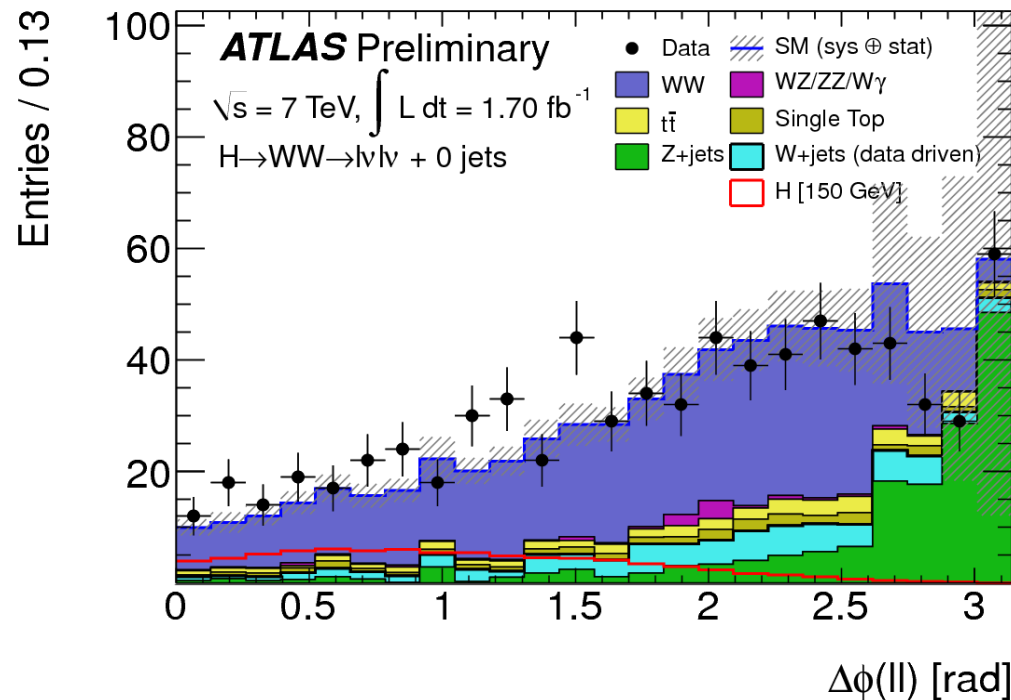
**არა!**



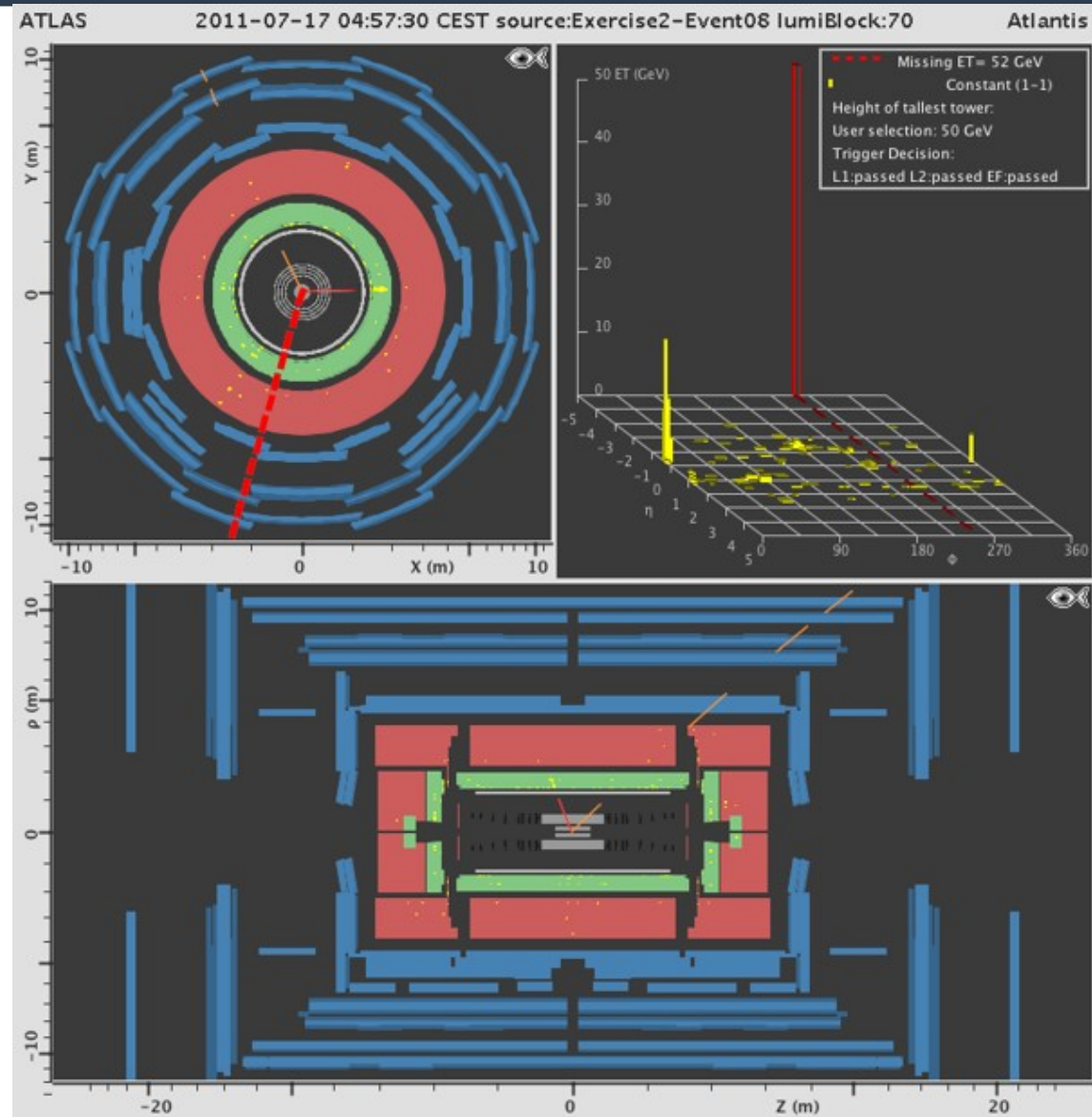
# ჰიგსის ნაწილაკი



- მანამ არ შეგვიძლია ჰიგსის დაშლის პროდუქტების განსხვავება სხვა WW ნაწილაკებისაგან, სანამ არ შევხედავთ ლეპტონებს ( $e, \mu, \tau$ ) შორის კუთხეს ( $\Delta\phi_{ll}$ ), ნაკადის პერკენდიკულარულ სივრცეში:
- როდესაც ლეპტონები ჰიგსიდან არიან წამოსულები, მაშინ  $\Delta\phi_{ll}$  ძირითადად  $90^\circ$ -ზე ნაკლებია.
- ხოლო ლეპტონებისთვის, რომელიც ჰიგსის დაშლიდან არ მიიღებია,  $\Delta\phi_{ll}$  ძირითადად  $90^\circ$ -ზე მეტია.

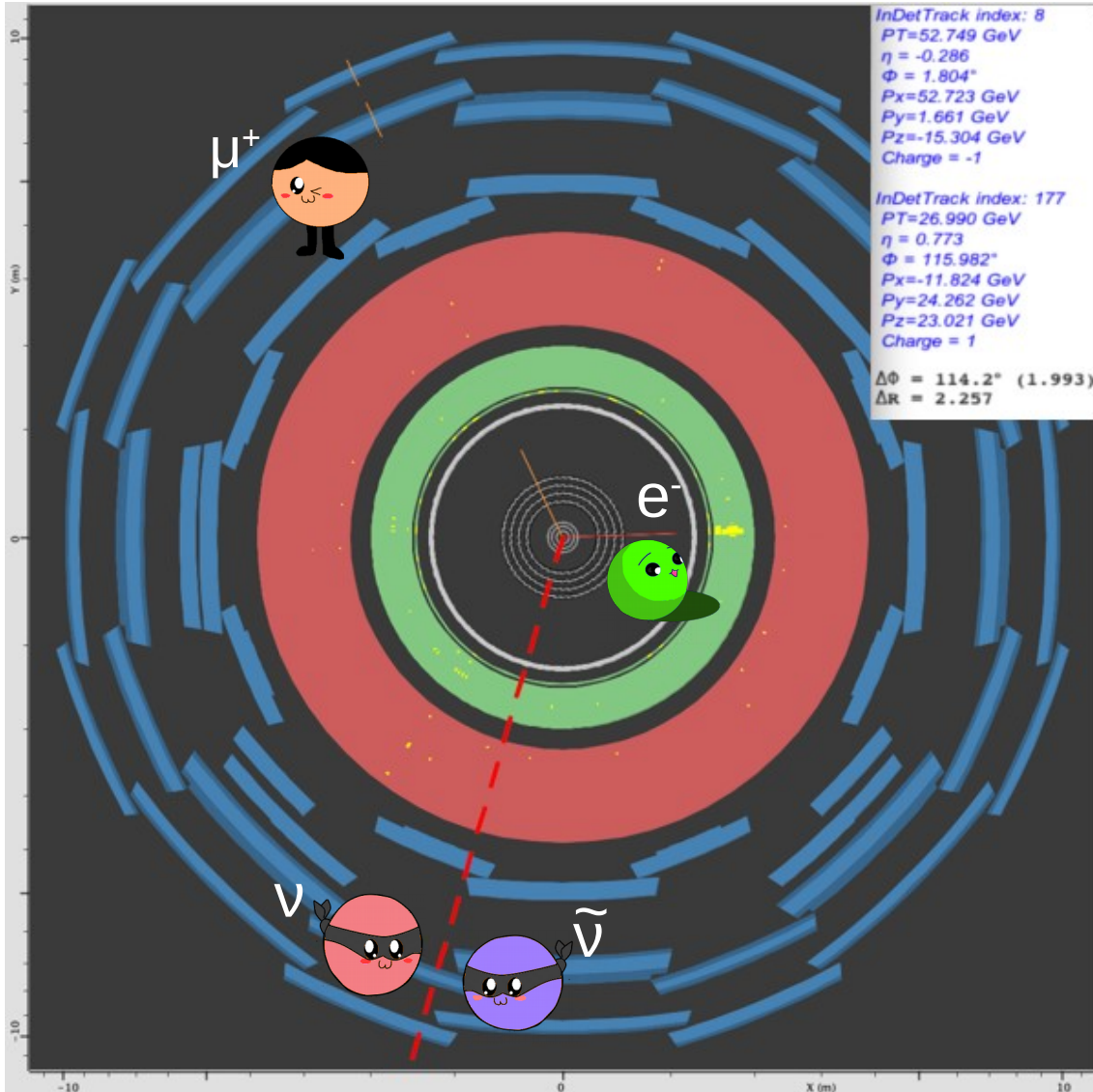


# ჰიგსის ნაწილაკის პოვნის მაგალითი



გვაქვს შემთხვევა:  
 $H \rightarrow WW \rightarrow e^- + \tilde{\nu} + \mu^+ + \nu$

# ჰიგსის ნაწილაკის პოვნის მაგალითი



გვაქვს შემთხვევა:  
 $H \rightarrow WW \rightarrow e^- + \tilde{\nu} + \mu^+ + \nu$

## შემთხვევების ამოცნობა: სავარჯიშო #2

- [http://atlas.physicsmasterclasses.org/en/wpath\\_exercise2.htm](http://atlas.physicsmasterclasses.org/en/wpath_exercise2.htm)

## პროტონის გამოკვლევა

- როდესაც პროტონებს ვაჭახებთ ერთმანეთს მაღალ ენერგიებზე, მათი შემადგენელი ნაწილაკები ურთიერთქმედებენ ერთმანეთთან (კვარკები, გლუონები).
- ეს საშუალებას გვაძლევს გამოვიკვლიოთ გარკვეული დასკვნები გავაკეთოთ პროტონის შედგენილობაზე, პროდუქტი ნაწილაკების მეშვეობით.
- ამისათვის ვაპირებთ ვიპოვნოთ და დავითვალოთ ყველა მოვლენა, სადაც წარმოიშვა  $W$  ნაწილაკები.

# აღმოვაჩინოთ პროტონის სტრუქტურა!

- შევარჩიოთ სიგნალის შემთხვევები (Signal events), ე.ი. შემთხვევები რომლებიც  $W$  ნაწილაკებს წარმოშობენ (50 შემთხვევიდან).
- მათთვის დავადგინოთ  $W$  ნაწილაკის მუხტი (? მუხტის შენახვის კანონით)
- ამის შემდეგ დავადგინოთ  $W^+$  და  $W^-$  ნაწილაკების ფარდობა:

$$R_{\pm} = N_{W^+}/N_{W^-}$$

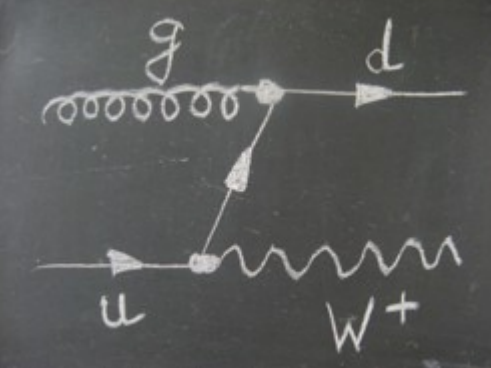
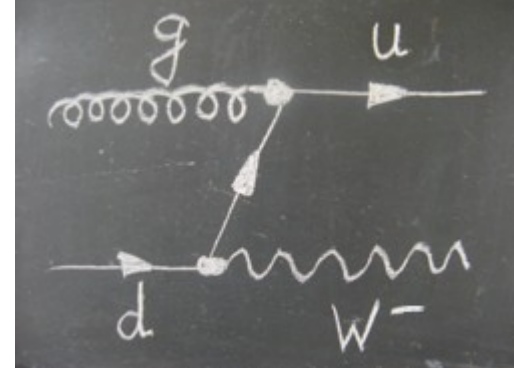
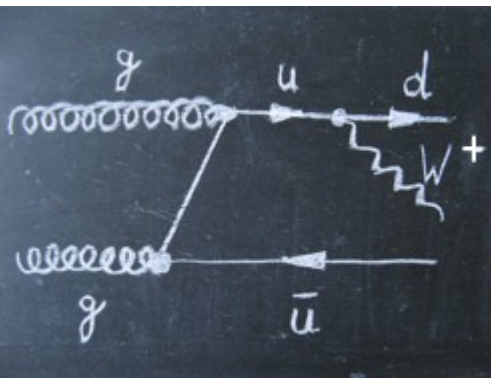
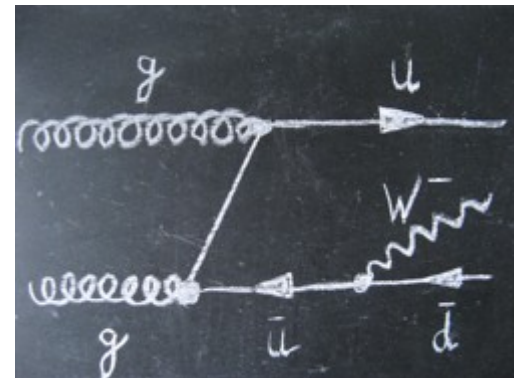


# აღმოვაჩინოთ პროტონის სტრუქტურა!

- და მაინც როგორ დაგვეხმარება პროტონის სტრუქტურის დადგენაში შემდეგი სიდიდის პოვნა:

$$R_{\pm} = N_{W^+}/N_{W^-} ???$$

- გავიხსენოთ რა პროცესებში იბადება  $W^+$  და  $W^-$

გლუონის კვარკთან ურთიერთქმედება			პროპორცია
გლუონის გლუონთან ურთიერთქმედება			66%
			34%

# აღმოვაჩინოთ პროტონის სტრუქტურა!

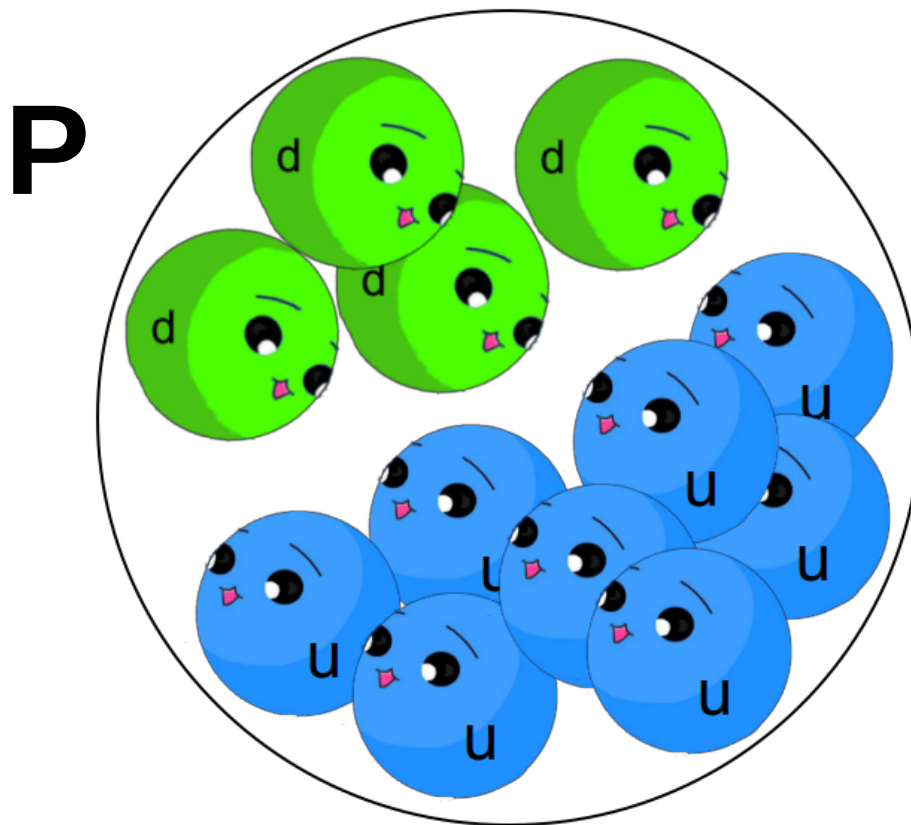
- ჩვენ დავითვლით  $R_{\pm} = N_{W+}/N_{W-}$  ფარდობას ორივე პროცესისთვის (გლუონის კვარკთან ურთიერთქმედებისთვის და გლუონის გლუონთან ურთიერთქმედებისთვის).
- მაგრამ თუ დავითვლით ამ სიდიეს მხოლოდ გლუონის კვარკთან ურთიერთქმედების პროცესისთვის, შევძლებთ პროტონის კვარკულ სტრუქტურაზე გარკვეული დასკვნების გამოტანას.
- კერძოდ  $W^+$  გლუონის  $u$  კვარკთან ურთიერთქმედების შედეგად წარმოიქმნება.
- $W^-$  გლუონის  $d$  კვარკთან ურთიერთქმედების შედეგად წარმოიქმნება.

**$R_{\pm} = N_{W+}/N_{W-}$  ფარდობა რა ინფორმაციას უნდა გვაძლევდეს ?**

# აღმოვაჩინოთ პროტონის სტრუქტურა!

პასუხი შემდეგია, რომელიც კითხვასავით ჟღერს:

**მეტია თუ არა პროტონში u კვარკების რაოდენობა d კვარკების რაოდენობაზე და რამდენჯერ?**



# რას გავაკეთებთ შემდეგ?

- ყოველ 2 თქვენგანს მოგეცემათ 50 შემთხვევა.
- უნდა დავადგინოთ შემთხვევაში გვაქვს მხოლოდ ერთი W ნაწილაკი, ორი სანინაალმდეგო მუხტის W ნაწილაკი, თუ გვაქვს ფონური შემთხვევა?
- ამაში დაგეხმარებათ დიაგრამა, რომელიც ყველას დაგირიგდებათ.
- WW შემთხვევის აღმოჩენის შემთხვევაში დავითვლით ლეპტონებს შორის კუთხეს (ორი ლეპტონის  $\phi$ -ს შორის სხვაობა) და ჩავინიშნავთ შემთხვევის ნომერს.
- დავთვლით  $R_{\pm} = N_{W+}/N_{W-}$ -ს.
- **ბოლოს შევაფასებთ მიღებულ შედეგებს!**

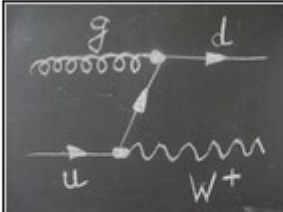
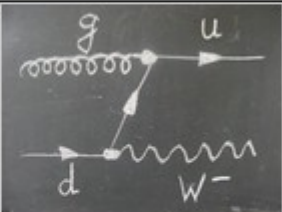
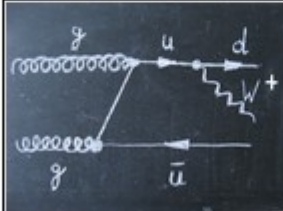
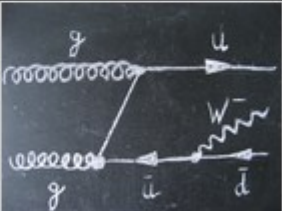
# რას გავაკეთებთ შემდეგ?

- ყოველ 2 თქვენგანს მოგეცემათ 50 შემთხვევა.
- უნდა დავადგინოთ შემთხვევაში გვაქვს მხოლოდ ერთი W ნაწილაკი, ორი სანინაალმდეგო მუხტის W ნაწილაკი, თუ გვაქვს ფონური შემთხვევა?
- ამაში დაგეხმარებათ დიაგრამა, რომელიც ყველას დაგირიგდებათ.
- WW შემთხვევის აღმოჩენის შემთხვევაში დავითვლით ლეპტონებს შორის კუთხეს (ორი ლეპტონის  $\varphi$ -ს შორის სხვაობა) და ჩავინიშნავთ შემთხვევის ნომერს.
- დავთვლით  $R_{\pm} = N_{W+}/N_{W-}$ -ს.
- **ბოლოს შევაფასებთ მიღებულ შედეგებს!**



# აღმოვაჩინოთ პროტონის სტრუქტურა!

- იმისათვის რომ ზემოთ ხსენებულ კითხვას გავცეთ პასუხი:
- ჩვენ დავითვლით  $R_{\pm} = N_{W^+}/N_{W^-}$  ფარდობას ორივე პროცესისთვის (კვარკთან ურთიერთქმედებისთვის და გლუონთან ურთიერთქმედებისთვის).
- ვთქვათ ჩვენი გაზომვების შედეგ მივიღეთ რომ გვაქვს 55%  $W^+$  და 45%  $W^-$ .

ურთიერთქმედება	$W^+$	$W^-$	თეორია
კვარკ გლუონური			66%
გლუონურ გლუონური			34%
გაზომვა	55%	45%	100%

# აღმოვაჩინოთ პროტონის სტრუქტურა!

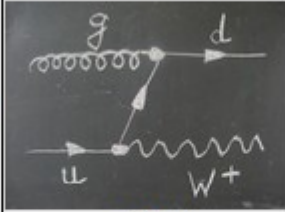
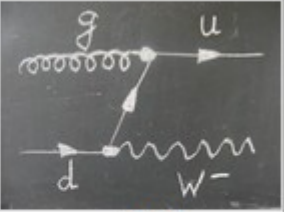
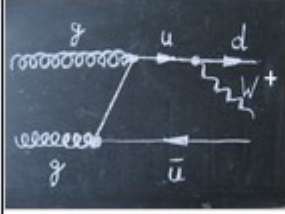
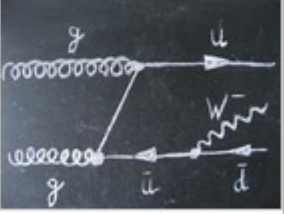
- გლუონურ გლუონურ ურთიერთქმედებაში  $W^+$  და  $W^-$  -ის დაბადება თანაბარალობათურია.

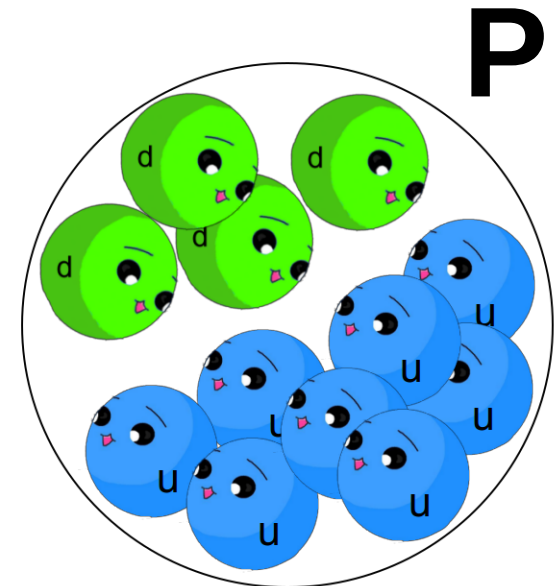
ურთიერთქმედება	$W^+$	$W^-$	თეორია
კვარკ გლუონური			66%
გლუონურ გლუონური	 : 17%	 : 17%	34%
გაზომვა	55%	45%	100%

- ორი ნაკლები მონაცემის შევსება იოლია რადგან ვიცით ჯამში რა უნდა მივიღოთ.

# აღმოვაჩინოთ პროტონის სტრუქტურა!

- შესაბამისად მივიღებთ რომ  $R^\pm$  -ის მნიშვნელობა კვარკ გლუონურ ურთიერთქმედებაში დაბადებული  $W^+$  და  $W^-$  -ისათვის ტოლია  $38/28 = 1.4$

ურთიერთქმედება	$W^+$	$W^-$	თეორია
კვარკ გლუონური	 : 38%	 : 28%	66%
გლუონურ გლუონური	 : 17%	 : 17%	34%
გაზომვა	55%	45%	100%



- საიდანაც ვასკვნით რომ u კვარკები მართლაც უფრო მეტია პროტონში ვიდრე d კვარკები.