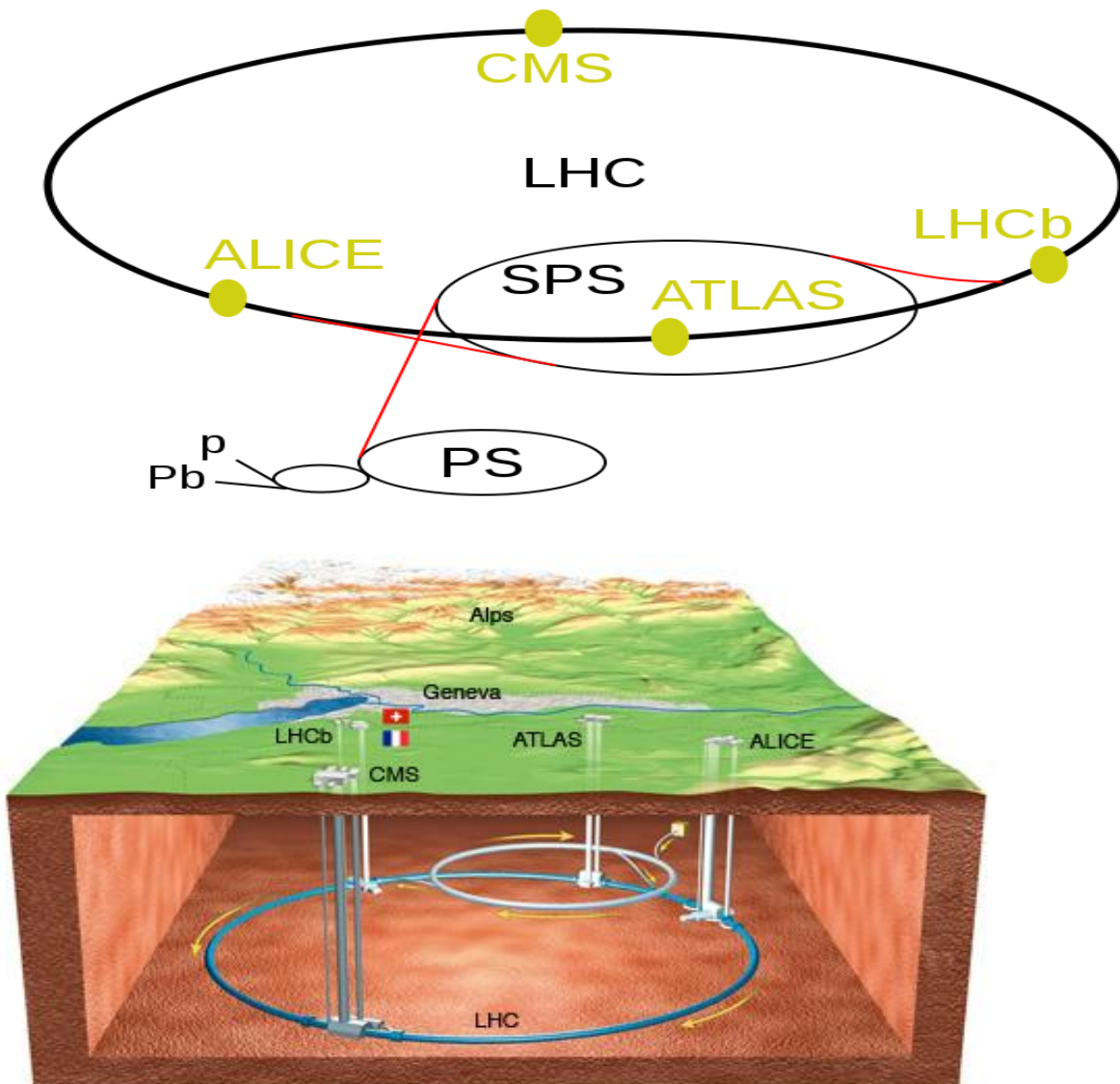




## LHCb ექსპერიმენტის მიზანი:

„მძიმე არომატიანი“ (c და b კვარკების შემცველი) ნაწილაკების იშვიათი დაშლების და CP-დარღვევის შესწავლა.



## სად გაქრა ანტიმატერია?

დღეისთვის სამყაროს ჩვენთვის ცნობილ ნაწილში მხოლოდ ნივთიერებაა.

საწყის ეტაპზე ნივთიერება და ანტინივთიერება ტოლი რაოდენობით უნდა ყოფილიყო

$$N_{\text{ბარიონები}} / N_{\text{ფოტონები}} \cong 6 \cdot 10^{-10}$$

### ა. სახაროვი (1966)

ბარიონ/ანტიბარიონების ასიმეტრიის ასახსნელად აუცილებლად საჭიროა C და CP-სიმეტრიების დარღვევა.

## სიმეტრიები და შენახვის კანონები

### ემი ნოეტერი (1918)

ფიზიკური სისტემის ყოველ უწყვეტ სიმეტრიას გარკვეული შენახვის კანონი შეესაბამება (ე.წ. ნოეტერის I თეორემა).

დროის ტრანსლაციური სიმეტრია (დროის ერთგვაროვნება) → ენერჯიის შენახვა;

სივრცის ტრანსლაციური სიმეტრია (სივრცის ერთგვაროვნება) → იმპულსის შენახვის;

სივრცის იზოტროპულობა → ბრუნვის მომენტის შენახვა;

ყალიბრული სიმეტრია → ელექტრული მუხტის შენახვა.

### დისკრეტული სიმეტრიები

**P**-სიმეტრია (სარკული სიმეტრია, ლუწობა) –

$$\mathbf{r} \rightarrow -\mathbf{r} \quad (x, y, z \rightarrow -x, -y, -z).$$

**t**-სიმეტრია (დროის მიმართულების შეცვლა) –  $\mathbf{t} \rightarrow -\mathbf{t}$ .

**C**-სიმეტრია (მუხტის ნიშნის შეცვლა) –  $\mathbf{Q} \rightarrow -\mathbf{Q}$ .

სიდიდე	$P$	$C$	$T$
სივრცული ვექტორი $r$	$-r$	$r$	$r$
დრო $t$	$t$	$t$	$-t$
იმპულსი $p$	$-p$	$p$	$-p$
სპინი $s$	$s$	$s$	$-s$
ელექტრული ველი $E$	$-E$	$-E$	$E$
მაგნიტური ველი $B$	$B$	$-B$	$-B$

ელექტრომაგნიტურ და ძლიერ ურთიერთქმედებაში  $C, P, T$  სიმეტრიები ინახება.

1951 – ველის კვანტურ თეორია აუცილებლად ითხოვს  $CPT$  სიმეტრიის შენახვას.

შედეგი: ნაწილაკებს და ანტინაწილაკებს უნდა ჰქონდეთ ერთნაირი სიცოცხლის ხანგრძლივობა, ტოლი მაგნიტური მომენტები, სიდიდით ტოლი და ნიშნით საწინააღმდეგო კვანტური რიცხვები.

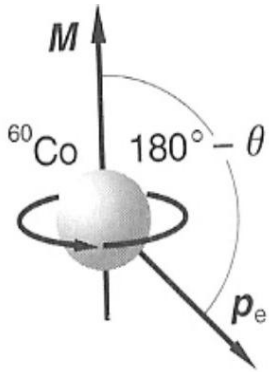
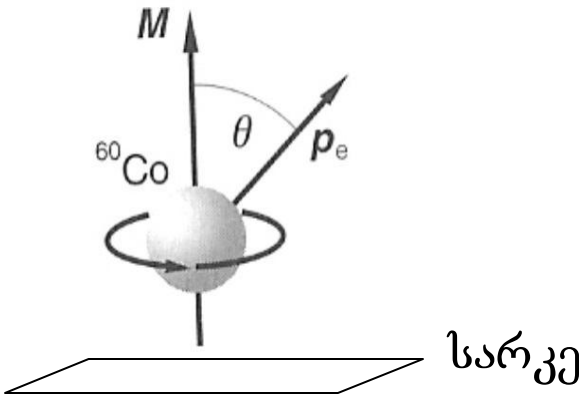
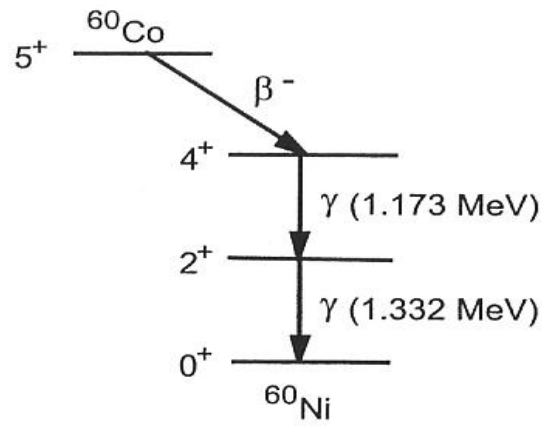
Θ-τ გამოცანა: ორივე ნაწილაკის ყველა მახასიათებელი იდენტურია გარდა ერთისა – დაშლის შედეგად მიღებულ სისტემათა ლუწობები განსხვავდება. Θ-τ მოგვიანებით გაიგივებულ იქნა ნეიტრალურ K-მეზონებთან

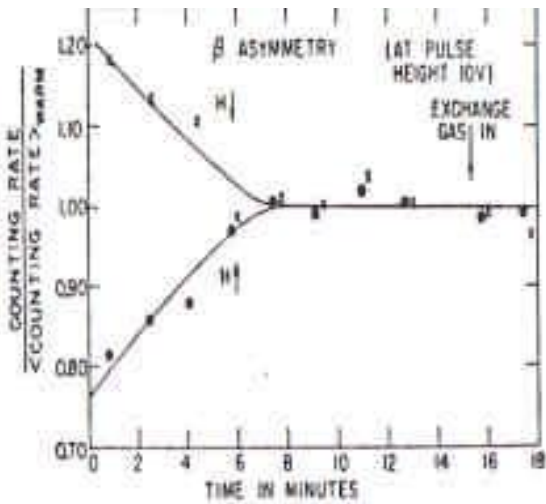
1956 – **ლი და იანგი**: სუსტ ურთიერთქმედებაში ლუწობის შენახვის კანონი აქამდე ექსპერიმენტულად არ შემოწმებულა. შეიძლება არ ინახება. რამოდენიმე შესაძლო ექსპერიმენტის სქემა.

*1957 წლამდე თვლიდნენ, რომ P სიმეტრიაც ბუნებაში (“ფიზიკის ნაწილში”) ინახებოდა.*

## Wu-Experiment







ფერმიონები –  $S = 1/2, 3/2,$  ბოზონები –  $S = 0, 1, 2,$

ფერმიონი სპინით  $S = 1/2$  – სპინის ორი შესაძლო მიმართულება (სპინი მიმართულია იმპულსის გასწვრივ, ან იმპულსის საწინააღმდეგოდ).

სპინი და იმპულსი პარალელურია – მარჯვენა კირალობა (მარჯვენა ბურღი).

სპინი და იმპულსი ანტიპარალელურია – მარცხენა კირალობა (მარცხენა ბურღი).

უმასო ნაწილაკებისთვის კირალობა შენახვადი კვანტური რიცხვია.

რაც უფრო მცირეა ნაწილაკის მასა, მით უფრო “კარგი” კვანტური რიცხვია კირალობა.

ბუნება უპირატესობას ანიჭებს მარცხენა კირალობის ლეპტონებს და მარჯვენა კირალობის ანტილეპტონებს!

ნეიტრინოს მასა  $M_\nu \approx 0 \rightarrow$  არსებობენ მხოლოდ “მარცხენა ნეიტრინოები” და “მარჯვენა” ანტინეიტრინოები.

შესაბამისად ლუწობა სუსტ ურთიერთქმედებაში (ნეიტრინო მონაწილეობს) მაქსიმალურადაა დარღვეული.

სუსტ ურთიერთქმედებს შეუძლია გააკეთოს  $K^0 \leftrightarrow$  ანტი $K^0$  გადასვლები. შედეგად გვაქვს ნაწილაკ-ანტინაწილაკის ორი ნეიტრალური “ნარევი”  $K_1 \rightarrow 2\pi$  და  $K_2 3\pi$ .

1957 – **ლ. დ. ლანდაუ**: CP-ლუწობა.

CP ინახება  $K_1 \rightarrow 2\pi$  და  $K_2 \rightarrow 3\pi$  პროცესებში.

1964 – **კრონინი და ფიტჩი**: CP ირღვევა  $K_L$  დაშლისას.



დარღვევა ძალიან მცირეა –  $2.24 \times 10^{-3}$ .  $K^0 \leftrightarrow$  ანტი $K^0$   
გადასვლა ორივე მიმართულებით ერთნაირი ალბათობით  
არ ხდება.

**ბუნება ანსხვავებს ნივთიერებას და ანტინივთიერებას!**

**Three Generations  
of Matter (Fermions)**

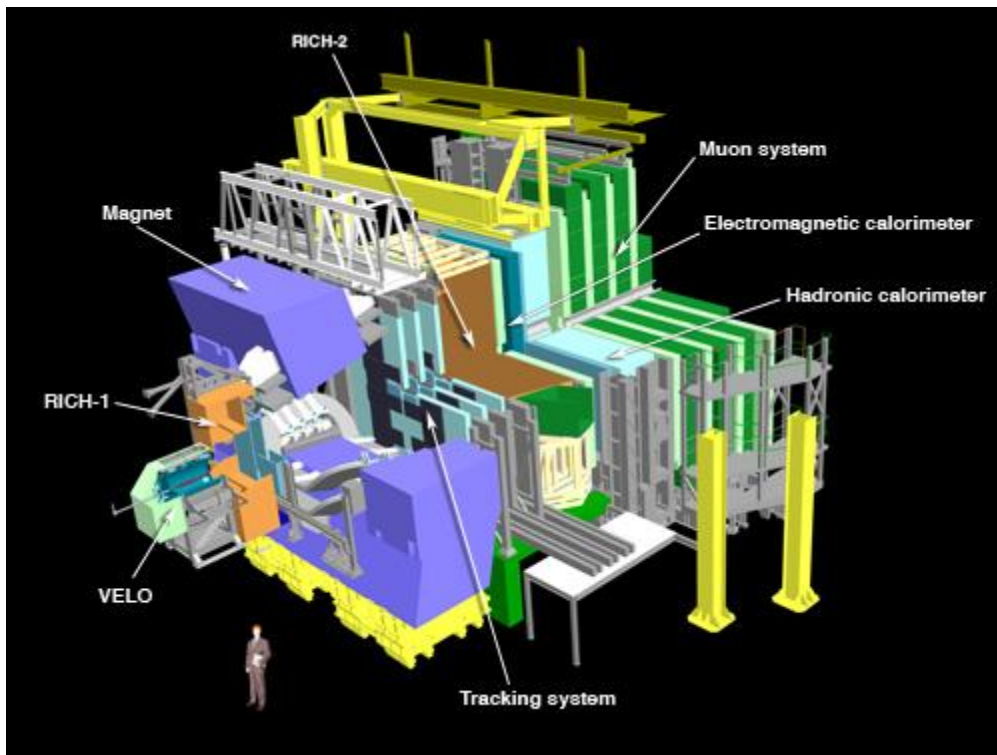
	I	II	III	
mass →	2.4 MeV/c <sup>2</sup>	1.27 GeV/c <sup>2</sup>	171.2 GeV/c <sup>2</sup>	0
charge →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
name →	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	<b>γ</b> photon
Quarks	4.8 MeV/c <sup>2</sup>	104 MeV/c <sup>2</sup>	4.2 GeV/c <sup>2</sup>	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom	<b>g</b> gluon
Leptons	<2.2 eV/c <sup>2</sup>	<0.17 MeV/c <sup>2</sup>	<15.5 MeV/c <sup>2</sup>	91.2 GeV/c <sup>2</sup>
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	<b>ν<sub>e</sub></b> electron neutrino	<b>ν<sub>μ</sub></b> muon neutrino	<b>ν<sub>τ</sub></b> tau neutrino	<b>Z<sup>0</sup></b> Z boson
	0.511 MeV/c <sup>2</sup>	105.7 MeV/c <sup>2</sup>	1.777 GeV/c <sup>2</sup>	80.4 GeV/c <sup>2</sup>
	-1	-1	-1	±1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	<b>e</b> electron	<b>μ</b> muon	<b>τ</b> tau	<b>W<sup>±</sup></b> W boson
				Gauge Bosons

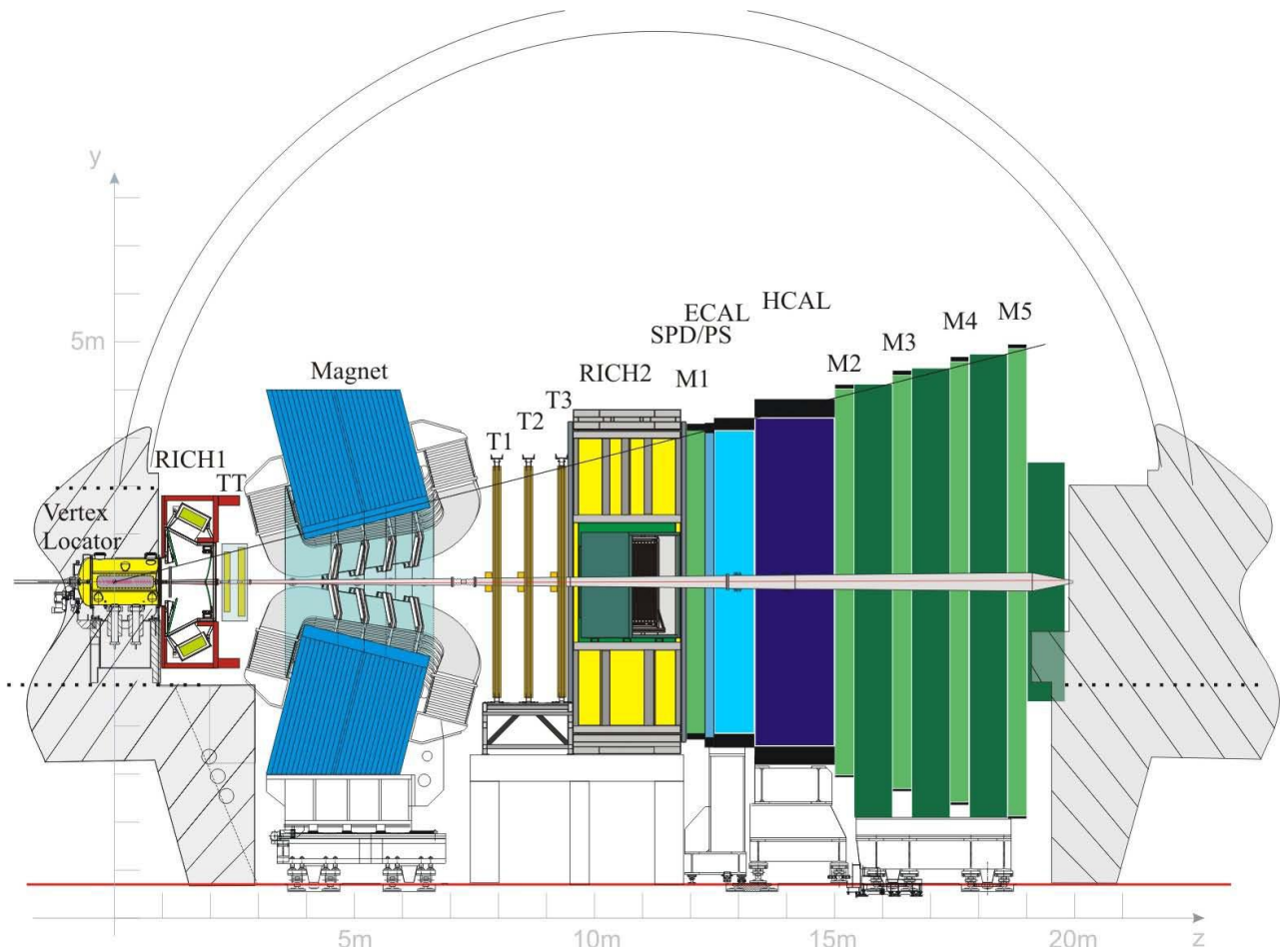
დანადგარი სპეციალურადაა შექმნილი B-ჰადრონების შესასწავლად – წარმოადგენს ცალმხრიან წინმიმართულ მაგნიტურ სპექტრომეტრს.

## დეტექტორის აქსეპტანსი:

ჰორიზონტალურად – 10-300 მილირადიანი.

ვერტიკალურად – 10-250 მილირადიანი.





**LHCb-ის ძირითადი უპირატესობა** – შეუძლია დიდი რაოდენობით მიიღოს ყველა სახის მძიმე არომატული ადრონები.

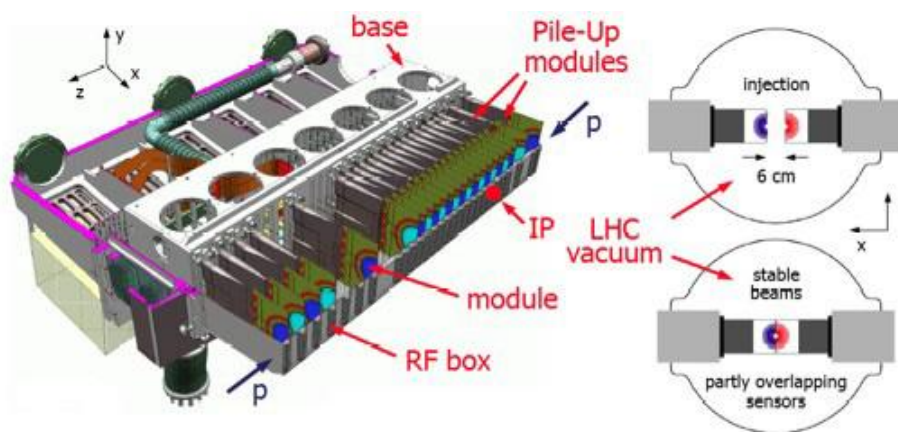
**pp ნაკადების შეჯახების სიხშირე (bunch crossing):**  
 20 მპს (ყოველ 25 ნანოწამში); დაგეგმილია 40 მპს-მდე გაზრდა.

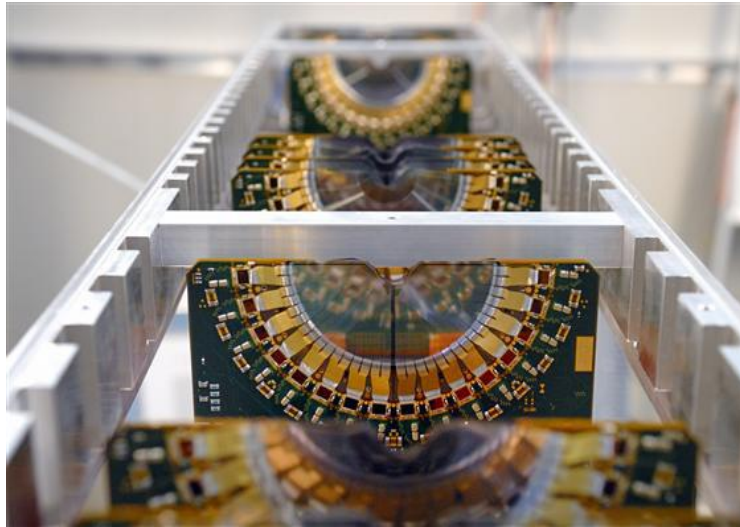
VELO – OT შუალედში გამოიყენება სპეციალური ბერილიუმის მილი.

## VELO (VERtexLocator)

PP-ურთიერთქმედებისას მიღებული B-ს გამოყოფა. ზომავს წარმოქმნის და დაშლის წერტილებს შორის მანძილს 10 მკმ სიზუსტით. .

პრობლემები: დიდი ფონი, სიცოცხლის მცირე ხანგრძლივობა, ნაკადთან ახლოს დაბადება.





ნახევარგამტარული დეტექტორია –სილიციუმის 42 ფირფიტისგან შესდგება. მოთავსებულია ვაკუუმში ნაკადიდან 7 მმ-ზე! შეუძლია ჰორიზონტალურად გადაადგილება. იხსნება ანალოგური სიგნალი 22000 ცალი სპილენძის კაბელით.

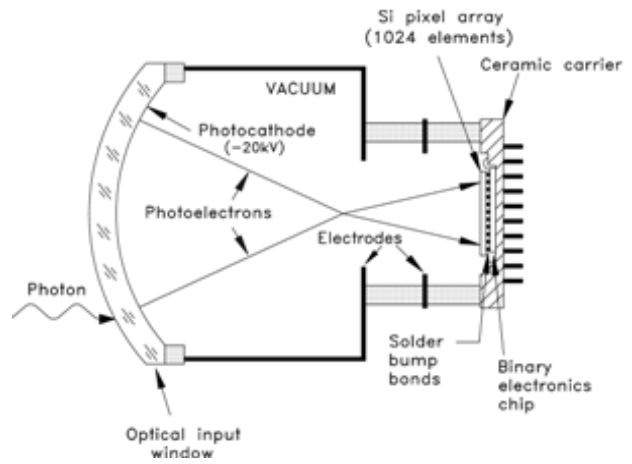
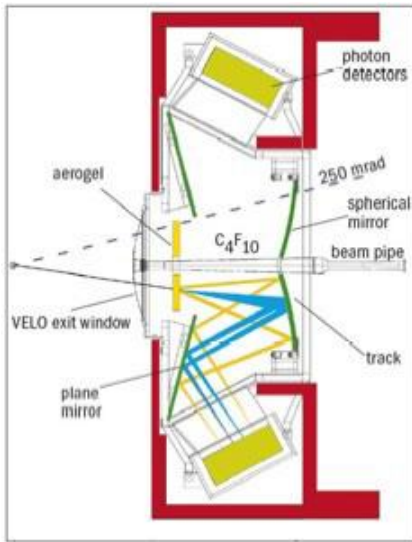
## **RICH** (Ring Imaging Cerenkov) დეტექტორი

გამოიყენება ნაწილაკის ტიპის დასადგენად. ორი ნაწილისგან შედგება; მოთავსებულია მაგნიტის ორივე მხარეს.

ჩერენკოვის გამოსხივებისგან მიღებული სინათლის რგოლების საშუალებით ხდება ნაწილაკის სიჩქარის განსაზღვრა. დამატებითი ინფორმაციის გამოყენებით (ტრეკი + მაგნიტში გადახრა) შეიძლება ნაწილაკის მასისა და მუხტის განსაზღვრა.

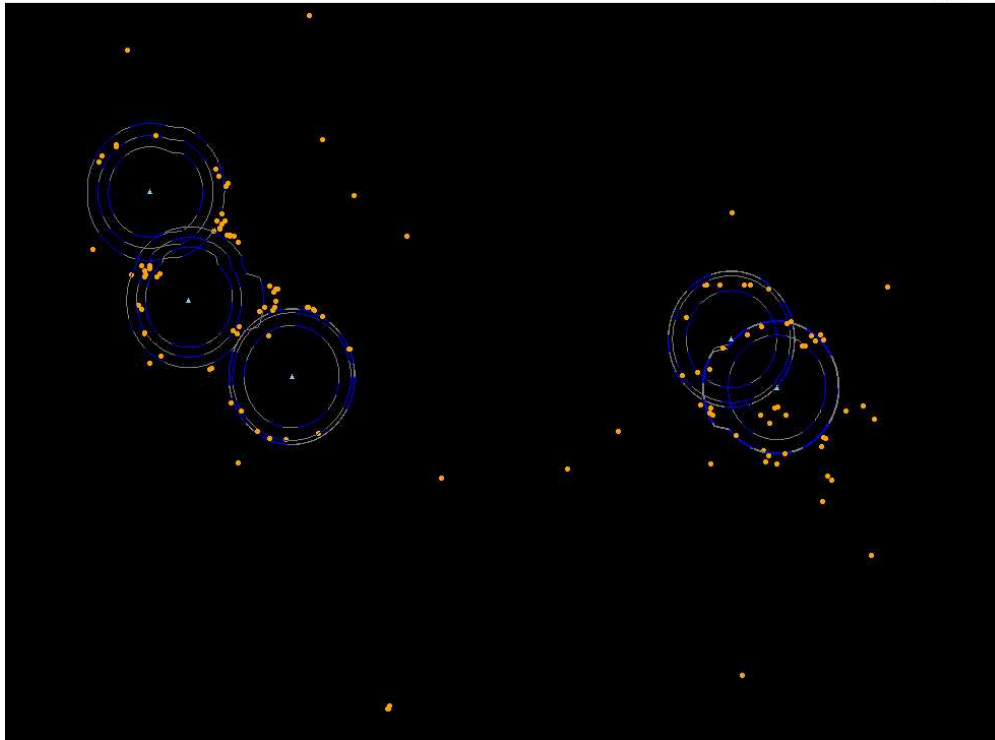
მუშაობს 1-150 გეე/C იმპულსების არეში.

ძალიან მნიშვნელოვანია ფონის ჩასახშობად და K-ს იდენტიფიცირებისთვის.



ჩერენკოვის გამოსხივება სარკეების საშუალებით ფოკუსირდება ჰიბრიდულ ფოტოდეტექტორზე. სულ გამოიყენება 484 ფოტოდეტექტორი.

### RICH2 HPD Panels with Pixels and CK Rings





## მაგნიტი

დამუხტული ნაწილაკების მაგნიტურ ველში გადახრით ხდება მუხტის ნიშნის და იმპულსის დადგენა.



გამოიყენება თბილი დიპოლური მაგნიტი.  $M=27\text{ტ}$ .

ჰორიზონტალურად –  $\pm 300$  მილირადიანი.

ვერტიკალურად –  $\pm 250$  მილირადიანი.

$7.5 \times 4.6 \times 2.5$  მ მოცულობის ჰომოგენური ველი.

## ტრეკული სისტემა

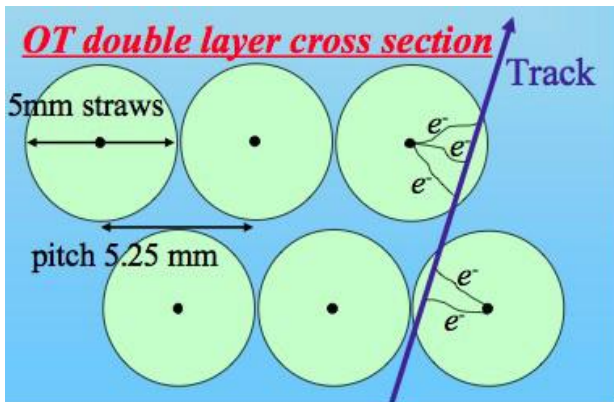
გამოიყენება დამუხტული ნაწილაკების მოძრაობის ტრაექტორიის დასადგენად.

ტრეკული სისტემა შესდგება 4 დიდი მართკუთხა სადგურისაგან. თითოეული სადგური დაახლოებით  $40\text{მ}^2$  გადაფარავს. ერთი მოთავსებულია მაგნიტის წინ, დანარჩენი სამი მაგნიტის შემდეგ.

*გამოიყენება ორი ტექნოლოგია.*

**Silicon Tracker:** გამოიყენება სილიციუმის მიკროსტრუქტურული დეტექტორი  $200\text{ მკმ}$  სტრუქტურით. მოთავსებულია უშალოდ ვაკუუმის მილთან. კოორდინატის გაზომვის სიზუსტე  $50\text{ მკმ-ს}$  შეადგენს. შეიცავს  $27000$  არხისგან.

**Outer Tracker:** გაზური დეტექტორია. გამოიყენება ე.წ. straw ტექნოლოგია. კოორდინატული სიზუსტე დაახლოებით  $200\text{ მკმ-ია}$ .



სტრუქტურა: (3 სადგური) x (4 ქვესადგური) x (2 სიბრტყე)  
x (9 მოდული) x (2 შრე) x (128 straw).

დაახლოებით 55000 არხი.

## კალორიმეტრები

ელექტრომაგნიტური – ელექტრონები და  $\gamma$ -კვანტები

ჰადრონული – კვარკიანი ნაწილაკებისთვის

სტრუქტურა მსგავსია – სცინტილატორის და ლითონის და ფირფიტების სენდვიჩი.

გამოიყენება ენერჯის და კოორდინატები გასაზომად, ასევე ტრიგერში.

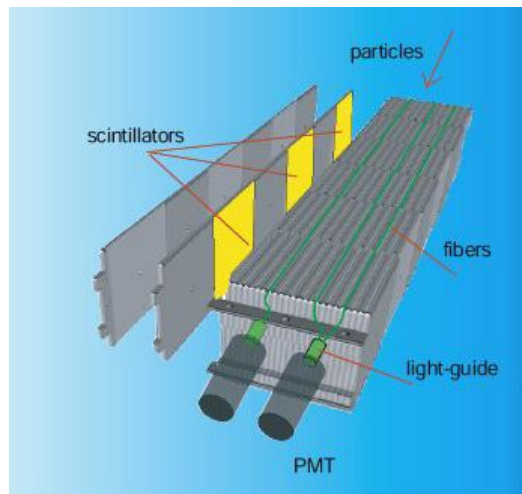
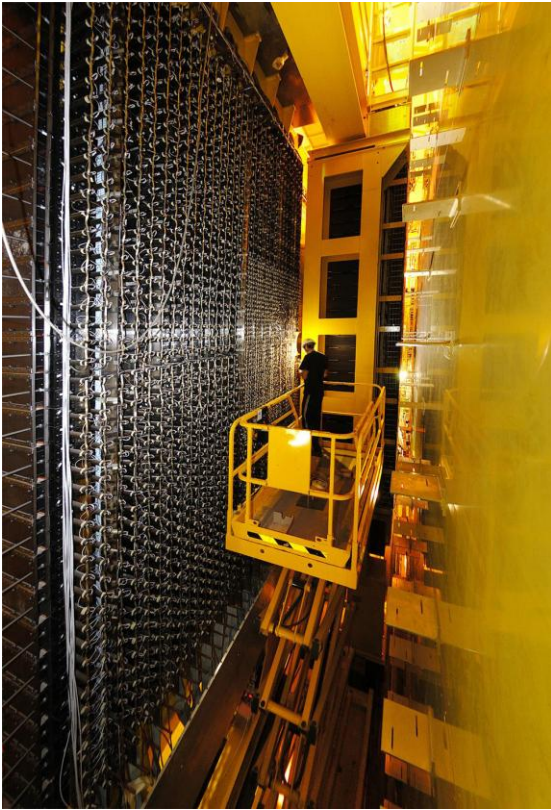
შედგება რამოდენმე შრისაგან:

სცინტილატორული ფირფიტებიანი დეტექტორი – **SPAD**

PreShower დეტექტორი – **PS**

Shashlik-ტიპის ელექტრომაგნიტური დეტექტორი – **ECAL**

ჰადრონული კალორიმეტრი – **HCAL**



**PS** და **SPAD** – 6000 ფირფიტა. **ECAL** –  $7.8 \times 6.3 \text{ მ}^2$ .  
**HCAL** – 500 ტონა.

## მიონური სისტემა

მიონების იდენტიფიკაცია და კოორდინატების გაზომვა. ტრიგერის უმნიშვნელოვანესი ნაწილია. ინფორმაცია ბინარულია.

შესდგება გაზური დეტექტორებისაგან –  
*მრავალმავთულიანი პროპორციული კამერები და სამშავი GEM-დეტექტორები.*

ფარავს 435 მ<sup>2</sup> და შეიცავს 12600 არხს.

# AntiMatter Searches: AMS

