

Elementarne čestice i detektori

Šejla Hadžić

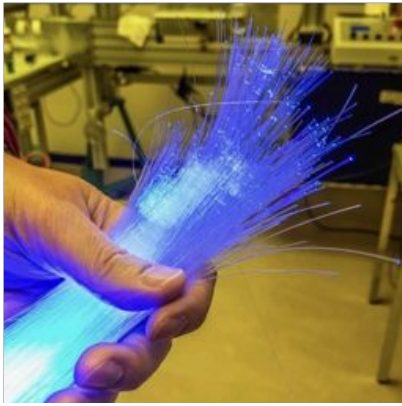


Bosnian Teacher Programme
4-8 February 2020

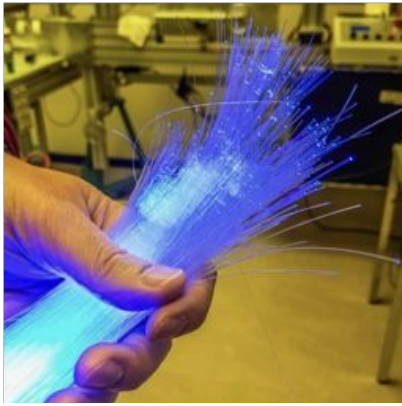


Max-Planck-Institut für Physik
(Werner-Heisenberg-Institut)

CERN 2016



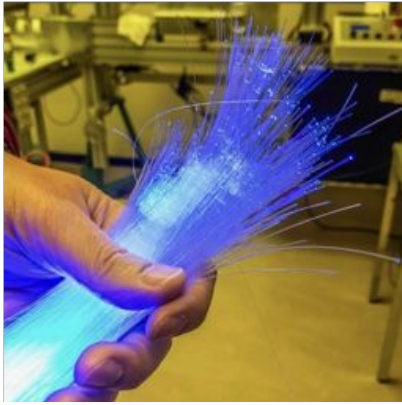
CERN 2016



Technical University Munich 2017

Master: Primijenjena i inženjerska fizika

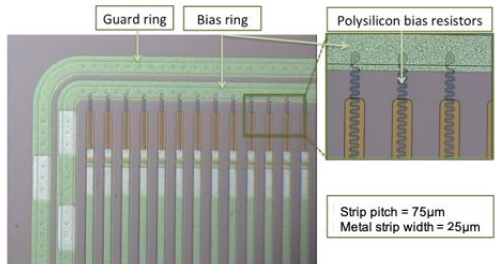
CERN 2016



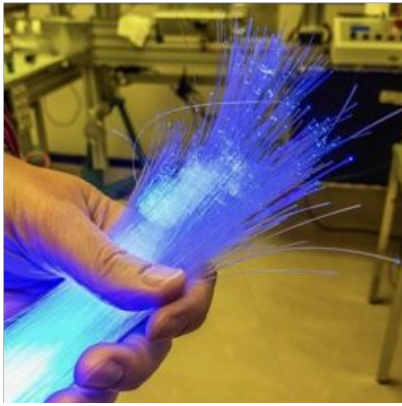
Technical University Munich 2017

Master: Primijenjena i inženjerska fizika

DESY 2018



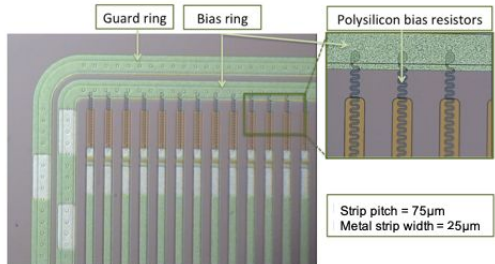
CERN 2016



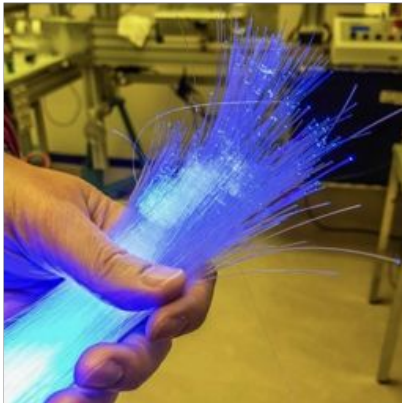
Technical University Munich 2017

Master: Primijenjena i inženjerska fizika

DESY 2018

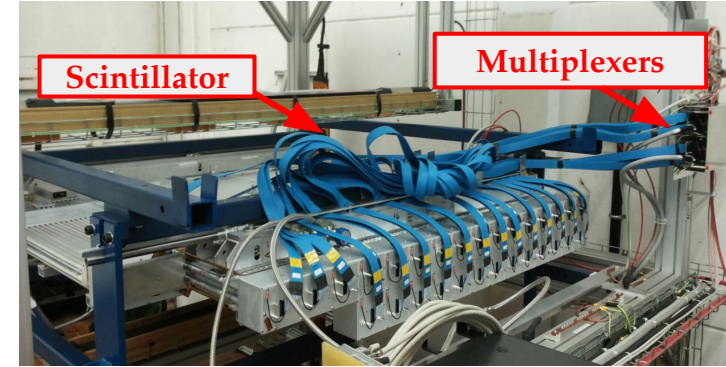


CERN 2016



ATLAS MDT

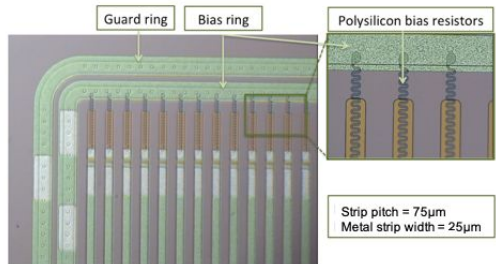
Master teza



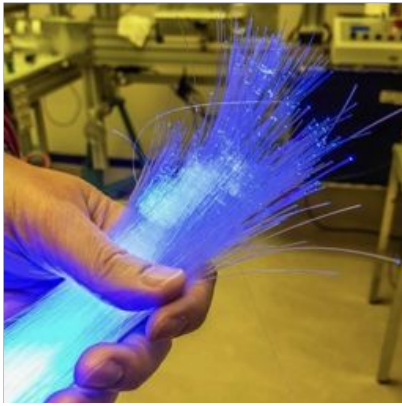
Technical University Munich 2017

Master: Primijenjena i inženjerska fizika

DESY 2018

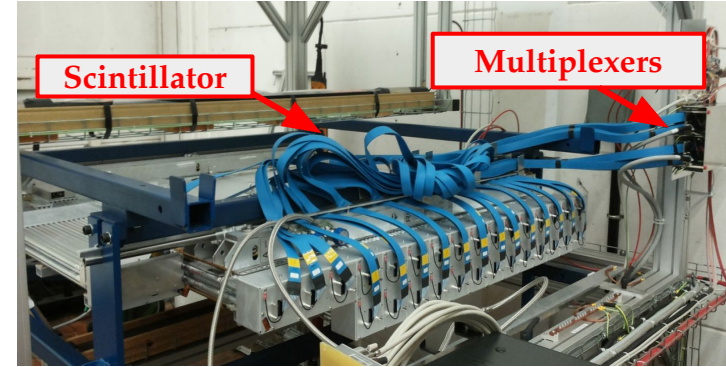


CERN 2016



ATLAS MDT

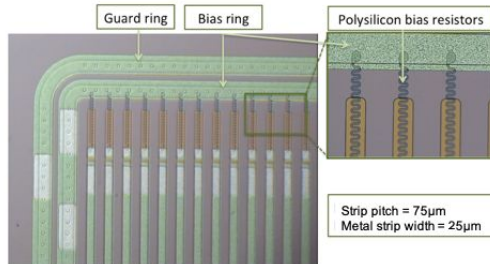
Master teza



Technical University Munich 2017

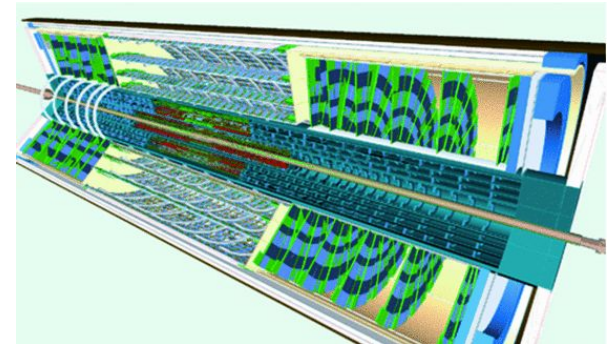
Master: Primijenjena i inženjerska fizika

DESY 2018



ATLAS ITk
Pixel Detector

PhD



UVOD

Čestice proizvedene u laboratorijama



Čestice proizvedene izvan Zemlje



UVOD

Čestice proizvedene u laboratorijama



Čestice proizvedene izvan Zemlje



- Osnovni model kružnog akceleratora
- Tipični model detektora
- Određivanje momenta čestice

UVOD

Čestice proizvedene u laboratorijama



- Osnovni model kružnog akceleratora
- Tipični model detektora
- Određivanje momenta čestice

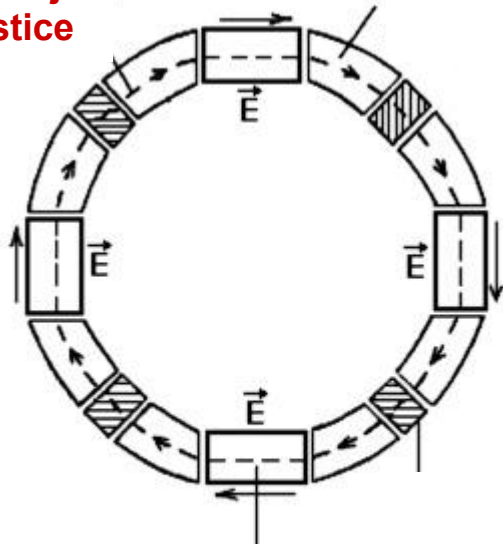
Čestice proizvedene izvan Zemlje



- Testiranje detektora kosmičkim zrakama

Osnovni model kružnog akceleratora

Putanja
čestice

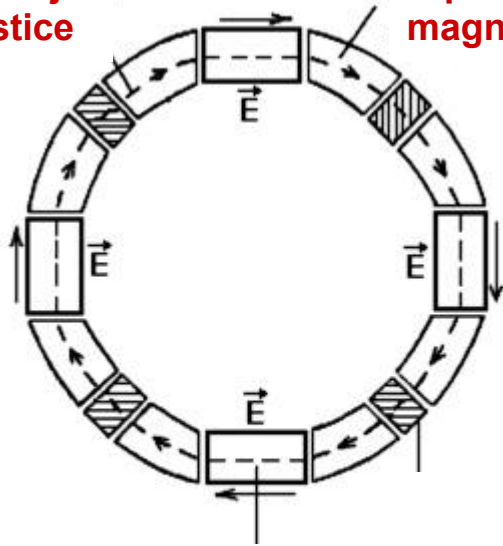


Električno polje za
ubrzavanje čestica

Osnovni model kružnog akceleratora

Putanja
čestice

Dipolni
magneti

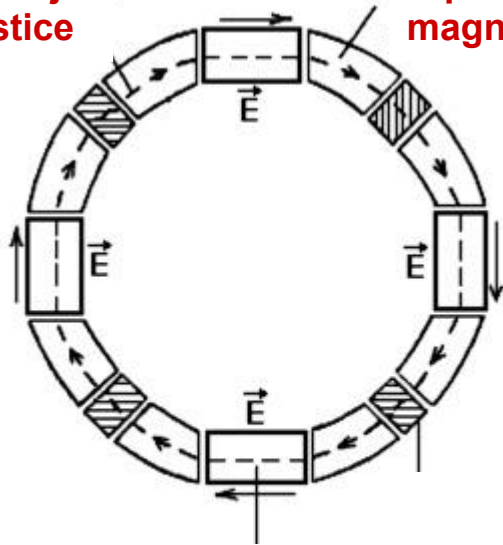


Električno polje za
ubrzavanje čestica

Osnovni model kružnog akceleratora

Putanja
čestice

Dipolni
magneti



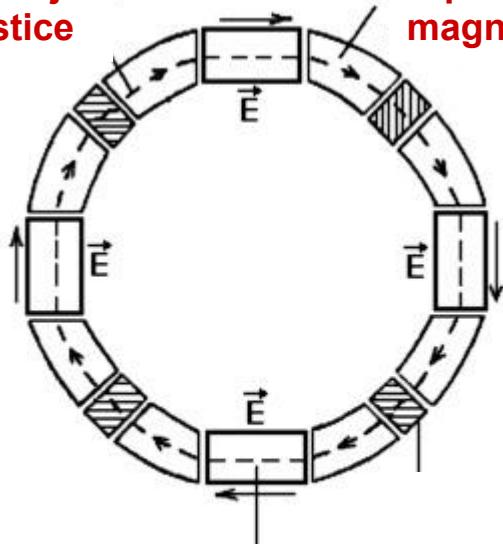
Električno polje za
ubrzanje čestica



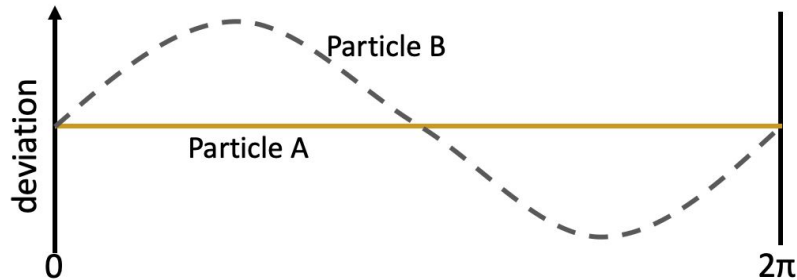
Osnovni model kružnog akceleratora

Putanja
čestice

Dipolni
magneti



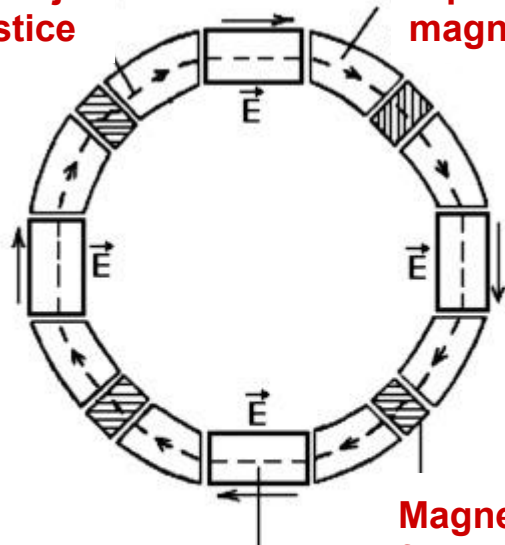
Električno polje za
ubrzanje čestica



Osnovni model kružnog akceleratora

Putanja
čestice

Dipolni
magneti



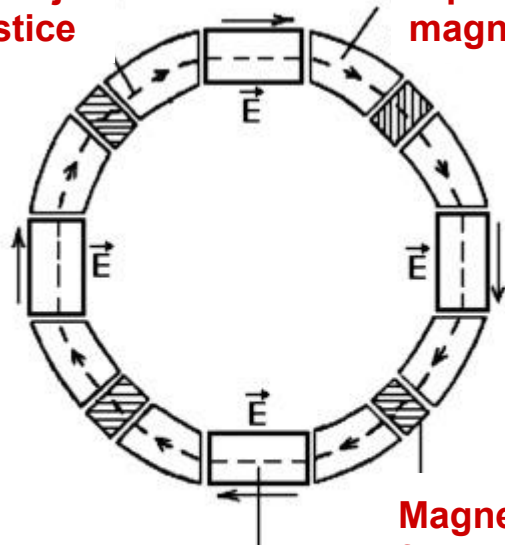
Električno polje za
ubrzavanje čestica

Magneti za
fokusiranje

Osnovni model kružnog akceleratora

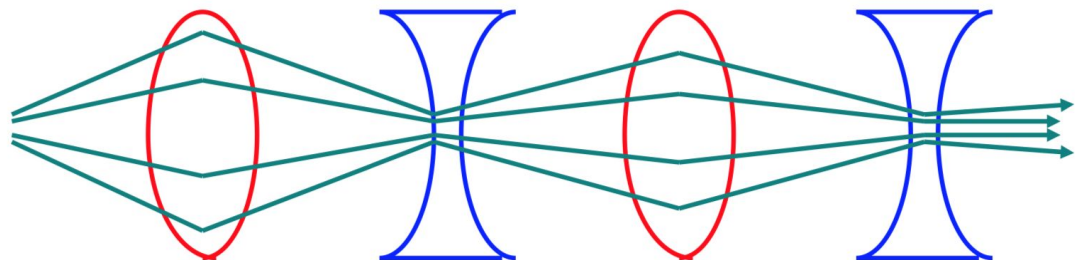
Putanja
čestice

Dipolni
magneti

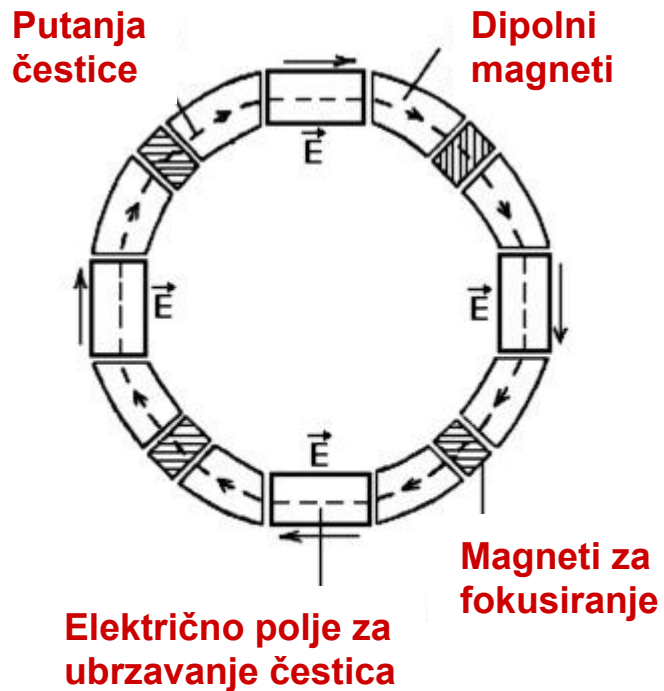


Električno polje za
ubrzavanje čestica

Magneti za
fokusiranje

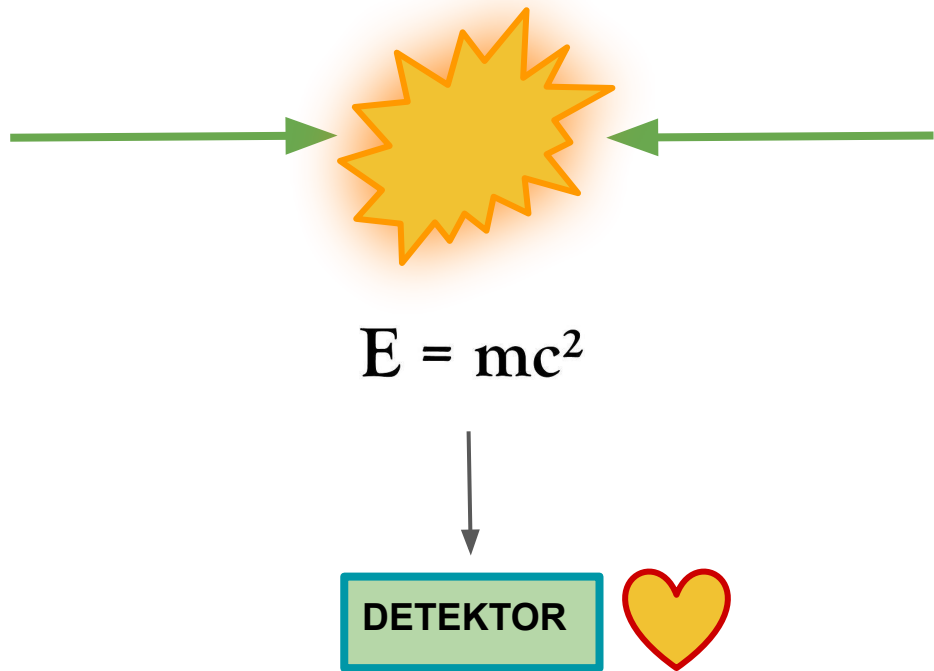
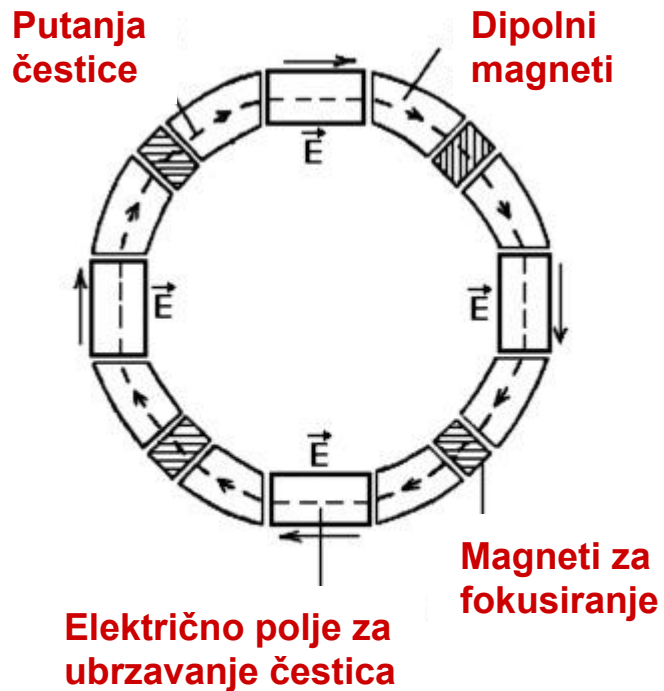


Osnovni model kružnog akceleratora

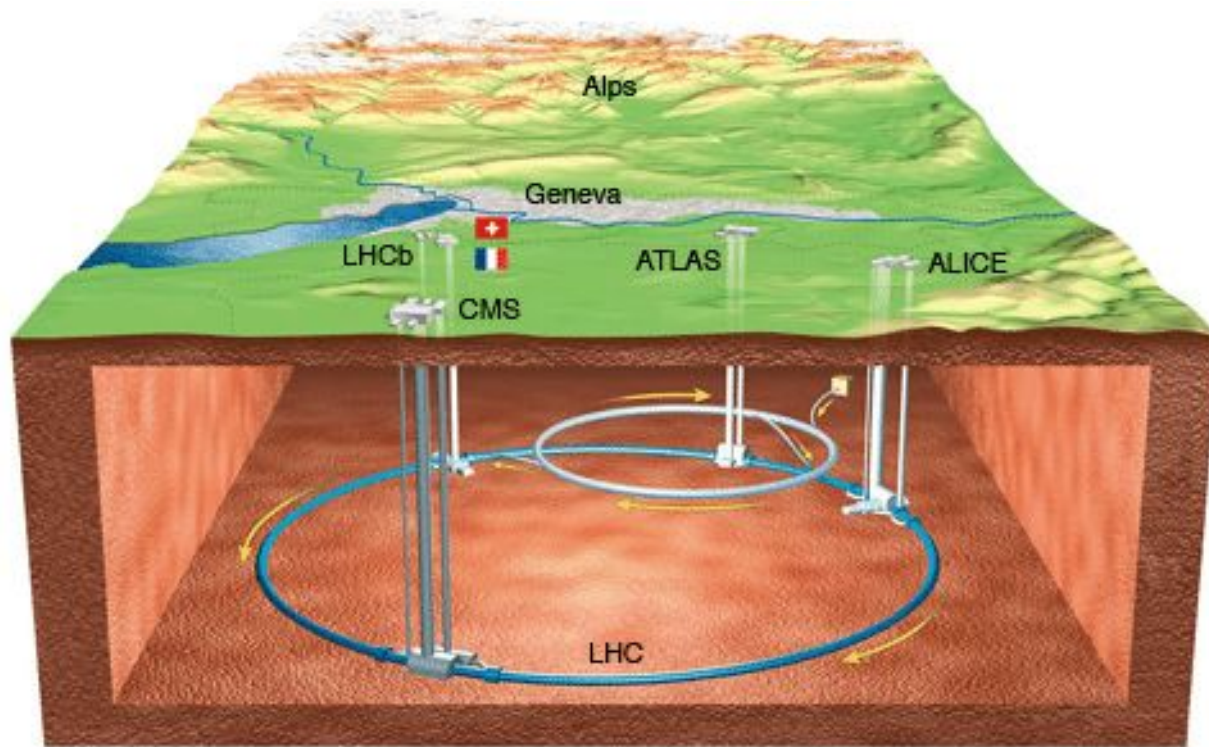


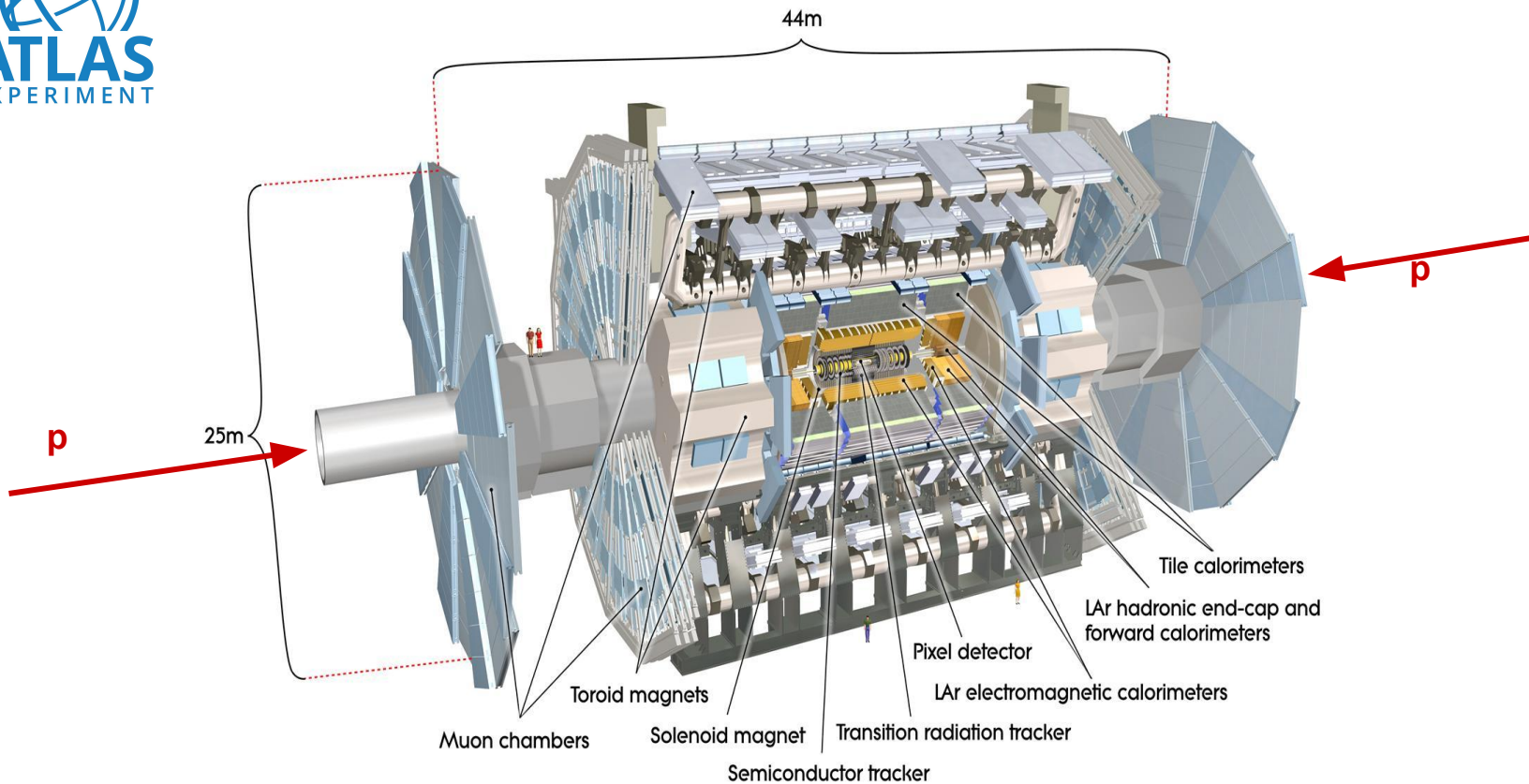
$$E = mc^2$$

Osnovni model kružnog akceleratora



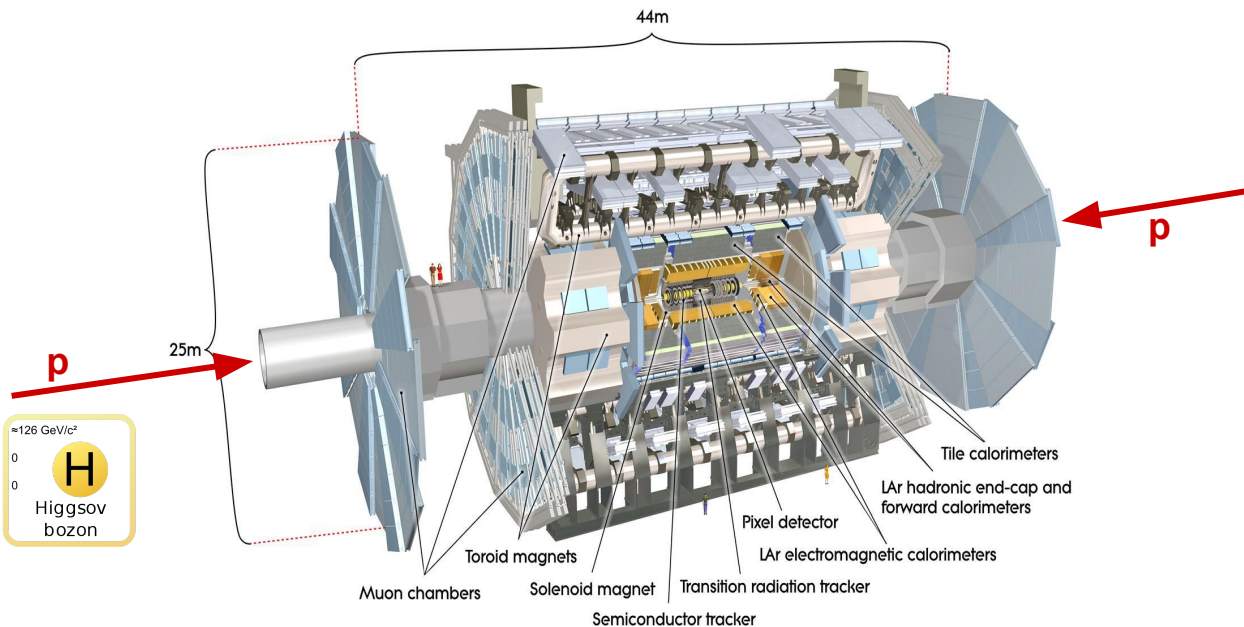
Osnovni model kružnog akceleratora





TRI GENERACIJE TVARI (fermioni):

	1	2	3		
masa →	≈2.3 MeV/c ²	≈1.275 GeV/c ²	≈173.07 GeV/c ²	0	≈126 GeV/c ²
naboj →	2/3	2/3	2/3	0	0
spin →	1/2	1/2	1/2	1	0
	u gore	c začarani	t vrh	g gluon	H Higgsov bozon
KVARKOVI					
	≈4.8 MeV/c ²	≈95 MeV/c ²	≈4.18 GeV/c ²	0	
	-1/3	-1/3	-1/3	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	d dolje	s čudni	b dno	γ foton	
	0.511 MeV/c ²	105.7 MeV/c ²	1.777 GeV/c ²	91.2 GeV/c ²	
	-1	-1	-1	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	e elektron	μ muon	τ tau	Z Z bozon	
LEPTONI					
	<2.2 eV/c ²	<0.17 MeV/c ²	<15.5 MeV/c ²	80.4 GeV/c ²	
	0	0	0	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	ν_e elektron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W bozon	



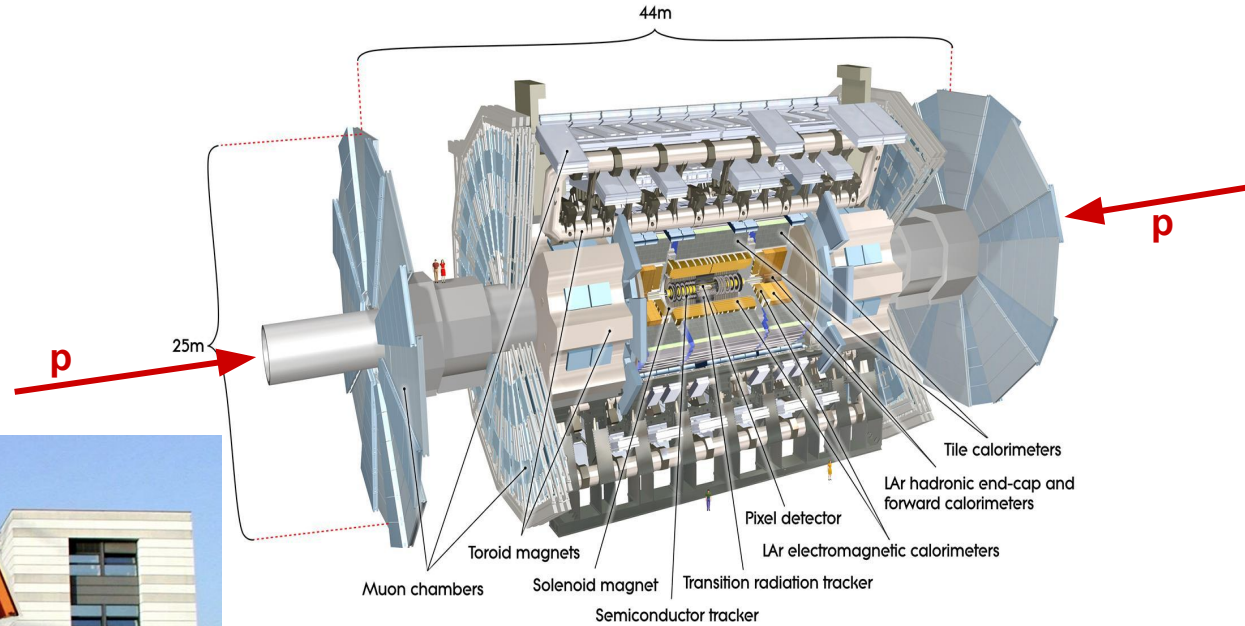
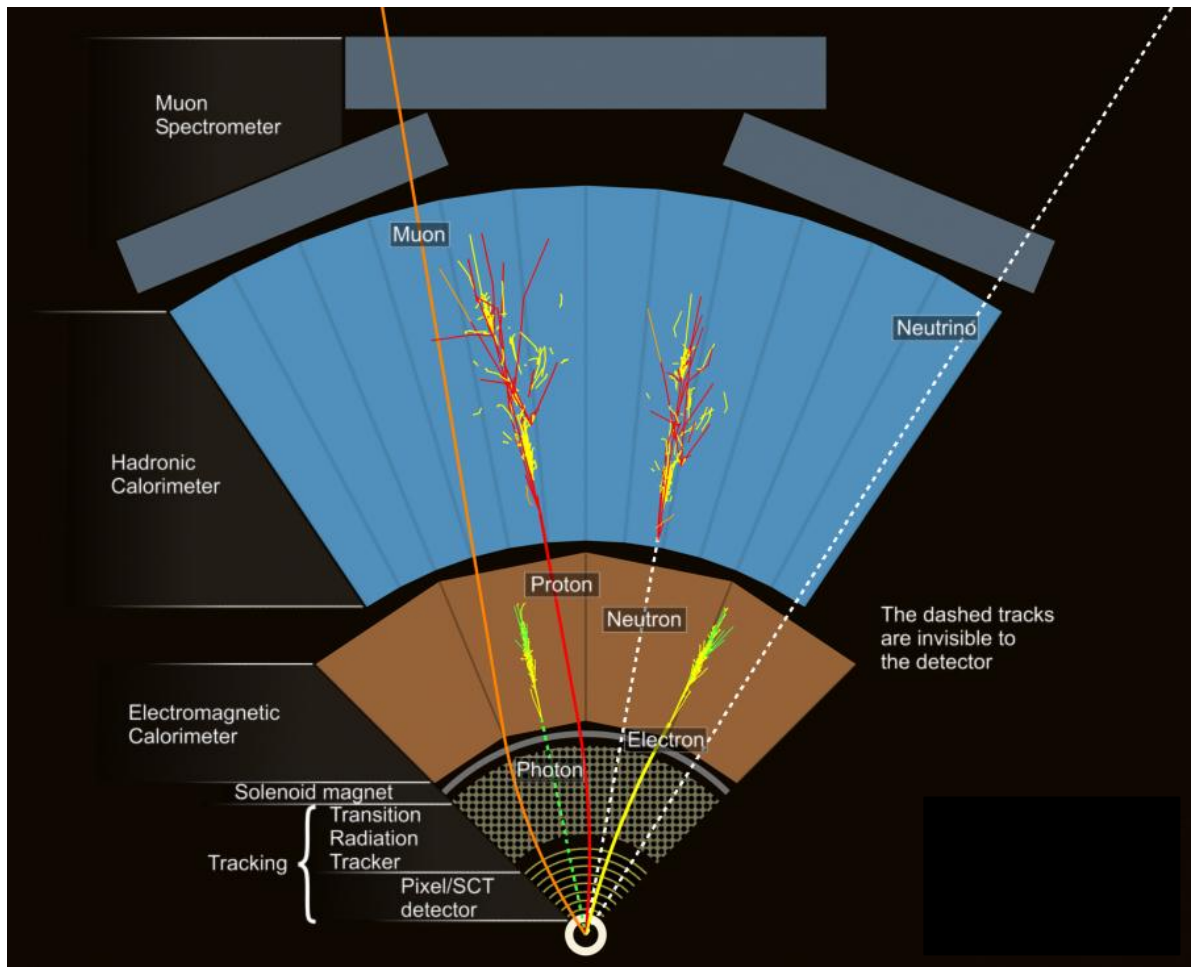
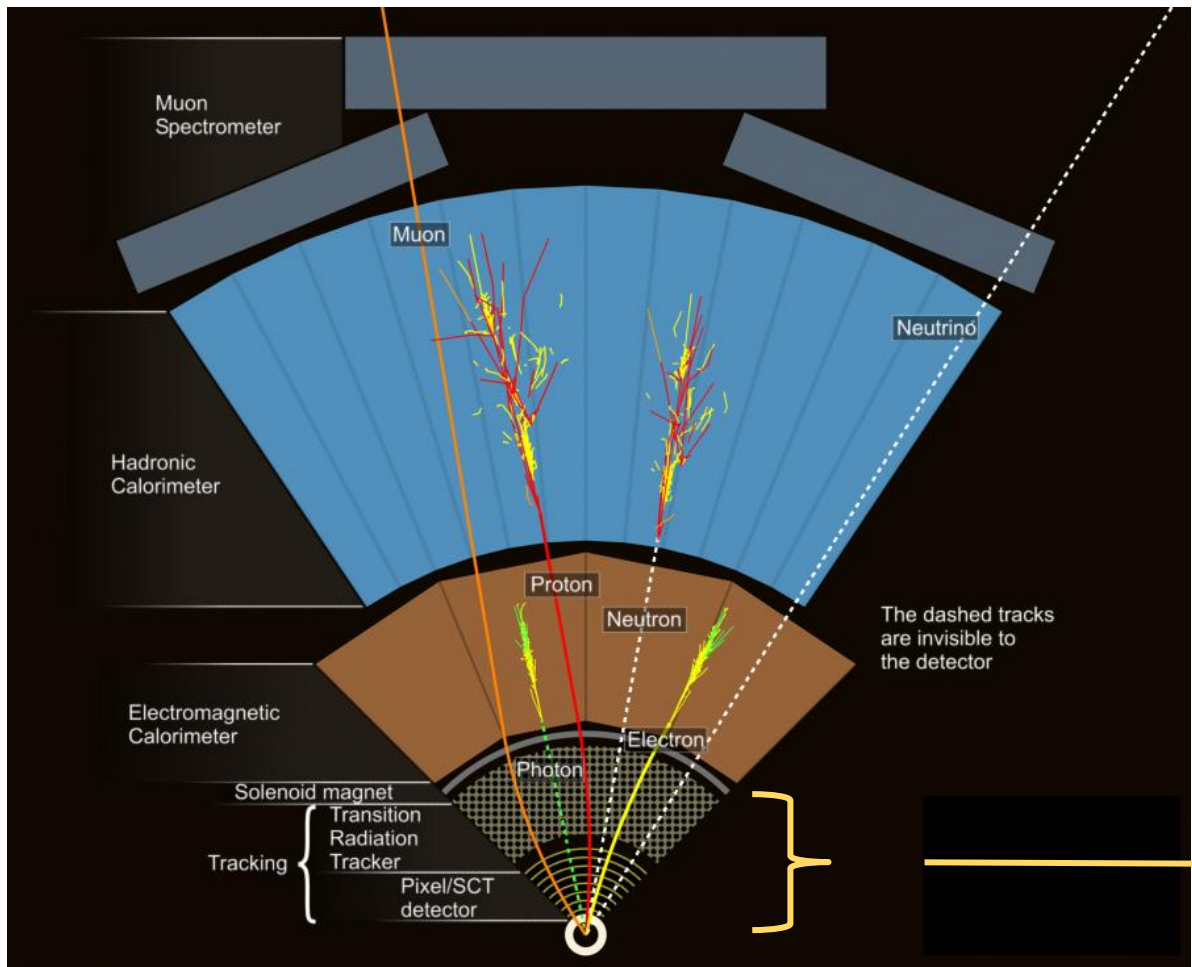
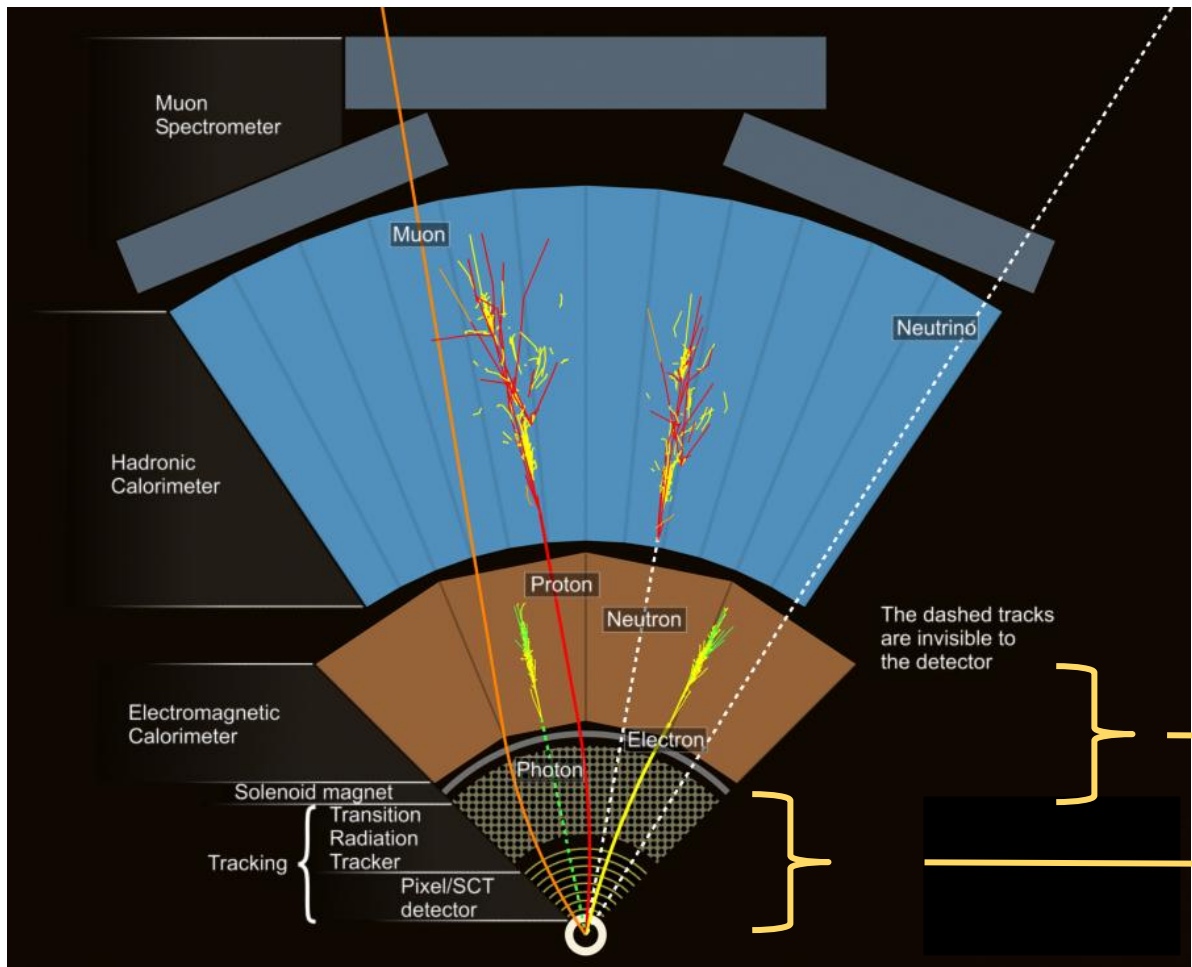


Image: Ingo Bloch, LHC1, DESY Summer Student Lectures 2018



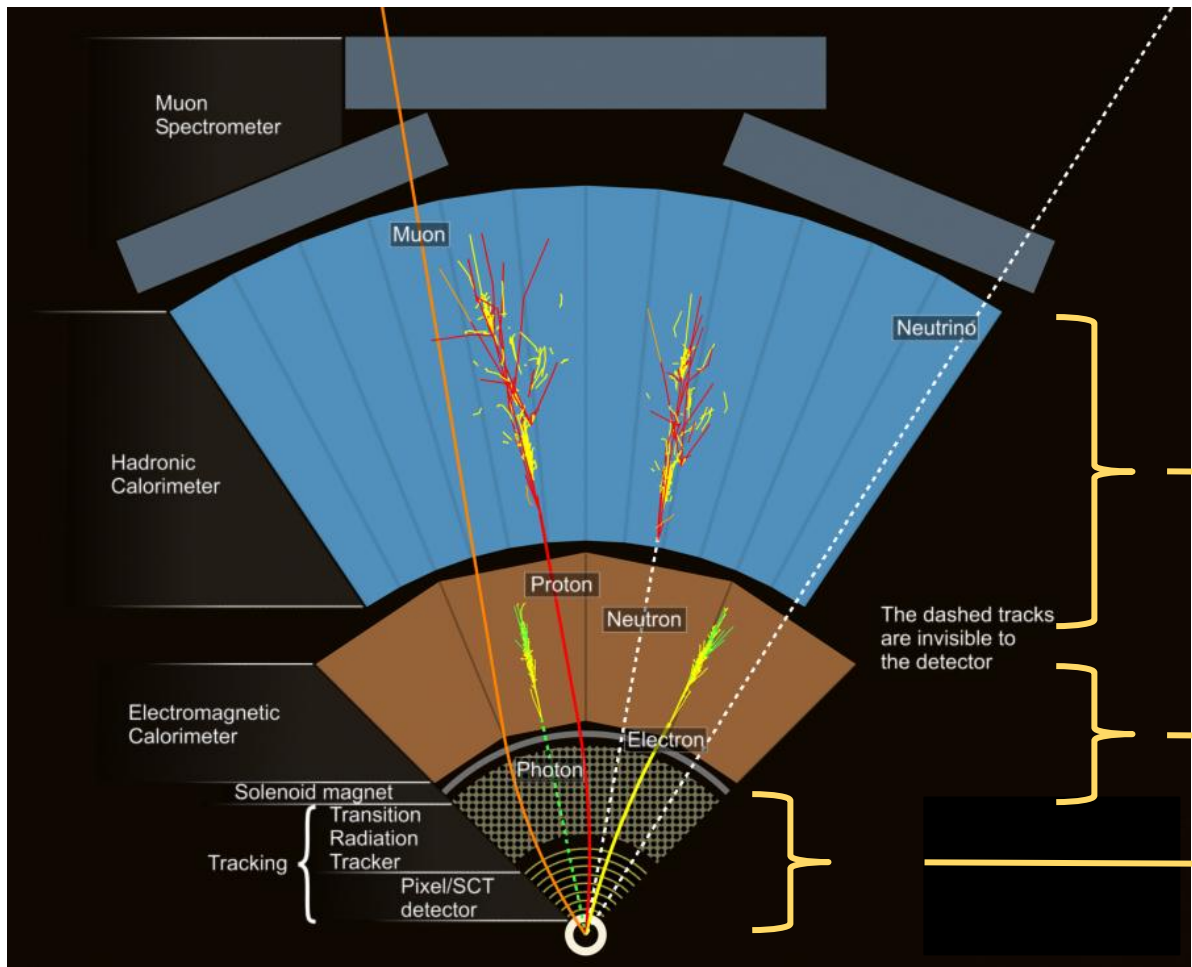


Detektor tragova
(p,q)



Elektromagnetski kalorimetar
Energija elektrona/pozitrona i fotona

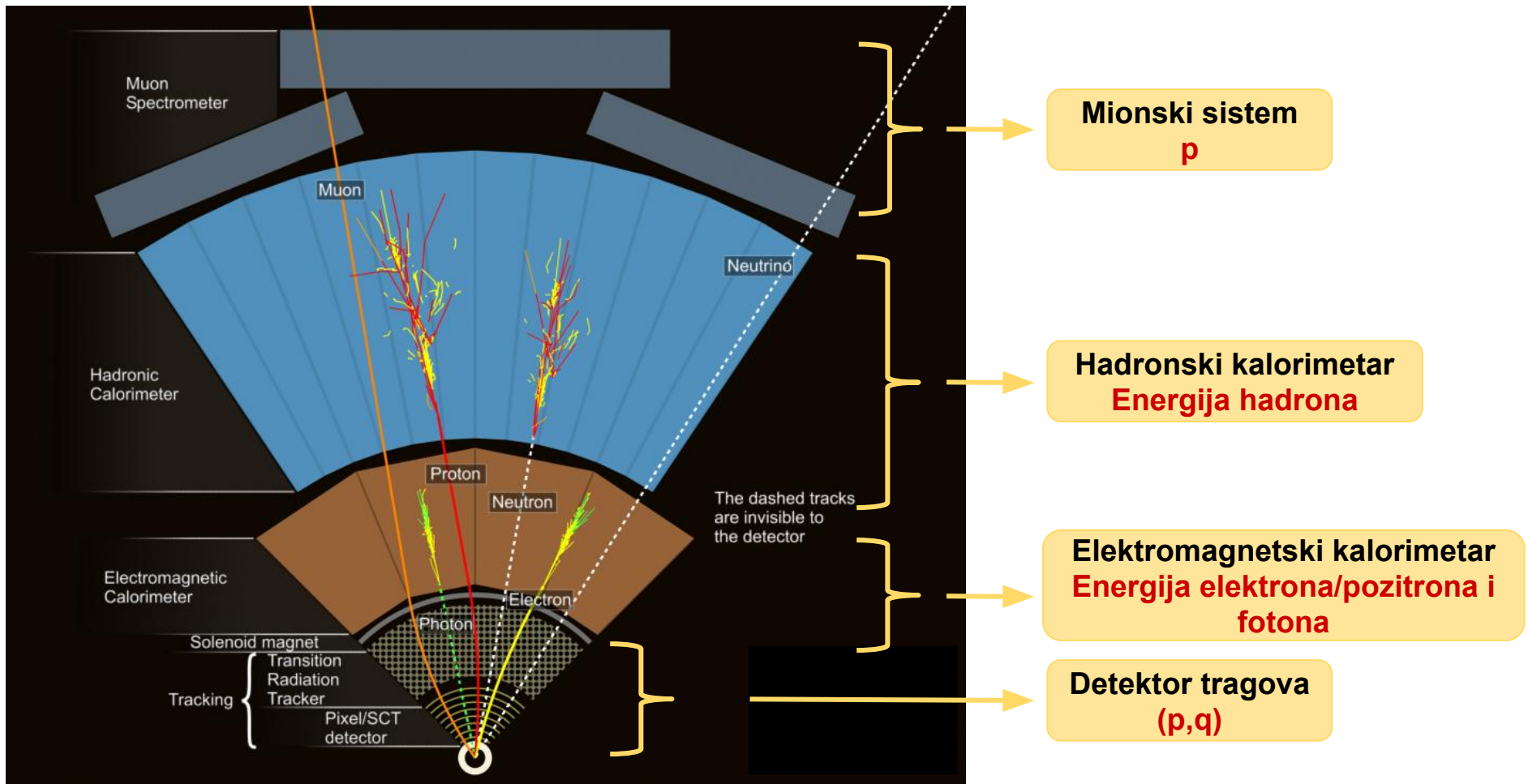
Detektor tragova
(p,q)



Hadronski kalorimetar
Energija hadrona

Elektromagnetski kalorimetar
Energija elektrona/pozitrona i fotona

Detektor tragova
(p,q)



Detektor tragova

Mjerenje momenta naelektrisanih čestica pomoću zakrivljenosti putanje u magnetnom polju.

Detektor tragova

Mjerenje momenta naelektrisanih čestica pomoću zakrivljenosti putanje u magnetnom polju.

Na naelektrisanu česticu u magnetnom polju djeluje Lorentz-ova sila:

$$\vec{F}_L = q(\vec{v} \times \vec{B}) \quad \vec{v} \perp \vec{B} \longrightarrow F_L = qvB$$

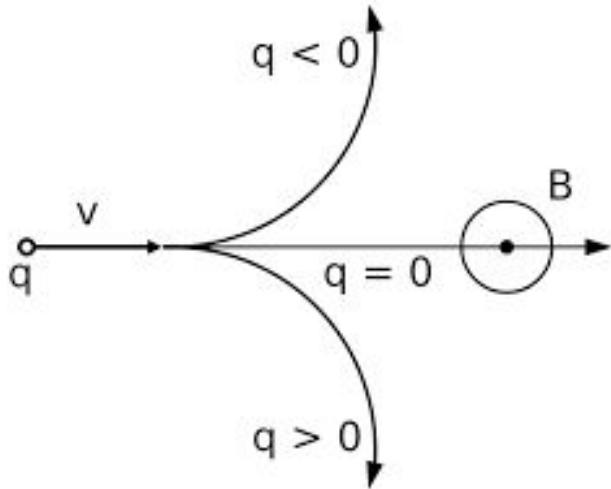
Detektor tragova

Mjerenje momenta naelektrisanih čestica pomoću zakrivljenosti putanje u magnetnom polju.

Na naelektrisanu česticu u magnetnom polju djeluje Lorentz-ova sila:

$$\vec{F}_L = q(\vec{v} \times \vec{B}) \quad \vec{v} \perp \vec{B} \longrightarrow F_L = qvB$$

$$F_C = \frac{mv^2}{r}$$



Detektor tragova

Mjerenje momenta naelektrisanih čestica pomoću zakrivljenosti putanje u magnetnom polju.

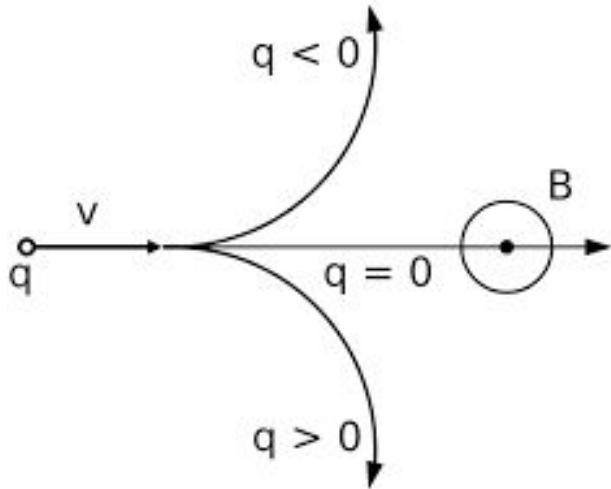
Na naelektrisanu česticu u magnetnom polju djeluje Lorentz-ova sila:

$$\vec{F}_L = q(\vec{v} \times \vec{B}) \quad \vec{v} \perp \vec{B} \longrightarrow F_L = qvB$$

$$F_C = \frac{mv^2}{r}$$

Transverzalni momenat:

$$p_T = qBr$$



Detektor tragova

Mjerenje momenta naelektrisanih čestica pomoću zakrivljenosti putanje u magnetnom polju.

Na naelektrisanu česticu u magnetnom polju djeluje Lorentz-ova sila:

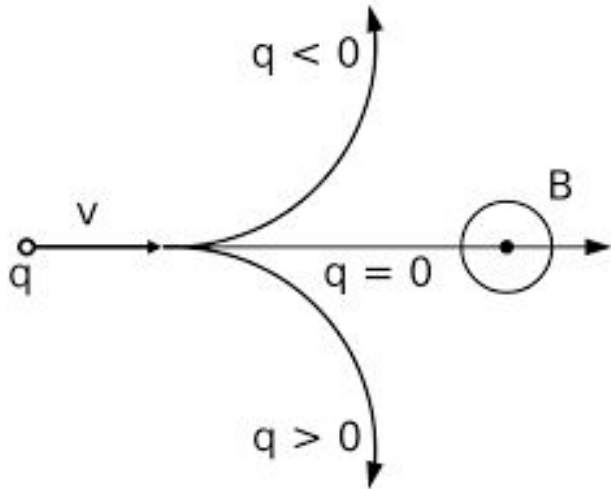
$$\vec{F}_L = q(\vec{v} \times \vec{B}) \quad \vec{v} \perp \vec{B} \longrightarrow F_L = qvB$$

$$F_C = \frac{mv^2}{r}$$

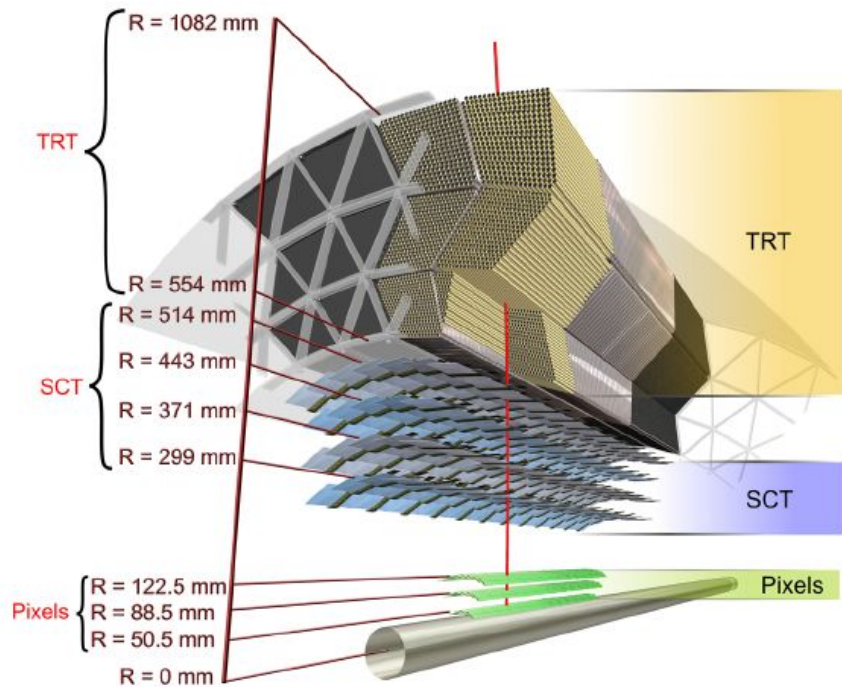
Transverzalni momenat:

$$p_T = qBr$$

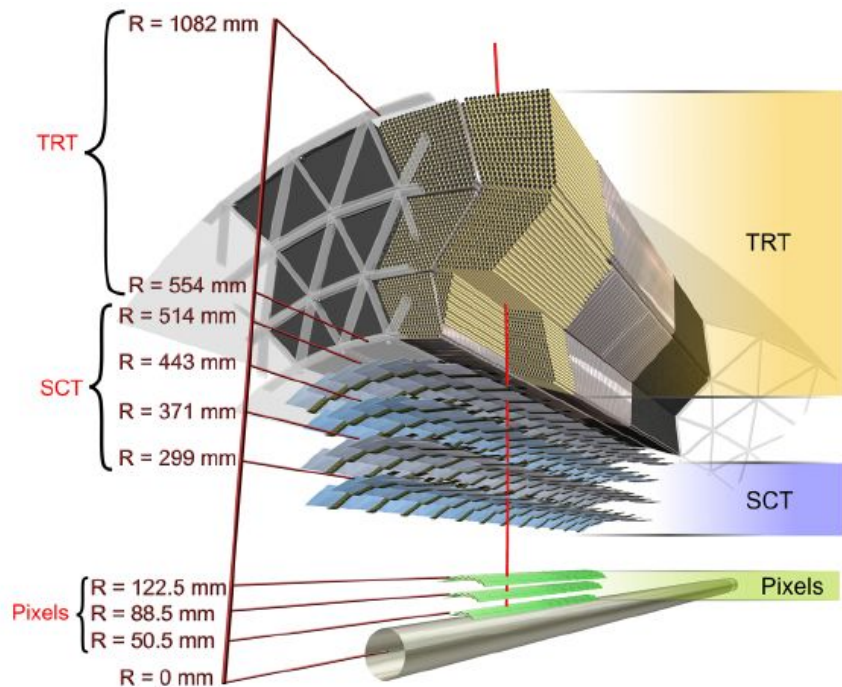
$$p_T \left[\frac{\text{GeV}}{c} \right] \sim 0.3 \cdot B[\text{T}] \cdot r[\text{m}] \quad \color{red}{!}$$



Kako odrediti zakrivljenost putanje?

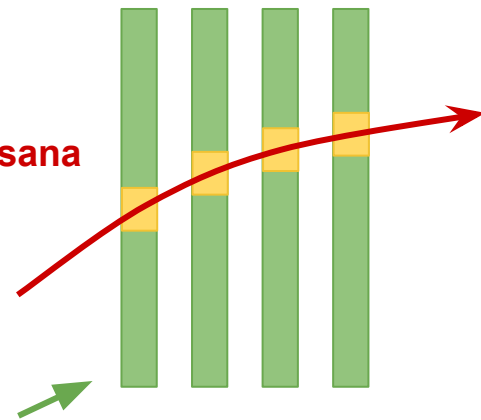


Kako odrediti zakrivljenost putanje?

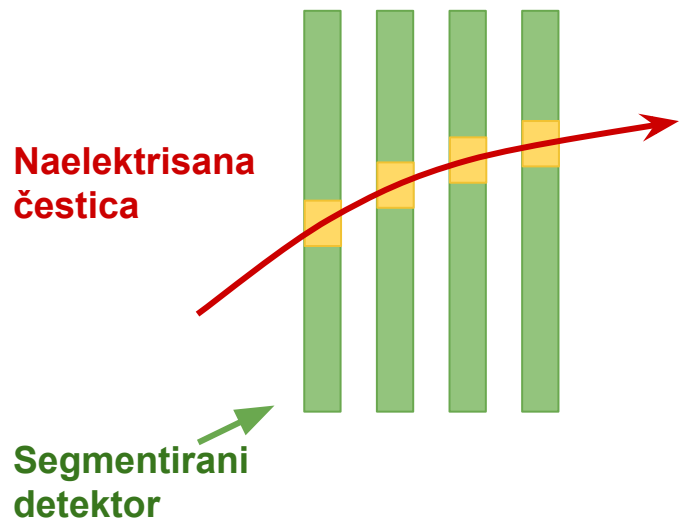


**Naelektrisana
čestica**

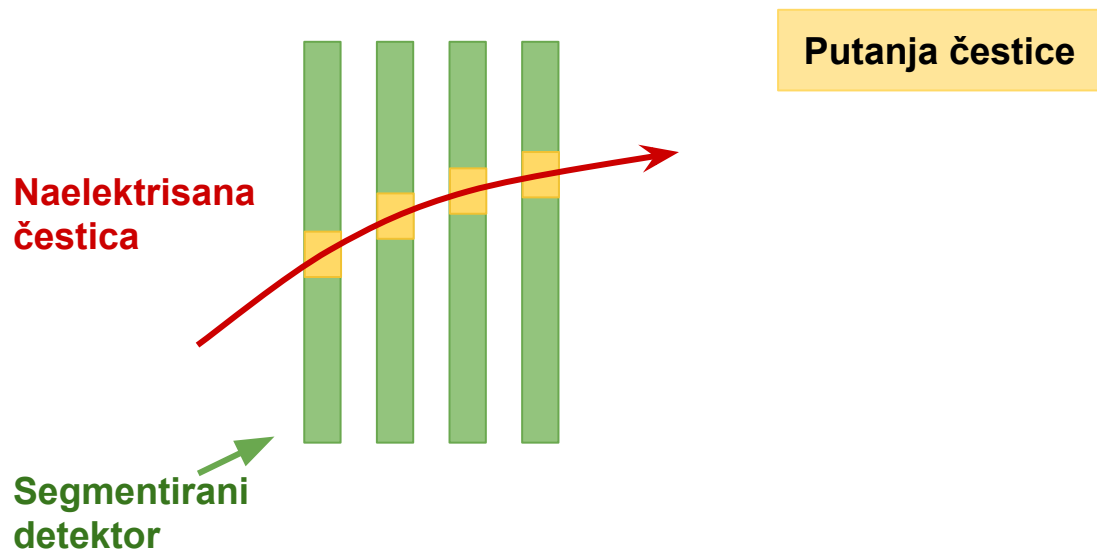
**Segmentirani
detektor**



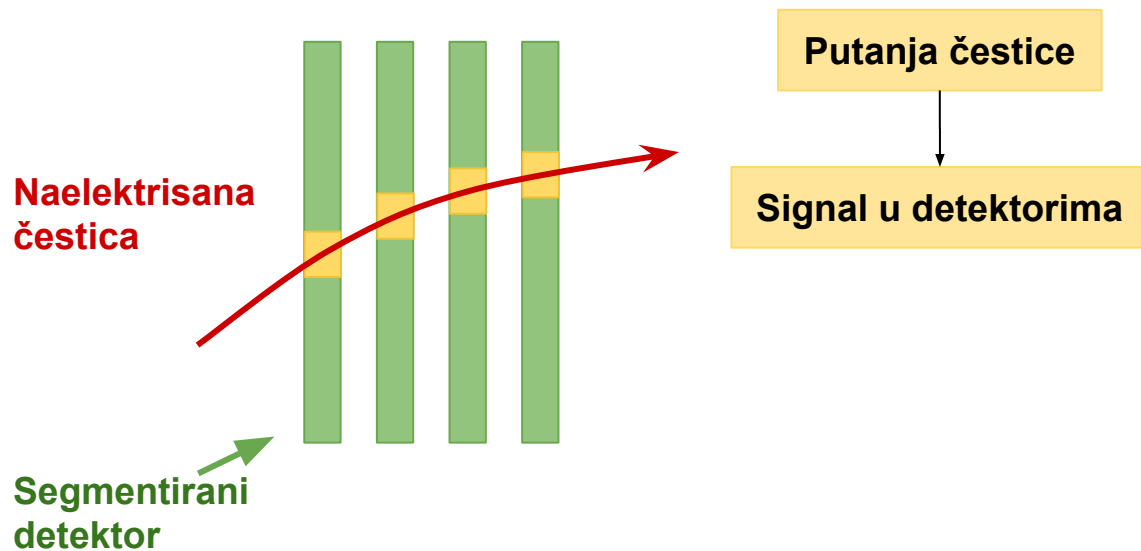
Kako odrediti zakrivljenost putanje?



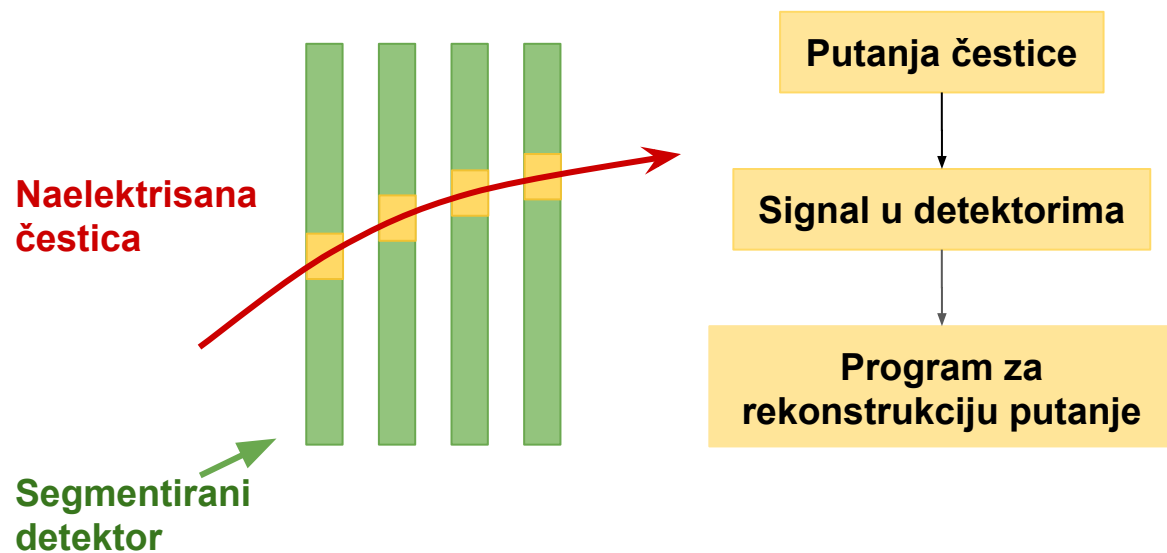
Kako odrediti zakrivljenost putanje?



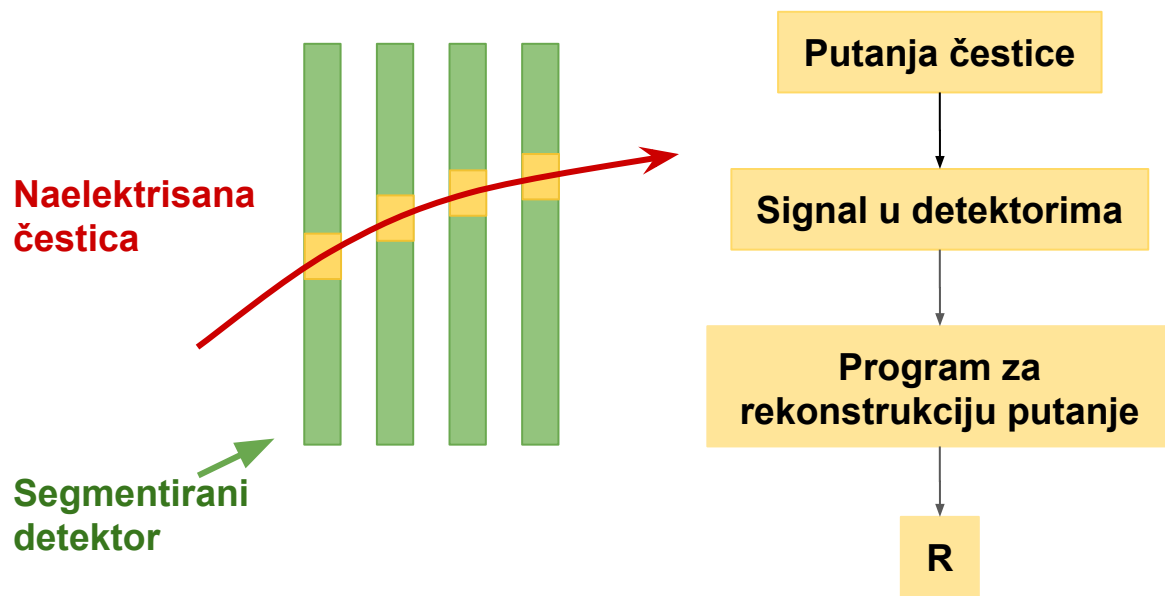
Kako odrediti zakrivljenost putanje?



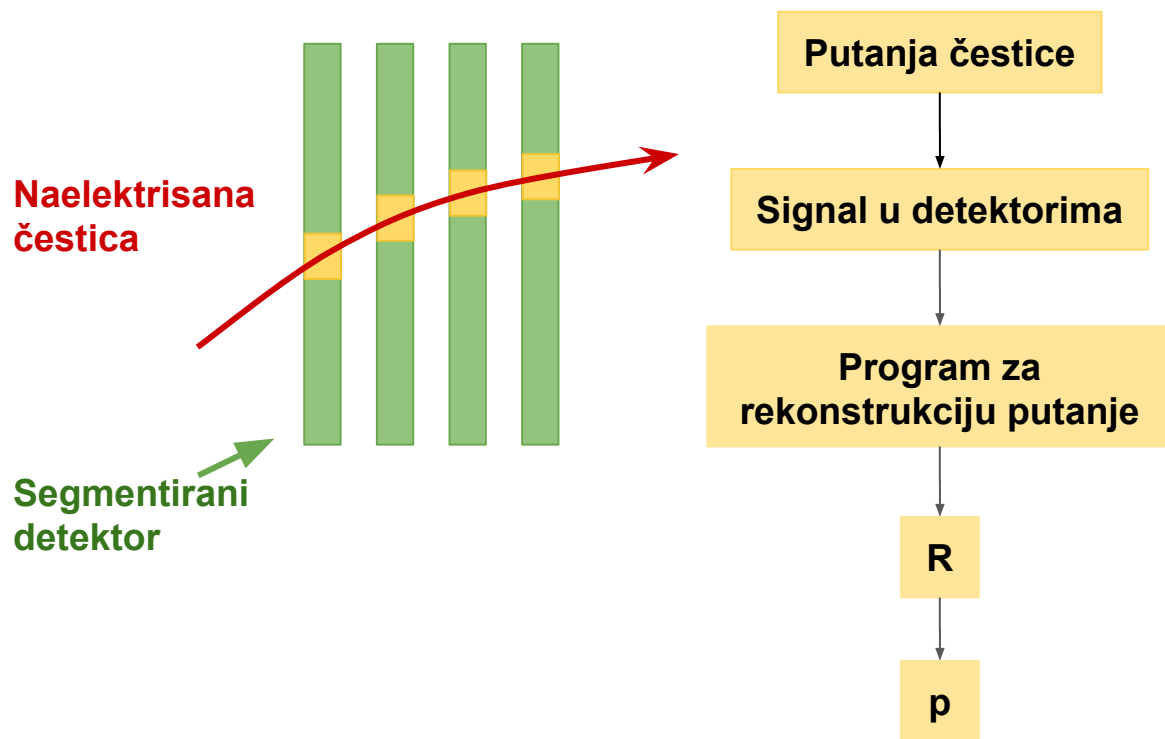
Kako odrediti zakrivljenost putanje?



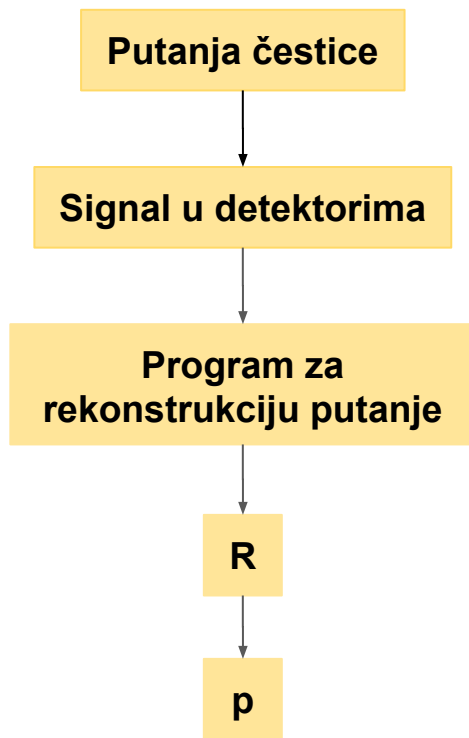
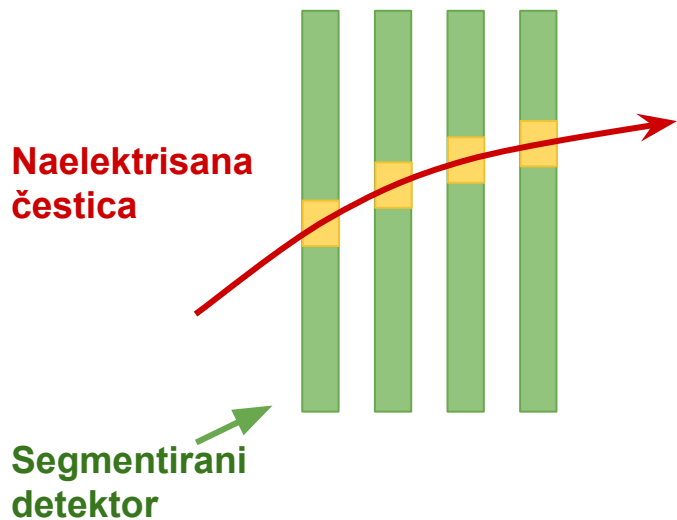
Kako odrediti zakrivljenost putanje?



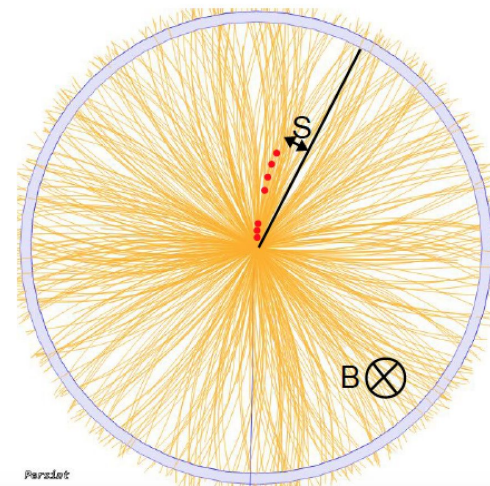
Kako odrediti zakrivljenost putanje?



Kako odrediti zakrivljenost putanje?



Solenoid (ATLAS Inner Tracker)



Određivanje momenta čestice?

$$p_T \left[\frac{\text{GeV}}{c} \right] \sim 0.3 \cdot B[T] \cdot r[m]$$

Određivanje momenta čestice?

$$p_T \left[\frac{\text{GeV}}{c} \right] \sim 0.3 \cdot B[\text{T}] \cdot r[\text{m}]$$

Koliki je transferzalni momenat elektrona, za koji poluprečnik rekonstruisane putanje u magnetnom polju ATLAS-ovog Inner Detector-a od 2T iznosi 1.67 m.

Određivanje momenta čestice?

$$p_T \left[\frac{\text{GeV}}{c} \right] \sim 0.3 \cdot B[\text{T}] \cdot r[\text{m}]$$

Koliki je transferzalni momenat elektrona, za koji poluprečnik rekonstruisane putanje u magnetnom polju ATLAS-ovog Inner Detector-a od 2T iznosi 1.67 m.

$$B = 2 \text{ T}, r = 1.67 \text{ m} \longrightarrow \mathbf{p_T = 1 \text{ GeV}/c}$$

Određivanje momenta čestice?

$$p_T \left[\frac{\text{GeV}}{c} \right] \sim 0.3 \cdot B[\text{T}] \cdot r[\text{m}]$$

Koliki je poluprečnik putanje miona čiji je transverzalni momenat 1 TeV/c u magnetnom polju ATLAS-ovog Inner Detector-a od 2T.

Određivanje momenta čestice?

$$p_T \left[\frac{\text{GeV}}{c} \right] \sim 0.3 \cdot B[\text{T}] \cdot r[\text{m}]$$

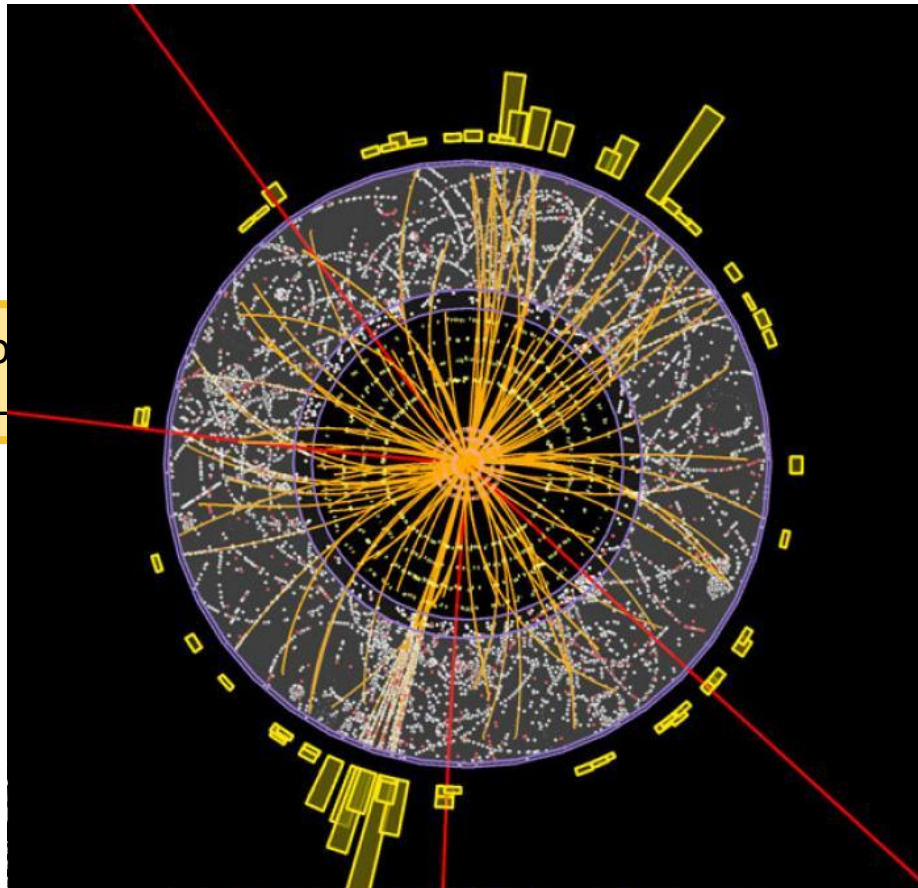
Koliki je poluprečnik putanje miona čiji je transverzalni momenat 1 TeV/c u magnetnom polju ATLAS-ovog Inner Detector-a od 2T.

$$B = 2 \text{ T}, p_T = 1 \text{ TeV}/c \longrightarrow r = 1667 \text{ m}$$

Određivanje momenta čestice?

Koliki je poluprečnik p
magnetnom polju ATLAS

$B = 2$



v/c u

Testiranje detektora sa kosmičkim zrakama

Kosmičke zrake



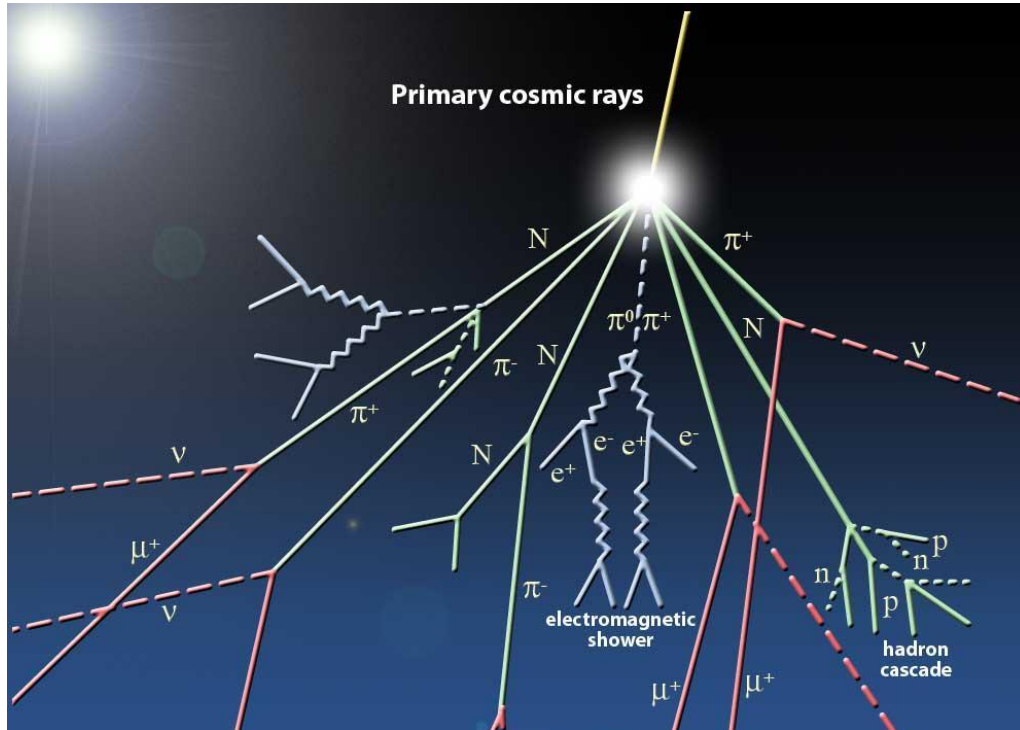
- 1000 kosmičkih zraka po cm^2 svake sekunde
 - Većinom protoni (90%)

Kosmičke zrake



- 1000 kosmičkih zraka po cm^2 svake sekunde
 - Većinom protoni (90%)
- Interakcija sa Zemljinom atmosferom
 - Pljusak čestica

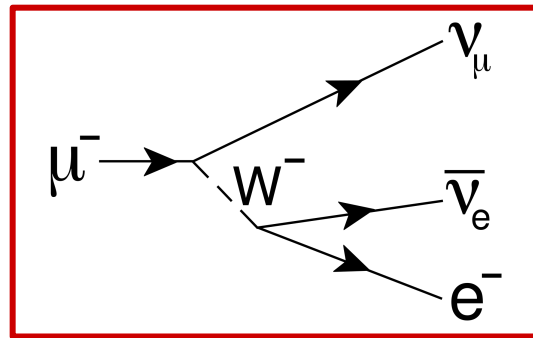
Kosmičke zrake



- 1000 kosmičkih zraka po cm^2 svake sekunde
 - Većinom protoni (90%)
- Interakcija sa Zemljinom atmosferom
 - Pljusak čestica
- Detektori čestica na Zemljinoj površini
 - Pravac i energija čestice
 - Detekcija velikog broja miona na površini Zemlje

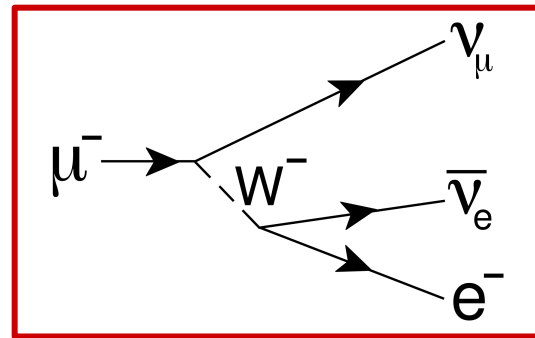
Kosmički mioni

- Mioni kreirani u laboratoriji imaju:
 - vrijeme poluraspada $1.5 \mu\text{s}$;
 - srednje vrijeme života $2.2 \mu\text{s}$
Za to vrijeme svjetlost pređe 660 m.



Kosmički mioni

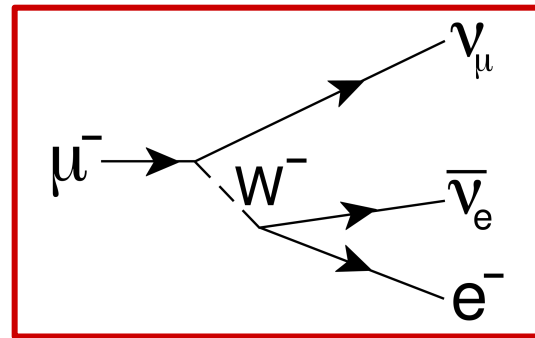
- Mioni kreirani u laboratoriji imaju:
 - vrijeme poluraspada $1.5 \mu\text{s}$;
 - srednje vrijeme života $2.2 \mu\text{s}$
Za to vrijeme svjetlost pređe 660 m.



- Mioni koji se kreću brzinu bliskoj brzini svjetlosti ne bi prešli više od 1 km prije nego se raspadnu u Zemljinu atmosferu.

Kosmički mioni

- Mioni kreirani u laboratoriji imaju:
 - vrijeme poluraspada $1.5 \mu\text{s}$;
 - srednje vrijeme života $2.2 \mu\text{s}$
Za to vrijeme svjetlost pređe 660 m.



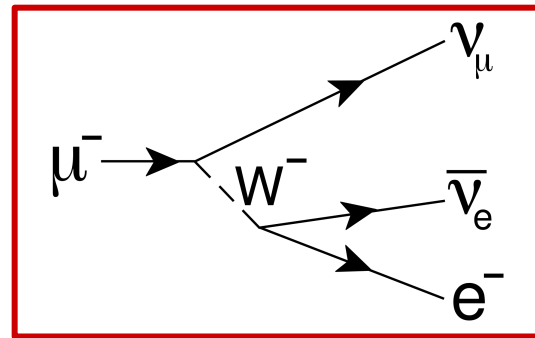
- Mioni koji se kreću brzini bliskoj brzini svjetlosti ne bi prešli više od 1 km prije nego se raspadnu u Zemljinoj atmosferi.



Detekcija miona koji uspješno prelaze 10 km Zemljine atmosfere i stižu do površine $\sim 1 \text{ cm}^{-2}\text{min}^{-1}$

Kosmički mioni

- Mioni kreirani u laboratoriji imaju:
 - vrijeme poluraspada $1.5 \mu\text{s}$;
 - srednje vrijeme života $2.2 \mu\text{s}$
Za to vrijeme svjetlost pređe 660 m.



- Mioni koji se kreću brzini bliskoj brzini svjetlosti ne bi prešli više od 1 km prije nego se raspadnu u Zemljinjnoj atmosferi.



Detekcija miona koji uspješno prelaze 10 km Zemljine atmosfere i stižu do površine $\sim 1 \text{ cm}^{-2}\text{min}^{-1}$

SPECIJALNA TEORIJA RELATIVNOSTI

Dilatacija vremena

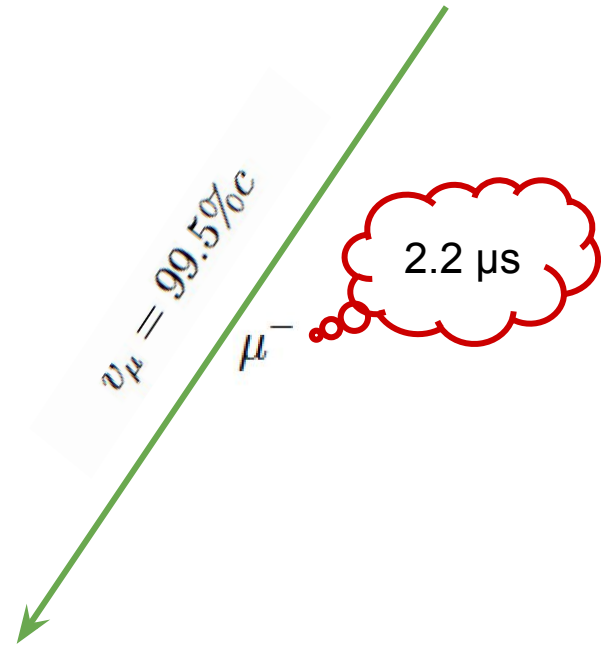
Za posmatrača koji miruje djeluje da vrijeme u sistemu koji se kreće relativno u odnosu na njega teče sporije.

$$\Delta t = \Delta t_{\mu} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Dilatacija vremena

Za posmatrača koji miruje djeluje da vrijeme u sistemu koji se kreće relativno u odnosu na njega teče sporije.

$$\Delta t = \Delta t_{\mu} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$



Dilatacija vremena

Za posmatrača koji miruje djeluje da vrijeme u sistemu koji se kreće relativno u odnosu na njega teče sporije.

$$\Delta t = \Delta t_{\mu} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

22 μs



$v_{\mu} = 99.5\%c$

μ^{-}

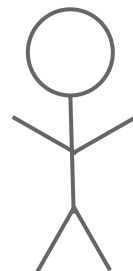
2.2 μs

Dilatacija vremena

Za posmatrača koji miruje djeluje da vrijeme u sistemu koji se kreće relativno u odnosu na njega teče sporije.

$$\Delta t = \Delta t_{\mu} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

22 μs



$v_{\mu} = 99.5\%c$
 μ^{-}

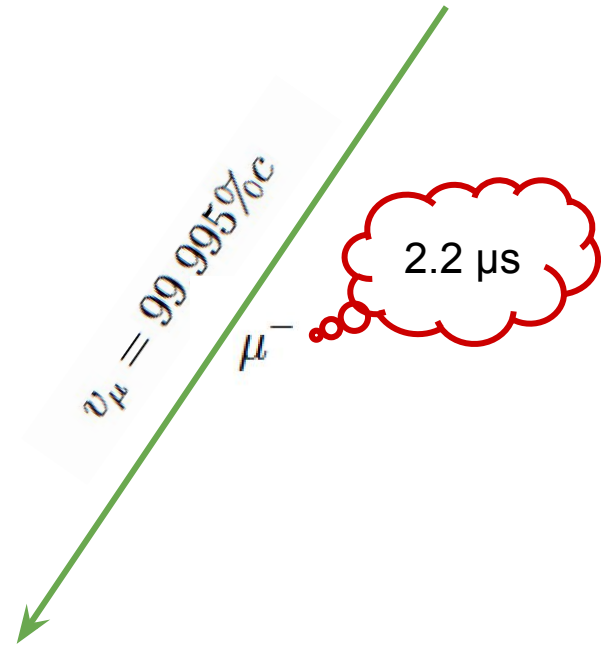
2.2 μs

Mion će preći oko
~ 6 km prije nego
se raspadne

Dilatacija vremena

Za posmatrača koji miruje djeluje da vrijeme u sistemu koji se kreće relativno u odnosu na njega teče sporije.

$$\Delta t = \Delta t_{\mu} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

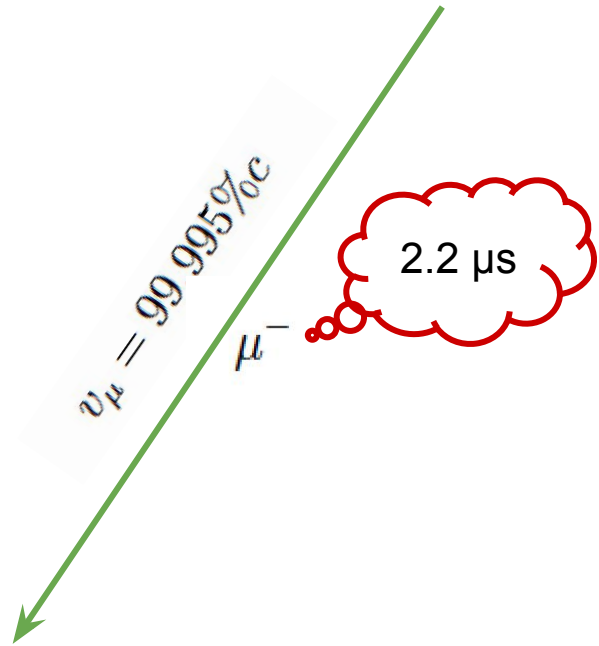


Dilatacija vremena

Za posmatrača koji miruje djeluje da vrijeme u sistemu koji se kreće relativno u odnosu na njega teče sporije.

$$\Delta t = \Delta t_{\mu} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

220 μs

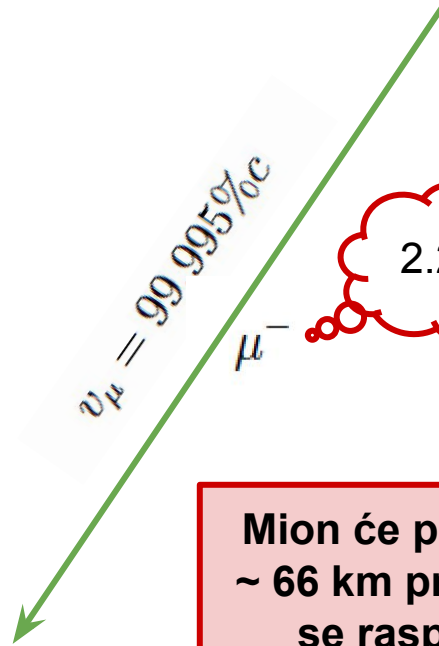


Dilatacija vremena

Za posmatrača koji miruje djeluje da vrijeme u sistemu koji se kreće relativno u odnosu na njega teče sporije.

$$\Delta t = \Delta t_{\mu} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

220 μs



2.2 μs

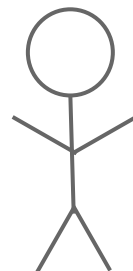
Mion će preći oko
~ 66 km prije nego
se raspadne

Dilatacija vremena

Za posmatrača koji miruje djeluje da vrijeme u sistemu koji se kreće relativno u odnosu na njega teče sporije.

$$\Delta t = \Delta t_{\mu} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

220 μs



$v_{\mu} = 99.9995\%c$
 μ^{-}

2.2 μs

Mion će preći oko
~ 66 km prije nego
se raspadne

Bez problema stiže do
Zemljine površine prije
raspada

Iz perspektive kosmičkog miona

KONTRAKCIJA DUŽINE

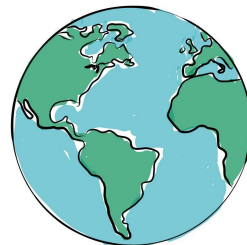
Skraćivanje objekta koji se kreće u pravcu kretanja

$$L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

2.2 μs

μ^-

$v = 99.995\%c$



Iz perspektive kosmičkog miona

KONTRAKCIJA DUŽINE

Skraćivanje objekta koji se kreće u pravcu kretanja

$$L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

2.2 μs

μ^-

$v = 99.995\%c$



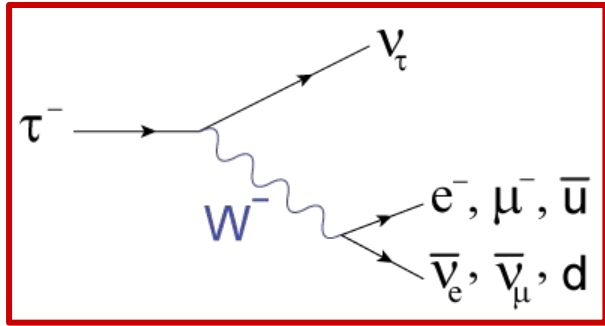
Zemlja sa svojom atmosferom se kreće prema mionu

Visina atmosfere:

$L_0 = 50 \text{ km}$

$L = 0.5 \text{ km}$

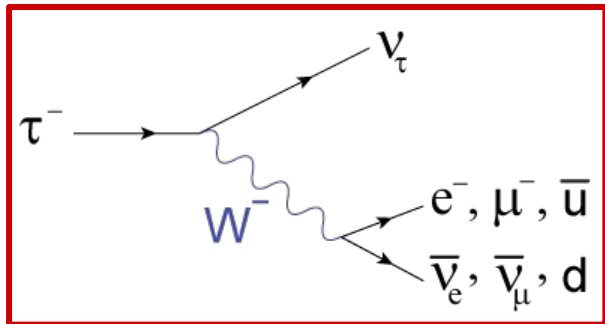
Specijalna teorija relativnosti u ATLAS-u



Srednje vrijeme života $2.9 \cdot 10^{-13}s$

$$\Delta t = \Delta t_\mu \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Specijalna teorija relativnosti u ATLAS-u

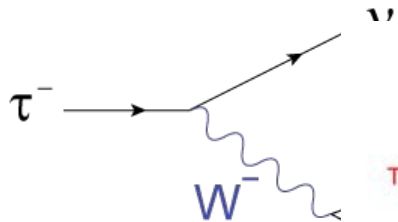


$$\Delta t = \Delta t_\mu \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Srednje vrijeme života $2.9 \cdot 10^{-13} \text{s}$

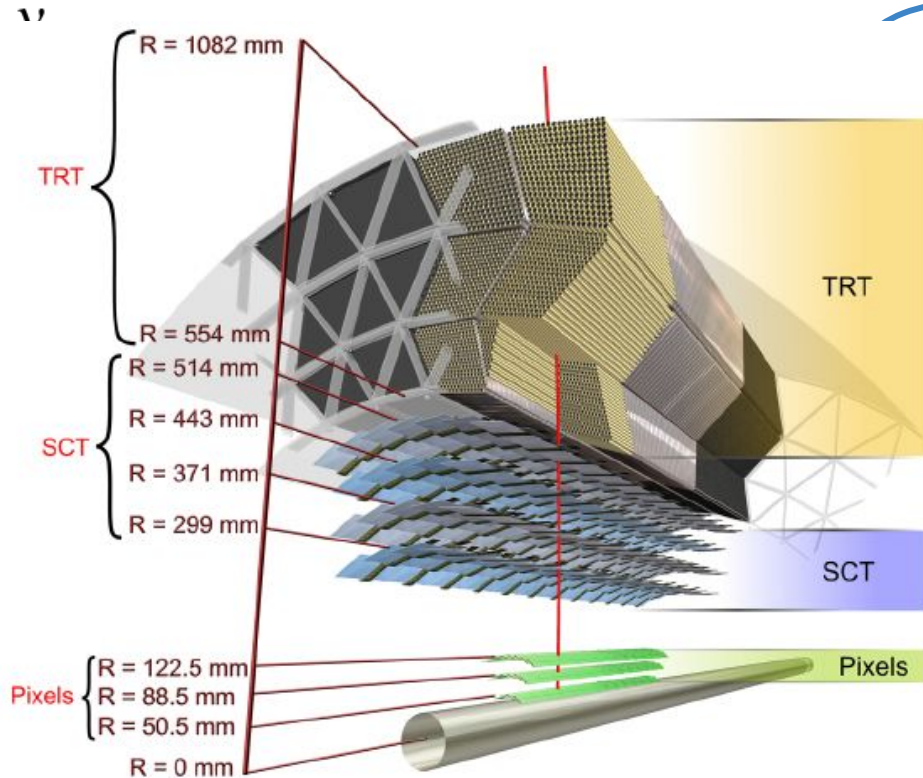
Tau čestica, krećući se brzinom od 99.995% brzine svjetlosti bi prešla oko 6 mm prije nego što se raspadne

Specijalna teorija relativnosti u ATLAS-u



Srednje vrijeme ž

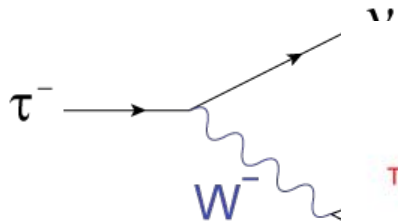
Tau čestica, k



$$\Delta t = \Delta t_{\mu} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

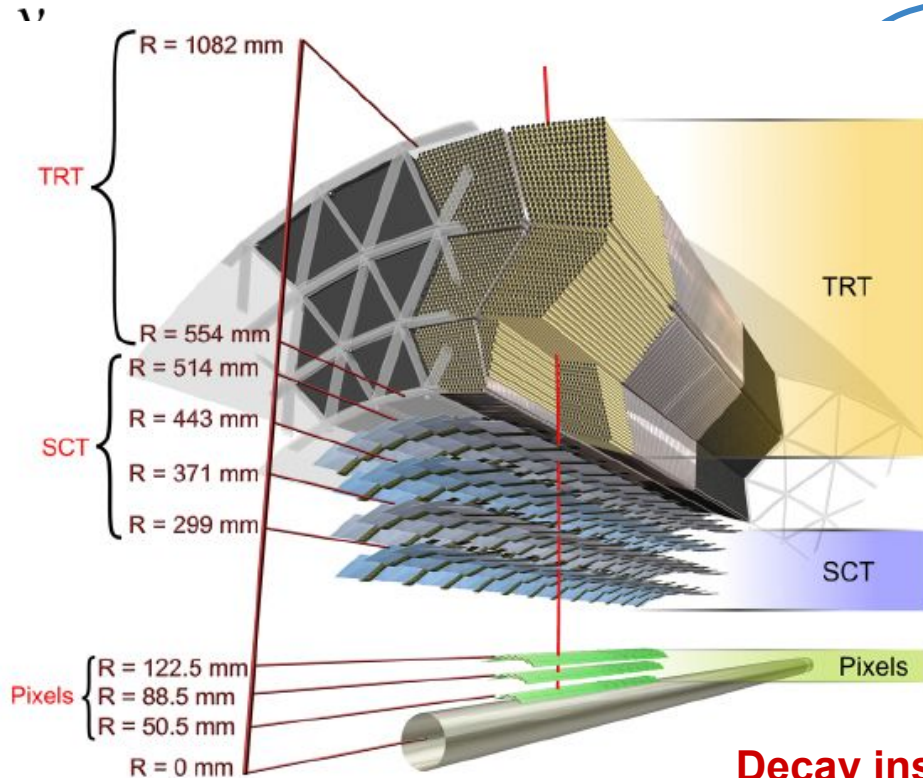
bi prešla oko 6 mm

Specijalna teorija relativnosti u ATLAS-u



Srednje vrijeme ž

Tau čestica, k



$$\Delta t = \Delta t_{\mu} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

bi prešla oko 6 mm

Decay inside beam pipe



HVALA NA PAŽNJI!