

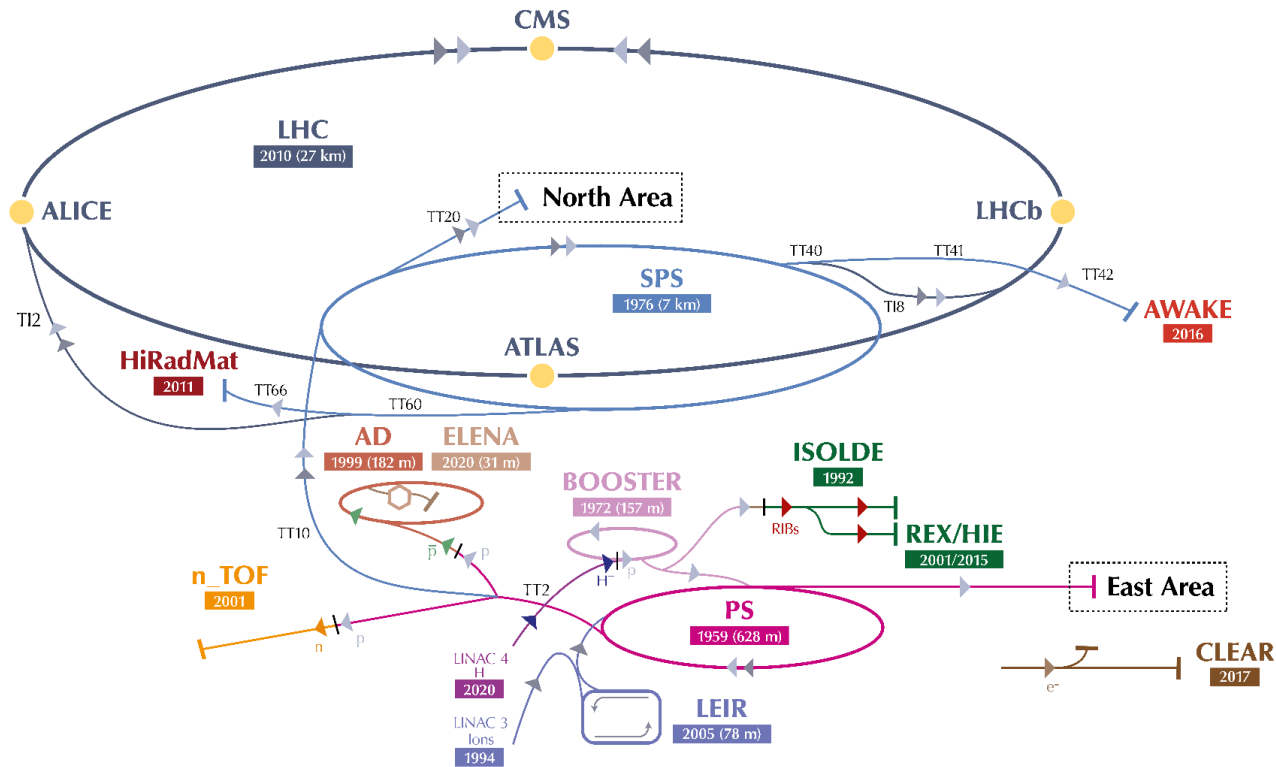
# ЦЕРН, LHC та детектування частинок

Майстер-клас  
1 травня 2024



# Що таке ЦЕРН?

Найбільша наукова інфраструктура у світі!



▶  $H^-$  (hydrogen anions) ▶ p (protons) ▶ ions ▶ RIBs (Radioactive Ion Beams) ▶ n (neutrons) ▶  $\bar{p}$  (antiprotons) ▶  $e^-$  (electrons)

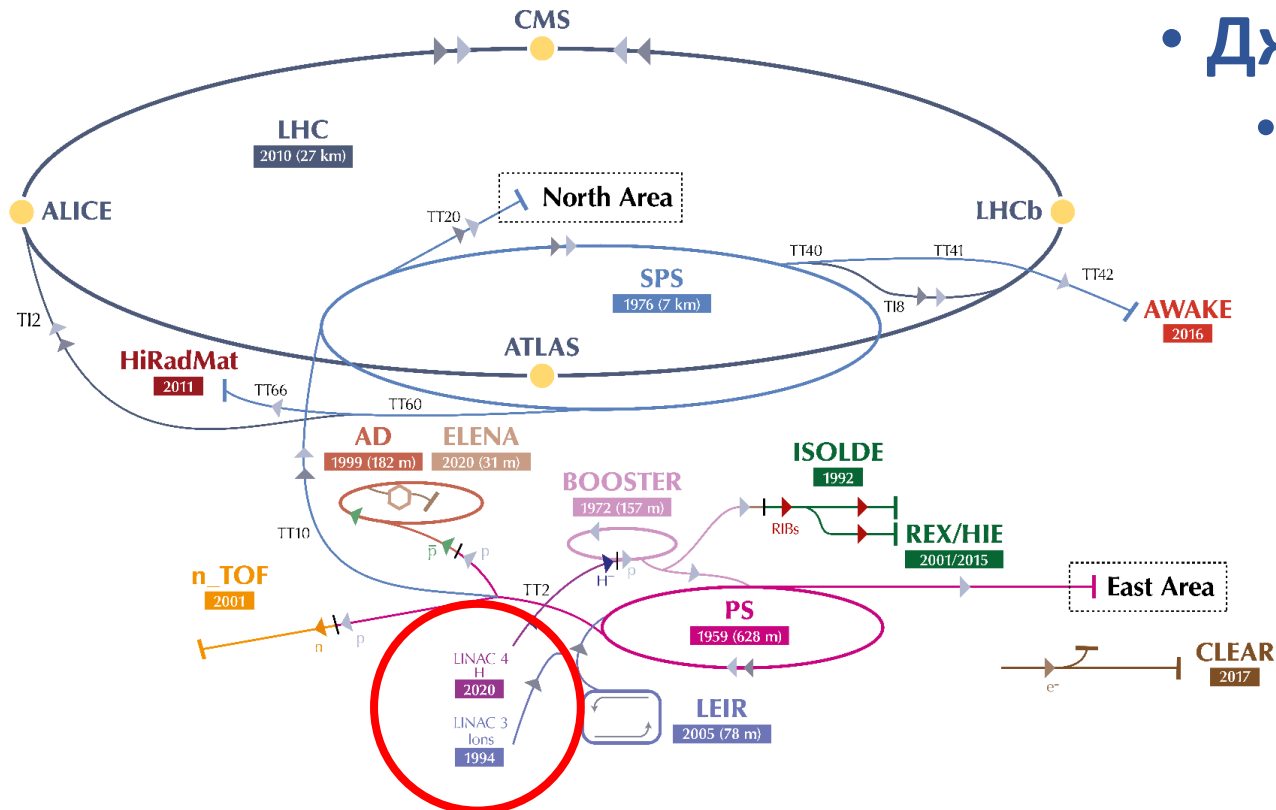
LHC - Large Hadron Collider // SPS - Super Proton Synchrotron // PS - Proton Synchrotron // AD - Antiproton Decelerator // CLEAR - CERN Linear Electron Accelerator for Research // AWAKE - Advanced WAKEfield Experiment // ISOLDE - Isotope Separator OnLine // REX/HIE - Radioactive Experiment/High Intensity and Energy ISOLDE // LEIR - Low Energy Ion Ring // LINAC - LINear ACcelerator // n\_TOF - Neutrons Time Of Flight //

HiRadMat - High-Radiation to Materials



# Що таке ЦЕРН?

Найбільша наукова інфраструктура у світі!



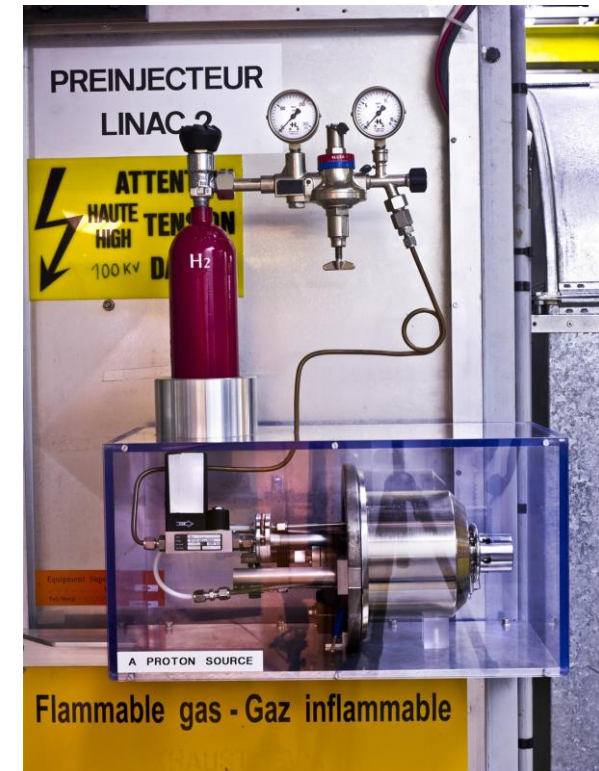
▶ H<sup>-</sup> (hydrogen anions) ▶ p (protons) ▶ ions ▶ RIBs (Radioactive Ion Beams) ▶ n (neutrons) ▶  $\bar{p}$  (antiprotons) ▶ e<sup>-</sup> (electrons)

LHC - Large Hadron Collider // SPS - Super Proton Synchrotron // PS - Proton Synchrotron // AD - Antiproton Decelerator // CLEAR - CERN Linear Electron Accelerator for Research // AWAKE - Advanced WAKEfield Experiment // ISOLDE - Isotope Separator OnLine // REX/HIE - Radioactive Experiment/High Intensity and Energy ISOLDE // LEIR - Low Energy Ion Ring // LINAC - LINear ACcelerator // n\_TOF - Neutrons Time Of Flight //

HiRadMat - High-Radiation to Materials

- Джерело протонів:

- Іонізація атомів водню

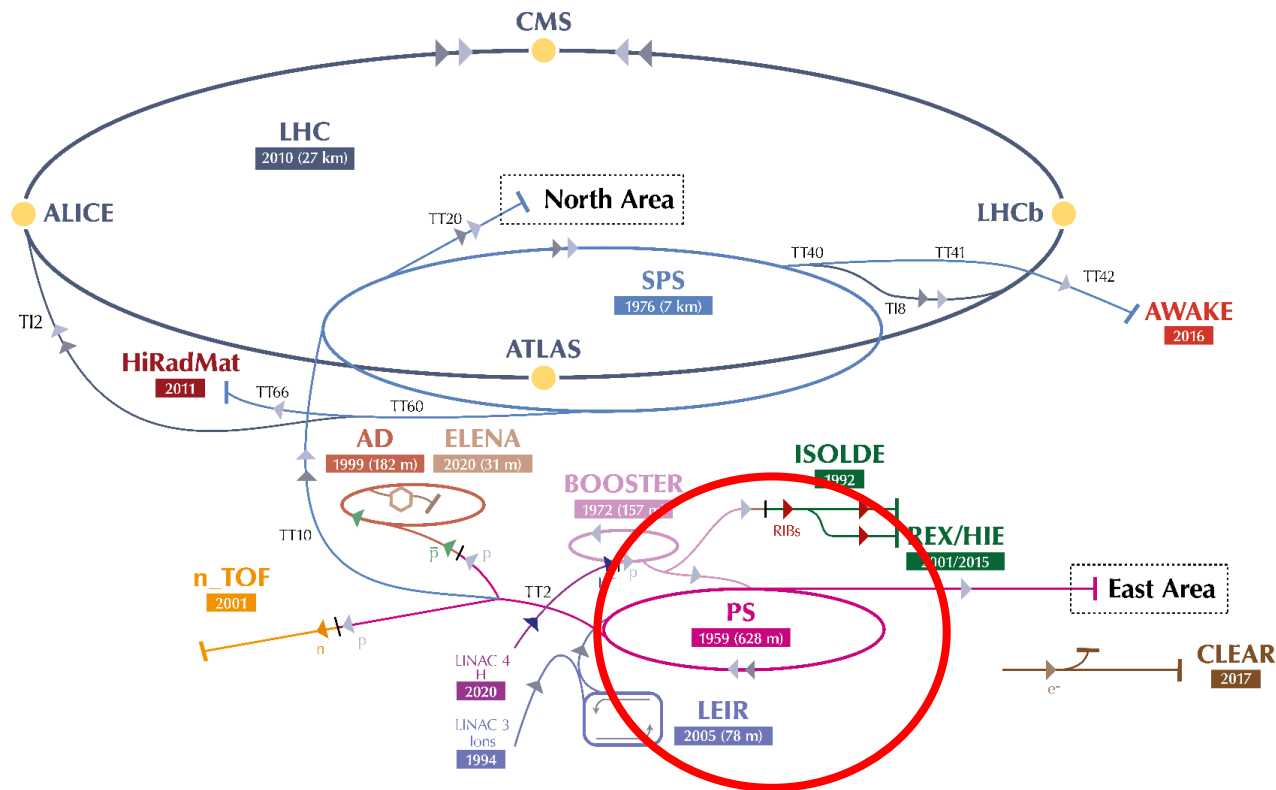


# Що таке ЦЕРН?

Найбільша наукова інфраструктура у світі!

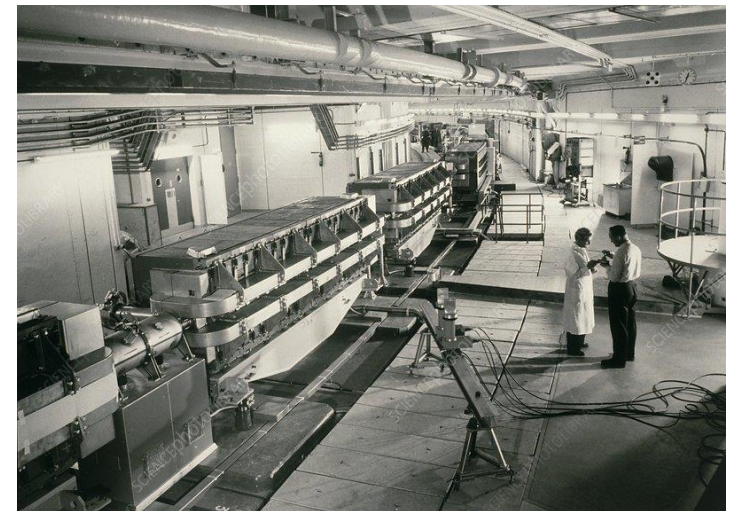
- Протонний синхротрон (PS)

- побудований у 1959
- довжина кола: 628м
- Енергія доходить до 25 ГеВ



▶  $H^-$  (hydrogen anions) ▶ p (protons) ▶ ions ▶ RIBs (Radioactive Ion Beams) ▶ n (neutrons) ▶  $\bar{p}$  (antiprotons) ▶  $e^-$  (electrons)

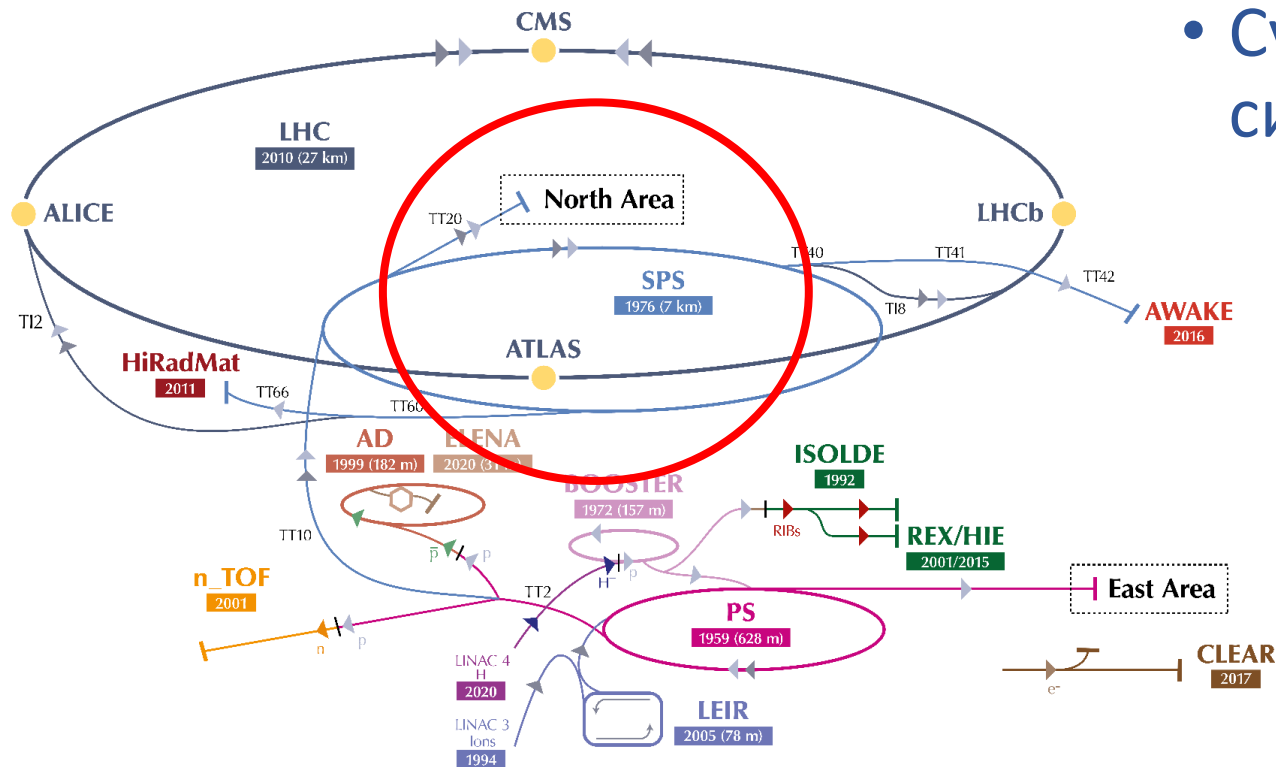
LHC - Large Hadron Collider // SPS - Super Proton Synchrotron // PS - Proton Synchrotron // AD - Antiproton Decelerator // CLEAR - CERN Linear Electron Accelerator for Research // AWAKE - Advanced WAKEfield Experiment // ISOLDE - Isotope Separator OnLine // REX/HIE - Radioactive EXperiment/High Intensity and Energy ISOLDE // LEIR - Low Energy Ion Ring // LINAC - LInear ACcelerator // n\_TOF - Neutrons Time Of Flight // HiRadMat - High-Radiation to Materials



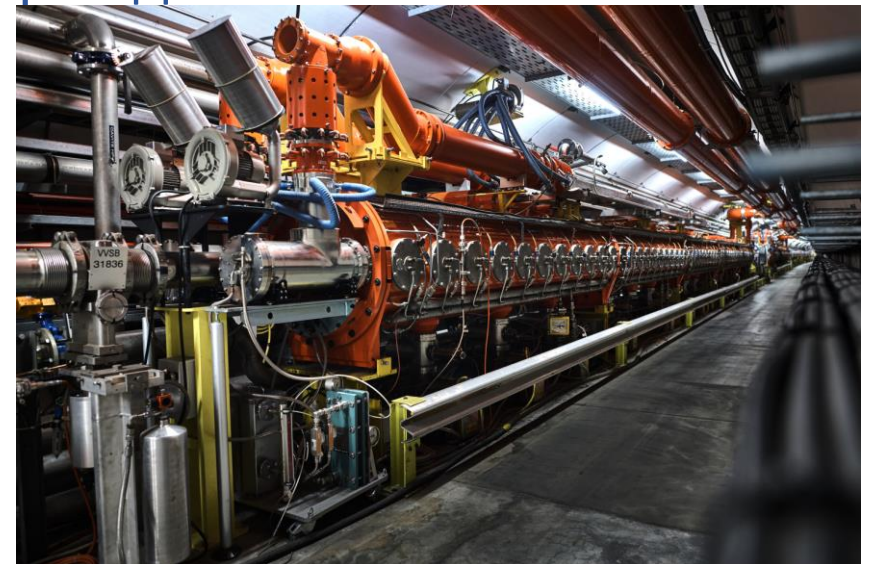
# Що таке ЦЕРН?

Найбільша наукова інфраструктура у світі!

- Супер-протонний синхротрон(SPS)



- Побудований у 1976
- Довжина кола: 7 км
- Енергія до 450 GeV

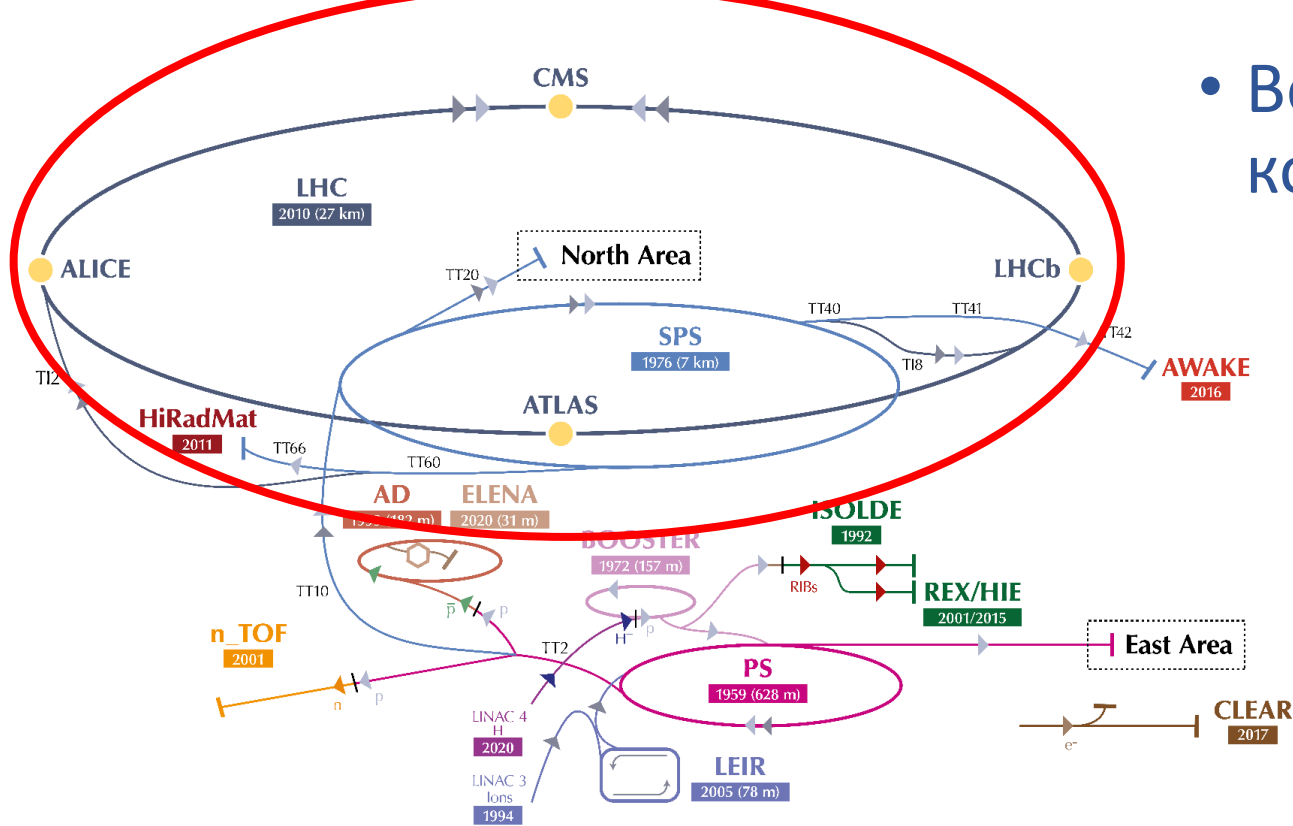


▶  $H^-$  (hydrogen anions) ▶ p (protons) ▶ ions ▶ RIBs (Radioactive Ion Beams) ▶ n (neutrons) ▶  $\bar{p}$  (antiprotons) ▶  $e^-$  (electrons)

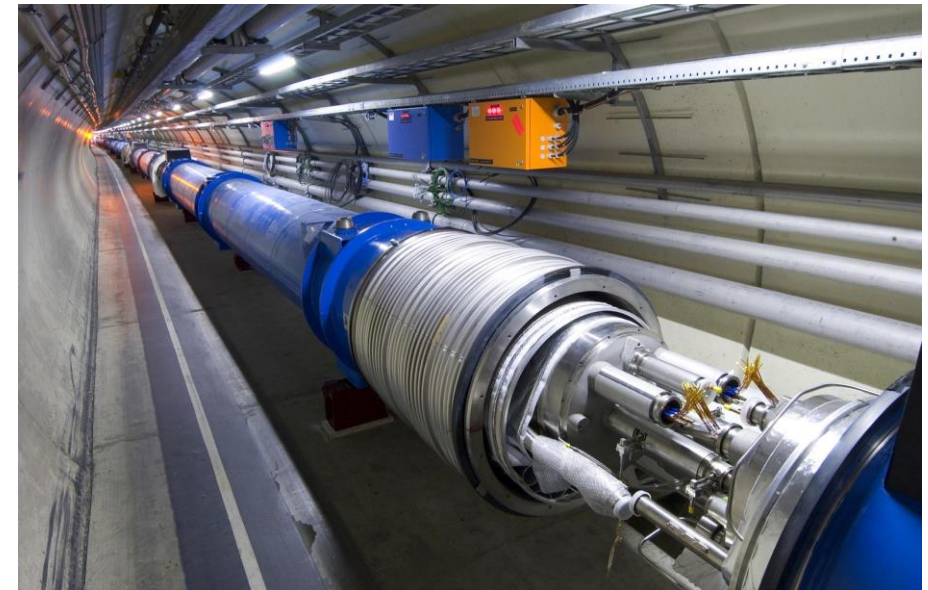
LHC - Large Hadron Collider // SPS - Super Proton Synchrotron // PS - Proton Synchrotron // AD - Antiproton Decelerator // CLEAR - CERN Linear Electron Accelerator for Research // AWAKE - Advanced WAKEfield Experiment // ISOLDE - Isotope Separator OnLine // REX/HIE - Radioactive EXperiment/High Intensity and Energy ISOLDE // LEIR - Low Energy Ion Ring // LINAC - LiNEar ACcelerator // n\_TOF - Neutrons Time Of Flight // HiRadMat - High-Radiation to Materials

# Що таке ЦЕРН?

Найбільша наукова інфраструктура у світі!



- Великий адронний колайдер(LHC)
  - Побудований у 2008
  - Довжина кола: 27 км
  - Енергія доходить до 7 TeV



▶  $H^-$  (hydrogen anions) ▶ p (protons) ▶ ions ▶ RIBs (Radioactive Ion Beams) ▶ n (neutrons) ▶  $\bar{p}$  (antiprotons) ▶  $e^-$  (electrons)

LHC - Large Hadron Collider // SPS - Super Proton Synchrotron // PS - Proton Synchrotron // AD - Antiproton Decelerator // CLEAR - CERN Linear Electron Accelerator for Research // AWAKE - Advanced WAKEfield Experiment // ISOLDE - Isotope Separator OnLine // REX/HIE - Radioactive Experiment/High Intensity and Energy ISOLDE // LEIR - Low Energy Ion Ring // LINAC - LINEar ACcelerator // n\_TOF - Neutrons Time Of Flight // HiRadMat - High-Radiation to Materials

Невеличке резюме у відео:



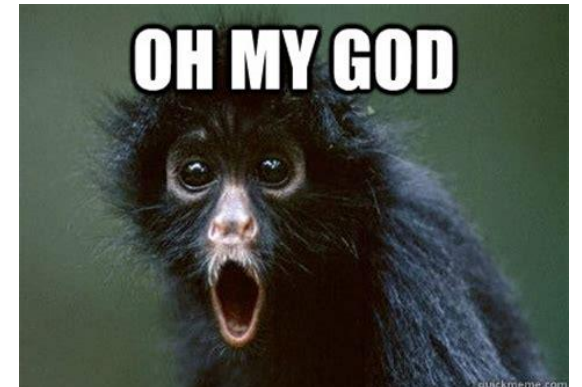
# Чому ми збільшуємо синхротрони

- Нам потрібна більша енергія!
- Ми або збільшуємо магнітне поле, або радіус:

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$$

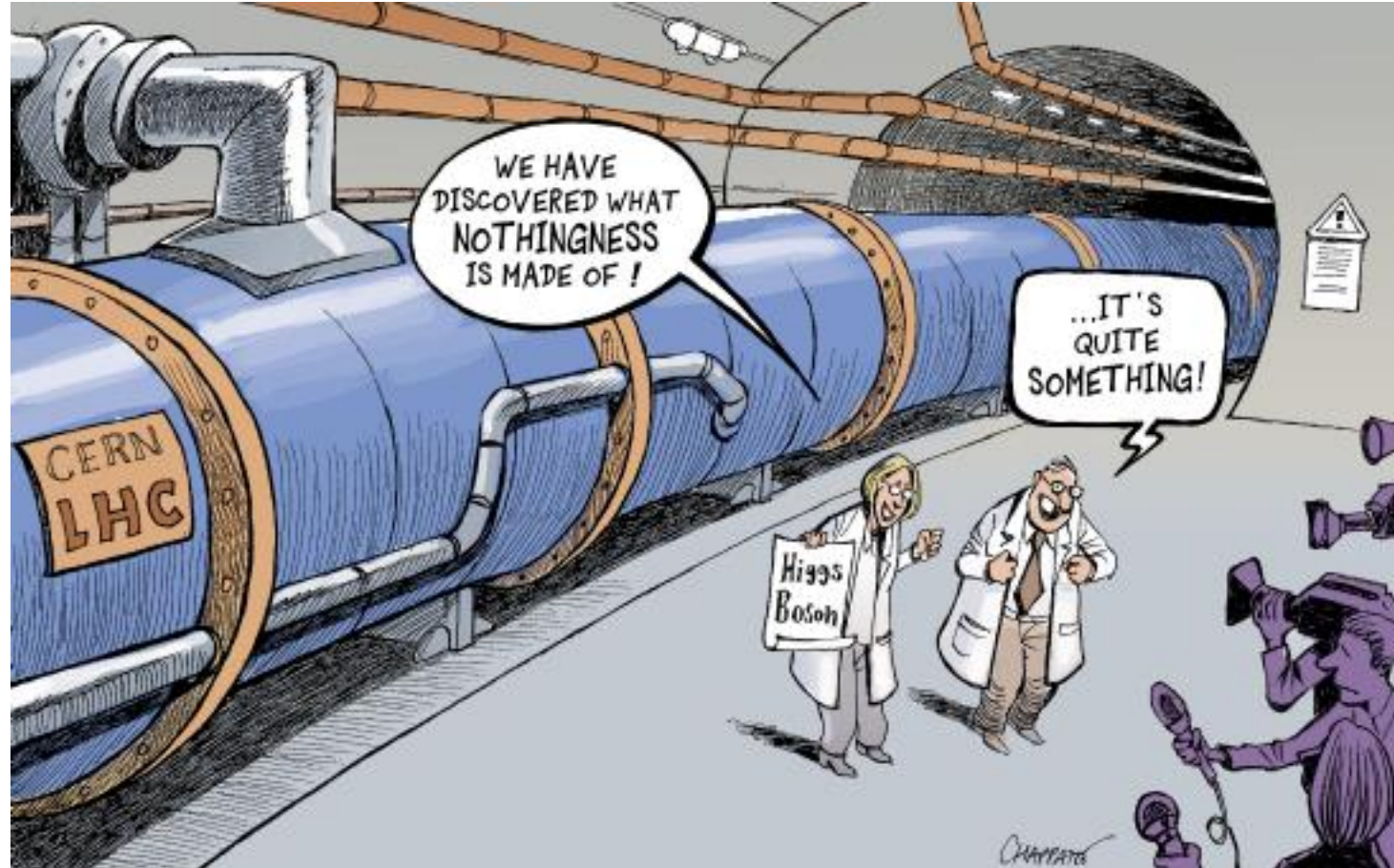
*Electric force*                      *Magnetic force*

- **У майбутньому:** FCC-еє буде довжиною кола 100км і зможе досягти енергії 100 TeV!

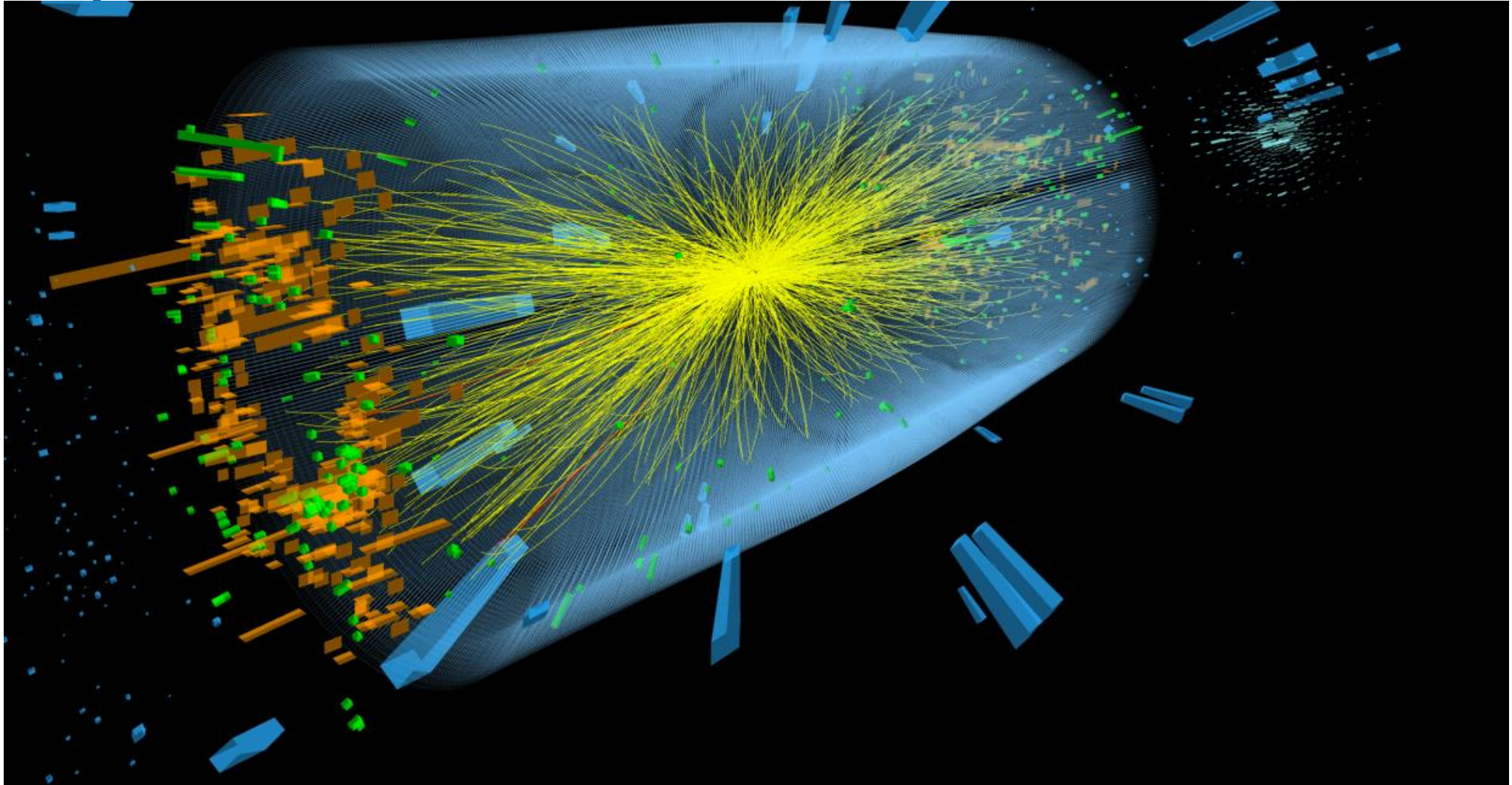




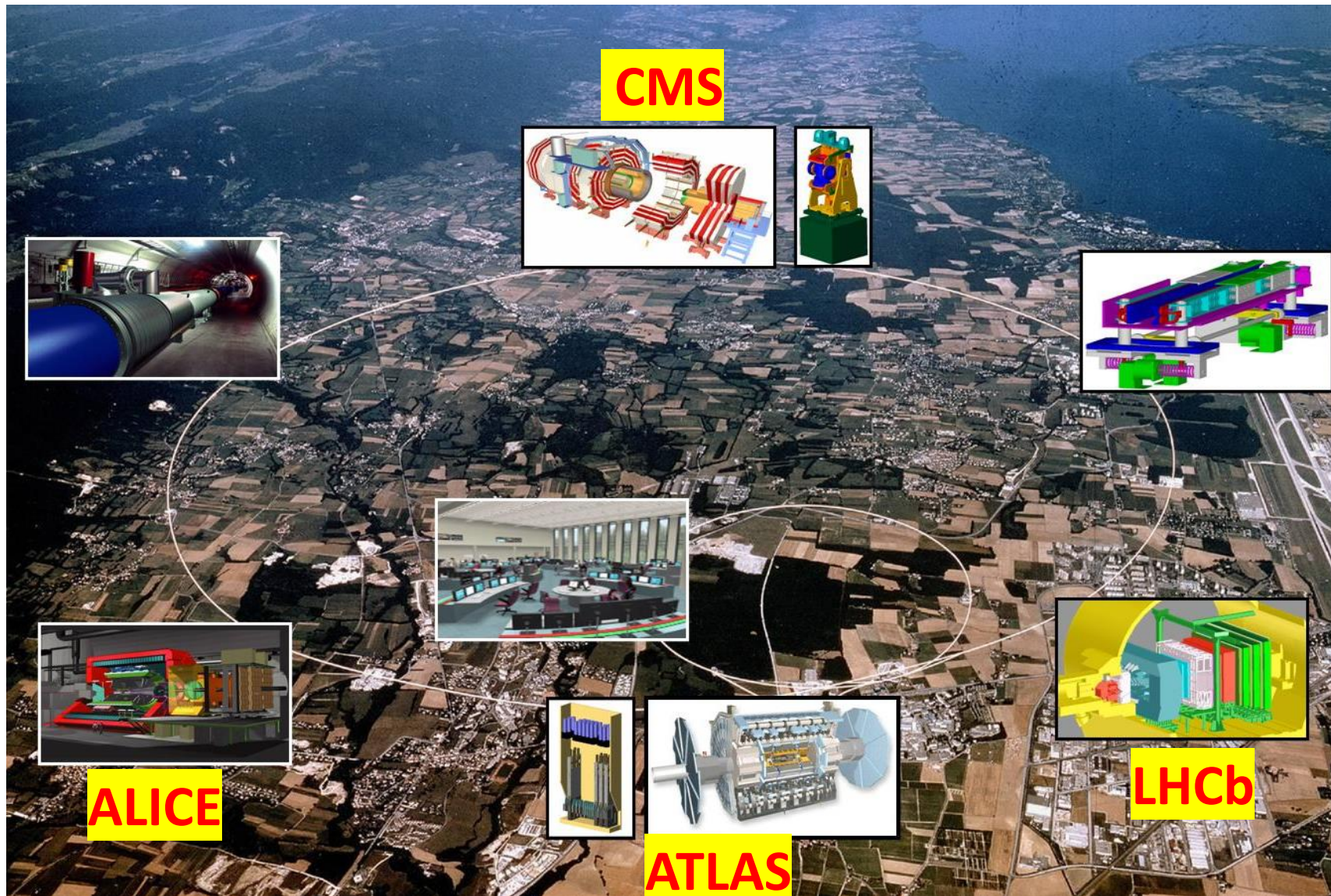
Чому ми прискорюємо частинки, які навіть не видно під мікроскопом, до таких енергій?



Як виявити частинки, що утворюються в результаті зіткнень?



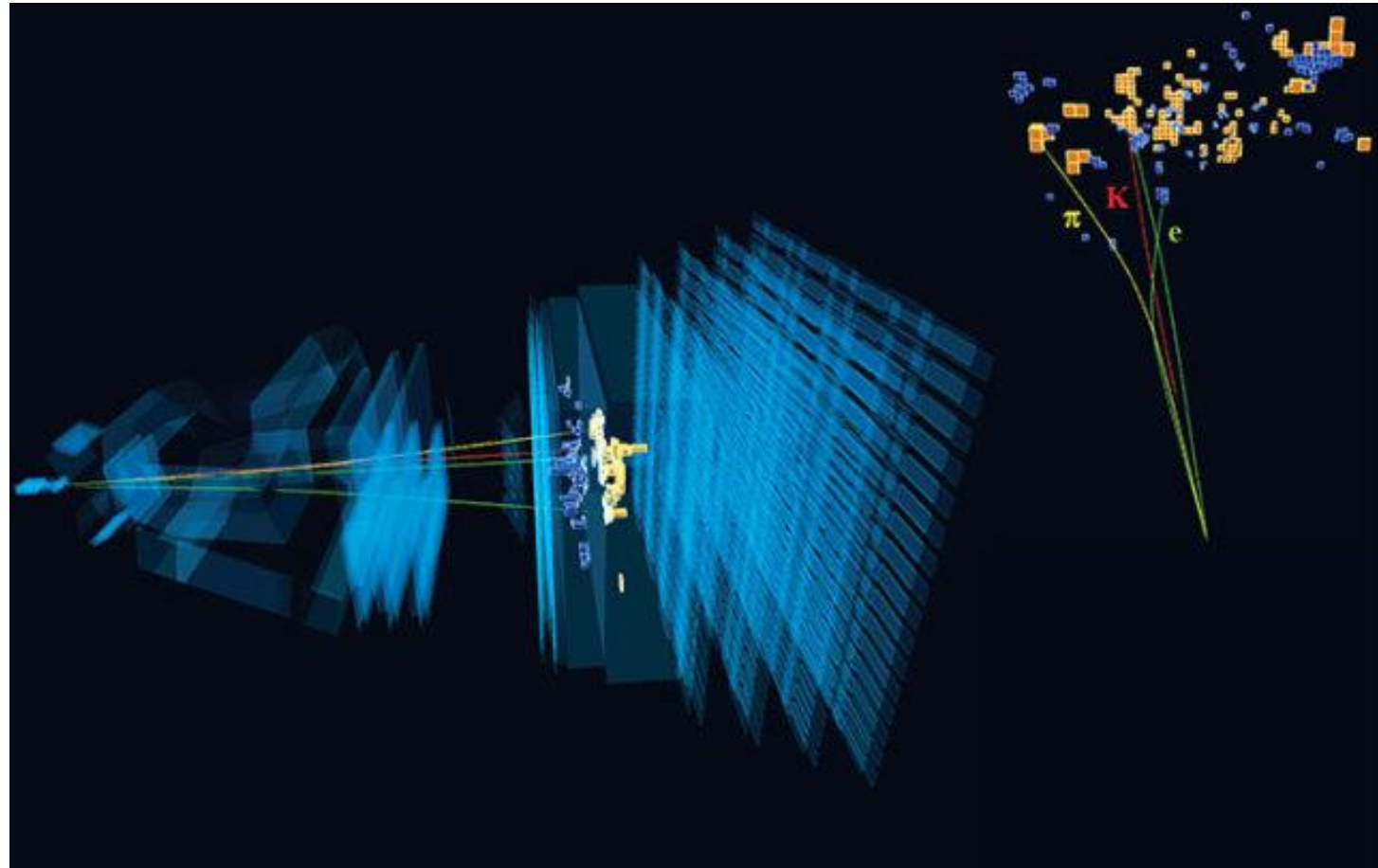
# 4 детектори навколо LHC



Протони роблять  
11245 обертів за  
секунду!

# Як визначити тип частинок?

- Реконструкція слідів заряджених частинок:
  - Завдяки трекінговим детекторам
  - Вимірювання заряду за допомогою магніту
  - Завдяки кривизні її траєкторії ми визначаємо імпульс частинки



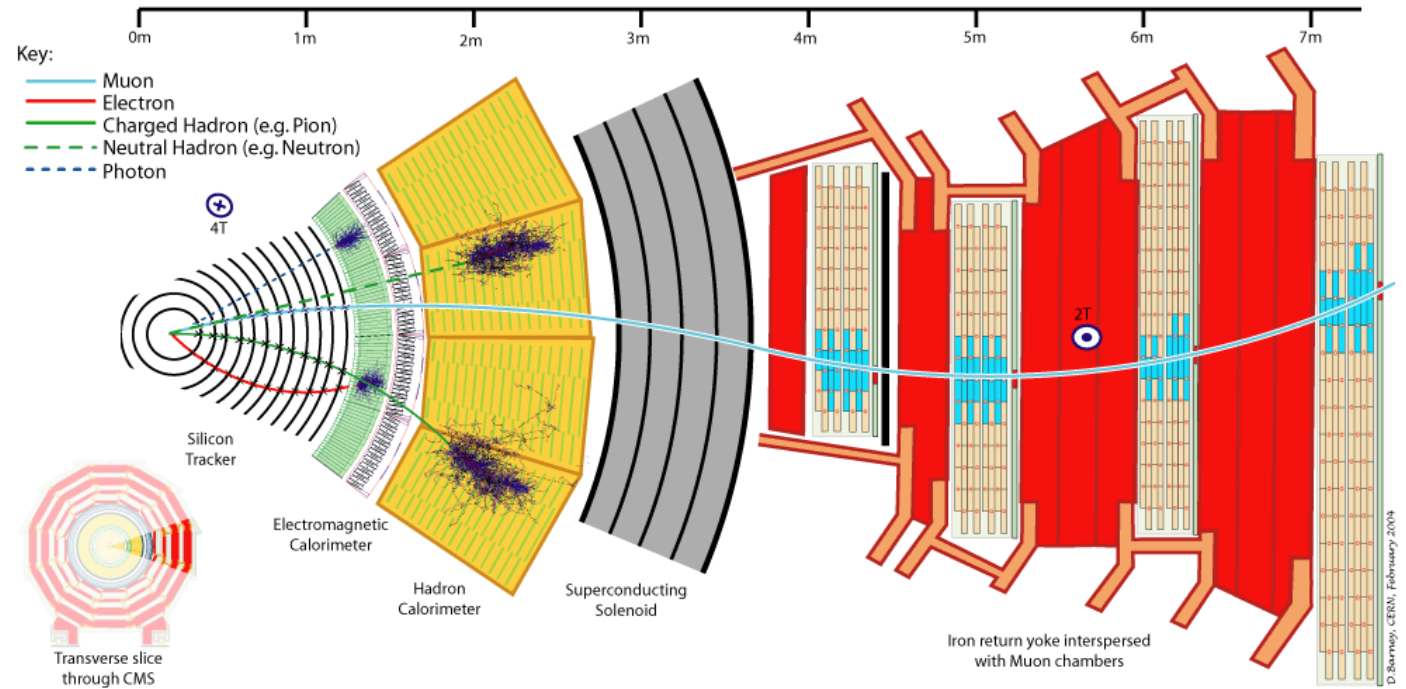
# Як визначити тип частинок?

- Щоб ідентифікувати частинку, потрібна маса!

Тож нам потрібна енергія E!

$$\cancel{E = mc^2}$$
$$E^2 = m^2c^4 + p^2c^2$$

- Ми використовуємо калориметри:
  - електромагнітний ( $\gamma$ , e, ...)
  - адронний (p, n, K, ...)
  - Мюонні камери( $\mu$ )



# Підсумок детектування часток

## $e^+$ • Заряджені частинки



- Реконструкція треків

- Реконструкція імпульсу  $\vec{p}$

- Реконструкція енергії  $E$  в ECAL, HCAL, та мюонів



$p$

## • Нейтральні частинки

- НЕМАЄ треку

- НЕ МІРЯЄМО імпульс  $\vec{p}$

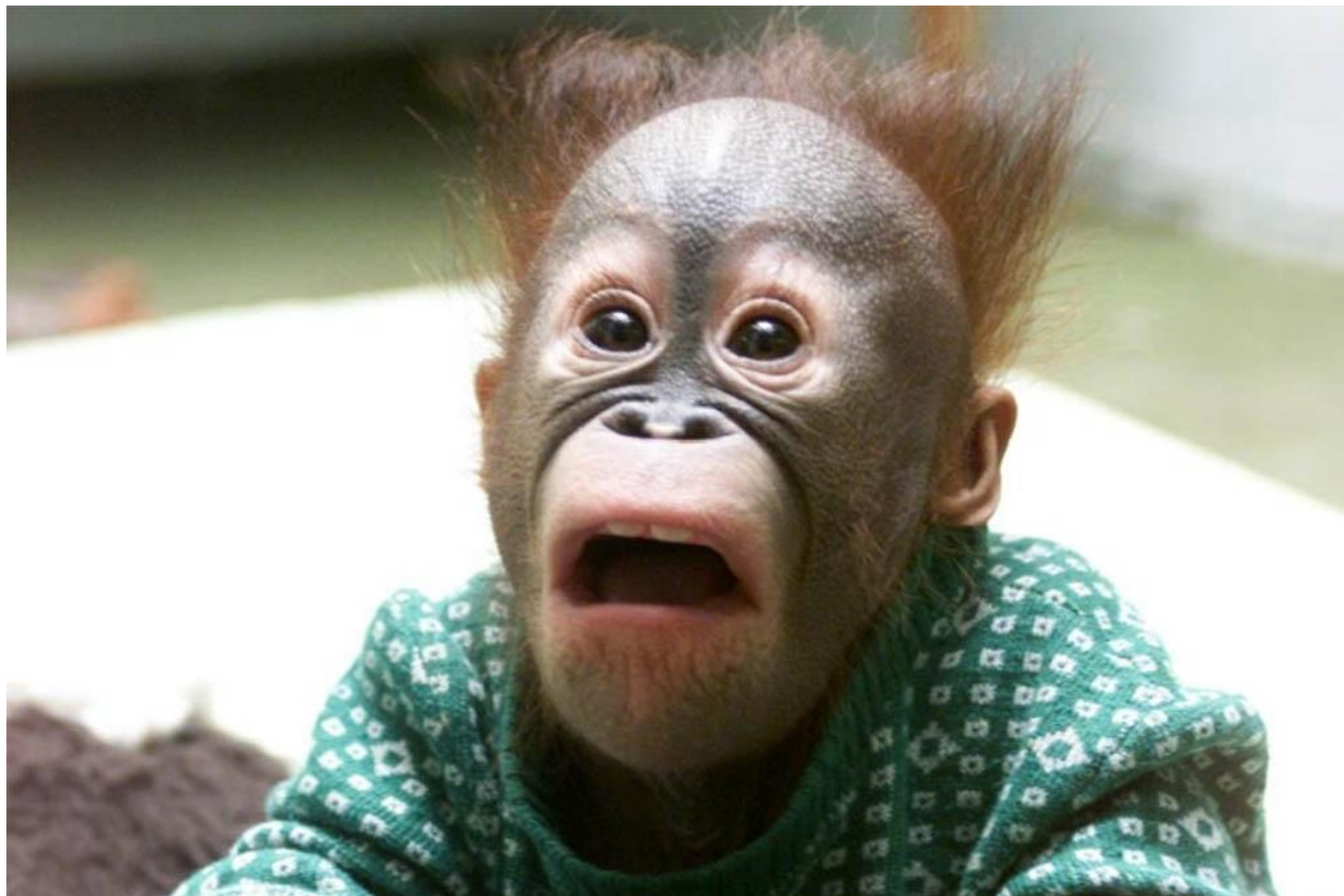
- Реконструкція  $E$  в калориметрах з допомогою енергії, яку залишають продукти взаємодії



Завдяки реконструкції подій ми можемо  
зробити відкриття... шампанського!

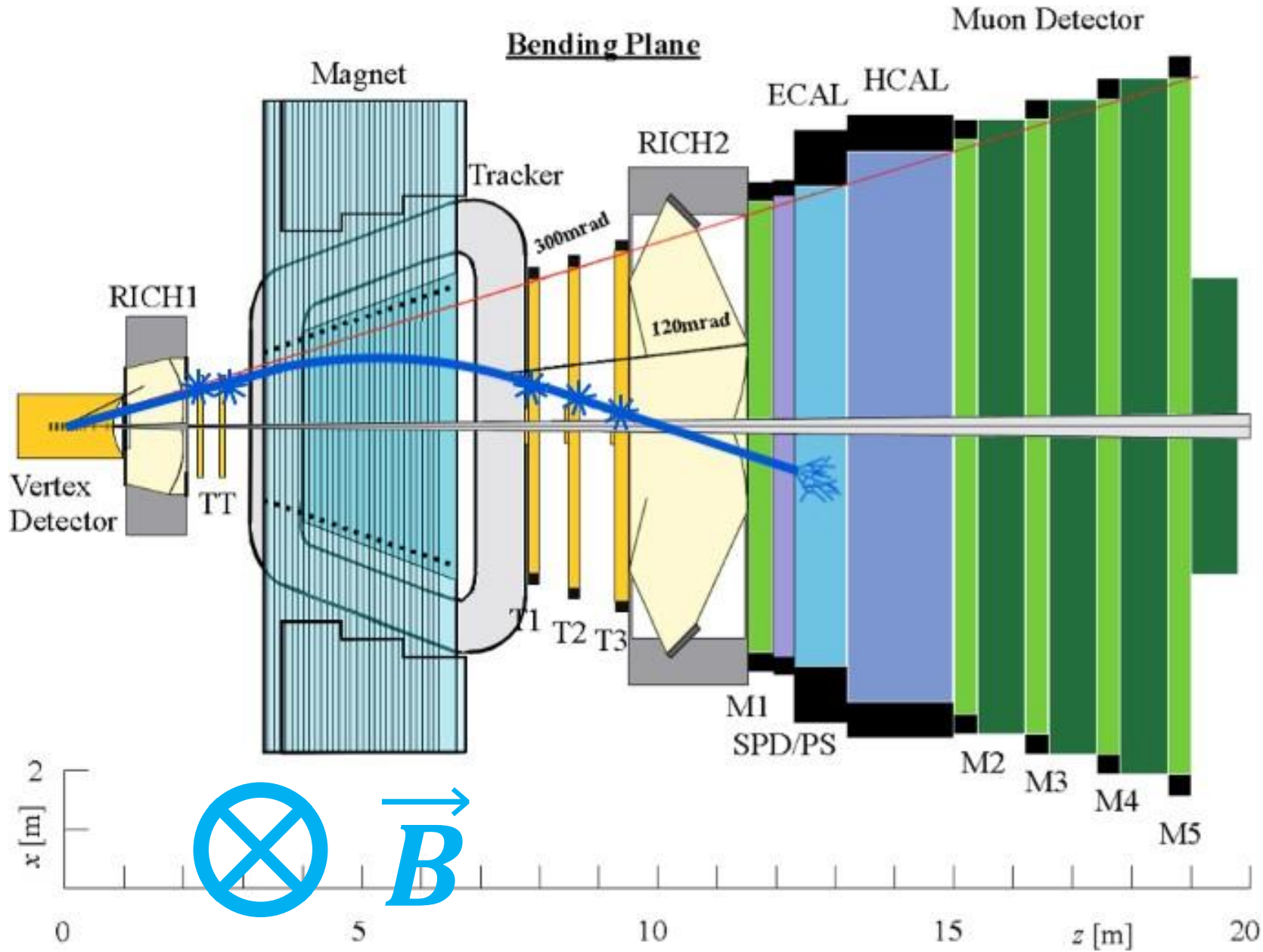


# Тест-сюрприз!



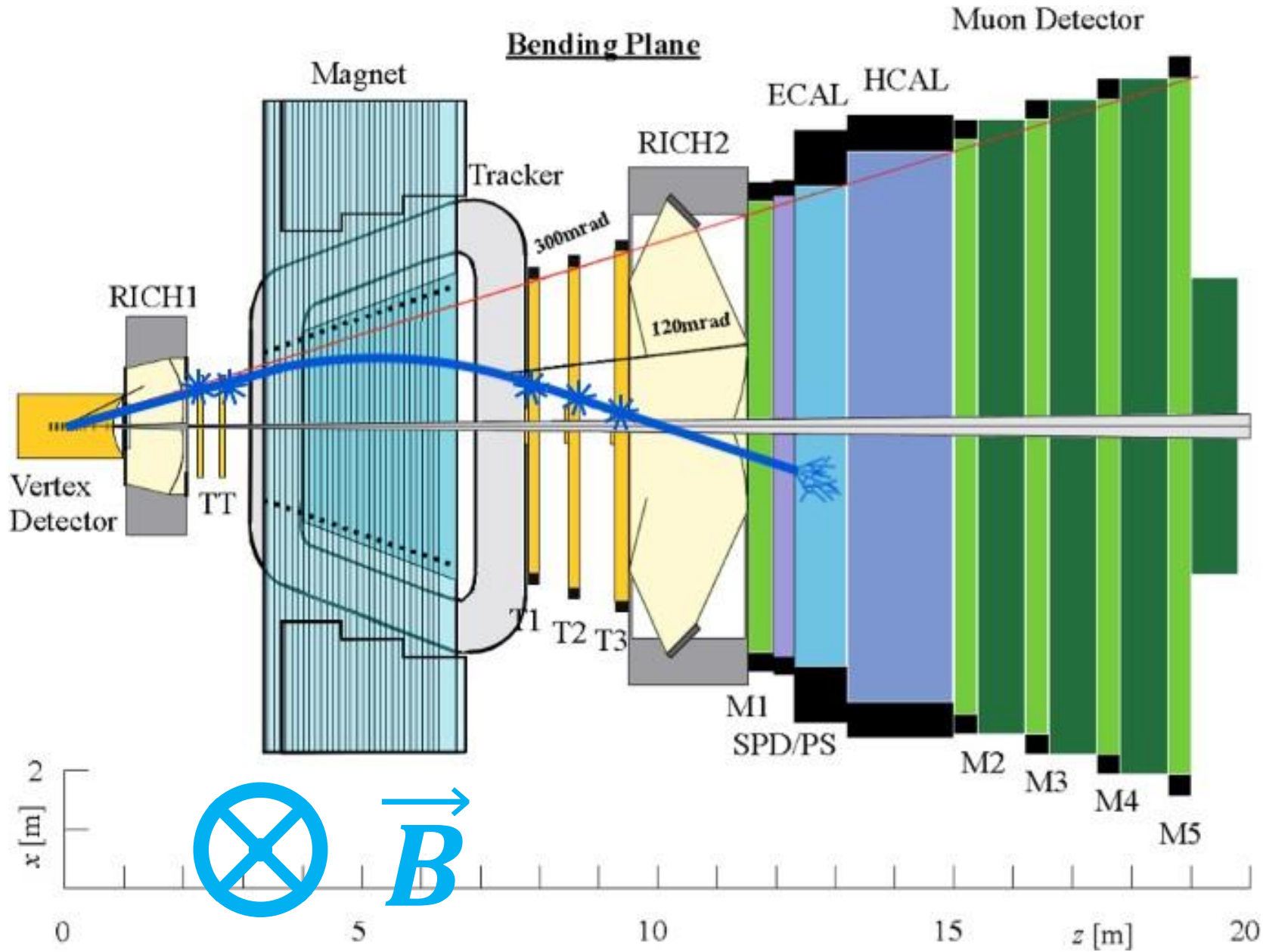


# Вигляд зверху



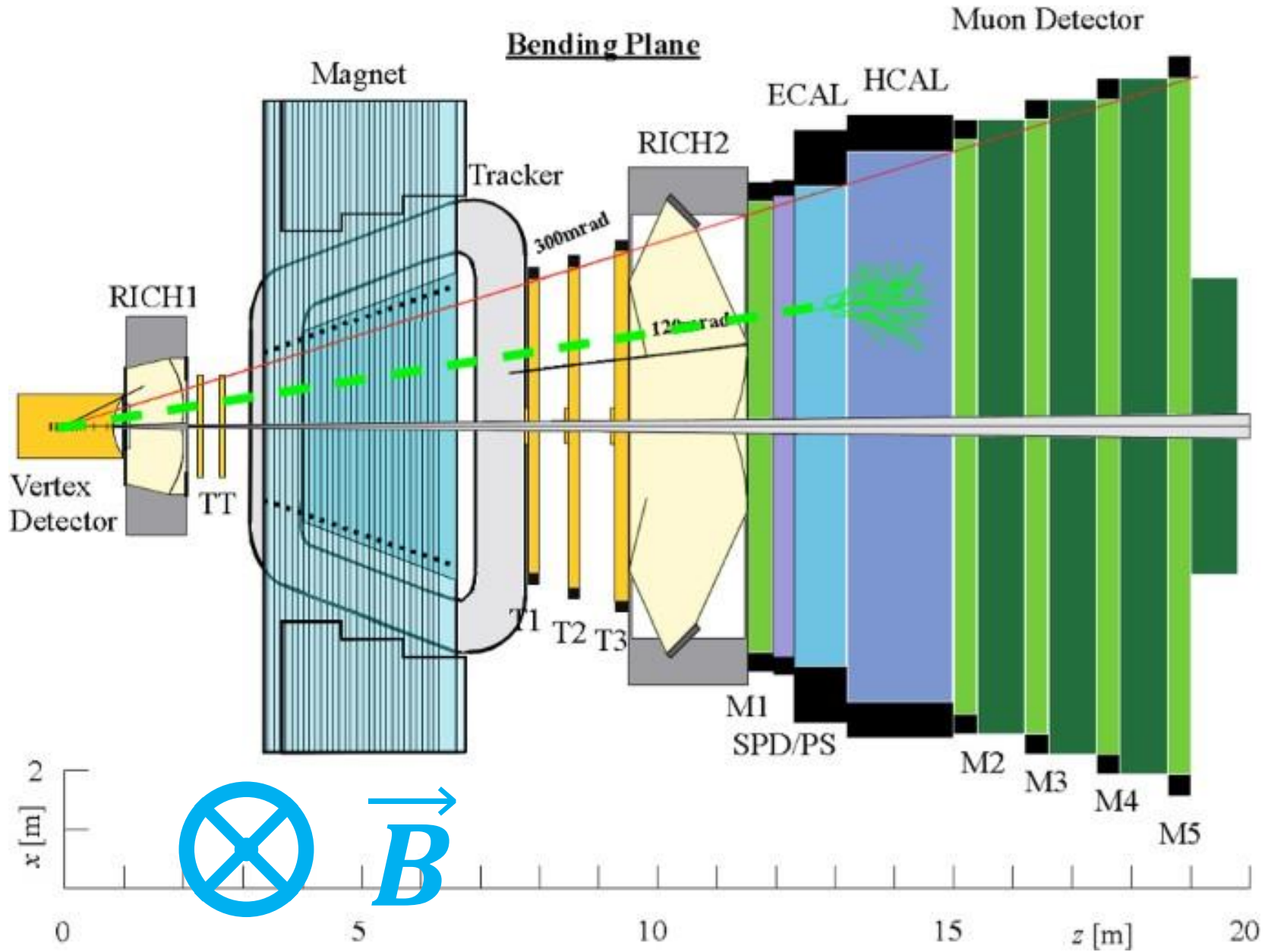
- $\gamma$
- ▲  $e^-$
- $e^+$
- ★  $p$

# Вигляд зверху



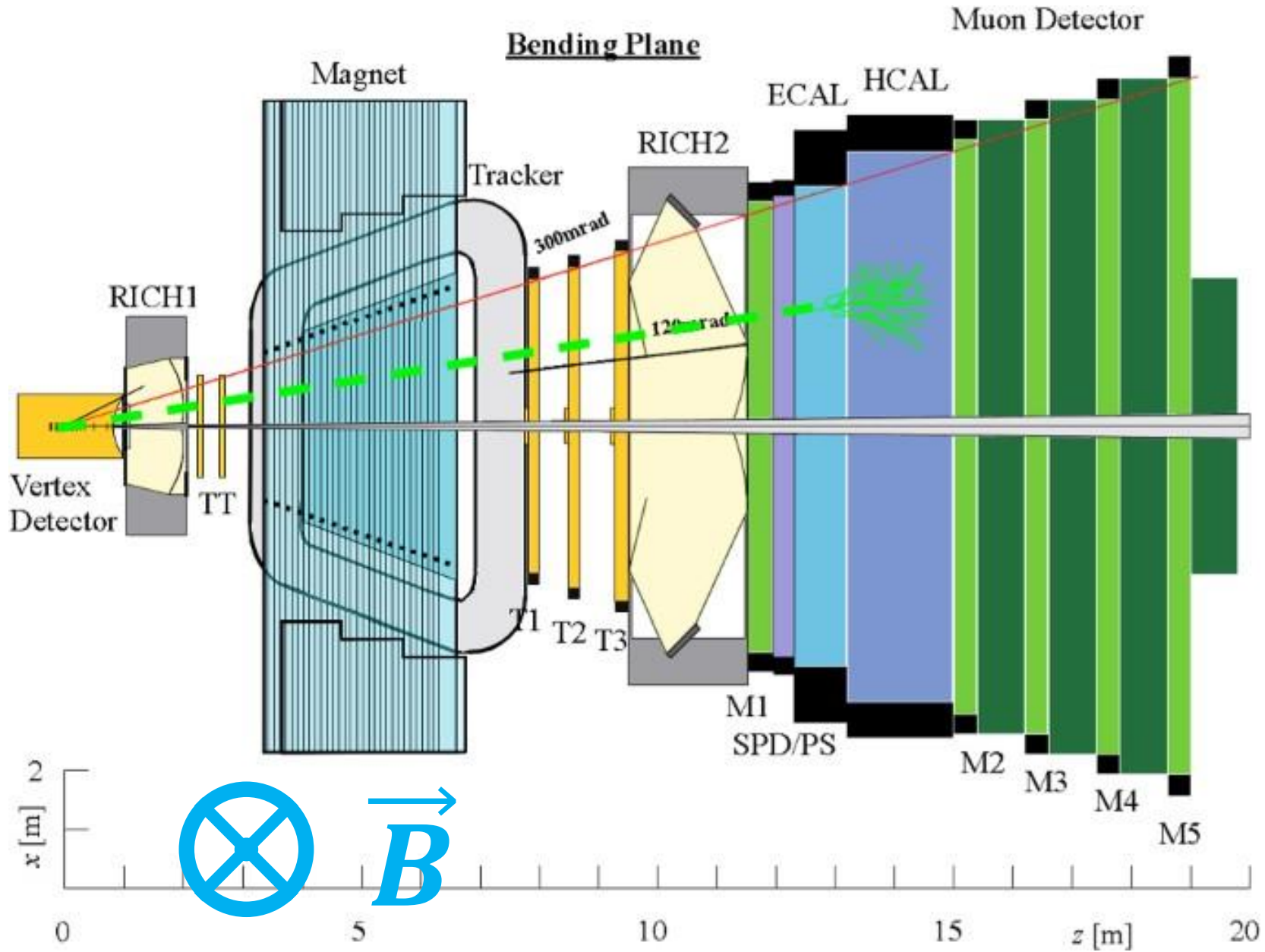
- $\gamma$
- ▲  $e^-$
- $e^+$
- ★  $p$

# Вигляд зверху



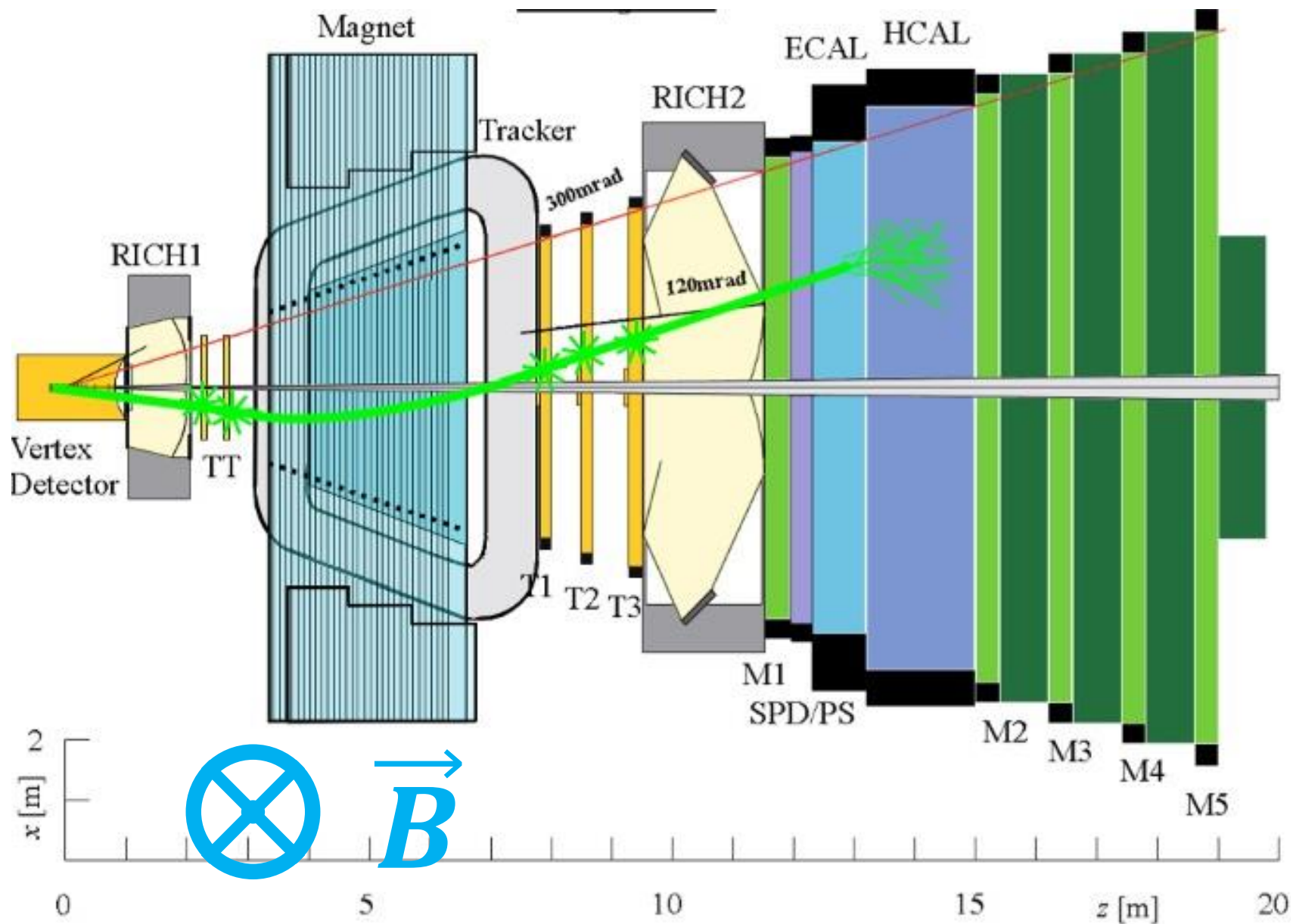
- $\gamma$
- ▲  $e^+$
- $n$
- ★  $p$

# Вигляд зверху



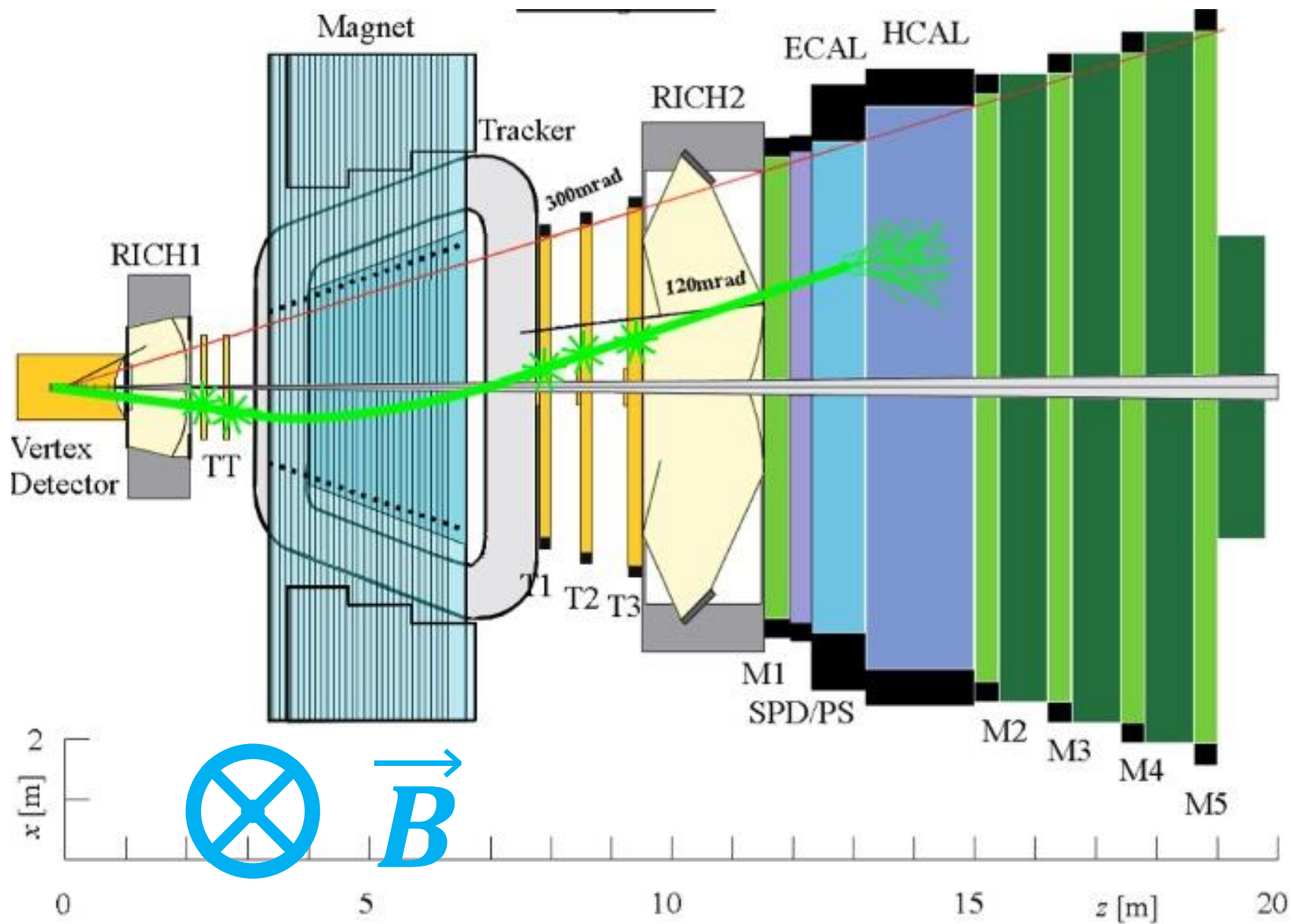
- $\gamma$
- ▲  $e^+$
- $n$
- ★  $p$

# Вигляд зверху



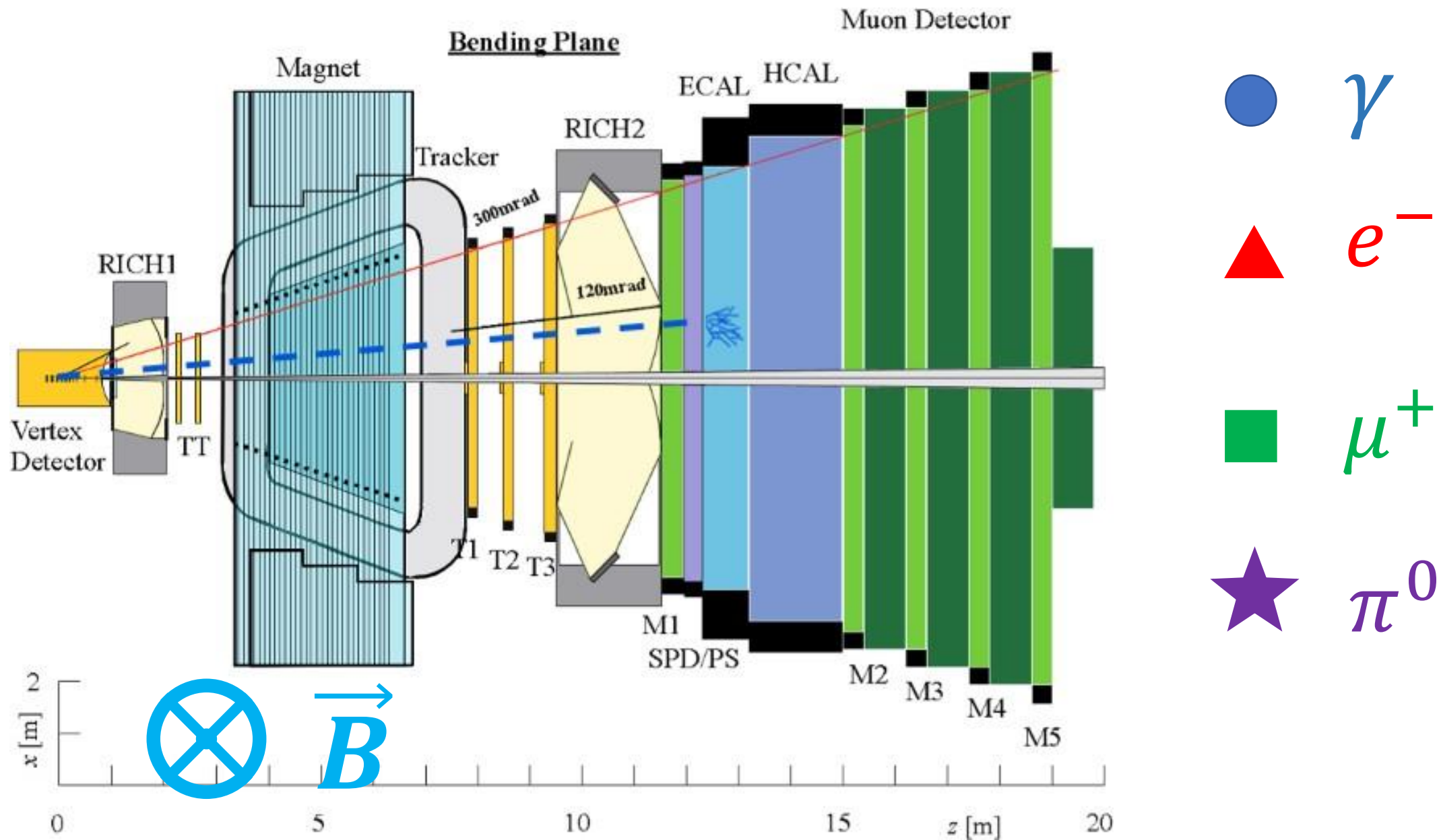
- $\gamma$
- ▲  $e^+$
- $n$
- ★  $p$

# Вигляд зверху

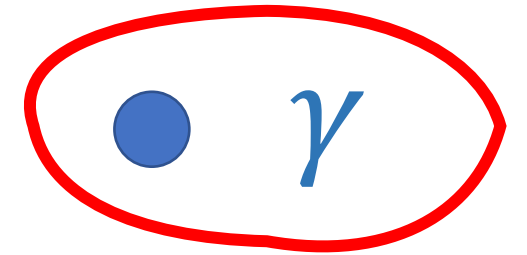
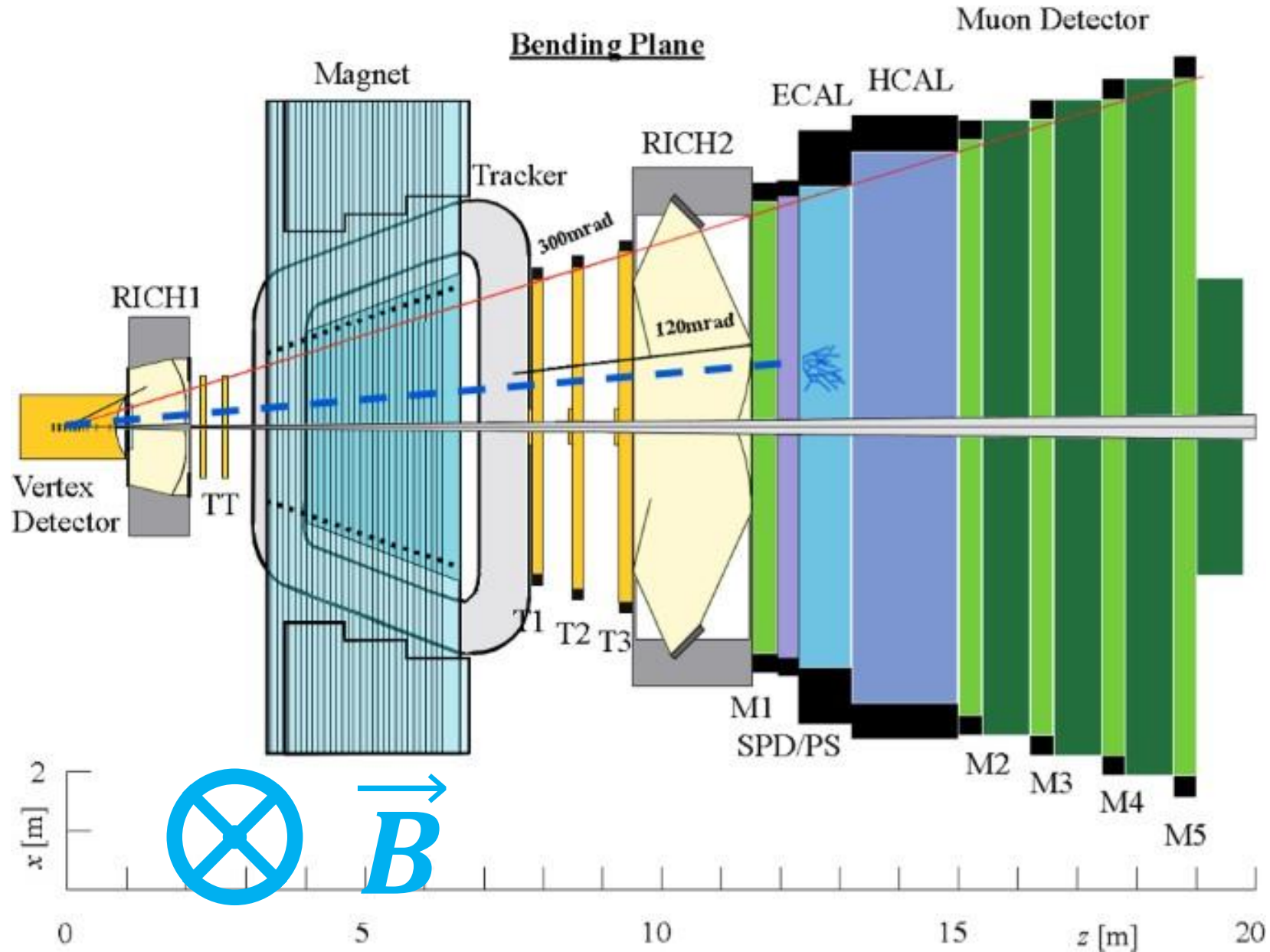


- $\gamma$
- ▲  $e^+$
- $n$
- ★  $p$

# Вигляд зверху

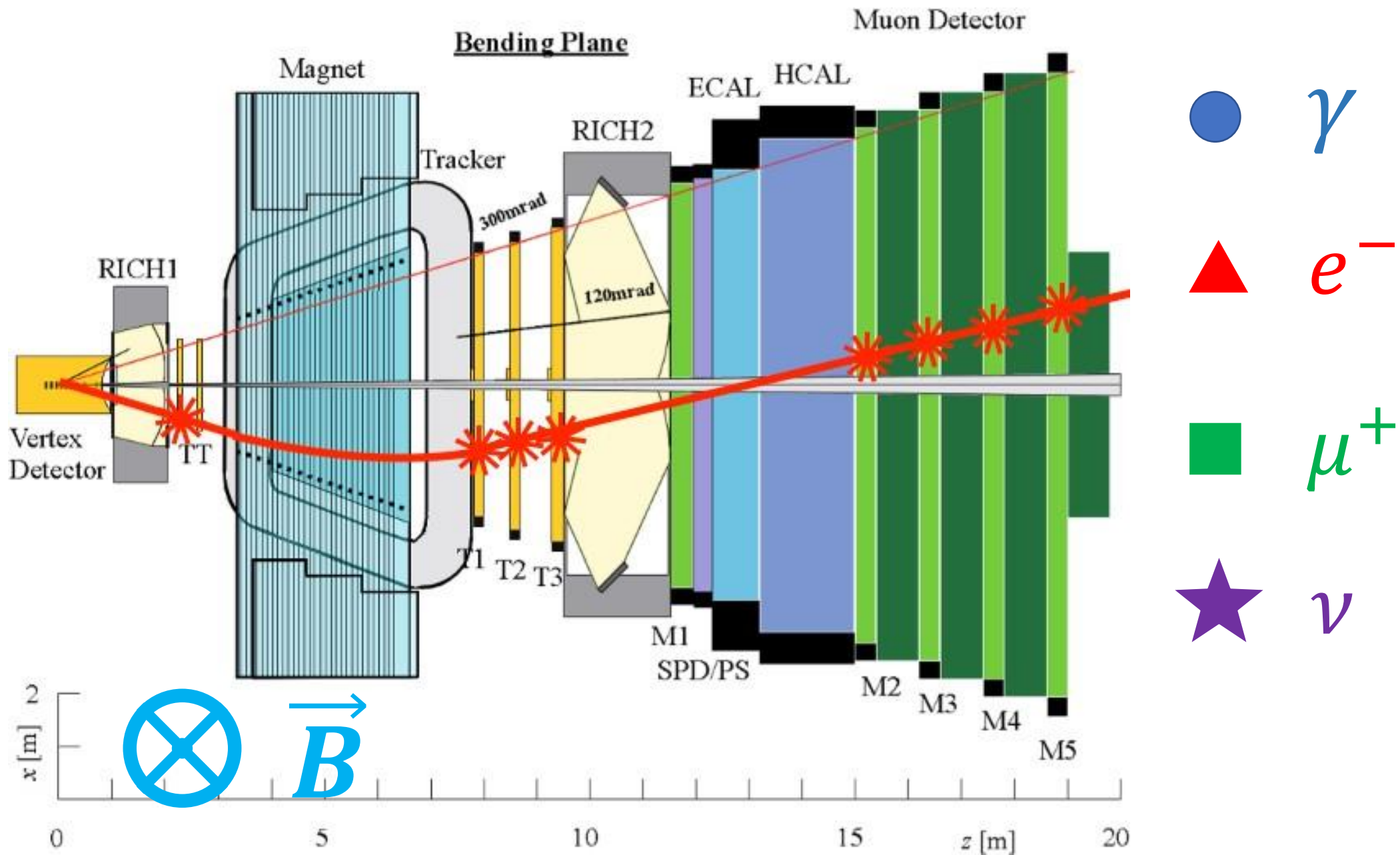


# Вигляд зверху

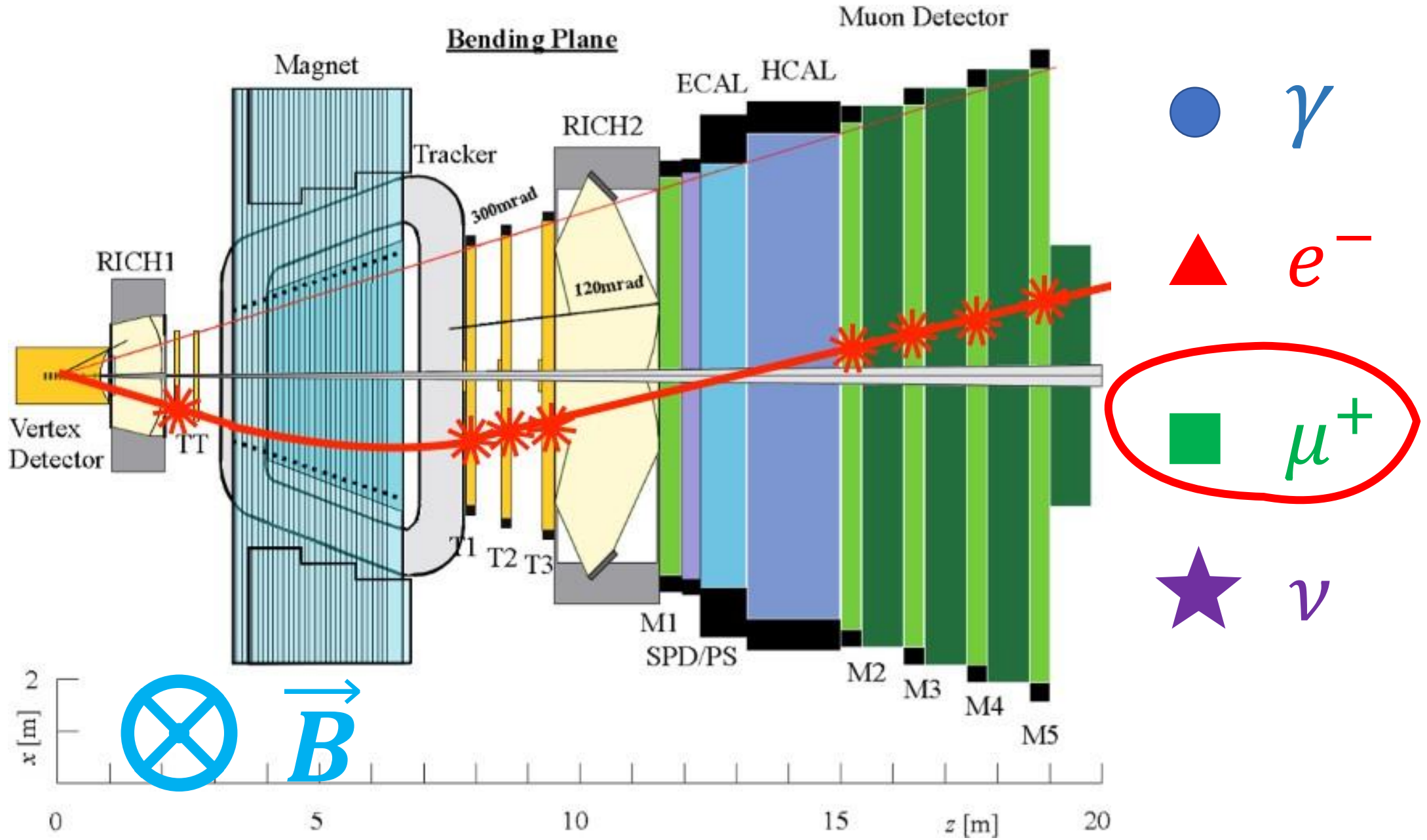




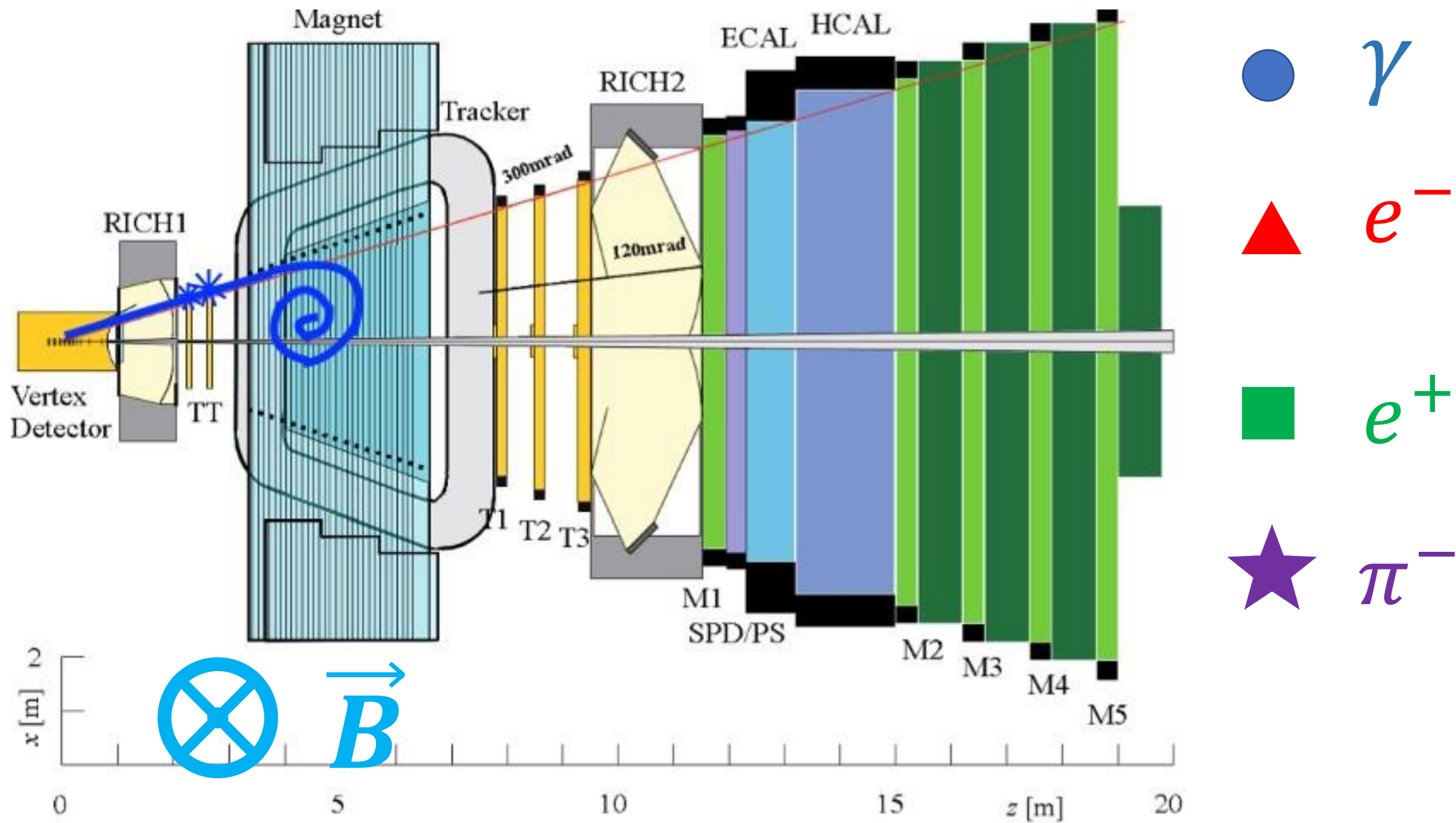
# Вигляд зверху



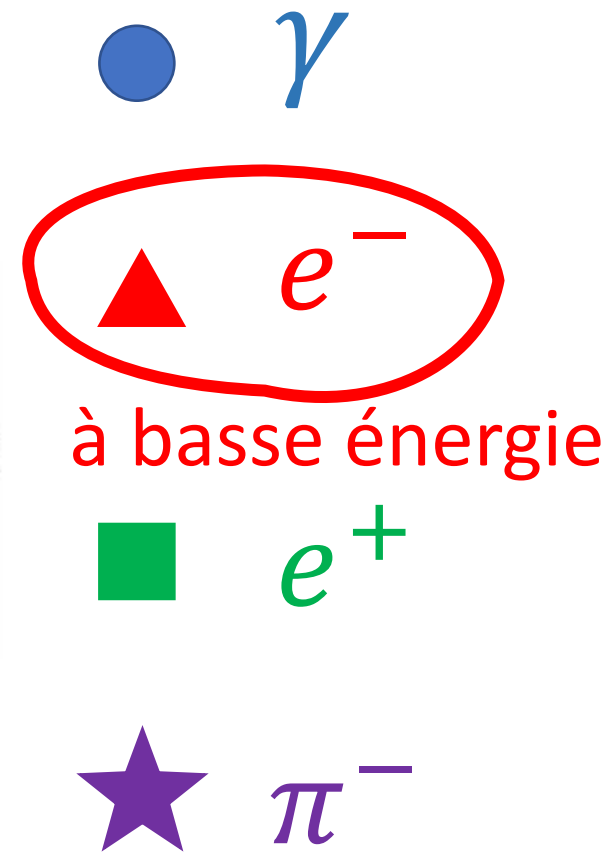
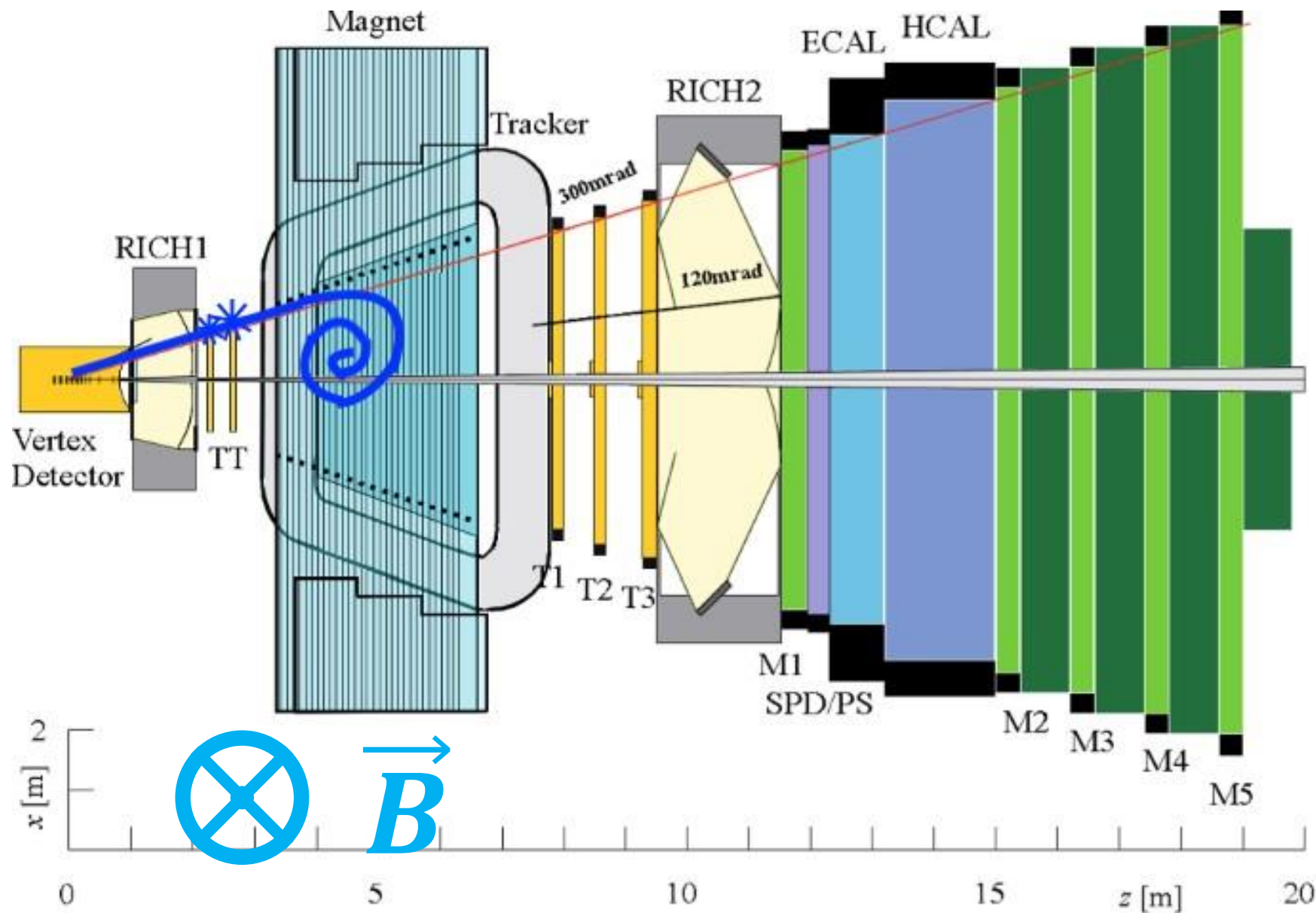
# Вигляд зверху



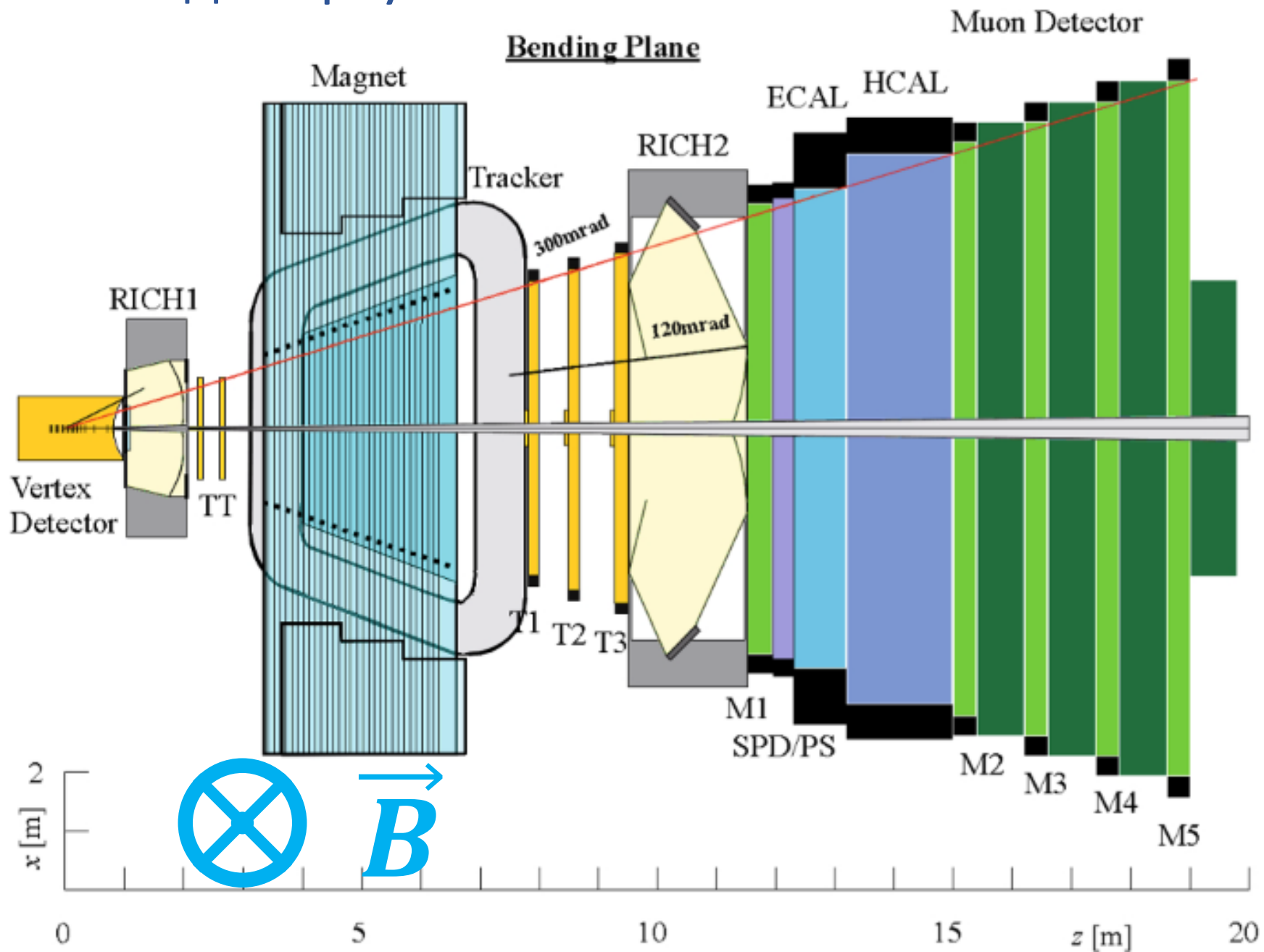
# Вигляд зверху



# Вигляд зверху



# Вигляд зверху



$\gamma$



$n$

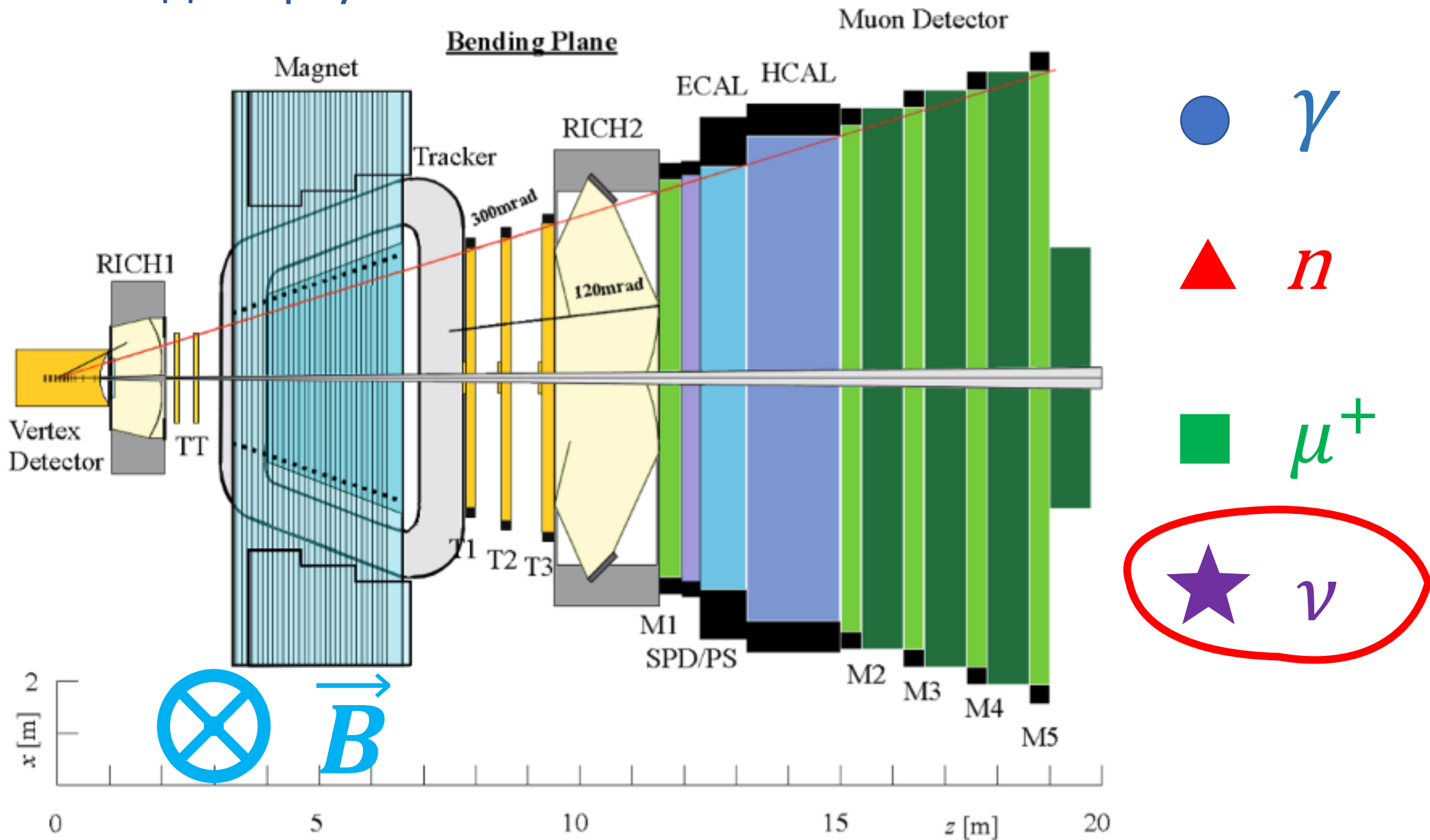


$\mu^+$

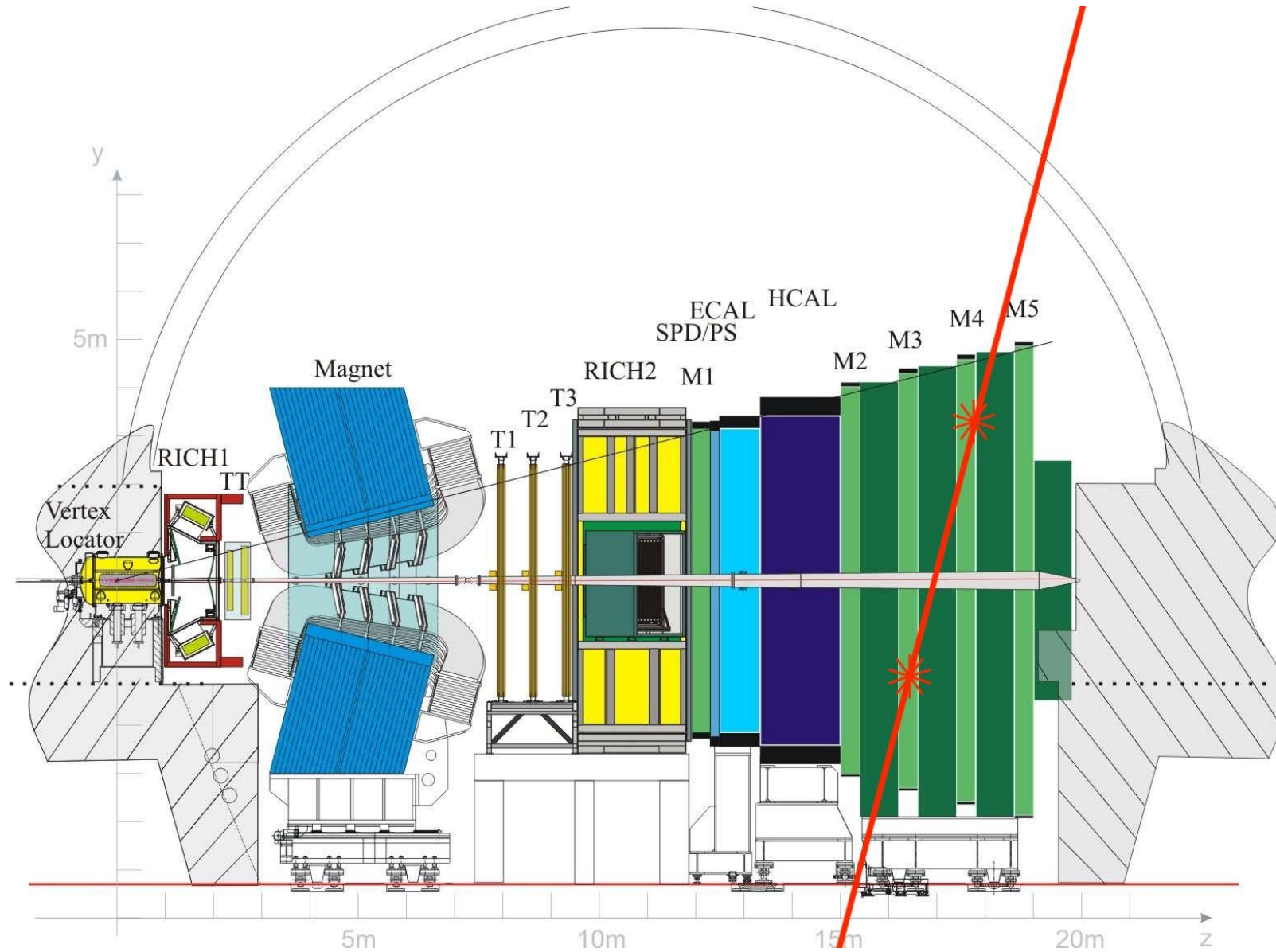


$\nu$

# Вигляд зверху



# Вигляд збоку



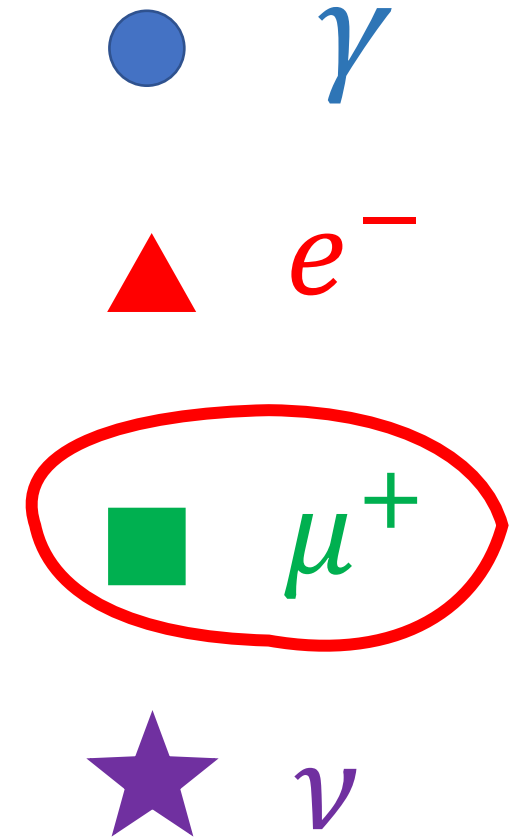
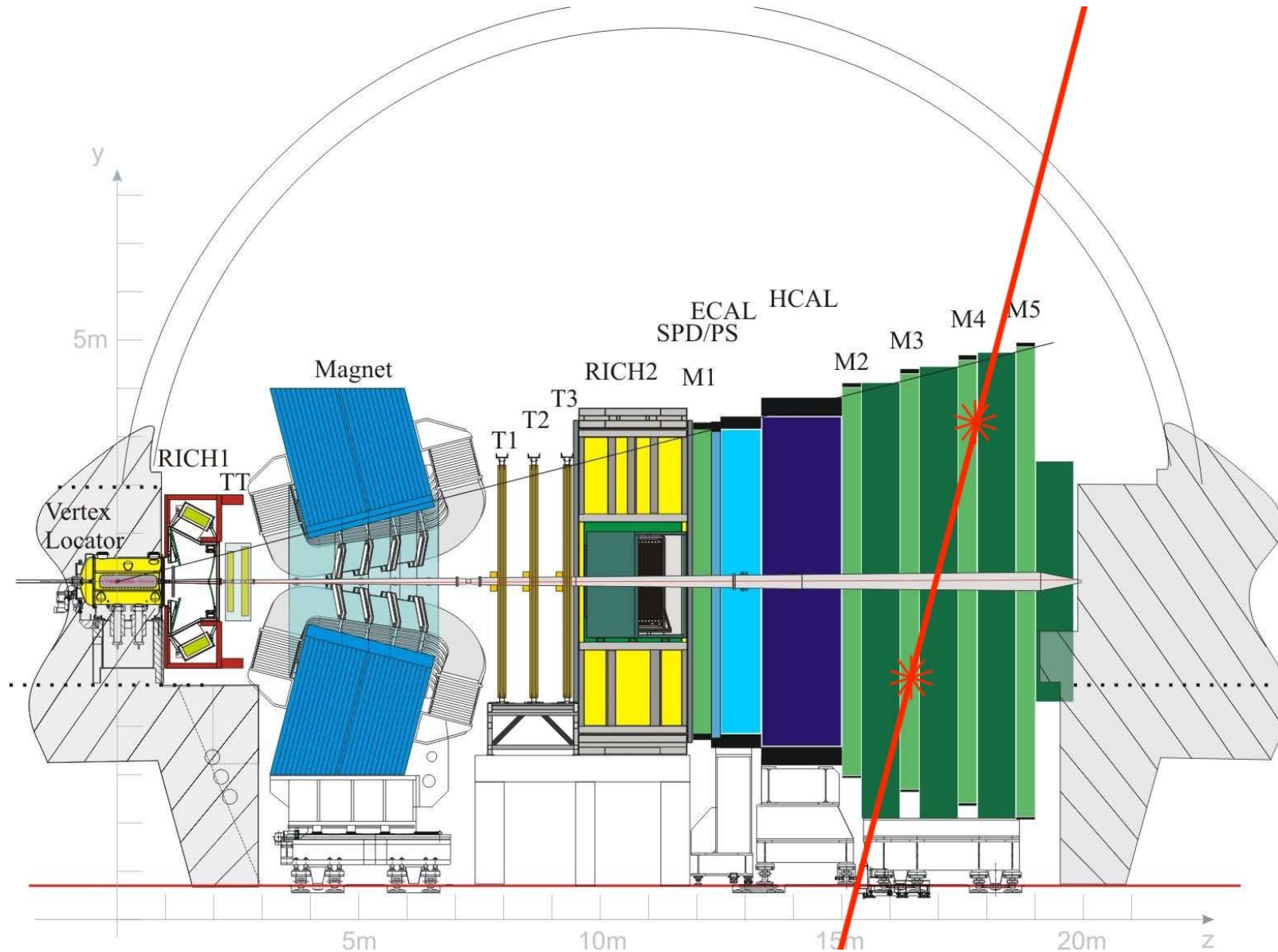
●  $\gamma$

▲  $e^-$

■  $\mu^+$

★  $\nu$

# Вигляд збоку





У вас є які-небудь питання?

