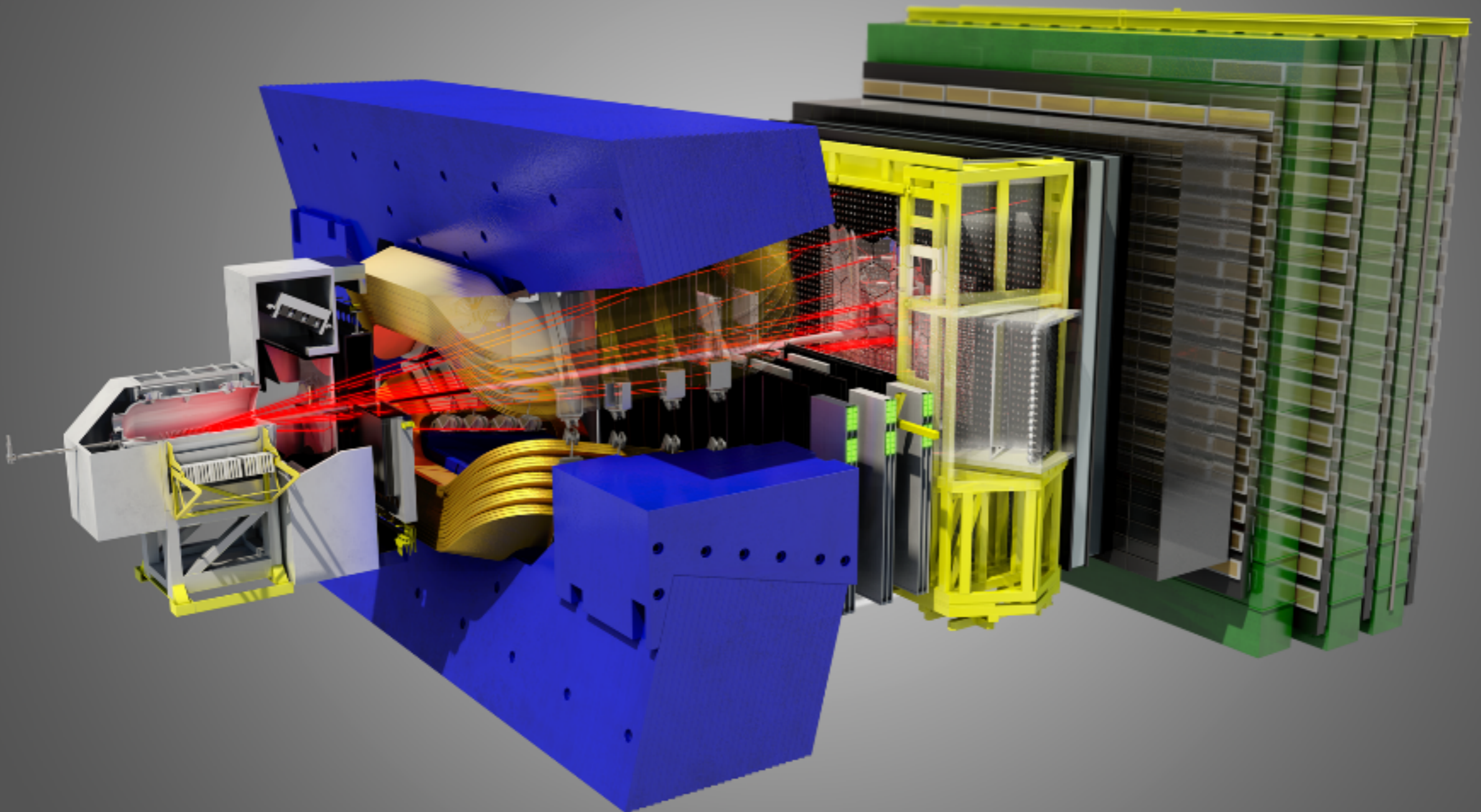
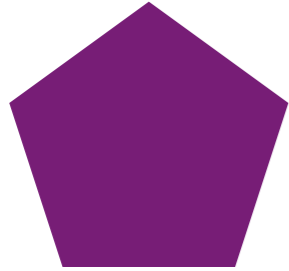


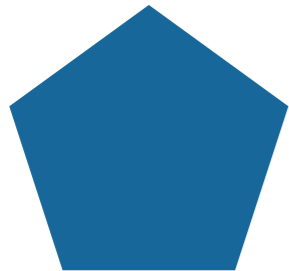
ЛНСб майстер-клас

Леся Щуцька (на базі слайдів Violaine Bellée), 1 травня 2024

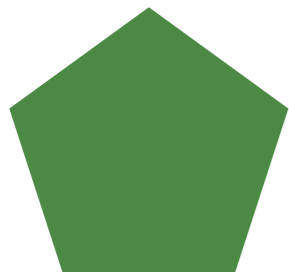




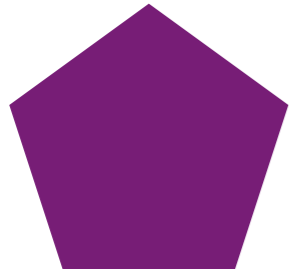
Вступ: мезон D^0 і чим він цікавий



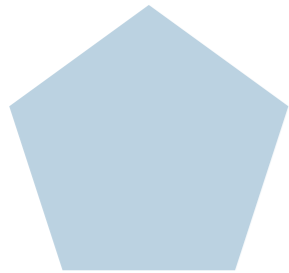
Вимірювання властивостей частинок
за допомогою LHCb



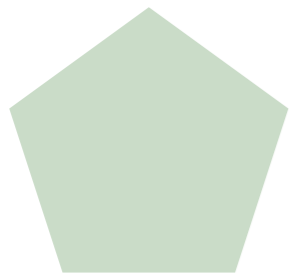
Ваша місія!



Вступ: мезон D^0 і чим він цікавий



Вимірювання властивостей частинок
за допомогою LHCb

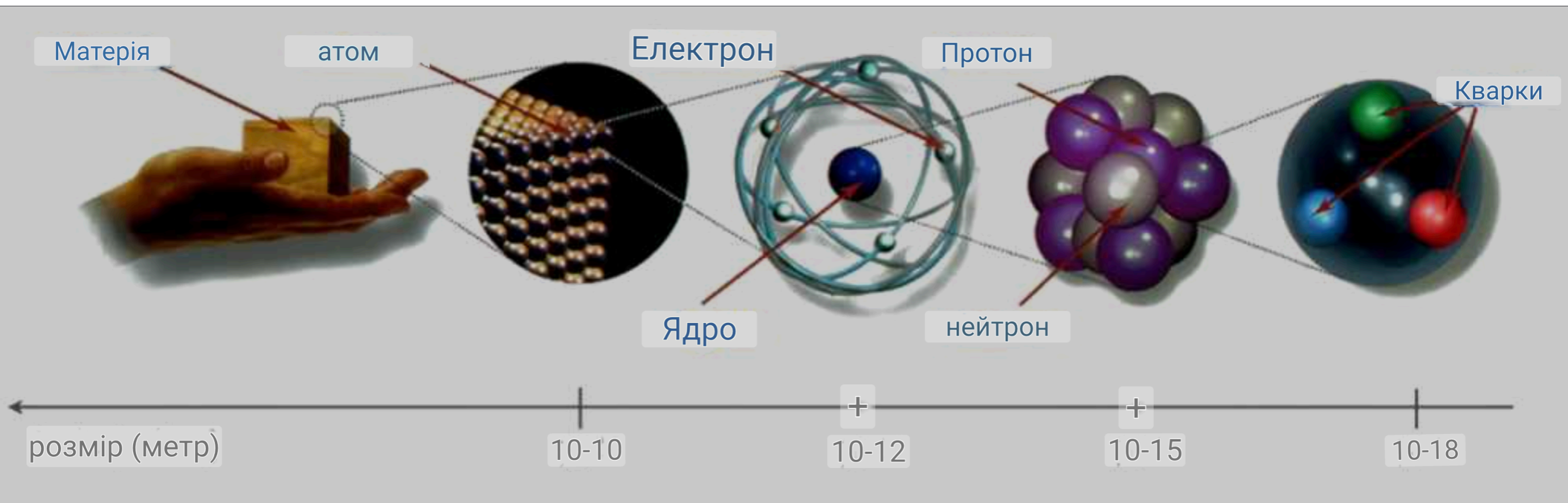


Ваша місія!

A large orange speech bubble with a white question inside, pointing towards the bottom right.

**ЩО ТАКЕ ФІЗИКА ЕЛЕМЕНТАРНИХ
ЧАСТИНОК?**

Вивчення елементарних компонентів речовини та їх взаємодії



Три покоління матерії (ферміони)

	I	II	III	
маса спокою→	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
електричний заряд→	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
спін→	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
назва→	верхній	зачарований	істинний	фотон
	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	нижній	дивний	чарівний	глюон
	<2.2 eV	<0.17 MeV	<15.5 MeV	91.2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	електронне нейтрино	мюонне нейтрино	тау-нейтрино	Z-бозон
	0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	електрон	мюон	тау	W-бозон

Кварки

Лептони

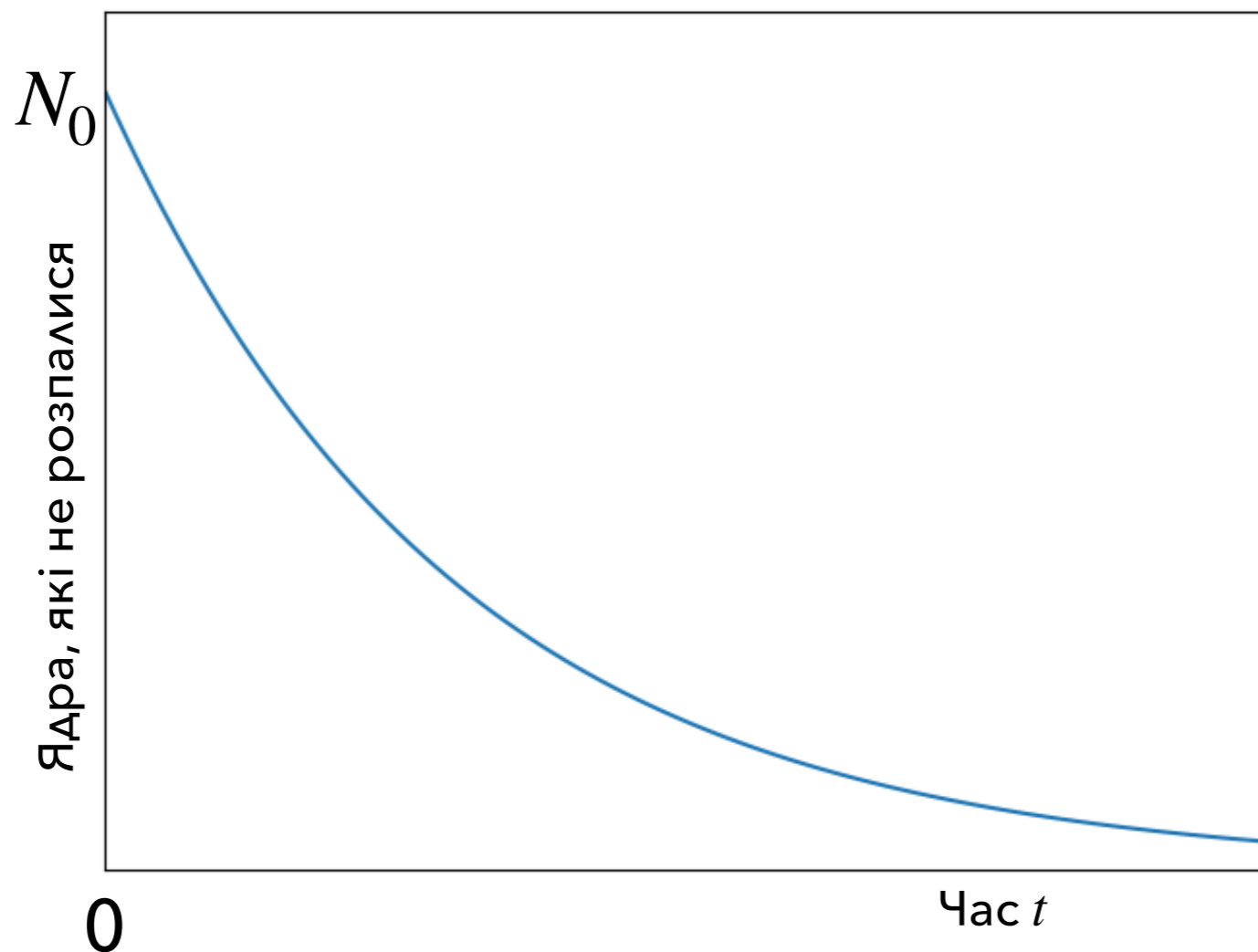
Калібрувальні бозони
(переносники взаємодії)

A large orange speech bubble with a white question inside, pointing towards the bottom right.

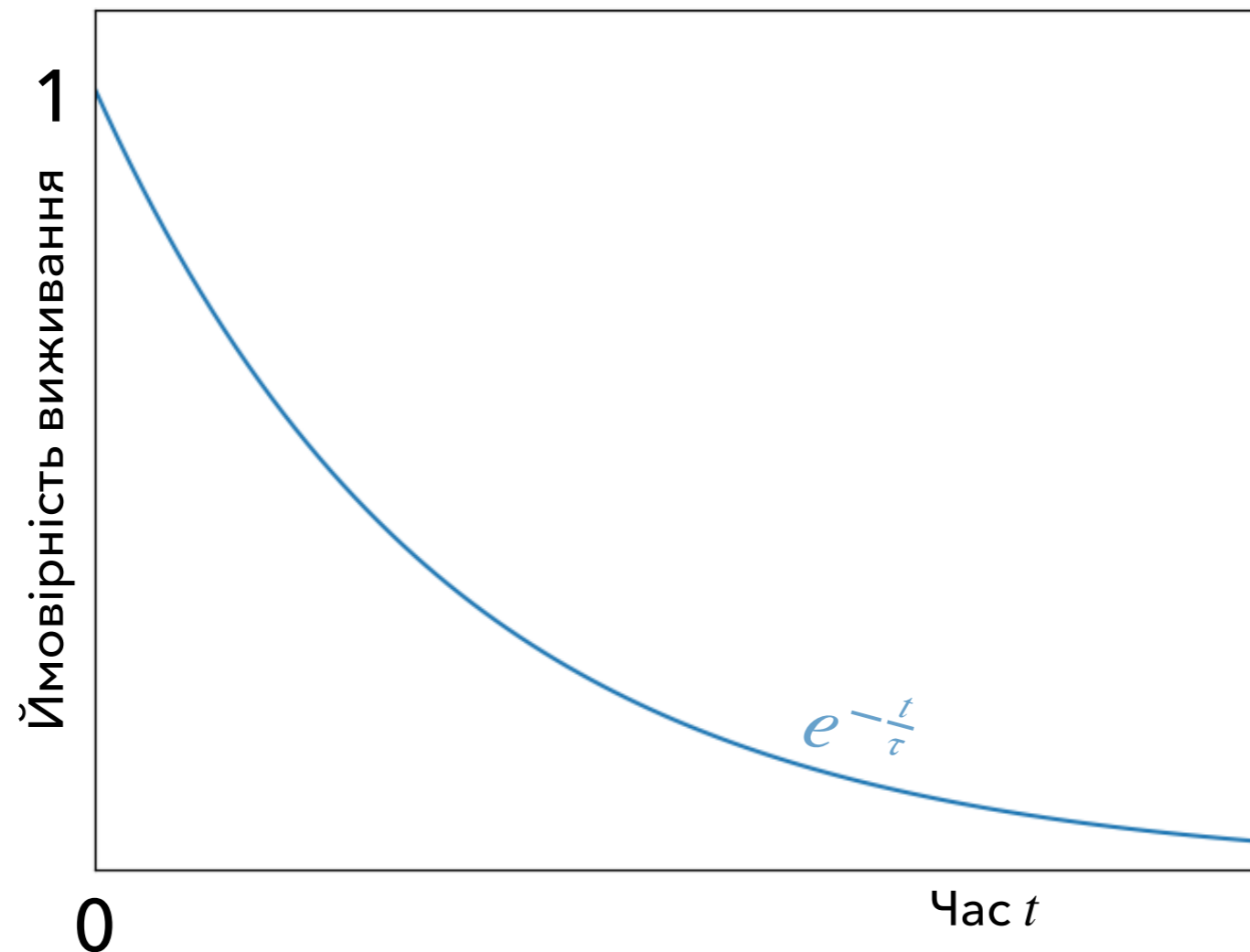
СКІЛЬКИ ЖИВЕ ЧАСТИНКА?

Імовірність того, що частинка розпадеться через час t , відповідає експоненціальному закону із середнім значенням τ (як для розпаду ядер):

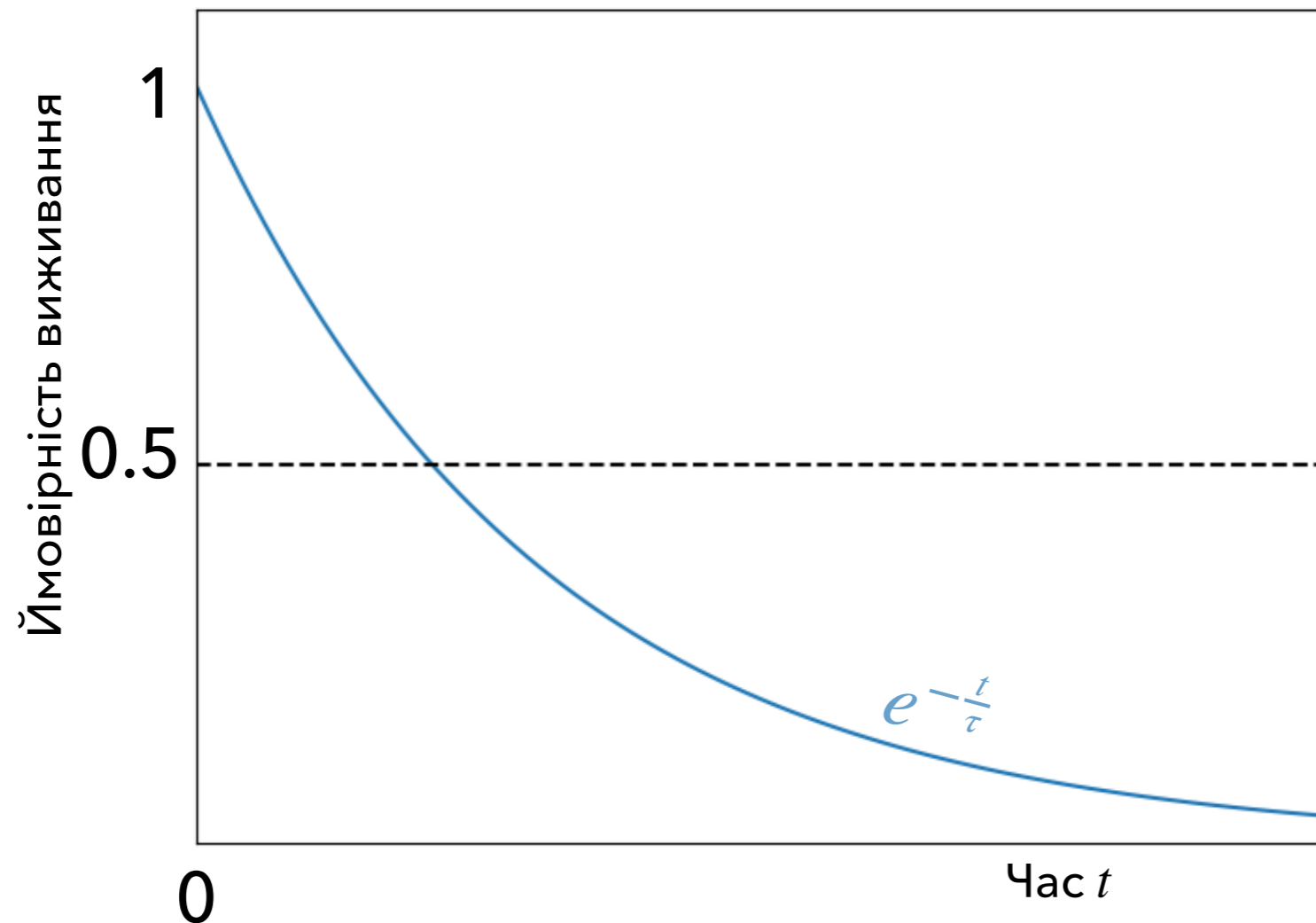
$$N(t) = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$



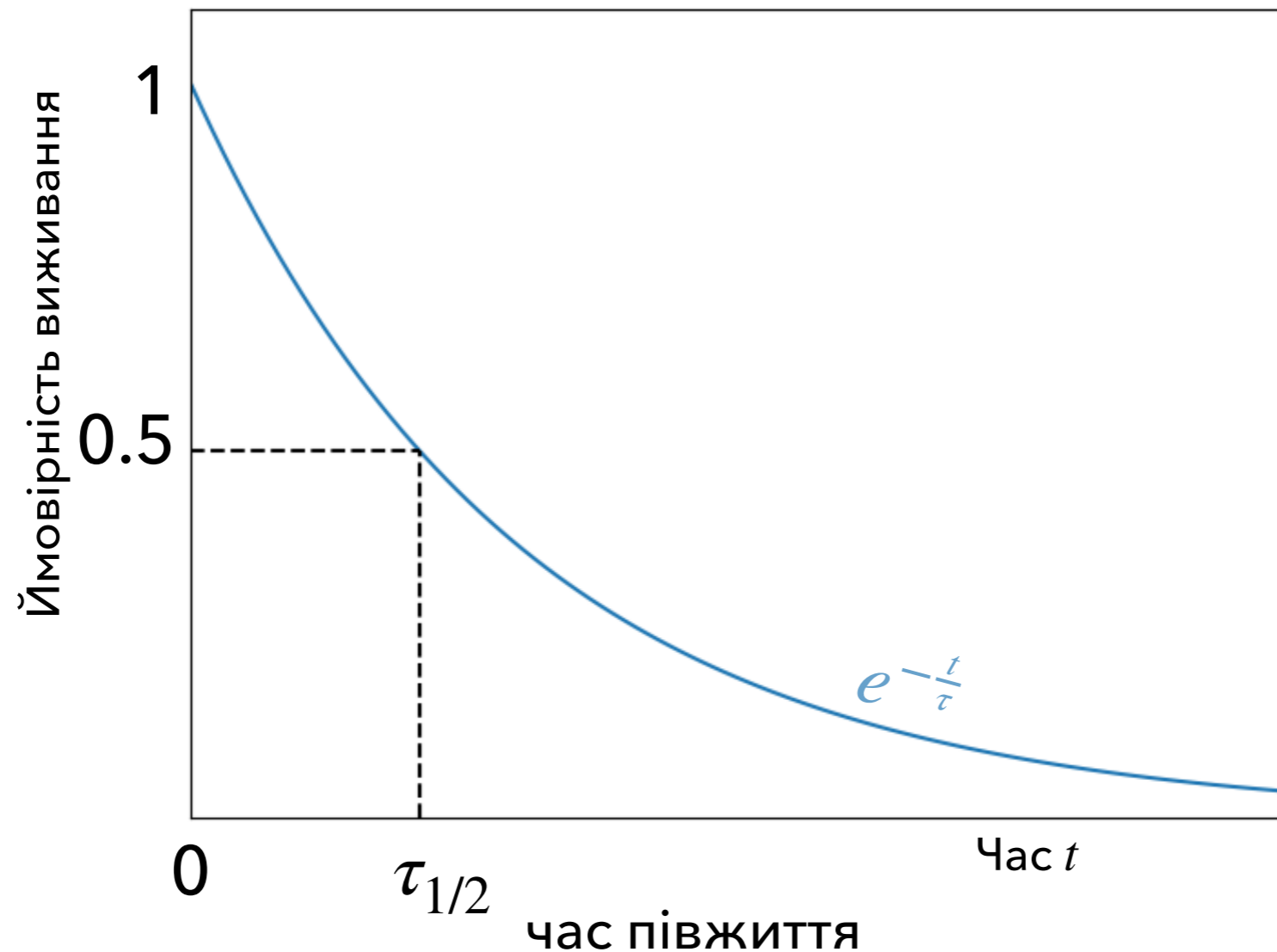
Імовірність того, що частинка розпадеться через час t , відповідає експоненціальному закону із середнім значенням τ (як для розпаду ядер):



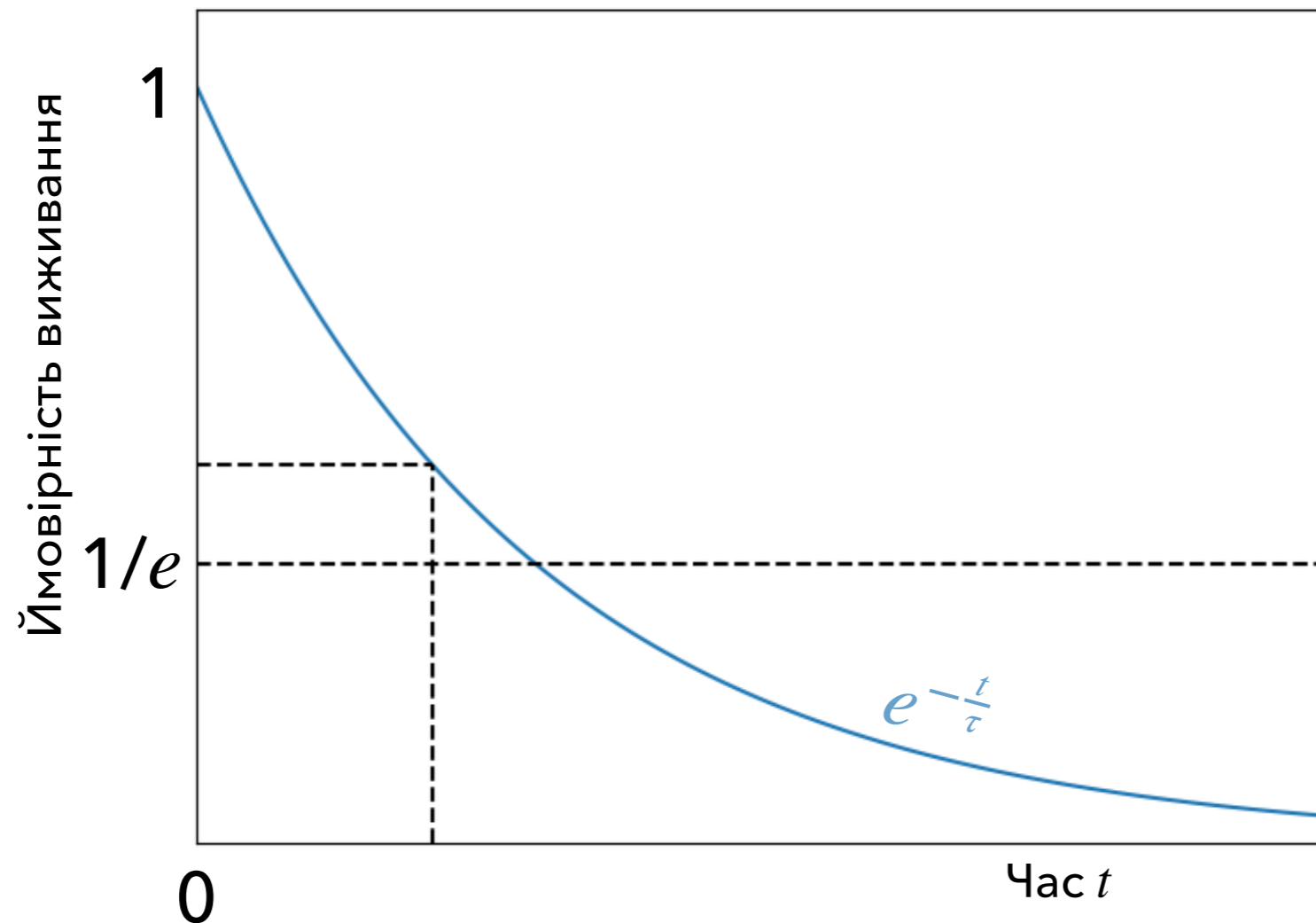
Імовірність того, що частинка розпадеться через час t , відповідає експоненціальному закону із середнім значенням τ (як для розпаду ядер):



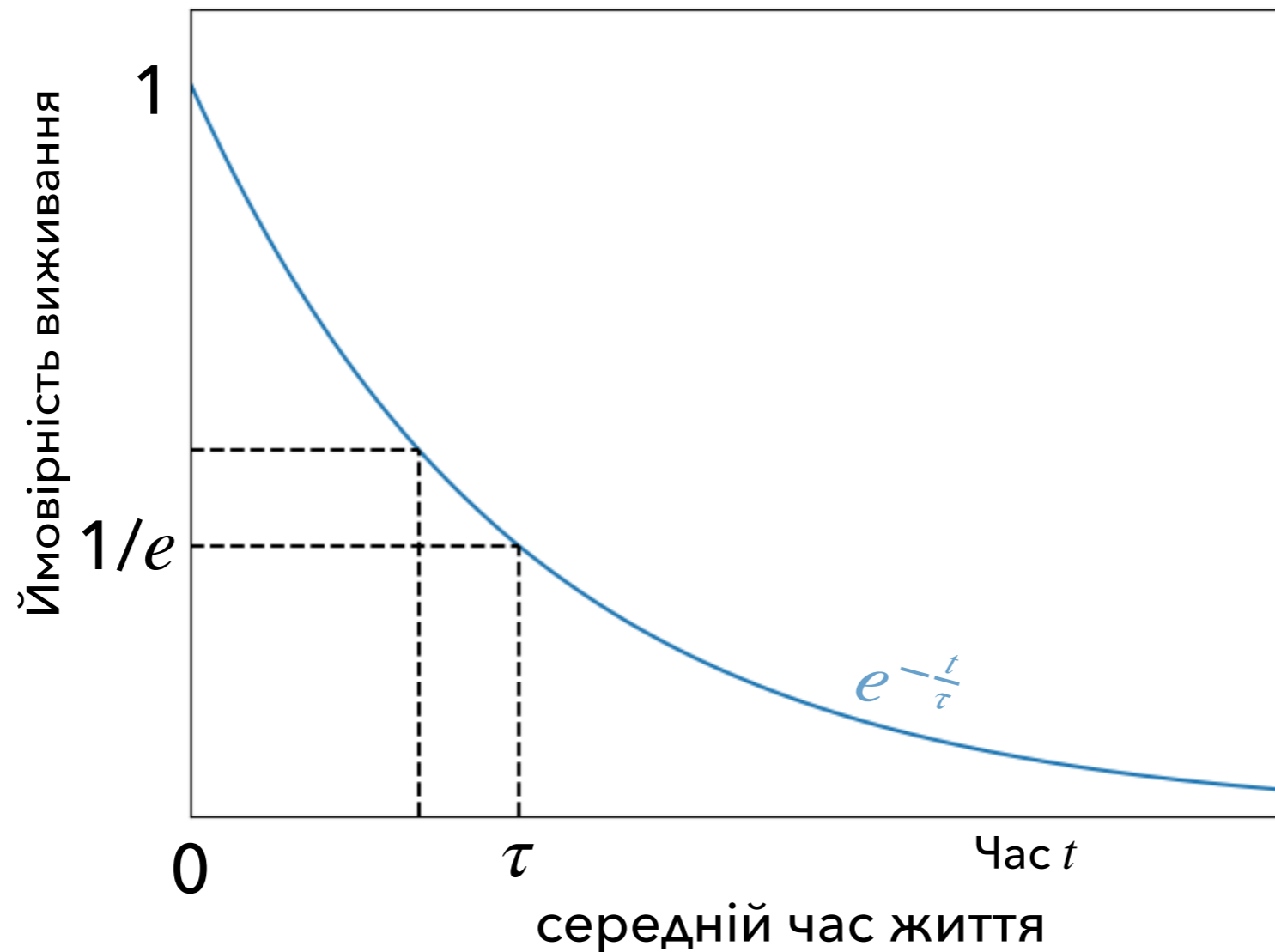
Імовірність того, що частинка розпадеться через час t , відповідає експоненціальному закону із середнім значенням τ (як для розпаду ядер):



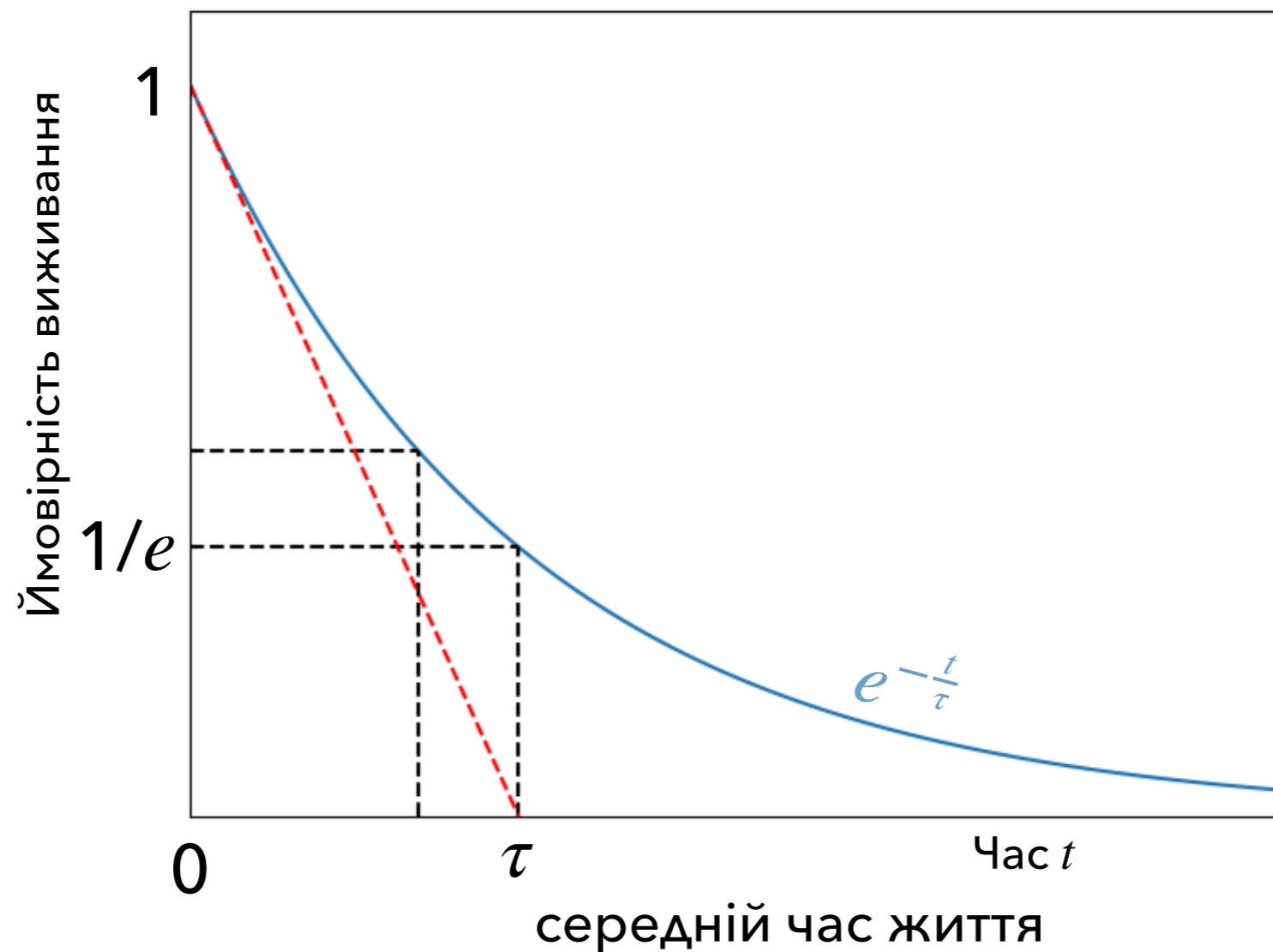
Імовірність того, що частинка розпадеться через час t , відповідає експоненціальному закону із середнім значенням τ (як для розпаду ядер):



Імовірність того, що частинка розпадеться через час t , відповідає експоненціальному закону із середнім значенням τ (як для розпаду ядер):

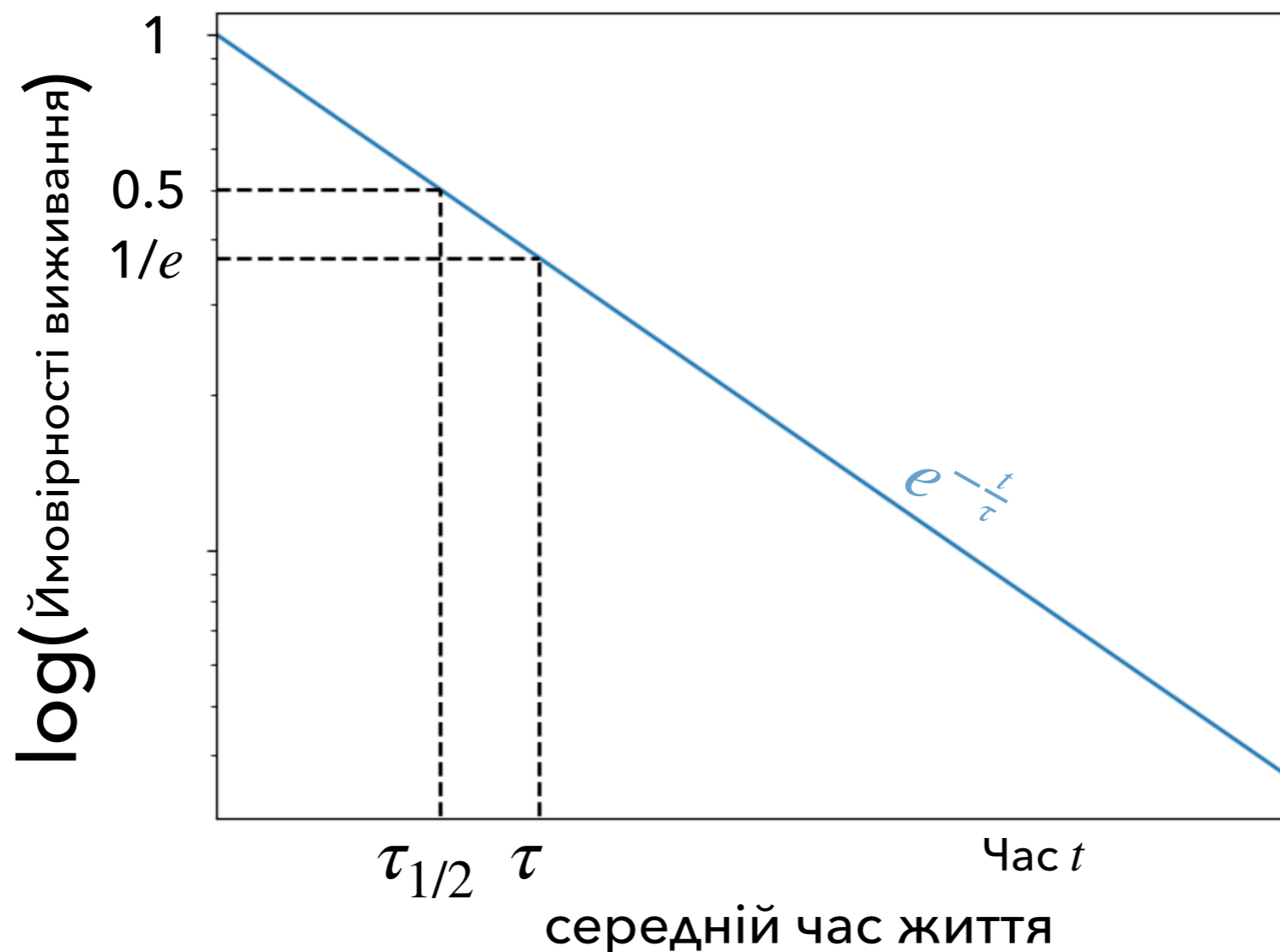


Імовірність того, що частинка розпадеться через час t , відповідає експоненціальному закону із середнім значенням τ (як для розпаду ядер):



Імовірність того, що частинка розпадеться через час t , відповідає експоненціальному закону із середнім значенням τ (як для розпаду ядер):

$$\log(e^{-t/\tau}) = -t/\tau$$



Type	Name	Symbol	Mass (MeV)	Mean lifetime
Lepton	Electron / Positron	e^- / e^+	0.511	$> 4.6 \times 10^{26}$ years
	Muon / Antimuon	μ^- / μ^+	105.7	2.2×10^{-6} seconds
	Tau lepton / Antitau	τ^- / τ^+	1777	2.9×10^{-13} seconds
Meson	Neutral Pion	π^0	135	8.4×10^{-17} seconds
	Charged Pion	π^+ / π^-	139.6	2.6×10^{-8} seconds
Baryon	Proton / Antiproton	p^+ / p^-	938.2	$> 10^{29}$ years
	Neutron / Antineutron	n / \bar{n}	939.6	885.7 seconds
Boson	W boson	W^+ / W^-	80,400	10^{-25} seconds
	Z boson	Z^0	91,000	10^{-25} seconds

Type	Name	Symbol	Mass (MeV)	Mean lifetime
Lepton	Electron / Positron	e^- / e^+	0.511	$> 4.6 \times 10^{26}$ years
	Muon / Antimuon	μ^- / μ^+	105.7	2.2×10^{-6} seconds
	Tau lepton / Antitau	τ^- / τ^+	1777	2.9×10^{-13} seconds
Meson	Neutral Pion	π^0	135	8.4×10^{-17} seconds
	Charged Pion	π^+ / π^-	139.6	2.6×10^{-8} seconds
Baryon	Proton / Antiproton	p^+ / p^-	938.2	$> 10^{29}$ years
	Neutron / Antineutron	n / \bar{n}	939.6	885.7 seconds
Boson	W boson	W^+ / W^-	80,400	10^{-25} seconds
	Z boson	Z^0	91,000	10^{-25} seconds

Type	Name	Symbol	Mass (MeV)	Mean lifetime
Lepton	Electron / Positron	e^- / e^+	0.511	$> 4.6 \times 10^{26}$ years
	Muon / Antimuon	μ^- / μ^+	105.7	2.2×10^{-6} seconds
	Tau lepton / Antitau	τ^- / τ^+	1777	2.9×10^{-13} seconds
Meson	Neutral Pion	π^0	135	8.4×10^{-17} seconds
	Charged Pion	π^+ / π^-	139.6	2.6×10^{-8} seconds
Baryon	Proton / Antiproton	p^+ / p^-	938.2	$> 10^{29}$ years
	Neutron / Antineutron	n / \bar{n}	939.6	885.7 seconds
Boson	W boson	W^+ / W^-	80,400	10^{-25} seconds
	Z boson	Z^0	91,000	10^{-25} seconds

Три покоління матерії (ферміони)

	I	II	III	
маса спокою→	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
електричний заряд→	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0 γ
спін→	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1 γ
назва→	верхній	зачарований	істинний	фотон
	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0 g
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1 g
	нижній	дивний	чарівний	глюон
	<2.2 eV	<0.17 MeV	<15.5 MeV	91.2 GeV
	0 ν_e	0 ν_μ	0 ν_τ	0 Z^0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1 Z^0
	електронне нейтрино	мюонне нейтрино	тау-нейтрино	Z-бозон
	0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	± 1 W^\pm
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1 W^\pm
	електрон	мюон	тау	W-бозон

Кварки

Лептони

Калібрувальні бозони
(переносники взаємодії)

електро



0
0 γ
1
фотон

0
0 g
1
глюон

91.2 GeV
0 Z^0
1
Z-бозон

80.4 GeV
 ± 1 W^\pm
1
W-бозон

<2.2 eV
0 ν_e
1/2
електронне
нейтрино

<0.17 MeV
0 ν_μ
1/2
мюонне
нейтрино

<15.5 MeV
0 ν_τ
1/2
тау-
нейтрино

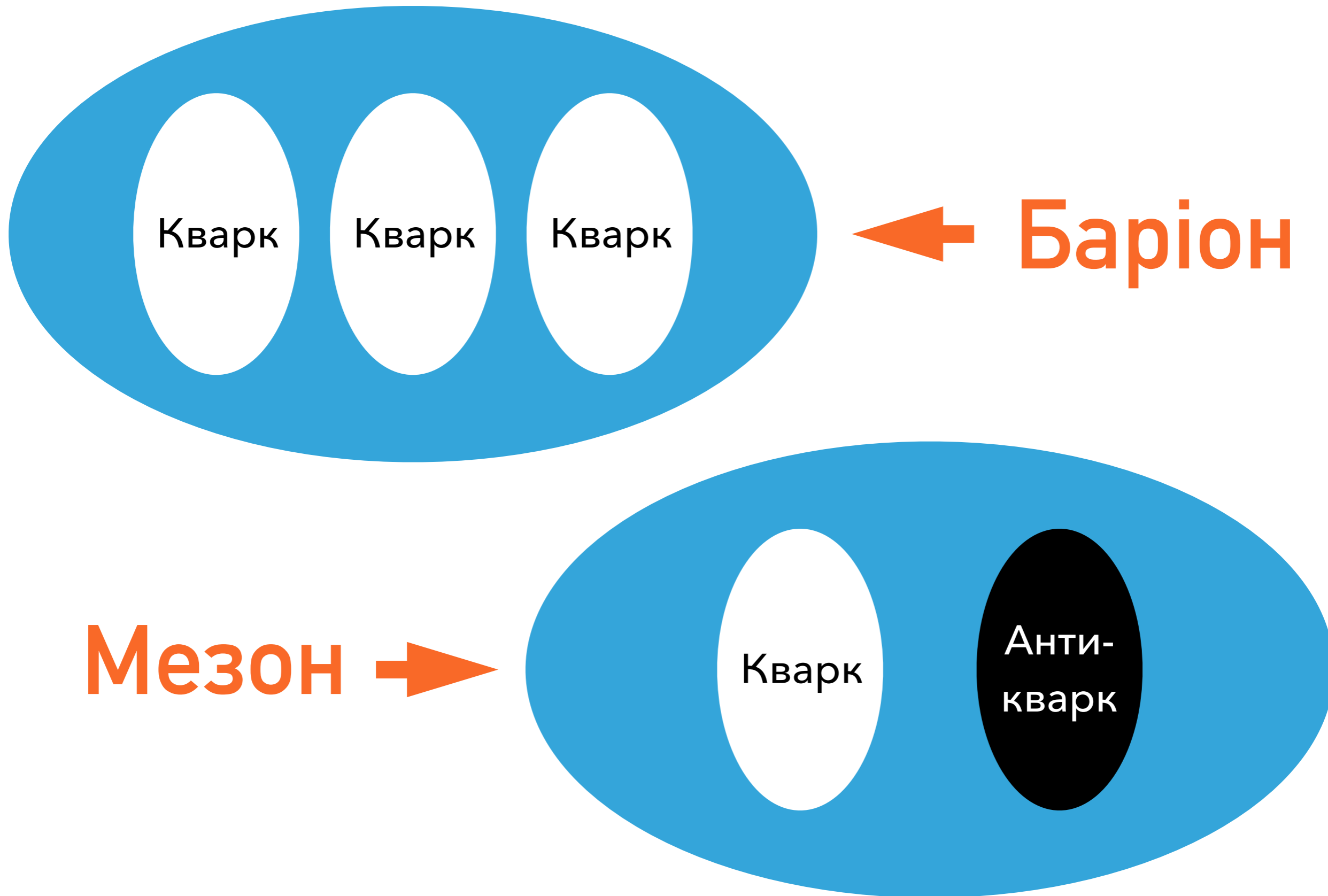
Лептони

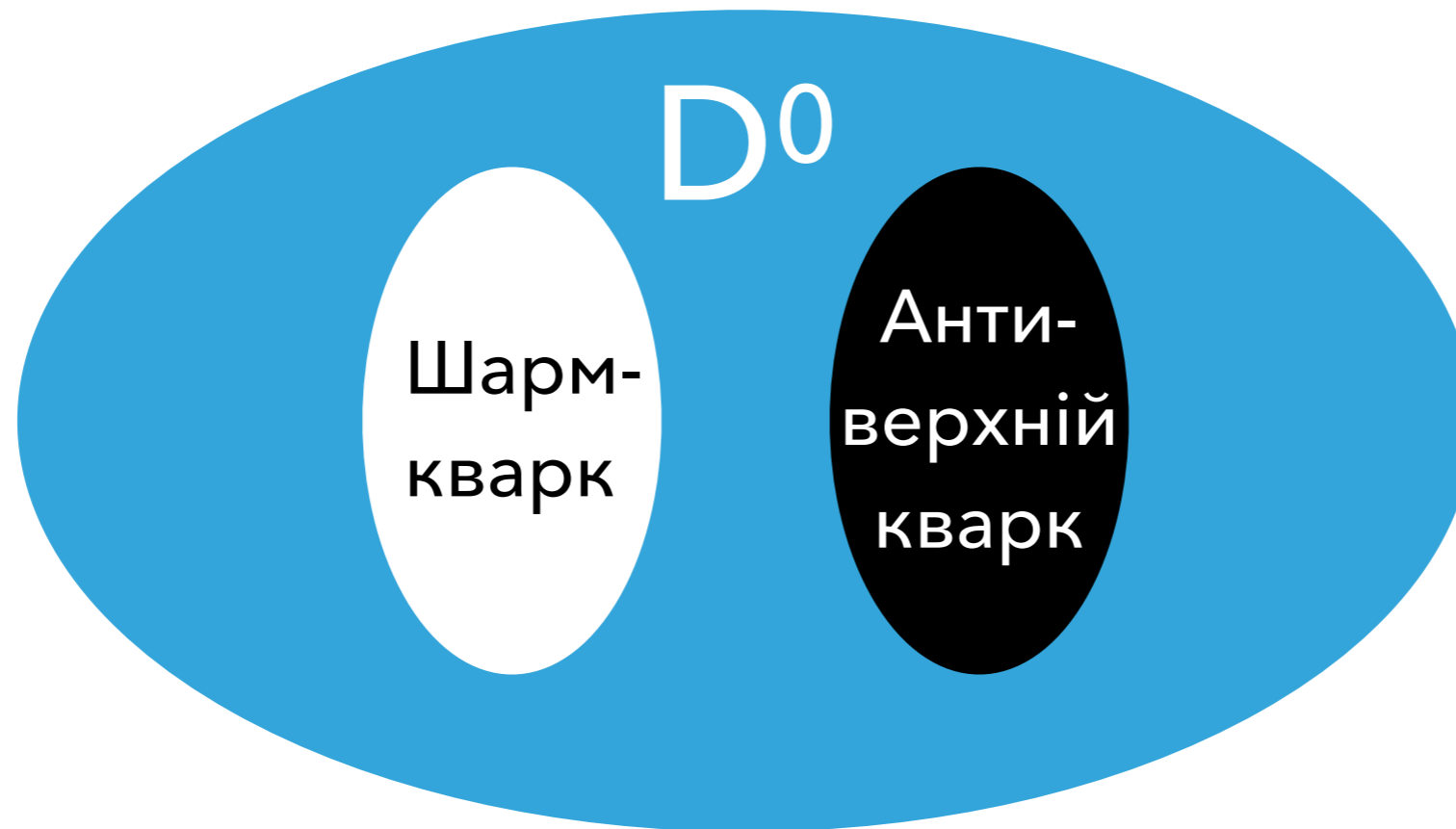
0.511 MeV
-1 e
1/2
електрон

105.7 MeV
-1 μ
1/2
мюон

1.777 GeV
-1 τ
1/2
тау

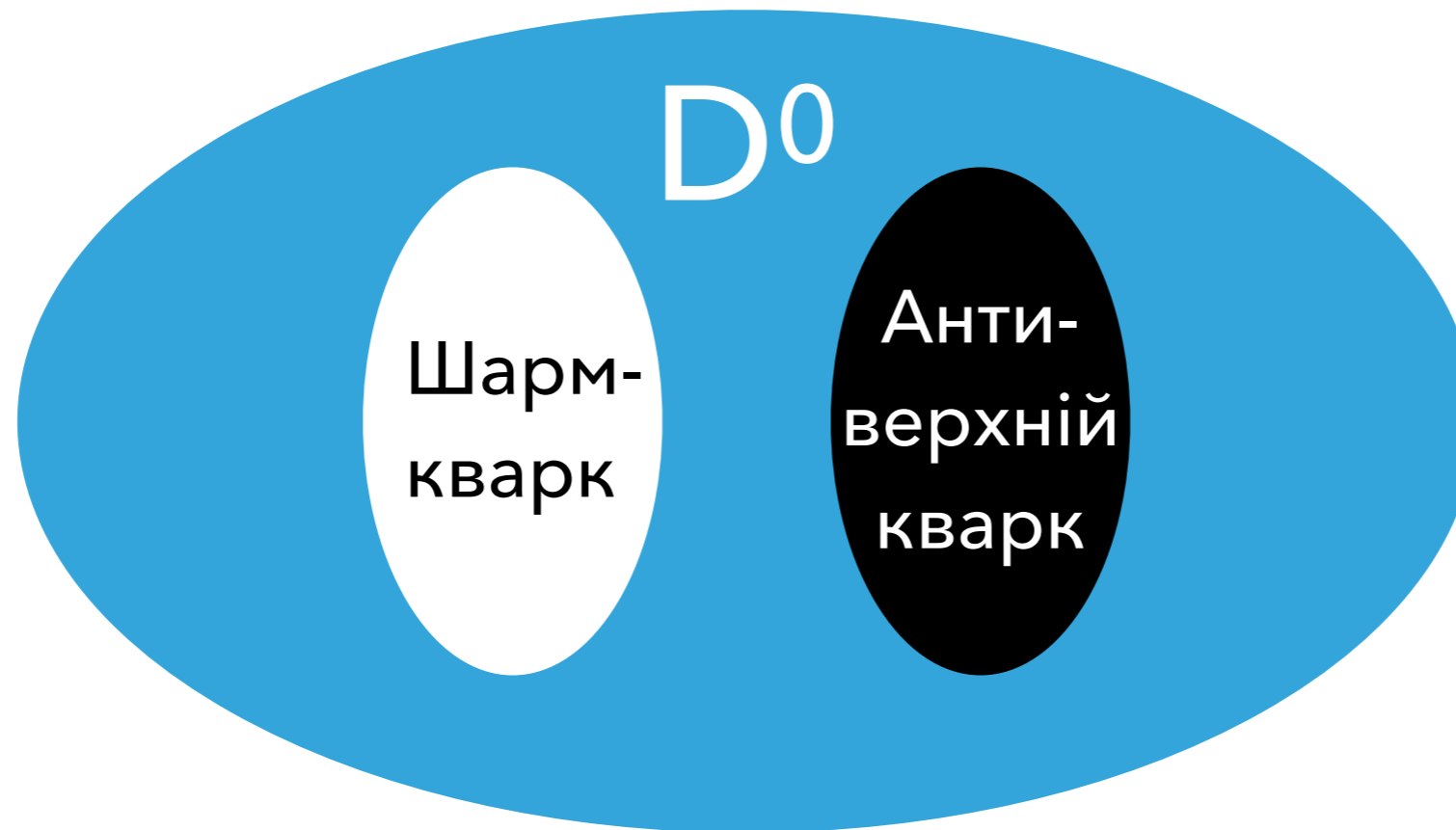
Калібрувальні бозони
(переносники взаємодії)

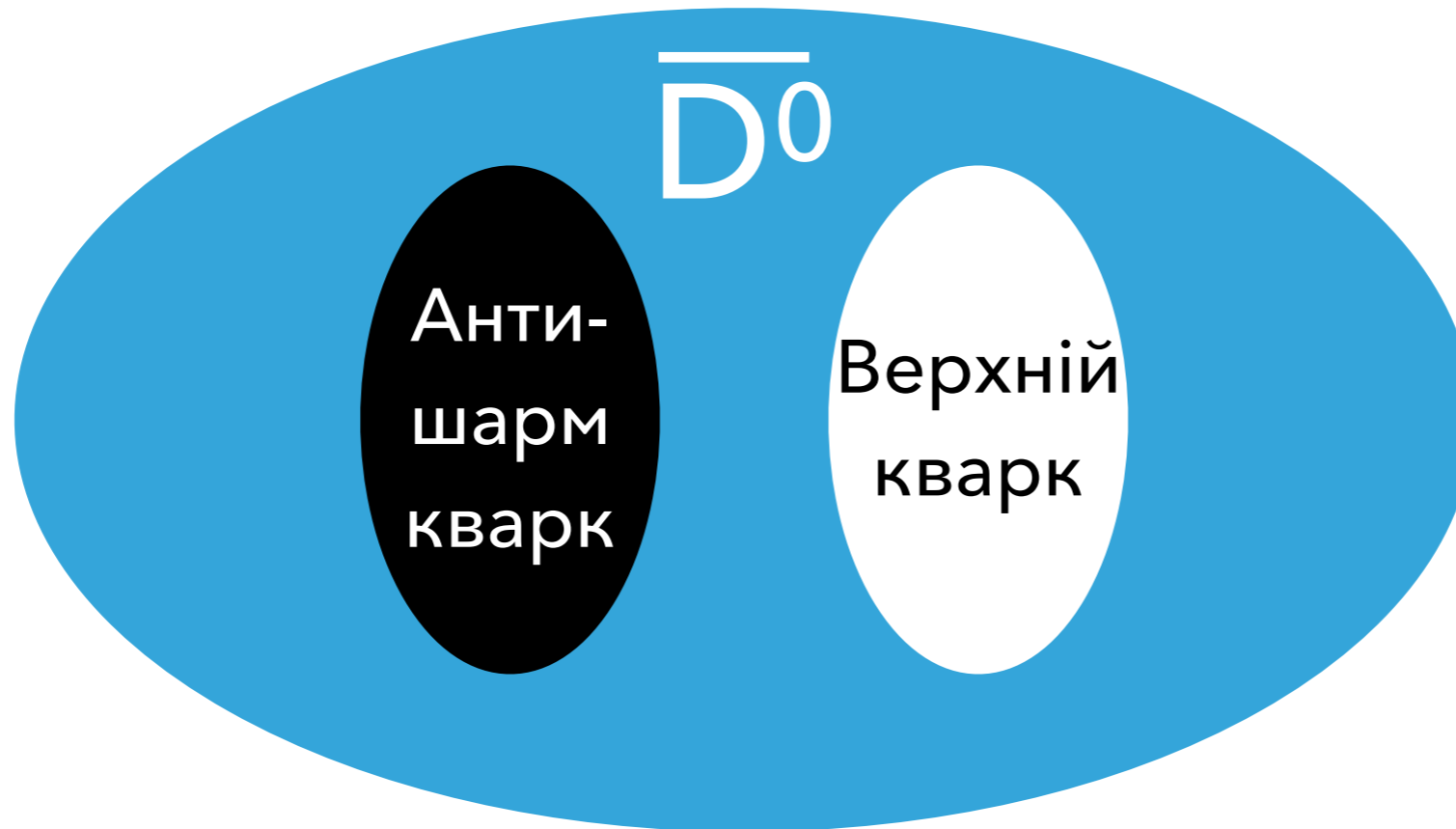


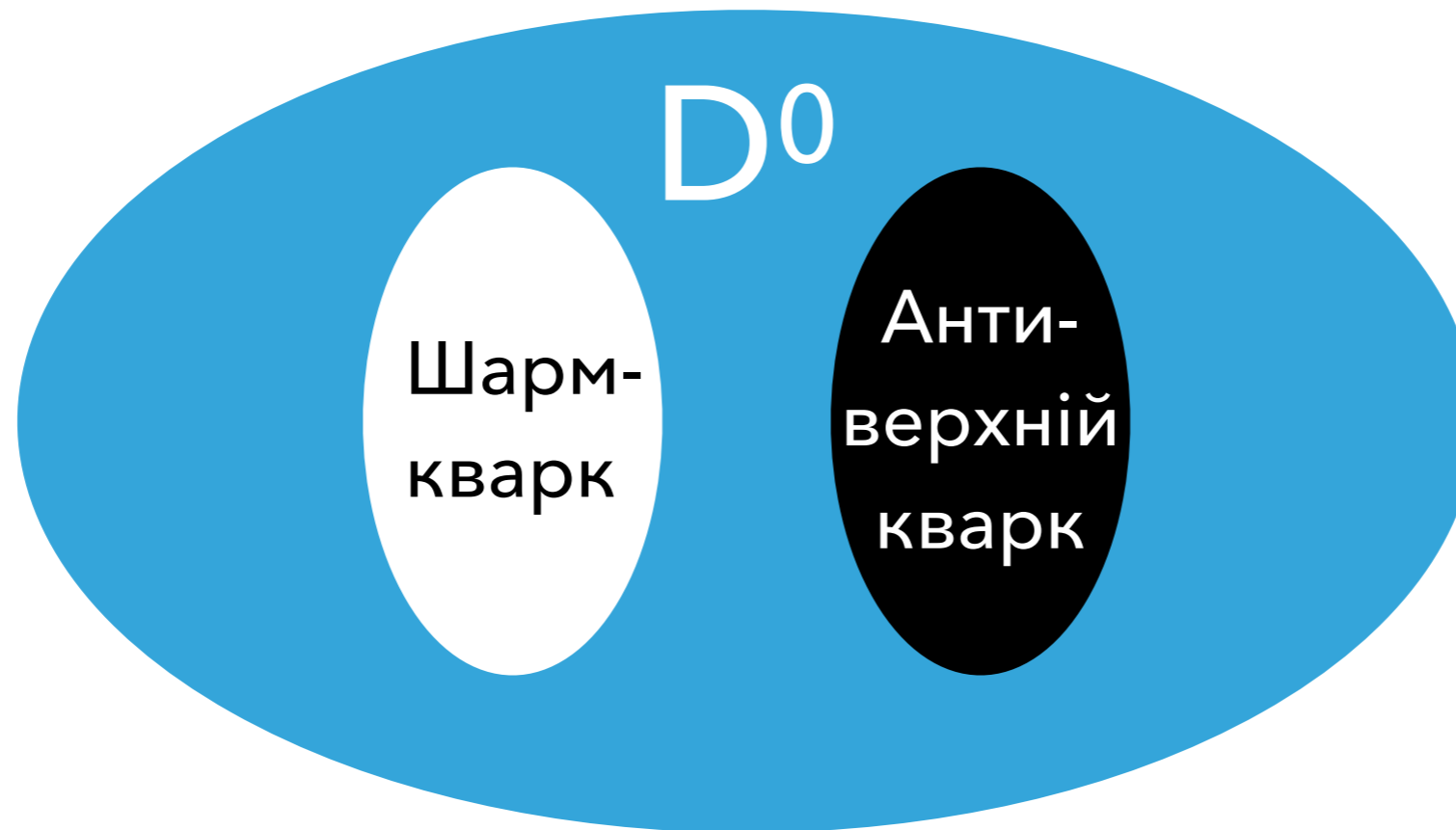


A large orange speech bubble with a white question inside.

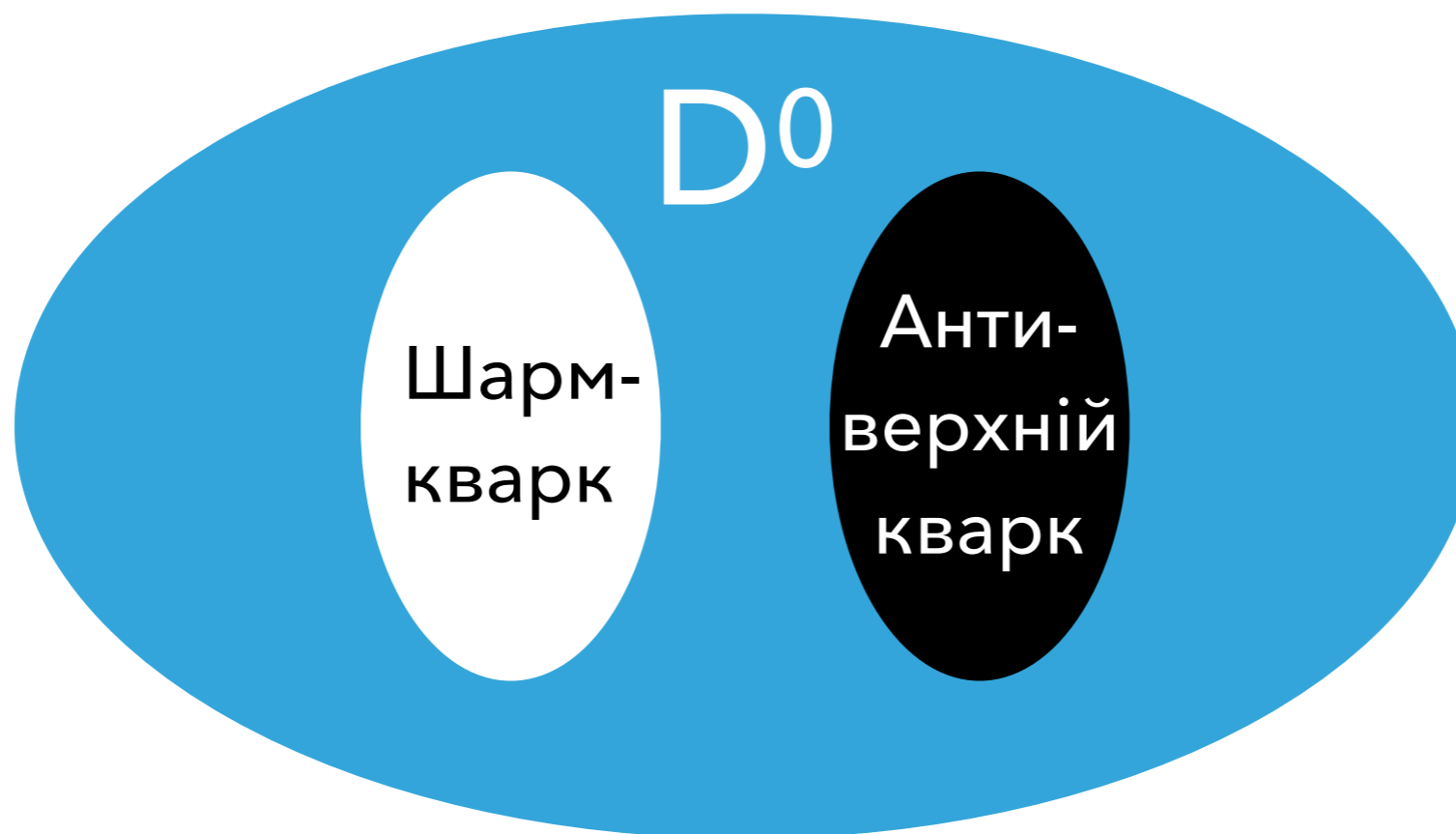
ЧОМУ НАС ЦІКАВИТЬ D⁰ ?



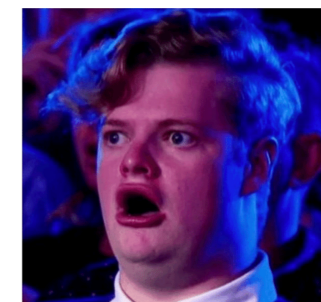




ВІН ОСЦИЛЮЄ!

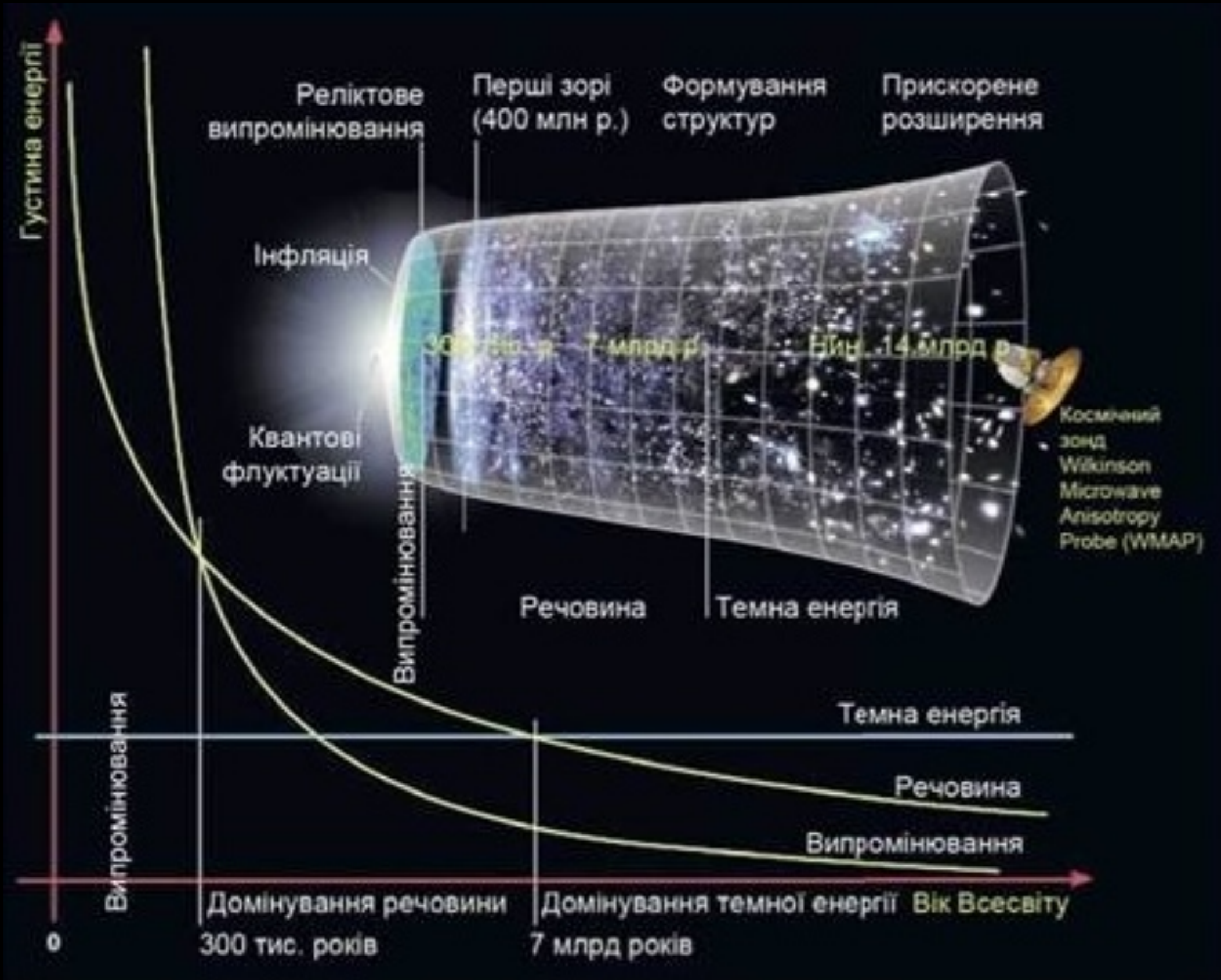


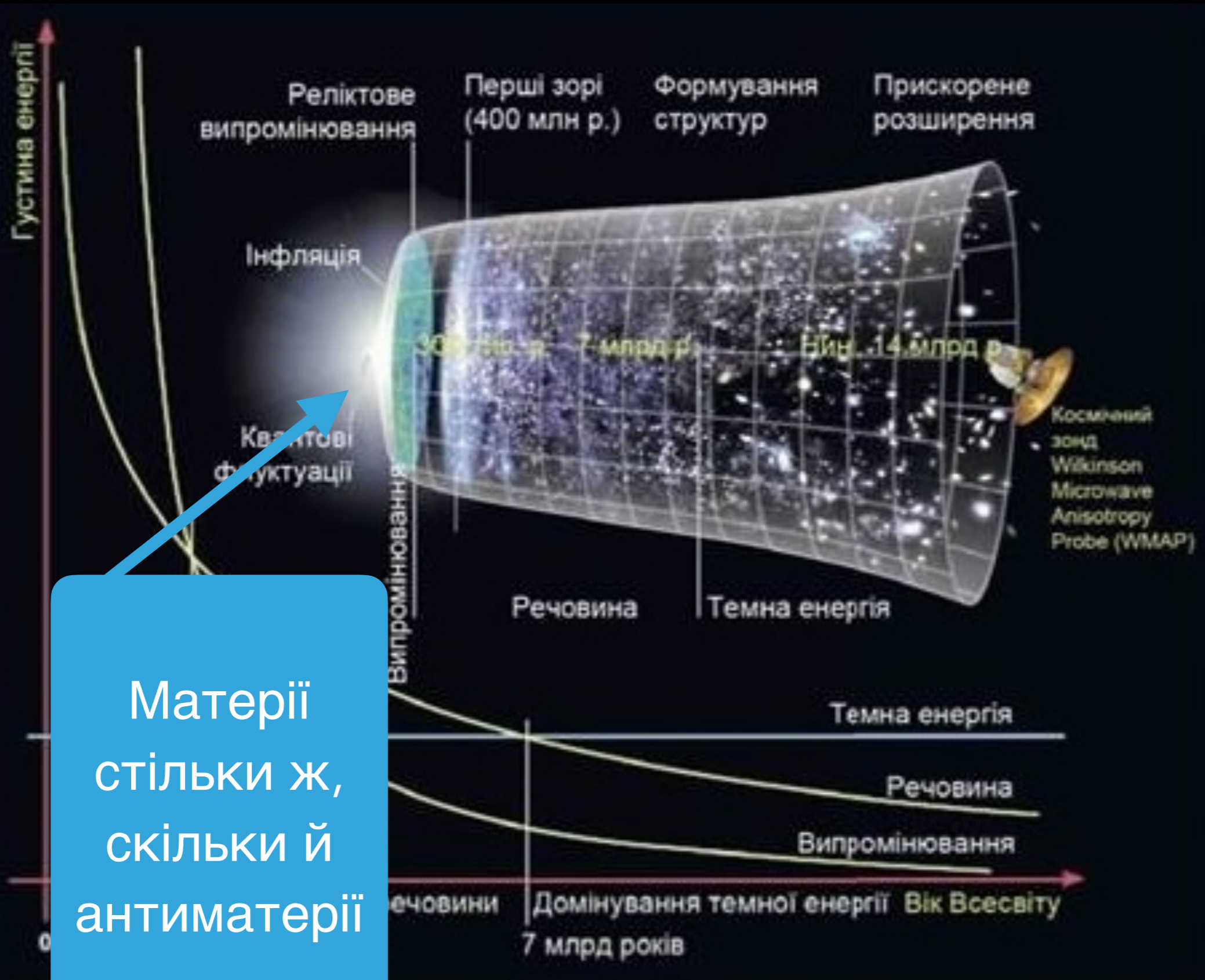
D^0 - це нейтральна частинка: перед розпадом вона може перетворитися на свого «антипартнера» і навпаки!



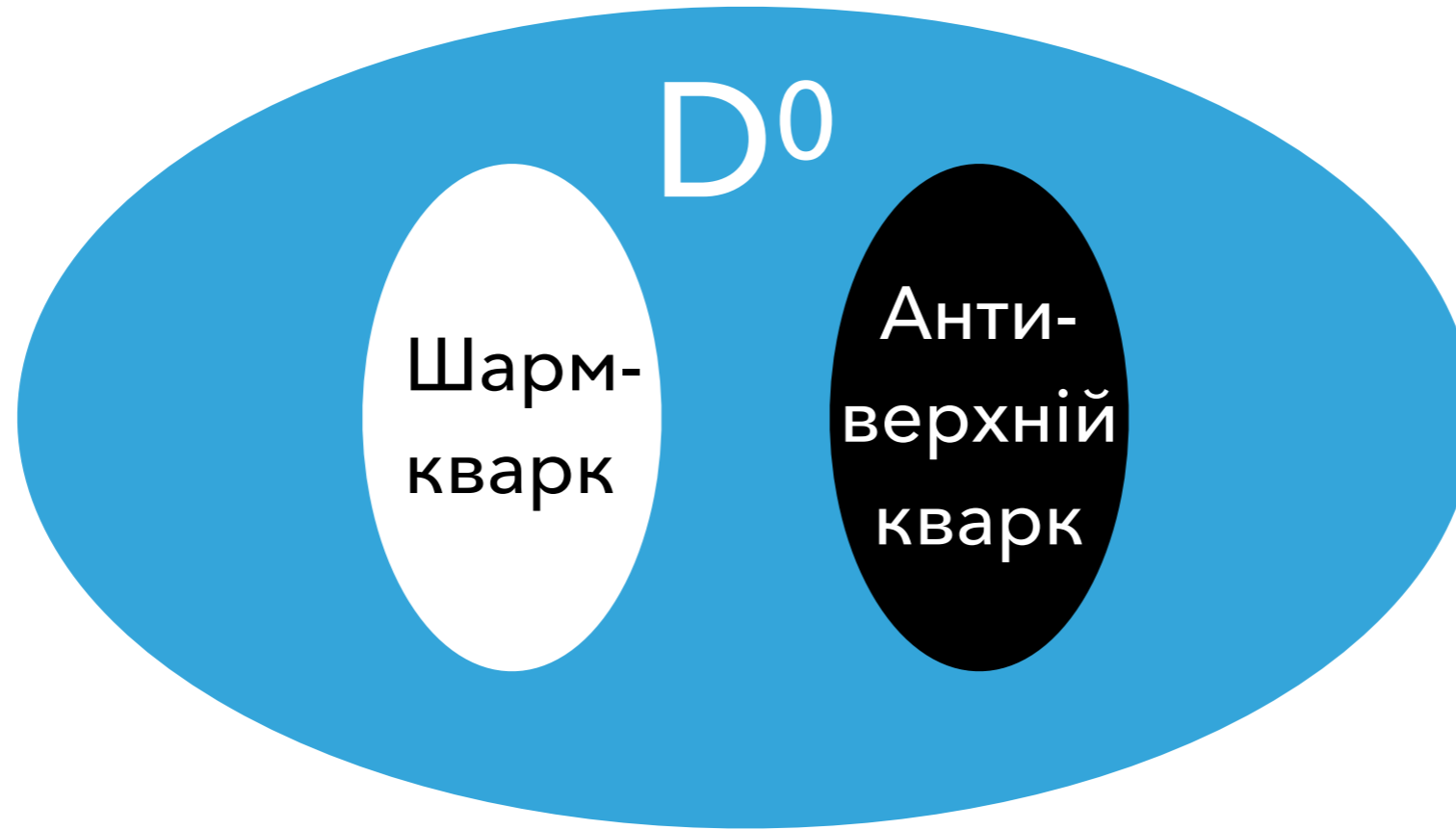
A large orange speech bubble with a white question inside, pointing towards the bottom right.

ЧОМУ НАС ЦІКАВИТЬ АНТИМАТЕРІЯ?



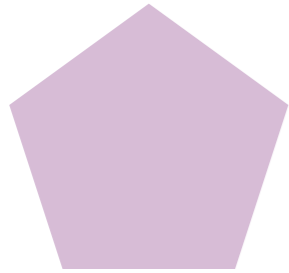


Матерії
стільки ж,
скільки й
антиматерії

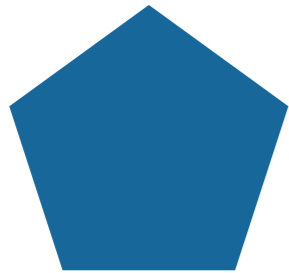


D^0 може дати нам підказки щодо різниці між матерією та антиматерією!

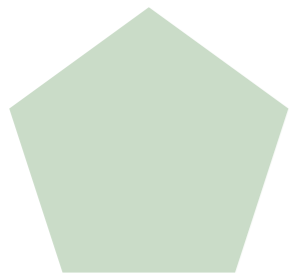
Ми називаємо це явище CP-порушенням, тобто порушенням симетрії між матерією та антиматерією!



Вступ: мезон D^0 і чим він цікавий



Вимірювання властивостей частинок
за допомогою LHCb

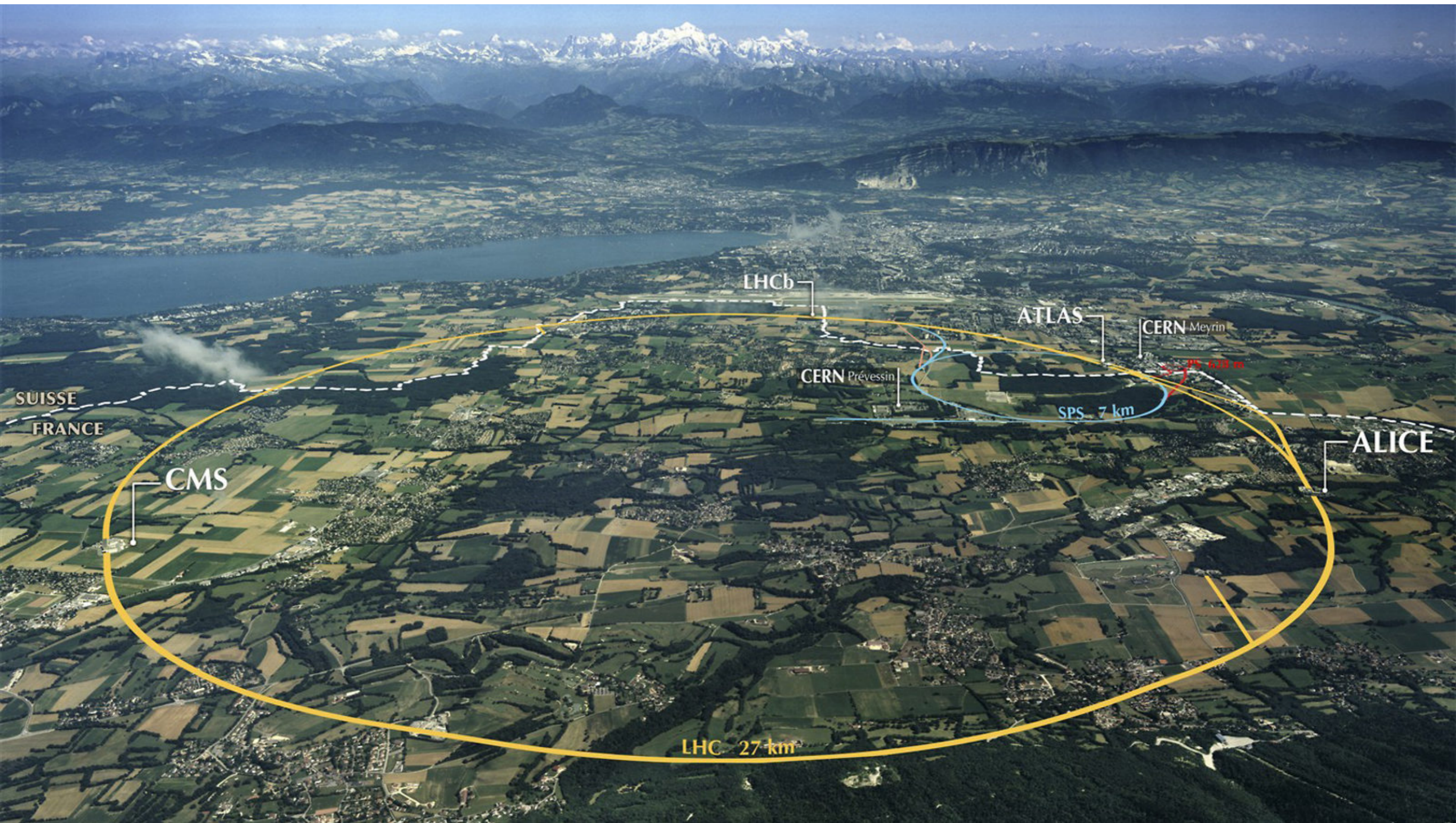


Ваша місія!

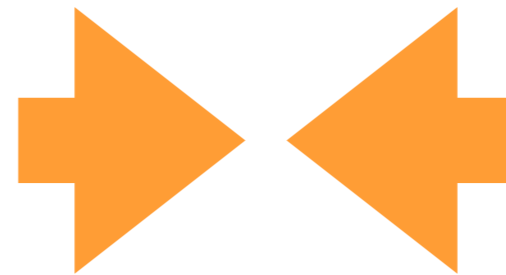
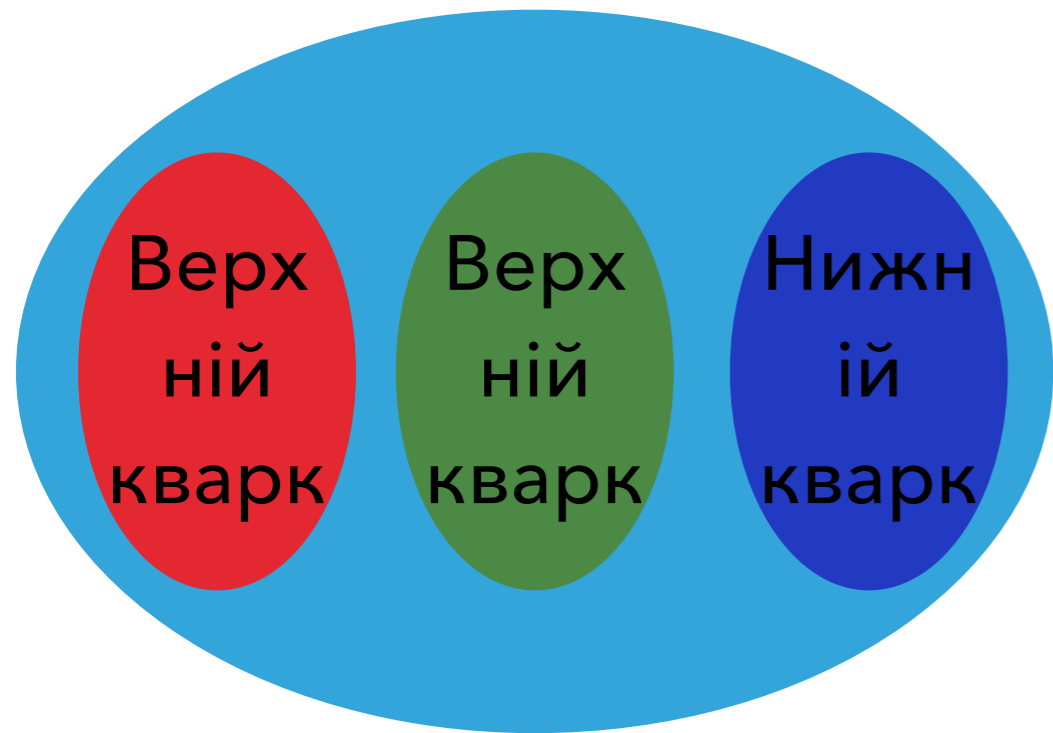
A large, orange speech bubble with a white question inside, centered on a white background.

ЯК МИ СТВОРЮЄМО ВСІ ЦІ ЧАСТИНКИ?

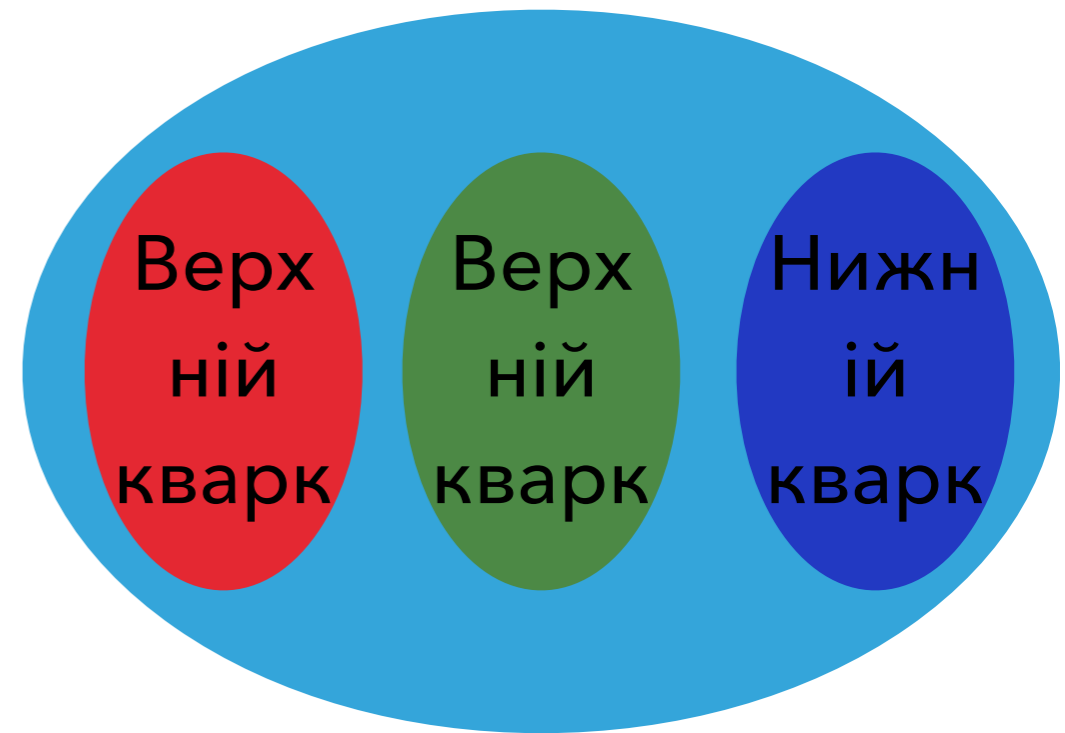
LHC: Великий адронний колайдер



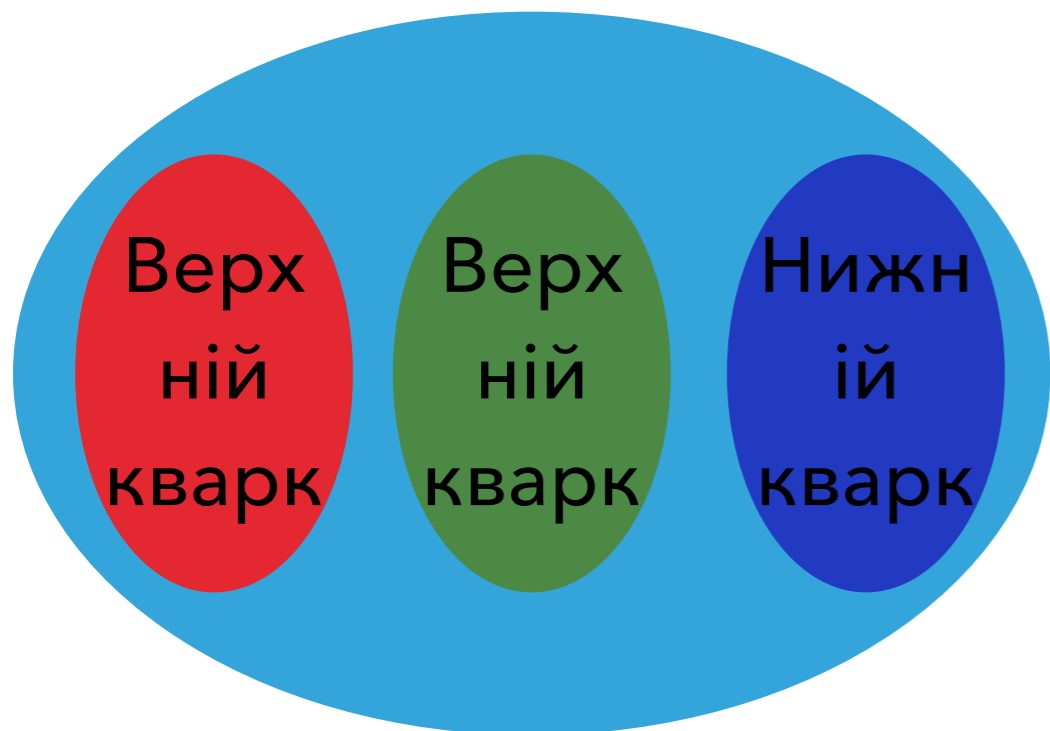
Протон



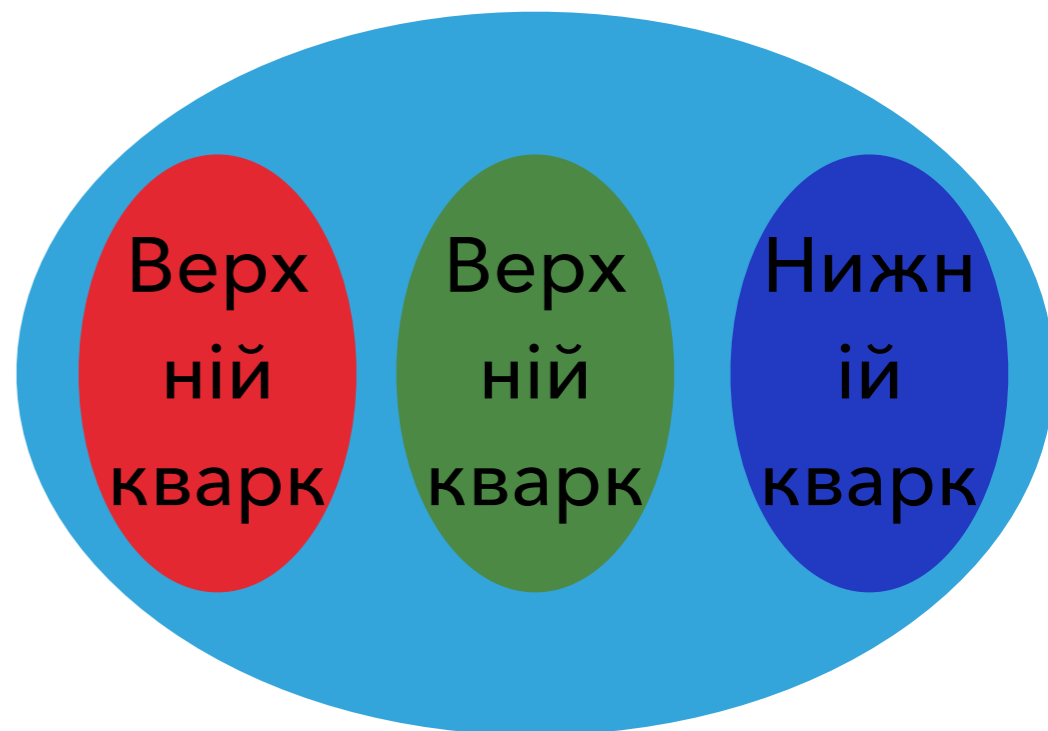
Протон

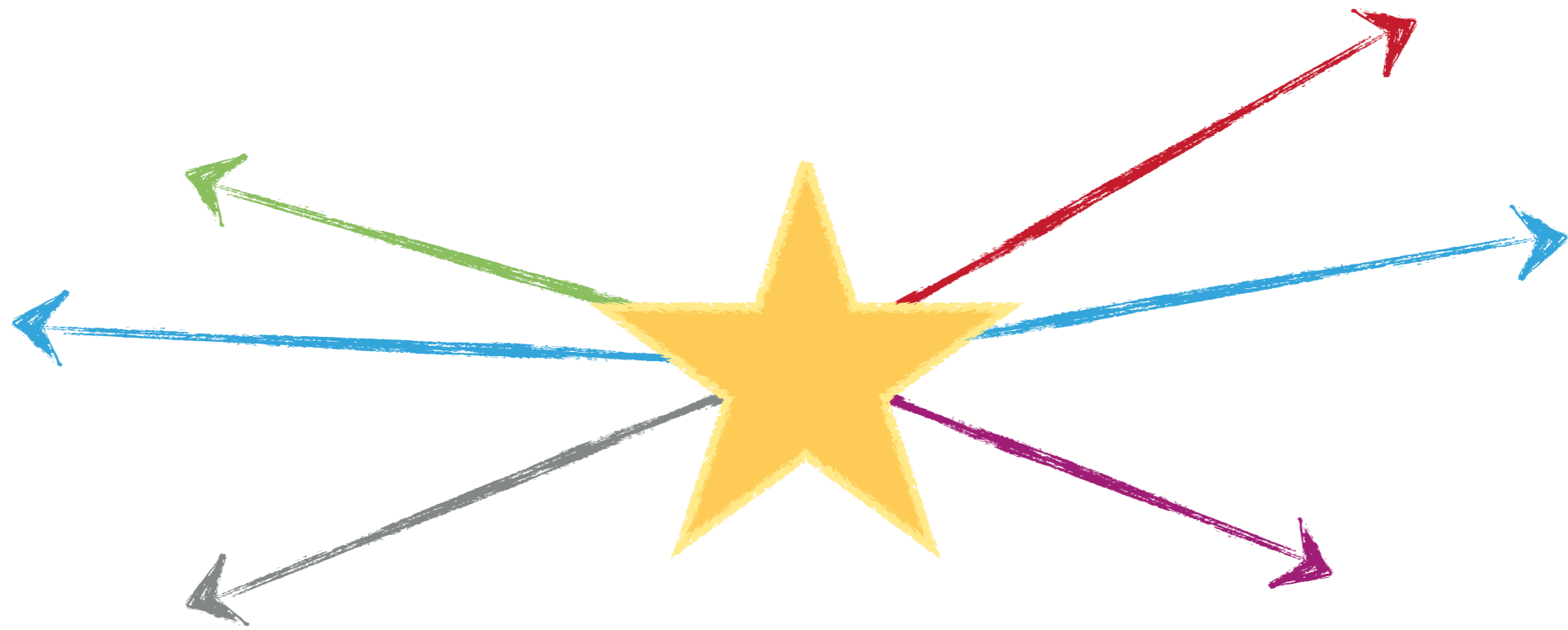


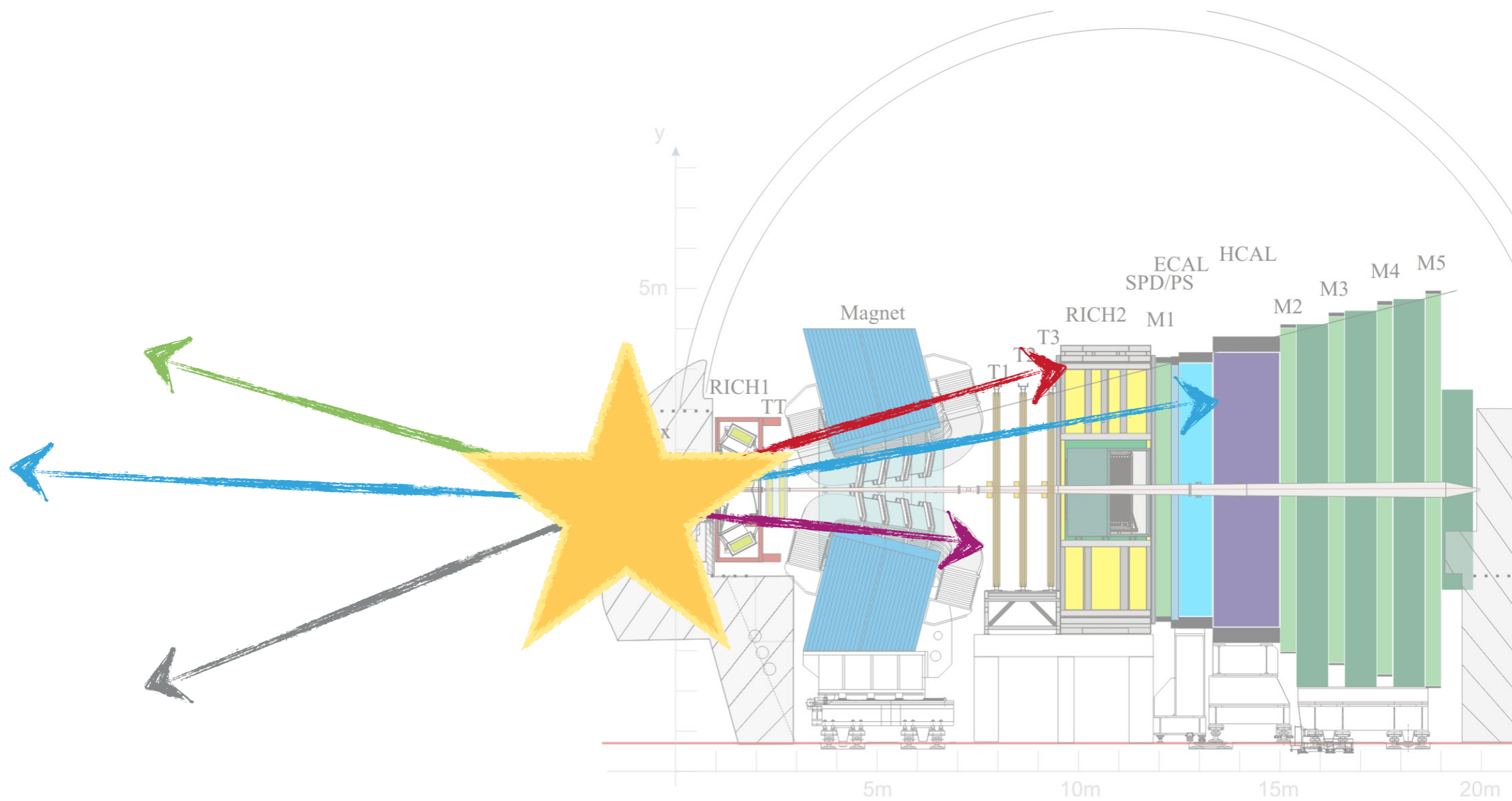
Протон



Протон





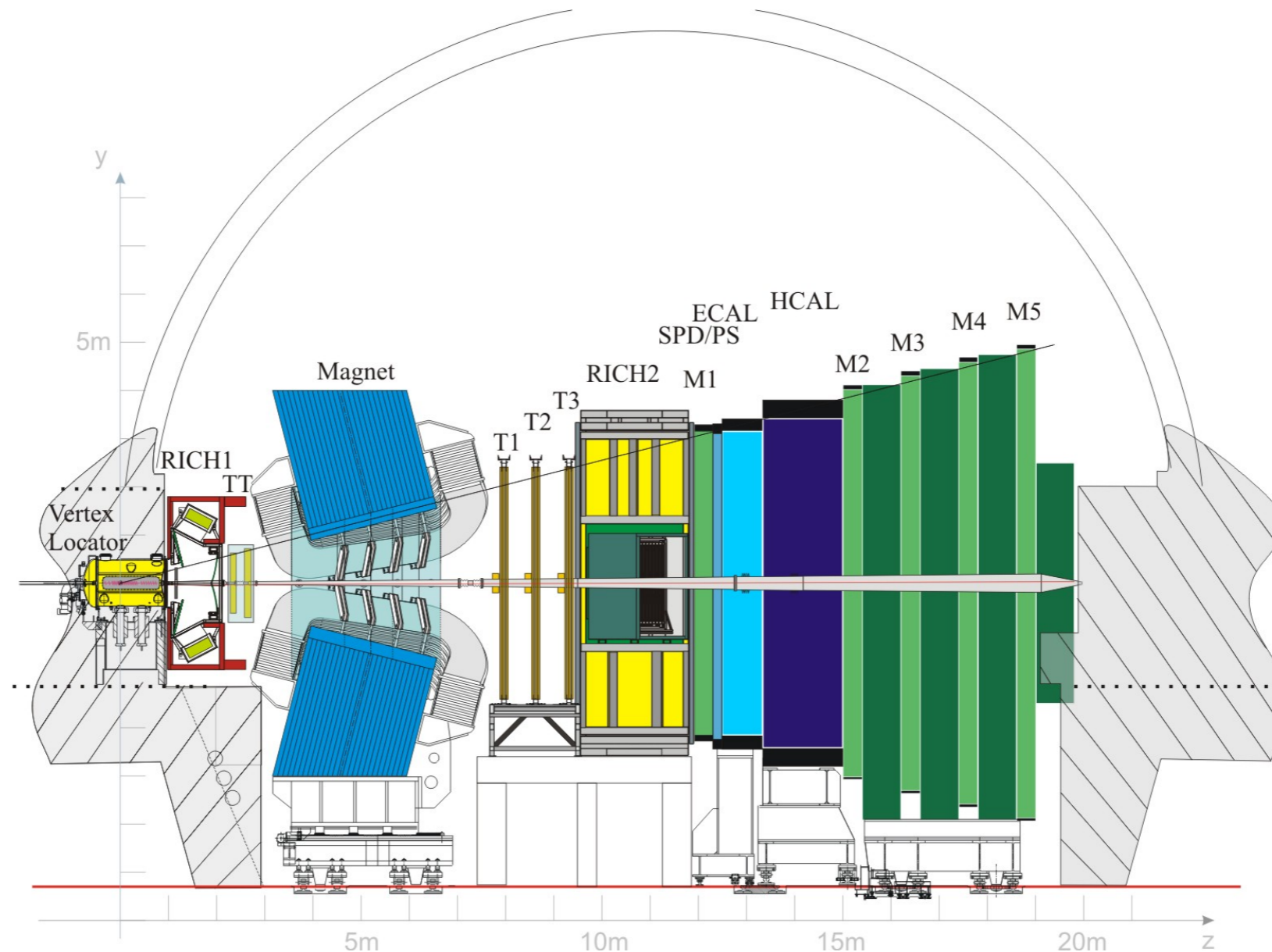


A large orange speech bubble with a white question inside, pointing towards the bottom right.

ЯК ДЕТЕКТУЮТЬСЯ ЧАСТИНКИ?

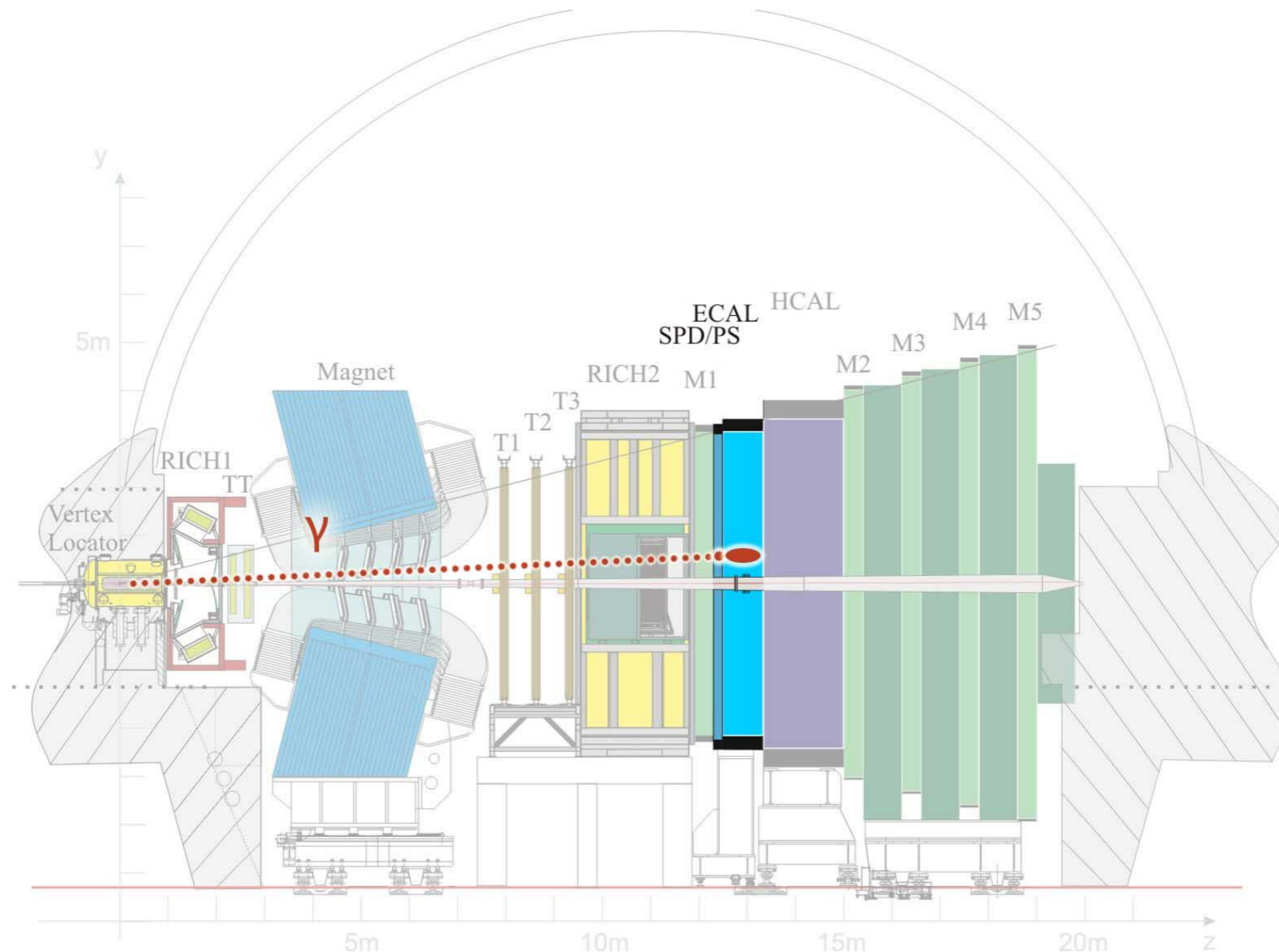
LHCb може :

- вимірювати енергію фотонів, електронів і адронів
- виявити траєкторії руху заряджених частинок
- ідентифікувати певні частинки



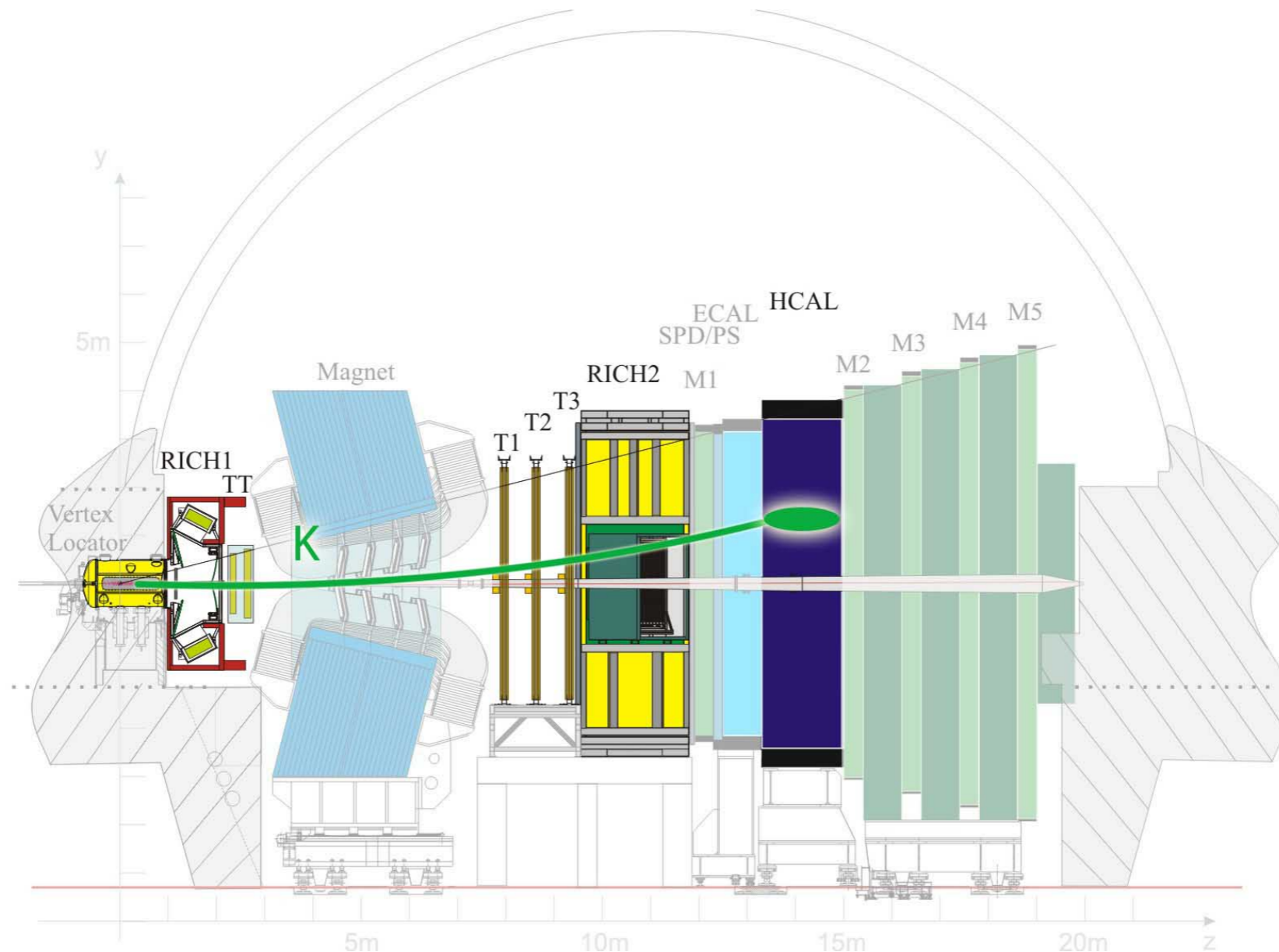
LHCb може :

- вимірювати енергію фотонів, електронів і адронів
- виявити траєкторії руху заряджених частинок
- ідентифікувати певні частинки



LHCb може :

- вимірювати енергію фотонів, електронів і адронів
- виявити траєкторії руху заряджених частинок
- ідентифікувати певні частинки



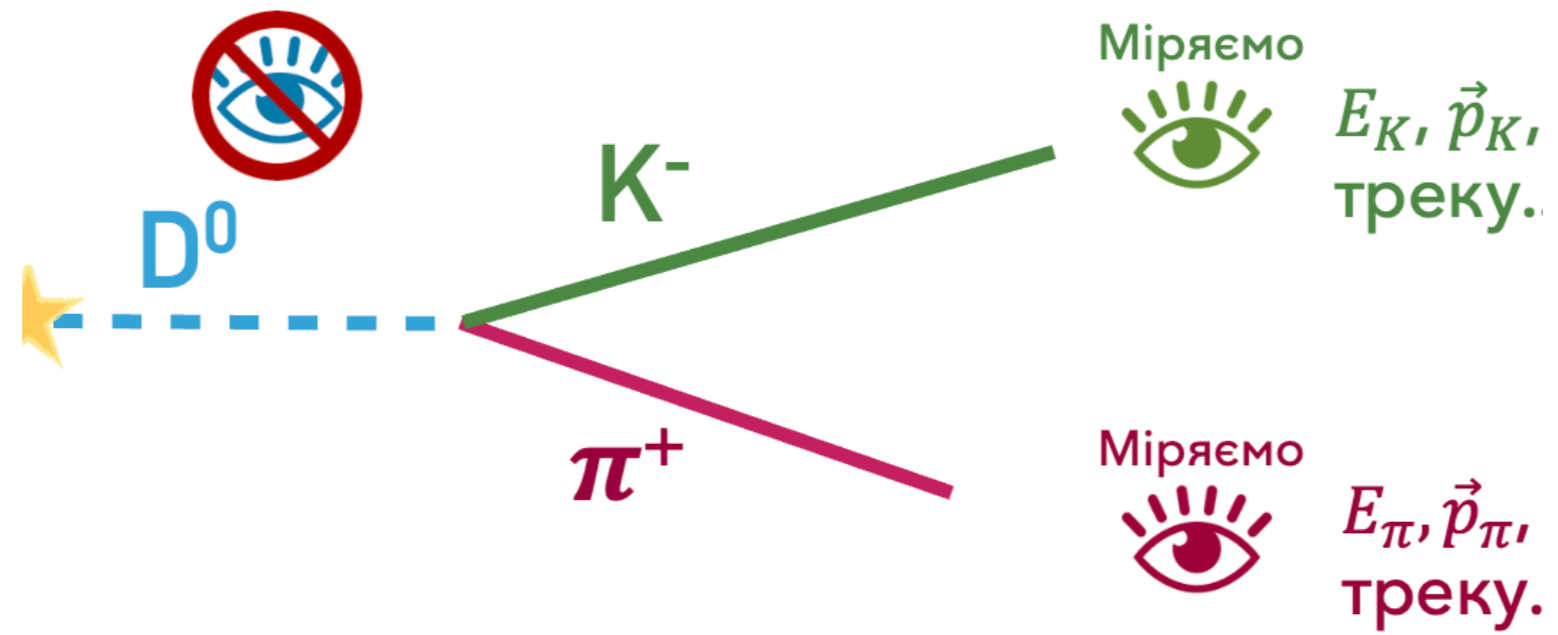
A large orange speech bubble with a white question inside.

ЯК ВИМІРЯТИ ВЛАСТИВОСТІ МЕЗОНА D^0 ?

Ейнштейн приходить на допомогу:

$$m^2 = E^2 - p^2$$

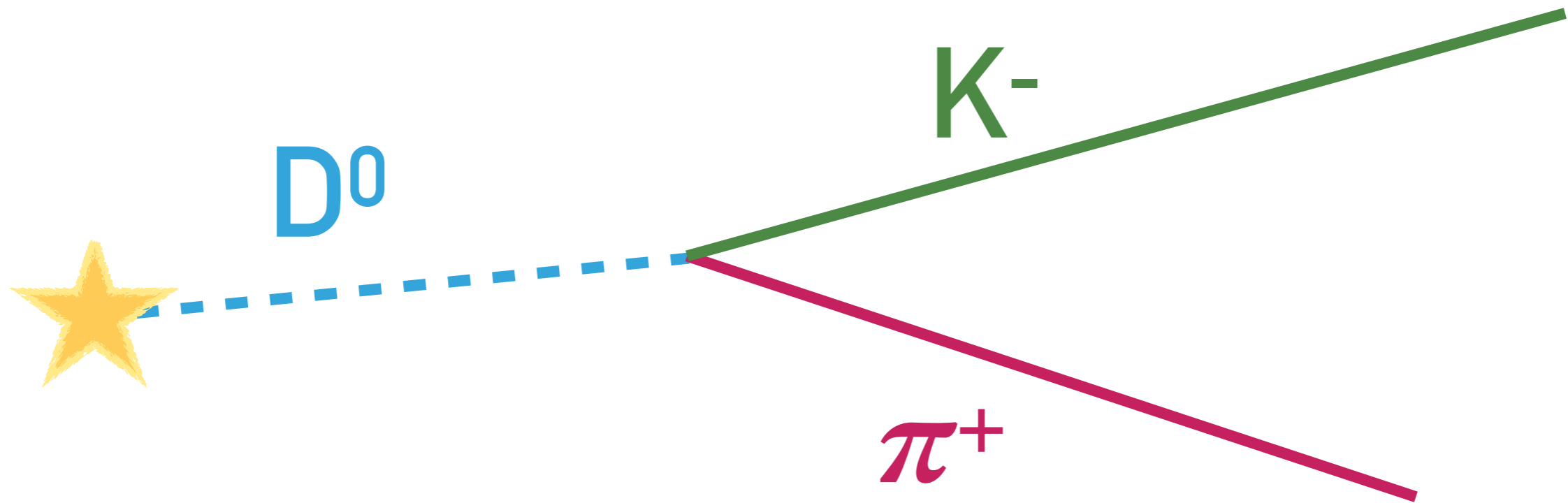
↑ маса
 ↑ енергія
 ↑ імпульс



Але ми вимірюємо лише властивості продуктів розпаду K^- та π^+ ...

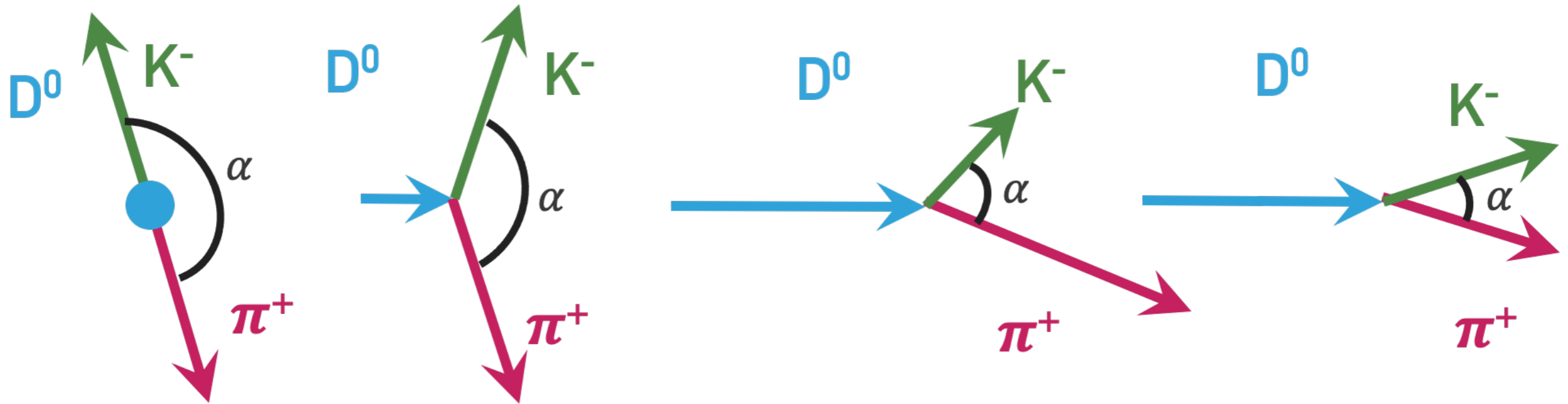
Щоб знайти E та \vec{p} D^0 , ми використовуємо той факт, що ці дві величини зберігаються, коли D^0 розпадається:

$$m^2 = E^2 - \vec{p}^2 = (E_K + E_\pi)^2 - (\vec{p}_K + \vec{p}_\pi)^2$$



Таким чином, щоб виміряти масу D^0 , достатньо виміряти енергію та імпульс частинок K^- та π^+

Кілька прикладів:



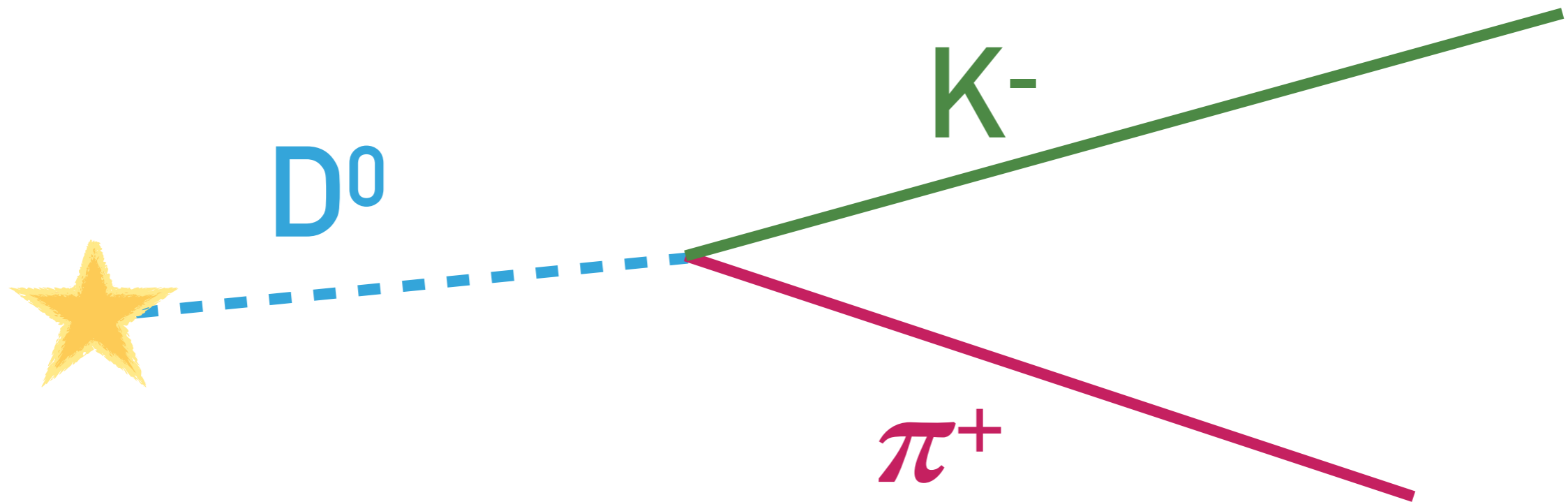
У всіх цих випадках, ми можемо порахувати масу D^0 як

$$m_{D^0}^2 = (E_K + E_\pi)^2 - (\vec{p}_K + \vec{p}_\pi)^2$$

де $(\vec{p}_K + \vec{p}_\pi)^2 = p_K^2 + p_\pi^2 + 2p_K p_\pi \cos \alpha \longrightarrow$

Увага!
 \vec{p}_K і \vec{p}_π - це вектори

Ми беремо відстань, пройдену D^0 , і його імпульс:



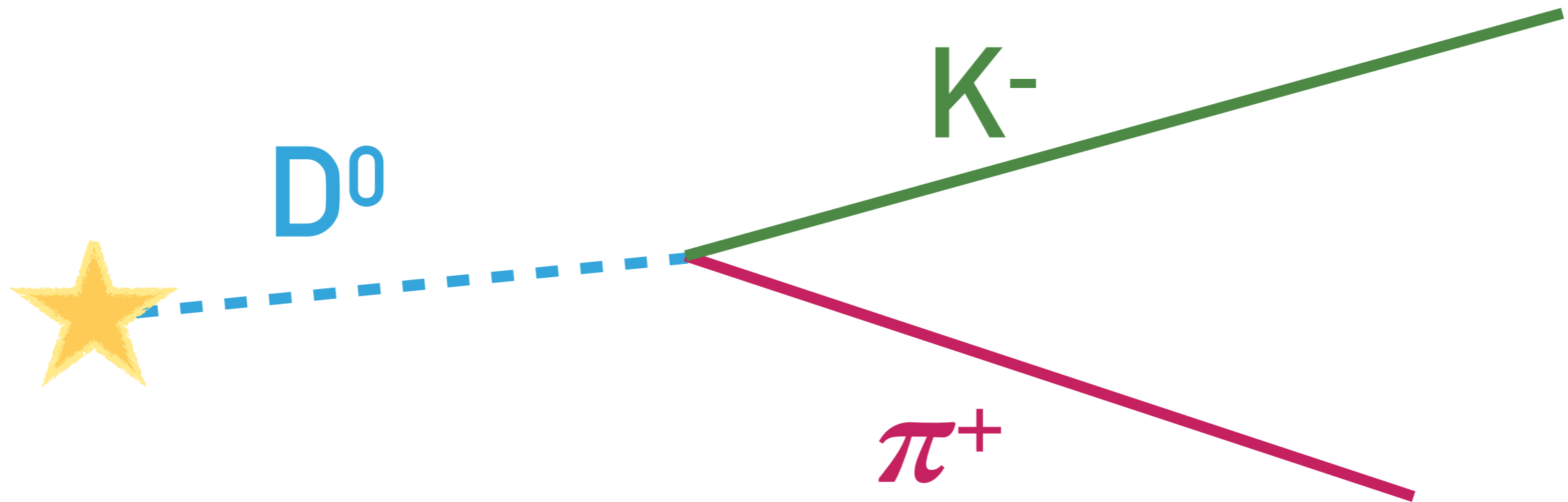
Приклад :

Частинка, яка живе 10^{-12} с

і яка летить зі швидкістю світла (3×10^8 м/с),

повинна пролетіти перед розпадом **0.3 мм** (?)

Ми беремо відстань, пройдену D^0 , і його імпульс:

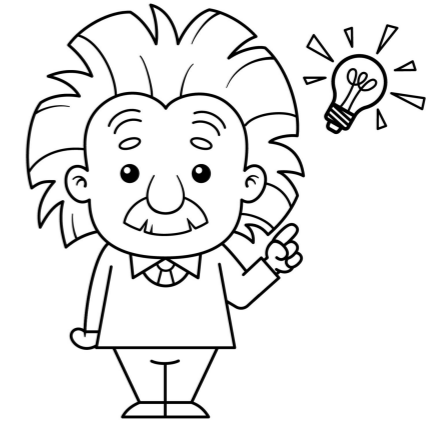


Приклад :

За законами класичної механіки: **0.3 мм.**

Але потрібно врахувати **релятивістські** ефекти:

Насправді така частинка подорожувала б **~1 см!**



Спробуємо додати деталі!

Тривалість життя D^0 в лабораторній системі відліку

$$t = \frac{L}{v} = \frac{L}{v} \cdot \frac{\gamma m}{\gamma m} = \frac{mL}{p} \cdot \gamma$$

**ЕНЕРГІЯ ТА ІМПУЛЬС
РЕЛЯТИВІСТСЬКИХ ЧАСТИНОК:**

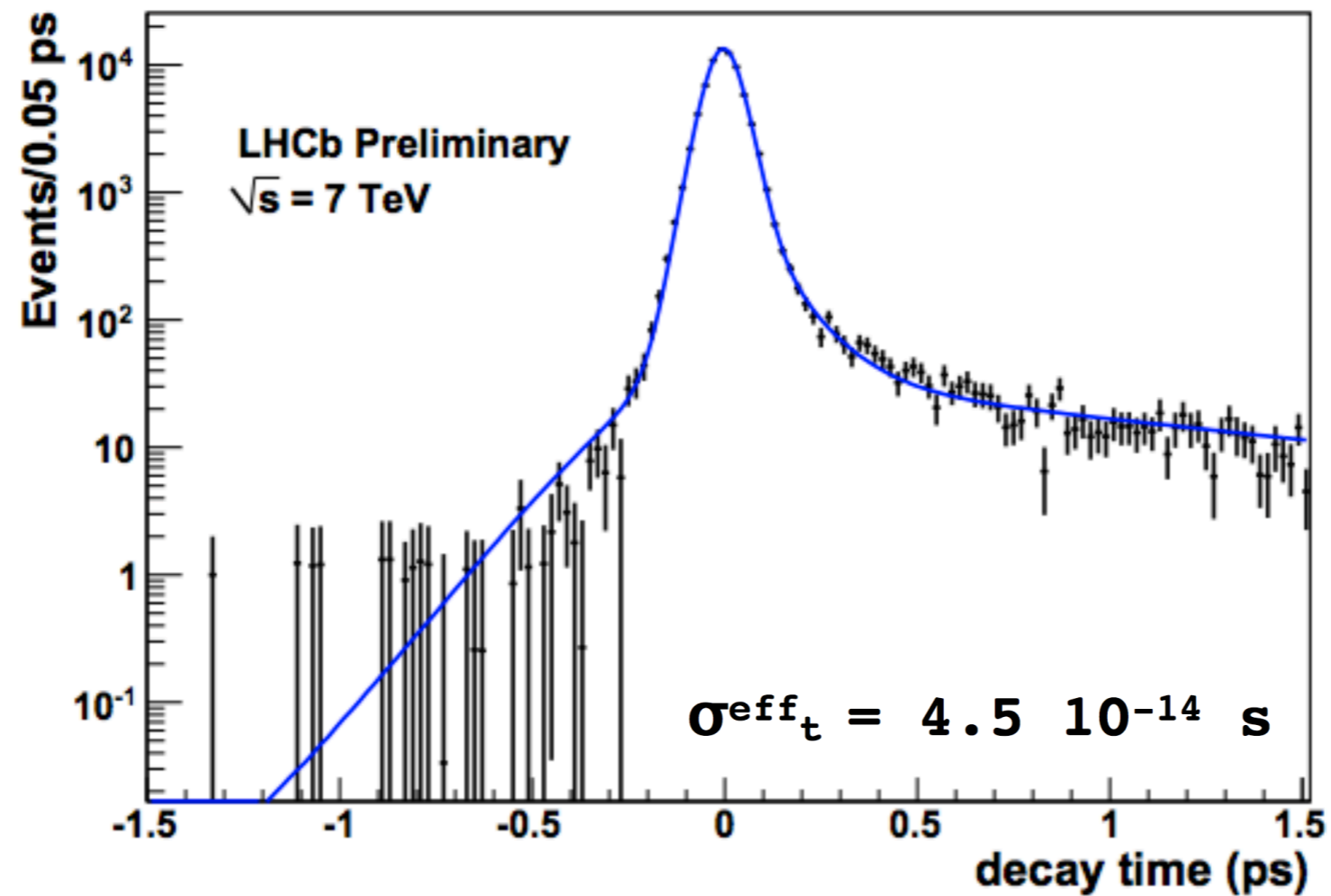
$$E = \gamma mc^2 \quad p = \gamma mv$$

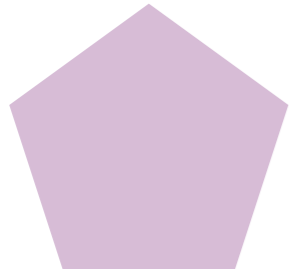
$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} > 1$$

При високій енергії ми повинні врахувати уповільнення часу, щоб знайти час життя в системі відліку, де частинка перебуває в спокої:

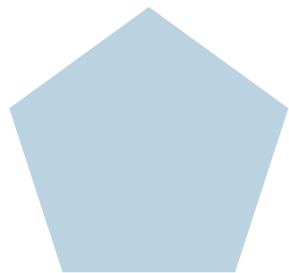
$$\tau = \frac{t}{\gamma} = \frac{mL}{p}$$

З LHCb ми можемо розділити час життя аж до 10^{-14} s !

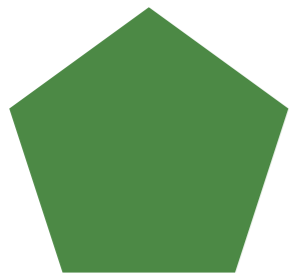




Вступ: мезон D^0 і чим він цікавий



Вимірювання властивостей частинок
за допомогою LHCb



Ваша місія!



**Вимірювання часу життя D^0 -мезону
за допомогою LHCb**

Вимірювання тривалості життя проводилося в кількох експериментах

Відповідно до буклету [Particle Data Group](#):



D^0 MEAN LIFE

Measurements with an error $> 10 \times 10^{-15}$ s have been omitted from the average.

<i>VALUE</i> (10^{-15} s)	<i>EVTS</i>	<i>DOCUMENT ID</i>	<i>TECN</i>
410.1 \pm 1.5	OUR AVERAGE		

**ТОЧНІСТЬ:
0.35%**

Вимірювання тривалості життя проводилося в кількох експериментах

Відповідно до буклету [Particle Data Group](#):



D^0 MEAN LIFE

Measurements with an error $> 10 \times 10^{-15}$ s have been omitted from the average.

VALUE (10^{-15} s)	EVTS	DOCUMENT ID	TECN
410.1 \pm 1.5	OUR AVERAGE		

**ТОЧНІСТЬ:
0.35%**

**ЯК МИ ДОСЯГАЄМО ТАКОЇ
ТОЧНОСТІ?**

Абсолютного правила немає.

У разі N сигнальних подій без фонового шуму:

$$\text{Точність} \sim 100/\sqrt{N} \%$$

Кількість подій і досяжна точність:

100 подій : 10.0% точності

1 000 000 подій : 0.10% точності

Абсолютного правила немає.

У разі N сигнальних подій без фонового шуму:

$$\text{Точність} \sim 100/\sqrt{N} \%$$

Кількість подій і досяжна точність:

100 подій : 10.0% точності

1 000 000 подій : 0.10% точності

100 000 000 подій : 0.01% точності

← LHCb

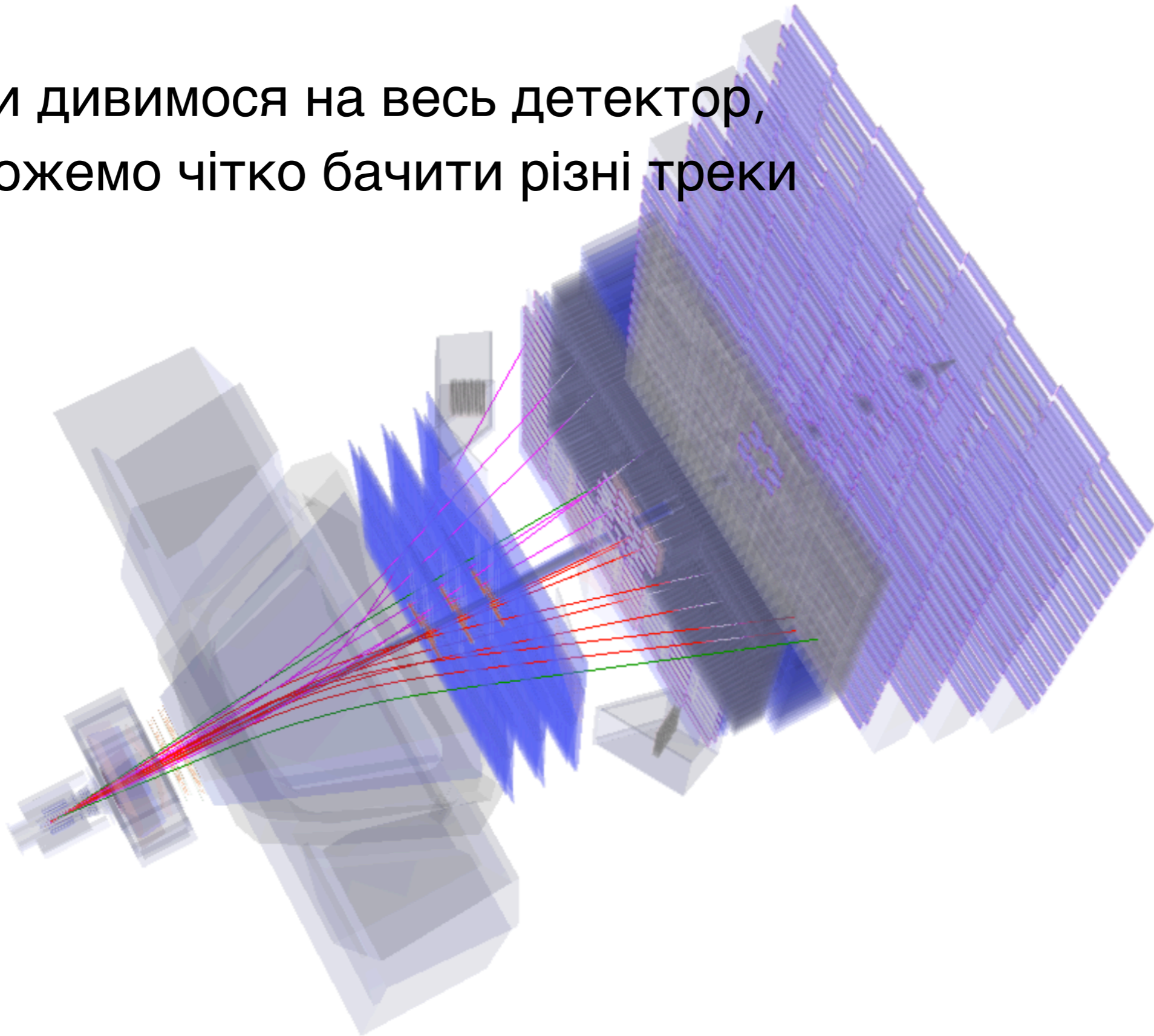
Вимірювання часу життя D^0 -мезону за допомогою LHCb

Ми будемо працювати зі зменшеною вибіркою даних

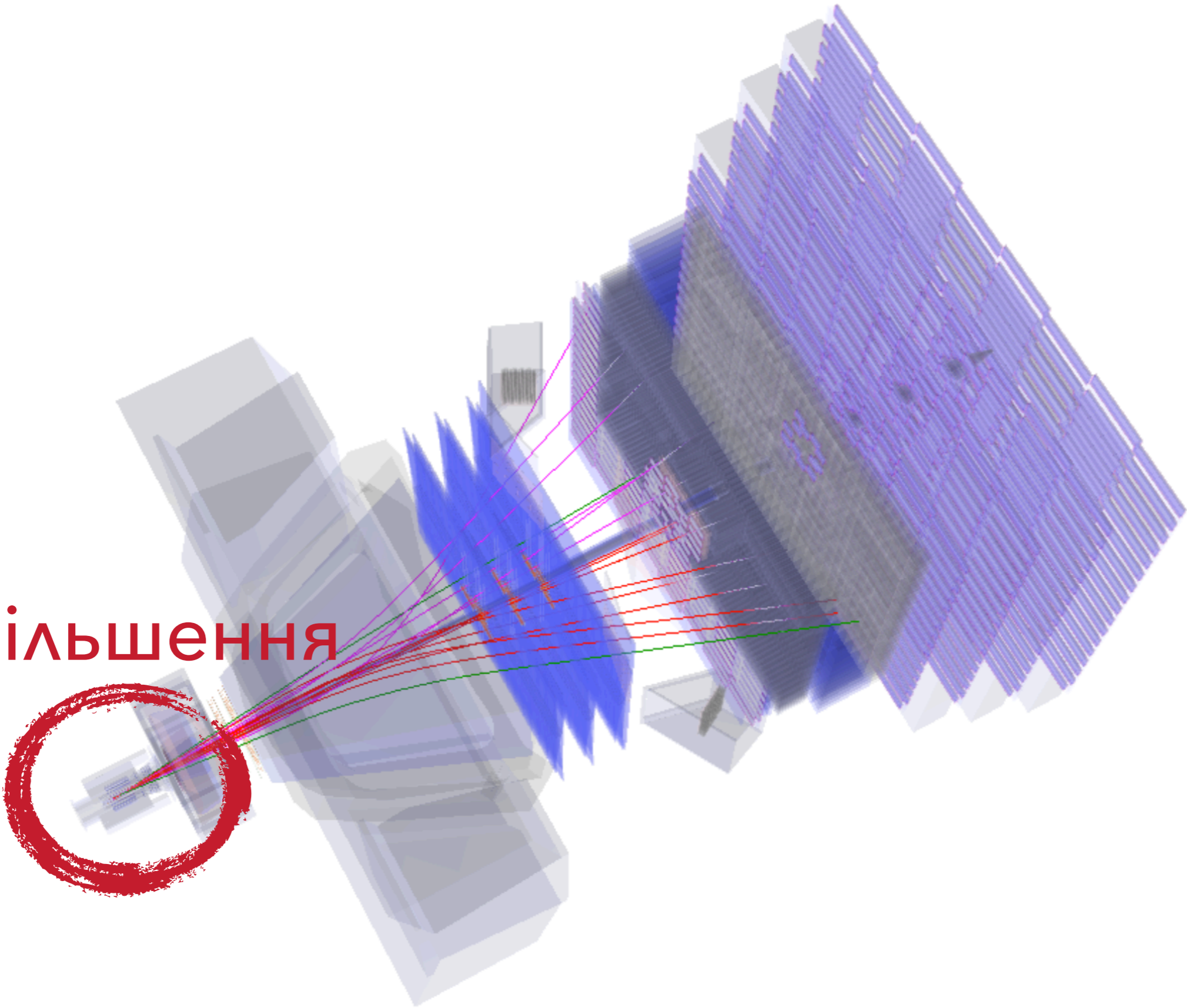
Основна мета:

- Зрозуміти, як працює вимірювання
- Зрозуміти межі вимірювання (систематичні похибки)

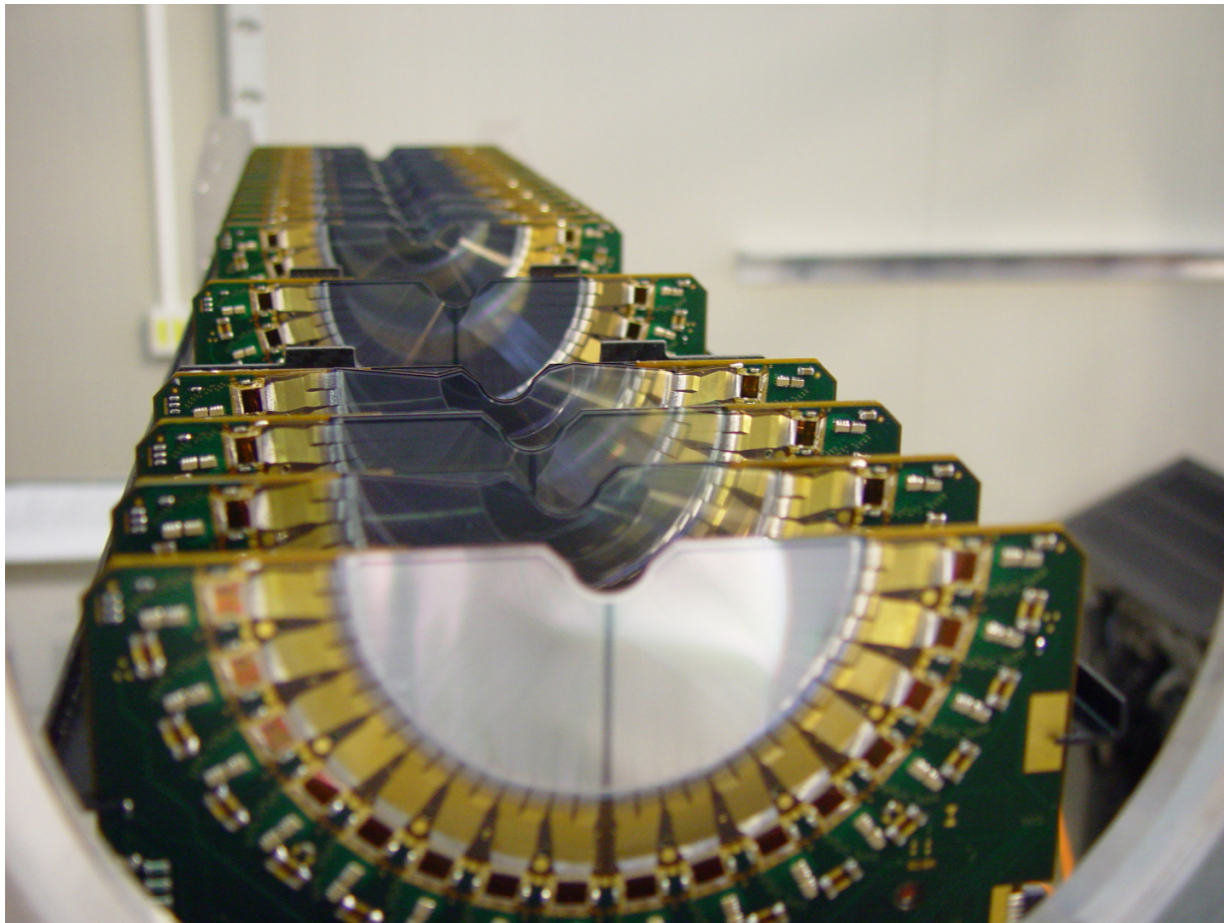
Якщо ми дивимося на весь детектор,
ми не можемо чітко бачити різні треки



Збільшення



Збільшуючи масштаб, ми зацікавлені в інформації з дуже важливого детектора на LHCb! VErtext LOcator (називається VELO, нічого спільного з велосипедом).



Мета VELO — знайти позиції, де частинка розпадається, утворюючи інші частинки. Ці позиції називаються ВЕРШИНОЮ.

1) ЗНАЙТИ D^0

Інтерфейс візуалізації

LHCb Masterclass

About
Language

Event Display Exercise

Event handler
event_15_0.json

previous

next

View

Zoom

Detector

Help

View

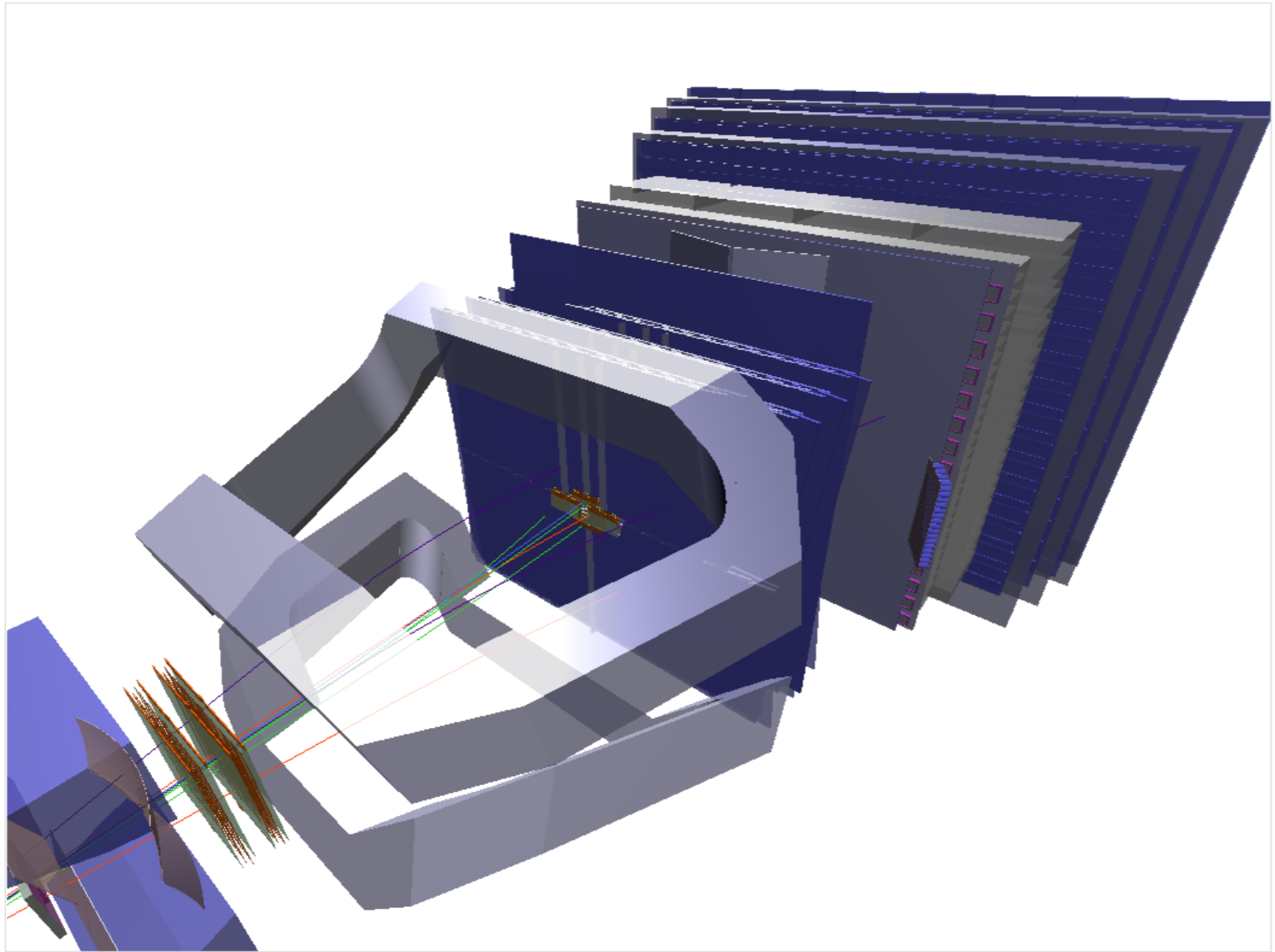
Auto rotate

Legend

- K^- —
- K^+ —
- π^+ —
- π^- —
- D^0 —

Read instructions

Download JSON



Particle information

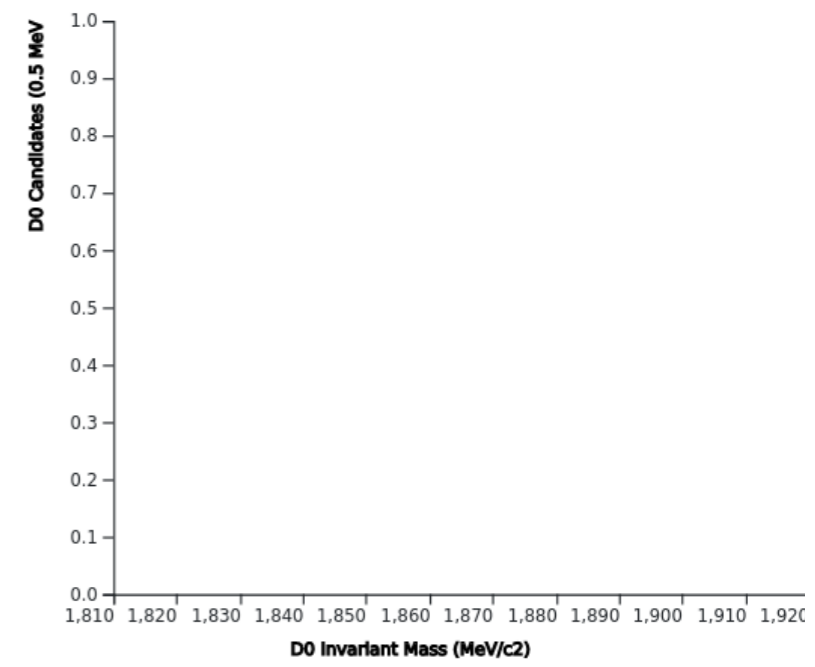
E	3780.217	MeV
chi2	1.311	
ipchi2	20.833	
mass	139.570	MeV/c ²
name	pi-	
ZFstM	-25.724	

My particles

Mass

MeV/c

Add



1) ЗНАЙТИ D^0

Збільшення простої події:

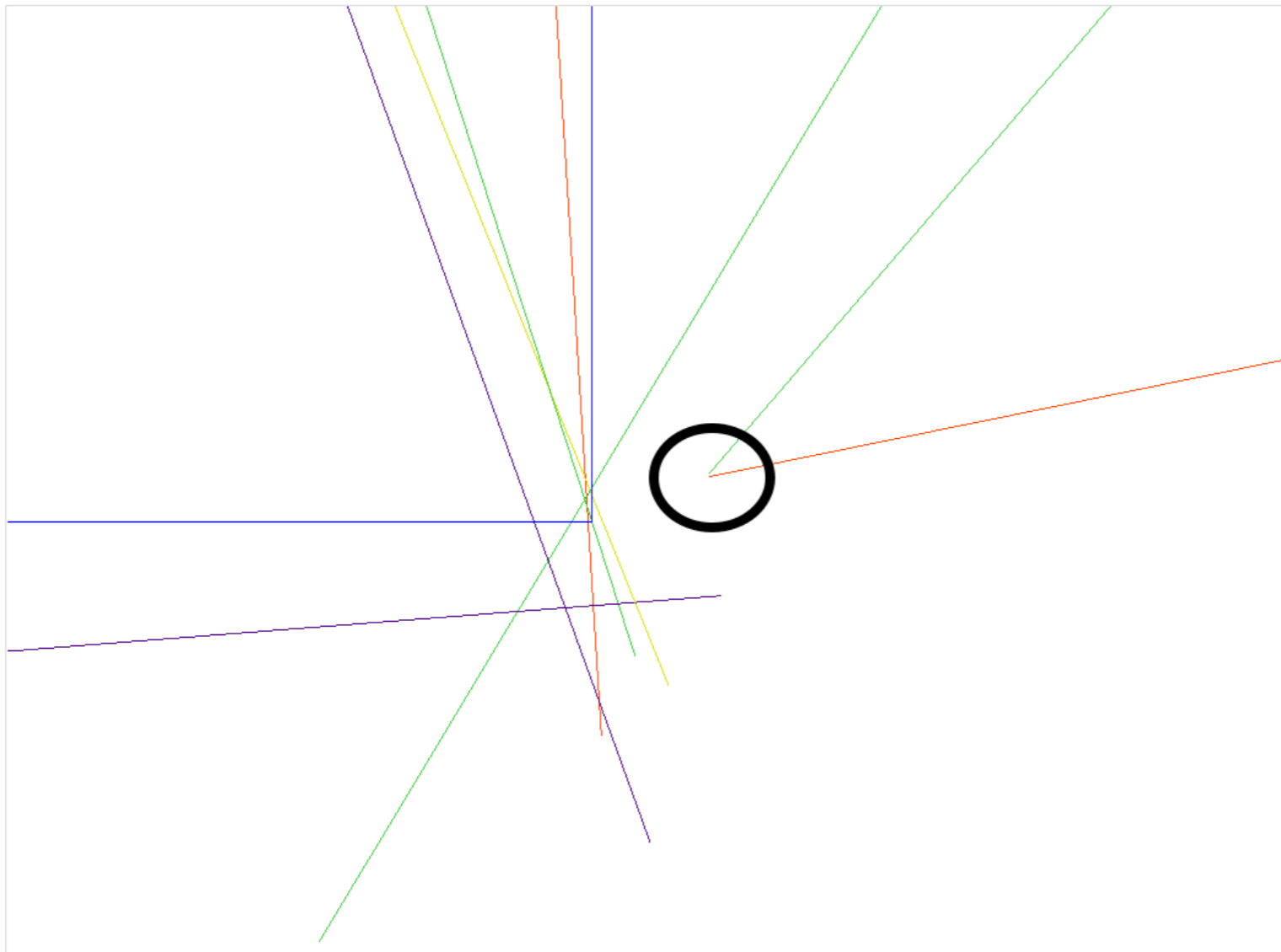
Event Display Exercise

Event handler
event_15_0.json
previous
next

View
 Zoom
 Detector
 Help
View
 Auto rotate

Legend
K⁻ —
K⁺ —
pi⁺ —
pi⁻ —
D⁰ —

Read instructions
Download JSON



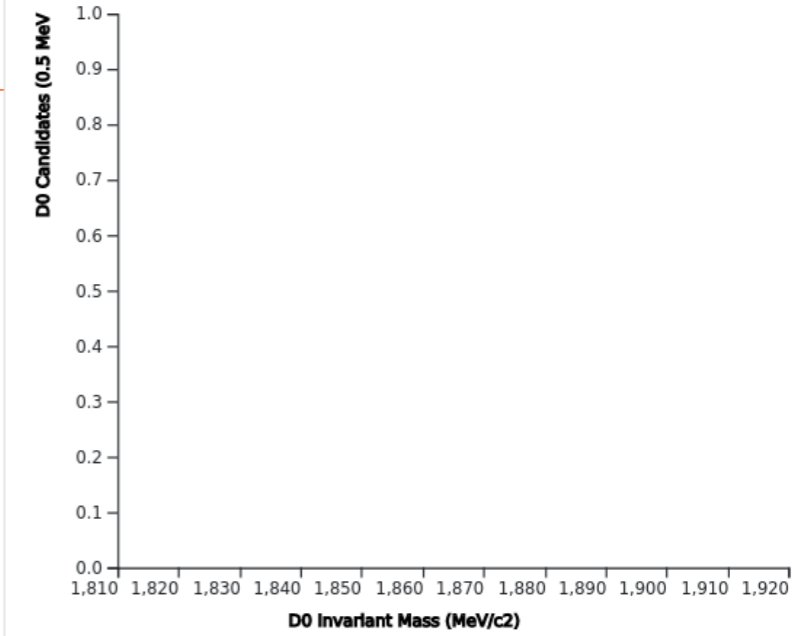
Particle information

E	27247.853	MeV
chi2	0.719	
ipchi2	6.088	
mass	493.677	MeV/c ²
name	K+	
ZFstM	449.234	

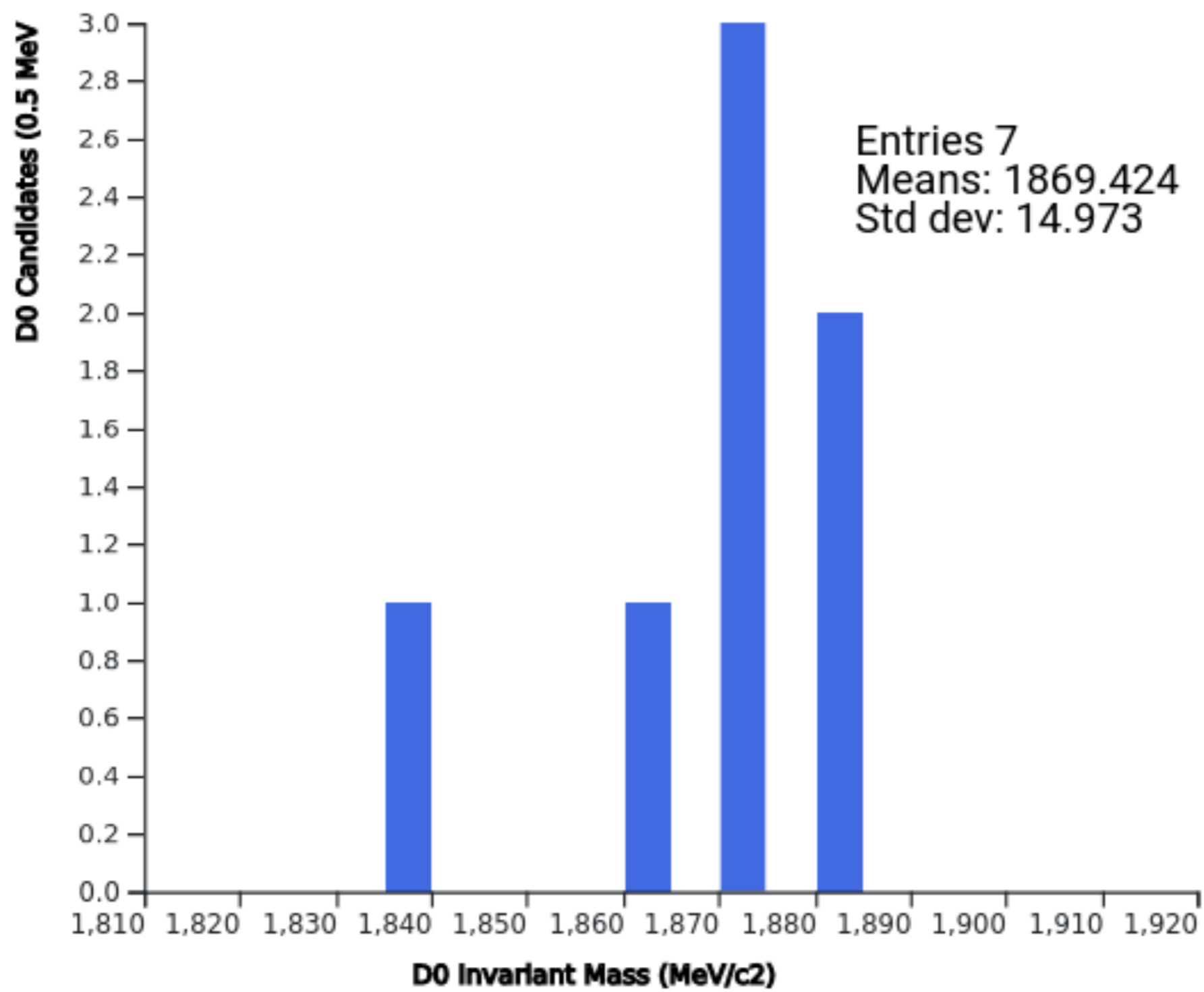
My particles

Mass MeV/c²

Add



2) ЗАПОВНИТИ МАСОВУ ГІСТОГРАМУ



3) ВІДОКРЕМИТИ СИГНАЛ ВІД ФОНОВОГО ШУМУ

D⁰ lifetime Exercise

Analysis tools

Plot D⁰ mass

Fit mass distribution

Background substr.

Signal range

1810 1915

Plot distributions

Variable range

D⁰ PT

2.5 20

D⁰ TAU

0 10

D⁰ IP

-4 1.5

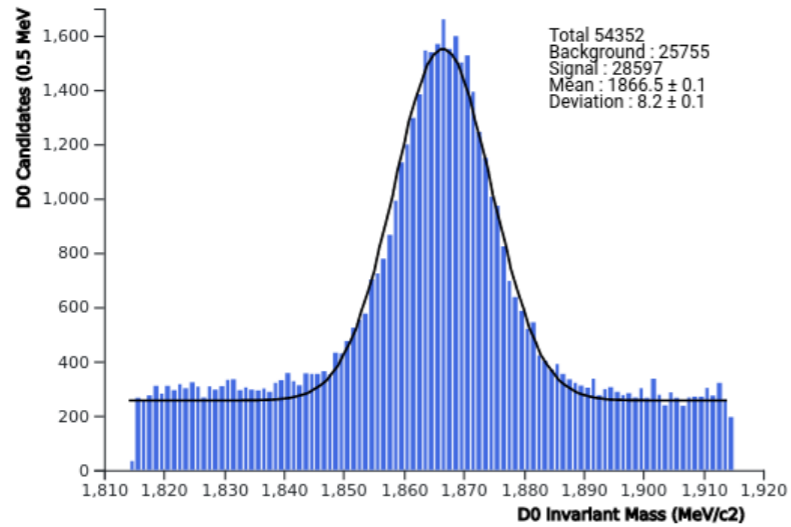
Refresh

Time fit

Fit result (ps) Fit Error

Save result

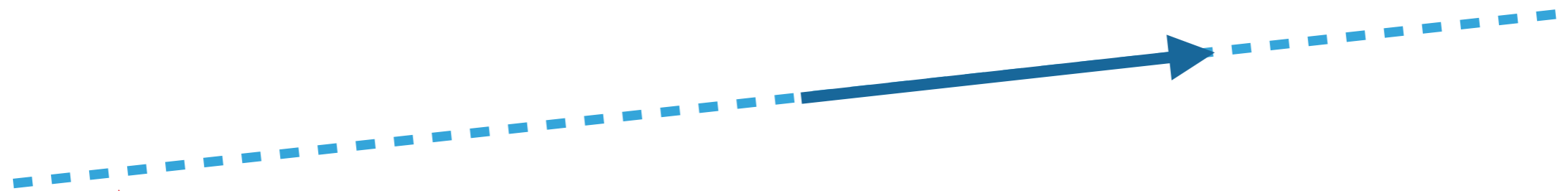
Read instructions



Для цього етапу ми беремо зразок с більшою кількістю подій. І використовуємо масу кандидату в D⁰, як дискримінантну змінну. Потрібно підібрати параметри функцій, щоб описати форму сигналу і форму шуму.

Прицільний параметр

Напрямок руху частинки

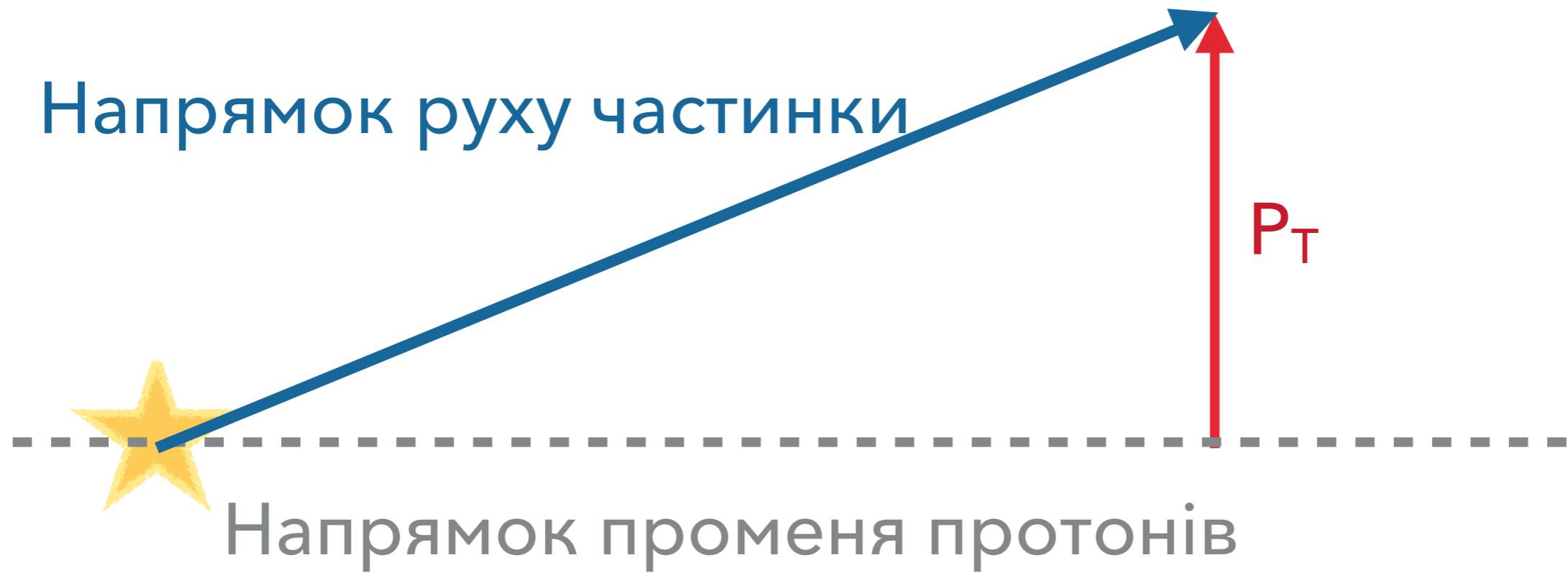


Прицільний параметр



Точка взаємодії протонів

Поперечний імпульс



4) НАМАЛЮВАТИ ГІСТОГРАМИ СИГНАЛУ ТА ФОНОВОГО ШУМУ

D⁰ lifetime Exercise

Analysis tools

- Plot D⁰ mass
- Fit mass distribution

Background substr.

Signal range

1850 1883

Plot distributions

Variable range

D⁰ PT: 2.5 to 20

D⁰ TAU: 0 to 10

D⁰ IP: -4 to 1.5

Refresh

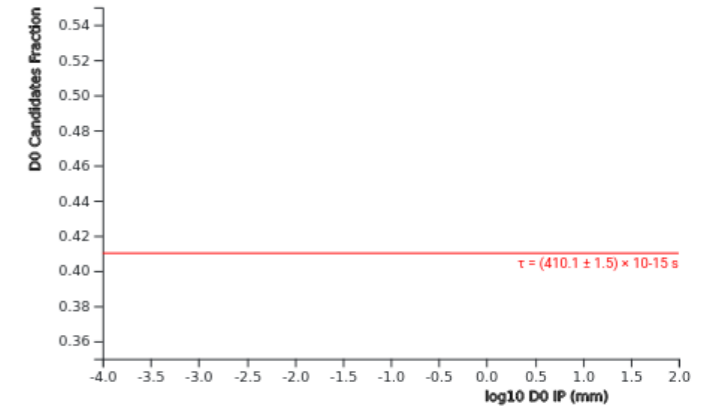
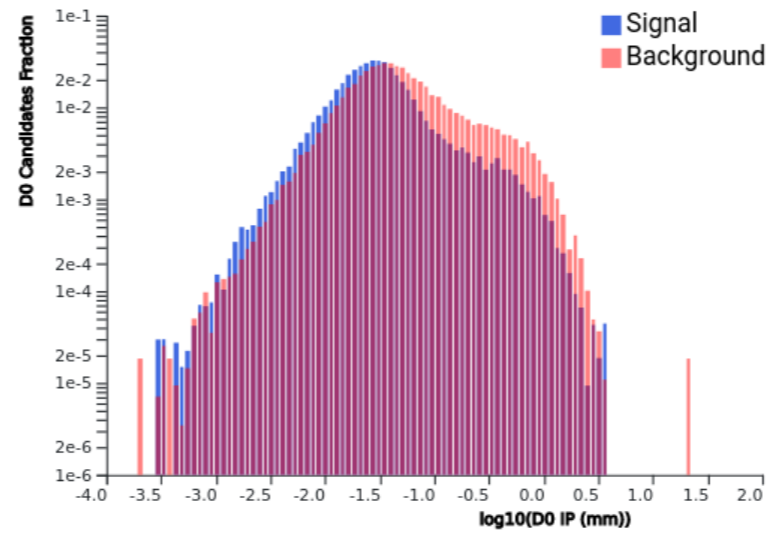
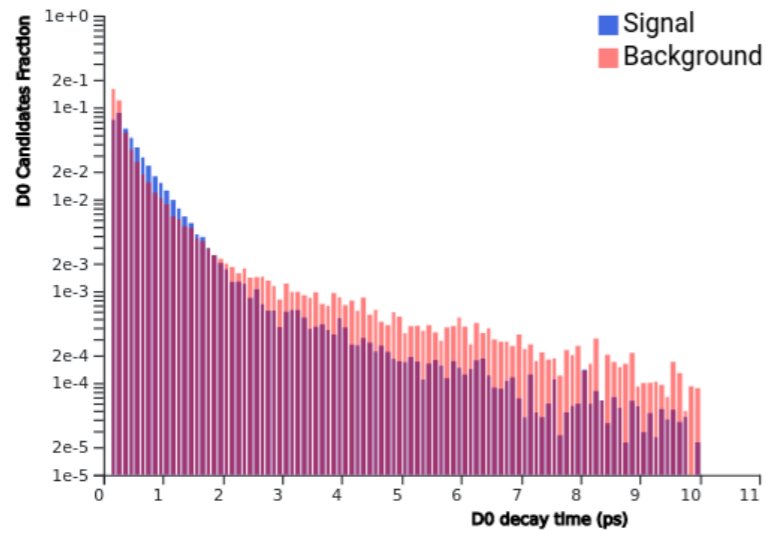
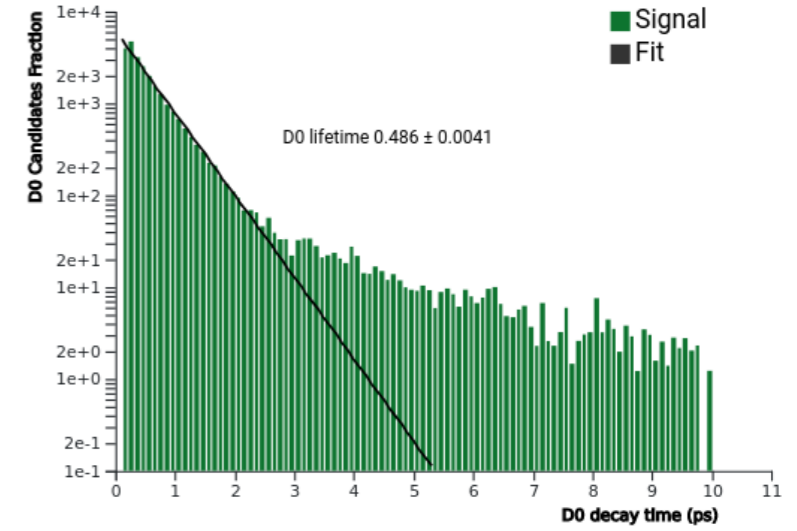
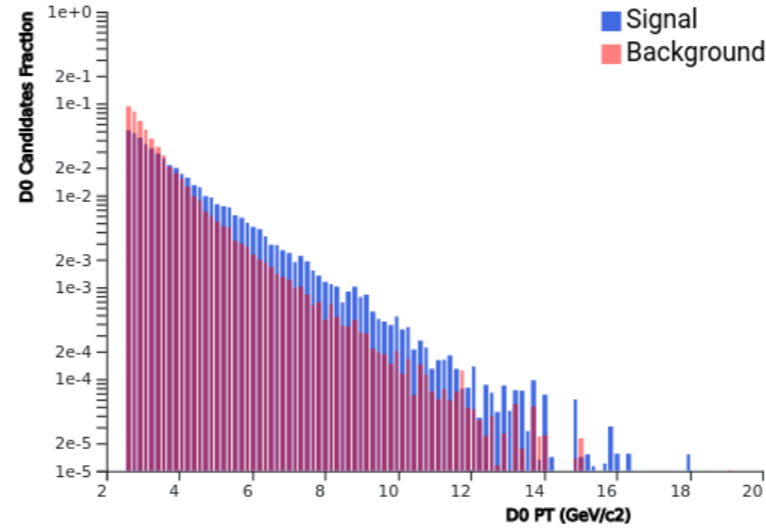
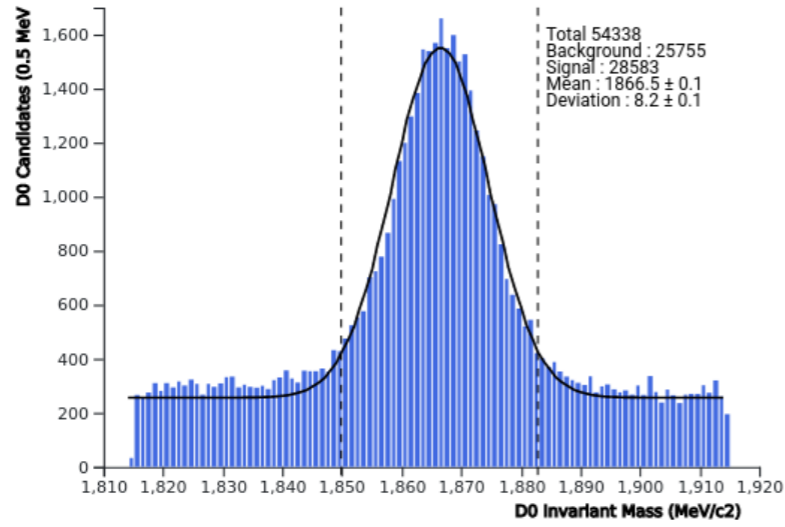
Time fit

Fit result (ps) Fit Error

0.486 0.0041

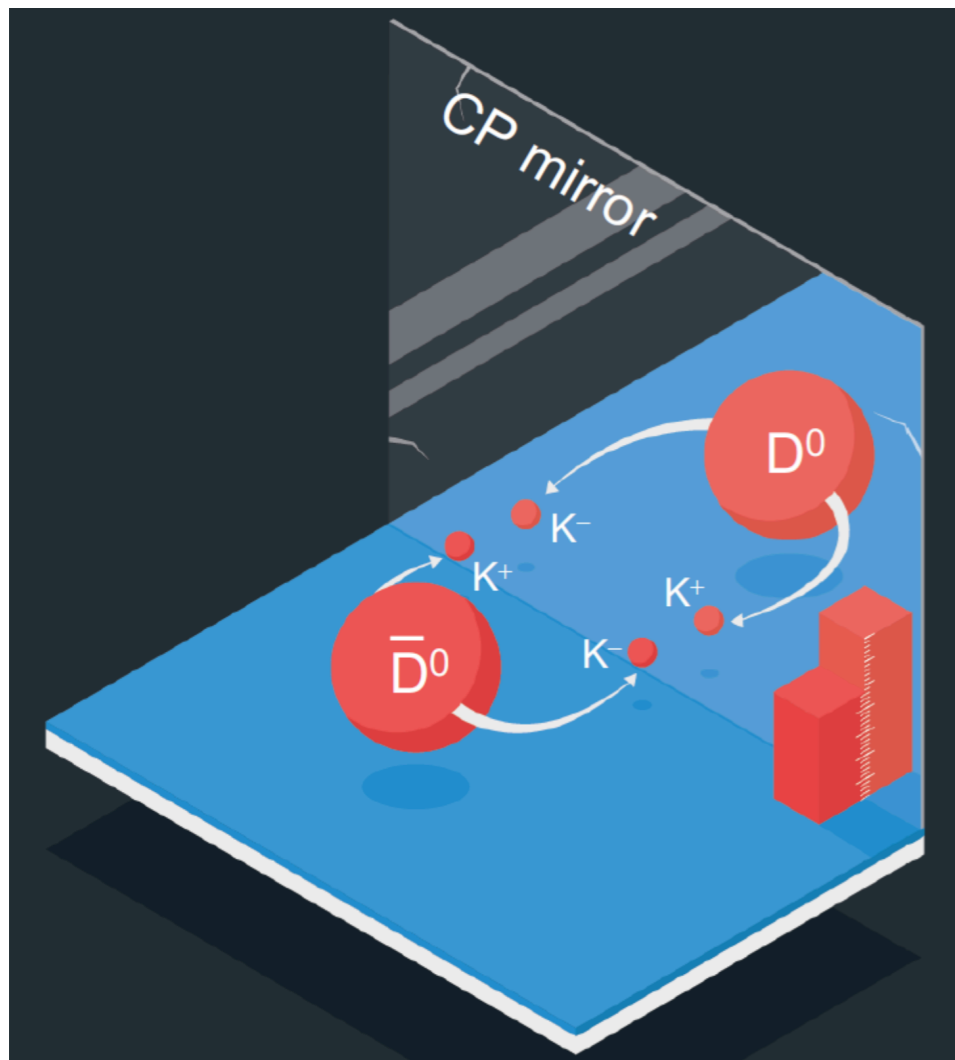
Save result

Read instructions



Те, що ви збираєтеся робити, безпосередньо пов'язане з дослідницькою програмою багатьох фізиків у колаборації LHCb!

Дійсно, у 2019 році колаборація LHCb оголосила про відкриття CP-порушення (асиметрії між матерією та антиматерією) у секторі зачарованих частинок! Ці фізики дослідили феноменальну кількість мезонів D^0 !



LHCb Experiment at CERN
Published by Guillaume Pietrzyk [?]
Page Liked · March 21 ·

The LHCb Collaboration is delighted to announce the discovery of CP violation in charm particle decays! This constitutes a milestone in the history of particle physics.

Read our news: <http://lhcb-public.web.cern.ch/lhcb-public/Welcome.html#CPVcharm>

CERN Press Release: <https://home.cern/news/press-release/physics/lhcb-sees-new-flavour-matter-antimatter-asymmetry>

Tag Photo Add Location Edit

339 8 Comments 253 Shares

Like Comment Share

Most Relevant

Giacomo Trinca Cintioli Federico
Like · Reply · Message · 12h

Julián Bernardo Juan Manuel
Like · Reply · Message · 2d

Miguel Gómez Luis Alfredo Lara Ramos Juan T. Kastellar Juan T. Kastellar Daniel Castellar Contreras Alejandro Villegas
Like · Reply · Message · 1d

Write a comment...



ТЕПЕР ВАША ЧЕРГА!





