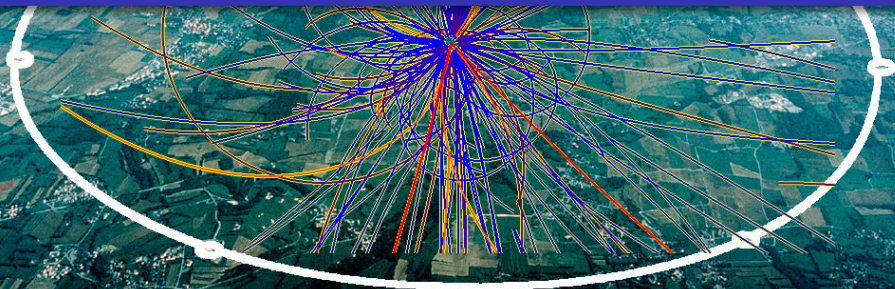


Fizyka cząstek

# 1. Wprowadzenie

Zakład Cząstek i Oddziaływań Fundamentalnych

Aleksander Filip Żarnecki



## 1 Wprowadzenie

- Granice stosowalności fizyki klasycznej
- Budowa materii
- Model Standardowy

## 2 Zakład cząstek i oddziaływań fundamentalnych

- Compact Muon Solenoid (CMS)
- Pracownia detektorów NA61/SHINE i ELI-NP
- Badania neutrin i promieniowania kosmicznego
- Badania struktury nukleonów
- Fizyka przyszłych zderzaczy  $e^+e^-$
- Poszukiwanie granic QED (LUXE)

## 3 Podsumowanie

## 1 Wprowadzenie

- Granice stosowalności fizyki klasycznej
- Budowa materii
- Model Standardowy

## 2 Zakład cząstek i oddziaływań fundamentalnych

- Compact Muon Solenoid (CMS)
- Pracownia detektorów NA61/SHINE i ELI-NP
- Badania neutrin i promieniowania kosmicznego
- Badania struktury nukleonów
- Fizyka przyszłych zderzaczy  $e^+e^-$
- Poszukiwanie granic QED (LUXE)

## 3 Podsumowanie

## Fizyka klasyczna

Dobrze opisuje zjawiska “dnia codziennego”:

- obiekty makroskopowe (ale też nie nazbyt masywne)
- poruszające się z “umiarkowanymi” prędkościami
- w słabych polach grawitacyjnych



## Fizyka klasyczna

Dobrze opisuje zjawiska “dnia codziennego”:

- obiekty makroskopowe (ale też nie nazbyt masywne)
- poruszające się z “umiarkowanymi” prędkościami
- w słabych polach grawitacyjnych

## Szczególna Teoria Względności

Wkracza wtedy, gdy prędkości względne stają się porównywalne z prędkością światła  $c \equiv 299\,792\,458\text{ m/s} \approx 300\,000\text{ km/s}$ .

Fizyka współczesna bardzo często wymaga stosowania podejścia relatywistycznego. Nie tylko w przypadku dużych prędkości...

Bez uwzględnienia efektów relatywistycznych nie jest także możliwe pełne zrozumienie wielu “codziennych” zjawisk, np. oddziaływań magnetycznych!

Odejście od zasad fizyki klasycznej także w przypadku obiektów mikroskopowych. **Ale nie rozmiar jest najistotniejszy!**

## Mechanika kwantowa

Wkracza gdy badane zjawiska zachodzą na skalach porównywalnych ze stałą Plancka:

$$h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

Skala zjawiska może dotyczyć energii i czasu, pędu i długości, momentu pędu

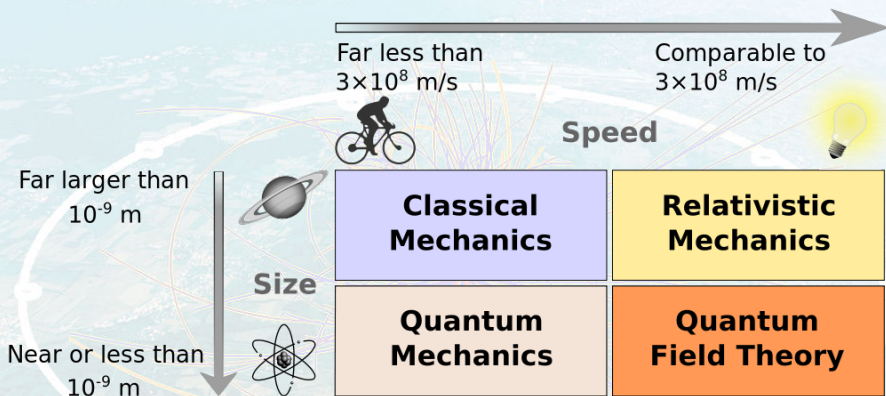
**Stała Plancka jest niesłychanie mała.**

Fizyka kwantowa istotna dopiero na poziomie subatomowym.

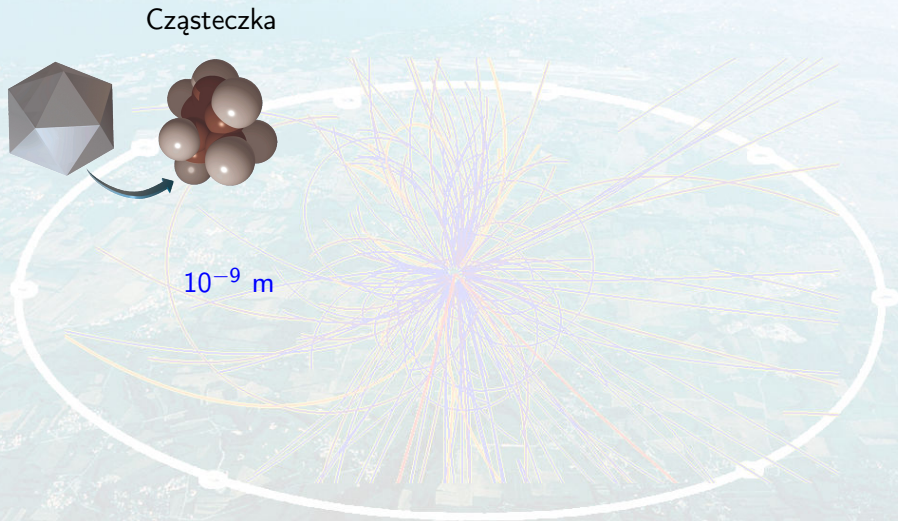
$$h \sim m_p \cdot r_p \cdot c \quad m_p, r_p - \text{masa i promień protonu}$$

Dla wszelkich obiektów makroskopowych stosujemy fizykę klasyczną  
W fizyce cząstek nieodzowna staje się **mechanika kwantowa!**

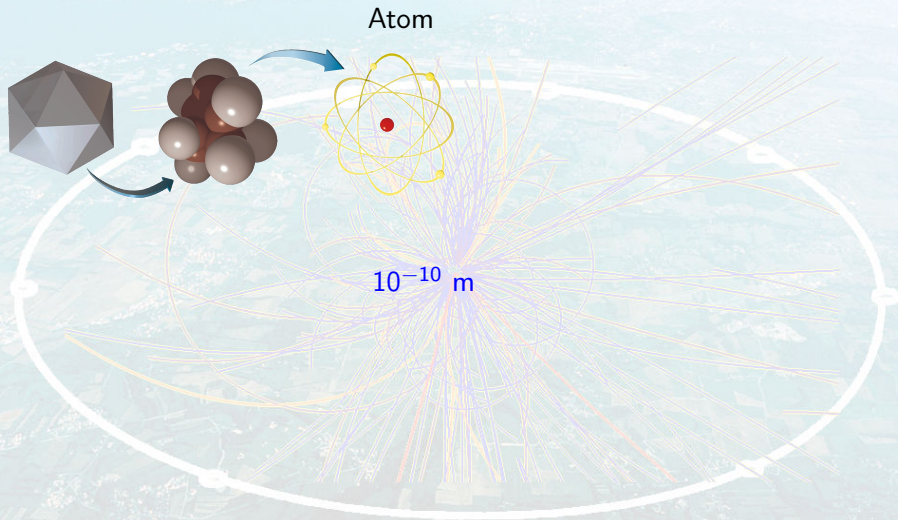
## Relatywistyczne i kwantowe rozszerzenia mechaniki klasycznej

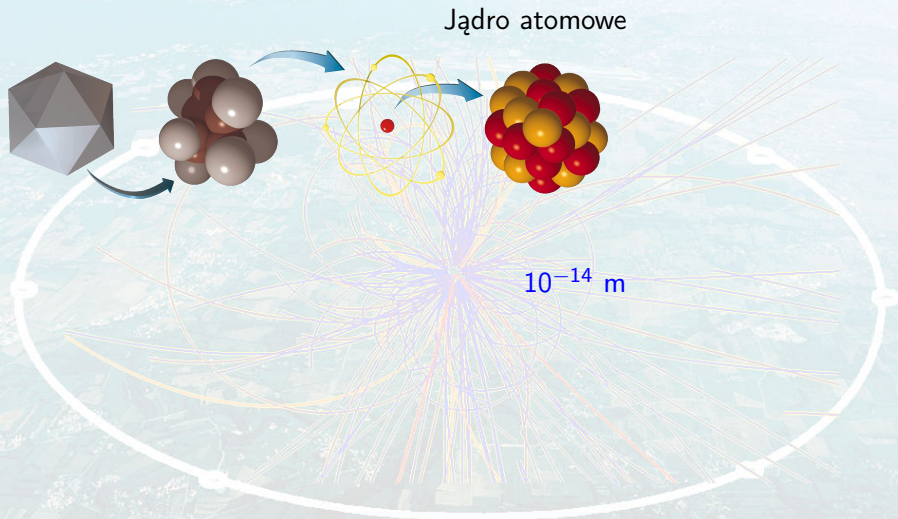


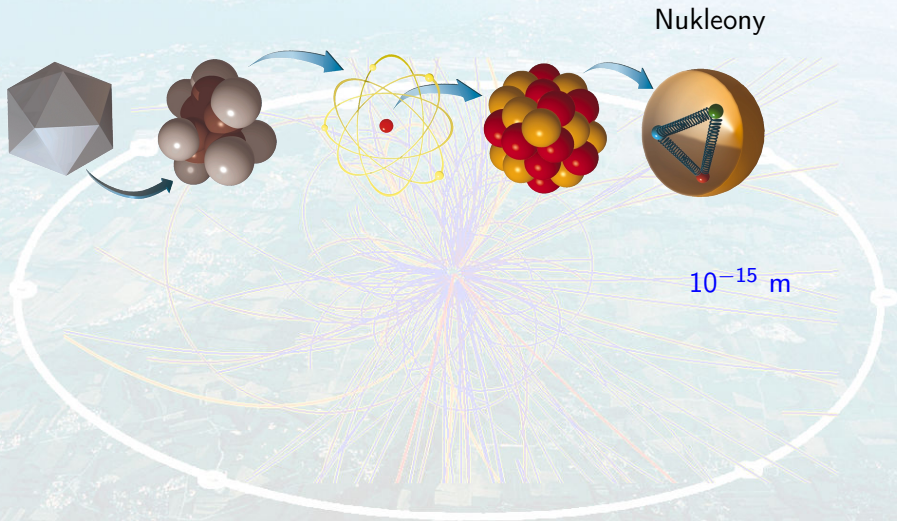
Współczesna fizyka cząstek opisywana jest w języku **Kwantowych Teorii Pola** łączących szczególną teorię względności z mechaniką kwantową  
Jest to świat bardzo różny od tego do którego jesteśmy przyzwyczajeni...

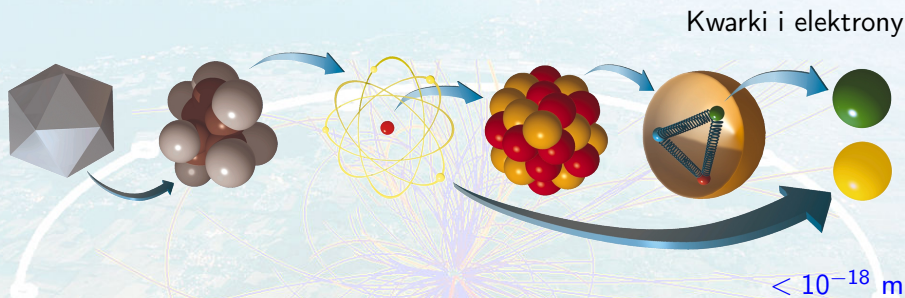












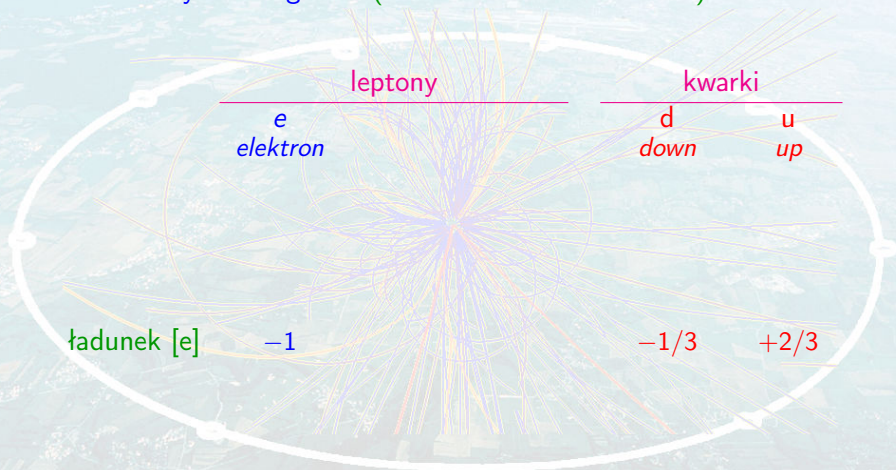
Obecnie za najbardziej fundamentalne, niepodzielne składniki materii uważamy **kwarki** i **leptony**.

Proton i neutron składają się z kwarków *u* i *d*:

$$p = (uud) \quad n = (udd)$$

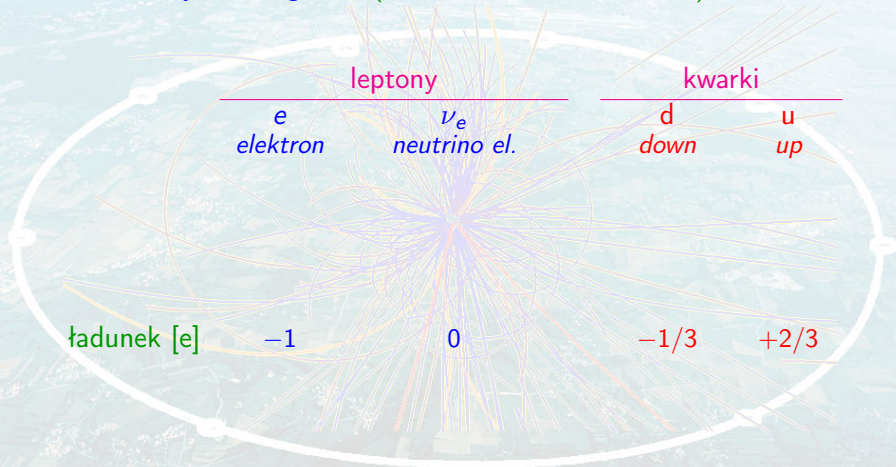
## Fermiony

Świat “codzienny”: 3 “cegietki” (elektron oraz kwarki  $u$  i  $d$ )



## Fermiony

Świat “codzienny”: 3 “cegietki” (elektron oraz kwarki  $u$  i  $d$ ) + *neutrino*



## Fermiony

Świat “codzienny”: 3 “cegietki” (elektron oraz kwarki  $u$  i  $d$ ) + *neutrino*

Fizyka cząstek  $\Rightarrow$  12 fundamentalnych “cegietek” materii, fermionów

	leptony		kwarki	
pokolenie 1	$e$ <i>elektron</i>	$\nu_e$ <i>neutrino el.</i>	$d$ <i>down</i>	$u$ <i>up</i>
pokolenie 2	$\mu$ <i>mion</i>	$\nu_\mu$ <i>neutrino mionowe</i>	$s$ <i>strange</i>	$c$ <i>charm</i>
pokolenie 3	$\tau$ <i>taon</i>	$\nu_\tau$ <i>neutrino taonowe</i>	$b$ <i>beauty</i> <i>(bottom)</i>	$t$ <i>top</i> <i>(truth)</i>
ładunek [e]	-1	0	-1/3	+2/3

## Fermiony

Świat “codzienny”: 3 “cegietki” (elektron oraz kwarki  $u$  i  $d$ ) + *neutrino*

Fizyka cząstek  $\Rightarrow$  12 fundamentalnych “cegietek” materii, fermionów

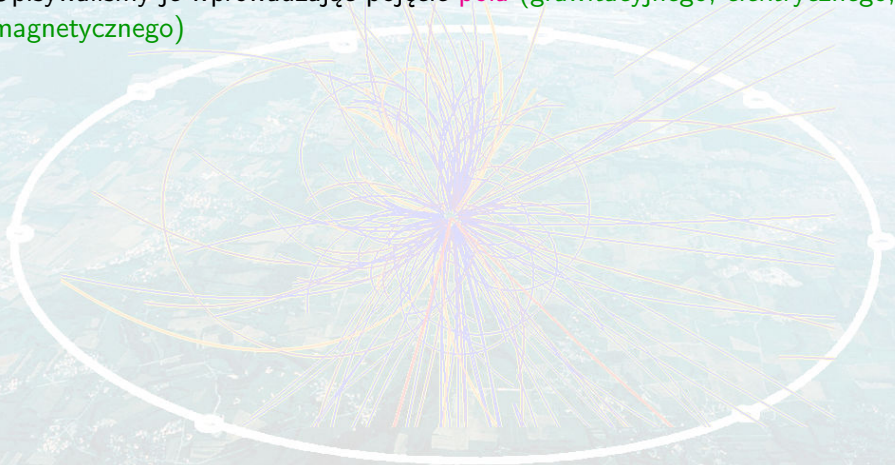
	leptony		kwarki	
pokolenie 1	$e$ <i>elektron</i>	$\nu_e$ <i>neutrino el.</i>	$d$ <i>down</i>	$u$ <i>up</i>
pokolenie 2	$\mu$ <i>mion</i>	$\nu_\mu$ <i>neutrino mionowe</i>	$s$ <i>strange</i>	$c$ <i>charm</i>
pokolenie 3	$\tau$ <i>taon</i>	$\nu_\tau$ <i>neutrino taonowe</i>	$b$ <i>beauty</i> <i>(bottom)</i>	$t$ <i>top</i> <i>(truth)</i>
ładunek [e]	-1	0	-1/3	+2/3

+ anty-fermiony (kolejnych 12)



## Oddziaływania

W fizyce klasycznej **oddziaływania** między ciałami zachodziły na **odległość**. Opisywaliśmy je wprowadzając pojęcie **poła** (**grawitacyjnego, elektrycznego, magnetycznego**)



## Oddziaływania

W fizyce klasycznej **oddziaływania** między ciałami zachodziły na **odległość**.  
Opisywaliśmy je wprowadzając pojęcie **poła** (grawitacyjnego, elektrycznego, magnetycznego)

W przypadku **zmiany rozkładu** masy (ładunku) pole grawitacyjne (elektryczne) zmieniało się **natychmiast w całej przestrzeni!**

Jest to sprzeczne z postulatem Einsteina, że nic nie może przemieszczać się szybciej od prędkości światła, także oddziaływanie...

## Oddziaływania

W fizyce klasycznej **oddziaływania** między ciałami zachodziły na **odległość**. Opisywaliśmy je wprowadzając pojęcie **poła** (grawitacyjnego, elektrycznego, magnetycznego)

W przypadku **zmiany rozkładu** masy (ładunku) pole grawitacyjne (elektryczne) zmieniało się **natychmiast w całej przestrzeni!**

**Jest to sprzeczne z postulatem Einsteina, że nic nie może przemieszczać się szybciej od prędkości światła, także oddziaływanie...**

W opisie oddziaływań między cząstkami rezygnujemy z pojęcia pola i siły! Zamiast tego wprowadzamy (równoważny, jak się okazuje) opis poprzez wymianę **nośników oddziaływań**

## Oddziaływania

W fizyce klasycznej **oddziaływania** między ciałami zachodziły na **odległość**. Opisywaliśmy je wprowadzając pojęcie **poła** (grawitacyjnego, elektrycznego, magnetycznego)

W przypadku **zmiany rozkładu** masy (ładunku) pole grawitacyjne (elektryczne) zmieniało się **natychmiast w całej przestrzeni!**

**Jest to sprzeczne z postulatem Einsteina, że nic nie może przemieszczać się szybciej od prędkości światła, także oddziaływanie...**

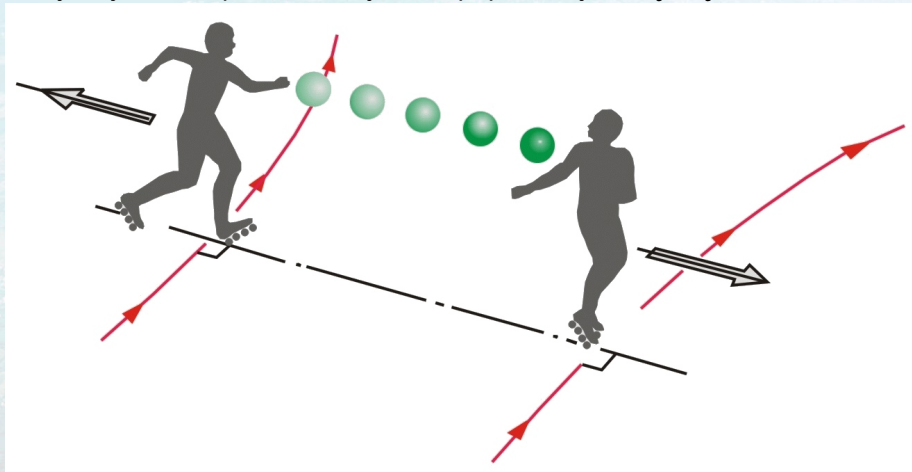
W opisie oddziaływań między cząstkami rezygnujemy z pojęcia pola i siły! Zamiast tego wprowadzamy (równoważny, jak się okazuje) opis poprzez wymianę **nośników oddziaływań**

### Dwa rodzaje cząstek:

- cząstki materii - fermiony (cząstki o spinie  $\frac{1}{2}$ )
- nośniki oddziaływań - bosony (cząstki o spinie całkowitym)

## Bozony

Klasyczny obraz opisu oddziaływania poprzez wymianę cząstek-nośników



**Bozony**

“Cegielki” oddziałują ze sobą poprzez wymianę **nośników oddziaływań**  
 Nośnik przekazuje część energii i/lub pędu jednej cząstki drugiej cząstce

oddziaływanie	źródło	nośnik	moc
grawitacyjne	masa	grawiton (?)	$10^{-39}$
elektromagnetyczne	ładunek	foton	$10^{-2}$
silne	“kolor”	gluony	1
słabe	“ładunek słaby”	“bozony pośredniczące” $W^{\pm}, Z^0$	$10^{-7}$

“moc” - przykładowe porównanie wielkości oddziaływań dla dwóch sąsiadujących protonów

Grawiton, foton i gluony są bezmasowe  $\Rightarrow$  zasięg formalnie nieskończony  
 Natomiast bozony  $W^{\pm}$  i  $Z^0$  są bardzo ciężkie...

## Oddziaływania fundamentalne

Opis oddziaływań w Modelu Standardowym oparty jest na formalizmie kwantowej teorii pola (Quantum Field Theory, QFT).

Podstawą tego opisu jest zawsze dostrzeżenie **lokalnych symetrii cechowania**

- symetria względem obrotu fazy funkcji falowej:  $U(1)$   
⇒ opis oddziaływań elektromagnetycznych (QED), foton

## Oddziaływania fundamentalne

Opis oddziaływań w Modelu Standardowym oparty jest na formalizmie kwantowej teorii pola (Quantum Field Theory, QFT).

Podstawą tego opisu jest zawsze dostrzeżenie **lokalnych symetrii cechowania**

- symetria względem obrotu fazy funkcji falowej:  $U(1)$   
⇒ opis oddziaływań elektromagnetycznych (QED), foton
- symetria względem zamiany kolorów cząstek:  $SU(3)$   
⇒ opis oddziaływań silnych (QCD), gluony



## Oddziaływania fundamentalne

Opis oddziaływań w Modelu Standardowym oparty jest na formalizmie kwantowej teorii pola (Quantum Field Theory, QFT).

Podstawą tego opisu jest zawsze dostrzeżenie **lokalnych symetrii cechowania**

- symetria względem obrotu fazy funkcji falowej:  $U(1)$   
⇒ opis oddziaływań elektromagnetycznych (QED), foton
- symetria względem zamiany kolorów cząstek:  $SU(3)$   
⇒ opis oddziaływań silnych (QCD), gluony
- symetria względem zamiany cząstek w dubletach:  $SU(2)$   
⇒ opis oddziaływań słabych (model Weinberg'a-Salam'a),  $W^\pm$ ,  $Z^0$

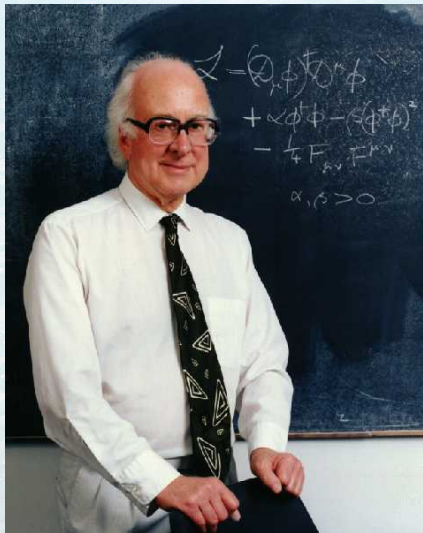
## Oddziaływania fundamentalne

Opis oddziaływań w Modelu Standardowym oparty jest na formalizmie kwantowej teorii pola (Quantum Field Theory, QFT).

Podstawą tego opisu jest zawsze dostrzeżenie lokalnych symetrii cechowania

- symetria względem obrotu fazy funkcji falowej:  $U(1)$   
⇒ opis oddziaływań elektromagnetycznych (QED), foton
- symetria względem zamiany kolorów cząstek:  $SU(3)$   
⇒ opis oddziaływań silnych (QCD), gluony
- symetria względem zamiany cząstek w dubletach:  $SU(2)$   
⇒ opis oddziaływań słabych (model Weinberg'a-Salam'a),  $W^\pm$ ,  $Z^0$

$$SM \equiv U(1) \times SU(2) \times SU(3)$$

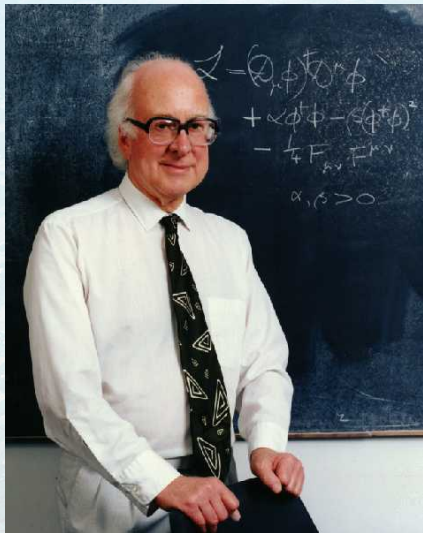


Aby móc nadać masy nośnikom oddziaływań konieczne jest jeszcze dodanie do teorii **spontanicznego łamania symetrii**. Wskazał na to 55 lat temu (1964) m.in.<sup>†</sup> **Peter W. Higgs**.

Mechanizm spontanicznego łamania symetrii, zwany także **mechanizmem Higgsa**, jest podstawą współczesnej teorii oddziaływań elektroslabych.

Cząstki fundamentalne uzyskują **masę** poprzez **oddziaływanie z polem Higgsa!**

<sup>†</sup> wymieniani są także Anderson, **Brout**, **Englert**, Guralnik, Hagen, Kibble i 't Hooft



Aby móc nadać masy nośnikom oddziaływań konieczne jest jeszcze dodanie do teorii **spontanicznego łamania symetrii**. Wskazał na to 55 lat temu (1964) m.in.<sup>†</sup> **Peter W. Higgs**.

Mechanizm spontanicznego łamania symetrii, zwany także **mechanizmem Higgsa**, jest podstawą współczesnej teorii oddziaływań elektrosłabych.

Cząstki fundamentalne uzyskują **masę** poprzez **oddziaływanie z polem Higgsa!**

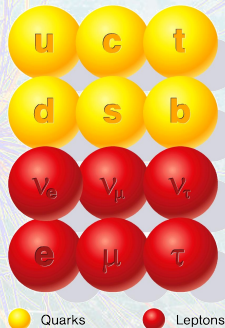
Oczekujemy także istnienia **dotychczasowej cząstki: bozonu Higgsa**

<sup>†</sup> wymieniani są także Anderson, **Brout**, **Englert**, Guralnik, Hagen, Kibble i 't Hooft

## Cząstki fundamentalne

Cząstki, które obecnie uważamy za **fundamentalne** w ramach tzw. **Modelu Standardowego** fizyki cząstek

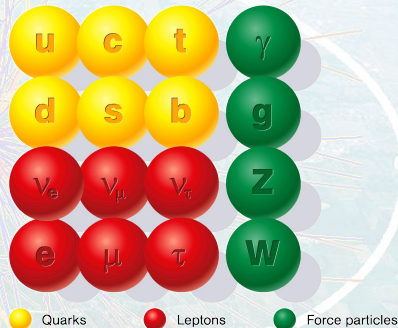
- cząstki materii  
kwarki i leptony



## Cząstki fundamentalne

Cząstki, które obecnie uważamy za **fundamentalne** w ramach tzw. **Modelu Standardowego** fizyki cząstek

- cząstki materii  
kwarki i leptony
- nośniki oddziaływań  
 $\gamma$ ,  $g$ ,  $W^\pm$  i  $Z^0$

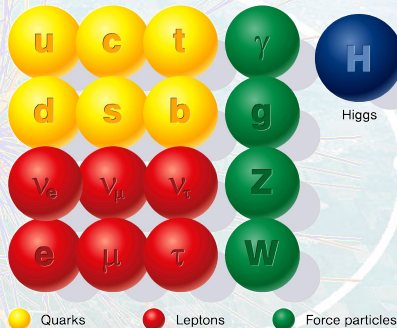


## Cząstki fundamentalne

Cząstki, które obecnie uważamy za **fundamentalne** w ramach tzw. **Modelu Standardowego** fizyki cząstek

- cząstki materii  
kwarki i leptony
- nośniki oddziaływań  
 $\gamma$ ,  $g$ ,  $W^\pm$  i  $Z^0$
- bozon Higgsa  
konieczny dla  
spójności modelu

“Nadaje masy”  
wszystkim cząstkom



## 1 Wprowadzenie

- Granice stosowalności fizyki klasycznej
- Budowa materii
- Model Standardowy

## 2 Zakład cząstek i oddziaływań fundamentalnych

- Compact Muon Solenoid (CMS)
- Pracownia detektorów NA61/SHINE i ELI-NP
- Badania neutrin i promieniowania kosmicznego
- Badania struktury nukleonów
- Fizyka przyszłych zderzaczy  $e^+e^-$
- Poszukiwanie granic QED (LUXE)

## 3 Podsumowanie



## Compact Muon Solenoid (CMS)

[Marcin.Konecki@fuw.edu.pl](mailto:Marcin.Konecki@fuw.edu.pl)



• **type:**

general purpose.  
Gathering data from  
proton-proton collisions for  
searches for any new  
phenomena

**CMS DETECTOR**

Total weight : 14,000 tonnes  
Overall diameter : 15.0 m  
Overall length : 28.7 m  
Magnetic field : 3.8 T

**STEEL RETURN YOKE**  
12,500 tonnes

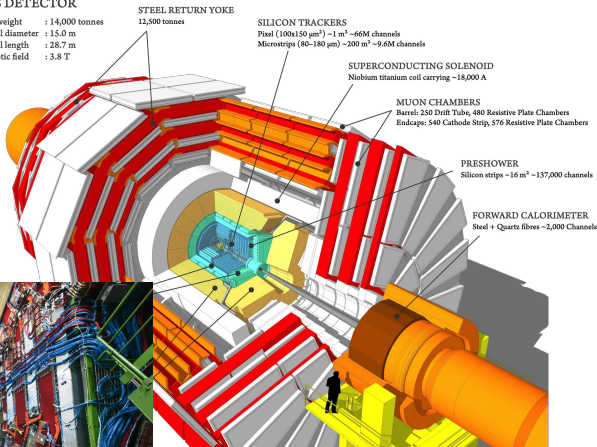
**SILICON TRACKERS**  
Pixel ( $100 \times 150 \mu\text{m}^2$ )  $\sim 1 \text{ m}^3$   $\sim 66\text{M}$  channels  
Microstrips ( $80\text{--}180 \mu\text{m}$ )  $\sim 200 \text{ m}^3$   $\sim 9.6\text{M}$  channels

**SUPERCONDUCTING SOLENOID**  
Niobium titanium coil carrying  $\sim 18,000 \text{ A}$

**MUON CHAMBERS**  
Barrel: 250 Drift Tube, 480 Resistive Plate Chambers  
Endcaps: 540 Cathode Strip, 576 Resistive Plate Chambers

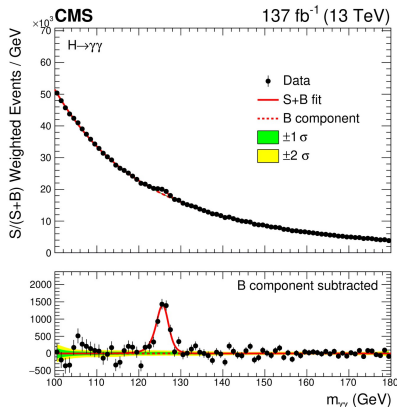
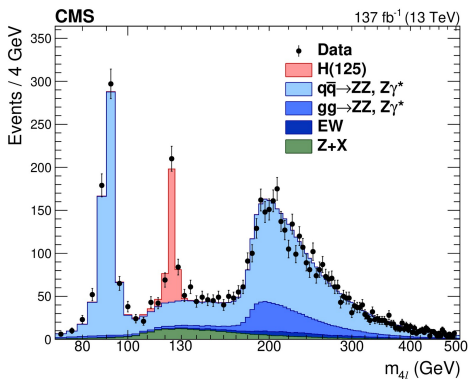
**PRESHOWER**  
Silicon strips  $\sim 16 \text{ m}^2$   $\sim 137,000$  channels

**FORWARD CALORIMETER**  
Steel + Quartz fibres  $\sim 2,000$  Channels





$H \rightarrow ZZ, \gamma\gamma$ , Run-1+2016:  $m_H = 125.38 \pm 0.14 \text{ GeV}$   
 $H \rightarrow ZZ$  only Runs-1,2:  $m_H = 125.09 \pm 0.15 \text{ GeV}$



- **Warsaw activities:**

design and operation of a Level-1 trigger system – a part of detector selecting p-p collisions saved for further studies.

At the LHC we **KEEP** data for only 1000 out of 40 000 000 p-p collisions per second.



Our subsystem makes the decision which data is kept. The rest, 99.975% is lost 3.3 $\mu$ s after p-p collision

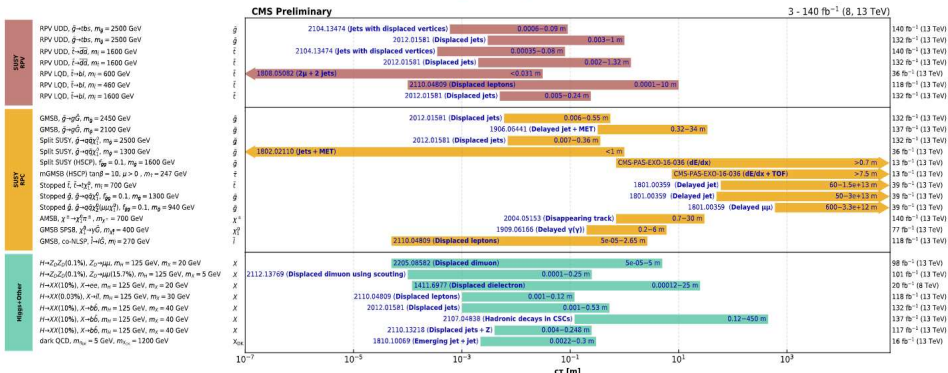
• physics:

search for phenomena not described by the current state of the art description of elementary particles: the

- are there any new heavy, stable particles?

- does the Higgs boson, discovered in 2012, is the Higgs boson, or something only similar to the Higgs boson?

## Overview of CMS long-lived particle searches



Selection of observed exclusion limits at 95% C.L. (theory uncertainties are not included). The y-axis tick labels indicate the studied long-lived particle.

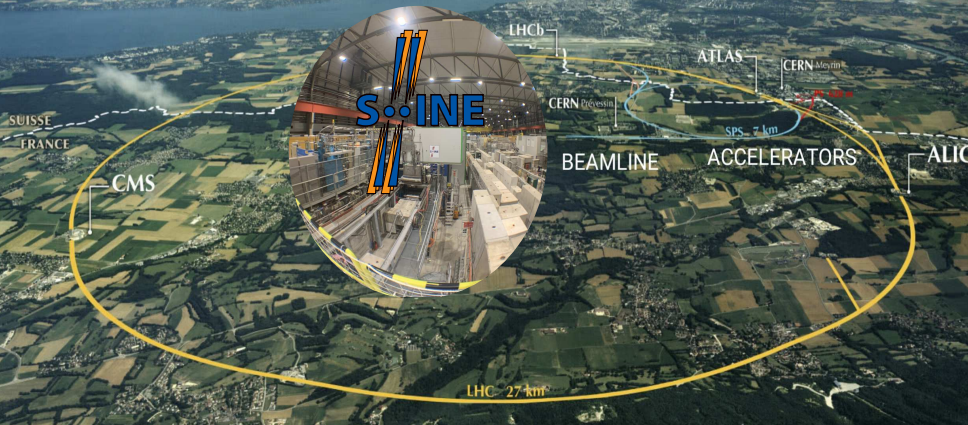
## Pracownia detektorów NA61/SHINE i ELI-NP

Wojtek.Dominik@fuw.edu.pl



# NA6I/SHINE - UNIQUE MULTIPURPOSE FACILITY:

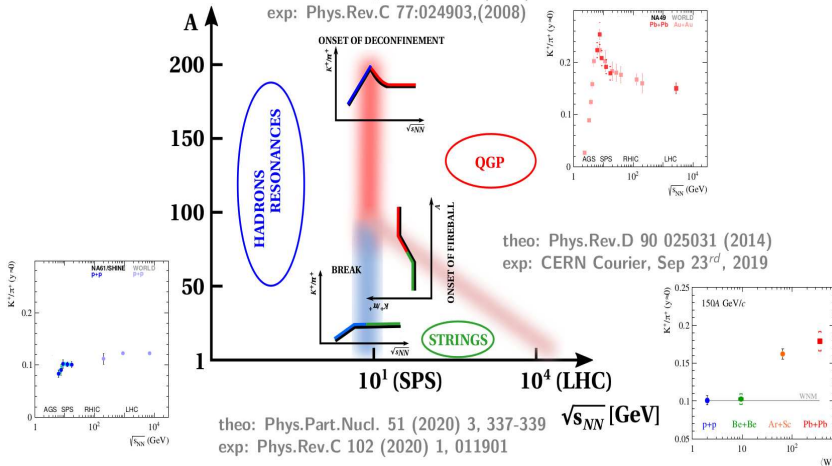
Hadron production in hadron-nucleus and nucleus-nucleus collisions at high energies



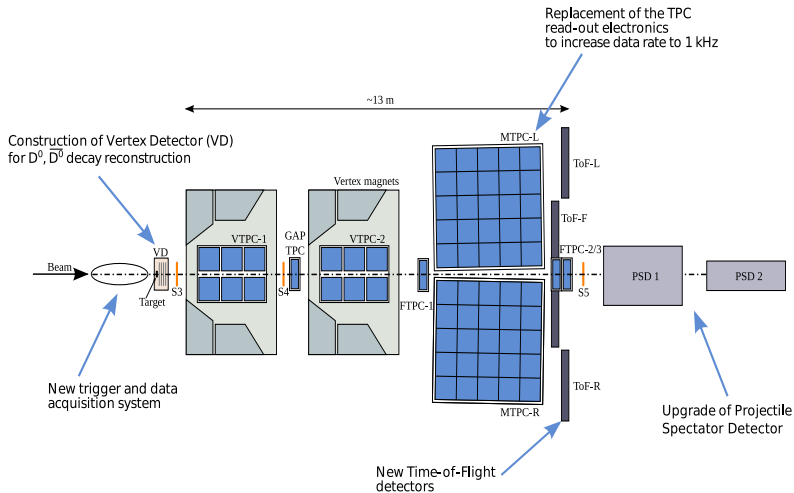
# Unique NA61/SHINE results on heavy ion collisions



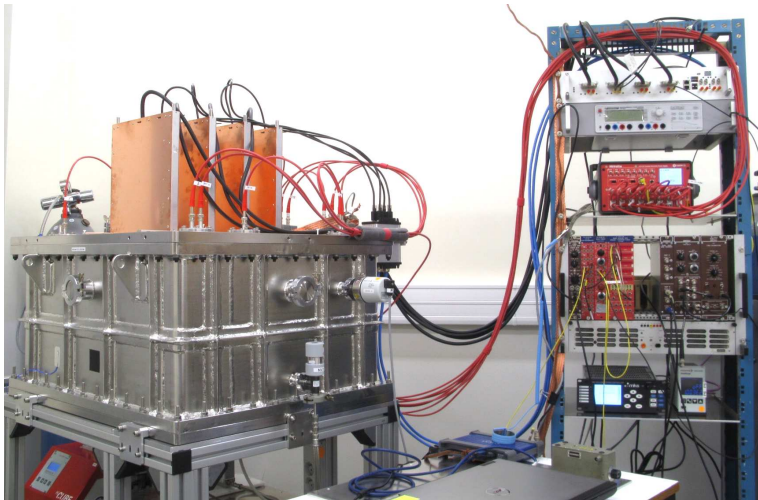
theo: Acta Phys.Polon.B 46 (2015) 10, 1991  
 exp: Phys.Rev.C 77:024903,(2008)



# NA61/SHINE detector upgrade - summary



# Warsaw active-target TPC

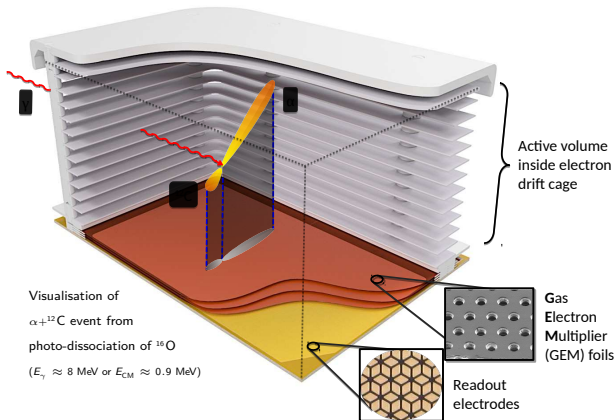


**The full system developed at Faculty of Physics, University of Warsaw**



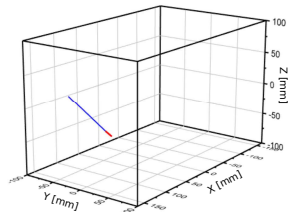
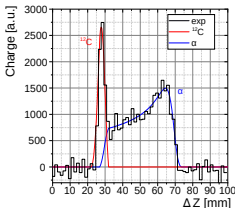
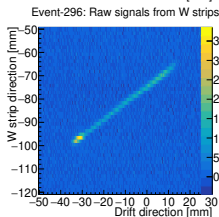
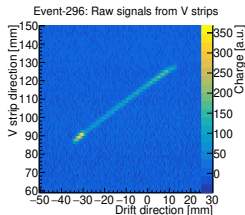
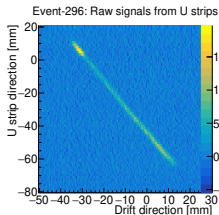
# Detector concept

- Detector for unambiguous reconstruction of multiple-particle events



- active volume:  $33 \times 20 \times 20 \text{ cm}^3$
- under-pressured (80-250 mbar of  $\text{CO}_2$ )
- charge amplification based on 3 GEM foils
- custom readout

# Example of $^{16}\text{O}(\gamma, \alpha)^{12}\text{C}$ reaction



$$E_{\alpha} = 4.37 \text{ MeV}$$

$$E_{^{12}\text{C}} = 1.46 \text{ MeV}$$

$$\theta_{\alpha-^{12}\text{C}} = 180^{\circ}$$

## Badania neutrin i promieniowania kosmicznego

Magdalena.Posiadala@fuw.edu.pl (Super- i Hyper-Kamiokande, T2K)

Katarzyna.Grzelak@fuw.edu.pl (DUNE)

Lech-Wiktor.Piotrowski@fuw.edu.pl (GRAND, JEM-EUSO)

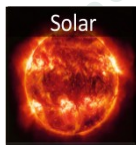
# Neutrino mixing

Flavour states

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_{23} & s_{23} \\ 0 & -s_{23} & c_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{13} & 0 & s_{13}e^{-i\delta_{CP}} \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_{13}e^{-i\delta_{CP}} & 0 & c_{13} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{12} & s_{12} & 0 \\ -s_{12} & c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix}$$

$$s_{ij} = \sin \theta_{ij}, c_{ij} = \cos \theta_{ij}$$

Mass states





# Physics programme

- Neutrino oscillations

- using atmospheric neutrinos and JPARC  $\nu/\bar{\nu}$  beam

- CP violation and precise measurement of oscillation parameters

- mass hierarchy determination

- Search for nucleon decay

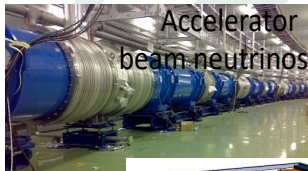
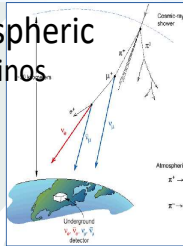
- Astrophysics

- solar neutrinos

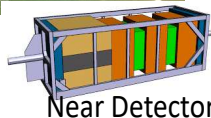
- Supernovae burst, diffuse Supernovae Background Neutrinos

- Dark Matter search

## Atmospheric neutrinos



## Accelerator beam neutrinos

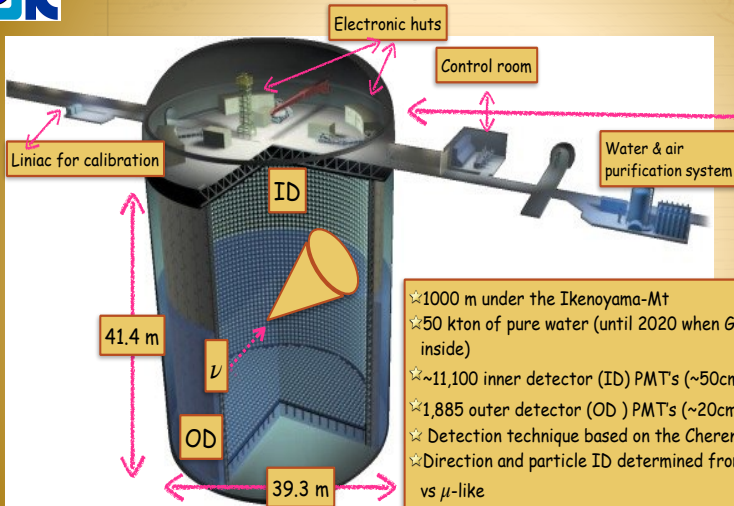


## Near Detector


Not covered in this talk



# Super-Kamiokande detector



- ✧ 1000 m under the Ikenoyama-Mt
- ✧ 50 kton of pure water (until 2020 when Gd sulfate was added inside)
- ✧ ~11,100 inner detector (ID) PMT's (~50cm  $\phi$ )
- ✧ 1,885 outer detector (OD) PMT's (~20cm  $\phi$ )
- ✧ Detection technique based on the Cherenkov radiations
- ✧ Direction and particle ID determined from the ring pattern: e-like vs  $\mu$ -like



Super-Kamiokande,  
T2K, Hyper-Kamiokande

Magdalena Posiadata-Zezula

University of Warsaw,  
Faculty of Physics



Photo Credit: Piotr Mijakowski, NCBJ

# Tokai-2-Kamioka (T2K)

☆ Grupa neutrinowa: UW + NCBJ

☆ UW: dr Magdalena Posiadła-Zezula

([magdalena.Posiadala@fuw.edu.pl](mailto:magdalena.Posiadala@fuw.edu.pl))

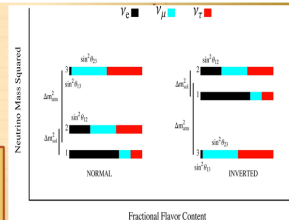
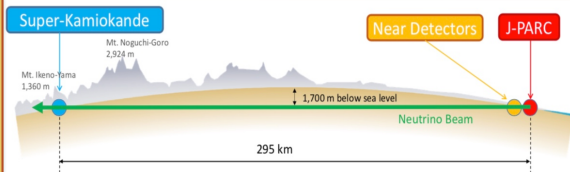
☆ Detektor Super-Kamiokande jest dalekim detektorem w T2K

☆ Badamy oscylacje neutrin wyprodukowanych w laboratorium

J-PARC:  $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$  oraz  $\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e$

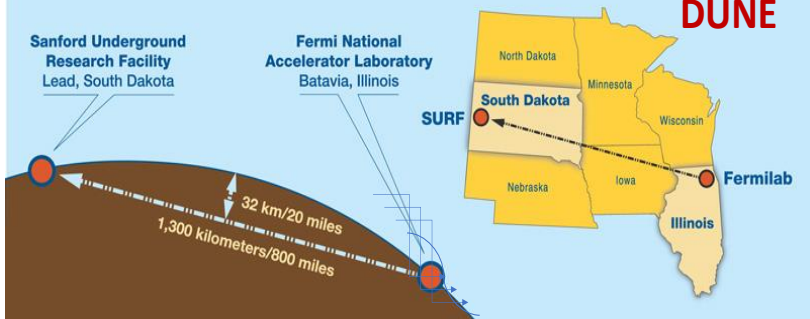
☆ Tematyka badań SONATA BIS :

☆ Poszukiwania hierarchii mass neutrin w łącznych badaniach oscylacji neutrin atmosferycznych z Super-K oraz neutrin akceleratorowych z T2K



## Deep Underground Neutrino Experiment

**DUNE**



- Beam of muon neutrinos from accelerator complex
- Far (1300km) Detector - search for tau neutrinos from standard oscillations
- Near (0.5km) Detector – search for tau neutrinos from oscillations with sterile neutrinos

# Giant Radio Array for Neutrino Detection

- Hardware aim: 200,000 radio antennas on hill sides ( $\sim 1 / \text{km}^2$ ) in 2030s
- Scientific goal: Radio detection of UHE $\nu$  and very-inclined UHECR and localisation of their sources
- Localisation: First array China , rest who knows

## Why radio waves?

- Antennas are cheaper and easy to deploy (compared to scintillators and fluorescence telescopes)
- Low attenuation of radio waves in the atmosphere – necessary for far away inclined primaries

Reference: "Giant Radio Array for Neutrino Detection: Science and Design",  
arXiv:1810.09994

<http://grand.cnrs.fr/>

# A staged approach with self-standing pathfinders

	GRANDProto300	GRAND10k	GRAND200k
	2023	2025	203X
Goals	<p><b>autonomous</b> radio detection of <b>very inclined</b> air-showers</p> <p><b>cosmic rays <math>10^{16.5-18}</math> eV</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Galactic/extragalactic transition</li> <li>muon problem</li> <li>radio transients</li> </ul>	<p><b>1st GRAND sub-array</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>discovery of EeV neutrinos</b> for optimistic fluxes</li> <li>radio transients (FRBs!)</li> </ul>	<p>sensitive <b>all-sky</b> detector</p> <p><b>1st EeV neutrino detection and/or neutrino astronomy!</b></p>
Setup	<ul style="list-style-type: none"> <li>300 HorizonAntennas over 200 km<sup>2</sup></li> <li>Particle detectors (a la HAWC/Auger)</li> <li>Qinhai Province, China</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>10,000 radio antennas over 10,000 km<sup>2</sup></li> <li>in China</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>200,000 antennas over 200,000 km<sup>2</sup></li> <li>20 sub-arrays of 10k antennas</li> <li>on different continents</li> </ul>
Budget	<p><b>2 M€</b></p> <p>100 antennas already paid (China)</p>	<p><b>13 M€</b>      1500€/unit</p> <p>confident for large contribution from China</p>	<p><b>300M€</b> in total      500€/unit</p> <p>to be divided between participating countries</p>

# Joint Experiment Missions for Extreme Universe Space Observatory

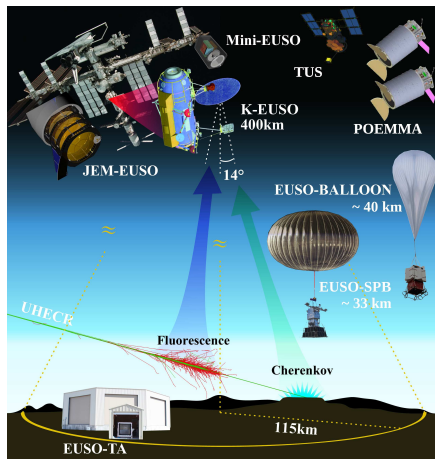
Towards observations of UHECR and  $\text{UHE}\nu$  from the orbit

## Experiments built within JEM-EUSO framework

- EUSO-TA (2013 – now)
- EUSO-BALLOON (2014)
- EUSO-SPB (2017)
- TUS (2016 – 2018)

## Current and planned experiments

- Mini-EUSO (October 2019 – now)
- JEM-EUSO –  $\infty$ ?
- K-EUSO ( $\sim 2025$ )
- EUSO-SPB2 (2023)
- Poemma ( $\sim 2030$ )

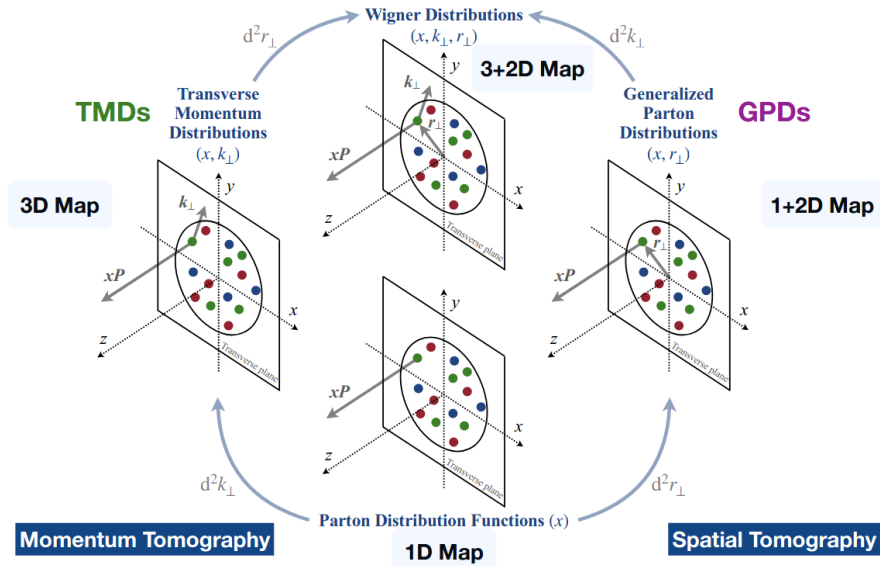




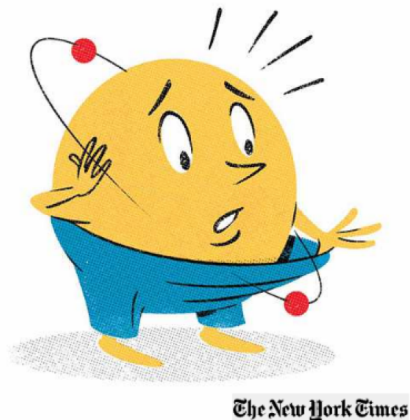
## Badania struktury nukleonów

Barbara.Badelek@fuw.edu.pl

# COMPASS (CERN): budowa partonowa nukleonu w 5D!



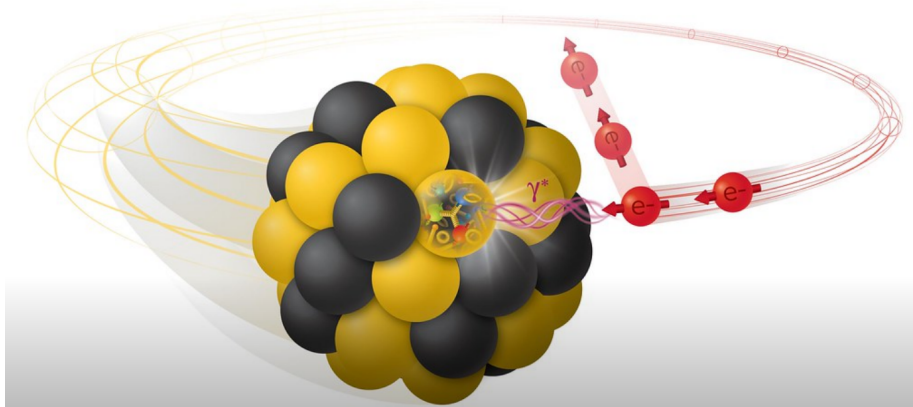
# AMBER (CERN): dlaczego nukleon czasem wygląda „szczuplej”?



- Czy to w ogóle jest prawda?
- AMBER ma to sprawdzić i zmierzyć  $r_p$  nową metodą

# PRZYSZŁOŚĆ: Electron-Ion Collider, EIC (USA), 2029 $\implies$ ...

- Wielkie energie; ogromne, dotąd nieosiągalne możliwości badawcze!
- 23-31 lipca: światowa konferencja fizyków EIC na Wydziale Fizyki UW !!!



## Fizyka przyszłych zderzaczy $e^+e^-$

Filip.Zarnecki@fuw.edu.pl



## 3. High-priority future initiatives

An **electron-positron Higgs factory is the highest-priority next collider**. For the longer term, the **European particle physics community has the ambition to operate a proton-proton collider at the highest achievable energy**. Accomplishing these compelling goals will require innovation and cutting-edge technology:

- *the particle physics community should ramp up its R&D effort focused on advanced accelerator technologies, in particular that for high-field superconducting magnets, including high-temperature superconductors;*
- *Europe, together with its international partners, should investigate the technical and financial feasibility of a future hadron collider at CERN with a centre-of-mass energy of at least 100 TeV and with an electron-positron Higgs and electroweak factory as a possible first stage. Such a feasibility study of the colliders and related infrastructure should be established as a global endeavour and be completed on the timescale of the next Strategy update.*

*The timely realisation of the electron-positron International Linear Collider (ILC) in Japan would be compatible with this strategy and, in that case, the European particle physics community would wish to collaborate.*

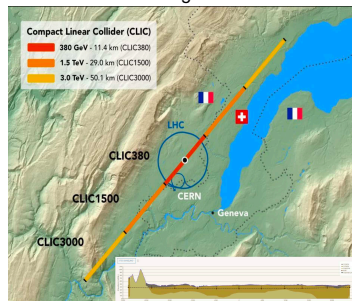
# Linear Colliders

ILC & CLIC specs

- Energy extendability to TeV scale lies in the heart of linear colliders: ILC focuses on  $\sqrt{s}$  from 250 GeV to 1 TeV; CLIC 380 GeV to 3 TeV; keeping options to run at Z-pole (“GigaZ”)
- Complementary approaches: “Warm” & “Cold” accelerating technologies; 72MeV/m @ CLIC380; 31.5MeV/m @ ILC250
- Polarized beams: both offering 80% for electron; 30% for positron in ILC default design

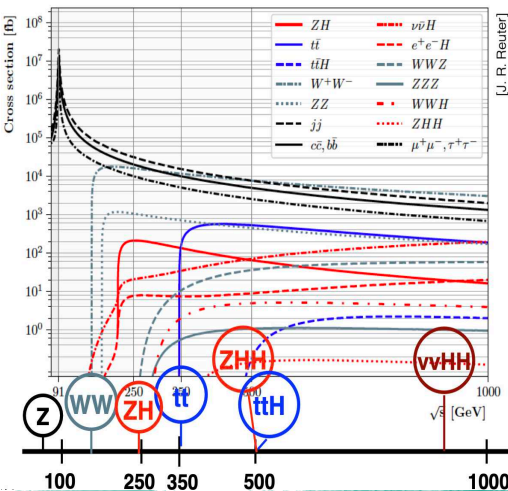


ILC250 ~ 20km



# Setting the Stage

Perspectives of Energy



Thresholds and cross sections set collider energy targets:

**91.2 GeV** - The Z pole

Precision electroweak, Flavour, QCD, ...

**160 GeV** - The WW threshold

**250 GeV** - The ZH maximum

Higgs properties & couplings

**350 GeV** - The top threshold, VBF Higgs production

Top properties, Top as probe

**500 GeV** -  $t\bar{t}H$ , ZHH

**1+ TeV** - VBF double Higgs

Direct top Yukawa Higgs selfcoupling

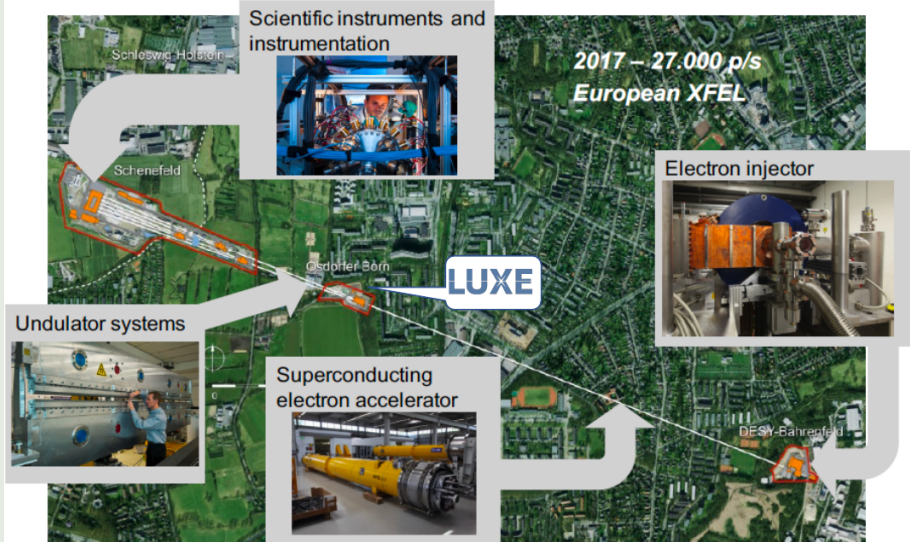
Search at the energy frontier



## Poszukiwanie granic QED (LUXE)

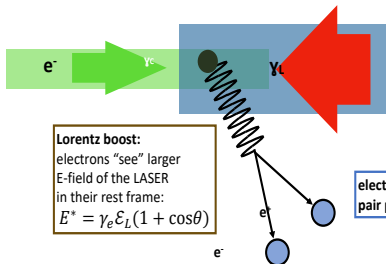
Grzegorz.Grzelak@fuw.edu.pl

# Location of the LUXE experiment



# LUXE: Electron + LASER collisions

High-energy electrons  
(16.5 GeV XFEL beam)



High-intensity LASER  
(Tera-Watt, 800nm)  
→ large E-field

note: in reality, LASER  
crossing angle  $\theta=17.2^\circ$

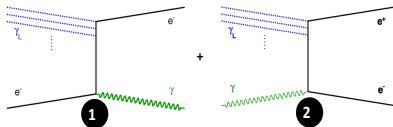
Lorentz boost:  
electrons "see" larger  
E-field of the LASER  
in their rest frame:

$$E^* = \gamma_e \mathcal{E}_L (1 + \cos\theta)$$

electron-positron  
pair production

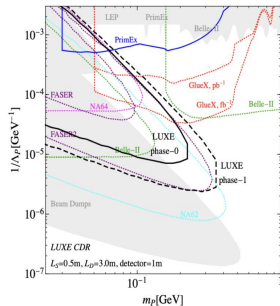
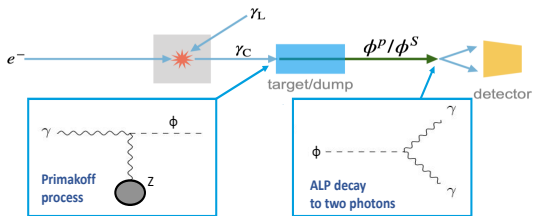
## Physics processes:

- 1 Non-linear Compton Scattering:  $e^- + n\gamma_L \rightarrow e^- + \gamma_C$
- 2 Non-linear Breit-Wheeler pair production:  $\gamma_C + n\gamma_L \rightarrow e^+ + e^-$



## Bonus: Searching for BSM Physics with LUXE

- LUXE will produce a high-intensity photon beam
  - produce ALPs or milli-charged particles (MCP) in photon beam-dump



Sensitivity could be competitive with other experiments ongoing and in planning

## 1 Wprowadzenie

- Granice stosowalności fizyki klasycznej
- Budowa materii
- Model Standardowy

## 2 Zakład cząstek i oddziaływań fundamentalnych

- Compact Muon Solenoid (CMS)
- Pracownia detektorów NA61/SHINE i ELI-NP
- Badania neutrin i promieniowania kosmicznego
- Badania struktury nukleonów
- Fizyka przyszłych zderzaczy  $e^+e^-$
- Poszukiwanie granic QED (LUXE)

## 3 Podsumowanie

## Zakład Cząstek i Oddziaływań Fundamentalnych

Szerokie spektrum kierunków badań, od najwyższych do najniższych energii.

**Możliwość zaangażowania w różnorodne aktywności:**

- projektowanie i budowa detektorów
- udział w zbieraniu i analizie danych
- rozwój nisko i wysokopoziomowego oprogramowania
- planowanie przyszłych eksperymentów

**Możliwości wsparcia młodych współpracowników:**

- stypendia
- wyjazdy
- udział w konferencjach, autorstwo publikacji

**Serdecznie zapraszamy!** Więcej szczegółów na [naszej stronie WWW](#)