

# Czas, przestrzeń, próżnia i przyszłe akceleratory wysokich energii

Janusz Gluza

2020 Rokiem Fizyki – panel dyskusyjny

3-4.12.2020 (on-line)



# Próżnia

---

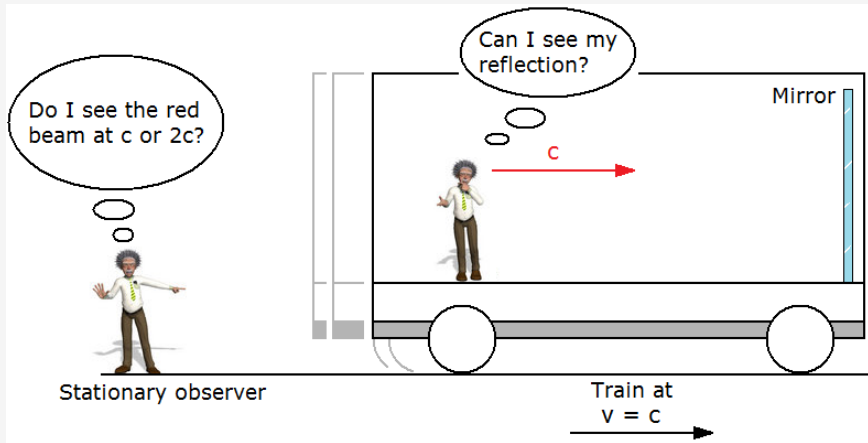
W języku potocznym próżnia określa **przestrzeń** w której niczego nie ma.

1. Czy czas i przestrzeń są od siebie niezależne?
2. Czy przestrzeń (i czas) są niezależne od materii?
  - ▶ Ile mamy wymiarów przestrzennych?
  - ▶ Czy czas i przestrzeń są ciągłe?
3. Jak badać i wykorzystać własności próżni kwantowej?

Einstein:

czy poruszając się z prędkością "c" zobaczę swoje odbicie w lustrze?

---



<https://dc.edu.au/hsc-physics-space/>

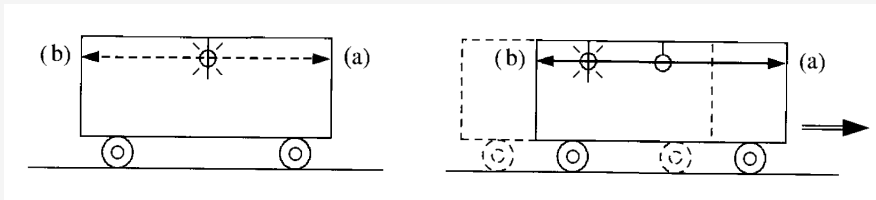
## Wnioski Einsteina (STW)

---

1. Prawa fizyki te same w układach inercjalnych (poruszających się względem siebie ruchem jednostajnym, prostoliniowym);
2. **Prędkość światła jest taka sama we wszystkich układach inercjalnych niezależnie od ruchu źródeł (!)**

# Pierwsza konsekwencja

---



**Nie ma zdarzeń równoczesnych!**

Ważne z jakiego układu odniesienia obserwujemy zdarzenie.

# Paradoksy

---

Była raz dziewczyna zwana Panią Światło,  
Która mogła podróżować szybciej niż światło.  
Wyjechała pewnego dnia,  
W sposób einsteinowski,  
I wróciła poprzedniej nocy.

## Podróże w czasie?

https:

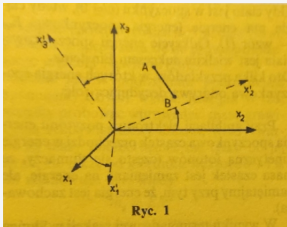
[//www.spacetime.travel/ueberblick/ueberblick1.html](https://www.spacetime.travel/ueberblick/ueberblick1.html)

# Relacja czas-przestrzeń

---

Interwał "s" jako niezmiennik:

$$\begin{aligned}x^\mu &= (ct, \vec{x}), \\s \equiv x^\mu x_\mu &= c^2 t^2 - \vec{x}^2 = \text{const.}, \\P^\mu &= (E/c, \vec{p}), \\P^\mu P_\mu &= (E^2/c^2 - \vec{p}^2) = m^2 c^2 \equiv \text{const.}\end{aligned}$$



## Wnioski Einsteina (OTW)

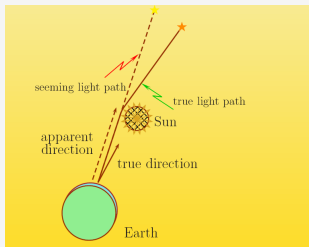
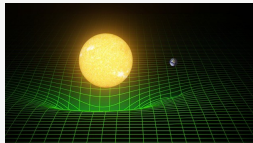
OTW - materia i czasoprzestrzeń.



Ernst Mach (1838-1916)  
filozof, fizyk

Zasada Macha - cała materia we Wszechświecie jest ze sobą ściśle powiązana, a masa ciała nie jest jego wewnętrzną cechą, ale skutkiem oddziaływania pozostałej materii Wszechświata

Układy nieinercjalne,  $m_b = m_g(!)$

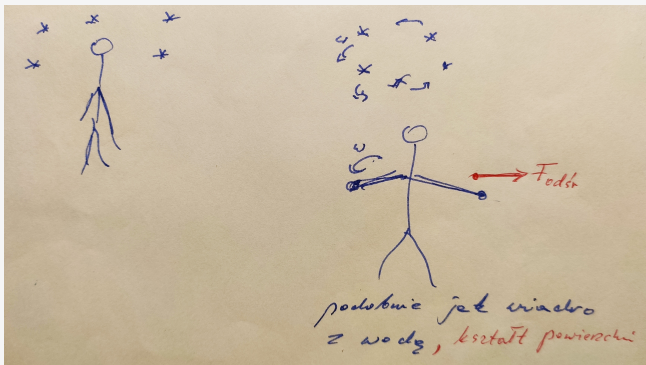




## Dygresja 1. Eksperymenty myślowe, modelowanie rzeczywistości

---

Mach: nie ma absolutnej, pustej przestrzeni.



Ruch niejednostajny (krzywoliniowy, przyśpieszony) w układzie nieinercyjnym wymaga **oddziaływania** (czyli zewnętrznego układu).

**Paradoks Olbersa.** Nieskończony w czasie i przestrzeni statyczny Wszechświat (czasu Newtona) implikuje, że niebo powinno być niezmiennie jasne. Odleglejsze gwiazdy dają mniej energii ( $\sim \frac{1}{r^2}$ ), ale są liczniejsze ( $\sim r^3$ ).



Heinrich Olbers (1758-1840)  
medyk, astronom

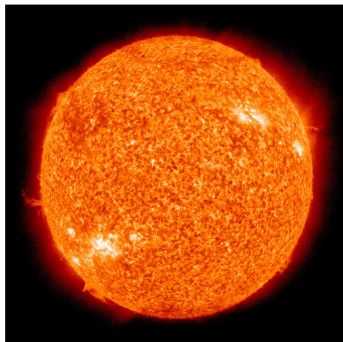
Rozwiązanie. Wszechświat:

1. Nie jest nieskończony przestrzennie,
2. Nie jest nieskończony czasowo: część światła jeszcze nie dotarła do nas,
3. Rozszerza się: część światła przesunięta poza widzialne spectrum (red-shift).

► **Częsty błąd: fałsz → prawda.** Arystoteles → Galileusz, Kopernik, Newton; Kepler; Gödel, ...



większe skale ....



"niewidoczne" obiekty ...



Skale makro: <https://www.youtube.com/watch?v=M4M6wIBjU38>

Skale mikro: <https://www.youtube.com/watch?v=WK2uPF0t98w>

## NASA Hubble Telescope: The Pillars of Creation

---



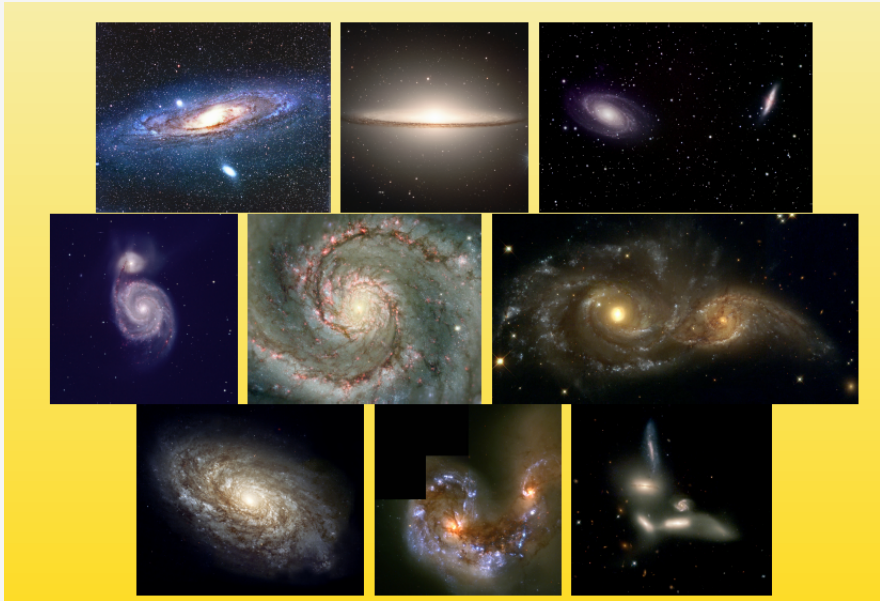
Milky Way:  $2 \div 3 \cdot 10^{11}$  gwiazd

Ilość galaktyk:  $2 \cdot 10^{12}$

Total:  $> 10^{23}$  gwiazd

Horyzont:  $\sim 13.8 \cdot 10^9$  ly

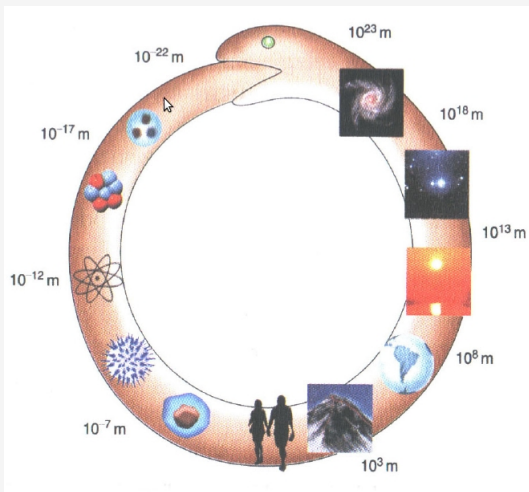
Wniosek: Pustka dookoła ...



Zwicky, 1933 - Dark Matter problem, dark energy

## Mikro-Makro świat - przykład związku - oddziaływania słabe

---

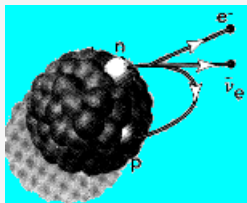


## Rozpady słabe

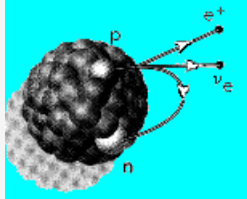
---

Słabe: jeśli neutrino uczestniczy w zdarzeniu - to na pewno oddziaływanie słabe

$\beta^-$



$\beta^+$



## Materia-antymateria (bariony)

---

### 1. Skąd się bierze asymetria materia-antymateria?

$$\eta = \frac{n_B - n_{\bar{B}}}{n_\gamma} \simeq \frac{n_B}{n_\gamma} \simeq 10^{-10}$$

2. Model Standardowy cząstek elementarnych nie tłumaczy tego faktu: łamanie symetrii CP (C-charge, P-parity) zbyt małe.
3. Możliwy związek z fizyką jądrową:  
egzotyczne słabe rozpady beta oraz neutrino Majorany.

## Laureaci konkursów OPUS19 i PRELUDIUM19

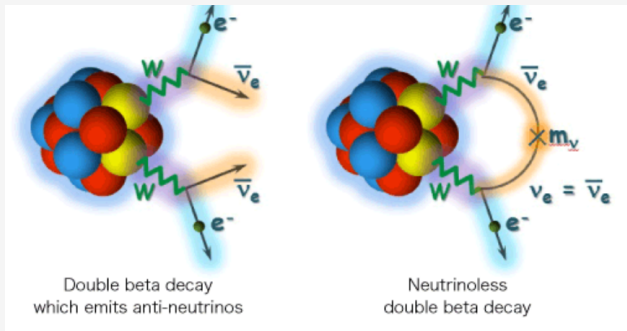
23.11.2020 - 11:49 aktualizacja 23.11.2020 - 11:50 Redakcja: Marcin Łaciak

Miło nam poinformować że w gronie laureatów konkursów OPUS19 i PRELUDIUM19 Narodowego Centrum Nauki znaleźli się:

- **prof. dr hab. Janusz Gluza:** OPUS/panel ST2.Temat: [Niestandardowe neutrino i efekty łamania symetrii CP w sektorze leptonowym](#)
- **prof. dr hab. Krystian Roleder:** OPUS/ panel ST3.Temat: Ultrawysoka deformacja w ferroelektrycznych kryształach o strukturze perowskitu
- **mgr inż. Angelina Łobjko:** PRELUDIUM/ panel ST2. Temat: Eksperymentalne badania reakcji rozbitcia deuteronu w obszarze konfiguracji bliskich FSI dla par pp i p
- **dr Mateusz Dulski prof. UŚ:** OPUS/ST8. Temat: Multifunkcjonalne porowate nanomateriały jako nowoczesne filtry środowiskowe do remediacji gleb i wód podziern



## Neutrino Majorany - samosprężona cząstka



PHYSICAL REVIEW D

VOLUME 45, NUMBER 5

1 MARCH 1992

### Feynman rules for Majorana-neutrino interactions

J. Gluza and M. Zrałek\*

*Department of Field Theory and Particle Physics, Institute of Physics, University of Silesia,  
40-007 Katowice, ul. Uniwersytecka 4, Poland*

(Received 25 July 1991)

Simple Feynman rules for Majorana neutrinos and Dirac fermions interacting with spin-1 or spin-0 bosons are presented. Several examples using these rules are given.

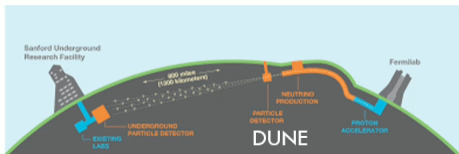
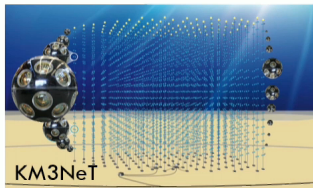
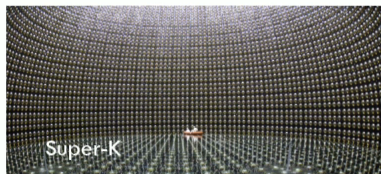
PACS number(s): 13.15.-f, 11.15.Bt, 13.10.+q

# EXPERIMENTS

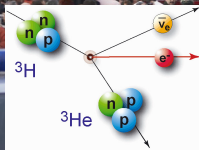
Many neutrino experiments currently exist or are under construction, just to name a few:

- Super-K & Hyper-K
- T2K, NOvA
- ANTARES/KM3NeT
- Juno
- Dune
- SNO+
- ...and many more

**What they all have in common is being really huge!**



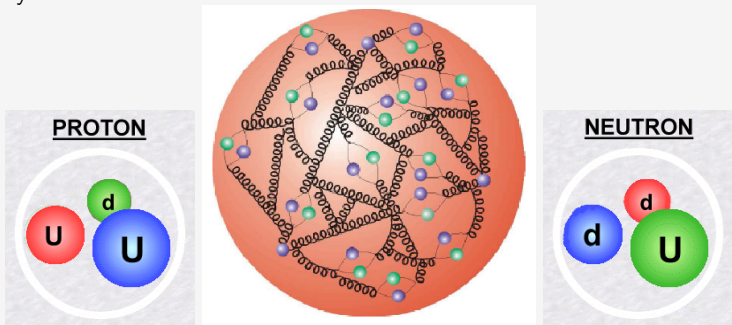
Człowiek rozsądny dostosowuje się do świata. Człowiek nierozsądny usiłuje dostosować świat do siebie. Dlatego wielki postęp dokonuje się dzięki ludziom nierozsądnym. [George Bernard Shaw](#)



## Fluktuacje próżni, $\Delta E \Delta t \simeq h$

---

W nukleonie nie ma tylko 3 kwarków: są dodatkowe kwarki (tzw. morza) oraz gluony.



Wniosek: nie ma idealnej próżni, powstają i znikają tzw. cząstki wirtualne

## Pojęcia związane z badaniem "próżni"

---

1. **Cząstki wirtualne**, *zasada nieoznaczoności Heisenberga*
2. **Fluktuacje próżni**
3. **Gołe** (*bare*) i **ubrane** (*dressed*) ładunki
4. **Biegąca stała sprzężenia** (*running coupling constant*)

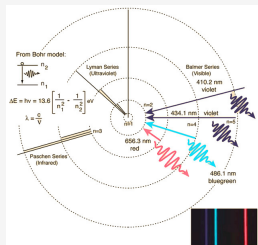
## Elektromagnetyzm: atomy, chemia, biologia

$$F = k \frac{qQ}{r^2} \equiv \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qQ}{r^2} \rightarrow \alpha = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 L mc^2}$$

Stała struktury subtelnej  $\alpha$  wynosi liczbowo około  $1/137$  [137.035999206(11)]

Czy  $1/136$  lub  $1/138$  robi różnicę?

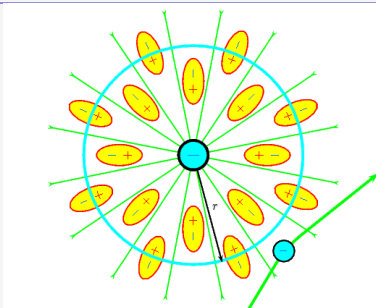
<https://www.nature.com/articles/s41586-020-2964-7> [02 December 2020]



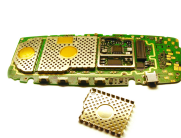
$\alpha$  zależy od energii przy której bada się siłę oddziaływań!

Efekty polaryzacji próżni.

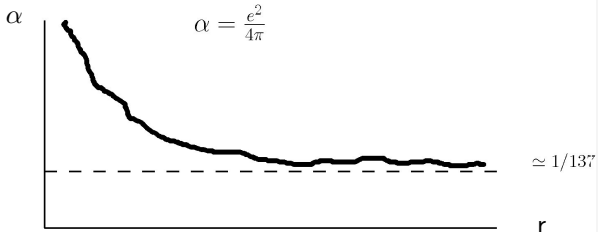
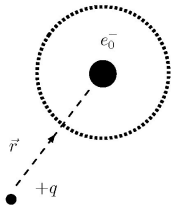
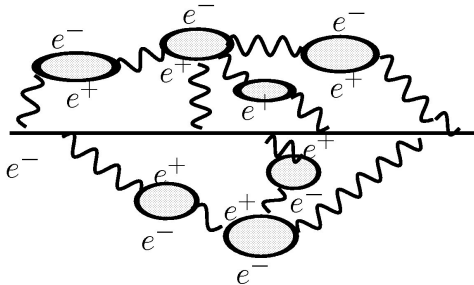
## Ekranowanie ładunku w próżni



Przy energii zderzenia  $E$ , efektywny ładunek oddziaływania zawarty jest w sferze o promieniu  $r = 1/E$ , ze względu na polaryzację próżni jest on większy niż widziany z odległości  $R \gg r$ .

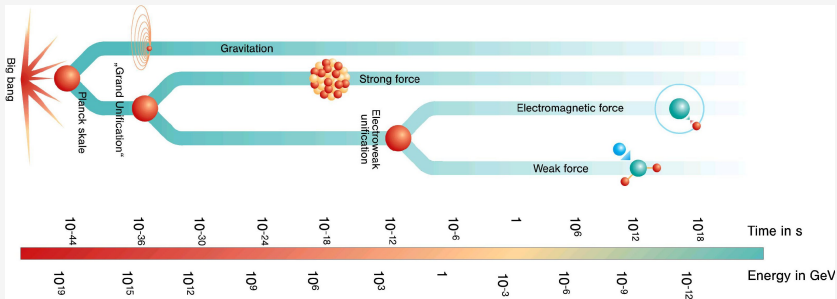
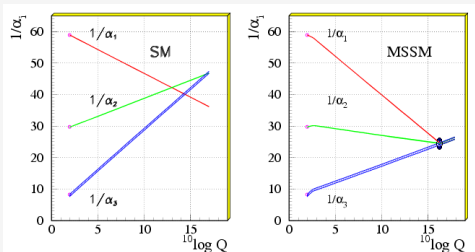


## Ekranowanie ładunku w QED, biegnąca stała $\alpha$





# Unifikacja oddziaływań



## Dualizm falowo-korpuskularny

---

de Broglie:

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

$$m = 70 \text{ kg}, v = 7 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \lambda \simeq 10^{-36} \text{ m}$$

$$m = 10^{-15} \text{ kg}, v = 1 \frac{\text{mm}}{\text{s}} = \lambda \simeq 10^{-16} \text{ m}$$

$$m_n = 10^{-27} \text{ kg}, T = 300^\circ \text{K} = \lambda \simeq 10^{-10} \text{ m}$$

Naturalna (Comptonowska) długość fali cząstki materialnej:

$$\lambda = \frac{h}{mc}$$

## Znaczenie długości fali cząstki padającej

Obecnie  
"mikroskopy"  
widzą obiekty o  
rozmiarach  $10^{-15}$   
m



*foton – jadro*



*foton – nukleony*

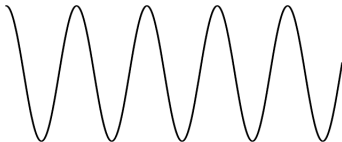


*foton – partony*



### Higgs Factories

- The Higgs boson has a size/wavelength. What's inside?



Precision measurements are different ways of probing the "compositeness of the Higgs".

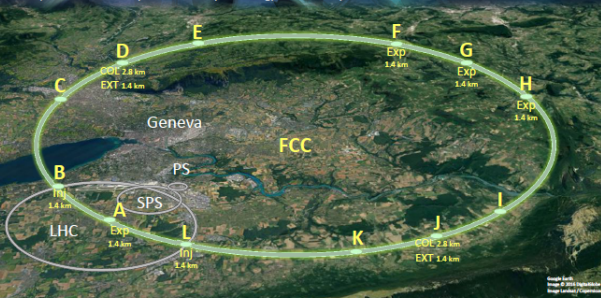


$$\lambda_h \approx 10^{-17} \text{ m}$$

$$\lambda_{10 \text{ TeV}} \approx 10^{-19} \text{ m}$$

The Future Circular Collider (FCC) study is an international collaboration aimed at designing the particle accelerator that will replace the LHC once it has completed its operational lifetime. The FCC will expand the current energy and luminosity frontiers in order to help answer the most fundamental questions in science: What is dark matter? Are there extra dimensions in the universe? Are there other forces in nature?

The FCC collaboration, hosted by CERN, is open to universities, research institutes and high-tech companies. A conceptual design will be delivered before the end of 2018, in time for the next update of the European Strategy for Particle Physics.



Source: Earth Image © 2014, OpenStreetMap, Mapbox, Imagery © 2014, OpenStreetMap, Mapbox

## FCC-hh – A discovery machine

The 100 TeV proton-proton collider (FCC-hh) will have an energy seven times higher than the LHC. Such a collider will give access to the smallest scales and the most energetic phenomena in nature.

New fundamental forces and particles can be discovered, extending the reach for searching dark matter particles, supersymmetric partners of quarks and gluons, and possible substructure inside quarks.

Billions of Higgs bosons and trillions of top quarks will be produced, creating new opportunities for the study of rare decays, flavor physics, and the mechanism of electroweak symmetry breaking.

The FCC-hh collider provides also the opportunity to push the exploration of the collective structure of matter at the most extreme density and temperature conditions to new frontiers through the study of heavy-ion collisions.

## FCC-ee – A machine for precision

The second scenario of the FCC design study (FCC-ee) is a high-luminosity, high-precision electron-positron collider with center-of-mass collision energies between 90 and 350 GeV. Located in the same 100 km long tunnel as the FCC-hh it is considered a potential intermediate step towards the realization of the hadron facility, and complementary to it.

Clean experimental conditions give electron-positron colliders the capability to measure known particles with the highest precision.

FCC-ee would measure the properties of the Z, W, Higgs and top particles with unequalled accuracy, offering the potential for discovering dark matter or heavy neutrinos. The FCC-ee could enable profound investigations of electroweak symmetry breaking and open a broad indirect search for new physics over several orders of magnitude in energy.

## FCC-he – New opportunities

With the huge energy provided by the 50 TeV proton beam and the potential availability of an electron beam with energies of the order of 60 GeV, new horizons open up for the physics of deep inelastic electron-proton scattering.

The FCC-he collider would be both a high-precision Higgs factory and a powerful microscope to discover new particles. It would be the most accurate tool for studying quark-gluon interactions, possible substructure of matter and unprecedented measurements of strong and electroweak interaction phenomena. The hadron-electron collider is a unique complement to the exploration of nature at high energies within the FCC complex.

The FCC study explores three different scenarios: a hadron-hadron collider (FCC-hh), an electron-positron collider (FCC-ee), and a hadron-lepton (FCC-he) collider. The hadron-hadron collider defines the overall infrastructure for the FCC. With a target center-of-mass energy of 100 TeV, and 16-Tesla bending magnets, such a machine will have a circumference of 100 km.

## Main parameters and geometrical aspects

	LHC	FCC
Circumference [km]	27	100
Dipole field [T]	8.33	16
Straight sections	8 × 538 m	8 × 1300 m + 2 × 4300 m
Number of IPs	2 + 2	2 + 2
Injection energy [TeV]	0.45	3.3

## FCC-hh compared with LHC and High-Luminosity LHC

	LHC	HL-LHC	FCC-hh baseline	FCC-hh ultimate
Energy at center of mass [TeV]	14	14	500	350
Beam spacing [m]	25	25	25	5
Number of bunches	2808	2808	10600	53000
Transverse emittance [nm]	3.75	2.5	2.2	0.44
Beam current [A]	0.564	1.12	0.5	0.5
Peak luminosity [ $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ]	1.0	5.0	5.0	< 30.0

## FCC-ee compared with the Large Electron-Positron collider (LEP2)

The main center-of-mass operating points with strong physics interest for FCC-ee are 91 GeV (Z pole), 160 GeV (W pair production threshold), 240 GeV (Higgs resonance) and 350 GeV (t $\bar{t}$  threshold).

	LEP2	FCC-ee			
		Z	W	H	t
Energy at center of mass [GeV]	208	91	160	240	350
Bunch spacing [m]	247 / 494	7.5	2.5	50	400
Number of bunches	4	30160	91500	5260	700
Emittance (horizontal) [nm]	22	0.2	0.09	0.26	0.61
Emittance (vertical) [nm]	250	5	1	1.2	2
Beam current [mA]	3.04	1450	152	30	6
Peak luminosity [per 2 IPs] [ $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ]	0.012	207	90	19.1	5.1

## Contacts and further information

FCC - FCC Office  
fcc.office@cern.ch

EuroCirCol – Prof. Carsten P. Welsch  
carsten.welsch@cockcroft.ac.uk



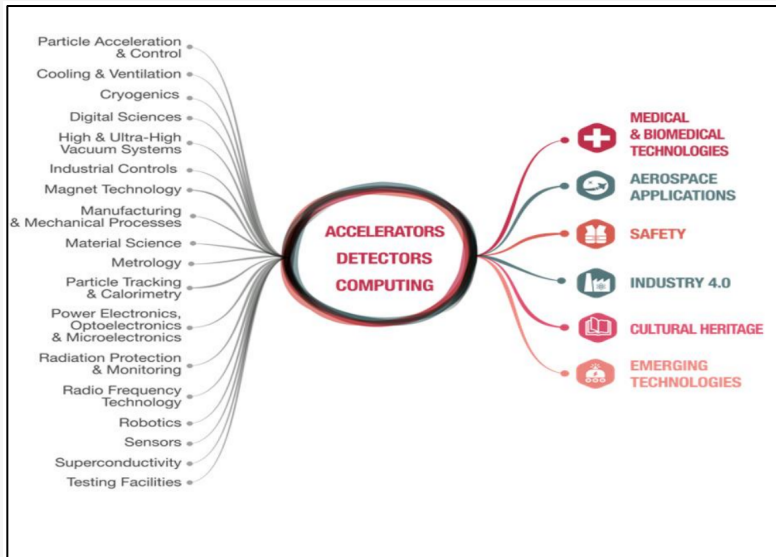
<http://fcc.web.cern.ch>

<http://www.eurocircol.eu>



This project has received funding from the European Union's Horizon programme for research and innovation under the Marie Skłodowska Curie grant agreement. This article reflects only the views of the authors and the European Commission is not responsible for any use that may be made of the information contained therein.

DG, Fabiola Gianotti, CERN vision and goals until next strategy update, → pdf



## Is there a future for our field?

*"in this field, almost everything is  
already discovered, and all that remains  
is to fill a few unimportant holes"*

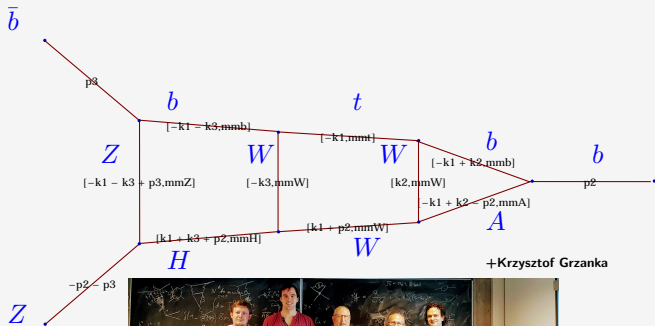


Philipp von Jolly  
(1809-1884)

advice to the young Max Planck  
not to go into physics, Munich 1878

- (i) Theory
- (ii) Experiment

## 3-pętlowe efekty kwantowe w próżni



### Lista rankingowa

- Konkurs: **OPUS**
- Panel: **ST2**
- Koordynator: **dr inż. Ewelina Szymańska-Skolimowska**
- Data ogłoszenia konkursu: **15 marca 2017 r.**

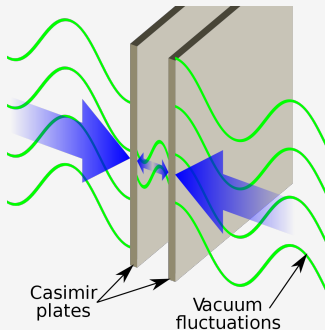
**LP** - oznacza pozycję na liście rankingowej

\* Załączone opisy projektów zostały sporządzone przez samych autorów wniosków i w niezmienionej formie opublikowane wraz z listami rankingowymi.

Lp	Tytuł projektu	Kierownik projektu	Nazwa podmiotu	Przyznane środki (PLN)
1	Rezonans bozonu Z w trzech pętłach i efekty Nowej Fizyki	prof. dr hab. Janusz Ludwik Gluza	Uniwersytet Śląski w Katowicach, Wydział Matematyki, Fizyki i Chemii	395 460

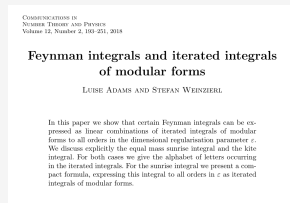
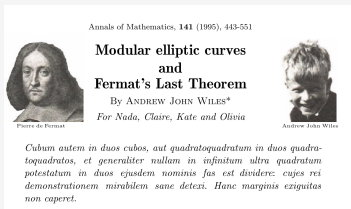


- ▶ Efekt Casimira



- ▶ Parowanie Hawkinga (znikanie czarnych dziur)
- ▶ Fizyka jądrowa: Rozpady promieniotwórcze
- ▶ Fizyka atomowa: Przesunięcie Lamba, ...
- ▶ ...

# Fizyka zderzczy to w gruncie rzeczy ... magia świata matematyki!



1. Analityczne rozwiązania dla wielopętlowych "masywnych" całek opisujących rozpraszania cząstek wykraczają poza funkcje eliptyczne 🤪

2. Cząstki, teoria (matematyka):

- (i) nieredukowalna reprezentacja grupy Poincaré;
- (ii) +kolor, zapach - wewnętrzne symetrie;
- (iii) struny;
- (iv) "amplituhedrony" (2013);
- (v) holografia i splątane qubity; ...

<https://www.quantamagazine.org/a-new-map-of-the-standard-model-of-particle-physics-20201022/>

Podsumowanie: Lepiej poznawać, badać niż snuć spiskowe teorie.

---

sieć 5G, antyszczepionkowcy, ...



Podsumowanie: Lepiej poznawać, badać niż snuć spiskowe teorie.

---

Z internetu:

*"Odnosnie badań naukowych. Naukowcy tak przeprowadzą badania, żeby zadowolony był ten kto płaci (jak coś źle wychodzi, zrobić kolejne badania z innymi parametrami). Nie będziemy wiedzieć czy gsm-y są szkodliwe, czy nie i nie ważne 3g, czy 1500g. Zawsze jedni będą mieć swoje badania, drudzy swoje. Jedno jest pewne!!! Musi być jakieś oddziaływanie na mózg bo skąd tyłu tych, no....vegan i gender?"*

- ▶ Brian Deer "The Doctor Who Fooled the World", Johns Hopkins University Press, [link](#)
- ▶ Hans Rosling, Anna Rosling Rönnlund, Ola Rosling, "Factfulness: Ten Reasons We're Wrong About the World—and Why Things Are Better Than You Think", [link](#)

Dziękuję za uwagę.

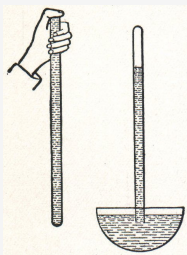
---

# Dodatkowe slajdy

---

## Evangelista Torricelli (ok. 1630) barometr, altometr

---



1 Tr = 1/760 atm  $\simeq$  133,322368421 Pa

Czyli 1 atm = 760 mm Hg

1 Tr  $\simeq$  0,999999857533699 mm Hg

Ciśnienie na Księżycu:  $3 \cdot 10^{-13}$  kPa  $\simeq$   $10^{-12}$  Tr

(i) Najlepsze "pompy":  $10^{-13}$  atmosfery ( $\sim$  kilka cząstek/ $cm^3$ ).

(ii) Kosmos: kilka cząstek/ $m^3$ .

Liczba Avogadro: 1 gram substancji to  $\sim 10^{23}$  cząstek.

### Dygresja 3. STW i lokalność oddziaływań

---

$$\Psi(\mathbf{x}, t), \quad x \in V_{\text{Kosmos}}$$

Mechanika kwantowa: "spooky action at a distance".

Chociaż STW i zasada nieoznaczoności Heisenberga ustalają limit maksymalnej prędkości rozchodzenia się obiektów (kwantów), mechanika kwantowa jest nielokalna (EPR eksperyment, nierówności Bella, stany splątane).

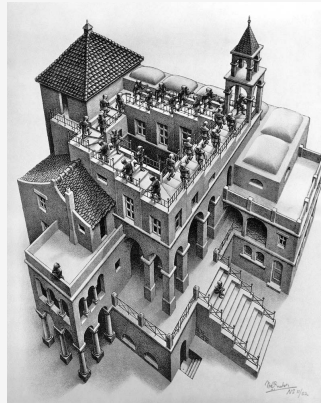
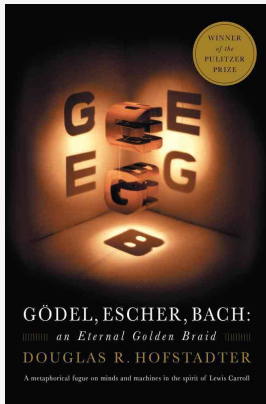
Coraz lepiej rozumiemy te zagadnienia i jakie można z nich wyciągnąć korzyści: informacja kwantowa, teleportacja (klonowanie), kodowanie, ... OTW wykracza poza te ramy → czarne dziury



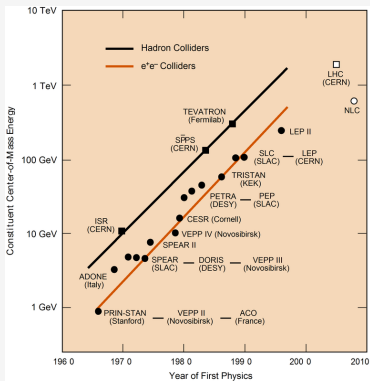
## Dygresja 4. Teorie: K. Gödel, Tarski, Turing

- problem (braku) idealnych rozwiązań

---



# How many colliders so far?



## FCC-ee: Your Questions Answered

Contributions to the European Particle Physics Strategy Update 2016-2020

(See next page for the list of authors)

### Abstract

This document answers in simple terms many FAQs about FCC-ee, including comparisons with other colliders. It complements the FCC-ee CDR [1] and the FCC Physics CDR [2] by addressing essay questions from non-experts and clarifying issues raised during the European Strategy symposium in Granada, with a view to informing discussion in the period between now and the final endorsement by the CERN Council in 2020 of the European Strategy Group recommendations. This document will be regularly updated as more questions appear or new information becomes available.

arXiv:1906.02693v1 [hep-ph] 6 Jun 2019

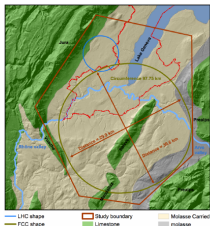
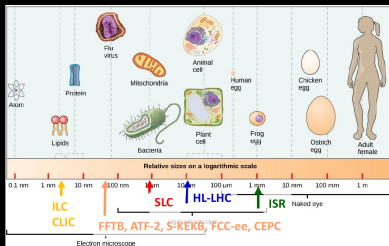


Figure 1: Baseline FCC tunnel layout with a perimeter of 97.5 km, and optimized placement in the Geneva basin, showing the main topographical and geological features.

<sup>1</sup>Send your questions to [patrick.jacob@cern.ch](mailto:patrick.jacob@cern.ch) and [slava.kleshchinskiy@cern.ch](mailto:slava.kleshchinskiy@cern.ch)

# How do circular and linear $e^+e^-$ colliders compare?

## vertical spot size challenge



FCC-ee in the regime of FFTB, ATF-2, and especially SuperKEKB

F. Zimmermann, 11th FCC-ee Workshop, CERN, January 2019

<https://indico.cern.ch/event/766859>

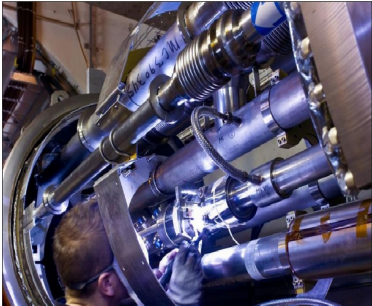
home.web.cern.ch/about/engineering

spinles

GRANTY\_KONKURSY Most Visited Broadcom STA wirele... Gustawa Morcinka 15 ... UBUNTU.PL - Polskie f... Examples Tlumacz Google Connecting...

# Engineering

There are 10 times more engineers and technicians employed by CERN than research physicists. Why?

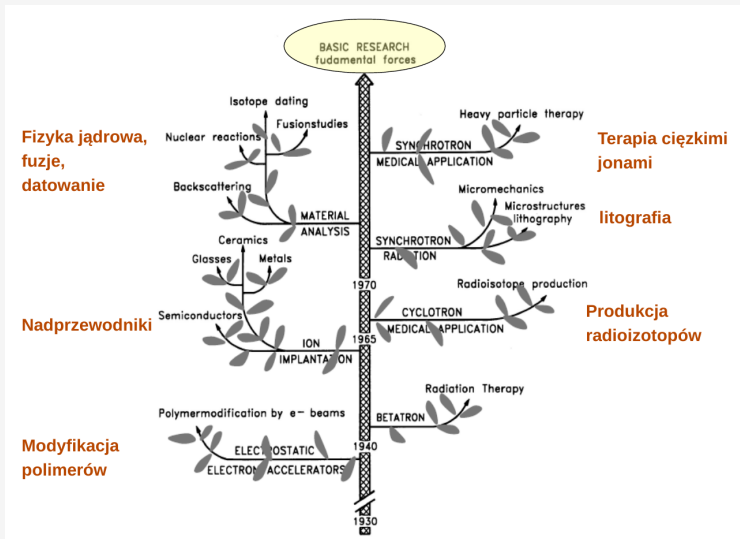


**ENGINEERING**

- Cryogenics: Low temperatures, high performance
- Pulling together: Superconducting electromagnets
- Powering CERN
- A vacuum as empty as interplanetary space
- Radiofrequency cavities
- Stochastic cooling
- Superconductivity
- Storing antimatter
- Restarting the LHC: Why 13 TeV?

**ABOUT CERN**

- About CERN
- Computing
- Engineering
- Experiments
- How a detector works
- more »



---

## WHAT'S THE USE OF BASIC SCIENCE?



Christopher Llewellyn Smith,  
Director-General of CERN from 1994-1998

by C.H. Llewellyn Smith,  
former Director-General of CERN  
Original: [The use of basic science](#)

### Content:

[1. Introduction](#)

[2. Basic versus applied science](#)

[3. Benefits of basic science](#)

[4. Why governments must support basic science](#)

[5. Can it be left to others? Lessons from Japan?](#)

[6. What science to fund](#)

[7. Concluding remarks](#)

## Znaczenie "basic science"

---

Faraday... anegdota - podatki.

Dyr. Fermilabu pytany przez kongresmenów USA:

Q: "What will your lab contribute to the defence of the US?"

A: "Nothing, but it will make it worth defending"

Ekonomia, aplikacje:

Casimir o uzasadnianiu badań podstawowych: "I have heard statements that the role of academic research in innovation is slight. It is about the most blatant piece of nonsense it has been my fortune to stumble upon"

"Słyszałem stwierdzenia, że rola nauki akademickiej w inowacjach jest niewielka. Jest to najbardziej rażący kawałek bzdury na który miałem szczęście się natknąć" ...

One might ask even whether induction coils in motor cars might have been made by enterprises which wanted to make motor transport and whether then they would have stumbled on the laws of induction. But the laws of induction had been found by Faraday many decades before that.

---

## Accelerators<sup>1</sup>

- semiconductor industry
- sterilisation - food, medical, sewage
- radiation processing
- non-destructive testing
- ● cancer therapy
- incineration of nuclear waste
- power generation (energy amplifier)?
- source of synchrotron radiation (biology, condensed matter physics...)
- source of neutrons (biology, condensed matter physics...)

## Particle detectors

- Crystal Detectors<sup>2</sup> →
  - medical imaging
  - security
  - non-destructive testing
  - research
- Multiwire Proportional Chambers
  - container inspection
  - research
- Semi-conductor Detectors
  - many applications at the development stage



---

## **Informatics**

- World Wide Web<sup>3</sup>
- Simulation programmes
- Fault diagnosis
- Control systems
- Stimulation of parallel computing

## **Superconductivity**

- Particle physics
- multifilamentary wires/cables
- nuclear magnetic resonance imaging
- many others (cryogenics, vacuum, electrical engineering, geodesy...)

## Knowns and unknowns (from talk by Josh Ruderman, FCC Week 2018)

---

February 2002:

*"As we know there are **known knowns**;  
there are things we know we know.*



*We also know there are **known unknowns**;  
that is to say we know there are some things we do not know.*

*But there are also **unknown unknowns** –  
the ones we don't know we don't know."*

Donald Rumsfeld,  
US Secretary of Defense  
1975-1977, 2001-2006

### Unknown Knowns

"Things you think you know that it turns out you did not."

- Donald Rumsfeld, 2004 memo

"Things that you possibly may know, that you don't know you know"

- Donald Rumsfeld, 2013 interview



## Knowns and unknowns

(from talk by Josh Ruderman, FCC Week 2018)

---

### Rumsfeld's Matrix of Knowledge

<b>known knowns</b> <i>things we know we know</i>	<b>known unknowns</b> <i>things we know we don't know</i>
<b>unknown knowns</b> <i>things we think we know but we don't know</i>	<b>unknown unknowns</b> <i>things we don't know we don't know</i>

## Rumsfeld's Matrix of Particle Physics (from talk by JR, FCC Week 2018)

---

<b>known knowns</b>  Standard Model	<b>known unknowns</b>  "known" new physics
<b>unknown knowns</b> new physics modifies known physics ----- and maybe we already measured it!	<b>unknown unknowns</b>  surprises