

**FESTIVAL INTERNATIONAL
DE BALLONS**
Château-d'Oex



Pioneers of Cosmic Rays

Hans Peter Beck, Universities of Bern and Fribourg, Switzerland; and CERN
25 January 2020

Early 1900's



1896 — Discovery of radioactivity



Antoine Henri Becquerel

* 15. Dezember 1852 in Paris
† 25. August 1908 in Le Croisic

Nobel Prize 1903

„in recognition of the extraordinary services he has rendered by his discovery of spontaneous radioactivity“

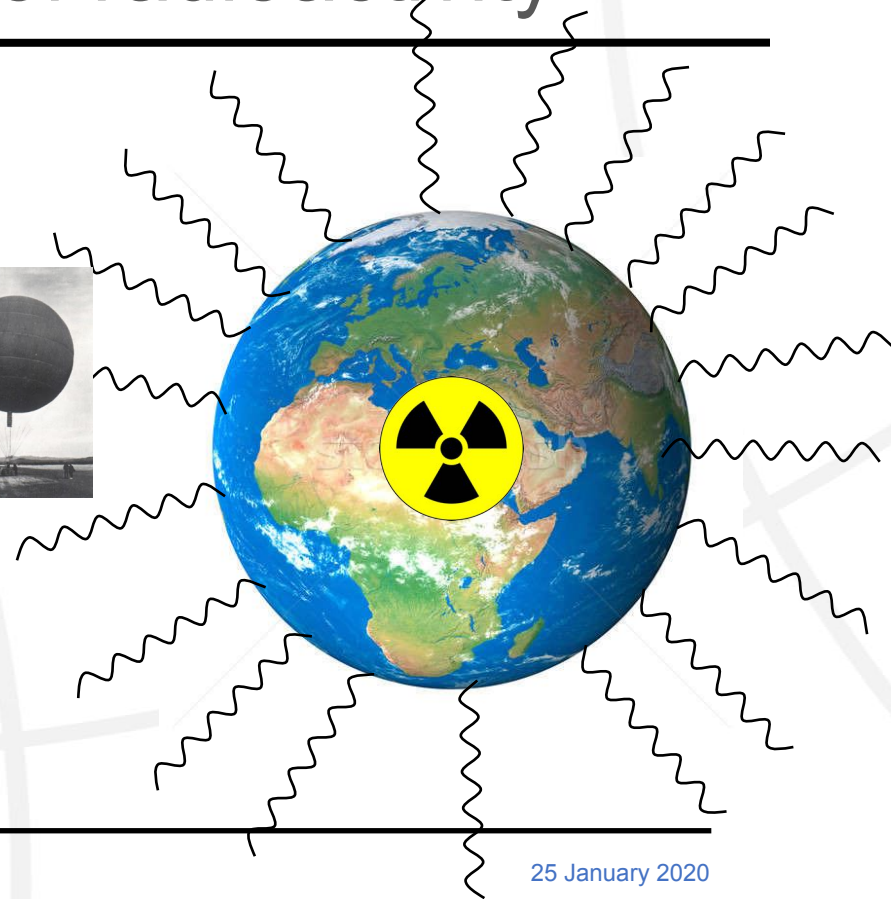
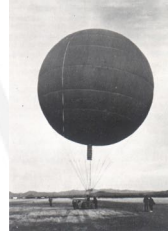


Early 1900's — Study of radioactivity

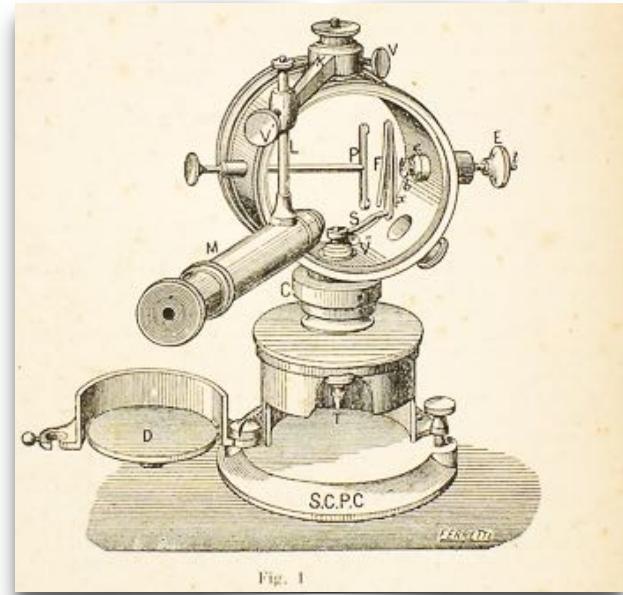
Radioactivity was discovered by **Becquerel** in **1896**, and studied further by **Marie Curie** and many others.

Earth is recognised as a **radioactive ball**.

Radioactivity measured in the atmosphere should get less when going further away from Earth.



Measuring radioactivity in the early 1900's



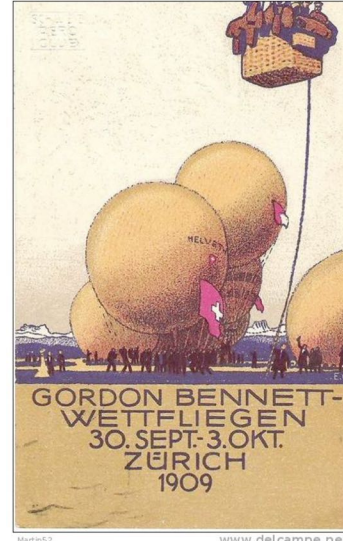
With an electrometer, measuring discharge between two charged wires, radioactivity was measured in that time. Painstakingly !

Pioneers of the detection of cosmic rays

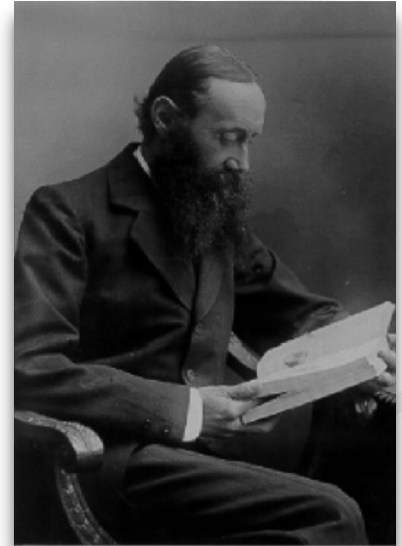


Balloon flights in 1909

Karl Bergwitz (1875-1958), Germany
Decrease of radioactivity at 1300 m to 24%



Albert Gockel (1860-1927), Professor in Fribourg
No decrease, maybe increase of radioactivity at 4500m.
Introduced the term 'cosmic radiation'



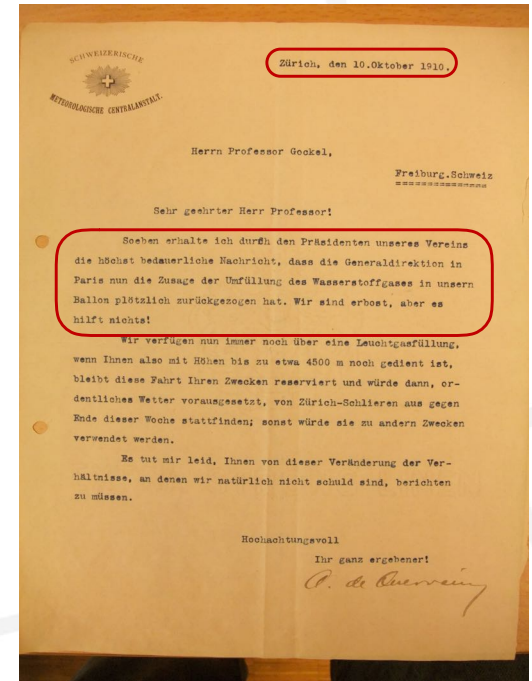
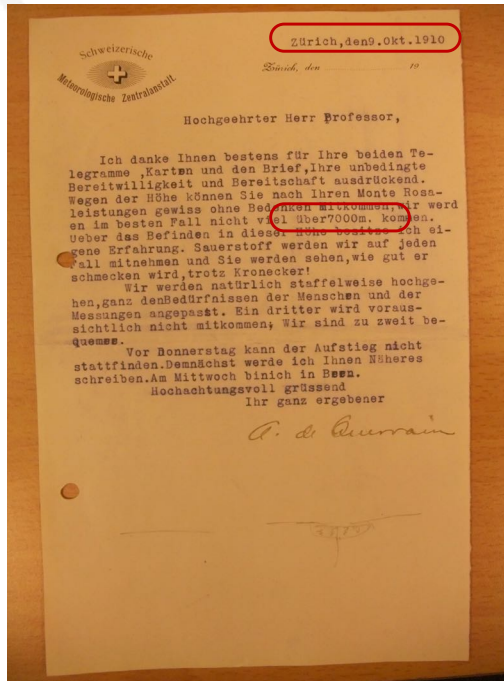
No hydrogen for Gockel to go higher

At that time,
gas balloons were used.

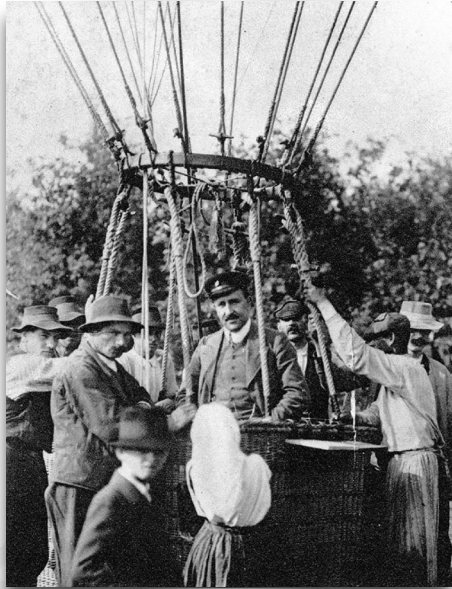
With methane, maximum
altitude is limited.

With hydrogen, high
altitudes were possible.

Gockel was first promised,
then refused the hydrogen.



Pioneers of the detection of cosmic rays

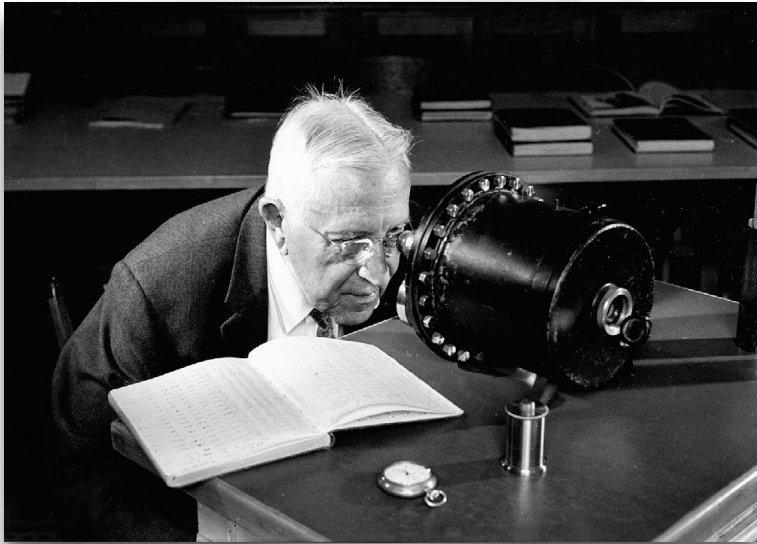


Victor Hess (1883-1964)
Professor in Graz reached 5300 m in 1912



Werner Kolhörster (1887-1945)
Professor in Berlin reached 9300 m in 1914

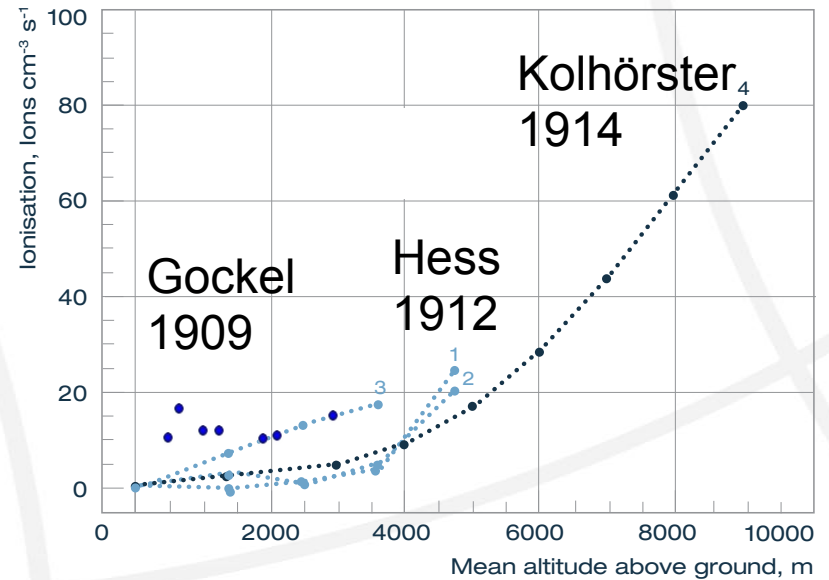
Detection of cosmic rays



Victor Hess with his device
Nobel prize in 1936.

Albert Gockel died already in 1927 and could not be awarded.

Ionisation of air increases with altitude.



Commemorative balloon flight 25 January 2020

Ballon flight today with modern equipment



CAEN  Electronic Instrumentation

2. General Description

The Cosmic Hunter - SP5620CH, as shown in Fig. 2.1, is composed of two Detection Units - SP5622 and one Coincidence Module - SP5621.



Fig. 2.1: Cosmic Hunter, the educational system to detect the cosmic rays.

Commemorative balloon flight 25 January 2020



Commemorative balloon flight 25 January 2020

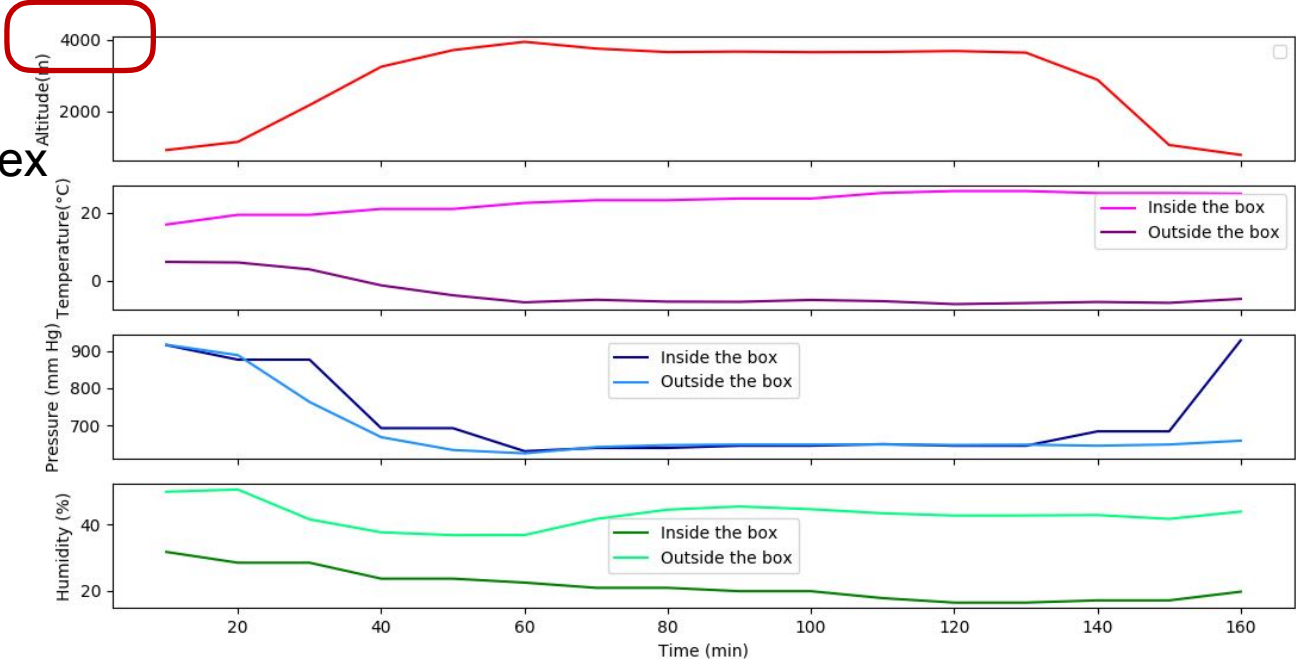


Commemorative balloon flight 25 January 2020



Commemorative balloon flight 25 January 2020

Flight Environment Parameters



Chateau-d'Oex

11h40

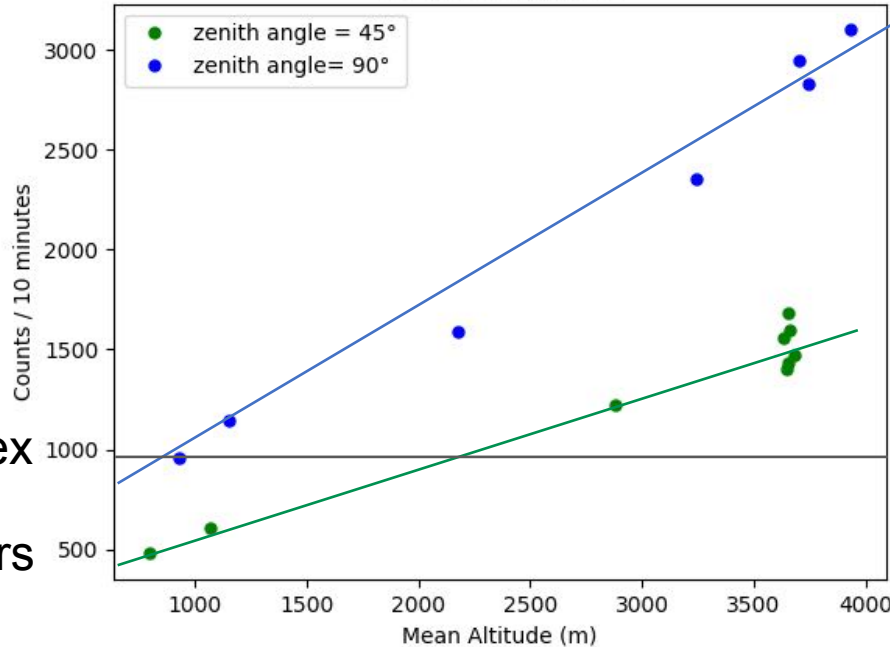
Giffers

14h15

Commemorative balloon flight 25 January 2020

UNI
FR UNIVERSITÉ DE FRIBOURG
UNIVERSITÄT FREIBURG

Counts vs Altitude



Château-d'Oex

Giffers

cosmic rays from the top

3 times higher rate at 4000m
than at 1000m

cosmic rays at 45°

1.5 times higher rate at 4000m
than at 1000m

Taking a Geiger Counter on board of an airplane

20 times higher background radiation in standard cruising altitude than at ground level.

ca 6 $\mu\text{S}/\text{h}$

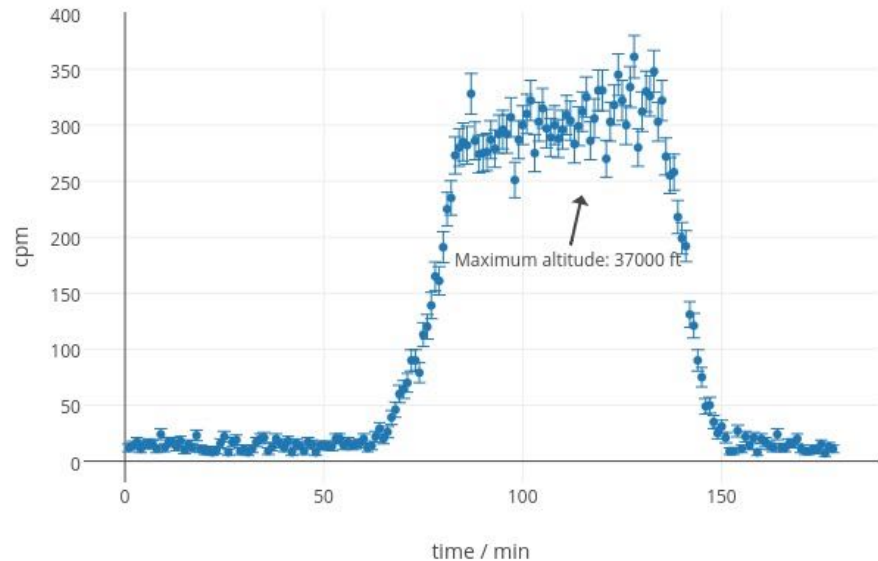
Fukushima radiation map

<https://jciv.iidj.net/map>

Comparable to the hot zones.

E.g. Ōkuma is evacuated and has ca 4.5 $\mu\text{S}/\text{h}$

MAD --> LHR Geiger counter data 01-08-2015

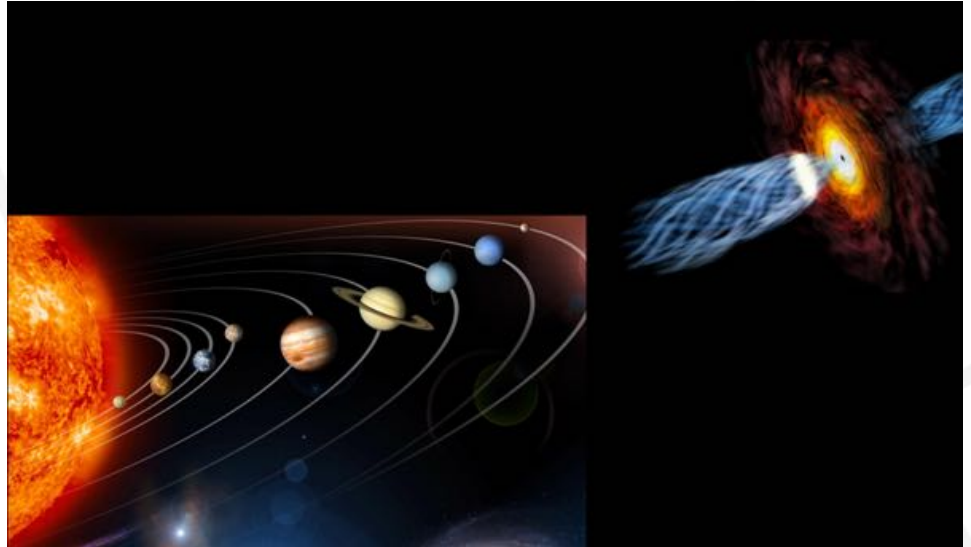


Where do cosmic rays come from?

Earth is constantly hit by particles.

Most come from the **sun**.
They have moderately **low energies**.

Active galactic nuclei, neutron stars, supernovae, deep in the **Milky Way** and in **far away galaxies**, create particles at **extremely high energies**.

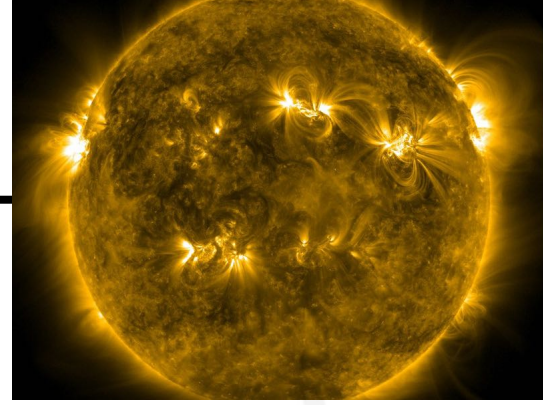


Aurora Borealis

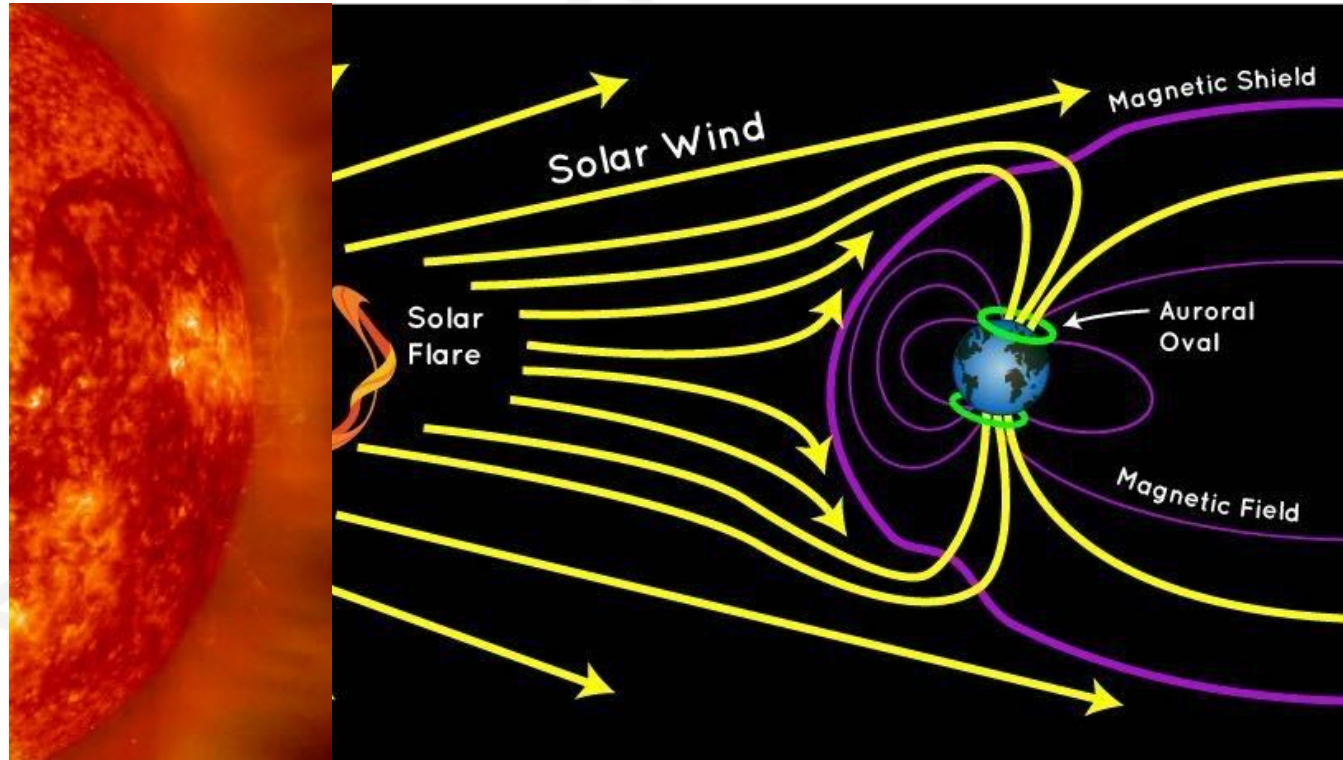
The sun's **solar wind** is composed of particles protons, electrons, helium nuclei,...

As the energy of these is moderately low, the **Earth's magnetic field deflects** them — except in the polar regions.

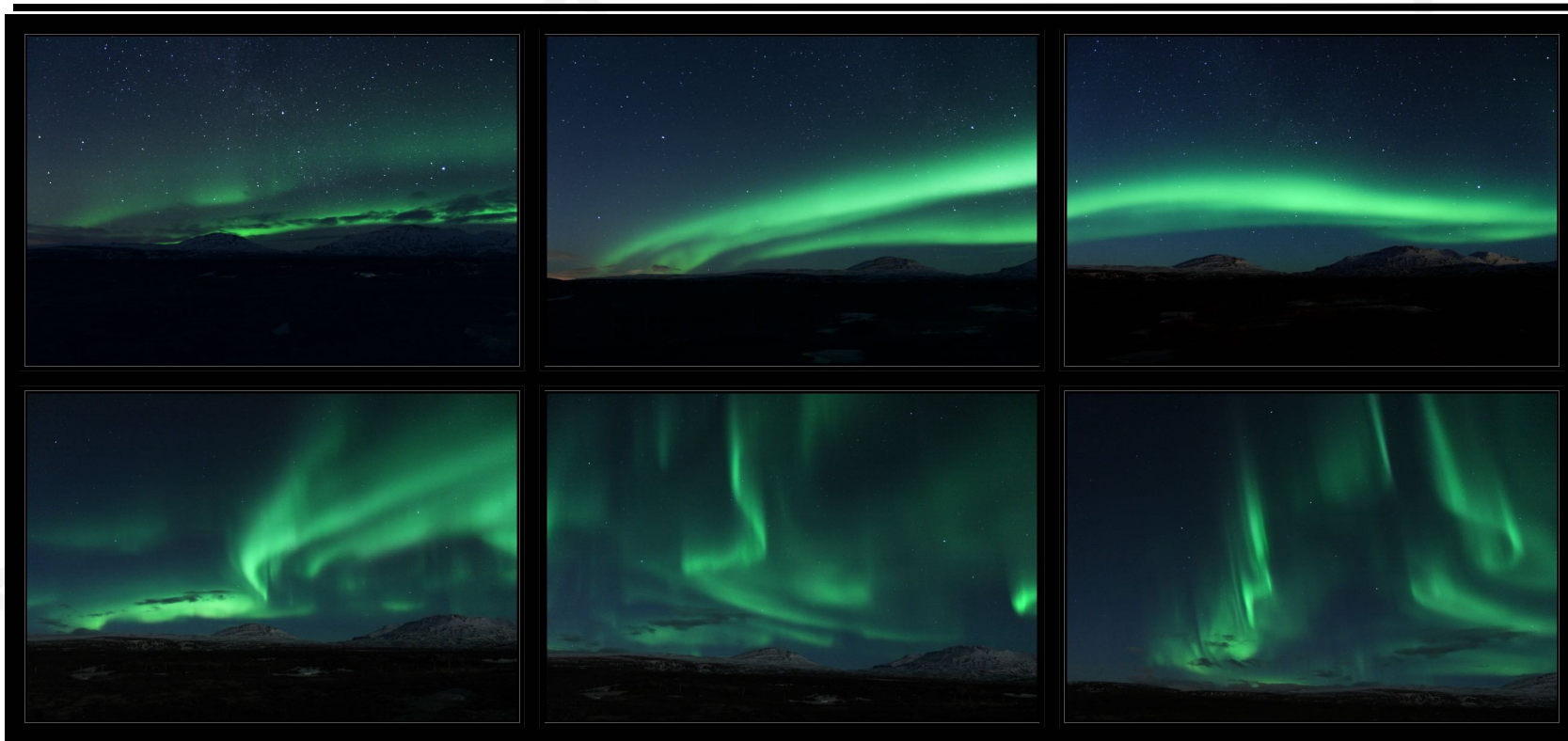
When the sun is ejecting a **solar flare**, it becomes visible with the naked eye in the polar regions.



Earth's magnetic field deflects the solar wind



Aurora Borealis (North Pole) and Australis (South Pole)



High energetic particles hit Earth everywhere

Active galactic nuclei, neutron stars, supernovae, deep in the Milky Way and **in far away galaxies**, create particles at extremely high energies.

Some of these are also hitting the Earth.



Why study Cosmic Rays ?

The **Universe** is emitting **light** - which we see with the **naked eye** and through **telescopes**.

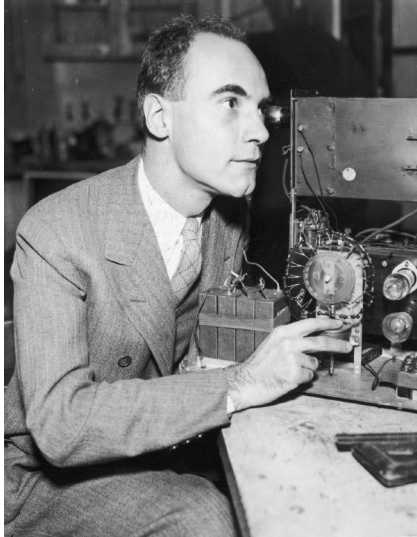
Fascinating humankind since ever.

The **Universe** is also emitting **particles**, giving a **broader view** and **new insights**.



Fascinating even more. Particle physics is also cosmology.

Studying Cosmic Rays — the early days



Carl David Anderson
Discovered **anti-matter** in **1932**
(the positron, which is the anti-electron)
Nobel Prize 1936

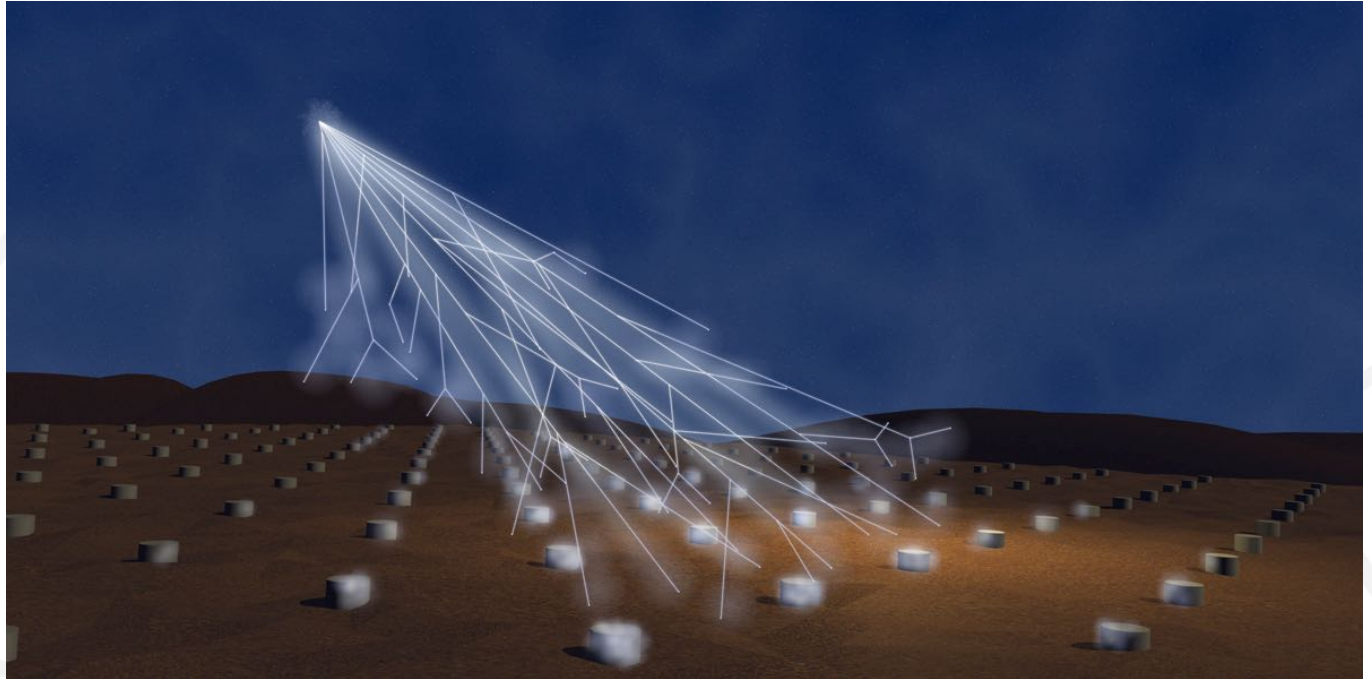


High altitude research station
at the Jungfrauoch 3500m
Since the mid 1920's.

Studying Cosmic Rays — still today

On ground

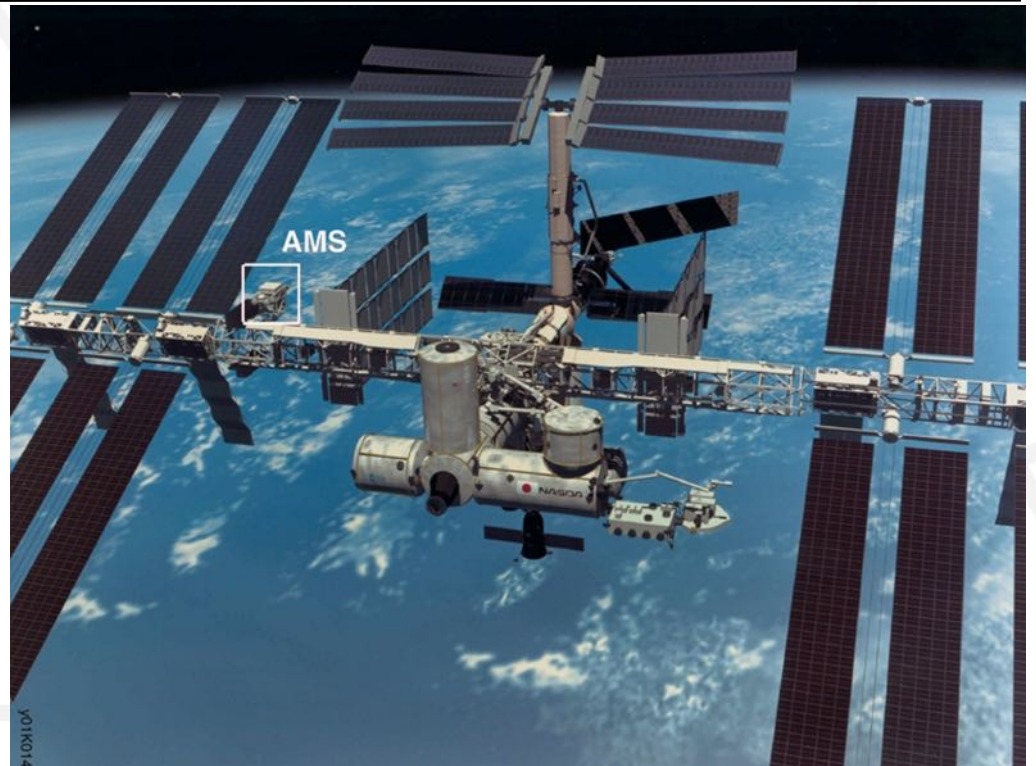
3000 km² array
in Malargüe,
Mendoza prov.,
Argentina



Studying Cosmic Rays — still today

In space

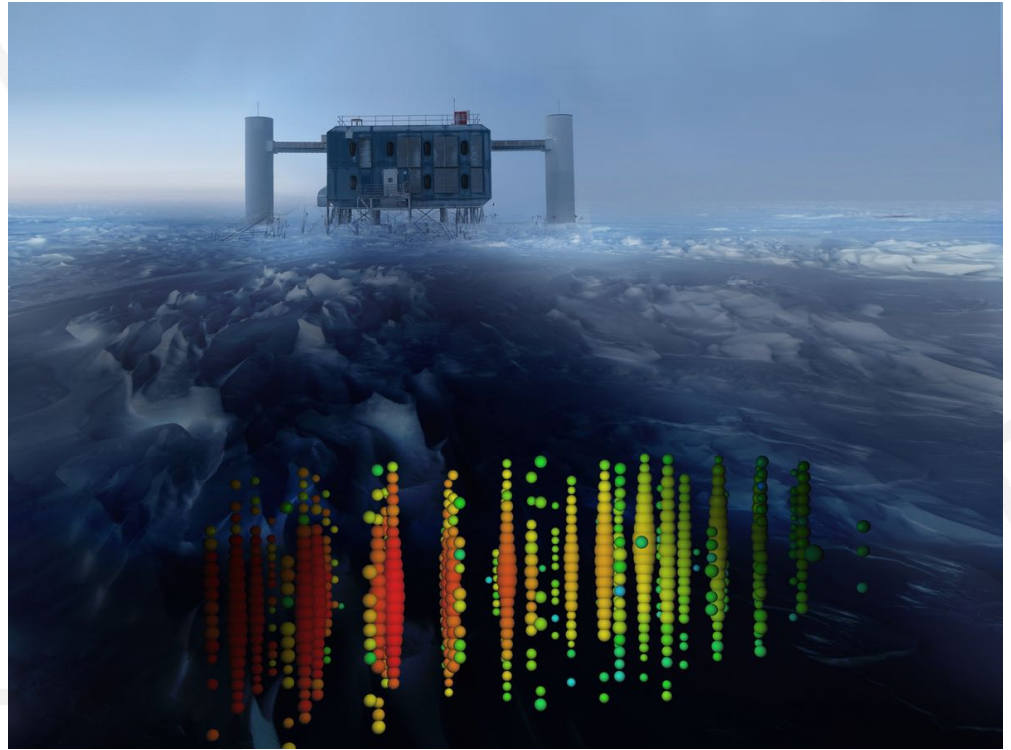
On the
international
space station



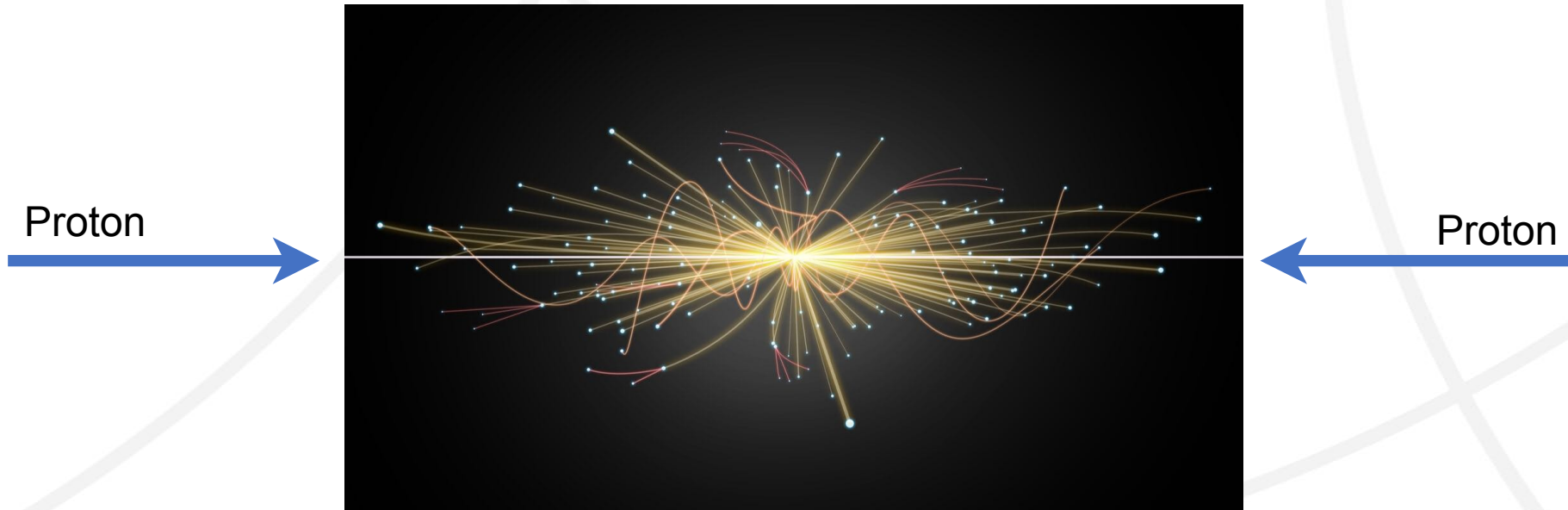
Studying Cosmic Rays — still today

Below ground

In the ice at the
South Pole

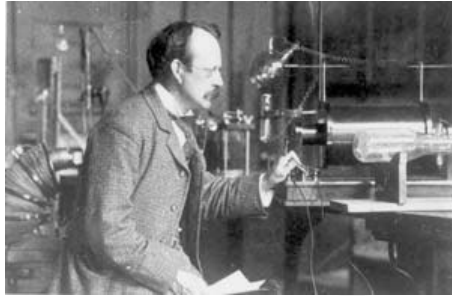


Understanding particle collisions



- At **CERN**, particles are brought to collisions
- as cosmic rays collide with the atmosphere
 - gives insight in the inner forces of matter

120 years of accelerating particles



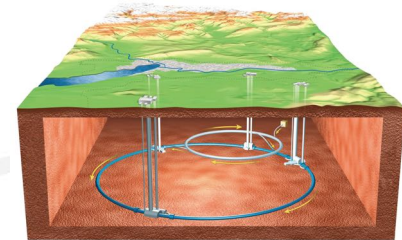
1897 Accelerating electrons
Cathode ray tube
J.J. Thomson



1931 First circular accelerator
Ernest O. Lawrence & M. Stanley Livingston



1940

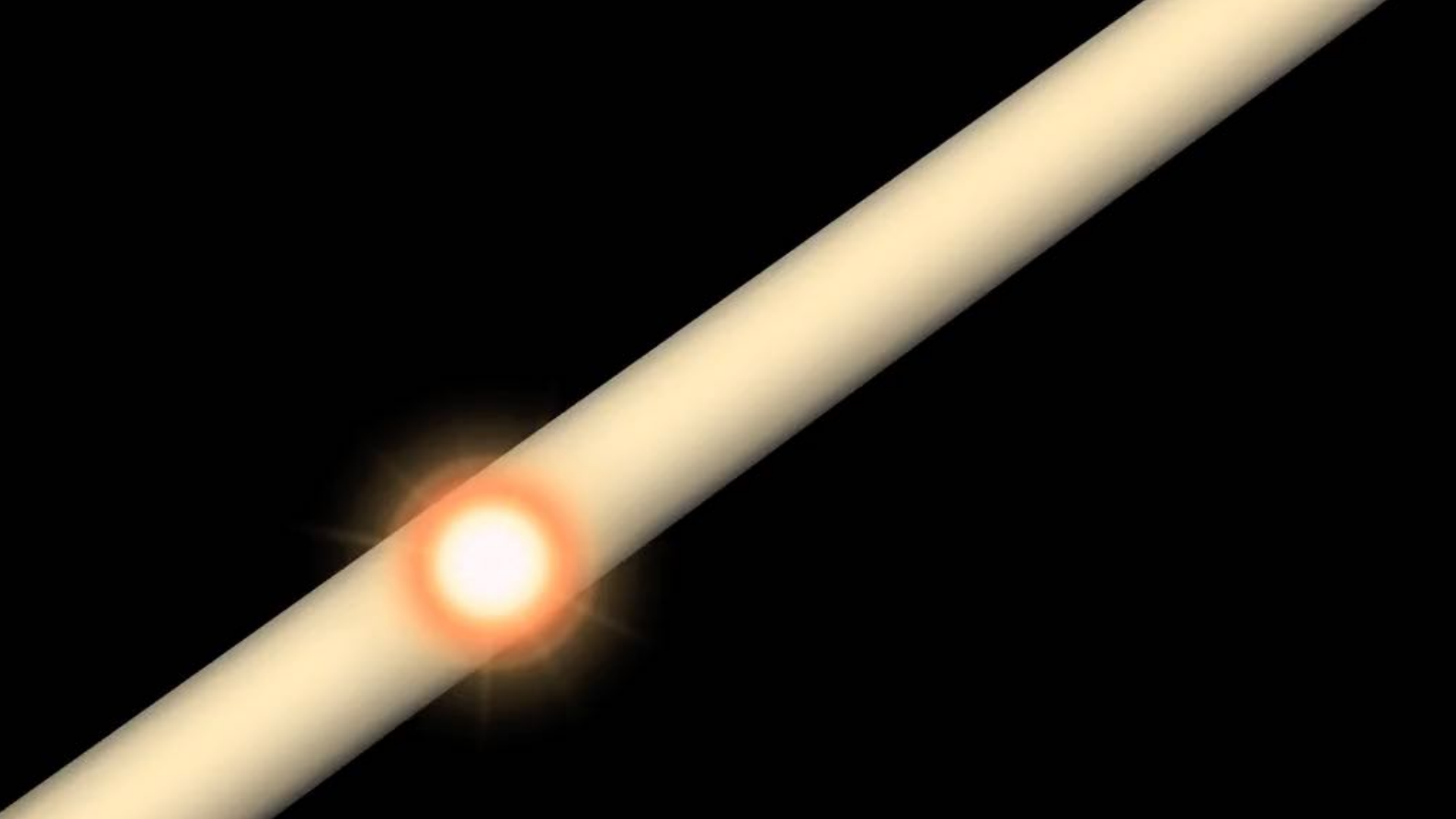


**Today:
LHC**

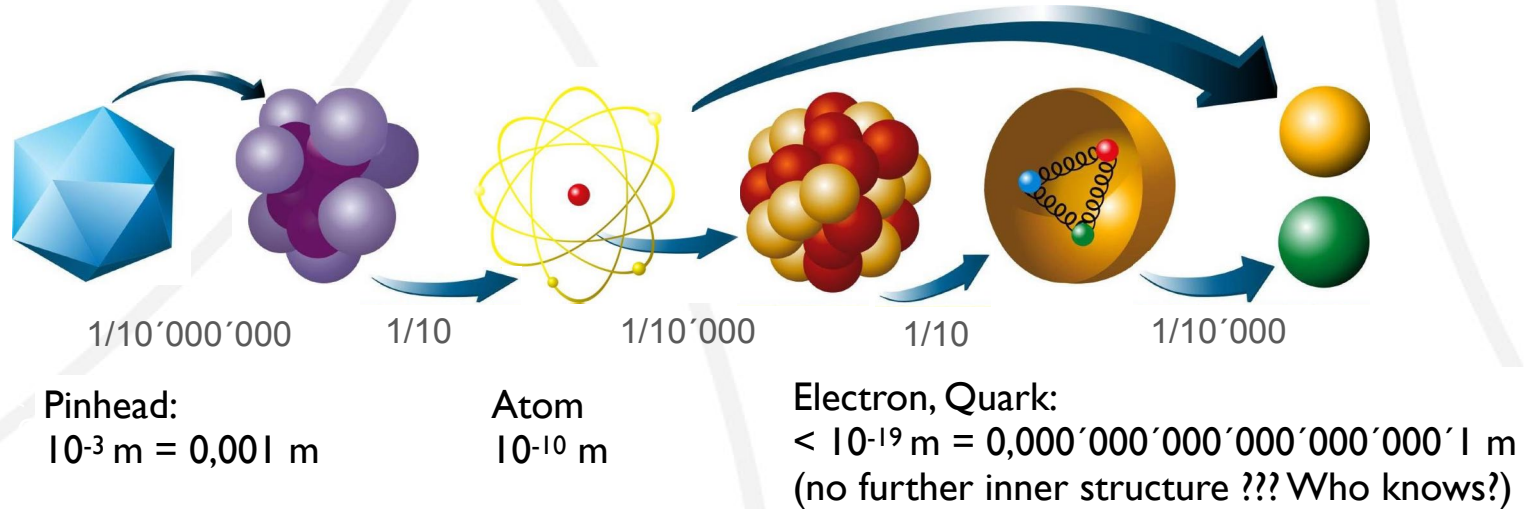
CERN — Large Hadron Collider



Exploration of a new energy frontier
in p-p and Pb-Pb collisions

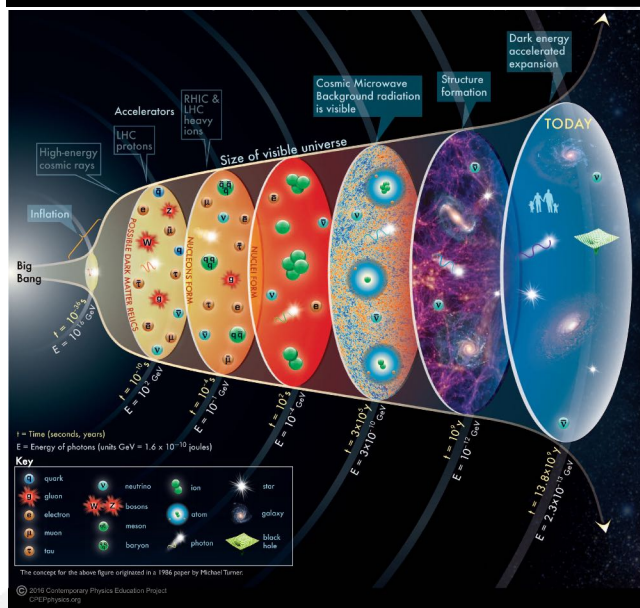


The structure of matter revealed



If an atom's radius would be as large as the distance from CERN to Copenhagen, the LHC could still resolve millimetre scale objects.

The evolution of the Universe



$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4} \mathcal{F}_{\mu\nu} \mathcal{F}^{\mu\nu} + i\bar{\psi} \mathcal{D}\psi + \psi_i y_{ij} \psi_j \phi + h.c. + \left| \mathcal{D}_\mu \phi \right|^2 - \mathcal{V}(\phi)$$

The Standard Model of Particle Physics

Balloons played an important role in the beginning on the way to deeply understand the Universe, and with it, who we are, where we are coming from, and where we are going to.

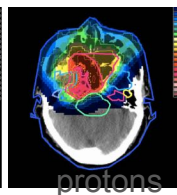
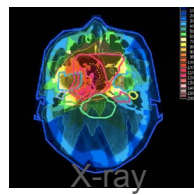
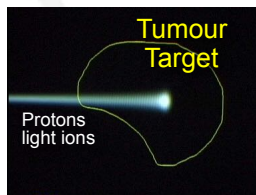
Medical Application as an Example of Particle Physics Spin-off

Combining Physics, ICT, Biology and Medicine to fight cancer



Accelerating particle beams
~30'000 accelerators worldwide
~17'000 used for medicine

Hadron Therapy



Leadership in Ion Beam Therapy now in Europe and Japan

>100'000 patients treated worldwide (45 facilities)
>50'000 patients treated in Europe (14 facilities)



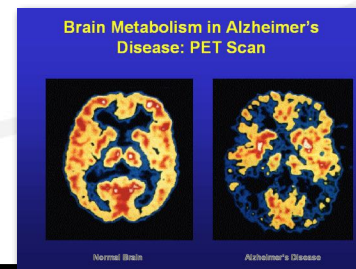
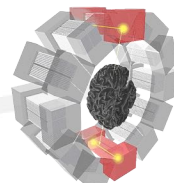
Detecting particles

Imaging

Clinical trial in Portugal, France and Italy for new breast imaging system (ClearPEM)



PET Scanner



Balloon museum

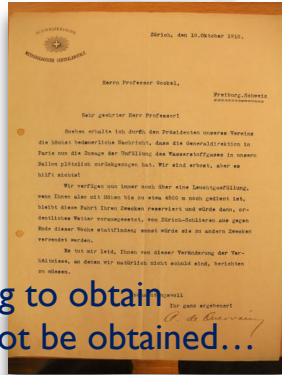
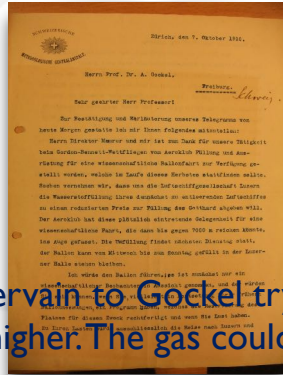
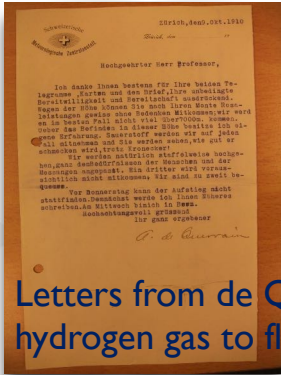


Original items to show

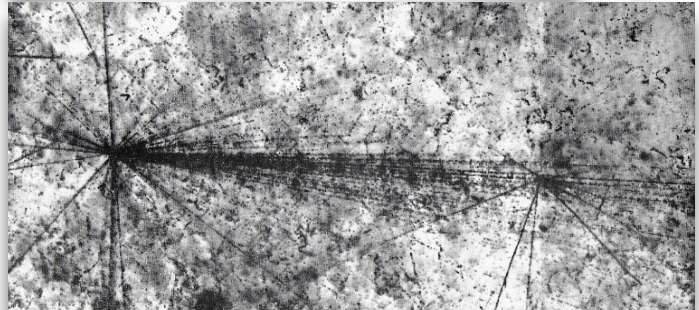
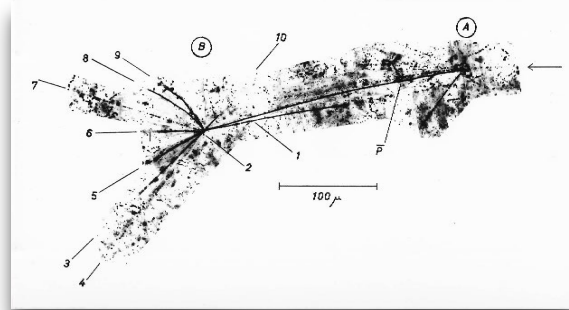


Sparkchamber

Electrometer used by Gockel around 1910



Letters from de Quervain to Gockel trying to obtain hydrogen gas to fly higher. The gas could not be obtained...



Emulsion plates from mid 1950's taken at Jungfrauoch

“Art&Science”

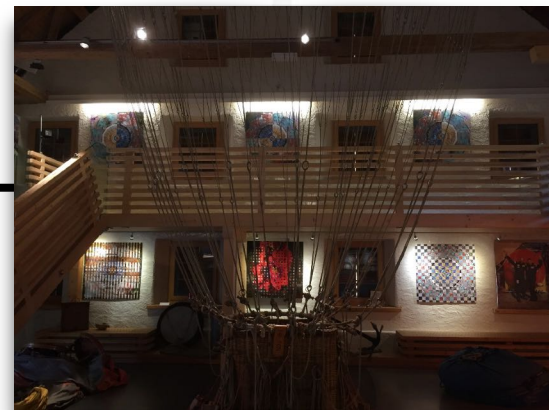
Through the opening of the exhibition:

Guided tours

Lectures


Junior Scientist booklet

<https://www.espace-ballon.ch/copie-de-exposition-temporaire>



Explaining Cosmic Rays

What are Cosmic Rays / Was ist Kosmische Strahlung / Que sont les Rayons Cosmiques



Kosmische Strahlen und Teilchen, Definition, ganz Allgemein, sowie weitere Fakten wie Protonen und Neutronen, die ständig und aus allen Richtungen von oben durchdringen auf fast alle Bereiche der Erde treffen. Diese Teilchen kommen aus dem Inneren der Milchstraße und von fernen Galaxien. Pro Quantenenergie und pro Sekunde trifft etwa 1000 Teilchen auf die Erde. Teilchen der hohen Energieklasse haben dabei enorme Ionisationsenergien, während Teilchen aus niedriger Energieklasse nur geringe Energien übertragen können, wenn die Energie von Protonen (mit der Aurora borealis), hochenergetische Teilchen aus der kosmischen Strahlung oder von Teilchen aus der Erdatmosphäre in einer Zentralkammer ausstrahlen. In dieser Kammer werden die Ionen neuer Teilchen, die aus der Erdatmosphäre freigesetzt werden, die meisten werden in der oberen Atmosphäre freigesetzt, einige erreichen die Erdoberfläche, in geringen Höhen können diese jedoch durch kosmische Strahlung und durch einen Messereffekt in Ballonen, in Flugzeugen und auf Teilchenphysikexperimenten wie z. B. dem Large Hadron Collider.

Essential facts for general audiences: what does cosmic rays, are they ionizing? Particles from galactic and extragalactic sources, which constantly fall from all directions on the entire atmosphere of the earth at high energy. They come from the Milky Way, and distant galaxies. About 1000 particles hit the earth every second per square meter. Particles from the highest energy cosmic energy, which penetrate from distant galaxies can reach virtually any energy, although at high energies are also rare. Most particles have much lower energies and are reflected by the earth's magnetic field. The charged particles from cosmic rays collide with atoms nuclei of the atmosphere in the upper atmosphere, which leads to the appearance of the Aurora Borealis. High-energy particles from cosmic rays collide with atoms nuclei of the atmosphere in the earth's atmosphere, which produces a shower of new particles, which leads to the cosmic ray air shower. In the higher atmosphere, ions reach the earth's surface. At high altitudes some of those particles can be measured and therefore measuring equipment has been installed in balloons, airplanes and high mountain research stations such as the Neutronium.

Les rayons cosmiques sont des protons, des électrons, des neutrons atmosphériques entrants, ainsi que d'autres particules comme les photons et les neutrinos. Ils frappent continuellement de toutes directions l'atmosphère de la Terre à grande énergie. Ces particules proviennent de la Voie lactée et de galaxies lointaines. Environ 1000 particules frappent la terre par mètre carré et par seconde. Les particules de plus haute énergie, qui pénètrent de galaxies lointaines peuvent atteindre presque toute l'énergie, bien que les énergies les plus élevées soient aussi beaucoup plus rares. La plupart des particules ont des énergies relativement faibles et sont réfléchies par le champ magnétique de la Terre. Les particules de haute énergie des rayons cosmiques interagissent avec les noyaux des atomes de l'atmosphère, ce qui conduit à l'apparition de l'aurore boréale. Les particules à haute énergie des rayons cosmiques interagissent avec les noyaux des atomes de l'atmosphère, ce qui produit une cascade de nouvelles particules, ce qui conduit à la pluie de particules cosmiques. Dans l'atmosphère supérieure, les ions atteignent la surface de la terre. À haute altitude, certaines de ces particules peuvent être mesurées et par conséquent des équipements de mesure ont été installés dans des ballons, des avions et des stations de recherche de haute montagne comme le Neutronium.

Discoveries with Cosmic Rays / Entdeckungen mit Kosmischer Strahlung / Découvertes avec des Rayons Cosmiques




Die Teilchenstrahlung der Welt ister höchstenergetischen Teilchen sind kosmische Strahlung aus einem ständigen Fluss energiereicher Teilchen, die ständig auf die Erde treffen. Diese Teilchen kommen aus dem Inneren der Milchstraße und von fernen Galaxien. Pro Quantenenergie und pro Sekunde trifft etwa 1000 Teilchen auf die Erde. Teilchen der hohen Energieklasse haben dabei enorme Ionisationsenergien, während Teilchen aus niedriger Energieklasse nur geringe Energien übertragen können, wenn die Energie von Protonen (mit der Aurora borealis), hochenergetische Teilchen aus der kosmischen Strahlung oder von Teilchen aus der Erdatmosphäre in einer Zentralkammer ausstrahlen. In dieser Kammer werden die Ionen neuer Teilchen, die aus der Erdatmosphäre freigesetzt werden, die meisten werden in der oberen Atmosphäre freigesetzt, einige erreichen die Erdoberfläche, in geringen Höhen können diese jedoch durch kosmische Strahlung und durch einen Messereffekt in Ballonen, in Flugzeugen und auf Teilchenphysikexperimenten wie z. B. dem Large Hadron Collider.

A particle shower which occurs when a high energy particle of cosmic ray collides with an atomic nucleus of an atmosphere gas molecule, contains a large number of secondary particles and also includes neutrons. These particles and neutrons frequently move towards the earth's surface at almost the speed of light. Many of these particles are also reflected and dispersed into space. New particles are also created, which decay with their energy, which is usually less than the energy of the primary particle. The charged particles from cosmic rays collide with atoms nuclei of the atmosphere in the upper atmosphere, which leads to the appearance of the Aurora Borealis. High-energy particles from cosmic rays collide with atoms nuclei of the atmosphere in the earth's atmosphere, which produces a shower of new particles, which leads to the cosmic ray air shower. In the higher atmosphere, ions reach the earth's surface. At high altitudes some of those particles can be measured and therefore measuring equipment has been installed in balloons, airplanes and high mountain research stations such as the Neutronium.

La pluie de particules, qui se produit lorsqu'une particule de cosmic ray de haute énergie entre en collision avec un noyau atomique d'une molécule de gaz atmosphérique, contient un grand nombre de particules secondaires et aussi des neutrons rapides. Ces particules et neutrons se déplacent généralement à une vitesse proche de celle de la lumière. Beaucoup de ces particules sont aussi réfléchies et dispersées dans l'espace. De nouvelles particules sont aussi créées, qui se désintègrent avec leur énergie, qui est généralement inférieure à celle de la particule primaire. Les particules chargées des rayons cosmiques interagissent avec les noyaux des atomes de l'atmosphère, ce qui conduit à l'apparition de l'aurore boréale. Les particules à haute énergie des rayons cosmiques interagissent avec les noyaux des atomes de l'atmosphère, ce qui produit une cascade de nouvelles particules, ce qui conduit à la pluie de particules cosmiques. Dans l'atmosphère supérieure, les ions atteignent la surface de la terre. À haute altitude, certaines de ces particules peuvent être mesurées et par conséquent des équipements de mesure ont été installés dans des ballons, des avions et des stations de recherche de haute montagne comme le Neutronium.

Particle Detection / Teilchendetektoren / Détecteurs de Particules

Historic Technologies



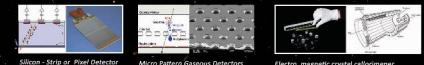
1918 Philips: emission photo
1930 Geiger-Müller Counter
1930 Spent Counter
1932 Balbo Counter
1930 Kaufmann Counter

1918 Teilchendetektoren: Emission der Spent der Teilchen in Materie. Mitteilungsapparate werden durch verschiedene Arten von Spent. Ausgänger über die Teilchen gemacht werden. In Ludwig und Prager wurde Teilchendetektor die Detektion von Teilchenstrahlung wird ermöglicht durch die physikalischen Eigenschaften und die technologischen Möglichkeiten wodurch sich die Genauigkeit und die Empfindlichkeit steigern lassen.

1930 Kaufmann Counter: With particle detectors, it is possible to measure the traces of particles from its motion. By measuring these traces, information about the particles can be seen, e.g. a charge and energy and at the type of particle. The development of detector technology is being done in physics experiments and is constantly improving the accuracy and the measurement methods.

1932 Geiger-Müller Counter: Avec les détecteurs de particules, il est possible de mesurer les traces des particules émettent dans la matière. En mesurant ces traces, il est possible d'obtenir des informations sur les particules, par exemple, par leur charge et l'énergie, ainsi que le type de particule. Le développement des détecteurs de particules est effectué par des questions de physique et de la technologie disponible, ce qui améliore constamment la précision et les méthodes de mesure.

Modern Technologies



Silicon - Strip or Pixel Detector
Micro Pattern Gaseous Detectors
Electro magnetic crystal calorimeter

1930 Kaufmann Counter: Die pluie de particules, qui se produit lorsqu'une particule de cosmic ray de haute énergie entre en collision avec un noyau atomique d'une molécule de gaz atmosphérique, contient un grand nombre de particules secondaires et aussi des neutrons rapides. Ces particules et neutrons se déplacent généralement à une vitesse proche de celle de la lumière. Beaucoup de ces particules sont aussi réfléchies et dispersées dans l'espace. De nouvelles particules sont aussi créées, qui se désintègrent avec leur énergie, qui est généralement inférieure à celle de la particule primaire. Les particules chargées des rayons cosmiques interagissent avec les noyaux des atomes de l'atmosphère, ce qui conduit à l'apparition de l'aurore boréale. Les particules à haute énergie des rayons cosmiques interagissent avec les noyaux des atomes de l'atmosphère, ce qui produit une cascade de nouvelles particules, ce qui conduit à la pluie de particules cosmiques. Dans l'atmosphère supérieure, les ions atteignent la surface de la terre. À haute altitude, certaines de ces particules peuvent être mesurées et par conséquent des équipements de mesure ont été installés dans des ballons, des avions et des stations de recherche de haute montagne comme le Neutronium.

Particle Spin-off

Medical Applications: Cancer target, Proton beam, Neutron therapy, Ignitor treatment with particles

World first spin developed @ CERN 1969

1918 Teilchendetektoren: Emission der Spent der Teilchen in Materie. Mitteilungsapparate werden durch verschiedene Arten von Spent. Ausgänger über die Teilchen gemacht werden. In Ludwig und Prager wurde Teilchendetektor die Detektion von Teilchenstrahlung wird ermöglicht durch die physikalischen Eigenschaften und die technologischen Möglichkeiten wodurch sich die Genauigkeit und die Empfindlichkeit steigern lassen.

1930 Kaufmann Counter: With particle detectors, it is possible to measure the traces of particles from its motion. By measuring these traces, information about the particles can be seen, e.g. a charge and energy and at the type of particle. The development of detector technology is being done in physics experiments and is constantly improving the accuracy and the measurement methods.

1932 Geiger-Müller Counter: Avec les détecteurs de particules, il est possible de mesurer les traces des particules émettent dans la matière. En mesurant ces traces, il est possible d'obtenir des informations sur les particules, par exemple, par leur charge et l'énergie, ainsi que le type de particule. Le développement des détecteurs de particules est effectué par des questions de physique et de la technologie disponible, ce qui améliore constamment la précision et les méthodes de mesure.

Explaining Particles

Particle Accelerator Teilchenbeschleuniger Accélérateur de Particules



1930 Cavendish Accelerator, Cambridge & B.S. 1937 Jülich-1, Jülich, Germany
1959 West, Bonn, Germany
1974 CERN Proton Accelerator, Geneva, Switzerland

DE Teilchenbeschleuniger sind in der Lage geladene Teilchen (Elektronen, Protonen, Neutronen, etc.) auf sehr hohe Energien, mittels Hochspannung, beschleunigen. Diese Teilchen werden dann auf einen kleineren Querschnitt fokussiert, um die Teilchenstrahlung zu erhöhen. Diese Teilchen werden dann auf einen kleineren Querschnitt fokussiert, um die Teilchenstrahlung zu erhöhen. Diese Teilchen werden dann auf einen kleineren Querschnitt fokussiert, um die Teilchenstrahlung zu erhöhen.

EN Particle accelerators accelerate charged particles (electrons, protons, neutrons, etc.) to very high energies, mittels Hochspannung. These particles are then focused onto a smaller cross-section, to increase the particle radiation.

FR Les accélérateurs de particules font accélérer des particules chargées (électrons, protons, neutrons, etc.) à de très hautes énergies, au moyen de haute tension. Ces particules sont ensuite focalisées sur une section transversale plus petite, afin d'augmenter le rayonnement des particules.

Inside LHC tunnel:

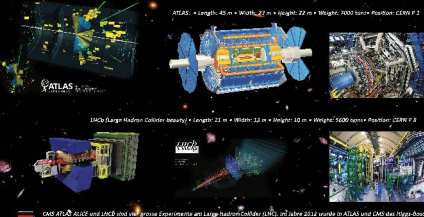


DE Das LHC (Large Hadron Collider) ist ein Teilchenbeschleuniger, der im Jahr 2008 in Betrieb genommen wurde. Er ist der größte und leistungsstärkste Teilchenbeschleuniger der Welt. Er beschleunigt Protonen auf eine Energie von 7 TeV pro Teilchen. Die Teilchen werden in zwei entgegengesetzten Richtungen um den Ring beschleunigt und kollidieren in vier verschiedenen Punkten. Die Kollisionen werden durch Detektoren wie ATLAS und CMS beobachtet.

EN The LHC (Large Hadron Collider) is a particle accelerator, which was put into operation in 2008. It is the largest and most powerful particle accelerator in the world. It accelerates protons to an energy of 7 TeV per particle. The particles are accelerated in two opposite directions around the ring and collide in four different points. The collisions are observed by detectors such as ATLAS and CMS.

FR Le LHC (Large Hadron Collider) est un accélérateur de particules, qui a été mis en service en 2008. C'est le plus grand et le plus puissant accélérateur de particules au monde. Il accélère des protons à une énergie de 7 TeV par particule. Les particules sont accélérées dans les deux sens autour du anneau et se heurtent en quatre points différents. Les collisions sont observées par des détecteurs tels que ATLAS et CMS.

Modern Particle Detectors Moderne Teilchendetektoren DéTECTEURS de Particules Actuels

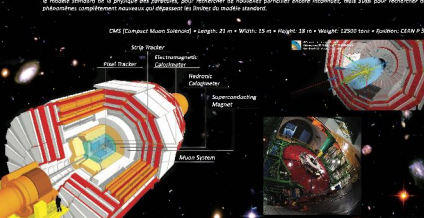


ATLAS - Length: 45 m - Width: 22 m - Height: 22 m - Weight: 7000 tons - Position: CERN, F, CH
LHC Large Hadron Collider - Length: 27 m - Width: 22 m - Height: 2200 tons - Position: CERN, F, CH

DE Die ATLAS- und CMS-Detektoren sind die größten Detektoren der Welt. Sie sind in der Lage, die Teilchenstrahlung zu messen, die bei den Kollisionen entsteht. Die Detektoren sind in der Lage, die Teilchenstrahlung zu messen, die bei den Kollisionen entsteht. Die Detektoren sind in der Lage, die Teilchenstrahlung zu messen, die bei den Kollisionen entsteht.

EN The ATLAS and CMS detectors are the largest detectors in the world. They are able to measure the particle radiation that is produced in the collisions. The detectors are able to measure the particle radiation that is produced in the collisions. The detectors are able to measure the particle radiation that is produced in the collisions.

FR Les détecteurs ATLAS et CMS sont les plus grands détecteurs au monde. Ils sont capables de mesurer le rayonnement des particules qui est produit lors des collisions. Les détecteurs sont capables de mesurer le rayonnement des particules qui est produit lors des collisions. Les détecteurs sont capables de mesurer le rayonnement des particules qui est produit lors des collisions.

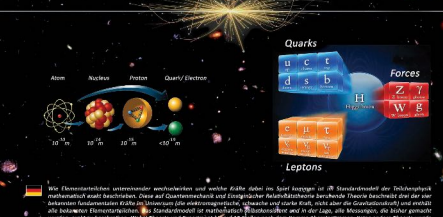


DE Das LHC (Large Hadron Collider) ist ein Teilchenbeschleuniger, der im Jahr 2008 in Betrieb genommen wurde. Er ist der größte und leistungsstärkste Teilchenbeschleuniger der Welt. Er beschleunigt Protonen auf eine Energie von 7 TeV pro Teilchen. Die Teilchen werden in zwei entgegengesetzten Richtungen um den Ring beschleunigt und kollidieren in vier verschiedenen Punkten. Die Kollisionen werden durch Detektoren wie ATLAS und CMS beobachtet.

EN The LHC (Large Hadron Collider) is a particle accelerator, which was put into operation in 2008. It is the largest and most powerful particle accelerator in the world. It accelerates protons to an energy of 7 TeV per particle. The particles are accelerated in two opposite directions around the ring and collide in four different points. The collisions are observed by detectors such as ATLAS and CMS.

FR Le LHC (Large Hadron Collider) est un accélérateur de particules, qui a été mis en service en 2008. C'est le plus grand et le plus puissant accélérateur de particules au monde. Il accélère des protons à une énergie de 7 TeV par particule. Les particules sont accélérées dans les deux sens autour du anneau et se heurtent en quatre points différents. Les collisions sont observées par des détecteurs tels que ATLAS et CMS.

Particles & Interactions Teilchen & Wechselwirkungen des Particules & des Interactions

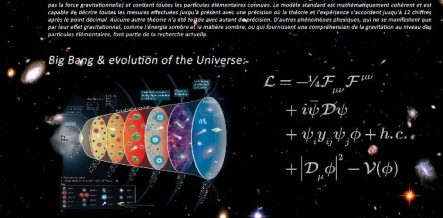


DE Die Elementarteilchen sind die kleinsten Bausteine der Materie. Sie sind in der Lage, die Teilchenstrahlung zu messen, die bei den Kollisionen entsteht. Die Detektoren sind in der Lage, die Teilchenstrahlung zu messen, die bei den Kollisionen entsteht. Die Detektoren sind in der Lage, die Teilchenstrahlung zu messen, die bei den Kollisionen entsteht.

EN The elementary particles are the smallest building blocks of matter. They are able to measure the particle radiation that is produced in the collisions. The detectors are able to measure the particle radiation that is produced in the collisions. The detectors are able to measure the particle radiation that is produced in the collisions.

FR Les particules élémentaires sont les plus petites briques de la matière. Elles sont capables de mesurer le rayonnement des particules qui est produit lors des collisions. Les détecteurs sont capables de mesurer le rayonnement des particules qui est produit lors des collisions. Les détecteurs sont capables de mesurer le rayonnement des particules qui est produit lors des collisions.

Big Bang & evolution of the Universe:



$$L = -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} + i\bar{\psi} D\psi + \psi \gamma_0 \psi_0 \phi + h.c. + \mathcal{D}_\mu \phi^\dagger \mathcal{D}^\mu \phi - V(\phi)$$

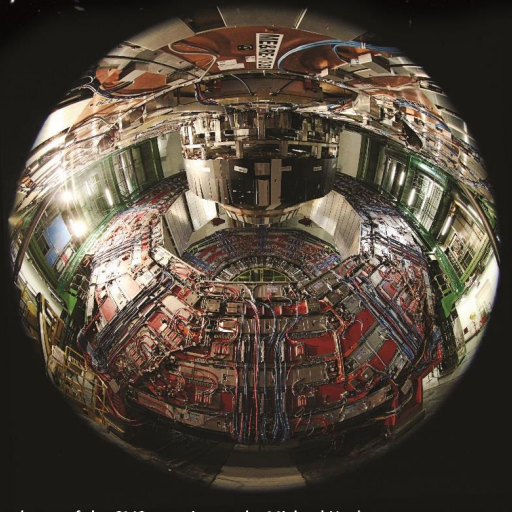
Thank you for listening

“Art&Science” - Chateau d’Oex/ CH

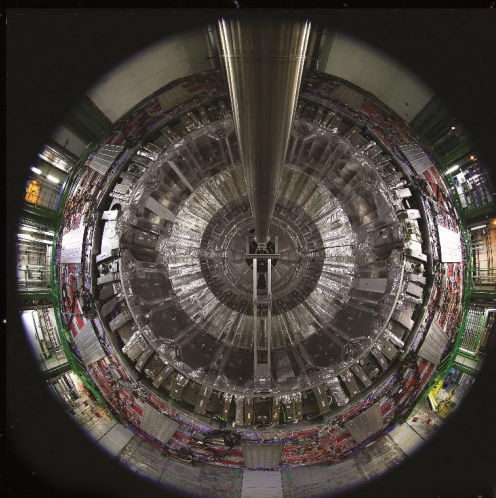
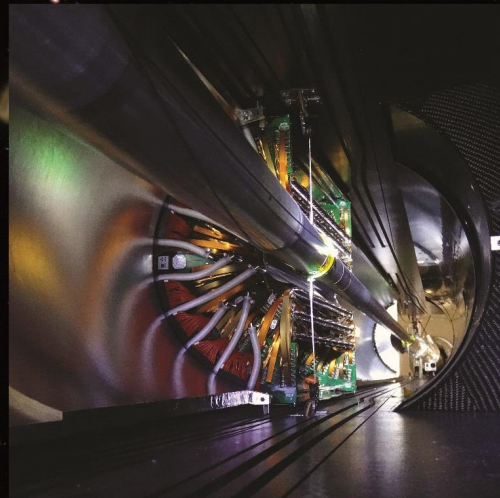
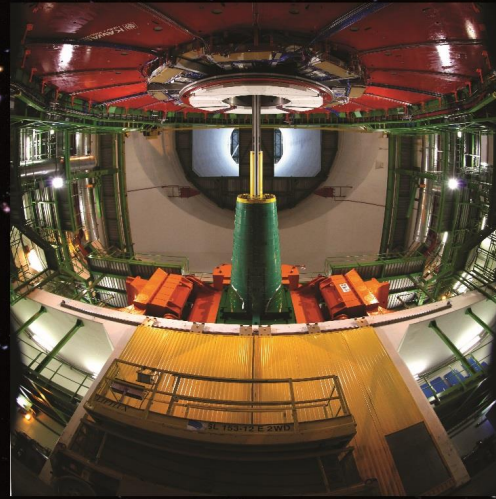
Balloon Museum April 2019 – March 2022

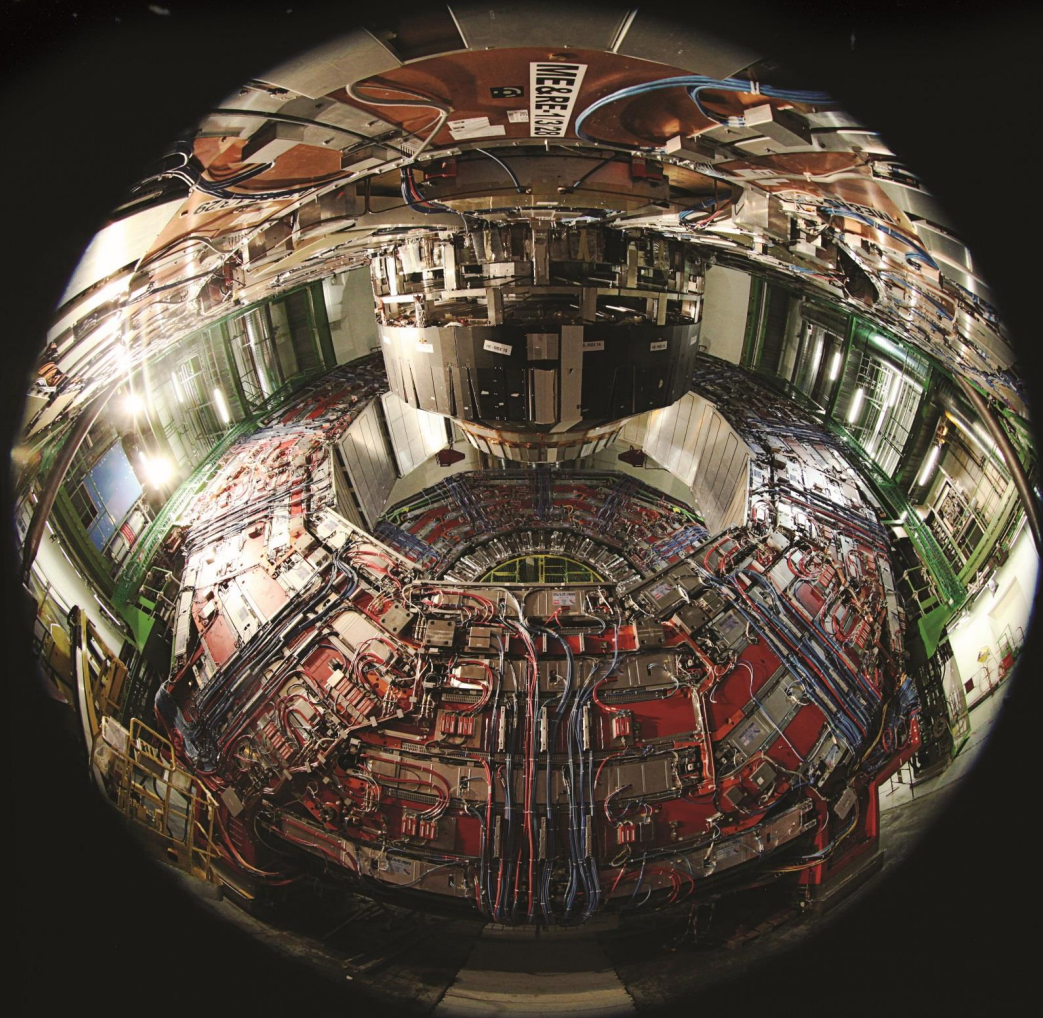
Balloon Festival January 25th February 2nd 2020

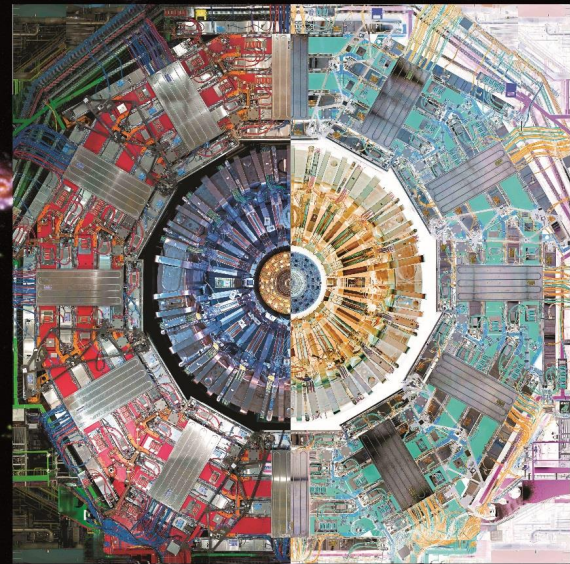




photos of the CMS experiments by Michael Hoch



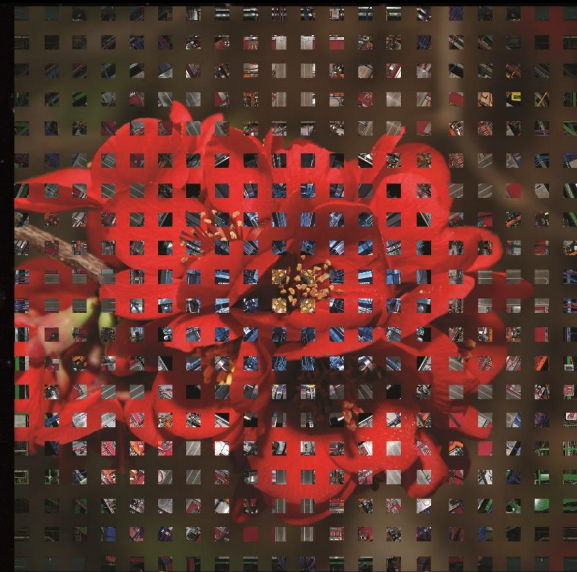




"Matter-Ant-Matter Symmetry 2", 2012



"CMS-METALIC", 2016



"CMS - RED", Natural Science Series 2012

