

# PHYSIK AM FREITAG

*u*<sup>b</sup>

b  
UNIVERSITÄT  
BERN

15. Januar 2016 – Markus Leuenberger,

**Jungfraujoch: Forschung zwischen  
Himmel und Erde**

22. Januar 2016 – Michele Weber

**Der Nobelpreis in Physik 2015.  
Neutrinos: Geisterteilchen und  
Verwandlungskünstler**

29. Januar 2016 – Susanne Reffert

**Beschreibt die String Theorie  
unsere physikalische Realität?**

4. März 2016 – Martin Rubin

**Rosetta: Den Geheimnissen von  
Chury auf der Spur**

11. März 2016 – Adrian Jäggi

**Von Wasser, Eis und Satelliten –  
und was uns die Schwerkraft über  
Umweltveränderungen verrät**

Ein Anlass des Fachbereichs Physik und des  
Albert Einstein Center for Fundamental Physics,  
Universität Bern

Die Vorträge richten sich an GymnasiastInnen und  
die interessierte Öffentlichkeit

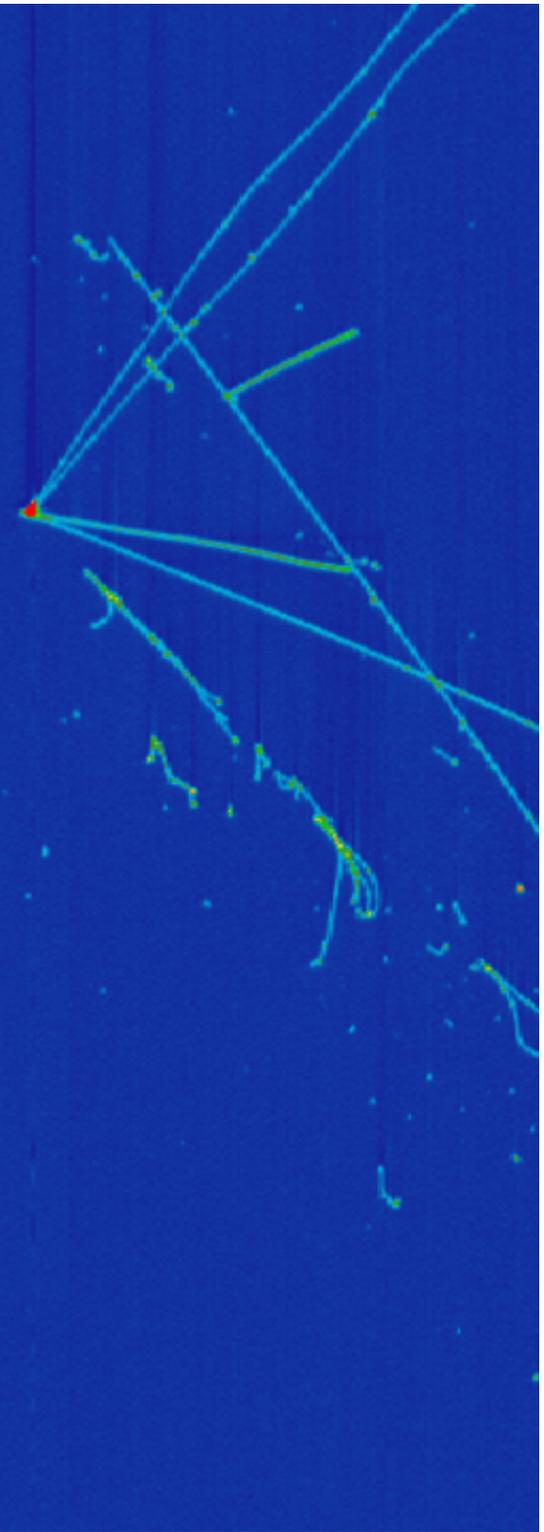
Gebäude Exakte Wissenschaften (ExWi)  
Sidlerstrasse 5, 3012 Bern  
Hörsaal 099, 16:30 Uhr

[www.physics.unibe.ch](http://www.physics.unibe.ch)

# Der Nobelpreis in Physik 2015 Neutrinos: Geisterteilchen und Verwandlungskünstler

Prof. Dr. Michele Weber  
Universität Bern

Physik am Freitag, 22.1.2016



# Nobelpreis in Physik 2015



Photo © Takaaki Kajita

**Takaaki Kajita**

Prize share: 1/2



Photo: K. McFarlane,  
Queen's University  
/SNOLAB

**Arthur B. McDonald**

Prize share: 1/2

Verwandlung

“... für die Entdeckung von **Neutrino-Oszillationen**,  
was beweist das  
Neutrinos **Masse** haben”

Geister ?

<http://www.nobelprize.org>



KUNGL.  
VETENSKAPS-  
AKADEMIEN

THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES

NOBELPRISET I FYSIK 2015

POPULÄRVETENSKAPLIG INFORMATION

## The chameleons of space

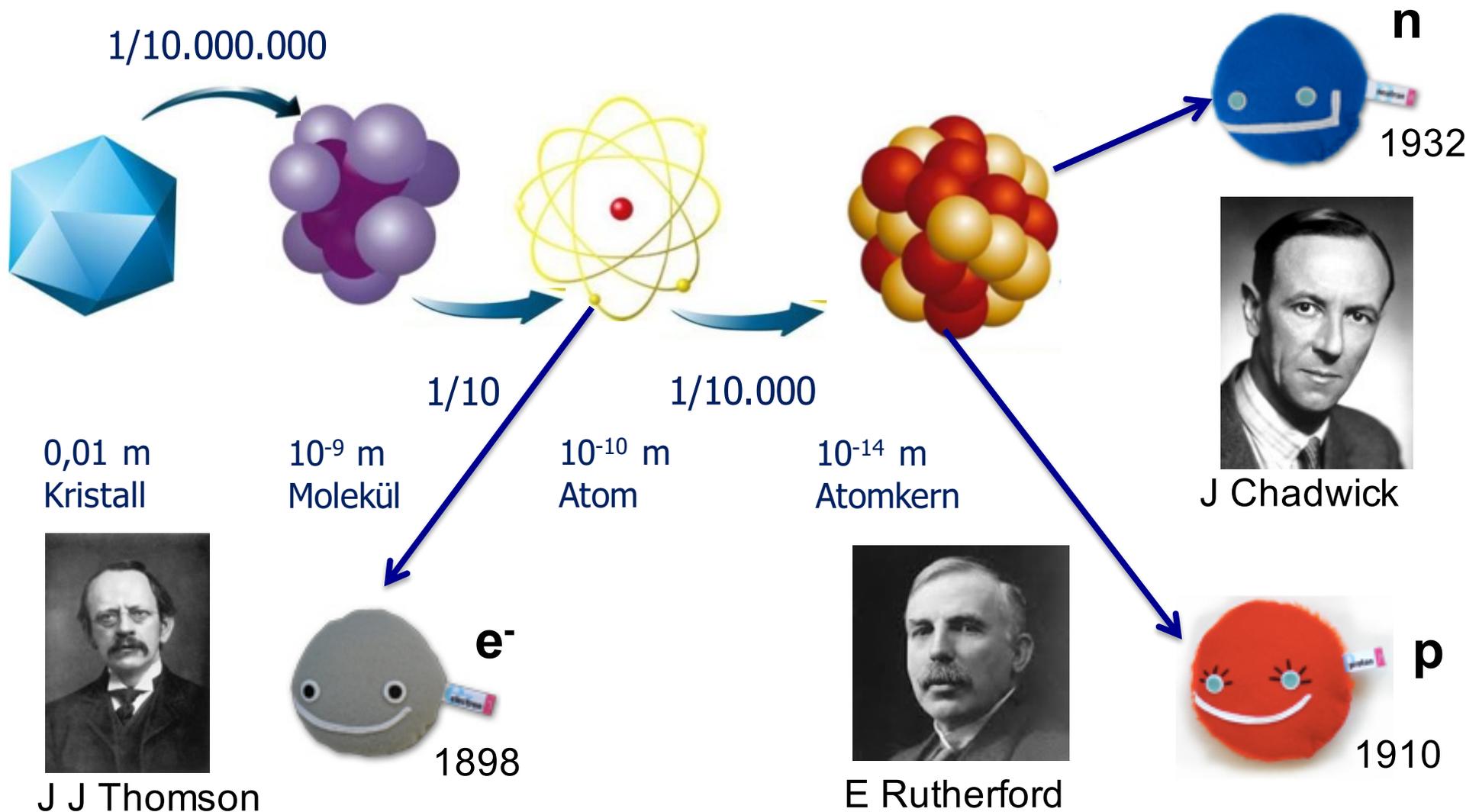
*They solved the neutrino puzzle and opened a new realm in particle physics. **Takaaki Kajita** and **Arthur B. McDonald** were key scientists of two large research groups, Super-Kamiokande and Sudbury Neutrino Observatory, which discovered the neutrinos mid-flight metamorphosis.*

The hunt was on – deep inside the Earth in gigantic facilities where thousands of artificial eyes waited for the right moment to uncover the secrets of neutrinos. In 1998, Takaaki Kajita presented the discovery that neutrinos seem to undergo metamorphosis; they switch identities on their way to the Super-Kamiokande detector in Japan. The neutrinos captured there are created in reactions between cosmic rays and the Earth's atmosphere.



Torn between identities – tau-, electron- or muon-neutrino?

# Der Aufbau der Materie 1932



# Radioaktivität: Beta Zerfall

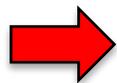


$^{90}\text{Sr}$

Instabil



n



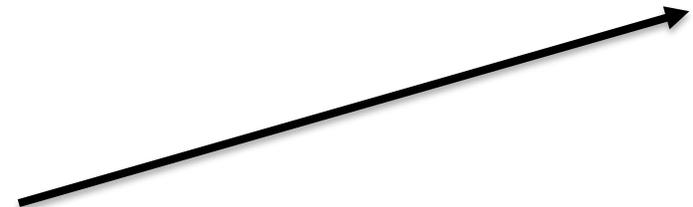
p<sup>+</sup>

+

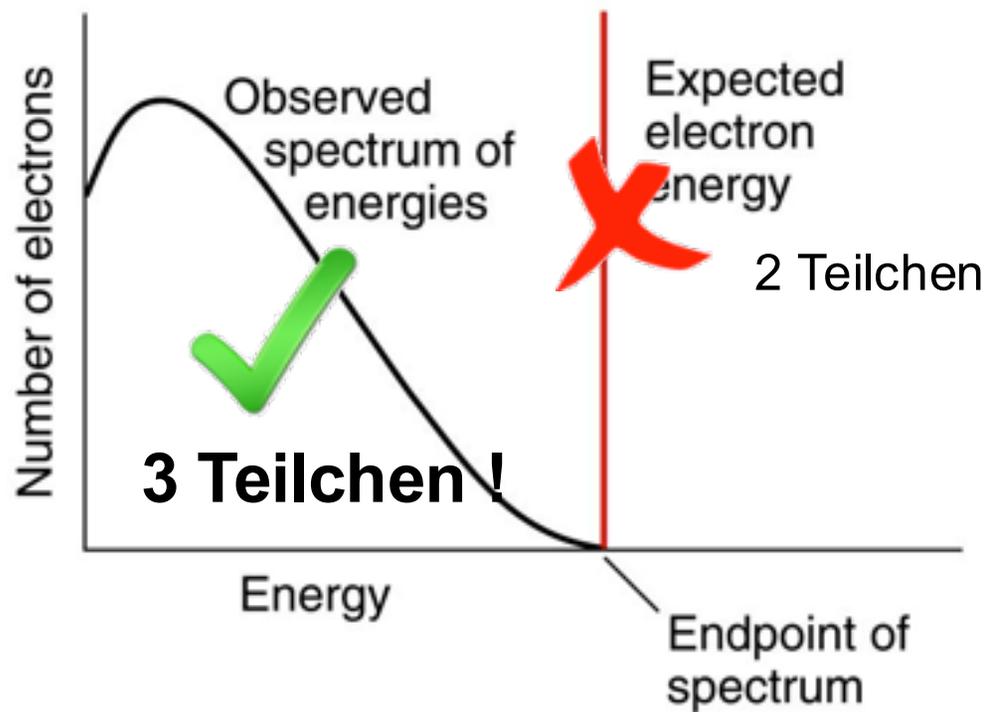


e<sup>-</sup>

Beta  
Strahlung



# Energie der Beta Strahlung



**“Unsichtbares”  
Neutrino !**



# Ein berühmter Brief...

Original - Photocopy of PLC 0393  
Abschrift/15.12.56 PW

Offener Brief an die Gruppe der Radioaktiven bei der  
Gauvereins-Tagung zu Tübingen.

## Abschrift

Physikalisches Institut  
der Eidg. Technischen Hochschule  
Zürich

Zürich, 4. Dez. 1930  
Gloriastrasse

Liebe Radioaktive Damen und Herren,

Wie der Ueberbringer dieser Zeilen, den ich halbvollst  
anzuhören bitte, Ihnen des näheren auseinandersetzen wird, bin ich  
angesichts der "falschen" Statistik der N- und Li-6 Kerne, sowie  
des kontinuierlichen beta-Spektrums auf einen verzweifelten Ausweg  
verfallen um den "Wechselsatz" (1) der Statistik und den Energiesatz  
zu retten. Nämlich die Möglichkeit, es könnten elektrisch neutrale  
Teilchen, die ich Neutronen nennen will, in den Kernen existieren,  
welche den Spin 1/2 haben und das Ausschliessungsprinzip befolgen und  
sich von Lichtquanten ausserdem noch dadurch unterscheiden, dass sie  
nicht mit Lichtgeschwindigkeit laufen. Die Masse der Neutronen  
musste von derselben Grössenordnung wie die Elektronenmasse sein und  
jedenfalls nicht grösser als 0,01 Protonenmasse.- Das kontinuierliche  
beta-Spektrum wäre dann verständlich unter der Annahme, dass beim  
beta-Zerfall mit dem Elektron jeweils noch ein Neutron emittiert  
wird, derart, dass die Summe der Energien von Neutron und Elektron  
konstant ist.

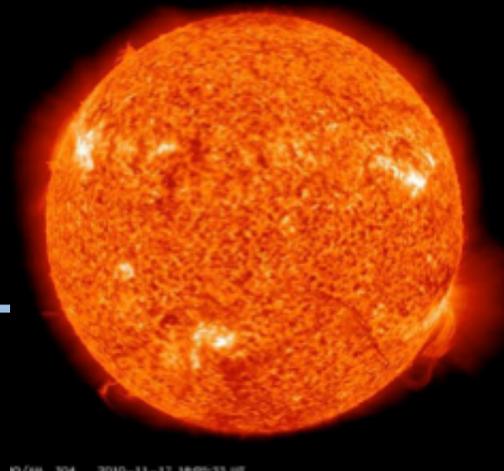
Mun handelt es sich weiter darum, welche Kräfte auf die  
Neutronen wirken. Das wahrscheinlichste Modell für das Neutron scheint  
mir aus wellenmechanischen Gründen (näheres weiss der Ueberbringer  
dieser Zeilen) dieses zu sein, dass das ruhende Neutron ein  
magnetischer Dipol von einem gewissen Moment  $\mu$  ist. Die Experimente  
verlangen wohl, dass die ionisierende Wirkung eines solchen Neutrons  
nicht grösser sein kann, als die eines gamma-Strahls und darf dann  
 $\mu$  wohl nicht grösser sein als  $e \cdot (10^{-13} \text{ cm})$ .



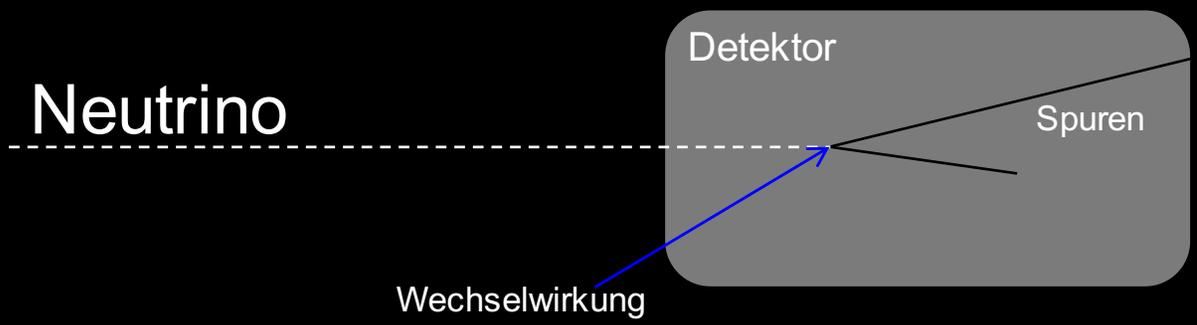
Heute: Neutrino(s)

$10^{11} = 100'000'000'000 = 100\text{G}$  ;  $10^{18} = 1'000'000'000'000'000'000 = 1000\text{P}$

# Neutrinos Messen



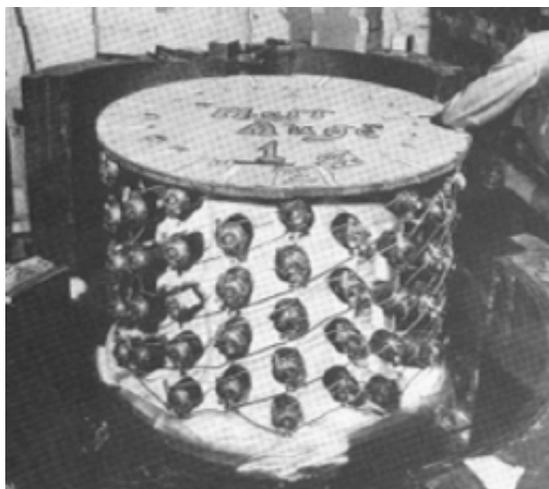
10/AA\_304 2010-11-17 18:05:33 UT



- > Neutrino selber sind nicht sichtbar, hinterlässt auch keine Spur (neutral)
- > Muss wechselwirken
- > Wechselwirkung ist jedoch extrem selten !
  - $10^{18}$  Hände, 1 Lichtjahr Blei
  - Grosse Detektoren, viele Neutrinos

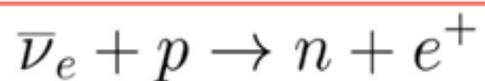
26 Jahre

# Neutrinos werden durch Cowan and Reines entdeckt 1956



## Savannah River

$5 \times 10^{13}$  neutrinos/cm<sup>2</sup>s



Fred Reines

Clyde Cowan

RADIO-SCHWEIZ AG.

# RADIOGRAMM - RADIOGRAMME

RADIO-SUISSE S.A.

SBZ1311 ZHW UW1844 FM BZJ116 WH CHICAGO ILL 56 14 1310

PLC 00253

Erhalten - Reçu

„VIA RADIOSUISSE“

Befördert - Transmis

von - de

NEWYORK

Stunde - Heure

1535 11/11 13

NAME - NOM

1 00

nach - à

Brieftelegramm

Stunde - Heure

NAME - NOM

74 15 VI. 56 --1 10

NACHLASS  
PROF. W. PAULI

LT

PROFESSOR W PAULI  
ZURICH UNIVERSITY ZURICH

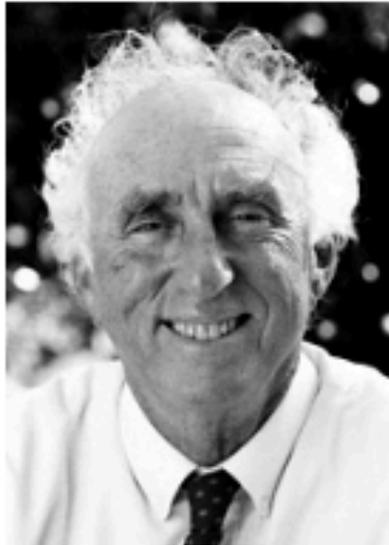
Per Post

①

NACHLASS  
PROF. W. PAULI

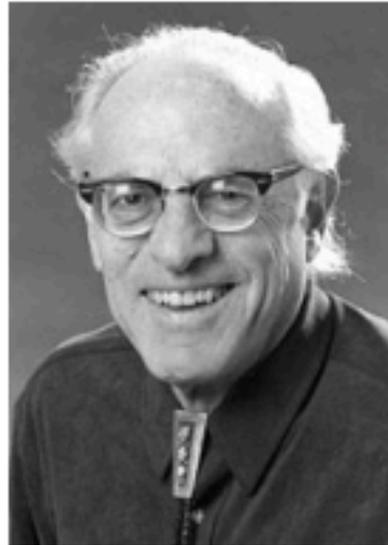
WE ARE HAPPY TO INFORM YOU THAT WE HAVE DEFINITELY DETECTED  
NEUTRINOS FROM FISSION FRAGMENTS BY OBSERVING INVERSE BETA DECAY  
OF PROTONS OBSERVED CROSS SECTION AGREES WELL WITH EXPECTED SIX  
TIMES TEN TO MINUS FORTY FOUR SQUARE CENTIMETERS  
FREDERICK REINES AND CLYDE COWN  
BOX 1663 LOS ALAMOS NEW MEXICO

# The Nobel Prize in Physics 1995



**Martin L. Perl**

Prize share: 1/2



© University of California  
Regents

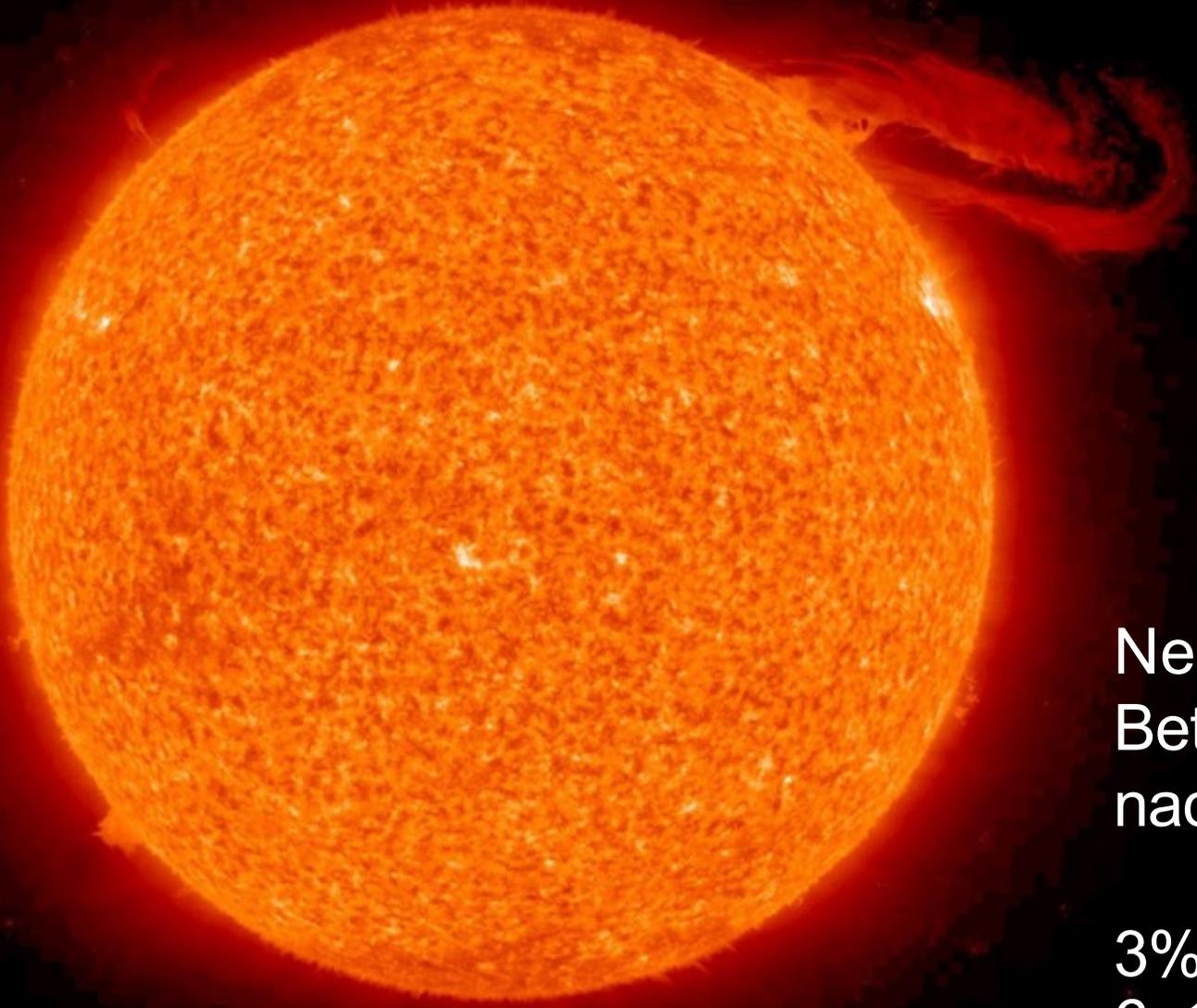
**Frederick Reines**

Prize share: 1/2



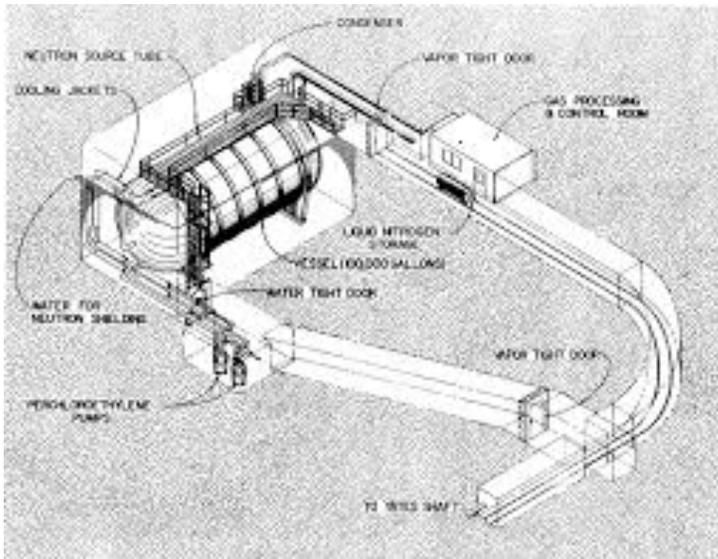
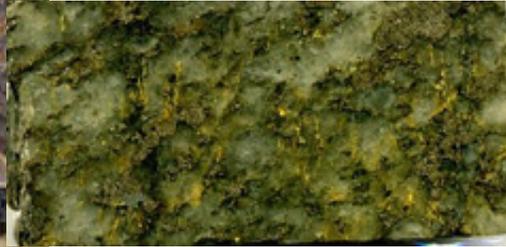
The Nobel Prize in Physics 1995 was awarded *"for pioneering experimental contributions to lepton physics"* jointly with one half to Martin L. Perl *"for the discovery of the tau lepton"* and with one half to Frederick Reines *"for the detection of the neutrino"*.

# Neutrinos der Sonne



Neutrinos von  
Beta-Zerfällen  
nach fusion

3% der Energie  
 $6 \times 10^{11}$  Neutrinos /cm<sup>2</sup>s



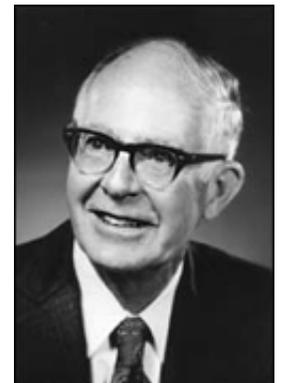
615 t  $C_2Cl_4$

# Homestake Experiment

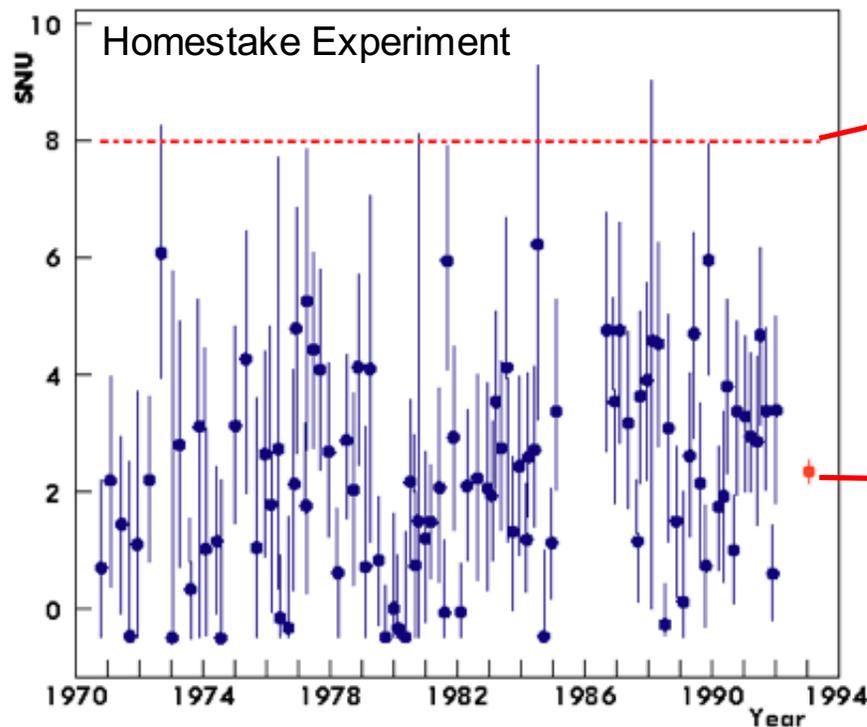
Erste Resultate 1968

Ray Davis Jr. (1914-2006)

Nobel Prize 2002



# “Solar Neutrino problem”



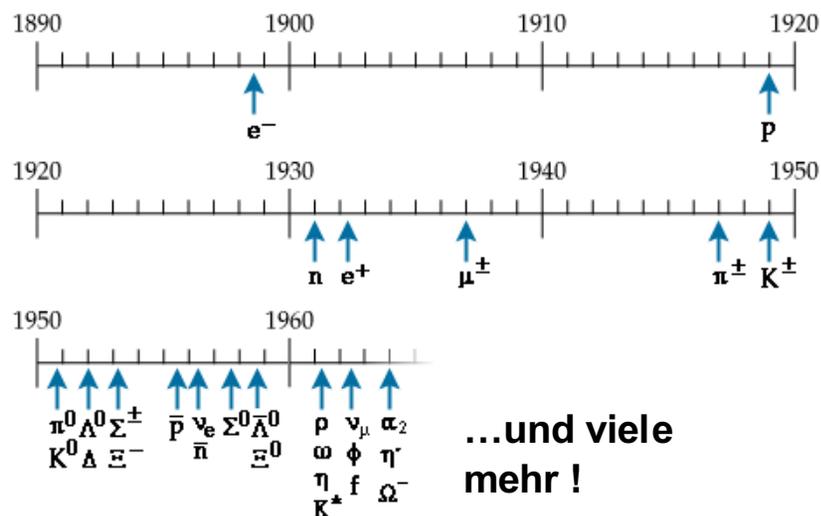
Erwartete Neutrinos

Messung

1930 Pauli

1956 Cowan, Reines

# Noch mehr Teilchen



**Bruno Pontecorvo**

- > Es gibt mehrere Neutrinos
- > Sie wandeln sich ineinander um  
Diese Theorie hat er zwischen 1957 und 1967 entwickelt

Er war es auch, der die Idee für die Reaktor-Neutrino Experimente von Cowan und Reines hatte

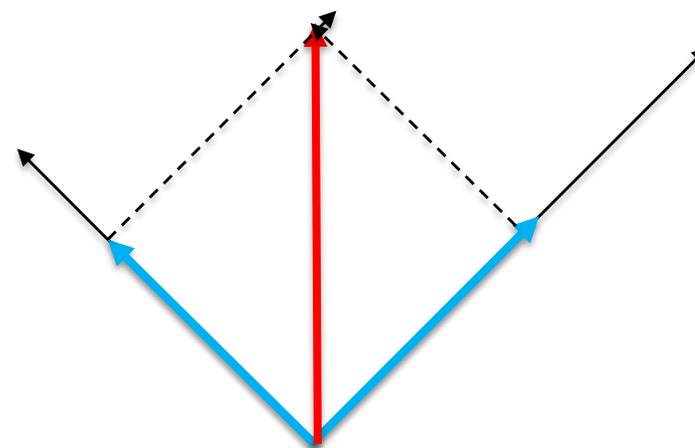
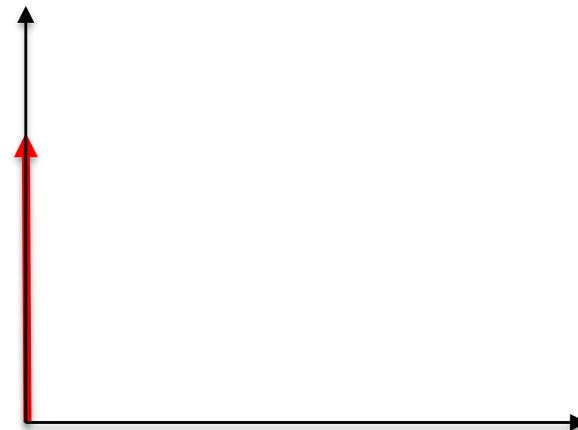


# “Umwandlungskünstler”

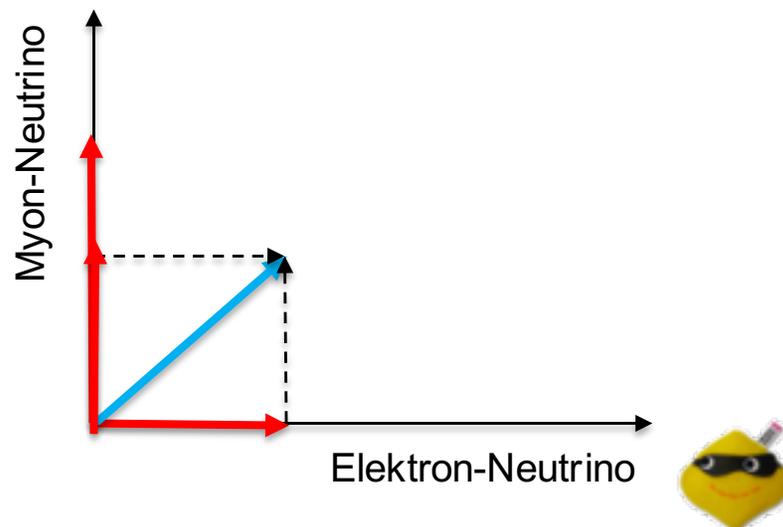
> Quantenphysik

Koordinaten

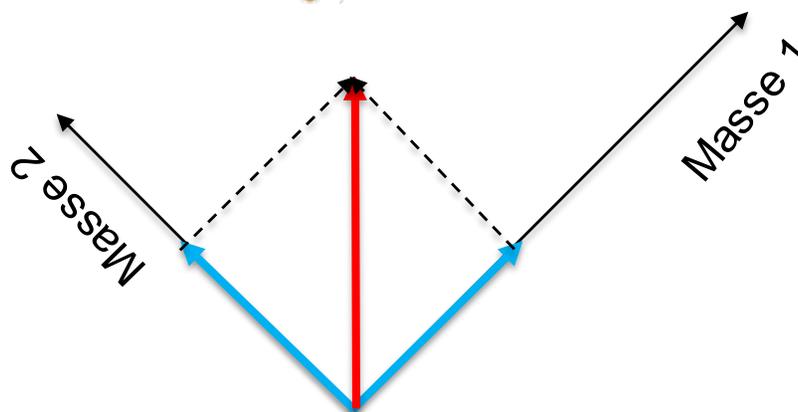
Vektoraddition



Elektron/Myon

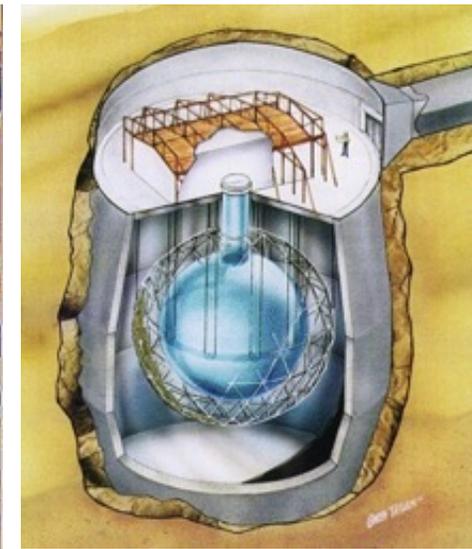
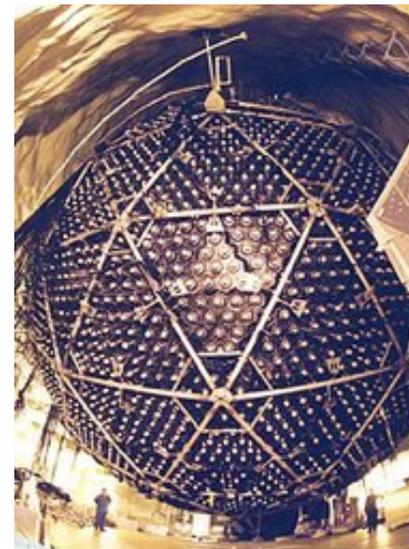
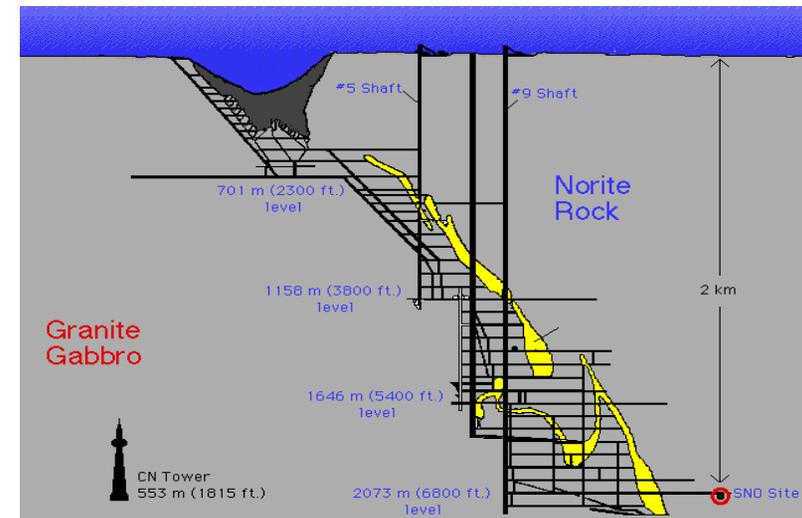


Masse



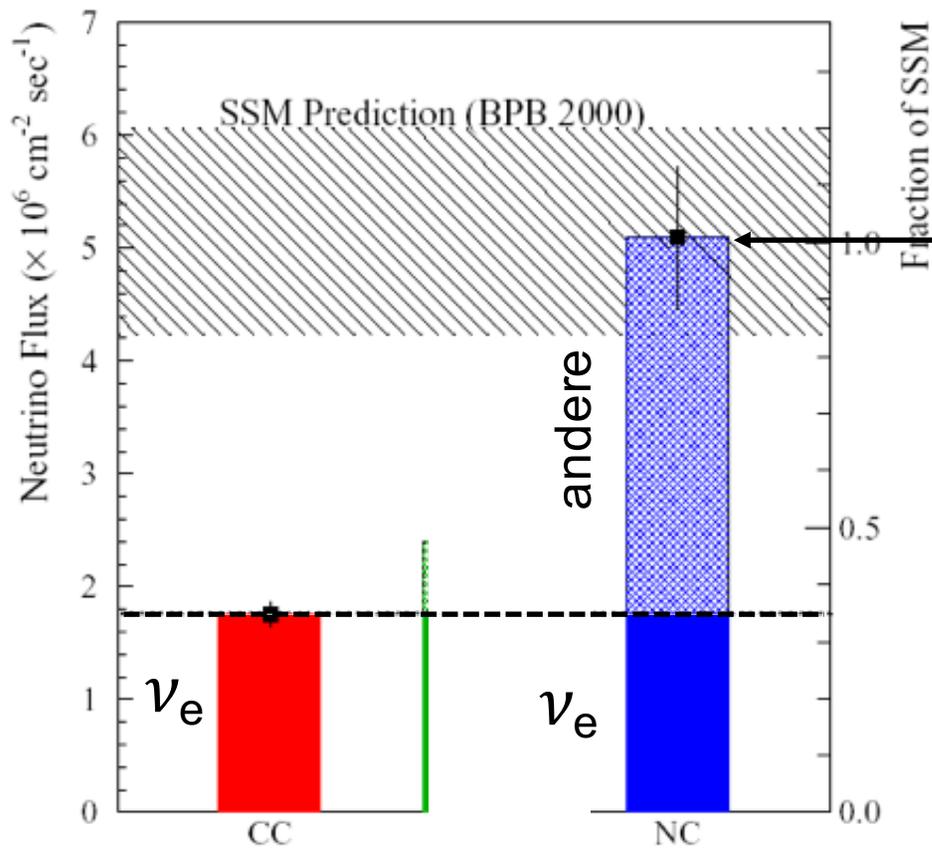
# Können damit die fehlenden Sonnen-Neutrinos erklärt werden ?

- > Neues Experiment
- > **Sudbury Neutrino Observatory**
  - 2092 Meter unter Erde
  - 12 m Durchmesser
  - 1000 Tonnen D<sub>2</sub>O
- > Kann Elektron-Neutrinos sehen und die Summe aller Neutrinos



1990 in Betrieb genommen  
Erste Resultate 2001

# Können damit die fehlenden Sonnen-Neutrinos erklärt werden ?



**Elektron  
Neutrinos**

**Alle  
Neutrinos**

**JA !**

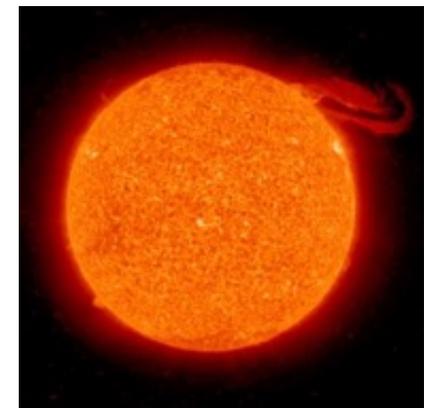
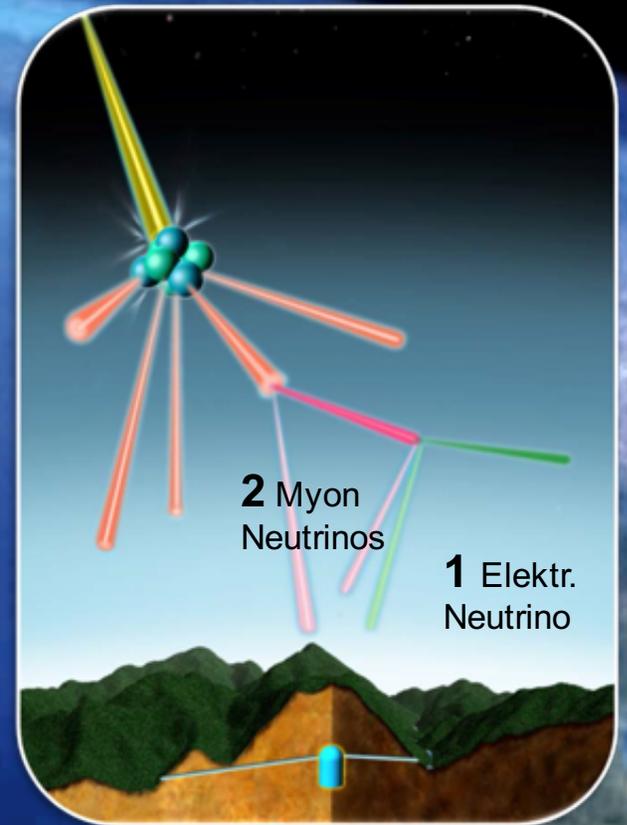


Photo: K. McFarlane,  
Queen's University  
/SNOLAB

Arthur B. McDonald

**Neutrino verwandeln sich, sie haben Masse**

# Weitere Neutrinos...

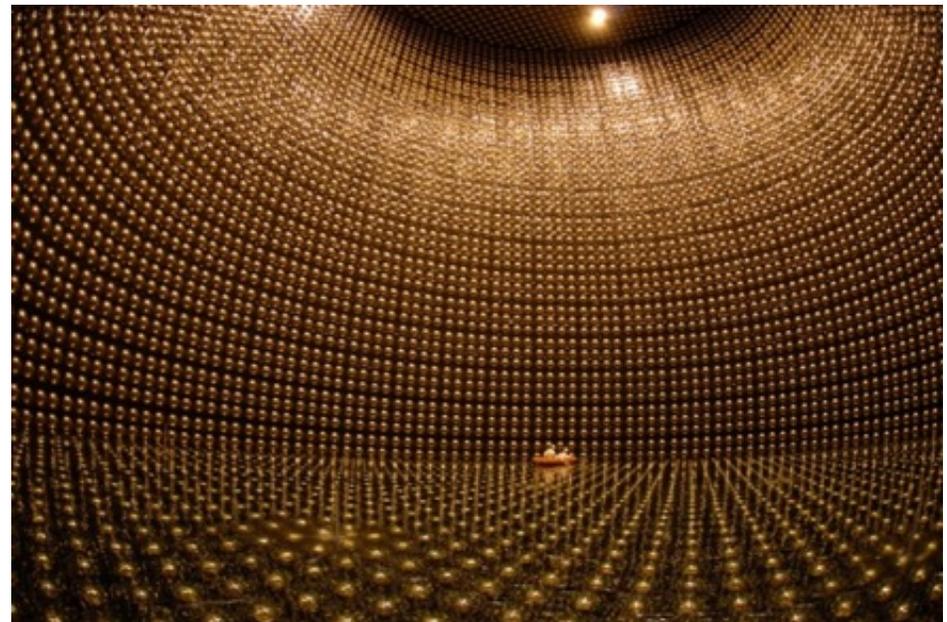
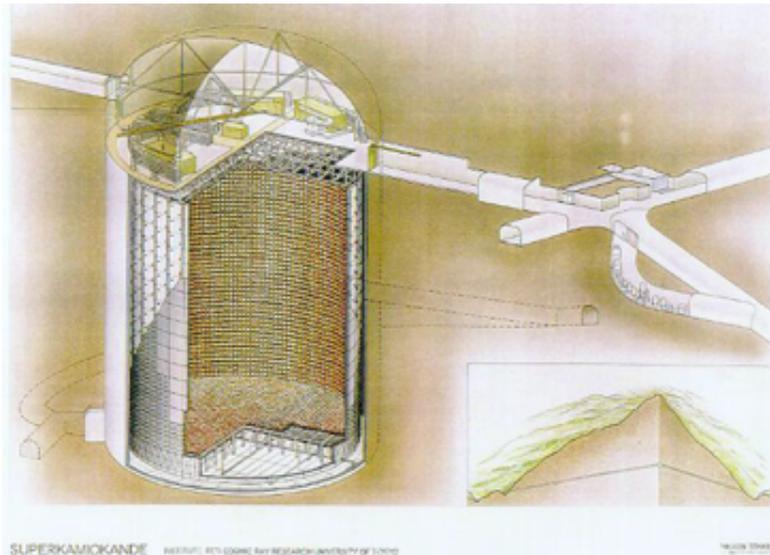


# Super-Kamiokande

- > Kamioka, Japan

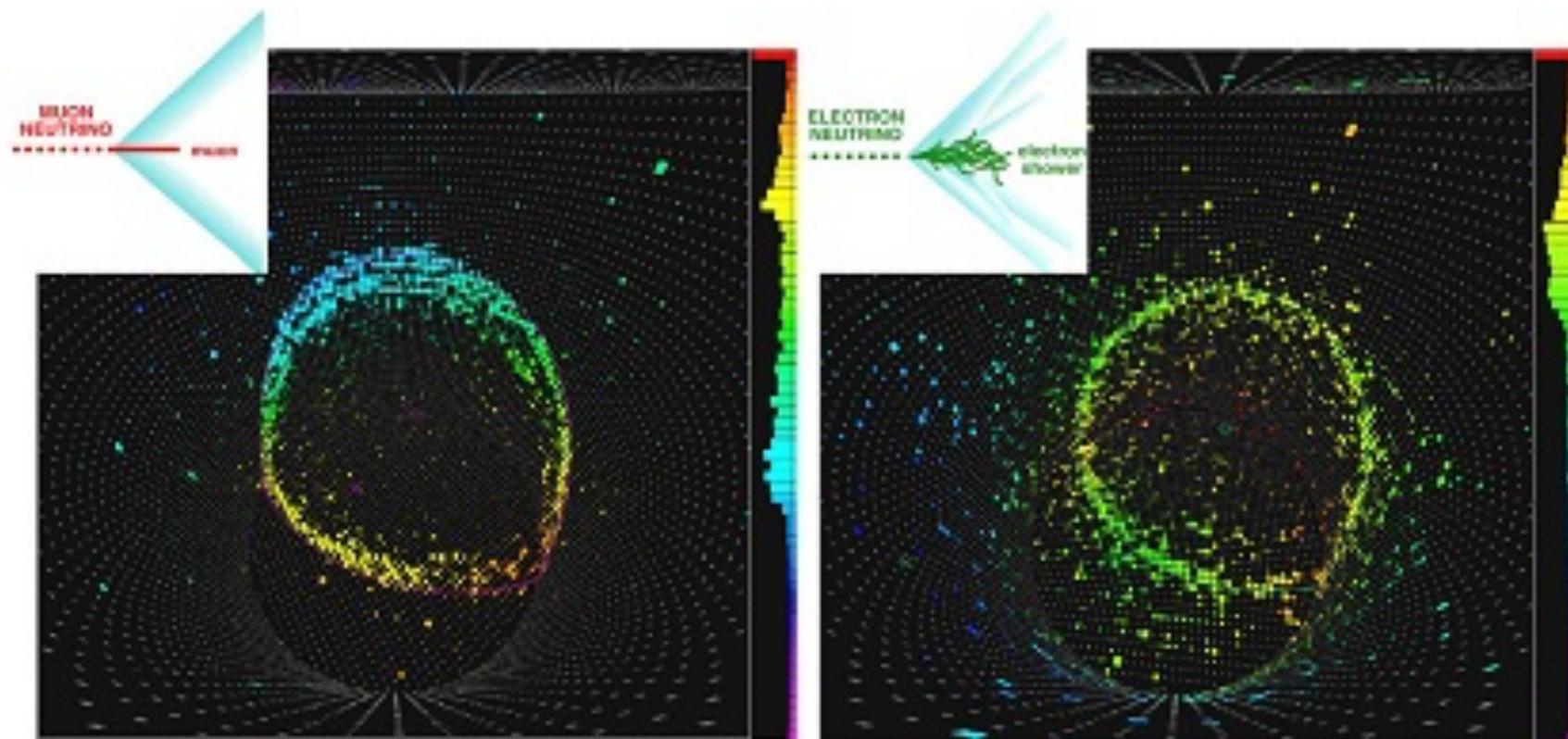


- > 1996: Super-Kamiokande  
50'000 t Wasser  
39 m Durchmesser, 41 m hoch



## Myon Neutrino Signal

## Elektron Neutrino Signal



Erwartet wird: 2

:

1

# “Atmosphärisches Neutrino Problem”

Für Neutrinos von oben stimmt 2:1

Von unten nicht !

- ⇒ Konnte als Umwandlung bewiesen werden (Oszillation)
- ⇒ Myon-Neutrinos verschwinden...

Umwandlung nicht nur  $\nu_e \leftrightarrow \nu_\mu$

- ⇒ Ein drittes Neutrino

Tau-Neutrino

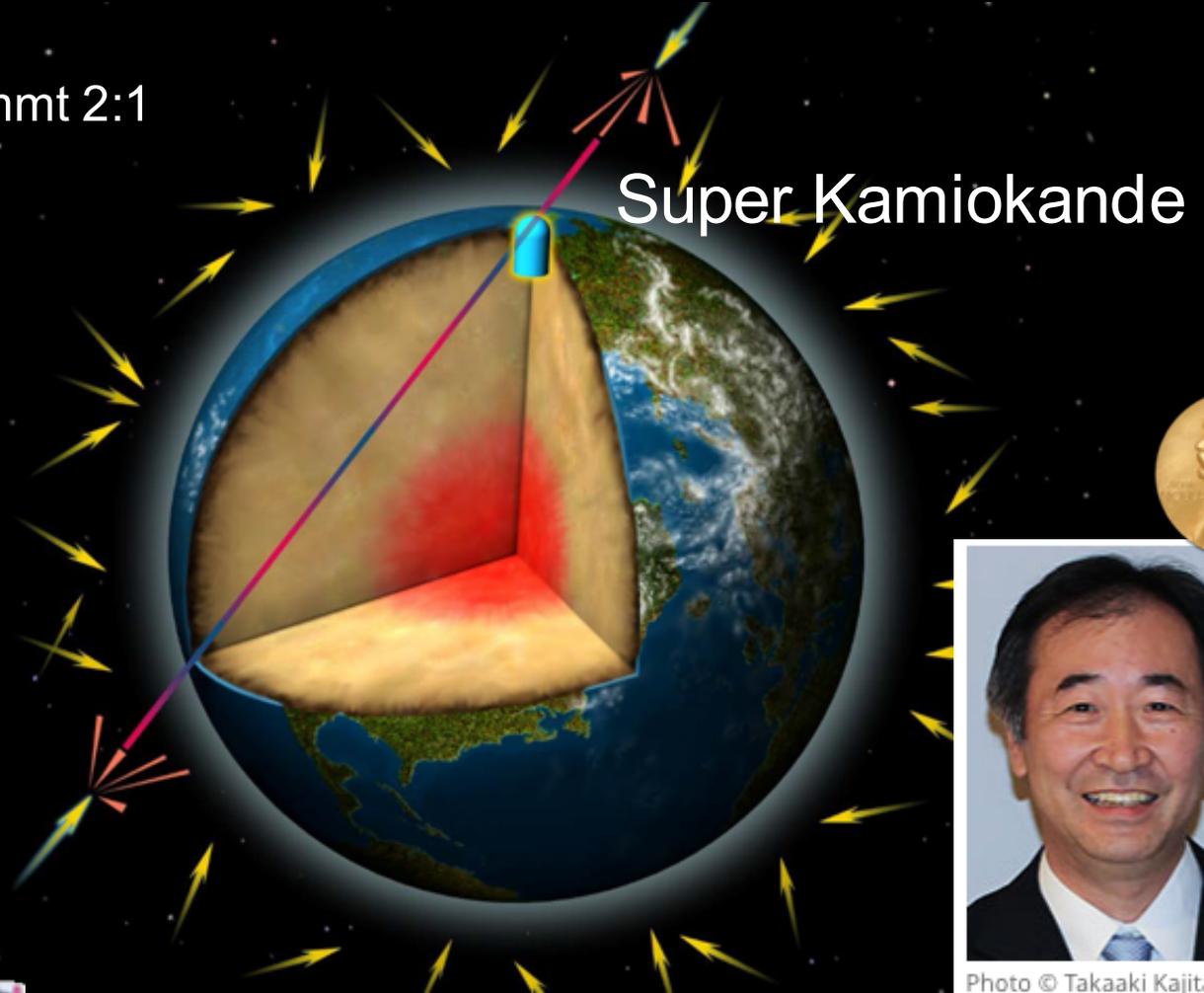
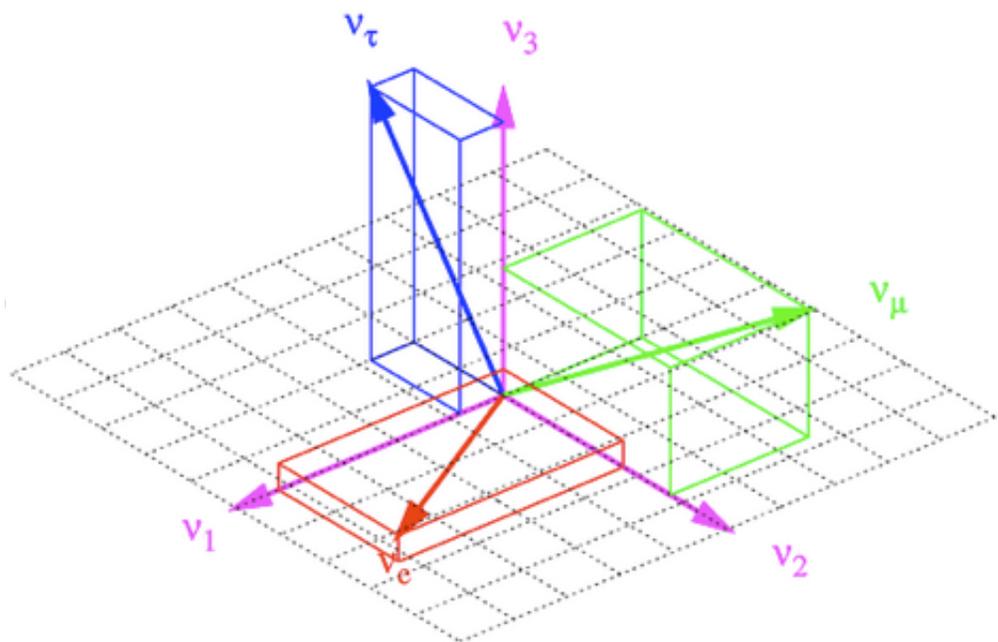
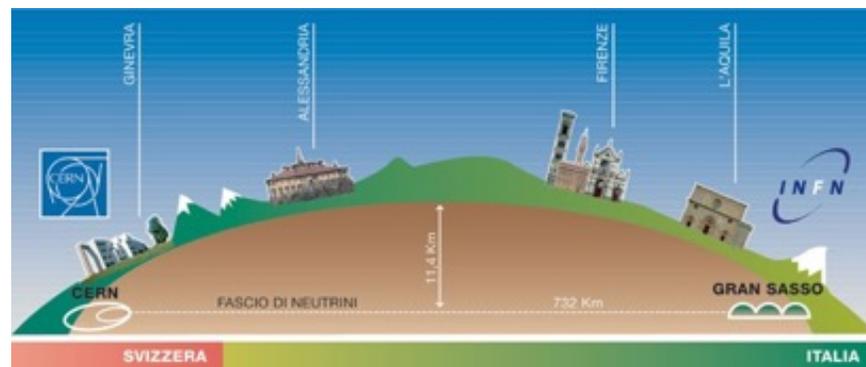


Photo © Takaaki Kajita  
Takaaki Kajita



$$\nu_e \rightarrow \nu_\mu$$



$$\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$$



Entdeckung 2015  
OPERA

$$\nu_\mu \rightarrow \dots$$

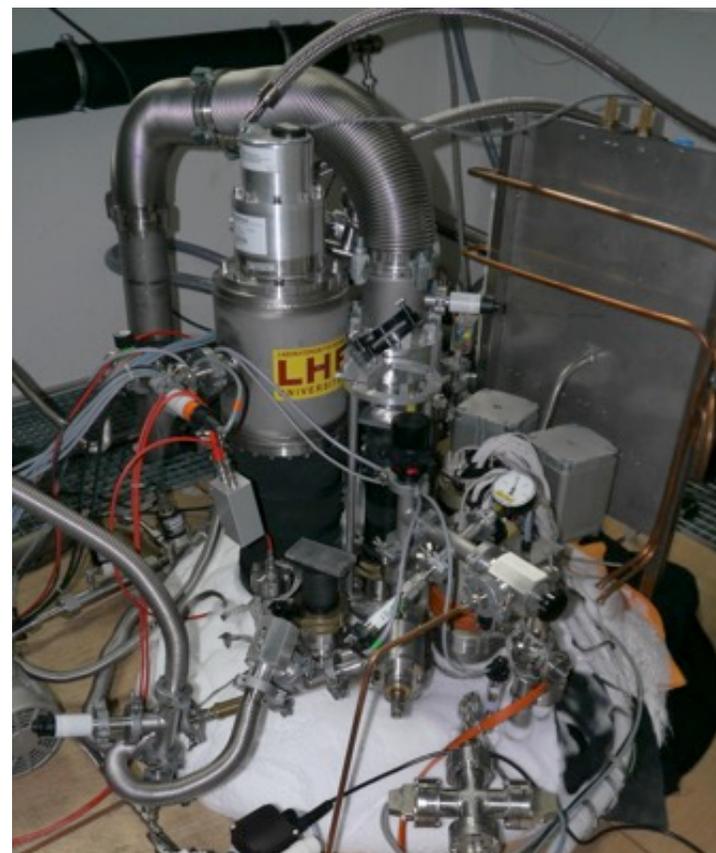


$$\nu_\mu \rightarrow \nu_e$$



Entdeckung 2015  
T2K

# Detektor Entwicklung in Bern

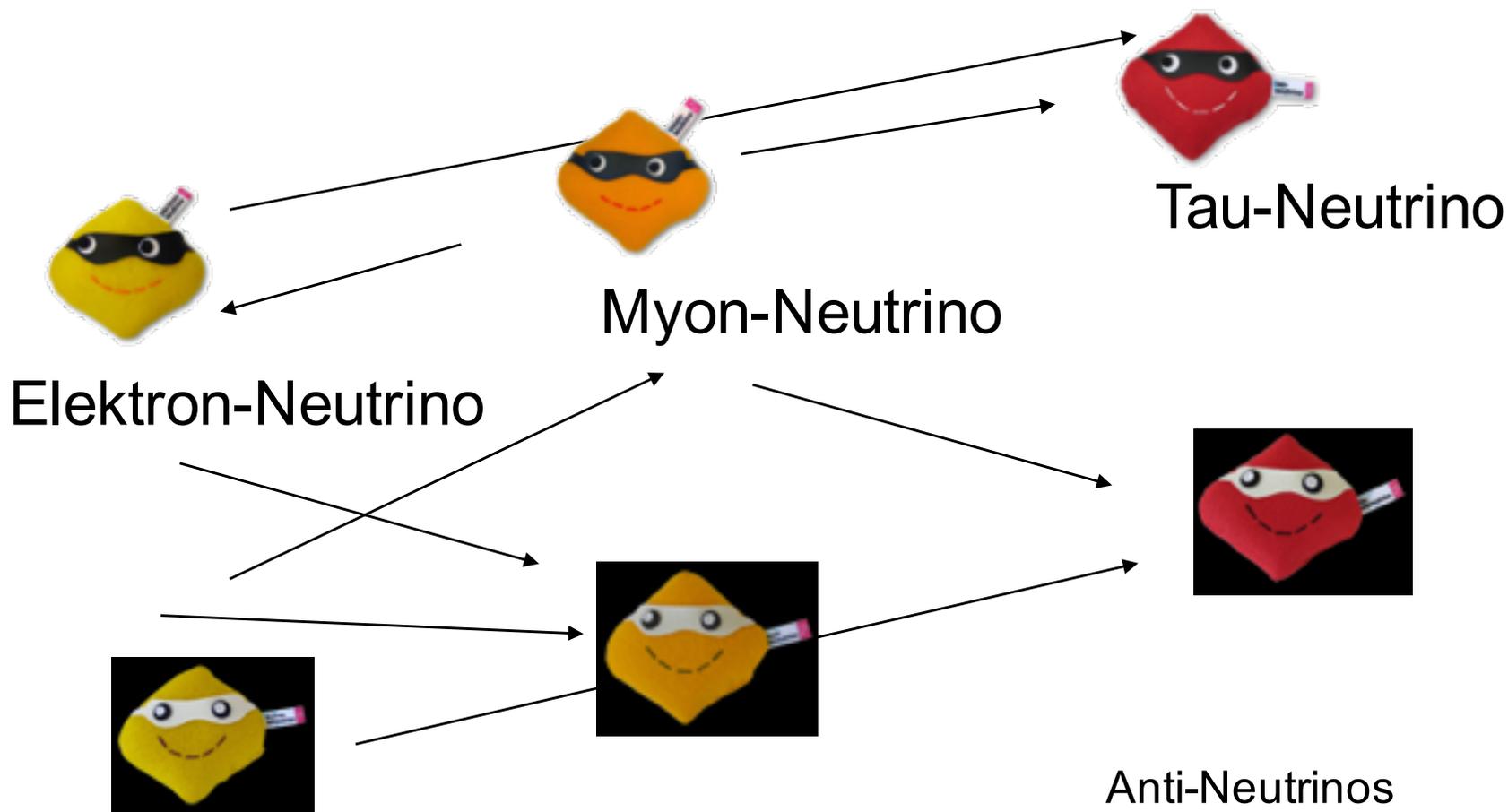


ArgonTUBE  
2009-2015

# MicroBooNE in den USA (2015 —\_ )

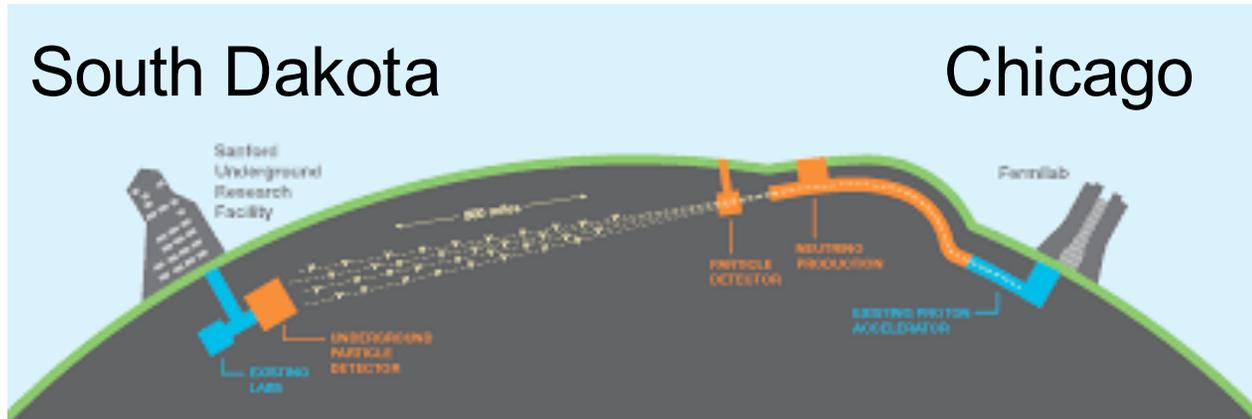


# Es gibt auch Anti-Neutrinos...

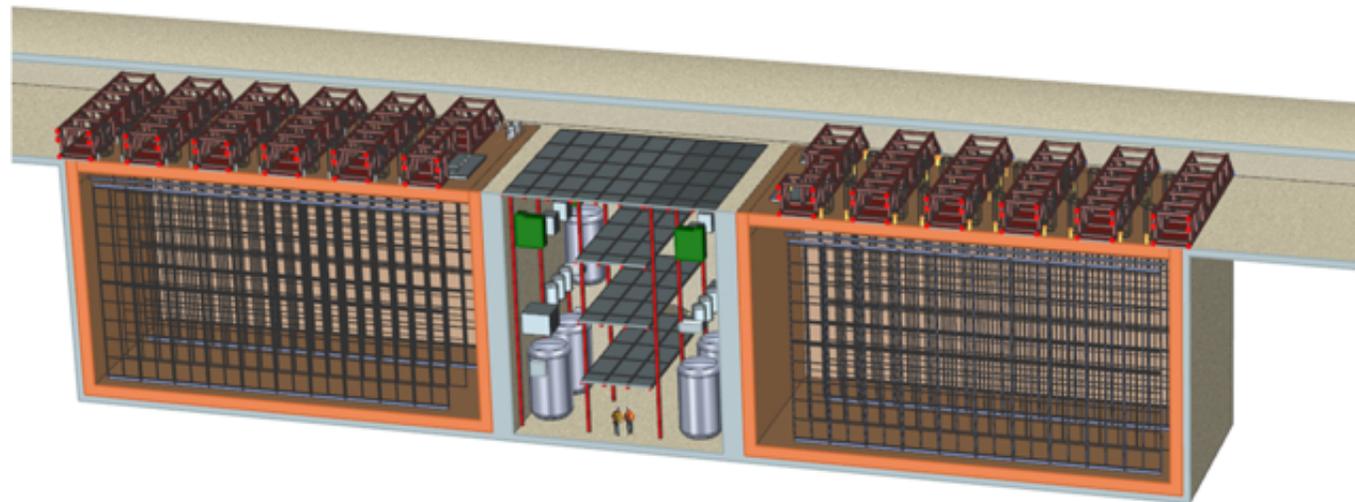


South Dakota

Chicago

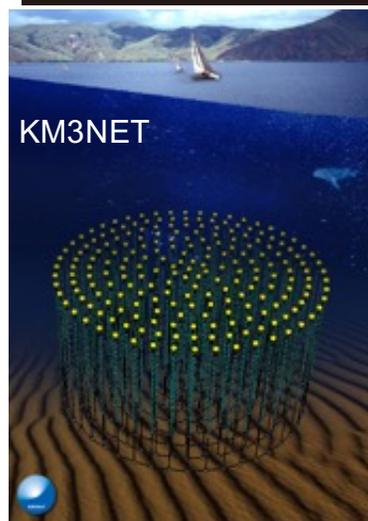
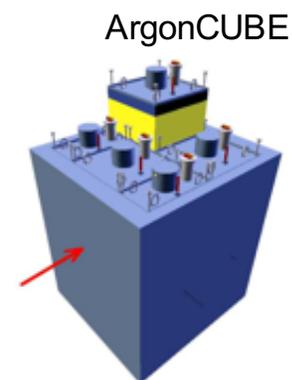
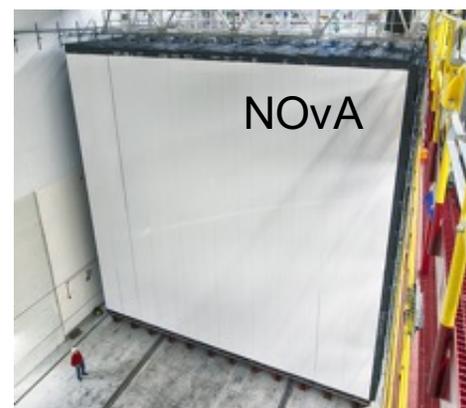
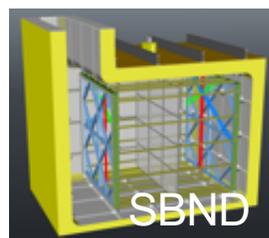
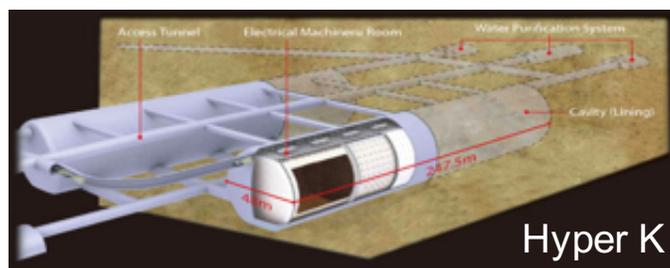


In den 2020er...



# Nobelpreis in Physik 2015

- > Kajita-san und Arthur McDonald  
“... für die Entdeckung von **Neutrino-Oszillationen**,  
was beweist das Neutrinos **Masse** haben”



# Nächste Vorträge

---

29.01.2016 *Beschreibt die String Theorie unsere physikalische Realität?*  
Susanne Reffert

04.03.2016 *Rosetta: Den Geheimnissen von Chury auf der Spur*  
Martin Rubin

11.03.2016 *Von Wasser, Eis und Satelliten – und was uns die Schwerkraft über Umweltveränderungen verrät*  
Adrian Jäggi

Alle Vorträge beginnen um 16:30 Uhr.  
Die Vorlesungen finden im Gebäude für exakte Wissenschaften der Universität Bern im Hörsaal 099 statt.