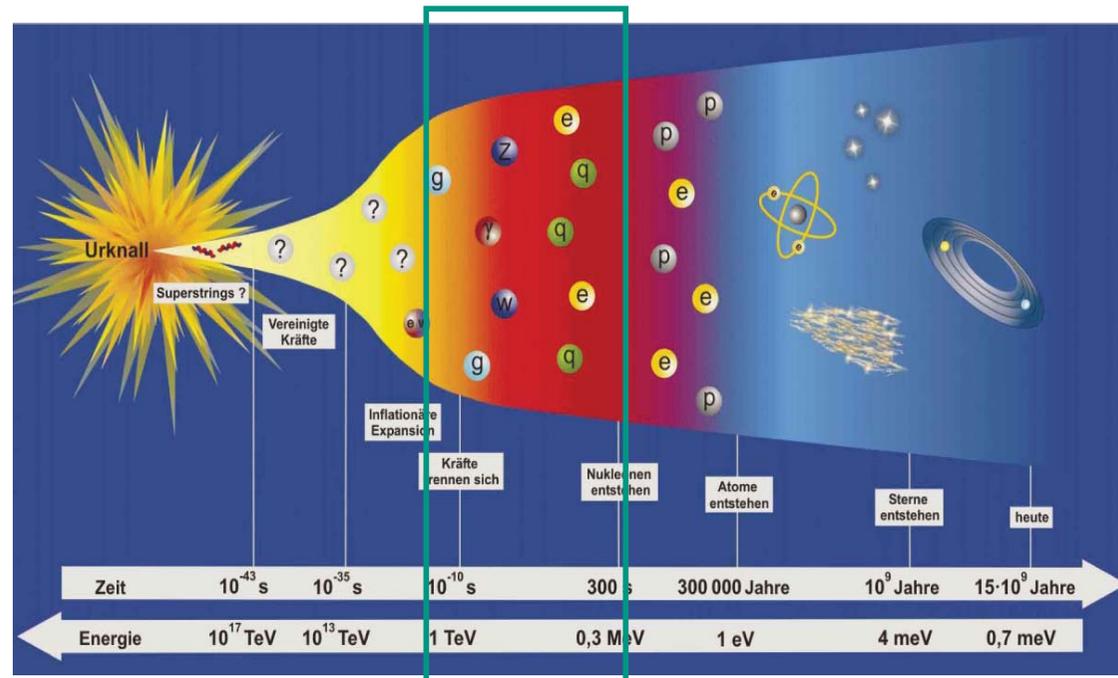


Moderne Experimentalphysik III Sommersemester 2013

Thomas Müller, Thorsten Chwalek,
Institut für Experimentelle Kernphysik



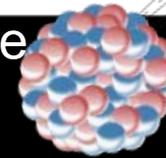
Verständnis von den Vorgängen, die im frühen Universum stattfanden

Moderne Kernphysik - Übersicht

Neutronensterne



instabile Kerne



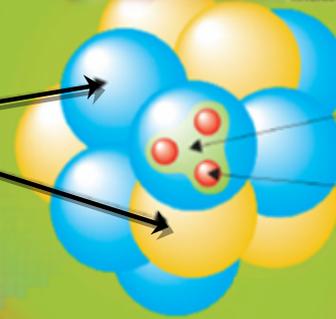
Supernovae



Kerne & Hadronen

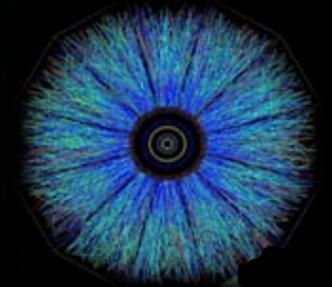


Nukleon



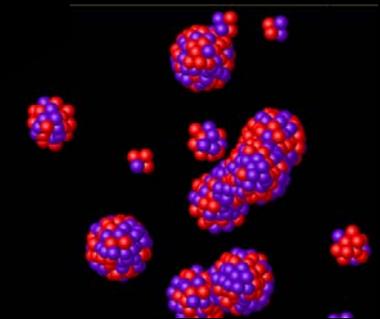
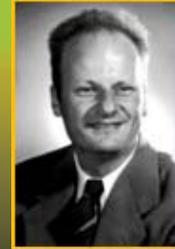
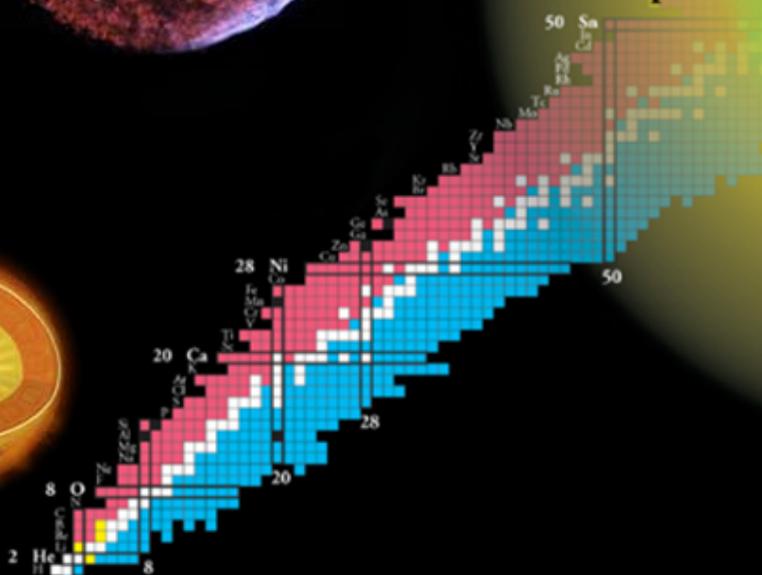
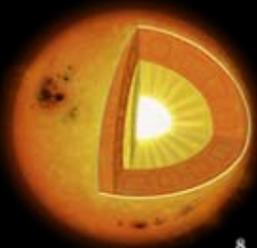
QCD

Quark



Schwere Ionen
Kernreaktionen

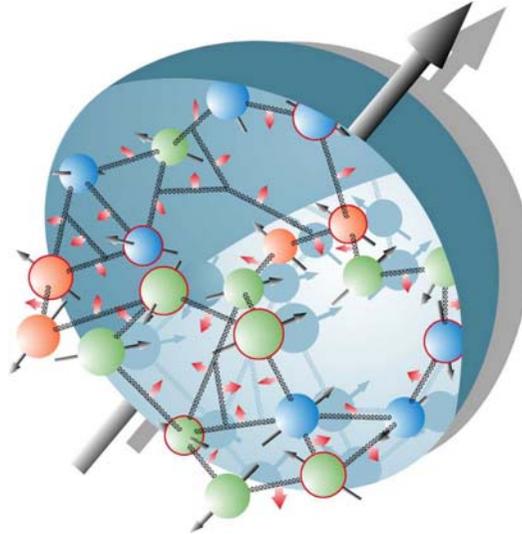
Sonne



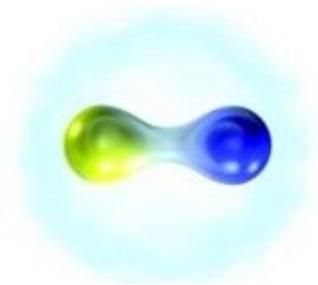
Moderne Teilchenphysik – Übersicht



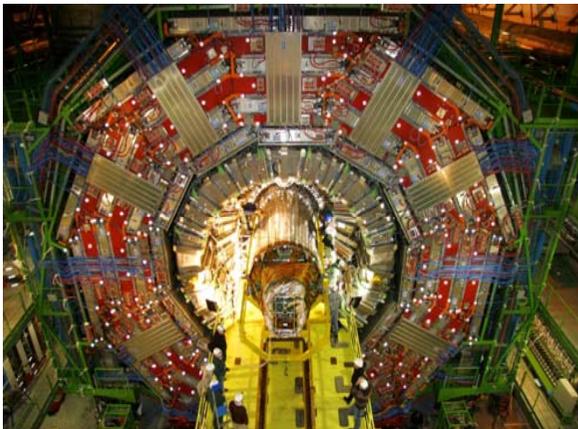
Beschleuniger



Fundamentale
Teilchen



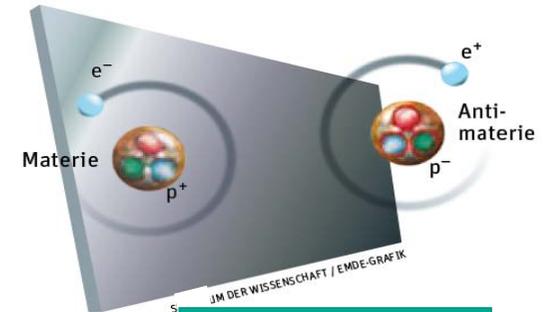
Wechselwirkungen



Detektoren

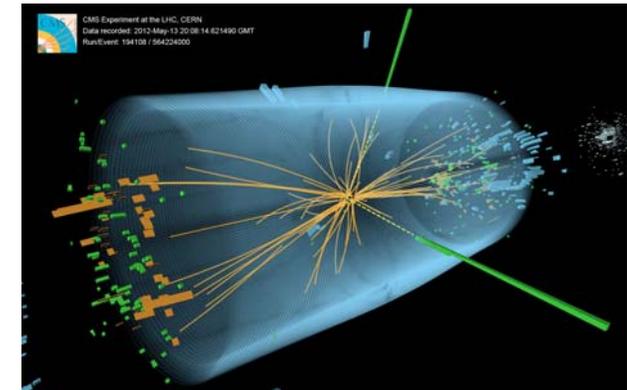


Datenanalyse



Symmetrien

Bosonen



Gliederung der Vorlesung

1. **Einführung**
2. **Eigenschaften stabiler Kerne**
 - 2.1 Rutherford-Streuung & Wirkungsquerschnitt
 - 2.2 Kernradien & Formfaktoren
 - 2.3 Kernmodelle & Kernkräfte
 - Tröpfchen- & Fermigasmodell
 - Schalenmodell
 - Kernkräfte
 - 2.4 Kernreaktionen & Kernfusion
 - 2.5 Nukleare Astrophysik
3. **Nukleonen**
 - 3.1 Aufbau & Wechselwirkung
 - 3.2 Strukturfunktionen

4. **Instabile Kerne**

4.1 Zerfallsgesetze

4.2 α -Zerfall

4.3 β -Zerfall

4.4 γ -Zerfall

4.5 Kernspaltung

5. **Wechselwirkung von Strahlung mit Materie**

6. **Beschleuniger & Detektoren**

6.1 Beschleunigertypen

6.2 Moderne Teilchendetektoren

- MWPCs & Driftkammern
- Szintillatoren, Fiber- & Cherenkovdetektoren
- elektromagnetische & hadronische Kalorimeter
- Hochauflösende Siliziumdetektoren

6.3 Anwendung: moderne Experimente der Teilchenphysik

7. **Grundlagen der Elementarteilchen-Physik**
 - 7.1 Der Teilchenzoo
 - 7.2 Symmetrien und Erhaltungsgrößen in der Teilchenphysik
 - 7.2 Das Quarkmodell
 - 7.3 Wechselwirkungen im Standardmodell
 - starke Wechselwirkung
 - elektromagnetische und schwache Wechselwirkung

8. **Moderne Elementarteilchen-Physik**
 - 8.1 Struktur der Hadronen
 - 8.2 Phänomene der Schwachen Wechselwirkung
 - Mischung von Quarks und Neutrinos
 - 8.3 Elektroschwache Vereinigung
 - 8.4 Fundamentale Entdeckungen: W/Z-Bosonen, Top-Quarks, Higgs-Boson

9. **Ausblick**
 - 9.1 Kern-, Teilchen- und Astroteilchenphysik
 - 9.2 Offene Fragen & neue Projekte

Moderne Physik III - Übungen

Übungsgruppen Nr. 1-12

Übungszeiten: Immer Donnerstags

1: **8.00-9.30**, 2-6: **14.00-15.30**, 7-10: **15.45-17.15**, 11-12: **17.30-19.00**

Orte: Seminarräume (Information auf *homepage*)

Anmeldung für die Tutorien:

ab heute 14.00 Uhr bis Donnerstag 24.00 Uhr:

www.physik.kit.edu/Tutorium/SS13/Physik6

Aufgabenblätter:

[pdf-file auf homepage:](#)

www-ekp.physik.uni-karlsruhe.de/~chwalek/SS2013/ModExPh3/

Oder über [KIT-Mailingliste](#) (im Menü links “Abbonieren” klicken)

<https://www.lists.kit.edu/www/info/modexp32013>

Leitung der Übungen:

Thorsten Chwalek (Thorsten.Chwalek@kit.edu), Tel: 0721-608-43559

Termine: 25.4 / 2.5. / 16.5. / 23.5. / 6.6. / 13.6. / 20.6. / 27.6. / 4.7. / 11.7.

Vorleistung 1 (Übung) ist erfolgreich bestanden, wenn:

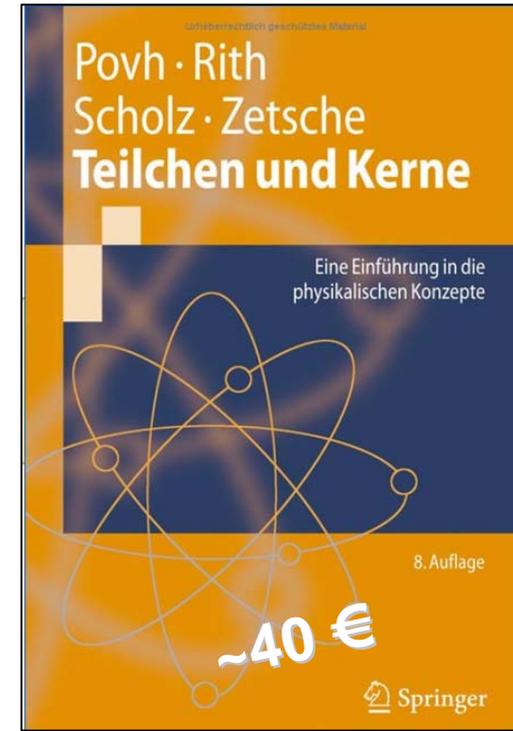
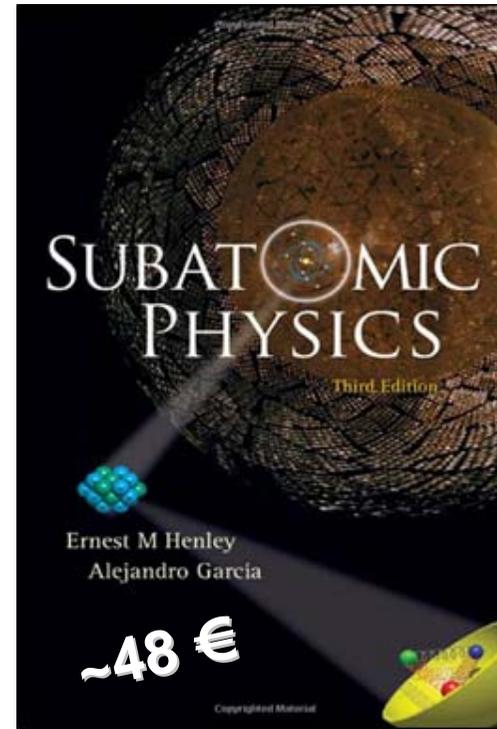
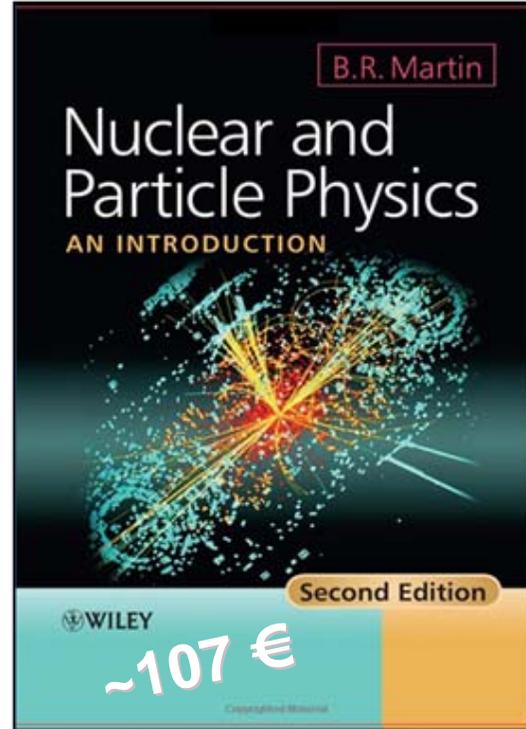
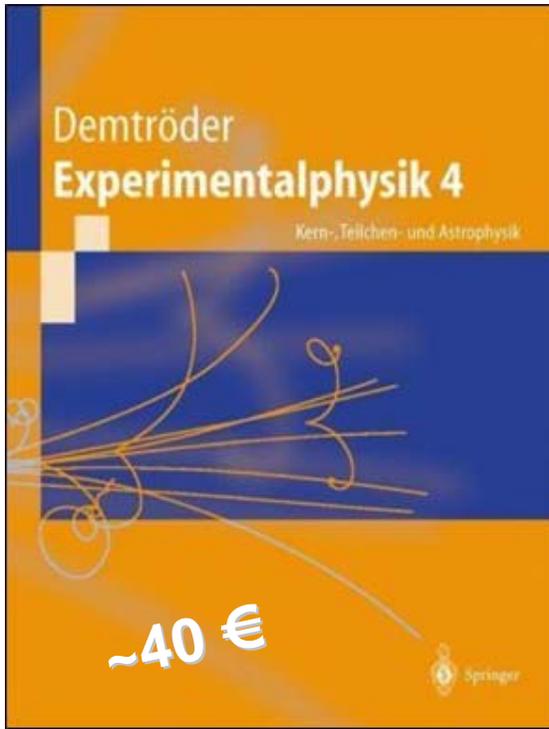
- **mindestens 50% der Punkte** aus den Aufgaben erreicht sind
 - es wird 10 Aufgabenblätter mit je 10 Punkten geben
- **mindestens 3 mal** im Tutorium **vorgerechnet** wurde (auch Teilaufgaben)
- **höchstens 2 Aufgabenblätter nicht** bearbeitet wurden

- Gruppen-Abgabe ist möglich (bis zu 3 Studenten pro Gruppe)
- Ausgabe der Aufgaben: Mittwochs
- Einwurf in Kasten im Hochhaus-Foyer: bis Montag, 18.00 Uhr

- Anmeldung zur Vorleistung 1 via QISPOS-Studierenden-Portal: Sie werden informiert, sobald die Anmeldung freigeschaltet ist.

Vorleistung 2 (Schein):

- Vorleistung 1 berechtigt zur Teilnahme an der Klausur
- Termin wird zeitnah bekannt gegeben



Wolfgang Demtröder

Experimentalphysik 4

Kern-, Teilchen- & Astrophysik.

Springer (3. Aufl., 11/2009)

„4. Band der Reihe über die Experimentalphysik, umfass.

Neubearbeitung der Themen“

Brian R. Martin

Nuclear & Particle Physics

Wiley (2. Aufl., April 2009)

„standard topics of nuclear & particle physics, basic concepts and theory with current & future applications“

Ernest M. Henley

Subatomic Physics

World Scientific (3. ed.,

„fully updated ed. of the Classic textbook, up-to-date introduction to both theory & experiment“

Bogdan Povh et al.

Teilchen und Kerne

Springer (8. Aufl., 2009)

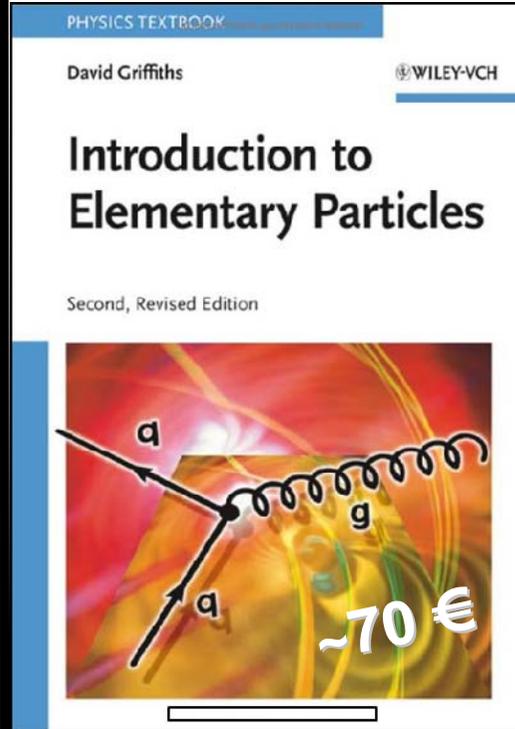
„Einheitliche Darstellung der Kern- & Teilchenphysik aus experimenteller Sicht, zahlreiche Aufgaben“

[Vorlesungsskript Müller 2004 \(auf dem Web\)](#)

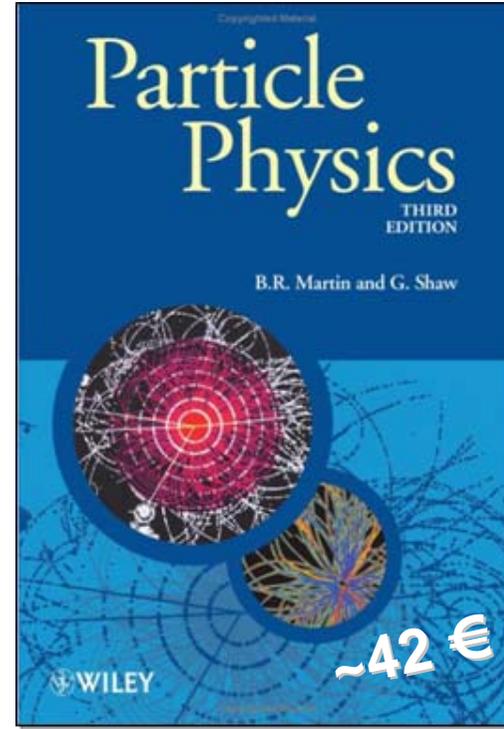
Bücher zur Teilchenphysik



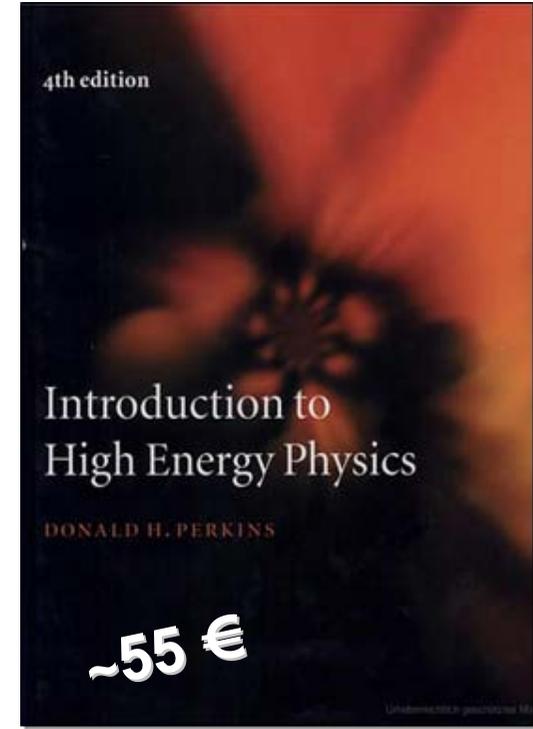
Theo Mayer-Kuckuk
Kernphysik
 Teubner (7. Aufl., 2002)
 „Grundlagen zum Gegenstand der Kernphysik: etablierte Erscheinungen & moderne Perspektiven“



David Griffiths
Introduction to Elementary Particles, Wiley (2. ed. 2008)
 „balancing intuitive understanding & mathematical, rigor, emphasizing particle theory, many exercises“



B.R. Martin, G.P. Shaw
Particle Physics
 Wiley (3. Auflage. 12/2008)
 „an introduction to particle physics, emphasizing the foundations of the SM in experimental data“



Donald H. Perkins
Introduction to High Energy Physics, Cambridge Univ. (4. Aufl., 2000)
 „Introduction to modern particle physics, connects to cosmology & astrophys.“

Bücher zu Detektoren & experimentellen Techniken



Konrad Kleinknecht

**Detektoren für
Teilchen-**

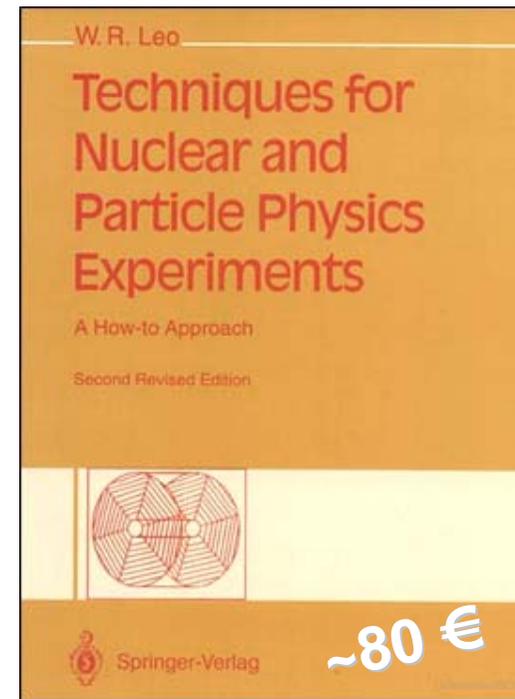
Strahlung, Teubner Verl.

4. Auflage (2005) „Über-

blick über den Aufbau &

die Funktionsweise von

Teilchendetektoren“



William R. Leo

**Techniques for Nuclear
& Particle Physics Exp.**

Springer Verl.(2. Ed. 1994)

„experim. techniques &

instrumentation in nuclear

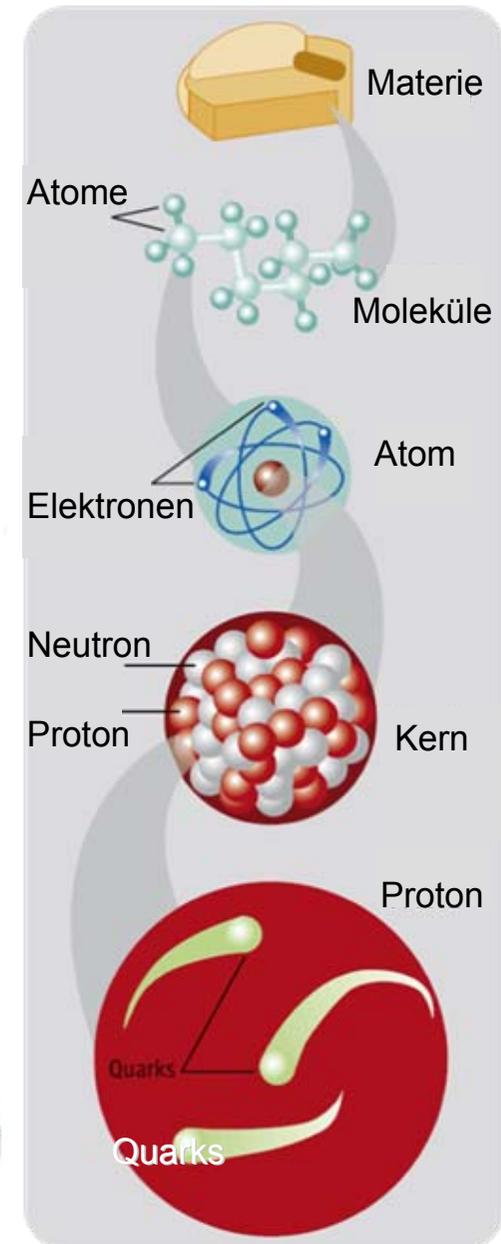
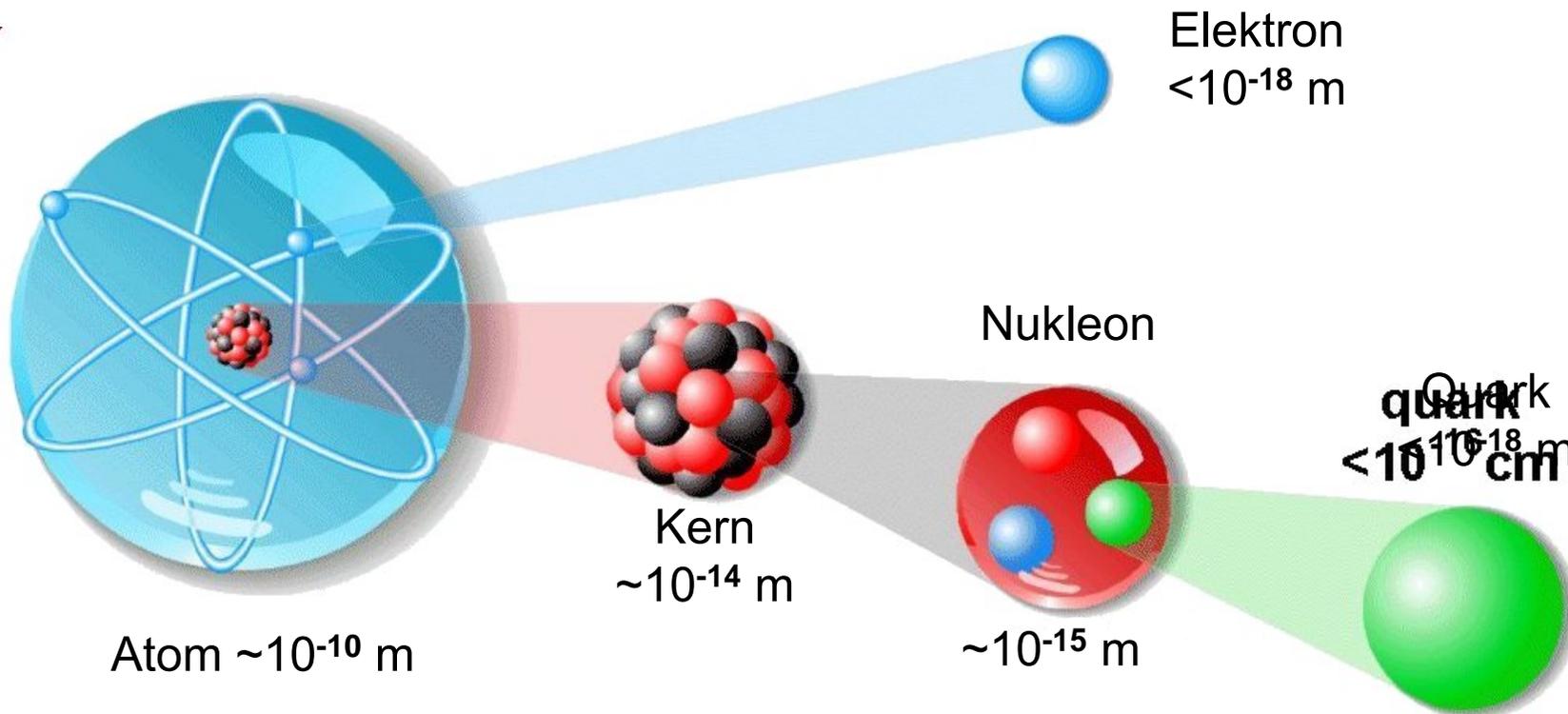
& particle physics expts.“

1. Einführung

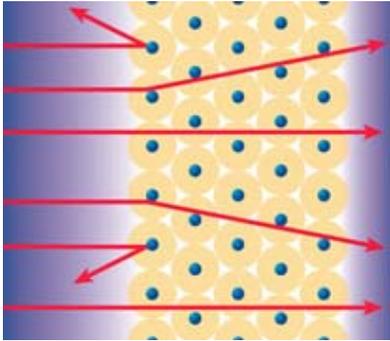
1. Einführung

Größenskalen in der Atom-, Kern- & Teilchenphysik

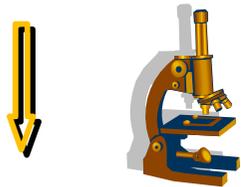
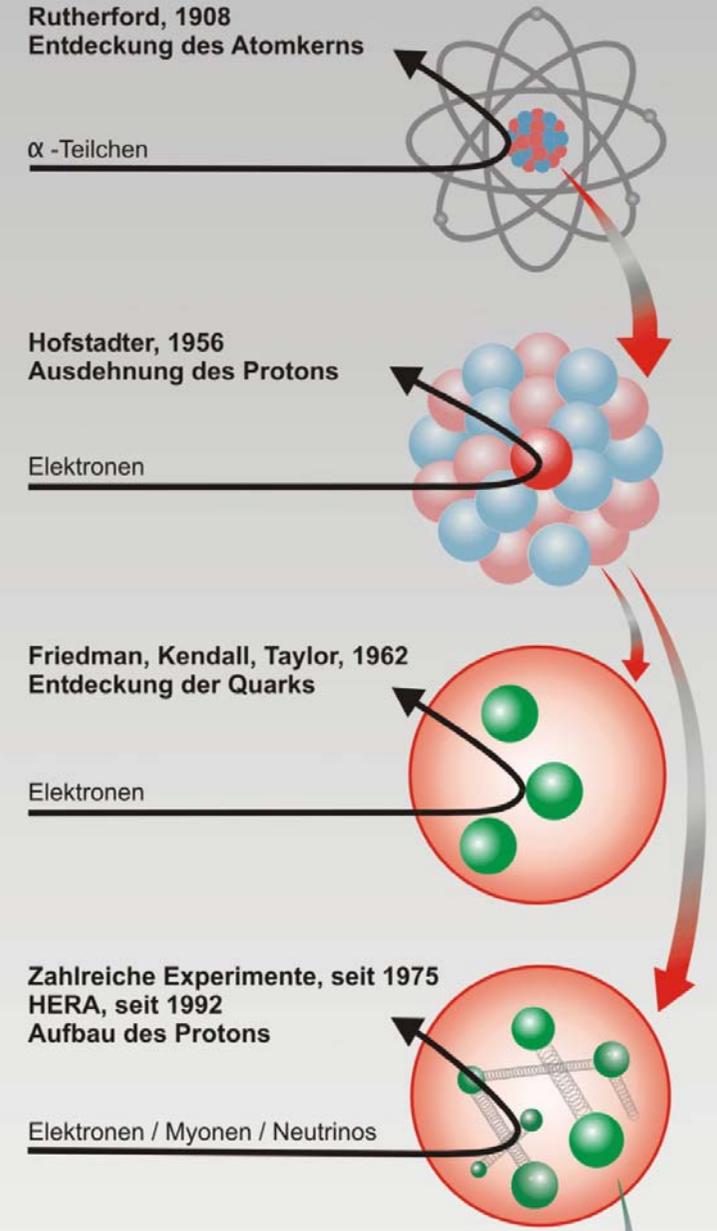
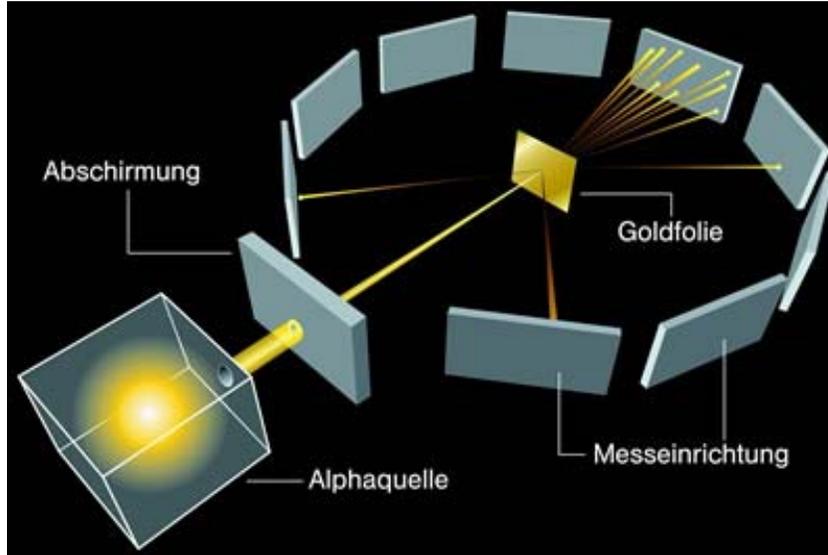
- Kern-/Teilchenphysik: typische Längenskala $\sim 10^{-15}$ m [fm]
- Suche nach den elementaren Bausteinen der Materie
 - reduktionistisches Prinzip: wenige fundamentale Gesetze



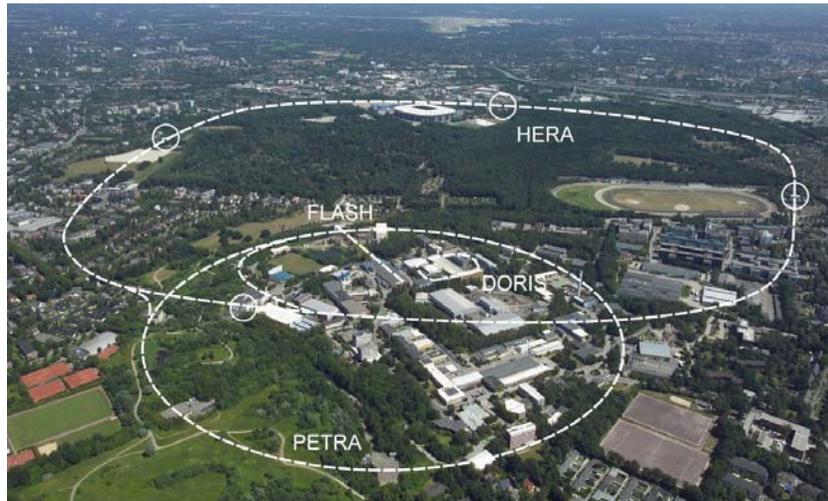
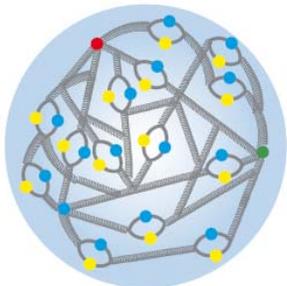
Streuexperimente zur Strukturanalyse



α -Energie: 5 MeV



p-Energie: 800 GeV
e-Energie: 30 GeV



Kernphysik – Historie

- 1896:** Henri Becquerel entdeckt Radioaktivität von Uransalzen
- 1898:** Marie & Pierre Curie entdecken Polonium & Radium (neue Elemente)
- 1907:** Ernest Rutherford klassifiziert α , β , γ – Strahlung ($\alpha = {}^4\text{He}$ -Kern)
- 1911:** Rutherford, Geiger & Marsden entdecken den Atomkern
- 1913:** Bohr'sches Atommodell
- 1919:** erste künstliche Kernumwandlung durch Rutherford
- 1930:** E.O. Lawrence entwickelt die Idee für ein Zyklotron
- 1932:** E. Fermi's Theorie des Kern- β -Zerfalls
- 1935:** H. Yukawa postuliert Theorie der starken Wechselwirkung (Pion)
Bethe-Weizsäcker'sche Massenformel & Tröpfchenmodell

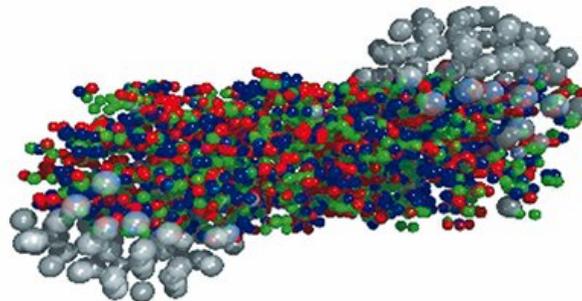


Henri Becquerel
1852-1908
Nobelpreis 1903



Marie Curie (1867-1934)
Pierre Curie (1859-1906)
Nobelpreis 1903

- 1938:** Hans Bethe postuliert CNO Kernfusionsreaktionen für stellare Energie
- 1939:** O. Hahn, F. Straßmann & L. Meitner entdecken Kernspaltung
- 1946:** F. Bloch & E. Purcell verfeinern MRI (NMR) Technik
- 1949:** Aufstellung des Schalenmodells der Kerne (M. Goeppert-Mayer)
- 1957:** Geburt der nuklearen Astrophysik (B²FH-Artikel zur Nukleosynthese)
- 1967:** J. Bell & A. Hewish entdecken Pulsare (Neutronensterne)
- 1969:** Gründung der GSI (Gesellschaft für Schwerionenforschung, Darmstadt)
- 1984:** CEBAF Beschleuniger (6 GeV Elektronen für Kernphysik)
- 1986:** erste Beobachtung eines Doppelbeta-Zerfalls $2\nu\beta\beta$ (seltenster Zerfall)
- 2006:** Erzeugung des bisher schwersten Elements $Z = 118$
- 2010:** ALICE Detektor am LHC sucht nach dem Quark-Gluon Plasma



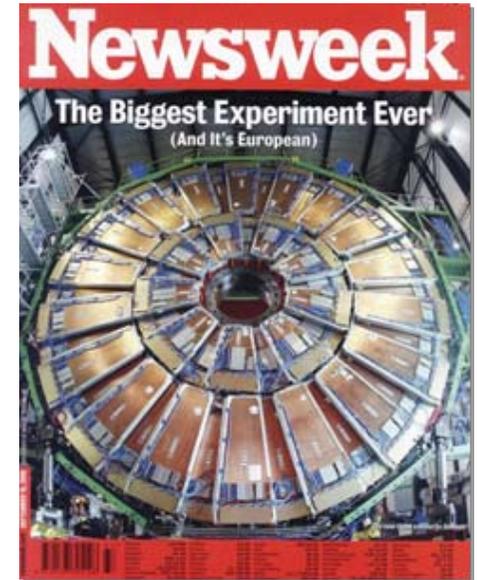
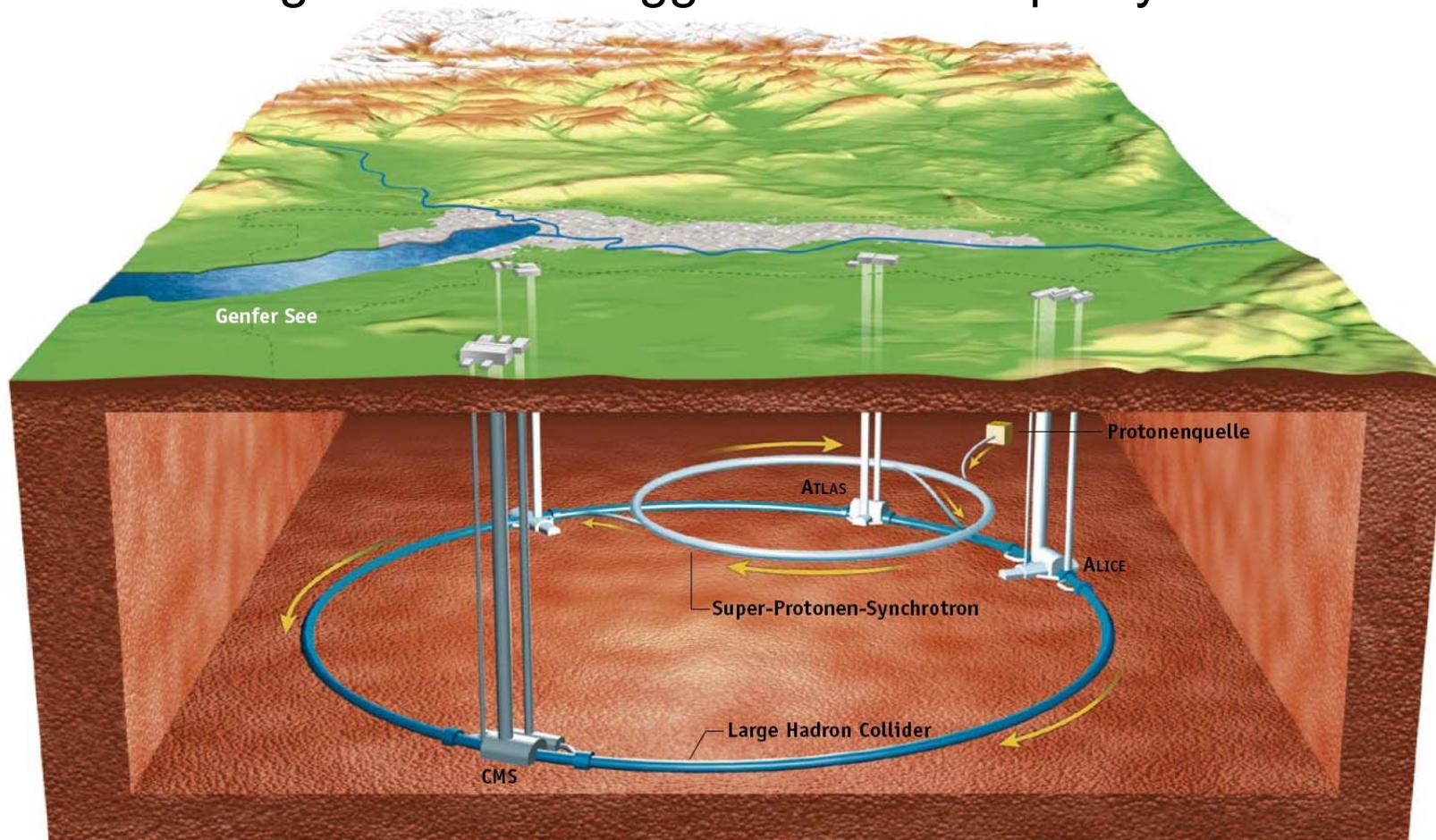
Teilchenphysik – Historie

- 1897:** J. J. Thomson entdeckt das Elektron (Kathodenstrahlen)
 - 1911:** V. Hess entdeckt die kosmische Strahlung
 - 1928:** P.A.M. Dirac postuliert die Antimaterie
 - 1930:** C. Anderson entdeckt das Positron, W. Pauli postuliert das Neutrino
 - 1932:** J. Chadwick entdeckt das Neutron
 - 1936:** Entdeckung des Myons in der kosm. Strahlung (Anderson, Neddermeyer)
 - 1947:** C. Powell entdeckt das Pion (kosm. Strahlung) mit Emulsionen
 - 1955:** Entdeckung des Antiprotons durch E. Segre & O. Chamberlain
 - 1956:** erster Nachweis des Neutrinos durch F. Reines & C. Cowan
 - 1957:** Verletzung der Paritätserhaltung (schwache Ww.): Wu, Lee und Yang
 - 1962:** Entdeckung des 2. Neutrino (ν_μ): Lederman, Schwartz, Steinberger
 - 1964:** Nachweis der CP-Verletzung bei Kaon-Oszillationen (Cronin, Fitch)
- Higgs-Mechanismus für spontane Symmetriebrechung (P. Higgs)

- 1964:** M. Gell-Mann & G. Zweig postulieren die Existenz von Quarks
- 1967:** Theorie der elektroschwachen Vereinheitlichung: S. Weinberg, A. Salam
- 1973:** erster Nachweis neutraler schwacher Ströme (Gargamelle)
- 1974:** B. Richter (SLAC) und S. Ting (BNL) entdecken das J/Ψ (Charmonium)
M. Perl entdeckt das Tauon (SLAC)
- 1977:** erster Nachweis des Upsilon Υ durch L. Ledermann (Bottomonium)
- 1979:** am Speicherring PETRA: Nachweis der Gluonen durch 3-Jet-events
- 1983:** erster Nachweis der intermediären Vektorbosonen W^\pm , Z^0 am CERN
- 1987:** SN1987a: erster Nachweis von Supernova-Neutrinos
- 1989:** Beschränkung der Teilchengenerationen auf $N = 3$ (Z^0 -Breite)
- 1995:** erster Nachweis des Top-Quarks am Fermilab
- 1998:** Beobachtung von Neutrino-Oszillationen (Super-Kamiokande)
- 2001:** SNO löst das solare Neutrino-Problem
- 2009:** LHC wird (wieder) in Betrieb genommen

LHC - Large Hadron Collider am CERN (Genf)

p-p Kollisionen bei $\sqrt{s} = 14$ TeV Schwerpunktsenergie
 Zielsetzung: Nachweis Higgs-Boson & Supersymmetrie



Teilchenphysik am KIT

