

Vorlesung:

Teilchenphysik I (Particle Physics I)

Einführung und Organisatorisches

Günter Quast

Fakultät für Physik
Institut für Experimentelle Kernphysik

WS20/21



Master-Kurs

Teilchenphysik I (Particle Physics I)

Prof. Dr. G. Quast, PD Dr. Klaus Rabbertz & viele Assistenten

Vorlesung: Di.14:00 und Mi., 8:00

als live-Stream mit Aufzeichnung, **siehe Link auf [ilias](#)**

Praktische Übungen, **siehe [ilias-Link zur Übung](#)**

Leitung: Klaus Rabbertz, Artur Gottmann, Alexander Dierlamm

Ort und Zeit: Do. 14:00 auf [jupyter-Server der Fakultät](#) Fakultät
oder mit eigenen Notebooks (bei Bedarf 2. Block 15:45 – 17:15)
sowie Praktika am Campus Nord

Vorbesprechung zur Übung:

Do., 5.11. 2020, 14:00

Das Modul Teilchenphysik I

mit 8 LP ist laut Studienplan
verwendbar als

- Teil eines
Schwerpunktfachs
- Teil eines Vertiefungsfachs
- eigenständiges Wahlfach
(unbenotet)

Voraussetzung für die Bestätigung der erfolgreichen Teilnahme:

- erfolgreiche Bearbeitung von
2/3 der Übungsblätter
- erfolgreiche Teilnahme an einer
Laborübung
- Vortrag zu einem Übungsblatt
oder eine Laborübung

M

3.215 Modul: Teilchenphysik I [M-PHYS-102114]

Verantwortung: Prof. Dr. Ulrich Husemann
Prof. Dr. Thomas Müller
Prof. Dr. Günter Quast
Dr. Klaus Rabbertz

Einrichtung: KIT-Fakultät für Physik

Bestandteil von: Physikalisches Schwerpunktfach / Experimentelle Teilchenphysik (Pflichtbestandteil)
Physikalisches Ergänzungsfach / Experimentelle Teilchenphysik (Pflichtbestandteil)

Leistungspunkte
8

Turnus
Jedes Wintersemester

Dauer
1 Semester

Sprache
Deutsch

Level
4

Version
1

Pflichtbestandteile

T-PHYS-102369	Teilchenphysik I	8 LP	Husemann, Müller
---------------	------------------	------	------------------

Qualifikationsziele

Die Studierenden können Elementarteilchen klassifizieren und mithilfe von Symmetrien, Feynman-Diagrammen und Lagrangedichten qualitativ Wechselwirkungen zwischen Elementarteilchen analysieren. Durch die Kombination dieser Kenntnisse mit Wissen über den Nachweis von Elementarteilchen können die Studierenden die Funktionsweise moderner Teilchenphysikdetektoren diskutieren. Die Studierenden werden befähigt, aktuelle Daten und Abbildungen aus der wissenschaftlichen Literatur zur Teilchenphysik zu interpretieren und den aktuellen Stand der Forschung sowie wichtige „offene Fragen“ darzustellen. Die Studierenden können Techniken der statistischen Datenanalyse und Monte-Carlo-Simulation auf einfache Probleme der Teilchenphysik anwenden und eine grundlegende Charakterisierung von Silizium-Spurdetektoren im Labor durchführen.

Voraussetzungen

keine

Modellierte Voraussetzungen

Es müssen die folgenden Bedingungen erfüllt werden:

1. Das Modul **M-PHYS-102115 - Teilchenphysik I (NF)** darf nicht begonnen worden sein.

Inhalt

Vorlesung:

- Grundbegriffe der Teilchenphysik
- Detektoren und Beschleuniger
- Grundlagen des Standardmodells
- Tests der elektroschwachen Theorie
- Flavour-Physik
- QCD
- Physik bei hohen Transversalimpulsen
- Higgs-Physik
- Physik massiver Neutrinos
- Physik jenseits des Standardmodells

Praktische Übungen:

- Aktuelle Methoden der Monte-Carlo-Simulation und Datenanalyse in der Teilchenphysik
- Messungen an modernen Silizium-Spurdetektoren.

Empfehlungen

Grundkenntnisse der experimentellen Teilchenphysik aus der Vorlesung Moderne Experimentalphysik III im Bachelorstudiengang Physik.

Anmerkungen

Für Studierende der KIT-Fakultät für Informatik gilt: Die Prüfungen in diesem Modul sind über Zulassungen vom ISS (KIT-Fakultät für Informatik) anzumelden. Dafür reicht eine E-Mail mit Matrikeln. und Name der gewünschten Prüfung an Beratung-informatik@informatik.kit.edu aus.

Format

- Vorlesung mit Folien in Englisch
Vortragssprache Deutsch (Englisch in Absprache möglich)
- Übungsblätter in Englisch,
Beratung durch Tutoren wahlweise Deutsch oder Englisch
- Laborexperimente zu Eigenschaften von Siliziumdetektoren
am Campus Nord, Simulationsübungen am Campus Süd
- Kurze Abschlussvorträge in der letzten Woche
(statt Vorlesung und Übung)
- Exkursion zum CERN: dieses Mal leider nur „virtuell“ möglich

Dozenten:

Günter Quast: guenter.quast@kit.edu Sprechstunde Fr., 13:00, Raum 9-05

Klaus Rabbertz: klaus.rabbertz@kit.edu

Übungsleitung:

Artur Gottmann: artur.gottmann@kit.edu

Klaus Rabbertu: klaus.rabbertz@kit.edu

Alexander Dierlamm: alexander.dierlamm@kit.edu

[homepage der Veranstaltung http://etp.kit.edu/~quast](http://etp.kit.edu/~quast)

Contents of practical exercises

1. Introduction to jupyter notebooks
2. Detector simulation with Geant
3. Event generator HERWIG
4. Analysis project 3: Flavour Physics
5. Analysis project 2: Higgs Search
6. Analysis project 1: Top Physics
7. Analysis project 4: search for SuSy
8. Hardware Lab
9. Presentations

Vorbesprechung zu den praktischen Übungen:

Do., 05.11. 2020 per Video

Artur Gottmann: artur.gottmann@kit.edu

Klaus Rabbertz: klaus.rabbertz@kit.edu

Alexander Dierlamm: alexander.dierlamm@kit.edu

Die Assistenten

Maximilian Burkart

Florian von Cube

Jubna Jabbar

Maximilian Horzela

Max Neukum

Sebastian Wieland

Alexander Dierlamms Team für Hardware-Übungen:

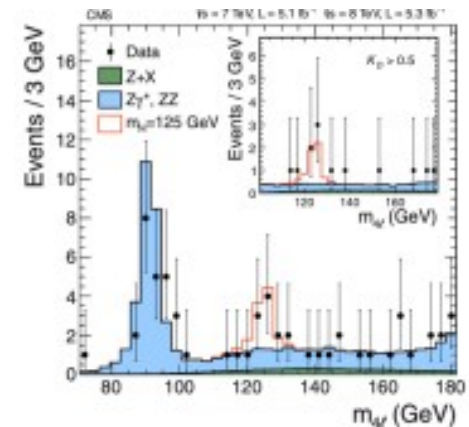
- Probestation (bis zu 4 Teilnehmer) Florian Wittig
- EASY (Alibava) System (2-3) Jan-Ole Müller-Gosewisch
- Pixelmodule mit X-rays (2-3) Roland Koppenhöfer
- Sensorsimulationen mit Weightfield (4-6) Alexander Droll

What is Particle Physics

Particle Physics deals with the smallest **constituents of matter** and their **interactions**

- **Symmetries** as underlying theoretical concept
- **Experiments**
 - particle accelerators
 - particle detectors
 - statistical data analysis

Digital data acquisition,
processing and analysis
require „high-tech“ equipment
and methods at the forefront of technology



Particle Physics @ KIT



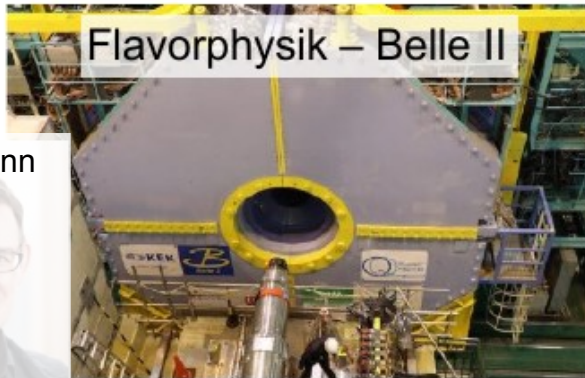
Hadron-Collider – CMS



†13.10.2020

CERN

ETP
IKP



Flavorphysik – Belle II

now Bonn



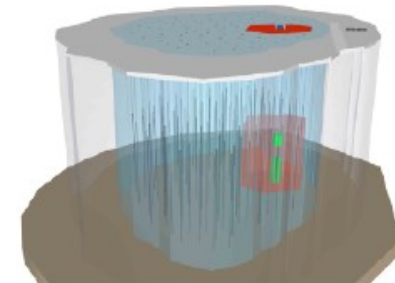
Neutrinomasse – KATRIN

KIT



Two new professors (NF T. Müller, NF F. Bernlochner) already selected.

Astro-particle Physics @ KIT



Kosmische Neutrinos –
IceCube-Gen2



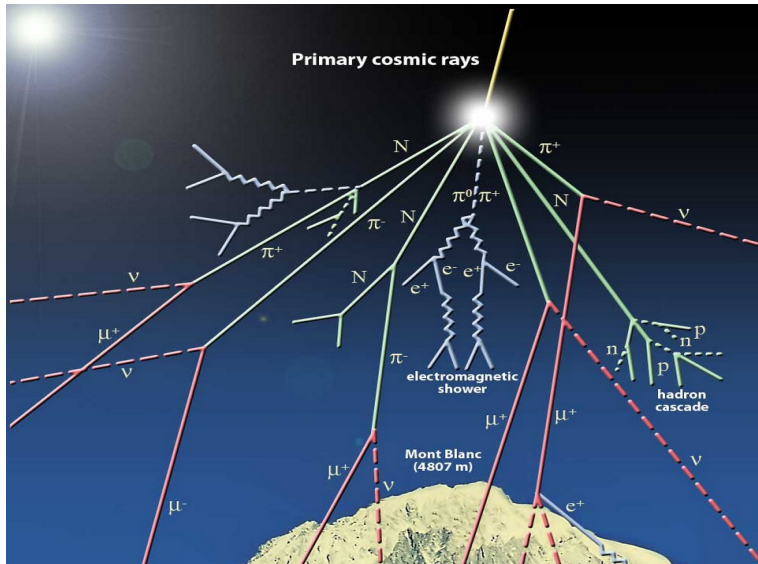
Dunkle Photonen – FUNK



Astro-particle vs. Particle Physics

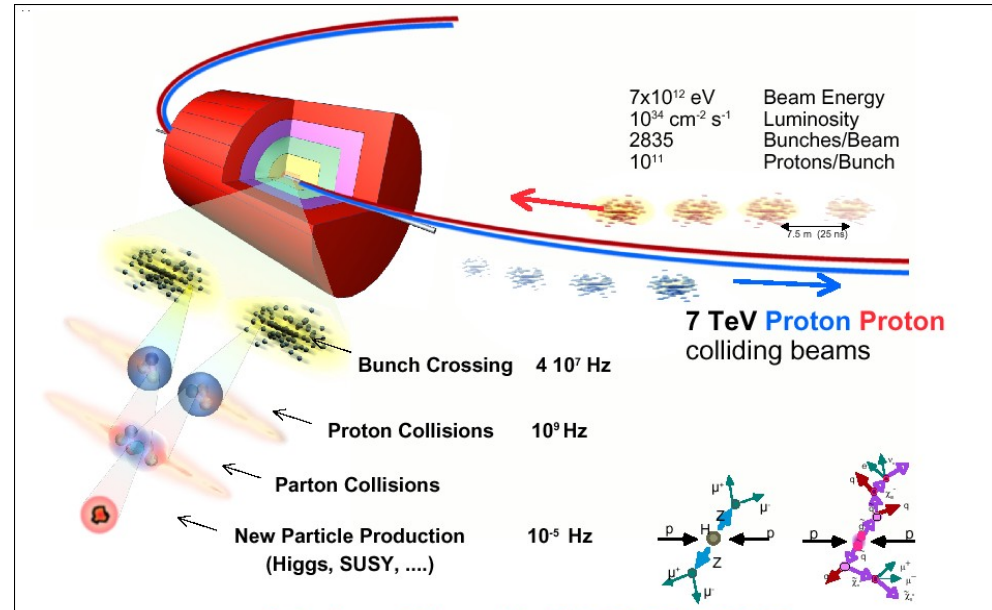
Astroparticle Physics

- Ultra-high energies
- complicated detection medium (atmosphere)
- large-area detectors required



Accelerator-based Particle Physics

- Perfect control of initial conditions
- events originate in one place
- compact, tailored detector designs



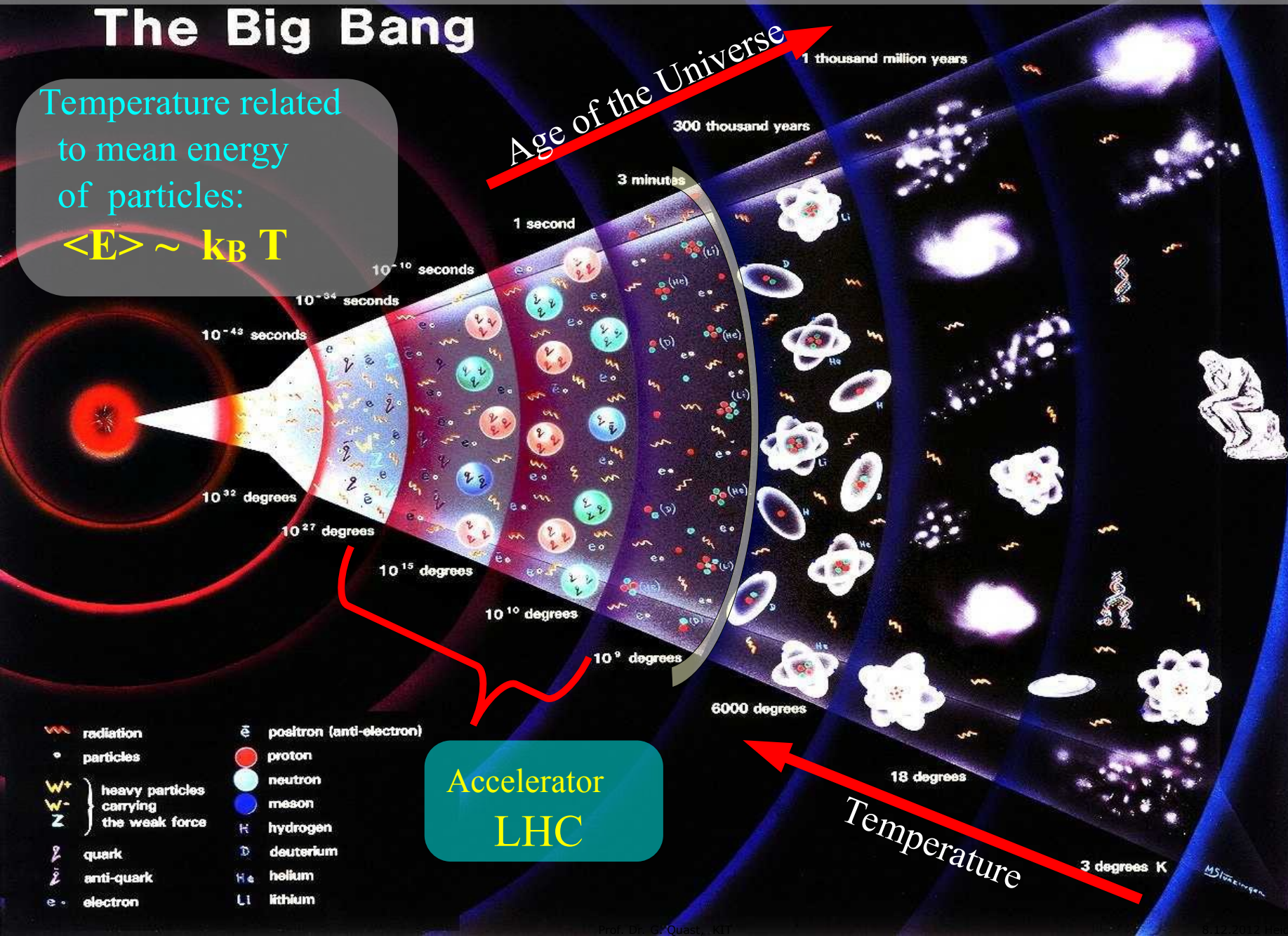
Aim of this lecture:

overview, techniques and questions and answers
in modern particle physics

The Big Bang

Temperature related
to mean energy
of particles:

$$\langle E \rangle \sim k_B T$$



• Accelerator-Based particle physics:

controlled production in laboratory of processes involving subatomic particles
– **create conditions on earth like in the early universe**

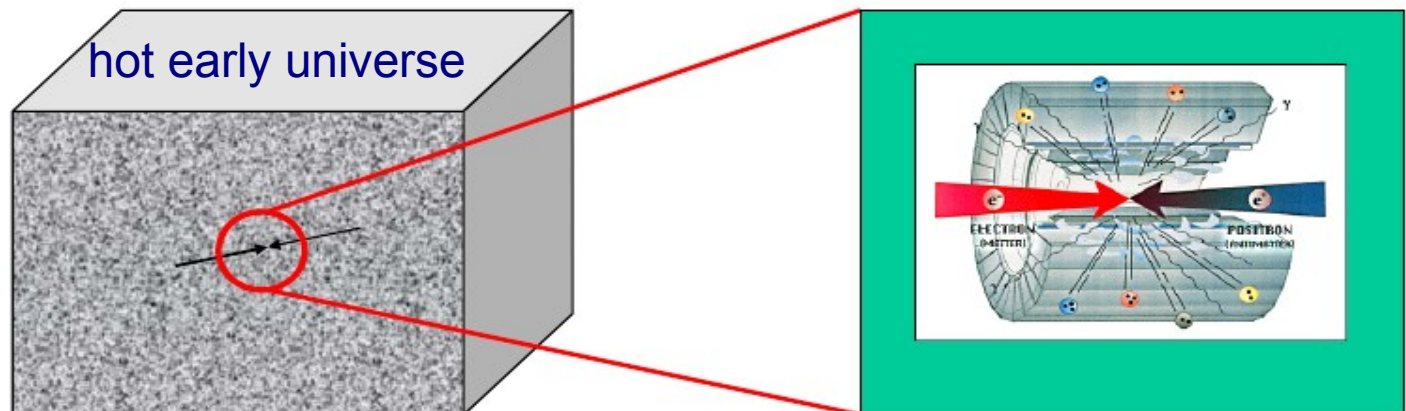
- study of properties of fundamental particles and their interactions
- test of theoretical models – Standard Model of particle physics
- search for phenomena beyond the standard theory
- precision measurement of particle properties,
e. g. neutrino mass, rare decays of particles with heavy quarks

versus

• observation of phenomena in nature

- cosmic particles
- search for WIMPS, dark matter and alike

high-energy collision
in particle detector today



Important Open Questions today:

- Higgs Boson(s) – clarify true nature of recently discovered particle;
search for additional Higgs Bosons
- The Standard model is incomplete: Gravity, neither dark matter no dark energy
→ searches for new particles **Beyond the Standard Model**
favoured by theorists: SuperSymmetry (*provides partial answers ...*)
- the cosmological connection: CP-violation in SM too small to explain
a matter-dominated universe
- the search for the unexpected –
microscopic black holes, extra space dimensions, ...
- the neutrino sector:
masses, mixing, CP violation
(*although truly “particle physics, this is not covered in this lecture,
as typically considered part of “Astro-Particle Physics” (at least in Karlsruhe ...)*)

Motivation (3): Questions for the LHC

What is
the universe
made of?

QCD

What
happened
during the
“Big Bang”?

W' ?

What is
“Dark
Matter”?

Z' ?

Is there
Super-
Symmetry ?

The origin
of mass?

Top ?

Glue-
balls?

Z

Why does
Matter
(still)
exist?

W

t' ?

How did
nucleons form ?

B_s

What is
“Dark
Energy”?

?

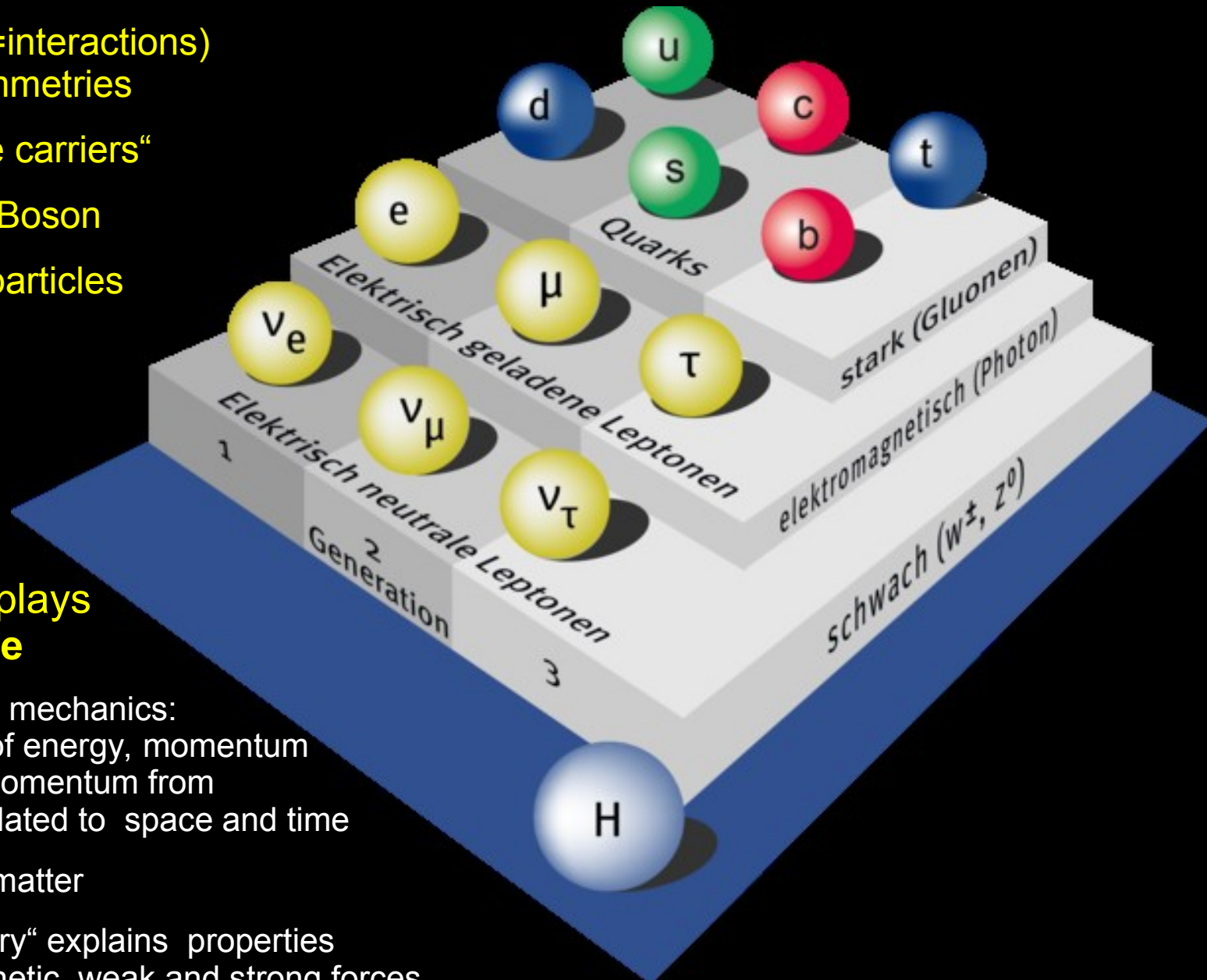
The Standard-Model of Particle Physics

- 3 Forces (=interactions) with Symmetries

- ⇒ 12 „force carriers“

- 1 Higgs Boson

- 12 matter particles



„Symmetry“ plays central role

- like in classical mechanics: conservation of energy, momentum and angular momentum from symmetries related to space and time
- matter $\leftrightarrow$ anti-matter
- „gauge symmetry“ explains properties of electromagnetic, weak and strong forces

Theory – the Standard Model of Particle Physics

$$\begin{aligned}\mathcal{L} = & -\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} \\ & + i\bar{\Psi}\not{D}\Psi + h.c. \\ & + \Psi_i Y_{ij} \Psi_j \Phi + h.c. \\ & + |D_\mu\Phi|^2 - V(\Phi)\end{aligned}$$

the forces -
elektroweak & strong

their interactions
with matter

mass via couplings
to Higgs-Boson

„enabling“ Higgs potential

A quantum field theory based on
U1 x SU2 x SU3 gauge symmetry and the **Higgs mechanism**

Particle Physics is „up-to-date“



The Nobel Prize in Physics 2013

François Englert, Peter Higgs

The Nobel Prize in Physics 2013



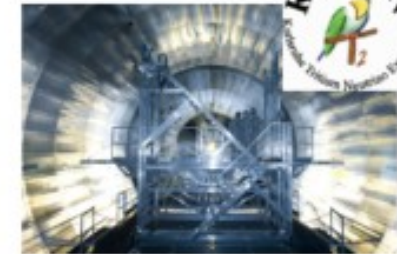
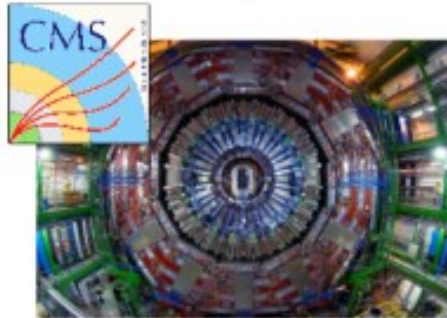
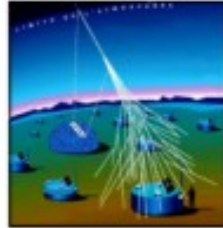
Photo: A. Mahmoud
François Englert
Prize share: 1/2



Photo: A. Mahmoud
Peter W. Higgs
Prize share: 1/2

The Nobel Prize in Physics 2013 was awarded jointly to François Englert and Peter W. Higgs *"for the theoretical discovery of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of mass of subatomic particles, and which recently was confirmed through the discovery of the predicted fundamental particle, by the ATLAS and CMS experiments at CERN's Large Hadron Collider"*

Particle Physics @ KIT



$$\begin{aligned} \mathcal{L} = & -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} \\ & + i \bar{\psi} \not{D} \psi + h.c. \\ & + \chi_i y_{ij} \chi_j \phi + h.c. \\ & + |D_\mu \phi|^2 - V(\phi) \end{aligned}$$

KIT Centre Elementary Particle and Astroparticle Physics

<https://www.kceta.kit.edu/>

KCETA: KIT-Centrum Elementarteilchen- und Astroteilchenphysik

- LHC: Physikanalyse und Detektorentwicklung (CMS)
- Präzisions-Flavorphysik an (Super-) B-Fabrik (Belle, Belle II)
- Suche nach dunkler Materie (Edelweiss, AMS-02, CMS)
- Absolute Neutrinomasse (KATRIN)
- Theoretische Physik: Phänomenologie für Colliderphysik und Entwicklung von Monte-Carlo-Simulationen
- Grid-Computing für den LHC (GridKa)
- Verwandtes Gebiet: Astroteilchenphysik (z. B. Auger)

Wichtiges Forschungsfeld am KIT

Viele Möglichkeiten für Masterarbeiten und Promotionen

Contents of this lecture

- Overview: Detectors and accelerators
- Theoretical foundations (as viewed by an experimentalist)
- Experimental Tests of the Standard Model
 - discovery of elementary particles: quarks, leptons, W , Z and Higgs bosons
- Tests of electroweak theory, Higgs Physics
- Flavour-Physics, quantum chromodynamics, physics at high transverse momenta
- Neutrino physics
- Search for new physics („beyond the Standard Model“)

Dozenten:

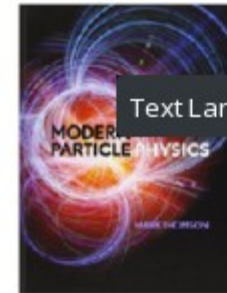
Günter Quast: guenter.quast@kit.edu Sprechstunde Fr., 13:00, Raum 9-05

Klaus Rabbertu: klaus.rabbertz@kit.edu

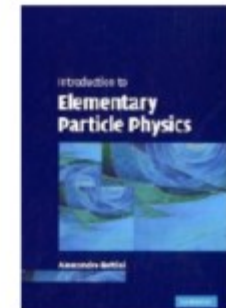
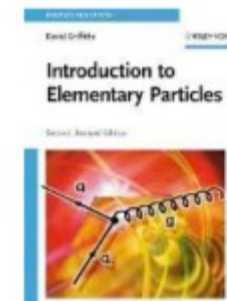
Literature

some links to electronic versions on home page <http://etp.kit.edu/~quast>

- M. Thomson: *Modern Particle Physics*, Cambridge UP (2013)
- D. Griffith: *Introduction to Elementary Particles*, Wiley (2008)
- A. Bettini: *Introduction to Elementary Particle Physics*, Cambridge UP (2008)
- C. Berger: *Elementarteilchenphysik*, Springer (2006)
- P. Schmüser: *Feynman-Graphen und Eichtheorien für Experimentalphysiker*, Springer (1995)



Text Language. Right-click to set cha



■ **Beschleunigerphysik**

- K. Wille: *Physik der Beschleuniger und Synchrotronstrahlungsquellen*, Springer (1992)
- F. Hinterberger: *Physik der Teilchenbeschleuniger und Ionenoptik*, Springer (Digital Signature: The document is not signed.)

■ **Teilchendetektoren**

- H. Kolanoski, N. Wermes: *Teilchendetektoren*, Springer-Spektrum (2016)
- C. Grupen: *Particle Detectors*, Cambridge UP (2008)
- K. Kleinknecht: *Detektoren für Teilchenstrahlung*, Springer (2005)

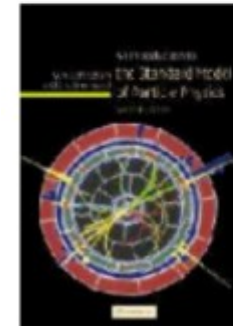


■ **Theoretische Grundlagen**

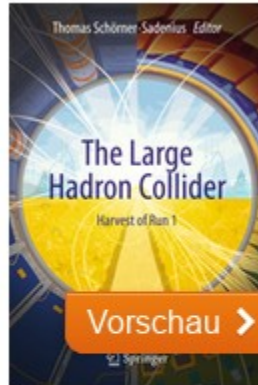
- F. Halzen, A. D. Martin: *Quarks & Leptons*, Wiley (1984)
- O. Nachtmann: *Phänomene und Konzepte der Elementarteilchenphysik*, Vieweg+Teubner (1992)
- W. N. Cottingham, D. A. Greenwood: *An Introduction to the Standard Model of Particle Physics*, Cambridge UP (2007)
- M. E. Peskin, D. V. Schroeder: *An Introduction to Quantum Field Theory*, Westview (1995)



Text Language. Right-click to set chara



Aktueller Review der Physik am LHC:



© 2015

The Large Hadron Collider

Harvest of Run 1

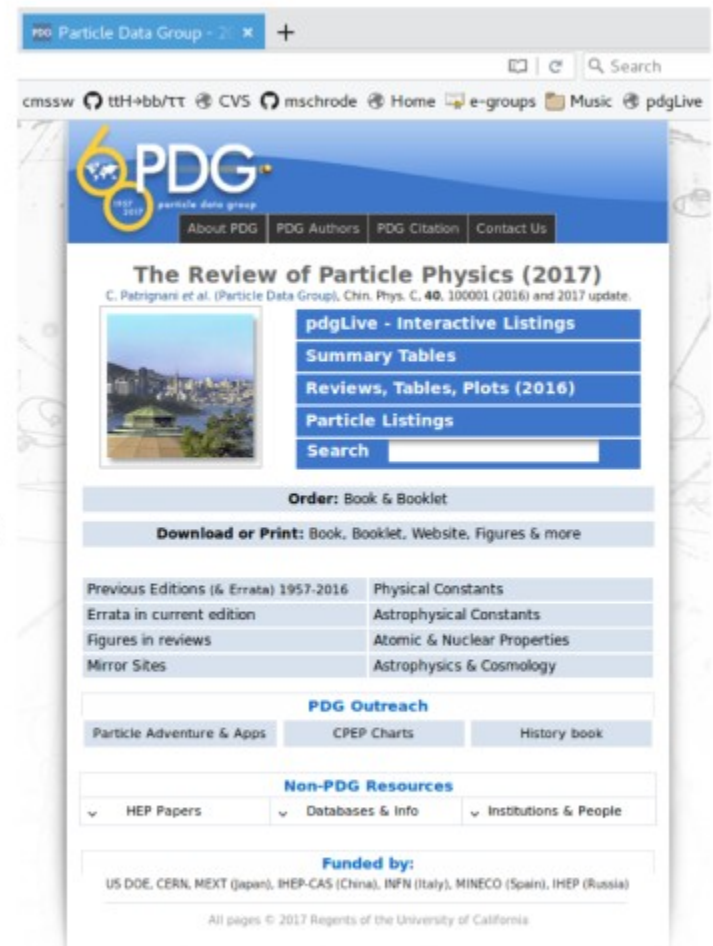
Herausgeber: **Schörner-Sadenius, Thomas** (Ed.)

This comprehensive volume summarizes and structures the multitude of results obtained at the LHC in its first running period and draws the grand picture of today's physics at a hadron collider. Topics covered are Standard Model measurements, Higgs and top-quark physics, flavour physics, heavy-ion physics, and searches for supersymmetry and other extensions of the Standard Model. Emphasis is placed on overview and presentation of the lessons learned. Chapters on detectors and the LHC machine and a thorough outlook into the future complement the book. The individual chapters are written by teams of expert authors working at the forefront of LHC research.

Springer (2015)

■ ***Review of Particle Physics*** („PDG“)

- „Bibel“ der Teilchenphysiker/innen
- Liste der Teilcheneigenschaften, Übersichtsartikel für Experten
- Aktuelle Langversion:
C. Patrignani et al. (Particle Data Group),
Chin. Phys. C, **40**, 100001 (2016) and
2017 update
- Kurzversion: Particle Physics Booklet
- Onlineversion:
<http://pdglive.lbl.gov/Viewer.action>



Suche nach Primärliteratur

■ **arXiv** <http://arxiv.org>

- Vorabdrucke von Veröffentlichungen („Preprints“)
- Themen: Physik, Mathematik, Informatik, Systembiologie, Finanzmathematik, Statistik



■ **INSPIRE** <http://inspirehep.net>

- Literaturdatenbank für Teilchenphysik
- (arXiv-)Preprints und Publikationen in wissenschaftlichen Zeitschriften
- Erweiterte Suchfunktionen
- Literaturverzeichnis (diverse Formate)

