

Moderne Experimentalphysik III: Kerne und Teilchen (Physik VI)

Günter Quast, Roger Wolf, Pablo Goldenzweig
25. April 2017

INSTITUTE OF EXPERIMENTAL PARTICLE PHYSICS (IEKP) – PHYSICS FACULTY



Kapitel 1: Einführung

Kapitel 1.1: Organisation der Vorlesung

Dozent(en)

- **Dozent(en):** Prof. Dr. Günter Quast / **Priv. Doz. Dr. Roger Wolf** (IEKP)
 - roger.wolf@cern.ch (bevorzugte Kontaktaufnahme)
 - <http://ekpwww.physik.uni-karlsruhe.de/~rwolf/>
 - Physik-Hochhaus 30.23, Raum 9-20, Tel.: (0)721 608 43591
 - Sprechstunde: mittwochs 15:30 – 17:00 (oder nach Vereinbarung)

Vorraussetzungen

- **Keine** formalen Vorraussetzungen oder Bedingungen
- Empfehlenswert:
 - Kenntnisse aus den Modulen “Moderne Experimentalphysik I (Atomphysik)” und “Modernde Theoretische Physik I/II (v.a. Quantenmechanik)”

Vorlesung (Termine & Form)

- **4 SWS, 26 Termine** (14 Wochen):
 - Lehrveranstaltungsnummer 40010061
 - Dienstags, 11:30 – 13:00, donnerstags 11:30 – 13:00
 - Geb 30.22 Physik-Flachbau, Raum 022 Otto Lehmann-Hörsaal

Hinweise zur Vorlesung und den Übungen

Die nominellen Daten der Vorlesung und der Übungen können Sie dem elektronischen Vorlesungsverzeichnis des KIT entnehmen. Wichtige Eckdaten finden Sie im folgenden:

Designs und Donnerstags 11:30 – 13:00 (Otto-Lehmann-Hörsaal)

Übungen:

Donnerstags 14:00 - 19:00 (s.u.)

Beginn: 11.05.2017

Sie können sich hier elektronisch zu den Übungen anmelden.

Wir planen 26 Vorlesungen und 12 Übungsblätter die zur Bearbeitung ausgegeben werden. Die Vorlesung erfolgt in Form von Folien und Anschrieben an die Tafel. Rechnen Sie damit, auch selbst während der Vorlesung kleinere Rechnungen durchzuführen oder Fragen zu beantworten. Die während der Vorlesung vorgelesenen Anschriebe und Folien werden nach jeder Vorlesung auf Übungsblätter in der folgenden Liste finden:

Vorlesung:

VL-01 Einführung, Organisation

VL-02 Kinematik, Kreisbewegungen

VL-03 Energieverlust geladener Teilchen

VL-04 Energieverlust von Photonen

VL-05 Detektionstechniken, Detektorsysteme

Vorlesungstag:

Di 25.04.2017

Do 27.04.2017

Di 02.05.2017

Do 04.05.2017

Di 09.05.2017

Übungsblatt:

-

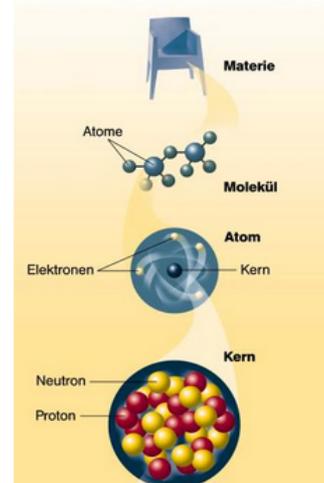
Blatt-01

-

Blatt-02

- **Zentrale Verwaltung** über [Webseite](#), [ILIAS System](#) (bitte registrieren Sie sich zeitnah als Kursmitglieder):
- **Bi-/Multidirektionaler Austausch** über Vorlesung hinaus (via **ILIAS mailing Liste**)
- **Vorlesung interaktiv** (→ kleinere Aufgaben während der Vorlesung)

Moderne Experimentalphysik III (Physik IV, Kerne und Teilchen):



Tutorien/Übungen zur Vorlesung

- **2 SWS, 10 Termine** (12 Übungsblätter geplant!):
 - Lehrveranstaltungsnummer 40010062
 - 11 Gruppen, donnerstags 14:00, 15:45, 17:30, (→ erster Termin 11.05.2017)
 - Geb 30.23 Physik-Hochhaus, Seminarräume im 2. Stock (→ nächste Folie)
 - Keine Vorlesung, keine Übungen:
 - Donnertag 25.05.2017 (→ Christi Himmelfahrt)
 - Donnertag 15.06.2017 (→ Fronleichnam)
 - **Anmeldung** zu den Übungen elektronisch [hier](#) (freigeschaltet seit 24.04., bitte melden Sie sich zeitnah zu den Tutorien an)

Übungsgruppenleiter & Tutoren

- **Tutoren & Tutorien:**

Zeitfenster:	Raum:	Übungsgruppe:
14:00 - 15:30	2/0	A - Qu Jingyuan
14:00 - 15:30	2/1	B - Keicher Philip
14:00 - 15:30	2/11	C - Werling Nico
14:00 - 15:30	2/17	D - Frenzel Tobias
15:45 - 17:15	2/0	E - Krämer Peter
15:45 - 17:15	2/1	F - Wickberg Andreas
15:45 - 17:15	2/11	G - Hahn Vincent
15:45 - 17:15	2/17	H - Schumann Martin
17:30 - 19:00	2/0	I - Voronin Artur
17:30 - 19:00	2/1	J - Kern Christian
17:30 - 19:00	2/11	K - Aker Max

- **Übungsgruppenleiter/Koordination: Dr. Pablo Goldenzweig (IEKP)**

- pablo.goldenzweig@kit.edu

- Physik-Hochhaus 30.23, Raum 9-11, Tel.: (0)721 608 47034

Übungsblätter

- **12 Übungsblätter** geplant
- **Ausgabe:** online, dienstags zur Vorlesung (upload auf Webseite, ILIAS, Bekanntgabe per mail)
- **Bearbeitung:** in Gruppen von 2 Studierenden möglich. Abgabe als Gruppe in Papierform. Nutzen Sie das Aufgabenblatt als Deckblatt (→ s. rechts)
- **Rückgabe:** montags in der darauf folgenden Woche bis 13:30 in den Briefkasten der Vorlesung in Geb 30.23



**Übungen zu
Moderne Experimentalphysik III
(Kerne und Teilchen)
Sommersemester 2017**

Übungsblatt Nr. 1

Ausgabe: Di, 02.05.2017

Abgabe: Mo, 08.05.2017 (13:30) Briefkasten Geb. 30.23

Name des Übungsgruppenleiters und Gruppenbuchstabe:

A Jingyuan Qu

Namen der bearbeitenden Gruppe: **Ernie & Bert**

Einordnung der Veranstaltung

- **Pflichtveranstaltung** im Bachelorstudium Physik (6 ECTS-Punkte):
 - Leistungsnachweis über “Vorleistung” (= erfolgreiche Teilnahme an Übungen)
 - Teilleistung als **Vorraussetzung für mündliche Prüfung** “Moderne Experimentalphysik”
 - **Anmeldung** zur Vorleistung elektronisch [hier](#) (Anmeldung 24.04. – 19.07. Abmeldung 24.04. – 28.07.)
- **Sie erfüllen die Vorleistung wenn Sie...**
 - ... nicht mehr als zwei Übungsblätter (ohne Entschuldigung und/oder triftigen Grund) leer abgeben, von den letzten dreien nicht mehr als eins.

Einordnung der Veranstaltung

- **Pflichtveranstaltung** im Bachelorstudium Physik (6 ECTS-Punkte):
 - Leistungsnachweis über “Vorleistung” (= erfolgreiche Teilnahme an Übungen)
 - Teilleistung als **Vorraussetzung für mündliche Prüfung** “Moderne Experimentalphysik”
 - **Anmeldung** zur Vorleistung elektronisch [hier](#) (Anmeldung 24.04. – 19.07. Abmeldung 24.04. – 28.07.)
- **Sie erfüllen die Vorleistung wenn Sie...**
 - ... nicht mehr als zwei Übungsblätter (ohne Entschuldigung und/oder triftigen Grund) leer abgeben, von den letzten dreien nicht mehr als eins.
 - ... mindestens **50% der maximal erreichbaren Punkte** in den ersten 6 Übungsblättern erzielen

Einordnung der Veranstaltung

- **Pflichtveranstaltung** im Bachelorstudium Physik (6 ECTS-Punkte):
 - Leistungsnachweis über “Vorleistung” (= erfolgreiche Teilnahme an Übungen)
 - Teilleistung als **Vorraussetzung für mündliche Prüfung** “Moderne Experimentalphysik”
 - **Anmeldung** zur Vorleistung elektronisch [hier](#) (Anmeldung 24.04. – 19.07. Abmeldung 24.04. – 28.07.)
- **Sie erfüllen die Vorleistung wenn Sie...**
 - ... nicht mehr als zwei Übungsblätter (ohne Entschuldigung und/oder triftigen Grund) leer abgeben, von den letzten dreien nicht mehr als eins.
 - ... mindestens **50% der maximal erreichbaren Punkte** in den ersten 6 Übungsblättern erzielen
 - ... mindestens **50% der maximal erreichbaren Punkte** in den zweiten 6 Übungsblättern erzielen

Einordnung der Veranstaltung

- **Pflichtveranstaltung** im Bachelorstudium Physik (6 ECTS-Punkte):
 - Leistungsnachweis über “Vorleistung” (= erfolgreiche Teilnahme an Übungen)
 - Teilleistung als **Vorraussetzung für mündliche Prüfung** “Moderne Experimentalphysik”
 - **Anmeldung** zur Vorleistung elektronisch [hier](#) (Anmeldung 24.04. – 19.07. Abmeldung 24.04. – 28.07.)
- **Sie erfüllen die Vorleistung wenn Sie...**
 - ... nicht mehr als zwei Übungsblätter (ohne Entschuldigung und/oder triftigen Grund) leer abgeben, von den letzten dreien nicht mehr als eins.
 - ... mindestens **50% der maximal erreichbaren Punkte** in den ersten 6 Übungsblättern erzielen
 - ... mindestens **50% der maximal erreichbaren Punkte** in den zweiten 6 Übungsblättern erzielen
 - ... mindestens vier mal aktiv an der Tafel vorrechnen/diskutieren

Anmeldungen zu dieser Veranstaltung?

- **Q:** Wieviele Anmeldungen zu dieser Veranstaltung haben wir diskutiert?



Anmeldungen zu dieser Veranstaltung?



- **Q:** Wieviele Anmeldungen zu dieser Veranstaltung haben wir diskutiert?
- **A:** drei! – Anmeldung zur Vorleistung, Anmeldung in ILIAS, Anmeldung zu den Tutorien
- **Q:** Wann sollten Sie diese Anmeldungen vornehmen?

Anmeldungen zu dieser Veranstaltung?



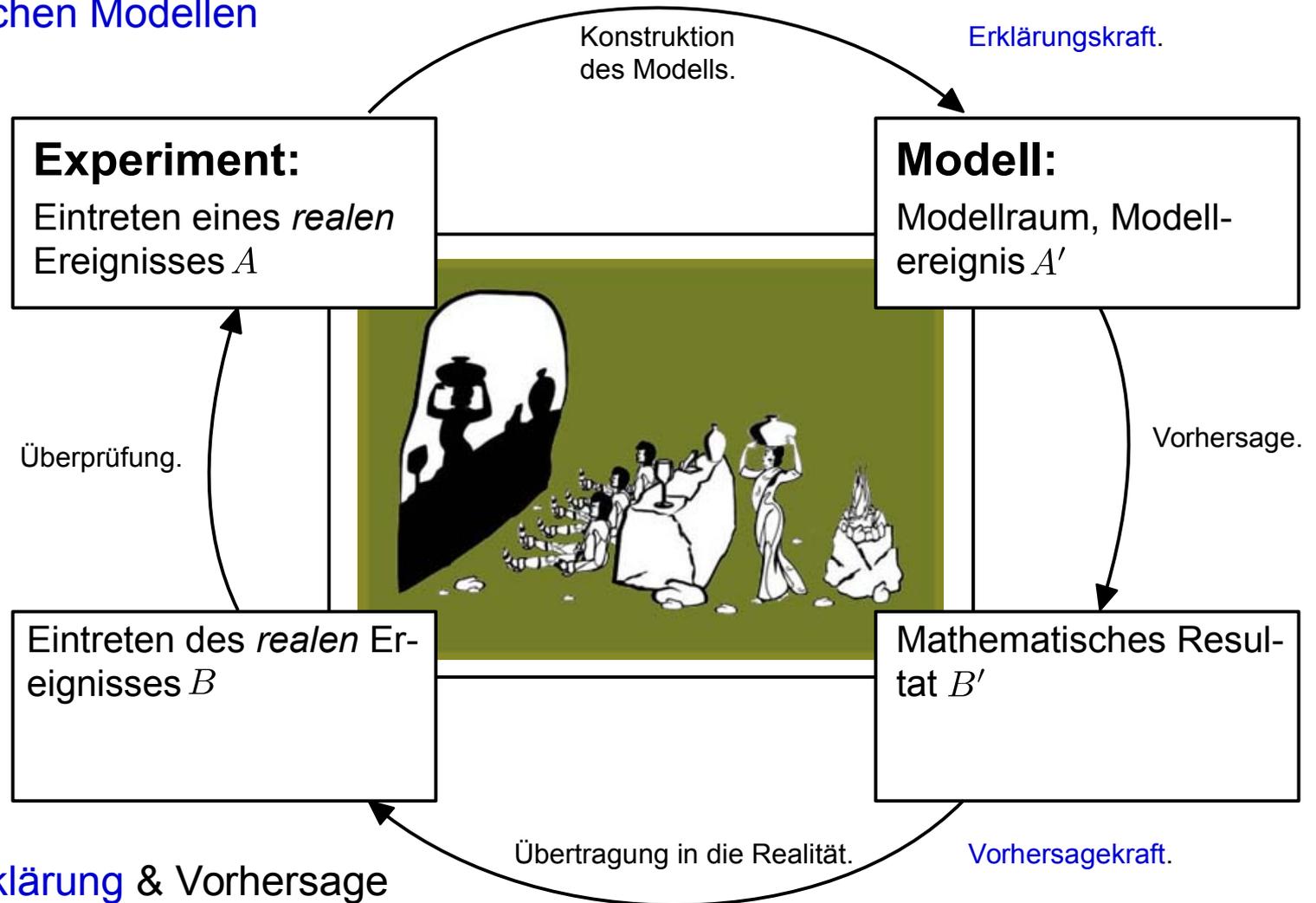
- **Q:** Wieviele Anmeldungen zu dieser Veranstaltung haben wir diskutiert?
- **A:** drei! – Anmeldung zur Vorleistung, Anmeldung in ILIAS, Anmeldung zu den Tutorien

- **Q:** Wann sollten Sie diese Anmeldungen vornehmen?
- **A:** am besten gleich nach(!) der Vorlesung...

Kapitel 1.2: Übersicht und Literatur

Erkenntnisgewinn im Wandel der Zeit

- Seit der **Frühmoderne** geleitet von **mathematischen Modellen**



- Einfache Erklärung** & Vorhersage reproduzierbarer Naturereignisse

Größenskalen dieses Kurses

- Siehe auch <http://htwins.net/scale2/>
- $10^{-6}m$ – Feinmechanik
- $10^{-9}m$ – Nanotechnologie

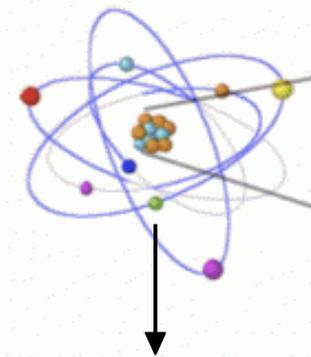
- Atom

- Atomkern

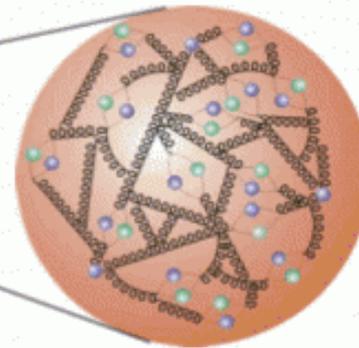
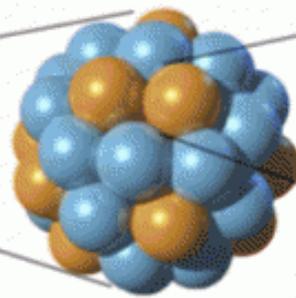
- Proton/Neutron

- Quarks

- Elektronen (+schwere Partner)



QM Beschreibung



Nach heutigem Erkenntnisstand punktförmig und strukturlos!

10^{-10}

10^{-14}

10^{-15}

10^{-19} [m]

- Erkenntnisgewinn jenseits unserer Sinneswahrnehmung (→ modellbehaftet)!

Was ist moderne Kernphysik?

• Kerne & Hadronen

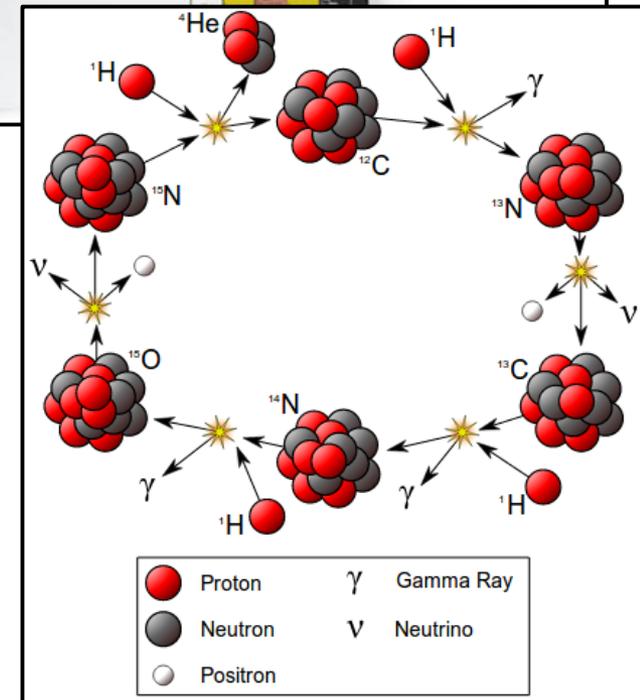
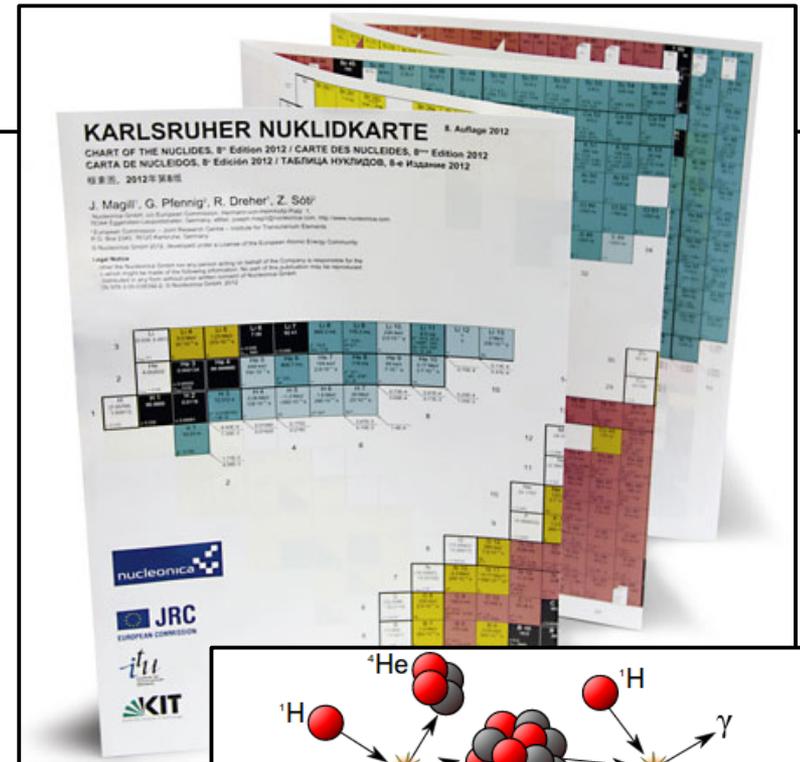
- Aufbau des Atomkerns
- Stabile und instabile Kerne
- Phasendiagramm der Kernmaterie

• Kernreaktionen

- α -, β -, γ -Zerfälle
- Kernanregung, Kernspaltung, Kernfusion

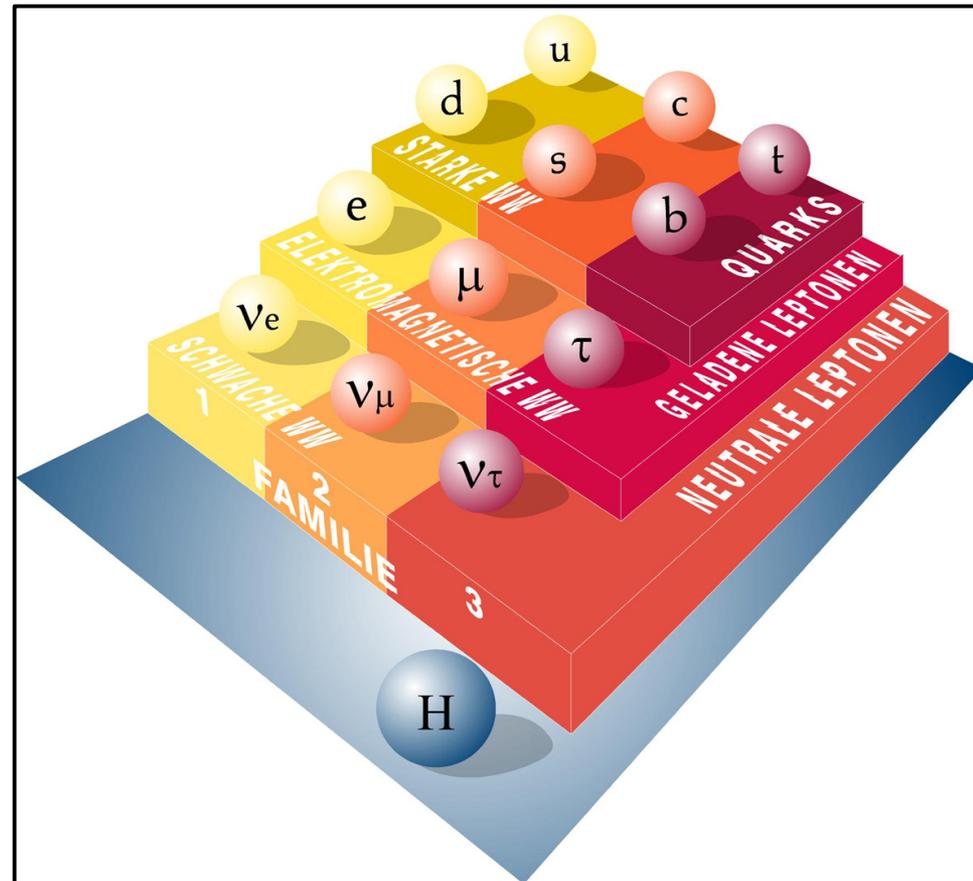
• Nukleare Astrophysik

- Die ersten drei Minuten des Universums
- Sterne, Supernovae, Elementsynthese



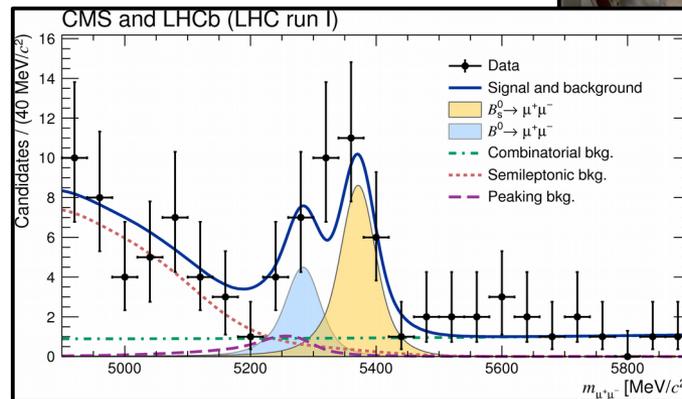
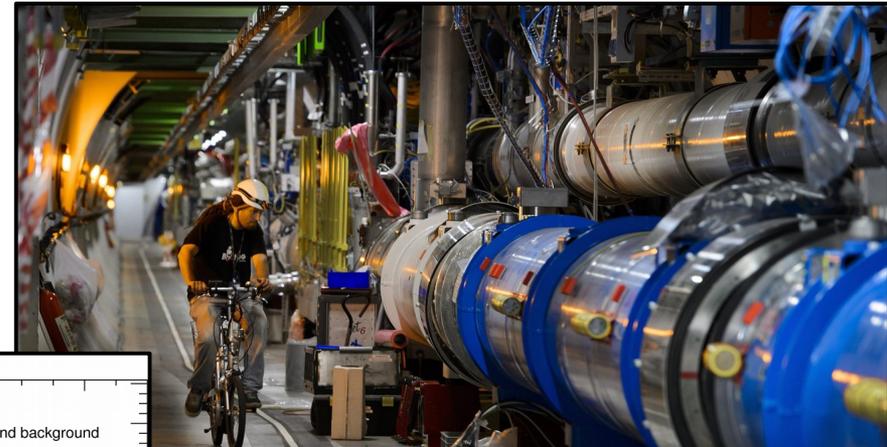
Was ist moderne Teilchenphysik?

- **Fundamentale Materie und ihre Eigenschaften**
 - Materieteilchen (\rightarrow Fermionen)
 - Wechselwirkungsteilchen (\rightarrow Bosonen)
- **Fundamentale Wechselwirkungen**
 - Elektroschwache Wechselwirkung
 - Starke Wechselwirkung
- **Zusammengesetzte Teilchen**
 - Mesonen und Baryonen
- **Offene Fragen:**
 - Anspruch “from first principles” – ungelöste Fragen des SM

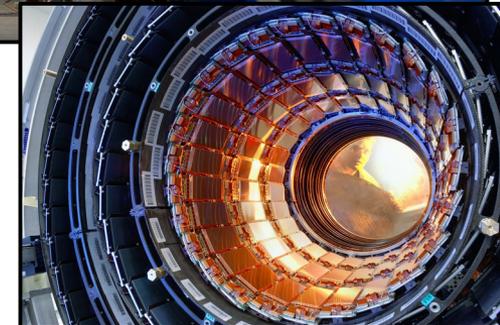


Übergreifende Themen

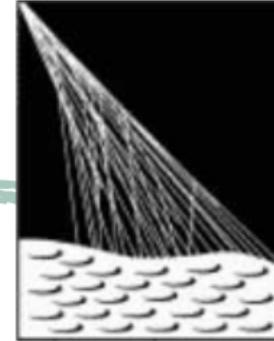
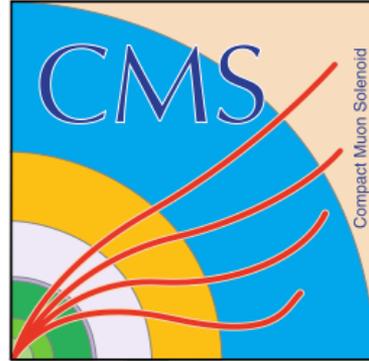
- **Symmetrien/Erhaltungssätze**
 - Kontinuierliche Symmetrien: Translation, Drehungen im Raum
 - Diskrete Symmetrien: Parität, Ladungskonjugation, Zeitumkehr
- **Verwendung von Hochtechnologie**
 - Beschleuniger
 - Detektoren zum Teilchennachweis
 - Computing Infrastruktur
 - Statistische Datenanalyse



Nature (2015) 14474



Teilchenphysik @ KIT



AUGER



CORSIKA



Tunka-Rex



Gliederung der Vorlesung



YOU
ARE
HERE

- 
- KW-17**
- 1 Einführung**
 - 1.1 Organisation der Vorlesung
 - 1.2 Übersicht und Literatur
 - 1.3 Geschichte
 - 1.4 Einheiten und Einheitssysteme
 - 1.5 Relativistische Kinematik
 - 1.6 Streuexperimente
- KW-18**
- 2 Experimentelle Methoden**
 - 2.1 Nachweis geladener Teilchen in Materie
 - 2.2 Wechselwirkung von Elektron und Photon mit Materie
 - 2.3 Hadronische Wechselwirkungen und Materie
 - 2.4 Detektionstechniken
 - 2.5 Detektorsysteme in der Teilchenphysik
 - 2.6 Beschleuniger in der Teilchenphysik
- KW-19**
- KW-20**
- 3 Struktur der Materie**
 - 3.1 Kernradien und Formfaktoren
 - 3.2 Struktur der Nukleonen
 - 3.3 Fundamentaler Aufbau der Materie und ihre Wechselwirkungen

KW-21/22

4 Kernmodelle

4.1 Eigenschaften stabler Kerne

4.2 Fermigas und Tröpfchenmodell

4.3 Schalenmodell

4.4 Struktur der Kernkräfte

KW-22

5 Instabile Kerne

5.1 Radioaktives Zerfallsgesetz

5.2 Alpha-, Beta-, Gammastrahlen

5.3 Kernspaltung und Kernfusion

KW-23

6 Anwendungen der Kernphysik

6.1 Energieerzeugung

6.2 Kernphysik in der Medizin

6.3 Nukleare Thermodynamik

6.4 Nukleare Astrophysik

KW-24

7 Symmetrien und Erhaltungssätze

7.1 Symmetrien und Quantenzahlen

7.2 Diskrete und kontinuierliche Symmetrien

7.3 Schlüsselexperimente zu C-, P-, CP-Verletzung

KW-25/26

8 QCD: Quarks, Gluonen und Hadronen

8.1 Quarkmodell und Hadronen

8.2 Quarkonium

8.3 Farbwechselwirkung in der QCD

8.4 Struktur der Nukleonen und Partonmodell

9 Elektroschwache Physik

9.1 Eigenschaften der elektroschwachen Wechselwirkung

9.2 Theorie der elektroschwachen Wechselwirkung

9.3 Quarkmischung und CP-Verletzung

10 Moderne Teilchenphysik

10.1 Schlüsselexperimente der elektroschwachen Wechselwirkung an Collidern

10.2 Neutrino-physik

10.3 Astroteilchenphysik

11 Offene Fragen der Teilchenphysik

11.1 Grenzen des SM

11.2 Teilchenphysik und Kosmologie

Lehrbücher: Kerne und Teilchen

- B. Povh, K. Rith, Ch.Scholz, f. Zetsche, W. Rodejohann: Teilchen und Kerne, Springer (2014)
- C. Amsler: Kern- und Teilchenphysik, UTB/vdf (2007)
- W. Demtröder: Experimentalphysik 4, Kern- Teilchen und Astroteilchenphysik, Springer (2010)
- J. Bleck-Neuhaus: Elementare Teilchen, Springer (2013)
- K. Bethge, G. Walter, B. Wiedemann: Kernphysik, Springer (2008)
- Th. Mayer-Kuckuk: Kernphysik, Teubner (2002)
- K. S. Krane: Introductory Nuclear Physics, Wiley (1987)

Lehrbücher: Teilchenphysik

- M. Thompson: Modern Particle Physics, Cambridge Univ. Press (2013)
- D. Griffith: Introduction to Elementary Particles, Wiley (2008)
- C. Berger: Elementarteilchenphysik, Springer (2006)
- A. Bettini: Introduction to Elementary Particle Physics, Cambridge Univ. Press (2008)
- D. Perkins: Introduction to High Energy Physics, Cambridge Univ. Press (2016)
- R. N. Cahn, G. Goldhaber: The Experimental Foundations of Particle Physics, Cambridge Univ. Press (2000)

Lehrbücher: Technologie

- K. Wille: Physik der Beschleuniger und Synchrotronstrahlungsquellen, Springer (1992)
- F. Hinterberger: Physik der Teilchenbeschleuniger und Ionenoptik, Springer (2008)
- K. Kleinknecht: Detektoren für Teilchenstrahlung, Springer (2005)
- H. Kolanoski, N. Wermes: Teilchendetektoren, Springer-Spektrum (2016)
- C. Grupen: Particle Detectors, Cambridge Univ. Press (2008)

Recherche

- Review of Particle Physics (**PDG**):
 - Teilcheneigenschaften, Übersichtsartikel (alle 2 Jahre aktualisiert)
- Server für Vorabdrucke (**arXiv**):
 - Themen: Physik, Mathematik, Informatik, Systembiologie, Finanzmathematik, Statistik
- Literaturdatenbank für Teilchenphysik (**INSPIRE**):
 - Preprints und Publikationen in wissenschaftlichen Zeitschriften.

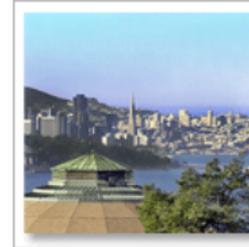


particle data group

About PDG PDG Authors PDG Citation Contact Us

The Review of Particle Physics (2016)

C. Patrignani *et al.* (Particle Data Group), *Chin. Phys. C*, **40**, 100001 (2016).



[pdgLive - Interactive Listings](#)

[Summary Tables](#)

[Reviews, Tables, Plots](#)

[Particle Listings](#)

Search

Order: Book & Booklet

Download or Print: Book, Booklet, Website, Figures & more

Previous Editions (& Errata) 1957-2016	Physical Constants
Errata in current edition	Astrophysical Constants
Figures in reviews	Atomic & Nuclear Properties
Mirror Sites	Astrophysics & Cosmology

Most Popular

[Reviews](#)

[Data Listings](#)

PDG Outreach

[Particle Adventure & Apps](#)

[CPEP Charts](#)

[History book](#)

Non-PDG Resources

▾ [HEP Papers](#)

▾ [Databases & Info](#)

▾ [Institutions & People](#)

Funded by:

US DOE, CERN, MEXT (Japan), IHEP-CAS (China), INFN (Italy), MINECO (Spain), IHEP (Russia)

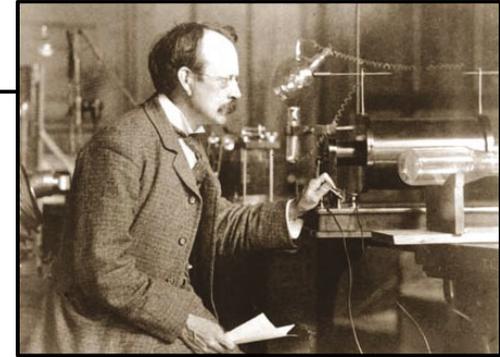
Kapitel 1.3: Geschichte

Geschichte der Teilchenphysik

- Relativistic QM (→ Dirac-Equation 1928)
- Theory of weak IA (→ E. Fermi 1933 – 34)
- Discovery $\mu^{+/-}$ (→ C. D. Anderson 1937) 
- Discovery $\pi^{+/-}$ (→ C. Powell/G. Occhialini 1947) 
- Discovery π^0 (→ R. Bjorklund et al 1950) 
- Discovery $K^{+/-}$ (→ “V”-particles 1947 – 49) 
- Discovery K^0, Λ^0 (→ “V”-particles 1947) 
- Discovery Σ 's, Ξ 's (→ 1950's) 
- Discovery $\Delta^{++}, \Delta^+, \Delta^0, \Delta^-$ (→ 1952) 
- Invention of bubble chamber (→ D. Glaser 1952)
- Observation of ν_e (→ C. Cowan, F. Reines 1956)
- Observation P violation of weak IA (→ C. Wu, R. Garwin 1956)
- Gauge field theory of weak IA (→ S. Glashow, S. Weinberg 1961)
- Observation of ν_μ (→ L. Lederman, M. Schwartz, J. Steinberger 1962)
- Observation CP violation of weak IA (→ J. Cronin, V. Fitch 1964)
- Discovery J/ψ 's (→ B. Richter, S. Ting, 1974) 
- Discovery Υ 's (→ L. Lederman, E288 collaboration, 1977) 
- Discovery of W, Z (→ UA1 & UA2 collaboration, 1983) 
- Observation of t (→ CDF & D0 collaboration 1995) 
- Observation of ν_τ (→ DONUT collaboration 2000)
- Discovery of H (→ ATLAS & CMS collaboration 2012)

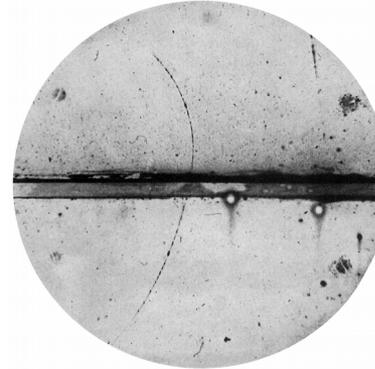
 discovered in airshower experiments
 discovered in collider experiments

Discovery of the electron (1897)

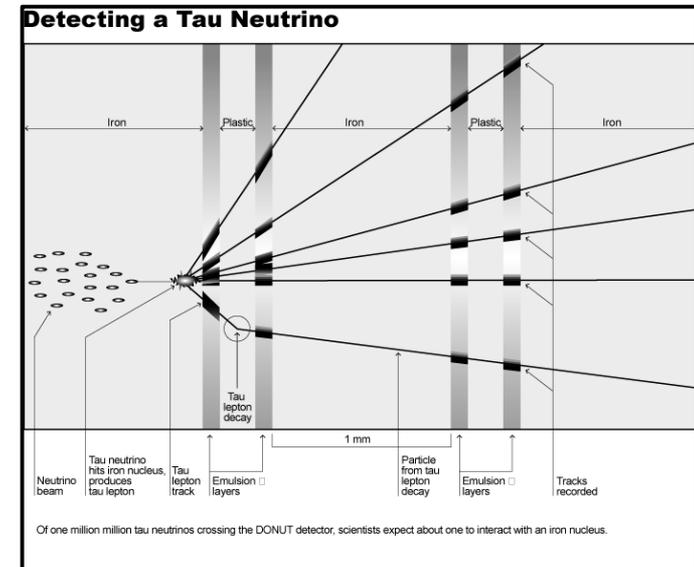


J. J. Thomson (1856 – 1940)

Discovery of the positron (1932)



C. D. Anderson (1905 – 1991)



Geschichte der Teilchenphysik



Relativistic QM (\rightarrow Dirac-Equation 1928)



Theory of weak IA (\rightarrow E. Fermi 1933 – 34)



Discovery $\mu^{+/-}$ (\rightarrow C. D. Anderson 1937) 

• Discovery $\pi^{+/-}$ (\rightarrow C. Powell/G. Occhialini 1947) 

• Discovery π^0 (\rightarrow R. Bjorklund et al 1950) 

• Discovery $K^{+/-}$ (\rightarrow “V”-particles 1947 – 49) 

• Discovery K^0, Λ^0 (\rightarrow “V”-particles 1947) 

• Discovery Σ 's, Ξ 's (\rightarrow 1950's) 

• Discovery $\Delta^{++}, \Delta^+, \Delta^0, \Delta^-$ (\rightarrow 1952) 



Invention of bubble chamber (\rightarrow D. Glaser 1952)



Observation of ν_e (\rightarrow C. Cowan, F. Reines 1956)



Observation P violation of weak IA (\rightarrow C. Wu, R. Garwin 1956)



Gauge field theory of weak IA (\rightarrow S. Glashow, S. Weinberg 1961)



Observation of ν_μ (\rightarrow L. Lederman, M. Schwartz, J. Steinberger 1962)



Observation CP violation of weak IA (\rightarrow J. Cronin, V. Fitch 1964)



Discovery J/ψ 's (\rightarrow B. Richter, S. Ting, 1974) 

• Discovery Υ 's (\rightarrow L. Lederman, E288 collaboration, 1977) 



Discovery of W, Z (\rightarrow UA1 & UA2 collaboration, 1983) 

• Observation of t (\rightarrow CDF & D0 collaboration 1995) 



Observation of ν_τ (\rightarrow DONUT collaboration 2000)



Discovery of H (\rightarrow ATLAS & CMS collaboration 2012)



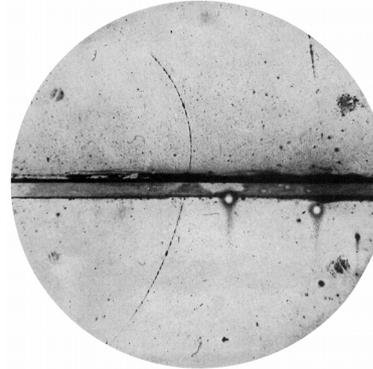
discovered in airshower experiments



discovered in collider experiments



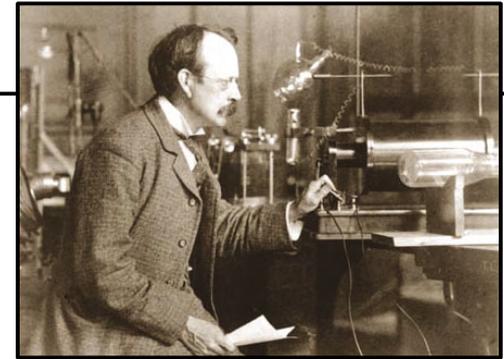
Discovery of the positron (1932)



C. D. Anderson (1905 – 1991)



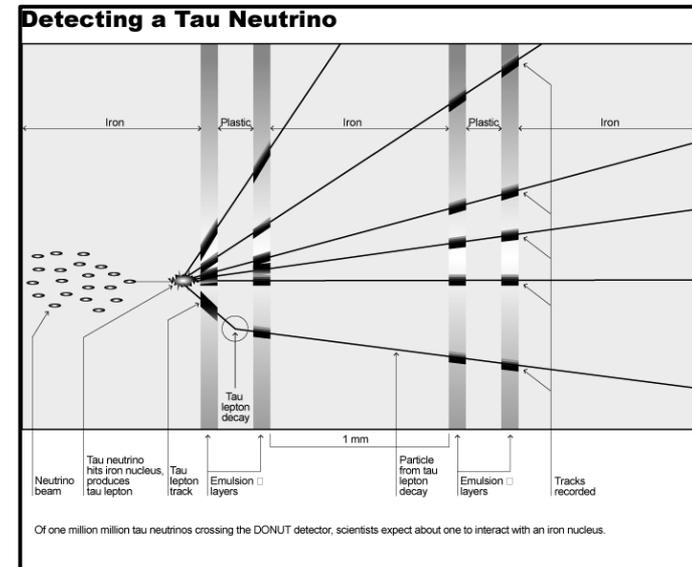
Discovery of the electron (1897)



J. J. Thomson (1856 – 1940)



Overall $\mathcal{O}(30)$ Nobel prizes in physics went to directly to particle physics related topics.



Gliederung der Vorlesung



KW-17	1 Einführung	
	1.1 Organisation der Vorlesung	
	1.2 Übersicht und Literatur	
	1.3 Geschichte	
	1.4 Einheiten und Einheitssysteme	
	1.5 Relativistische Kinematik	
1.6 Streuexperimente		
KW-18	2 Experimentelle Methoden	
	2.1 Nachweis geladener Teilchen in Materie	
	2.2 Wechselwirkung von Elektron und Photon mit Materie	
	2.3 Hadronische Wechselwirkungen und Materie	
	2.4 Detektionstechniken	
	2.5 Detektorsysteme in der Teilchenphysik	
KW-19	2.6 Beschleuniger in der Teilchenphysik	
	3 Struktur der Materie	
		3.1 Kernradien und Formfaktoren
3.2 Struktur der Nukleonen		
KW-20	3.3 Fundamentaler Aufbau der Materie und ihre Wechselwirkungen	