

# Moderne Physik: Elementarteilchenphysik, Astroteilchenphysik, Kosmologie

Ulrich Husemann  
Humboldt-Universität zu Berlin  
Sommersemester 2008

## Vorstellung

- Dr. Ulrich Husemann
  - Seit 01.04. „Nachwuchsgruppenleiter“:  
DESY (Standort Zeuthen) und HU Berlin
  - Forschungsgebiet: experimentelle Teilchenphysik
  - E-Mail: [ulrich.husemann@desy.de](mailto:ulrich.husemann@desy.de)
  - Telefon Zeuthen: 033762-7-7392
  - Büro Zeuthen: 3L/26
  - Büro Berlin: 2'412

# Inhalte und Ziele der VL

- Vermittlung des modernen Weltbildes:  
Elementarteilchenphysik, Astroteilchenphysik,  
Kosmologie
- Inhaltsangabe:
  - Allgemeine Grundlagen (2 VL)
  - Elementarteilchenphysik (5 VL)
  - Astroteilchenphysik und Kosmologie (5 VL)
  - Ausblick: ungelöste Fragen (1 VL)

## Einordnung der Vorlesung

- Pflichtveranstaltung Lehramts-Masterstudiengang:  
Modul PK 23a
- Zielgruppe:
  - 2. Fachsemester Kombimaster, Erstfach Physik
  - Masterarbeit in Physik oder Zweifach
- Voraussetzungen: Modul PK 4a oder PK 4b  
Kombibachelor („Experimentalphysik IV“)

# Termine und Prüfungen

- Termine:
  - Vorlesung: Donnerstags, 9:00–11:00 Uhr, NEW 15 2'101
  - Übung: Donnerstags, 11:00–13:00 Uhr, NEW 15 2'101 (jede zweite Woche)
- Prüfung
  - Zweistündige Klausur über Stoff der Vorlesung
  - Geplanter Termin: erste Woche der vorlesungsfreien Zeit (21.–25.07.08) → genauer Termin und Raum nächste Woche

# Ablauf der Übungen

- Kurzreferate (10–15 Minuten) + Diskussion
- 14-tägig: 7 Termine mit je 3–4 Referaten
- Erster Termin: Donnerstag, 24.04.08, 11:00–13:00 Uhr, NEW 15 2'101
- Themen für nächste Woche: Geschichte der Teilchenphysik/Astroteilchenphysik/Kosmologie
  - Vom geozentrischen zum heliozentrischen Weltbild
  - Entdeckung der kosmischen Strahlung
  - Der Rutherford-Streuversuch

# Literatur

- Webseite zur Vorlesung: [http://www-zeuthen.desy.de/~husemann/teaching/2008\\_ss/moderne\\_physik/](http://www-zeuthen.desy.de/~husemann/teaching/2008_ss/moderne_physik/)
- Allgemeine Physikliteratur
  - C. Gerthsen: Physik (Springer 2006)
  - P. A. Tipler: Physik (Spektrum 2006)
- Nachschlagewerk: „Review of Particle Physics“, <http://pdg.lbl.gov>

# Literatur

- Elementarteilchenphysik (vorläufig)
  - K. Wille: Physik der Teilchenbeschleuniger und Synchrotronstrahlungsquellen (Teubner 1996)
  - C. Grupen: Teilchendetektoren (Spektrum 1993)
  - A. Das & T. Ferbel: Introduction to Nuclear and Particle Physics (World Scientific, 2004)
  - D. H. Perkins: Introduction to High Energy Physics (Cambridge University Press, 2000)
  - <http://www.particleadventure.org>
  - <http://kworkquark.desy.de>

# Literatur

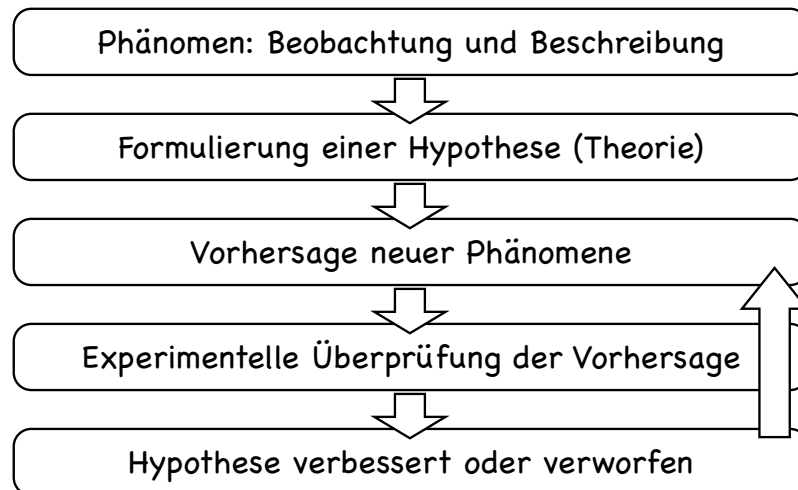
- **Astroteilchenphysik und Kosmologie (vorläufig)**
  - C. Grupen: Astroteilchenphysik (Vieweg 2000)
  - P. Schneider: Einführung in die Extragalaktische Astronomie und Kosmologie (Springer 2006)
  - H. V. Klapdor-Kleingrothaus, K. Zuber: Teilchenastrophysik, (Teubner 1997)
  - D. H. Perkins: Particle Astrophysics (Oxford, 2003)

## Kapitel 1

# Wissenschaftliche Methodik

# Wissenschaftliche Methode

- Ziel der Wissenschaft: möglichst „objektiver“ Erkenntnisgewinn, d. h. Reduktion des Einflusses von (wissenschaftlichen) Vorurteilen

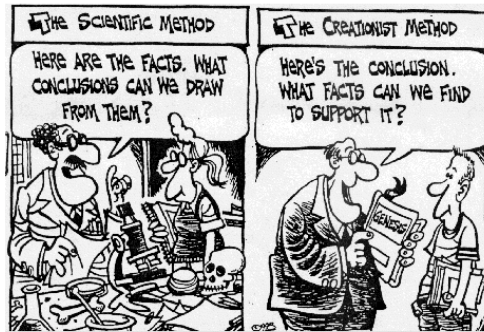


## Gute Theorien

- Theorie kann (jetzt oder in der Zukunft) experimentell überprüft werden: „Falsifizierbarkeit“
- Theorie gibt mehr zurück, als man hereingesteckt hat: „Vorhersagekraft“
- Beispiel: Standardmodell der Teilchenphysik – Vorhersage neuer Teilchen (z.B. W- und Z-Bosonen), die später entdeckt worden sind
- Bemerkung: Newton'sche Mechanik Beispiel für gute Theorie mit begrenztem Gültigkeitsbereich („effektive Theorie“) – gute Näherung für Geschwindigkeiten viel kleiner als Lichtgeschwindigkeit

# Schlechte Theorien

- Schlechte Theorie
  - Keine Überprüfbarkeit und/oder Vorhersagekraft
  - „Das ist nicht nur nicht richtig, es ist nicht einmal falsch!“
- Beispiel: Kreationismus / Intelligent Design



Moderne Physik (PK 23a), HU Berlin, Sommersemester 2008, Vorlesung 1

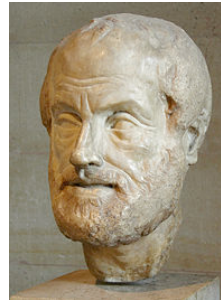
13

## Kapitel 2

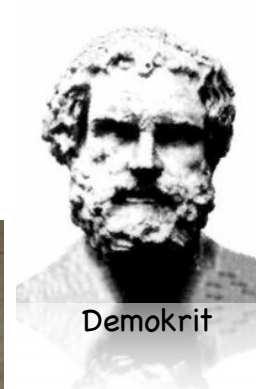
# Geschichte der Teilchenphysik, Astroteilchenphysik und Kosmologie

# Altertum

- Demokrit (ca. 400 v. Chr.):  
Materie ist aus unteilbaren kleinsten Teilchen aufgebaut („Atome“)
- Aristoteles (ca. 350 v. Chr.):  
systematische Sammlung und Klassifizierung des Wissens, Dialektik, Metaphysik usw.
- Claudius Ptolemäus (ca. 150):  
Theorie der Epizykeln
- Mittelalter in Europa ...



Aristoteles



Demokrit

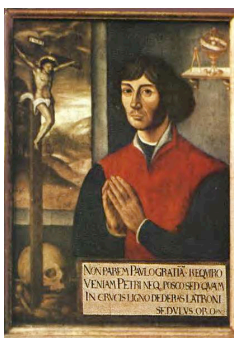


C. Ptolemäus

Moderne Physik (PK 23a), HU Berlin, Sommersemester 2008, Vorlesung 1

15

# Mittelalter bis Renaissance



N. Kopernikus



R. Bacon

- Roger Bacon (ca. 1250):  
Anschluss an griechische und arabische Wissenschaft, empirische Naturforschung
- Nikolaus Kopernikus (ca. 1500):  
Erde dreht sich um die Sonne („heliozentrisches Weltbild“)

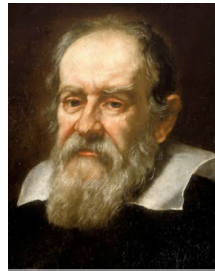
Moderne Physik (PK 23a), HU Berlin, Sommersemester 2008, Vorlesung 1

16



# Renaissance und Barock

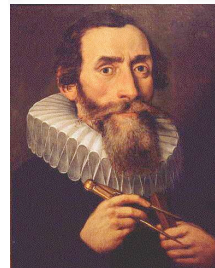
- Galileo Galilei, Tycho Brahe, Johannes Kepler (ca. 1600): Systematische Beobachtung von Himmelskörpern  
→ Himmelsmechanik
- Isaac Newton (1687): klassische Mechanik beschreibt Gravitationskräfte zwischen Himmelskörpern



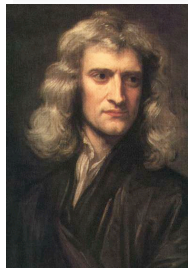
G. Galilei



T. Brahe



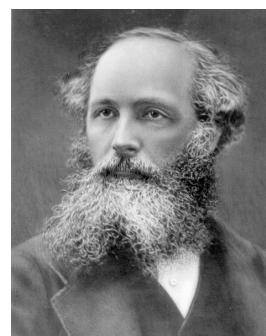
J. Kepler



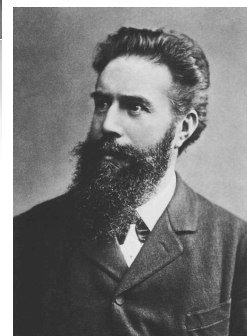
I. Newton

# 19. Jahrhundert

- James C. Maxwell (1873): Theorie des Elektromagnetismus, Licht als elektromagnetische Welle
- Wilhelm C. Röntgen (1895): X-Strahlen

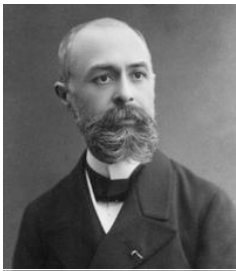


J. C. Maxwell



W. C. Röntgen

# 19. Jahrhundert



H. Becquerel



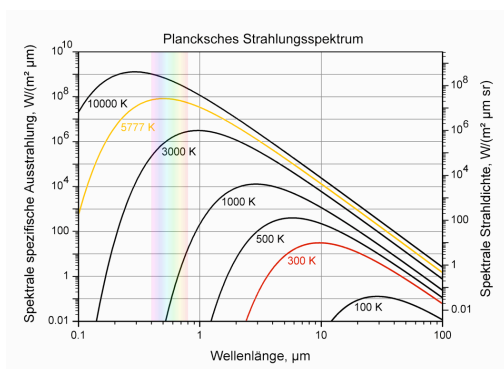
J. J. Thompson



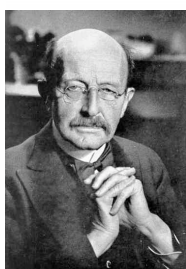
M. & P. Curie

- Henri Becquerel (1896): Entdeckung der Radioaktivität
- Joseph J. Thompson (1897): Entdeckung des Elektrons, Atommodell: Elektronen als „Rosinen im Kuchen“
- Marie & Pierre Curie (1898): Entdeckung der ersten radioaktiven Elemente (Polonium, Radium)

# 20. Jahrhundert



- Max Planck (1900): Erklärung der Schwarzkörperstrahlung mittels Quantisierung der Energie → Quantenphysik



M. Planck



A. Einstein

- Albert Einstein (1905): Lichtquantenhypothese, Spezielle Relativitätstheorie

# 20. Jahrhundert

- Ernest Rutherford (1911): Streuung von Alphateilchen an Goldfolie → Atomkern
- Niels Bohr (1913): Atommodell erklärt Spektrallinien des Wasserstoff



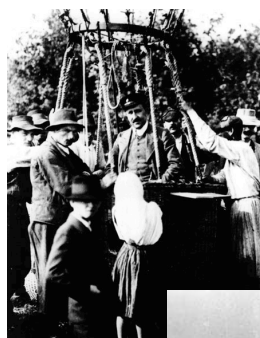
E. Rutherford



N. Bohr

# 20. Jahrhundert

- Victor Hess (1912): Entdeckung der „Höhenstrahlung“ (kosmische Strahlung)
- Henrietta Leavitt (1912): Entfernungsmessung durch Periode-Leuchtkraft-Beziehung bei Cepheiden-Sternen

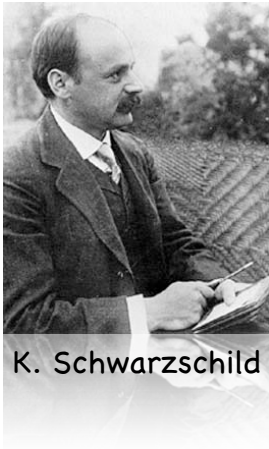


V. Hess



H. Leavitt

# 20. Jahrhundert



K. Schwarzschild

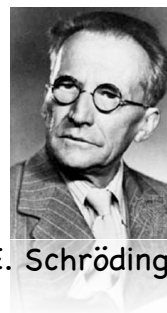


A. Eddington

- Albert Einstein (1916):  
Allgemeine  
Relativitätstheorie (ART)
- Karl Schwarzschild (1916):  
Postulat schwarzer  
Löcher als Lösungen der  
Gleichungen der ART
- Arthur Eddington (1919):  
Ablenkung von Licht im  
Gravitationsfeld –  
Bestätigung der ART

# 20. Jahrhundert

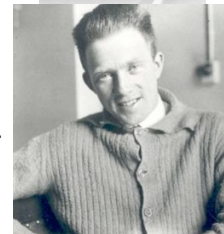
- Wolfgang Pauli (1925):  
Ausschließungsprinzip
- Erwin Schrödinger (1926):  
Quantenmechanik formuliert als  
Wellenmechanik  
(„Schrödingergleichung“)
- Werner Heisenberg (1927):  
Matrizenmechanik, Unschärferelation
- Paul A. M. Dirac (1928): Verbindung  
Relativitätstheorie und  
Quantenmechanik („Diracgleichung“)



E. Schrödinger



W. Pauli



W. Heisenberg



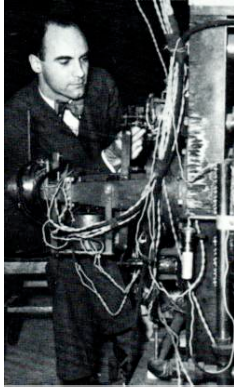
P. Dirac

# 20. Jahrhundert



E. Hubble

- Edwin Hubble (1928): Rotverschiebung des Lichts entfernter Galaxien proportional zur Entfernung



C. Anderson

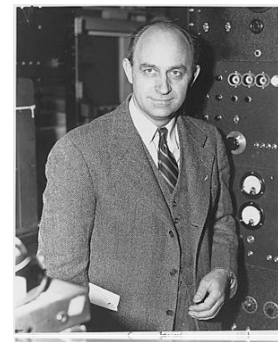
- Wolfgang Pauli (1930): Postulat des Neutrinos zur Energieerhaltung im Beta-Zerfall ( $n \rightarrow p e^- \nu$ )
- Carl Anderson (1932): Entdeckung des Positrons als Antiteilchen des Elektrons

# 20. Jahrhundert

- James Chadwick (1932): Entdeckung des Neutrons
- Enrico Fermi (1933): Theorie des Beta-Zerfalls → schwache Wechselwirkung

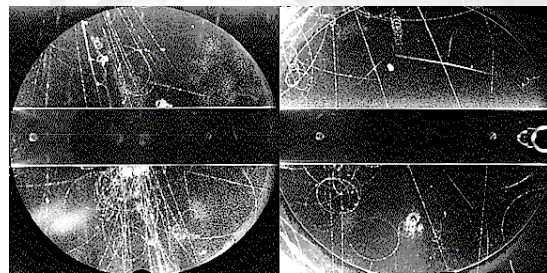


J. Chadwick



E. Fermi

- ca. 1940–1970: Entdeckung neuer Teilchen in kosmischer Strahlung: Myon, Pion, Kaon, Antiproton, D-Meson



Entdeckung des Kaons

# 20. Jahrhundert

- George Gamov (1948): Urknalltheorie erklärt Wasserstoff- und Heliumgehalt des Universums
- Feynman, Schwinger, Tomonaga (ca. 1950): Quantentheorie des Elektromagnetismus (Quantenelektrodynamik, QED)
- Murray Gell-Mann, George Zweig (1964): Postulat der Quarks als fundamentale Bausteine der Natur



G. Gamov



R. Feynman



J. Schwinger



S. Tomonaga



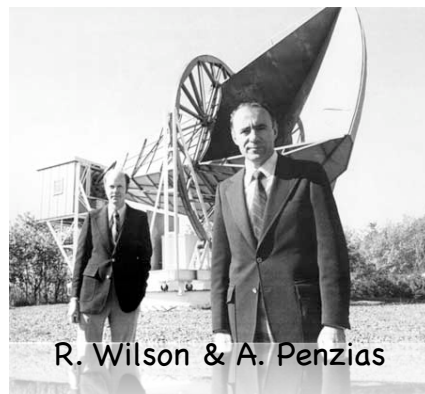
M. Gell-Mann



G. Zweig

# 20. Jahrhundert

- Arno Penzias, Robert Wilson (1965): Entdeckung der kosmischen Mikrowellen-hintergrundstrahlung
- Glashow, Salam, Weinberg (ca. 1970): Vereinheitlichung der elektromagnetischen und schwachen Wechselwirkung



R. Wilson & A. Penzias



S. Glashow



A. Salam



S. Weinberg

# 20. Jahrhundert



H. Fritzsche

D. Politzer

D. Gross



F. Wilczek

A. Guth

- Gell-Mann, Fritzsche, Politzer, Gross, Wilczek, ... (ca. 1974): Theorie der starken Wechselwirkung
- Alan Guth (1980): kosmische Inflation erklärt flaches Universum und Struktur des Universums auf großen Längenskalen

# 20. Jahrhundert

- DESY (1979): Austauscheteilchen der starken Wechselwirkung („Gluon“) entdeckt
- CERN (1982): Austauscheteilchen der schwachen Wechselwirkung („W/Z-Bosonen“) entdeckt
- 1990: Satelliten (COBE – Hintergrundstrahlung, ROSAT – Röntgenstrahlung, Hubble Space Telescope)

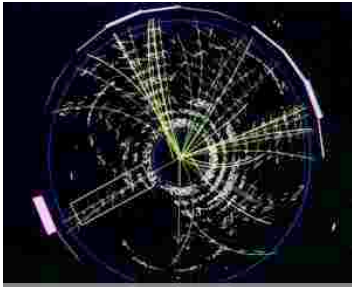


3-Jet-Ereignis bei TASSO

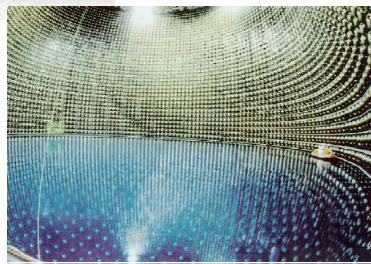


HST: Adlernebel

# 20. Jahrhundert



Top-Quark-Ereignis bei CDF



Super-Kamiokande

- Fermilab (1995): Das Top-Quark wird als letztes der sechs Quarks entdeckt
- Super-Kamiokande (1998): Neutrinos besitzen eine Masse